

Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Élelmiszertechnológiai Intézet

Csapó János–Albert Csilla

ooooo

FUNKCIONÁLIS ÉLELMISZEREK



Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi
és Környezetgazdálkodási Kar
Élelmiszertechnológiai Intézet

Csapó János – Albert Csilla

FUNKCIONÁLIS ÉLELMISZEREK



Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press
2018

LEKTORÁLTA:
Prof. Dr. Szakál Pál
Dr. Sipos Péter

© Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press
beleértve az egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát is



ISBN 978-963-318-708-1

Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó, az 1795-ben alapított
Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének a tagja

www.dupress.hu

Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi

Tartalom

Bevezetés.....	23
0. Az élelmiszerek összetétele és hasznosulása a szervezetben.....	29
0.1. Az élelmiszerek összetétele	29
0.1.1. A víz	29
0.1.2. Ásványi anyagok.....	29
0.1.3. Aminosavak, peptidek és fehérjék	30
0.1.4. A szénhidrátok.....	31
0.1.5. Lipidek	32
0.1.6. Enzimek	33
0.1.7. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek.....	34
0.1.8. Mérgező anyagok	35
0.1.9. Természetes színezékek	36
0.1.10. Íz- és aromaanyagok	36
0.1.11. A vitaminok.....	37
0.1.12. Egyéb szerves vegyületek az élelmiszerekben	37
0.1.13. Tartósítószer, antioxidánsok, ízesítőanyagok, mesterséges színezékek, állományjavító anyagok és tápértéket növelő anyagok.....	38
0.2. Az élelmiszerek hasznosulása a szervezetben.....	39
0.2.1. Anyagcsere, trikarbonsavciklus, energiatermészet és -tárolás	39
0.2.1.1. Az anyagcsere.....	39
0.2.1.2. A trikarbonsavciklus.....	40
0.2.1.3. Az energiatermészet és -tárolás.....	40
0.2.2. Szénhidrátok	41
0.2.2.1. A szénhidrátok lebontása.....	41
0.2.2.2. A szénhidrátok bioszintézise.....	42
0.2.3. Zsírok.....	43
0.2.3.1. A zsírok lebontása	43
0.2.3.2. A zsírok bioszintézise	44
0.2.4. Aminosavak.....	45
0.2.4.1. Az aminosavak lebontása.....	45
0.2.4.2. Az aminosavak szintézise.....	45
0.2.5. A purin- és pirimidinbázisok anyagcseréje	47
0.2.6. A polinukleotidok.....	47
0.2.7. A fehérjék bioszintézise	48
1. Alapfogalmak	50
1.1. Definíciók	50
1.2. Mitől lesz egy élelmiszer funkcionális?.....	50
1.3. A funkcionális élelmiszerek fiziológiai hatása.....	52
1.4. Hogyan gyártunk funkcionális élelmiszereket?	52
1.5. Fogyasztói elvárások a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban.....	54

1.6.	Élelmiszer-biztonság és a funkcionális élelmiszerek.....	54
1.7.	A funkcionális élelmiszerek és a törvényi szabályozás.....	55
2.	Funkcionális élelmiszerek előállítása élelmiszer-kiegészítéssel.....	56
2.1.	Alapfogalmak.....	56
2.2.	Az élelmiszerek funkcionális komponensei mennyiségének növelése	57
2.3.	Az élelmiszer-komponensek helyettesítése	58
2.4.	Dúsítás (supplementation).....	58
2.5.	Az élelmiszerek vitaminnal és ásványi anyaggal történő kiegészítése	59
2.5.1.	A kiegészítés szükségessége	59
2.5.2.	A vashiány és következményei	60
2.5.3.	A jódhiány és következményei.....	61
2.5.4.	Az A-vitamin-hiány és következményei	61
2.5.5.	A cinkhiány és következményei	62
2.5.6.	A kalciumhiány és következményei	63
2.5.7.	A folsavhiány és következményei.....	63
2.6.	Az élelmiszerek vitaminokkal történő kiegészítése	64
2.7.	Az élelmiszerek polifenolokkal történő kiegészítése	66
2.7.1.	A polifenolok tulajdonságai.....	66
2.7.2.	A növényi kivonatok készítésének technológiai szempontjai.....	67
2.8.	Az élelmiszerek karotinoidokkal történő kiegészítése.....	68
2.9.	Az élelmiszerek esszenciális zsírsavtartalmú olajokkal történő kiegészítése	70
2.9.1.	A növényi szteroidok hatása	70
2.9.2.	Többszörösen telítetlen zsírsavak.....	71
2.9.2.1.	A többszörösen telítetlen zsírsavak biológiai hatása	71
2.9.2.2.	A többszörösen telítetlen zsírsavak forrásai	71
2.9.2.3.	Konjugált linolsavak.....	72
2.9.3.	A lipidekkel kapcsolatos technológiai szempontok.....	73
2.9.4.	A lipidek oxidációja a halolaj és mikroalgaolaj előállítása során.....	74
2.9.5.	A halolaj finomítása.....	75
2.9.6.	Az élelmiszerek kiegészítése biológiai aktivitású lipidekkel.....	75
2.9.7.	Példák a szterolok, a CLA és a PUFA-k növelésére élelmiszerekben	76
2.10.	A funkcionálisélelmiszer-komponensek hatékonyságának fokozása.....	77
2.11.	Szépségmegőrző funkcionális élelmiszerek.....	78
2.12.	A flavonoidok mint funkcionálisélelmiszer-komponensek.....	78
2.12.1.	A flavonoidok szerkezete.....	78
2.12.2.	A flavonoidok csoportosítása	78
2.12.3.	A flavonoidok élelmiszerekkel történő bevitele a szervezetbe.....	80
2.12.3.1.	A flavonoidok felszívódása és metabolizmusa.....	80
2.12.3.2.	Magas flavonoidtartalmú gyógyhatású készítmények	81
3.	A tej bioaktív komponensei, azok kinyerése, dúsítása és előállítása.....	83
3.1.	A tejben található bioaktív komponensek.....	83
3.2.	Bioaktív fehérjék	84
3.2.1.	A fő tejfehérjék biológiai hatásai és alkalmazásuk lehetősége.....	84
3.2.2.	A savófehérjék ipari és kereskedelmi alkalmazása.....	85

3.2.3.	A bioaktív peptidek előállítása és funkcionalitása	89
3.2.4.	Bioaktív peptidek és újszerű alkalmazások	90
3.2.4.1.	A tejtermékekben található bioaktív peptidek és aktivitásuk	90
3.2.4.2.	Bioaktív peptideket tartalmazó tejtermékek és adalékok	91
3.3.	Bioaktív lipidek.....	92
3.3.1.	Konjugált linolsavak.....	92
3.3.1.1.	A konjugált linolsavak mennyiségének növelése	93
3.3.1.2.	A tejsír zsírsavösszetétele, KLS-tartalma és változása a laktáció során	93
3.3.1.3.	Különböző kultúrák hatása a tejtermékek zsírsavösszetételére és KLS-tartalmára	93
3.3.1.4.	A vaj, a sajtok és a margarin KLS-tartalma.....	94
3.3.1.5.	Különböző sajtok konjugáltlinolsav-tartalmának változása a tárolás során	94
3.3.2.	Poláros lipidek	94
3.4.	Növekedést befolyásoló faktorok	95
3.5.	Egyéb bioaktív vegyületek a tejben	96
3.6.	A tejsavbaktériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok	96
3.6.1.	A tejsavbaktérium fajok különböző fajtái által termelt EPS szerkezetének feltérképezése, mennyiségének mérése.....	97
3.6.2.	A GalOS-ok ipari előállításának lehetőségei	97
3.6.3.	Az exopoliszacharidok (EPS) mennyiségének és szerkezetének meghatározása	97
3.6.4.	Az EPS-ok monoszacharid-összetétele	98
3.6.5.	Az EPS-ok kémiai módosítása, szerkezetkutatása.....	99
3.7.	A tej bioaktív komponenseinek összefoglalása	99
4.	Prebiotikumok, probiotikumok, szinbiotikumok	100
4.1.	A probiotikumokkal kapcsolatos alapismeretek.....	100
4.1.1.	A probiotikumok és alapvető jellemzőik.....	100
4.1.2.	A prebiotikumok köre és alapvető jellemzőik.....	100
4.2.	Az emberi emésztőrendszer mikroflórája	101
4.2.1.	A csíraszám.....	101
4.2.2.	A csíraféleségek és arányaik	101
4.2.3.	A bélflóra módosulásának okai	102
4.2.4.	A bélflóra módosításának lehetőségei.....	103
4.3.	A mai probiotikus kultúratörzsek és a velük szembeni követelmények	103
4.4.	A magyar kutatók által kifejlesztett probiotikus törzsek	104
4.5.	A probiotikumok felvételének alapelvei	106
4.6.	Probiotikumok felvétele tejtermékekkel	106
4.7.	Probiotikumok felvétele kapszulás étrend-kiegészítőkkel	107
4.8.	A probiotikumok jótéteményei.....	107
4.9.	A probiotikumok fontosabb humán élettani jótéteményeinek összefoglalása	108
5.	A hús szerepe a táplálkozásban és az egészségmegőrzésben.....	109
5.1.	Az izomszövet fehérjei.....	109

5.1.1.	Vízoldható fehérjék.....	110
5.1.2.	Oldhatatlan fehérjék.....	110
5.2.	Biogén aminok.....	111
5.3.	Kreatin és kreatinin.....	111
5.4.	A hús érlelése.....	111
5.5.	A sertéshús esetében előforduló minőségi hibák.....	112
5.6.	A hús mint funkcionális élelmiszer.....	112
5.6.1.	A hús mint fehérjeforrás.....	112
5.6.2.	A hús mint zsírforrás.....	113
5.6.3.	A húsok zsír- és koleszterintartalma.....	113
5.6.4.	A különböző zsíradékok és a halak zsírsavösszetétele.....	114
5.6.5.	A hús mint vitaminforrás.....	114
5.6.6.	A hús mint ásványianyag-forrás.....	115
5.7.	Nyers húsok.....	115
5.7.1.	Szelet-, leves- és gulyáshúsok.....	115
5.7.2.	A sertéshúsok konyhatechnikai felhasználása.....	116
5.8.	Fehérjekészítmények.....	117
5.9.	Adalékanyagok.....	117
5.10.	Húsipari termékcsoportok.....	118
5.11.	A húsok emészthetősége.....	118
5.12.	A hús és az allergia.....	119
5.13.	Élvezeti hatás.....	119
6.	A szója mint funkcionális élelmiszer.....	120
6.1.	A szójafehérje minőségének alakulása a technológiai műveletek során.....	120
6.1.1.	Az oxidáció hatása a fehérjék károsodására.....	120
6.1.2.	A hő hatása a fehérjék károsodására.....	120
6.1.3.	Az aminosavak oldalláncában és a fehérjemolekulák között lejátszódó reakciók.....	121
6.1.4.	A lúgos kezelés hatása.....	121
6.1.5.	A fehérjék és a szénhidrátok közti reakciók.....	121
6.1.6.	A fehérjék és a lipidek reakciója.....	122
6.1.7.	A fehérjék és a polifenolok kapcsolódása.....	122
6.2.	A szójafehérjék hőkárosodásának kimutatása.....	122
6.3.	A fehérjeminőséget befolyásoló technológiák.....	123
6.4.	A fehérjehasznosulást befolyásoló antinutritív és mérgező anyagok.....	123
6.4.1.	Hőrezisztens antinutritív anyagok a szójában.....	125
6.4.2.	A szója antinutritív anyagai hatásának kiküszöbölése.....	126
6.5.	A szójafehérje minősítésére alkalmas vizsgálatok.....	126
6.5.1.	Néhány kémiai módszer a fehérje minőségének meghatározására.....	127
6.5.2.	A szójafehérje komplex minősítése.....	127
7.	Szelénnel dúsított élelmiszerek.....	128
7.1.	A szelénről általában.....	128
7.2.	A szelén mint esszenciális nyomelem.....	128

7.3.	A különböző szelénformák az élővilágban	129
7.4.	A szelén antioxidáns tulajdonságai	129
7.5.	Szeléntartalmú enzimek	130
7.6.	A szelén hasznosulása.....	130
7.7.	A növényi eredetű élelmiszerek szeléntartalma	131
7.8.	A szelénrel dúsított élelmiszerek.....	131
7.9.	A növényi eredetű táplálékok szeléntartalma.....	132
7.10.	A szelén akkumulációja.....	133
7.11.	Szelénspecieszek a bioszférában	134
7.12.	Szeleno-aminosavak	135
7.13.	A szelénhiány és annak megelőzése.....	135
7.14.	Szelénnel történő dúsítás.....	136
7.14.1.	A búzafű és a búzamazag összesszelén-, szelenometionin- és szervesszelén-tartalma.....	136
7.14.2.	Szelénnel dúsított táplálkozási csírák.....	138
7.14.3.	A szelénrel dúsított csírák a rák megelőzésében	139
7.14.4.	Élelmiszerek szelénnel történő kiegészítése	140
7.14.4.1.	Szelénnel dúsított tojás	141
7.14.4.2.	Szelénnel dúsított tej és tejtermékek.....	141
7.14.4.3.	A szelénrel dúsított tejből készült tejtermékek szeléntartalma	143
8.	A tojás mint funkcionális élelmiszer.....	145
8.1.	A tojássárgája	145
8.2.	A tojásfehérje	146
8.3.	Tojásszínező anyagok.....	146
8.4.	A tárolás során bekövetkező változások	147
8.5.	A tojásalapú készítmények jellemzői.....	147
8.6.	Szártott tojásalapú termékek	148
9.	Növényi és állati eredetű zsiradékok.....	149
9.1.	Növényi eredetű zsiradékok	149
9.2.	Állati eredetű zsiradékok	151
9.3.	A tengeri állatokból származó zsiradékok	152
9.4.	A zsírok és olajok minőségét befolyásoló tényezők	153
10.	A gabona, zöldség és gyümölcs mint funkcionális élelmiszerek.....	154
10.1.	Gabonafélék	154
10.2.	A gabonafélék összetétele.....	154
10.2.1.	A gabonafélék szénhidrátartalma	154
10.2.2.	A gabonafélék fehérjéi	155
10.2.2.1.	A búzaglutén fehérjekomponensei és szerkezete.....	156
10.2.3.	A gabonák lipid tartalma	156
10.3.	A gabonafélék feldolgozása	157
10.3.1.	A gabonafélék feldolgozásában szerepet játszó enzimek	157
10.3.2.	A búzaliszt tiolkomponensei	158

10.3.3.	Sütési próbák	158
10.3.4.	Az aszkorbinsav hatása a tésztaképzésre, búzaliszt esetében.....	159
10.3.5.	A lipoxigenáz-aktivitást mutató liszt adagolásának hatása a búzalisztre.....	159
10.3.6.	Ciszteinadagolás hatása a búzalisztre.....	159
10.3.7.	Az α -amiláz adagolásának hatása a búzalisztre.....	159
10.3.8.	Emulgeálószeres és zsiradék hatása	160
10.4.	Zöldségek és gyümölcsök	160
10.4.1.	Zöldségek	160
10.4.1.1.	A zöldségek összetétele	160
10.4.1.2.	Aromaanyagok	161
10.4.1.3.	A zöldségek vitamintartalma	162
10.4.1.4.	A növényi pigmentek	162
10.4.1.5.	A zöldségek eltarthatósága	163
10.5.	Gyümölcsök.....	163
11.	A táplálkozási csírák mint funkcionális élelmiszerek	165
11.1.	A csírák jelentősége a táplálkozásban.....	165
11.2.	Biokémiai változások a csírázás során	165
11.3.	Szelénnel dúsított csírák	166
11.3.1.	A szeléntartalom hasznosulása.....	166
11.3.2.	Saját vizsgálataink az étkezési csírák vonatkozásában	167
12.	A vörösbort mint funkcionális élelmiszer.....	169
12.1.	A szőlő, a must és a bor kémiai összetétele	169
12.1.1.	A szőlő érésének biokémiája.....	169
12.1.1.1.	A szőlőbogyó növekedése, érése és túlérése	169
12.1.1.2.	Fotoszintézis, anyagvándorlások.....	169
12.1.1.3.	A cukor felhalmozódása a bogyóban	170
12.1.1.4.	A szerves savak változása a szőlőbogyóban.....	170
12.1.1.5.	A borkősav változása	170
12.1.1.6.	Az almasav változása.....	171
12.1.1.7.	Az ásványi anyagok beáramlása a bogyóba.....	171
12.1.1.8.	Fehérjészintézis	171
12.2.	Az érettség meghatározása	171
12.2.1.	A szüret időpontjának meghatározása	171
12.3.	A szőlőfürt szerkezete és összetétele	171
12.3.1.	A szőlőhéj összetétele.....	172
12.3.2.	A szőlőmag összetétele	172
12.3.3.	A bogyóhús összetétele.....	172
12.4.	A must kémiai összetétele.....	172
12.4.1.	A must alkotórészei.....	172
12.4.1.1.	Szénhidrátok	173
12.4.1.2.	Pektinanyagok, gumik.....	173
12.4.1.3.	Szerves savak.....	173

12.4.1.4.	Nitrogéntartalmú anyagok	174
12.4.1.5.	Viaszok, olajok, zsírok	174
12.4.1.6.	Polifenolok, színyanyagok	174
12.4.1.7.	Színyanyagok.....	176
12.4.1.8.	Aromaanyagok.....	177
12.4.1.9.	Vitaminok és enzimek a szőlőben, a mustban és a borban	178
	A szőlő és a must vitaminjai	178
	A szőlő és a must enzimei	178
12.4.1.10.	Ásványi anyagok.....	179
12.4.1.11.	Az extrakttartalom	180
12.4.1.12.	Redoxpotenciál, oxidáció, redukció	180
12.5.	Az erjedés biokémiája	181
12.6.	A bor kémiai összetétele	182
12.6.1.	Alkoholok.....	183
12.6.2.	Cukrok, szerves savak, illó savak, fenolos alkotórészek	184
12.6.3.	A vörösborok színe objektív meghatározásának lehetőségei	185
12.6.4.	A bor nitrogéntartalmú anyagai	186
12.6.5.	Pektinek és poliszacharidok.....	187
12.6.6.	A bor aromaanyagai.....	187
12.6.7.	Polifenolok az aromaképzésben.....	188
12.6.8.	Jellegzetes ízhibát okozó vegyületek a borban.....	188
12.6.9.	Vitaminok a borban.....	190
12.7.	A bor fejlődésének kémiája	190
12.7.1.	Oxidációs-redukációs jelenségek a borokban	190
12.7.2.	A bor tárolása, érése során képződő aromaanyagok	191
12.8.	A vörösbor mint funkcionális élelmiszer.....	191
12.8.1.	A vörösbor egészségvédő szerepe.....	191
12.8.2.	A mérsékelt vörösborfogyasztás hatásai.....	191
13.	Válogatott fejezetek.....	193
13.1.	A vitaminok szerepe az idős emberek táplálkozásában	193
13.1.1.	Zsírban oldódó vitaminok	193
13.1.1.1.	Makrotápanyag-szükséglet.....	195
13.1.1.2.	Vitaminszükséglet	196
13.1.1.3.	A-vitamin	197
13.1.1.4.	D-vitamin.....	198
13.1.1.5.	E-vitamin	200
13.1.1.6.	K-vitamin	201
13.1.2.	Vízben oldódó vitaminok.....	202
13.1.2.1.	B ₁ -vitamin	202
13.1.2.2.	B ₂ -vitamin	204
13.1.2.3.	B ₃ -vitamin	204
13.1.2.4.	B ₆ -vitamin	205
13.1.2.5.	Pantoténsav	206

13.1.2.6.	Folsavcsoport	207
13.1.2.7.	Biotin.....	208
13.1.2.8.	B ₁₂ -vitamin	209
13.1.2.9.	B ₁₅ -vitamin	210
13.1.2.10.	U-vitamin	210
13.1.2.11.	C-vitamin	211
13.1.3.	Következtetések	213
13.2.	A tej és tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma.....	216
13.2.1.	A tej konjugáltlinolsav-tartalmát befolyásoló tényezők	216
13.2.1.1.	A konjugált linolsav definíciója.....	216
13.2.1.2.	A konjugált linolsavak kialakulása a természetben és kémiai előállításuk lehetőségei	217
13.2.1.3.	A konjugált linolsavak előfordulása az élelmiszerekben, és a mennyiségüket befolyásoló tényezők	217
13.2.1.4.	A nyers tej konjugáltlinolsav-tartalma	218
13.2.1.5.	A nyers tej konjugáltlinolsav-tartalmára ható tényezők	218
13.2.2.	A sajt, a vaj, egyéb tejtermékek és más élelmiszerek konjugáltlinolsav-tartalma	224
13.2.2.1.	Egyéb tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma	224
13.2.2.2.	A vaj konjugáltlinolsav-szintjének növelése	225
13.2.2.3.	A sajt konjugáltlinolsav-szintjére ható tényezők.....	226
13.2.2.4.	Más élelmiszerek konjugáltlinolsav-tartalma	228
13.2.3.	A konjugált linolsavak és a tejsír biológiai hatása; konjugált linolsavak az emberi szervezetben.....	230
13.2.3.1.	A konjugált linolsavak biológiai hatása.....	230
13.2.3.2.	A tejsír rákellenes hatása.....	234
13.2.3.3.	A konjugált linolsavak előfordulása és eredete az emberi szervezetben.....	235
13.2.3.4.	Az emberi szövetek konjugáltlinolsav-szintje és a táplálkozás	236
13.2.4.	A konjugált linolsavak összefoglalása.....	238
13.3.	A tejsavbaktériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok szerkezeti és mennyiségi analízise	240
13.3.1.	Bevezetés	240
13.3.2.	Az exopoliszacharidok (EPS) mennyiségének és szerkezetének meghatározása	241
13.3.2.1.	Az EPS-ok izolálása.....	242
13.3.2.2.	Az EPS-ok mennyiségének meghatározása.....	245
13.3.2.3.	Az EPS-ok molekulatömegének meghatározása	246
13.3.2.4.	Az EPS-ok monoszacharid-összetétele	247
13.3.2.5.	A monoszacharidok kapcsolódási helyei.....	249
13.3.2.6.	A monoszacharidok konfigurációja	250
13.3.2.7.	Az EPS-ok foszfortartalmának vizsgálata	251

13.3.2.8.	Az EPS kémiai módosítása	251
13.3.2.9.	A monoszacharidok szerkezetének vizsgálata mágneses magrezonancia-spektroszkópiával	254
13.3.2.10.	A joghurt glükóz-, galaktóz- és laktóztartalma.....	257
	A szénhidrátok kivonása a joghurtból	257
	A szénhidrátok minőségének és mennyiségének meghatározása HPLC-vel.....	257
	A módszer vizsgálata.....	257
13.3.3.	A galakto-oligoszacharidok mennyiségének és összetételének meghatározása	258
13.3.4.	Az exopoliszacharidok és oligoszacharidok összefoglalása	259
13.4.	Fehérjével és lizinnel dúsított kenyér és keksz előállítása	261
13.4.1.	Fehérjével dúsított kenyér előállítása.....	261
13.4.1.1.	Bevezetés	261
13.4.1.2.	A búzaliszt és búzalisztalapú készítmények tápértékének növelése	261
13.4.1.3.	A liszt magas biológiai értékű fehérjével és lizinnel való dúsítása	262
13.4.1.4.	A kenyér magas lizintartalmának élettani hatása	263
13.4.1.5.	Az ember fehérje- és aminosav-szükséglete	264
13.4.1.6.	A magas lizintartalmú kenyér előállítása fehérjekiegészítéssel.....	266
	A kenyéralapanyagok összeállítása és a sütés.....	267
	A kísérleti és a kontrollkenyér összetételének meghatározása.....	267
	A kenyéralapanyagok fehérjetartalma és aminosav-összetétele	268
	A kenyér összesfehérje-tartalma	269
	A kontroll- és a magas fehérjetartalmú kenyér esszenciális aminosav-tartalma	269
	A hidroximetil-furfurol mennyisége.....	271
	Az érzékszervi vizsgálat eredményei.....	271
13.4.1.7.	Értékelés, az eredmények összefoglalása.....	271
13.4.2.	Lizinnel dúsított kenyér előállítása.....	272
13.4.2.1.	A kenyéralapanyagok összeállítása és a sütés.....	273
13.4.2.2.	A kenyér összesfehérje-tartalma	273
13.4.2.3.	A kenyér lizintartalma.....	273
13.4.2.4.	A hidroximetil-furfurol mennyisége.....	274
13.4.2.5.	Az érzékszervi vizsgálat eredményei.....	274
13.4.2.6.	Következtetések.....	274
13.4.3.	A lizinnel dúsított keksz előállítása terápiás célokra	275
13.4.3.1.	Bevezetés	275

13.4.3.2.	A lizin felszívódása és terápiás hatása a HSV elleni küzdelemben	275
13.4.3.3.	A lizinnel kiegészített keksz előállítása	276
	A vizsgált termék	276
	A keksz sütésénél alkalmazott idő- és hőmérséklet-kombinációk	276
	A lizines keksz összes- és szabadaminosav-tartalma	277
13.4.3.4.	A lizinfelszívódás vizsgálata	278
	A vérszérumminták lizintartalmának változása	278
	A vérszérumminták arginintartalmának és szabad lizin/ szabad arginin arányának változása	278
	A vérszérumminták antioxidáns szintjének változása	279
13.4.3.5.	Következtetések	279
	Felhasznált és ajánlott irodalom	280

Functional foods

Introduction.....	23
0. The composition of the foods and their utilization in the human body.....	29
0.1. The composition of the foods.....	29
0.1.1. The water.....	29
0.1.2. Minerals.....	29
0.1.3. Amino acids, peptides and proteins.....	30
0.1.4. Carbohydrates.....	31
0.1.5. Lipids.....	32
0.1.6. Enzymes.....	33
0.1.7. The most important enzymes in terms of food science.....	34
0.1.8. Toxic substances.....	35
0.1.9. Natural dyes.....	36
0.1.10. Taste and flavouring compounds.....	36
0.1.11. Vitamins.....	37
0.1.12. Other organic compounds in foods.....	37
0.1.13. Preservatives, antioxidants, flavourings, artificial dyes, quality improving and nutritional value increasing materials.....	38
0.2. Utilization of the foods in the body.....	39
0.2.1. The utilization of the foods.....	39
0.2.1.1. Metabolism.....	39
0.2.1.2. The tricarboxylic acid cycle.....	40
0.2.1.3. The transformation and storage of energy.....	40
0.2.2. Carbohydrates.....	41
0.2.2.1. The breakdown of the carbohydrates.....	41
0.2.2.2. The biosynthesis of the carbohydrates.....	42
0.2.3. Lipids.....	43
0.2.3.1. The breakdown of the lipids.....	43
0.2.3.2. The biosynthesis of the lipids.....	44
0.2.4. Amino acids.....	45
0.2.4.1. The breakdown of the amino acids.....	45
0.2.4.2. The biosynthesis of the amino acids.....	45
0.2.5. The metabolism of purine- and pyrimidine bases.....	47
0.2.6. The polynucleotides.....	47
0.2.7. The biosynthesis of proteins.....	48
1. Basic concepts.....	50
1.1. Definitions.....	50
1.2. What makes a food to functional food?.....	50
1.3. Physiological effects of functional foods.....	52
1.4. How the functional products are produced?.....	52
1.5. Consumer expectations in relations to functional foods.....	54

1.6.	Food safety and functional foods	54
1.7.	Functional foods and legislation.....	55
2.	Producing functional foods with fortification.....	56
2.1.	Basic concepts	56
2.2.	Fortification of the functional components of foods	57
2.3.	Substitution of the components of foods	58
2.4.	Supplementation.....	58
2.5.	Fortification of foods with vitamins and minerals	59
2.5.1.	The need for fortification	59
2.5.2.	Iron deficiency and consequences	60
2.5.3.	Iodine deficiency and consequences	61
2.5.4.	Vitamin A deficiency and consequences.....	61
2.5.5.	Zinc deficiency and consequences.....	62
2.5.6.	Calcium deficiency and consequences.....	63
2.5.7.	Folic acid deficiency and consequences.....	63
2.6.	Fortification of food with vitamins	64
2.7.	Fortification of food with polyphenols	66
2.7.1.	The properties of polyphenols.....	66
2.7.2.	Technological aspects of making plant extracts.....	67
2.8.	Fortification of food with carotenoides.....	68
2.9.	Fortification of food with oils containing essential fatty acids	70
2.9.1.	The effect of plant steroids.....	70
2.9.2.	Polyunsaturated fatty acids.....	71
2.9.2.1.	Biological effect of polyunsaturated fatty acids.....	71
2.9.2.2.	Source of polyunsaturated fatty acids	71
2.9.2.3.	Conjugated linoleic acids	72
2.9.3.	Technological aspects connected to lipids	73
2.9.4.	Oxidation of lipids during manufacture of fish oil and microalgae oil	74
2.9.5.	Refining of the fish oil.....	75
2.9.6.	Fortification of the foods with biologically active lipids	75
2.9.7.	Examples for fortification of CLA, sterols and PUFA-s in foods.....	76
2.10.	Enhance the effectiveness of functional food components.....	77
2.11.	Beauty care functional foods	78
2.12.	Flavonoids, as components of functional foods	78
2.12.1.	Structure of the flavonoids.....	78
2.12.2.	Grouping of flavonoids.....	78
2.12.3.	Intake of flavonoids into the body by foods	80
2.12.3.1.	Absorption and metabolism of the flavonoids.....	80
2.12.3.2.	Nutraceutical preparations with high flavonoid content	81
3.	Bioactive components in milk and their production	83
3.1.	Bioactive components in milk.....	83
3.2.	Bioactive proteins	84
3.2.1.	Biological effects of main milk proteins and their application	84
3.2.2.	Application of whey proteins in industry and trade	85

3.2.3.	Production of bioactive peptides and their functionality.....	89
3.2.4.	Bioactive peptides and their innovative applications	90
3.2.4.1.	Bioactive peptides and their activity in dairy products	90
3.2.4.2.	Dairy products and additives containing bioactive peptides	91
3.3.	Bioactive lipids	92
3.3.1.	Conjugated linoleic acids (CLA)	92
3.3.1.1.	Increase of quantity of CLA.....	93
3.3.1.2.	Change in fatty acid and CLA content of the milk fat during lactation	93
3.3.1.3.	Influence of the different microorganisms cultures for fatty acid and CLA composition of dairy products	93
3.3.1.4.	CLA content of butter, cheeses and margarine.....	94
3.3.1.5.	Changes of CLA content of different cheeses during storage	94
3.3.2.	Polar lipids.....	94
3.4.	Factors affecting growth	95
3.5.	Other bioactive compounds in milk.....	96
3.6.	Exopolysaccharides (EPS) and oligosaccharides produced by lactic acid bacteria	96
3.6.1.	Determination of the structure and measurement of the quantity of EPS produced by different lactic acid bacteria.....	97
3.6.2.	Industrial possibilities to producing galactose oligosaccharides (GalOS).....	97
3.6.3.	Determination of the quantity and structure of EPS-s	97
3.6.4.	Monosaccharide composition of EPS-s.....	98
3.6.5.	Chemical modification and structure research of EPS-s	99
3.7.	Summary of the bioactive components in milk.....	99
4.	Prebiotics, probiotics, symbiotics.....	100
4.1.	Basics related to probiotics	100
4.1.1.	Basic characteristics of probiotics	100
4.1.2.	Basic characteristics of prebiotics.....	100
4.2.	Micro flora of human digestive tracts	101
4.2.1.	Germ number	101
4.2.2.	Different germs and their rate	101
4.2.3.	Causes of modification of gut flora	102
4.2.4.	Possibilities of modification of gut flora	103
4.3.	Current probiotic cultures and requirements for them.....	103
4.4.	Probiotic phylums developed by Hungarian researchers	104
4.5.	Basic principles of probiotic uptake.....	106
4.6.	Uptake of probiotics by dairy products.....	106
4.7.	Uptake of probiotics by dietary supplement in capsule form.....	107
4.8.	Benefits of probiotics	107
4.9.	Summary of the more important human physiological benefits of probiotics	108

5. The role of the meat in nutrition and in health protection.....	109
5.1. The proteins of the muscle tissues.....	109
5.1.1. Water soluble proteins.....	110
5.1.2. Insoluble proteins.....	110
5.2. Biogenic amines.....	111
5.3. Creatine and creatinine.....	111
5.4. Meat maturation.....	111
5.5. Quality failure in the case of pork.....	112
5.6. The meat, as functional food.....	112
5.6.1. The meat as protein source.....	112
5.6.2. The meat as fat source.....	113
5.6.3. The fat and cholesterol content of meats.....	113
5.6.4. The fatty acid composition of the different fats and fish oil.....	114
5.6.5. The meat as source of vitamins.....	114
5.6.6. The meat as source of mineral materials.....	115
5.7. Unprocessed meats.....	115
5.7.1. Slice, soups and goulash meats.....	115
5.7.2. The pork for culinary use.....	116
5.8. Protein preparations.....	117
5.9. Additives.....	117
5.10. Product groups in meat industry.....	118
5.11. Utilization of meats.....	118
5.12. The meat and the allergy.....	119
5.13. Delightful effect.....	119
6. The soya as functional food.....	120
6.1. Conformation of the quality of soya proteins during processing.....	120
6.1.1. Influence of the oxidation for the damage of the proteins.....	120
6.1.2. Influence of heath for the damage of proteins.....	120
6.1.3. Reactions in the side chain of the amino acids and between protein molecules.....	121
6.1.4. Influence of the basic treatment.....	121
6.1.5. Reactions between proteins and carbohydrates.....	121
6.1.6. Reactions between proteins and lipids.....	122
6.1.7. Connection between protein and polyphenols.....	122
6.2. Demonstration of the heath damage of soya proteins.....	122
6.3. Technologies influence the protein quality.....	123
6.4. Antinutritive and toxic materials which influence the utilization of the protein.....	123
6.4.1. Heath resistance antinutritive compounds in soya.....	125
6.4.2. Elimination the effect of the antinutritive compounds in soya.....	126
6.5. Examinations suitable for qualification of soya protein.....	126
6.5.1. Some chemical methods for determination of the quality of protein.....	127
6.5.2. Complex qualification of soya proteins.....	127

7.	Supplementation of the foods with selenium.....	128
7.1.	In general about selenium	128
7.2.	Selenium as essential microelement	128
7.3.	Different selenium species in the living world	129
7.4.	Antioxidant properties of selenium	129
7.5.	Selenium content enzymes	130
7.6.	Utilization of selenium.....	130
7.7.	Selenium content of plant origin foods	131
7.8.	Foods supplemented with selenium	131
7.9.	Selenium content of plant origin foods	132
7.10.	Accumulation of selenium	133
7.11.	Selenium species in biosphere.....	134
7.12.	Selenoaminoacids	135
7.13.	Selenium deficiency and prevention.....	135
7.14.	Enrichment with selenium.....	136
	7.14.1. Total selenium-, selenomethionine- and organic selenium content of wheat grass and seed.....	136
	7.14.2. Edible sprouts enriched with selenium	138
	7.14.3. Edible sprouts with high selenium content in prevent of cancer	139
	7.14.4. Supplementation of the foods with selenium	140
	7.14.4.1. Egg supplemented with selenium	141
	7.14.4.2. Milk and dairy products supplemented with selenium	141
	7.14.4.3. Selenium content of the dairy products made from high selenium content milk.....	143
8.	The egg as functional food.....	145
8.1.	The egg yolk	145
8.2.	The egg whites	146
8.3.	Egg colouring materials	146
8.4.	Changes during the storage of egg.....	147
8.5.	Important characteristics of egg base preparations.....	147
8.6.	Dried egg base preparations	148
9.	Plant and animal origin lipids.....	149
9.1.	Plant origin lipids.....	149
9.2.	Animal origin lipids.....	151
9.3.	Lipids from marine animals	152
9.4.	Factors affecting the quality of fats and oils.....	153
10.	Cereals, vegetables and fruits as functional foods	154
10.1.	Cereals.....	154
10.2.	Composition of the cereals	154
	10.2.1. Carbohydrate content of the cereals	154
	10.2.2. Proteins of cereals	155
	10.2.2.1. Protein components and structure of wheat gluten.....	156
	10.2.3. Lipid content of cereals	156

10.3.	Processing of cereals.....	157
10.3.1.	Enzymes play role in processing of cereals	157
10.3.2.	Thiol components of wheat flour	158
10.3.3.	Baking probes	158
10.3.4.	Influence of ascorbic acid for the pasty production in case of wheat flour.....	159
10.3.5.	Influence of the added wheat flour with lipoxigenase enzyme activity for the wheat flour	159
10.3.6.	Influence of the added cysteine for the wheat flour.....	159
10.3.7.	Influence of the added α -amylase for wheat flour	159
10.3.8.	Influence of the emulsifiers and fats.....	160
10.4.	Vegetables and fruits.....	160
10.4.1.	Vegetables.....	160
10.4.1.1.	Composition of vegetables.....	160
10.4.1.2.	Flavouring substances	161
10.4.1.3.	Vitamin content of vegetables	162
10.4.1.4.	Plant origin pigments	162
10.4.1.5.	The shelf life of vegetables.....	163
10.5.	Fruits	163
11.	Edible sprouts as functional foods.....	165
11.1.	Significance of sprouts in nutrition	165
11.2.	Biochemical changes during sprouting	165
11.3.	Sprouts enriched by selenium	166
11.3.1.	Utilization of the selenium	166
11.3.2.	Own investigation with regard to the sprouts.....	167
12.	The red wine as functional food.....	169
12.1.	Chemical composition of grape, must and wine	169
12.1.1.	Biochemistry of grape maturation	169
12.1.1.1.	Increase, maturation and over maturation of grape berry	169
12.1.1.2.	Photosynthesis, migration of materials	169
12.1.1.3.	Accumulation of the sugar in the berry	170
12.1.1.4.	Change of the organic acid in the berry.....	170
12.1.1.5.	Change of tartaric acid.....	170
12.1.1.6.	Change of malic acid	171
12.1.1.7.	The inflow of minerals into the berry.....	171
12.1.1.8.	Protein synthesis	171
12.2.	Determination of the maturity.....	171
12.2.1.	Determination the time of vintage.....	171
12.3.	Structure and composition of cluster of grapes	171
12.3.1.	Composition of grape shell.....	172
12.3.2.	Composition of grape seed.....	172
12.3.3.	Composition of berry	172
12.4.	Chemical composition of must.....	172

12.4.1.	Components of must	172
12.4.1.1.	Carbohydrates.....	173
12.4.1.2.	Pectins and gums.....	173
12.4.1.3.	Organic acids.....	173
12.4.1.4.	Nitrogen containing materials	174
12.4.1.5.	Waxes, oils and fats	174
12.4.1.6.	Polyphenols and colouring materials	174
12.4.1.7.	Colouring materials	176
12.4.1.8.	Flavouring substances	177
12.4.1.9.	Vitamins and enzymes in grape, must and wine	178
	Vitamins in grape and wine.....	178
	Enzymes in grape and wine.....	178
12.4.1.10.	Minerals.....	179
12.4.1.11.	Extract content.....	180
12.4.1.12.	Redox potencial, oxidation, reduction.....	180
12.5.	Biochemistry of fermentation	181
12.6.	Chemical composition of wine	182
12.6.1.	Alcohols	183
12.6.2.	Sugars, organic acids, volatile acids, phenolic components	184
12.6.3.	Possibilities of objective determination of the colour of red wines	185
12.6.4.	Nitrogen containing materials of the wine	186
12.6.5.	Pectins and polysaccharides	187
12.6.6.	Aromatic components in wine.....	187
12.6.7.	Polyphenols in aroma production.....	188
12.6.8.	Components causing typical taste failure in wine.....	188
12.6.9.	Vitamins in wine	190
12.7.	Chemistry of wine development	190
12.7.1.	Oxidation-reduction phenomena in wine	190
12.7.2.	Aromatic components produced during storage and maturation of wine.....	191
12.8.	The red wine as functional food.....	191
12.8.1.	The health protection role of wine	191
12.8.2.	Effect of moderate red wine consumption	191
13.	Selected chapters.....	193
13.1.	The role of the vitamins in the diet of elderly people	193
13.1.1.	Fat soluble vitamins.....	193
13.1.1.1.	Macronutrient needs	195
13.1.1.2.	Vitamin needs	196
13.1.1.3.	Vitamin A.....	197
13.1.1.4.	Vitamin D	198
13.1.1.5.	Vitamin E	200
13.1.1.6.	Vitamin K.....	201
13.1.2.	Water soluble vitamins.....	202

13.1.2.1.	Vitamin B ₁	202
13.1.2.2.	Vitamin B ₂	204
13.1.2.3.	Vitamin B ₃	204
13.1.2.4.	Vitamin B ₆	205
13.1.2.5.	Pantothenic acid.....	206
13.1.2.6.	Group of folic acid.....	207
13.1.2.7.	Biotin.....	208
13.1.2.8.	Vitamin B ₁₂	209
13.1.2.9.	Vitamin B ₁₅	210
13.1.2.10.	Vitamin U.....	210
13.1.2.11.	Vitamin C (ascorbic acid).....	211
13.1.3.	Conclusions.....	213
13.2.	Conjugated linoleic acid content of milk and dairy products.....	216
13.2.1.	The factors affecting the conjugated linoleic acid content of milk	216
13.2.1.1.	The definition of conjugated linoleic acid.....	216
13.2.1.2.	The formation of the conjugated linoleic acid content in nature and the possibilities of their chemical production.....	217
13.2.1.3.	The occurrence of conjugated linoleic acids in foodstuffs, and the factors affecting their quantity.....	217
13.2.1.4.	The conjugated linoleic acid content of raw milk.....	218
13.2.1.5.	The factors affecting the conjugated linoleic acid content of raw milk.....	218
13.2.2.	The conjugated linoleic acid content of cheese, butter, dairy products and other foodstuffs.....	224
13.2.2.1.	The conjugated linoleic acid content of other dairy products.....	224
13.2.2.2.	Increasing the level of conjugated linoleic acid in butter.....	225
13.2.2.3.	The factors affecting the level of conjugated linoleic acid in cheese.....	226
13.2.2.4.	The conjugated linoleic acid content of other types of foods.....	228
13.2.3.	The biological effect of conjugated linoleic acids and milk fat; conjugated linoleic acids in the human body.....	230
13.2.3.1.	The biological effect of conjugated linoleic acids.....	230
13.2.3.2.	The effect of milk fat against cancer.....	234
13.2.3.3.	The occurrence and origin of conjugated linoleic acids in human body.....	235
13.2.3.4.	The level of conjugated linoleic acid in human tissues and the nutrition.....	236
13.2.4.	Summary of the conjugated linoleic acids.....	238
13.3.	The structural and quantitative analysis of exopolysaccharides and oligosaccharides produced by lactic acid bacteria.....	240

13.3.1.	Introduction.....	240
13.3.2.	The determination of the quantity and the structure of exopolysaccharides (EPS)	241
13.3.2.1.	The isolation of the EPS-s.....	242
13.3.2.2.	The quantitative determination of the EPS-s.....	245
13.3.2.3.	The determination of the molecular weight of the EPS-s.....	246
13.3.2.4.	The monosaccharides composition of the EPS-s.....	247
13.3.2.5.	The connection points of the monosaccharides.....	249
13.3.2.6.	The configuration of monosaccharides	250
13.3.2.7.	The examination of the phosphorus content of the EPS-s	251
13.3.2.8.	The chemical modification of the EPS-s.....	251
13.3.2.9.	The examination of the structure of monosaccharides by nuclear magnetic resonance spectroscopy	254
13.3.2.10.	The lactose, galactose and glucose content of yogurt	257
	The extraction of carbohydrates from yogurt	257
	The determination of the quality and quantity of carbohydrates with HPLC	257
	The examination of the method.....	257
13.3.3.	The determination of the quantity and composition of the galactooligosaccharides	258
13.3.4.	Summary of the exopolysaccharides and oligosaccharides.....	259
13.4.	Production of protein and lysine enriched bread and biscuit.....	261
13.4.1.	Protein enriched bread making.....	261
13.4.1.1.	Introduction.....	261
13.4.1.2.	The increase of the nutritional value of wheat flour and wheat flour based products	261
13.4.1.3.	Enrichment of the wheat flour with high biological value protein and lysine	262
13.4.1.4.	Physiological effect of the high lysine content of the bread.	263
13.4.1.5.	Protein and amino acid requirements of human.....	264
13.4.1.6.	Production of high lysine content bread with protein supplementation	266
	Compilation of the ingredient of bread and the baking	267
	Determination of the composition of the experimental and control bread.....	267
	Protein and amino acid composition of bread ingredients	268
	The total protein content of the bread.....	269
	Essential amino acid composition of the high protein content and control bread.....	269
	Quantity of hydroxy-methyl-furfural.....	271
	The results of the taste test.....	271
13.4.1.7.	Evaluation and summary of the results	271

13.4.2.	Lysine-enriched bread production.....	272
13.4.2.1.	Compilation of the basic material and the bread baking	273
13.4.2.2.	Total protein content of the bred	273
13.4.2.3.	Lysine content of the bread	273
13.4.2.4.	Quantity of hydroxy-methyl-furfural	274
13.4.2.5.	The results of the taste test.....	274
13.4.2.6.	Conclusions	274
13.4.3.	The production of lysine-enriched biscuits for therapeutic purposes	275
13.4.3.1.	Introduction	275
13.4.3.2.	The absorption and therapeutic effect of lysine in the fight against the HSV.....	275
13.4.3.3.	Production of lysine enriched biscuit.....	276
	The examined product.....	276
	Time and temperature combinations during biscuit production	276
	Total and free amino acid content of lysine enriched biscuit	277
13.4.3.4.	Examination of the absorption of lysine.....	278
	Change of the lysine content of blood serum samples	278
	Change of the arginine content and free lysine/ free arginine ratio of blood serum samples	278
	Change of the antioxidant level of blood serum samples	279
13.4.3.5.	Conclusions	279
Literature	280

Bevezetés

A funkcionális élelmiszerek olyan alkotóelemeket tartalmaznak megfelelő mennyiségben, amelyek pozitívan hatnak az életfunkciókra, hozzájárulnak a betegségek megelőzéséhez, egészségvédő hatást fejtenek ki, összességében pozitív hatással vannak az emberi szervezetre. A funkcionális élelmiszerekben valamely komponensből lehet több, de lehet kevesebb is, ha a kevesebb valamilyen szempontból hasznos a szervezet számára. A funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban meg kell vizsgálni, hogy milyen komponens adjunk az élelmiszerhez, milyen hatást lehet elvárni az ilyen élelmiszertől, mi az a komponens, amitől a hatás várható, és mi lesz a termék, amit a fogyasztó megvásárol. Feltétlenül tisztázni kell a funkcionális élelmiszerek fiziológiás hatását, a fogyasztói elvárásokat a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban, a folyamatokat, melyeknek során funkcionális élelmiszereket készítünk, a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatos élelmiszer-biztonságot és a törvényi szabályozást. Az élelmiszer-előállításban egy olyan új területről van szó, mely technológiájának kidolgozása, hatása, a vásárlók részéről történő elfogadása manapság történik, ezért az előállítók és a fogyasztók együtt irányítják azokat a folyamatokat, melyek pár évtized múlva beépülhetnek a hagyományos élelmiszer-előállítás folyamatába.

Tudomásunk szerint Magyarországon csak mi tartunk kurzusokat egyetemi hallgatóknak e témakörből. A hallgatók részéről igényként fogalmazódott meg az ismeretanyagok összegzése és nyomtatott formában való megjelentetése. A Funkcionális élelmiszerek könyvünk a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar hallgatói számára készült. Reményeink szerint e könyvet a leendő élelmiszermérnökök mind a BSc-, mind az MSc-képzés során hasznosítani tudják, sőt talán a leendő új szakok hallgatóinak is segítségére lesz tanulmányaik során. A könyv megírásakor figyelemmel kellett lenni arra, hogy a tárgyat kevés órában oktatják a hallgatóknak, és a tudásanyagot össze kellett hangolni a szak keretében oktatott egyéb élelmiszer-tudománnyal kapcsolatos ismeretanyaggal is, ezért egy olyan könyvet szerettünk volna írni, amely csak részben érinti a korábban tanultakat, új megközelítéssel tárgyalja az egészséges élelmiszereket, és amelyet a hallgatók több tárgy oktatása során is hasznosítani tudnak.

A könyv nulladik fejezetében, a számozással is jelölve, hogy itt még nem a funkcionális élelmiszerekről van szó, a hallgatók alapozó információkat kapnak az élelmiszerek összetételéről és hasznosulásáról az emberi szervezetben. Itt azokat a legfontosabb élelmiszerekémiai és biokémiai ismereteket foglaljuk össze, amelyek ismerete feltétlenül szükséges a funkcionális élelmiszerekkel foglalkozó fejezetek megértéséhez. A könyv első fejezetében az alapfogalmakat tárgyaljuk, majd a következőben az élelmiszer-kiegészítéssel előállított funkcionális élelmiszerekkel ismerkedhetnek meg a hallgatók. Jelentős részt szenteltünk a tej bioaktív komponenseinek és azok előállításának, majd ehhez a fejezethez szorosan kapcsolódva a prebiotikumokat, a probiotikumokat és a szimbiotikumokat tárgyaljuk. E fejezetben ismertetjük az emberi szervezet mikroflórájának működését, és a működés befolyásolásának lehetőségeit. A következőkben a hús táplálkozásban betöltött szerepével és a szójával, mint az egyik legfontosabb, magas fehérjetartalmú növényi alapanyaggal foglalkozunk. Ismertetjük a szelénnel dúsított élelmiszerek jótékony hatását, és a dúsítás

lehetőségeit. Tárgyaljuk a tojás, a növényi és állati eredetű zsiradékok, a gabonák, a zöldségek és a gyümölcsök, majd a táplálkozási csírák funkcionális élelmiszerek előállításában betöltött szerepét. Végezetül az egyik legkedveltebb élvezeti cikk, a vörösbor előállítása során zajló kémiai-biokémiai folyamatokat és a vörösbor funkcionális, egészségvédő tulajdonságait tárgyaljuk.

A könyvet a válogatott fejezetek rész zárja, melyben a vitaminok szerepéről az idős emberek táplálkozásában, a tej és tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalmáról és az azt befolyásoló tényezőkről, végezetül a tejsavbaktériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok szerkezeti és mennyiségi analiziséről kaphatnak információt az olvasók.

A könyv írása során igyekeztünk a fejezeteket úgy összeállítani, hogy azok kapcsolódjanak az alapismereteket oktató tárgyakhoz, hogy a hallgatók korábbi ismereteiket össze tudják kapcsolni a funkcionalitás fogalmával. A könyv írása során nehéz helyzetben voltunk, mert ugyan a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatos kutatásokról, főként külföldön, sok könyv megjelent, de olyannal nem találkoztunk, amely a graduális képzéshez szükséges módon rendszerezte volna az ismereteket. A szövegben maradt hibák, a hiányosságok kizárólag a szerzők „érdemei”. Kérjük az Olvasókat, szíveskedjenek ezekre a figyelmünket felhívni.

Végül hálás köszönetünket szeretnénk kifejezni lektorainknak, prof. dr. Szakál Pálnak és dr. Sipos Péternek, és a szerkesztőknek lelkiismeretes munkájukért.

Debrecen, 2017. október 1.

DR. ALBERT CSILLA
egyetemi adjunktus

PROF. DR. CSAPÓ JÁNOS
az MTA doktora, egyetemi tanár

Abstract

The functional foods contain such components in appropriate quantity, which have a positive impact on the living functions, contribute to the prevention of diseases, have health care effect, overall they have positive effect on the human body. In the functional foods one of the components can be more, but can be less as well, if some aspects of the less is useful for the body. In relation to functional food it should be tested, what are the components add to the food, what effect can be expected from such a food, what is that component from which the impact is expected, and what will be the food which is bought by consumer. Definitely should be clarified the physiological effects of functional foods, the expectations of the consumers in relation to the functional foods, the processes of technology of functional food making, the food safety related to functional foods, and the legislation. It is about the new area of food production, where nowadays happens the development of the technology, to learn about to impact of it, and the customers acceptance, therefore the producers and the consumers together guide the processes, which a few decades later incorporate into traditional food production.

By our knowledge we are the only ones who have courses from this topic for university students in Hungary. On the part of the students demand was to summarise the knowledge of materials and to publish in printed form. Our book titled Functional foods made for the university students of University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Science and Environmental Management, Institute of Food Technology. It is hoped that this book will help for the prospective food engineers both in BSc and in MSC training, and perhaps the prospective students of new courses during their study. When writing the book attention should be given that the subject is educate only in few hours for the students, and that the knowledge should coordinate to other food sciences related skill are educated in other programs. Therefore we wanted to write such a book, which only partially affected the previously learned knowledge, negotiate healthy foods with a new approach, which the students can utilize during education of other subjects.

In the zero chapter of the book, indicated also with numbers that here the content is not yet about functional foods, the students will be provided with basic information about the composition and utilization of the foods in the human body. Here those most important food-chemical and biochemical knowledge is summarised, which is by all means essential to understand the next chapters dealing with functional foods. In the first part of the book the students can learn about the basic concepts, and then the functional food made by fortification is discussed. A significant part was paid to bioactive compounds of milk and their production, and closely linked to this chapter prebiotics, probiotics and symbiotics are negotiated. In this chapter we discuss the operation of the human microflora, and the possibilities of influencing its operation. In the next part we deal with the role of meat in human nutrition, and with soya, which is one of the most important high protein content plant origin basic food materials. We describe the beneficial effects of selenium enriched foods, and the possibilities of the enrichments. We discuss the role of egg, plant and animal origin lipids, cereals, vegetables and fruits, after the edible sprouts in functional food

production. Finally, we discuss the chemical biochemical processes during the production of one of the most popular drink, the red wine, and the functional, health protection characteristics of the red wine is also evaluated.

The book is closed with the part of the selected of chapters where the readers can get information about the role of vitamins in the diet of the elderly people, about the conjugated linoleic acid content of milk and dairy products and the factors influencing them, and about the structure and quantitative analysis of exopolysaccharides and oligosaccharides produced by the lactic acid bacteria.

During the writing of the book we try to draw up the chapters, that those connect to subject of basic knowledge, that the students can turn together the previous knowledge with the concept of functionality. We were in a difficult situation, because there are many books about the results of research of functional foods, but we are not aware such a book, which organise the knowledge as needed for the undergraduate training. The errors remained in the text, the incompleteness only the merit of authors. We ask the Reader, please draw our attention for these. At last we would like to express our grateful thanks to our lecturers, to Prof. Dr. Szakál Pál, and Dr. Sipos Péter, and to the editors for conscientious work.

Debrecen, 1st of October, 2017.

DR. CSILLA ALBERT
Assistant lecturer

PROF. DR. JÁNOS CSAPÓ
Doctor of the HAS, university professor

A könyv szerzői

Dr. Albert Csilla gyógyszerész 2001-ben végzett a Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Egyetemen. Kétéves gyógyszerészi munka után 2003 végén kezdett el dolgozni a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai Campusán gyakornokként. A Kaposvári Egyetem Doktori Iskolájában szerzett PhD-fokozatot. Jelenleg adjunktus, a biokémia, a toxikológia, a műszeres analitika és a funkcionális élelmiszerek tárgyakból előadást és gyakorlatokat tart környezet- és élelmiszermérnök hallgatóknak. Kutatómunkáját a fehérje- és aminosav-analitika területén fejti ki, az utóbbi időben pedig a D- és L-aminosavak szétválasztásával és meghatározásával foglalkozik.

Dr. Csapó János az MTA doktora, egyetemi tanár, okleveles vegyész, több mint 43 éve foglalkozik élelmiszerek fehérjetartalmának, aminosav-összetételének, újabban D-aminosav-összetételének meghatározásával, a fehérje biológiai értékének mérésével. A vezetésével kidolgozott új analitikai-kémiai módszereket több élelmiszer- és takarmányanalitikai laboratóriumban alkalmazzák. Tudományos munkáját is nagyrészt ezen a területen fejtette ki. A graduális és posztgraduális, valamint a doktori képzésben oktatja a biokémia, az élelmiszer-kémia, a mezőgazdasági kémia, a tej és tejtermékek a táplálkozásban, az élelmiszer- és takarmányfehérjék minősítése, a funkcionális élelmiszerek és az élelmiszer-hamisítás, a PhD-hallgatóknak pedig az állattermék-előállítás biokémiája, az élelmiszer-kémia, a modern módszerek az élelmiszer-analitikában és az élelmiszer- és takarmányanalitika című tárgyakat.

DUPress e-jegyzetek

0. Az élelmiszerek összetétele és hasznosulása a szervezetben

0.1. Az élelmiszerek összetétele

A funkcionális élelmiszerek lényegének megértéséhez tisztában kell lenni a legfontosabb élelmiszer-összetevők tulajdonságaival, amelyek élelmiszereink döntő többségében megtalálhatók. Nem árt tudni azokat a legfontosabb biokémiai folyamatokat sem, melyek során az élelmiszerek szervezetünkben alkotórészeikre bomlanak, majd a bomlástermékekből szervezetünk felépíti saját testünk anyagait. E fejezet első részében nagyon rövid összefoglalás található az élelmiszerek összetételéről, azok legfontosabb tulajdonságairól, a második részben pedig a lebontó és felépítő biokémiai folyamatok kerülnek röviden tárgyalásra.

0.1.1. A víz

A víz kémiai és fizikai tulajdonságainál fogva az **élet legalapvetőbb eleme**, amely az emberi testnek is 60–70%-át teszi ki. A vízmolekulák egymással hidrogénkötésekkel kapcsolódnak, amelyek alapvető szerepet játszanak mind a víz, mind a jég szerkezetének kialakításában. A hidrogénkötések által összetartott asszociátumok a víznek is bizonyos fokú rendezettséget kölcsönöznek. A víz sűrűsége 3,98 °C-on maximális, ami megakadályozza a folyóvizek és a tavak összes vízállományának megfagyását, segítve így a vízi élővilág áttelelését. **Oldáshője és párolgáshője** rendkívül nagy; óriási hőkapacitása miatt meghatározó szerepet tölt be a hőmérséklet szabályozásában. Elektromosság- és hővezető képessége csekély, **dielektromos állandója miatt nagyfrekvenciás térben felmelegíthető**.

A víznek különleges jelentősége van az élőlények szempontjából, hisz a víz egyrészt közege a különféle átalakulási folyamatoknak, másrészt segítője a biológiai szervezetek kialakulásának. Benne oldódnak a különféle szerves és szervetlen molekulák, segítségével alakulnak ki a hidrátburkok és a kristályvíztartalmú vegyületek. A természetes vizek és az ivóvizek jelentős mennyiségű szervetlen iont is tartalmaznak, amelyek közül a Ca^{2+} - és a Mg^{2+} -ionok okozzák a víz keménységét. A víz lágyítása különféle fizikai és kémiai módszerekkel (desztillálás, fordított ozmózis, ioncsere, vegyszerek) megoldható.

A vizet az élelmiszerek kémiaileg, fizikai kémiaileg és mechanikailag köthetik meg. Az élelmiszer-előállítás során rendkívül fontos a szabad és a kötött víz mennyiségének ismerete, a víztartalom-változás, illetve a vízakaktivitás meghatározása, amelyek jelentős hatással vannak az élelmiszerek tárolhatóságára.

0.1.2. Ásványi anyagok

Az ásványi anyagok rendkívül fontos alkotórészei az élelmiszereknek. A legfontosabb **makroelem** a nátrium, kálium, magnézium, kalcium, foszfor, kén és a klór. Az esszenciális **mikroelemek** közé tartozik a vas, fluor, cink, réz, vanádium, mangán, jód, ón, nikkel, molibdén, szelén, króm és a kobalt. A nem esszenciális mikroelemek közé tartozik az alu-

mínium és a bór. A szervezetben rendkívül sokrétű szerepet töltenek be. A makroelemek hozzájárulnak a szervezetünk sav-bázis egyensúlyának fenntartásához, az ozmózisnyomás kialakításához, a gyomorsósav képzéséhez és például a csontjaink és fogaink kellő szilárdságának kialakításához. A mikroelemek részt vesznek szervezetünkben az oxigén szállításában, a redoxpotenciál kialakításában, az oxidációs-redukciós folyamatokban és nagyon sok biokémiai folyamatban enzimek alkotórészeiként, ezért a **hiányuk gyakran társul enzimműködési zavarral**.

0.1.3. Aminosavak, peptidek és fehérjék

Az élővilágban található sok millió fehérje mindössze **húszféle aminosavból épül fel**. Ezek a prolin kivételével közös szerkezeti alapelemet tartalmaznak, az α -szénatomhoz kapcsolódó amino- és karboxilcsoportot, és az α -szénatomhoz kapcsolódik az a rész is, amely az aminosavakat megkülönbözteti egymástól. Ez az R-csoport lehet apoláros, poláros, savas vagy bázikus. **Az aminosavak a glicin kivételével optikailag aktív vegyületek**. Néhány bakteriális eredetűtől eltekintve mind L-konfigurációjúak. Az anyagcsere-folyamatokban keletkezik néhány nem fehérjealkotó aminosav is, és a különféle folyamatok során β -, γ - és δ -aminosavak is szerephez jutnak. Semleges közegben az aminosavak kettős jelleműek, mert mind amino-, mind karboxilcsoportjuk disszociál. Az aromás aminosavak abszorbeálják az ultraibolya fényt, és így a fehérjék mennyiségét spektrofotometriásan meg lehet határozni.

Több aminosav α -karboxil- és α -aminocsoportjai kondenzáció útján összekapcsolódva **polipeptidláncot hoznak létre**. A peptidkötés merev, a peptidláncon belül elfordulásra csak az α -szénatomok körül van lehetőség. A természetben nagyszámú, változatos funkciójú oligo- és polipeptid is előfordul. Ezek néhány aminosavtól 80–100 aminosavig kapcsolódhatnak egymáshoz. Funkciójuk szerint lehetnek antibiotikumok, hormonok, gombamérgek, proteinázinhibitorok és sok más biológiai hatású vegyület. A peptidek nagy része, konfigurációtól függetlenül (az édes L-aszparaginsav dipeptidek kivételével), keserű vagy semleges ízű.

A fehérjék minden biológiai folyamatban kulcsszerepet játszanak, mivel **szinte nincs is olyan biológiai jelenség, amelyben enzimek ne vennének részt**. A fehérjék soksejtű szervezetekben részt vesznek a sejtek közötti kommunikációban és a sejten belüli, illetve kívüli anyagok szállításában. Aktívan közreműködnek a sejtek és a szervezet sajátos morfológiai jellemzőinek kialakításában. Szabályozó tevékenységük útján biztosítják a szervezet és a környezet közötti kapcsolat fenntartását. Speciálisan kialakított fehérjemolekulák teszik lehetővé az élőlények mozgását. Védő szerepet töltenek be a szervezeteket veszélyeztető károsodásokkal szemben.

A fehérjék sokféle funkciójának ellátását szerkezeti felépítésük rendkívüli változatosága teszi lehetővé. **A húszféle aminosavból rendkívül sok aminosavsorrend alakulhat ki**. Tovább növeli a változatosságot, hogy a polipeptidláncok különféle anyagokkal is kapcsolódhatnak. A fehérjék megköthetnek ionokat, kisebb-nagyobb molekulákat, laza kapcsolatokat létesíthetnek lipidekkel, nukleinsavakkal, és kovalensen kötődnek a fehérjék szénhidrát részéhez. A fehérjék funkcionális sokoldalúsága egyrészt abból ered, hogy a húszféle aminosavból rendkívül változatos aminosavsorrendek (elsődleges szerkezet)

alakulhatnak ki, másrészt abból, hogy a **polipeptidláncon belül periodikusan rendezett másodlagos szerkezet (α -hélix, β -redő) és periodicitást nem mutató szakaszok váltakoznak**. Ezek lehetővé teszik, hogy a polipeptidlánc összegombolyodjék (harmadlagos szerkezet), és globuláris fehérjék jöjjenek létre. A polipeptidlánc-gombolyagok egymással asszociálhatnak, negyedleges szerkezetet létrehozva. A polipeptidláncok térben rendezett szerkezetét különféle nem kovalens és diszulfid (másodlagos kovalens) kötések stabilizálják. A háromdimenziós szerkezet kialakulása következtében az oldalláncok között olyan kölcsönhatások létesülhetnek, amelyek eredményeként a tulajdonságok módosulhatnak. A térszerkezet kialakulásához a polipeptidlánc számára nincs szükség extra információra, az az aminosavsorrendből adódóan vizes közegben spontán kialakul.

Egy fehérje jellemzésénél megadjuk a molekulatömeget, oldhatóságát, izoelektromos, izoionos pontját, a poláros fény síkjának forgatását, fényabszorpcióját és kristályosodási hajlamát. A fehérjék kémiai reakciói és kapcsolódásai közül a legfontosabbak a csapadékképző és színreakciók, a fehérje-víz és a fehérje-lipid kapcsolódások. A fehérje denaturációja lehet reverzibilis vagy irreverzibilis, előidézhetik fizikai módszerek, illetve kémiai anyagok. **A funkcionális tulajdonságok közül a leglényegesebbek a hidratációs tulajdonságok, az oldhatóság, a viszkozitás, a gélképződés, a texturálás, az emulgeálóképesség és a habképző tulajdonságok.**

Kémiai összetételük alapján egyszerű, illetve összetett fehérjéket különböztethetünk meg. Az **egyszerű fehérjék** lehetnek protaminok, hisztonok, albuminok, globulinok, prolaminok, glutelinek, vázfehérjék, az összetett fehérjék pedig prosztetikus csoportjuk alapján lehetnek foszoproteinek, mukoproteinek, kromoproteinek, nukleoproteinek és lipoproteinek. A fontosabb természetes fehérjék közé tartoznak az izomfehérjék, plazmafehérjék, légzőfehérjék, tejfehérjék, a tojásfehérje és -sárgája fehérjéi, a vázfehérjék és a különféle növényi fehérjék.

Az élelmiszer-fehérjék feldolgozása és tárolása során bekövetkező átalakulások közül a legjelentősebb a denaturalódás, a különféle fehérje-fehérje kapcsolódások, az oxidáció a szénhidrátokkal, a nem enzimés barnulás, a dehidroalanin és rajta keresztül a lizinoalanin keletkezése, a racemizáció, melynek során **D-konfigurációjú aminosavak** keletkeznek, valamint a fehérjék-lipidek, -polifenolok és -fitinsav bekapcsolódások.

0.1.4. A szénhidrátok

A természetben előforduló szerves anyagok fő tömegét alkotó szénhidrátok alapegységei a **cukrok**, amelyek **3–8 szénatomból felépülő polihidroxi-aldehidek, polihidroxi-ketonok** vagy ezek származékai. Ezek monomer, oligomer és polimer formában fordulnak elő. Az élelmiszerek legnagyobb mennyiségben hexózokat és pentózokat tartalmaznak, amelyek részben szabadon, de nagyobb részben kötött formában vannak jelen. A monoszacharidok legfontosabb reakciói az oxocsoporthoz kötődnek: ezek során cukoroximok, glükaminok, oxidált származékok, glikozidok, észterek keletkezhetnek belőlük, ezenkívül éterek, cukoranhidridek és anhidrocukrok képzésére is képesek, reverzióval víz vesztíthetnek, és végbemehet endiolképződés és izomerizáció is a reakció során.

Savanyú és bázikus közegben átalakulva oligoszacharidok, cukoranhidridek és anhidrocukrok, furán, pirán és ciklopentanon-származékok, endiolok, karbonsavak és hid-

roxikarbonsavak, reduktonok és reakcióra képes hidroxí-oxovegyületek képződhetnek belőlük. A **karamellizáció és a Maillard-reakció során jellegzetes aromájú, barna színű termékek, aromakomponensek és melanoidok képződnek**. A nem enzimés barnulás lehet előnyös és hátrányos is, de a folyamatot minden esetben fehérjevesztés is kíséri.

Élelmiszeripari szempontból a legfontosabb monoszacharidok a pentózok (D-xilóz, L- és D-arabinóz, D-ribóz, D-dezoxi-ribóz) és a hexózok (D-glükóz, D-mannóz, D-galaktóz, D-fruktóz), a legfontosabb monoszacharid-származékok pedig a dezoxicukrok, az aminocukrok, a cukorészterek, a cukoréterek, a cukoralkoholok, a savszármazékok és a glikozidok.

Az egyszerű cukrok egymással **glikozidkötéssel kapcsolódva oligo- és poliszacharidokat alakítanak ki**. A kapcsolódástól függően a diszacharidok lehetnek redukálók és nem redukálók. Legfontosabbak közülük a répa- vagy nádcukor, a maltóz, az izomaltóz, a cellobióz és a tejcukor. A triszacharidok közül említést érdemelnek a raffinóz és a laktóztartalmú triszacharidok.

A **poliszacharidok** olyan, **nagy molekulájú vegyületek**, amelyekben az egyes cukormolekulák glikozidos kötéssel kapcsolódnak egymáshoz, és amelyek savas vagy enzimés hidrolízissel monoszacharidokra bomlanak. A **homopoliszacharidok** azonos, a **heteropoliszacharidok** különböző monoszacharidokból épülnek fel. A glükózpolimerek közül legjelentősebb a **keményítő**, amely az amilóz és amilopektin keveréke, a keményítő különféle származékai (duzzadó, híg folyós, oxidációval módosított keményítő, dextrinek, fehér, sárga és ciklodextrin, keményítőészterek és -éterek, térhálós szerkezetű keményítő), a glikogén, a cellulóz, valamint a cellulóz származékai. A fruktózpolimerek közé tartozik az inulin, a graminin és a leván, a mannánok közé a kódiómannán és a konjakmannán, az uronsavpolimerek közé pedig a pektin és az alginát. Glükózamin-polimer a kitin, míg a kevert poliszacharidok közé a xilán, a hemicellulóz, a pentozán, a xantán, a karragén, az agar és az arab gumi tartozik. A szénhidrát-fehérje származékok közül gyakorlati jelentőséggel bír a heparin, a hialuronsav, a kondroitin és a tojásfehérje-glikoproteinek.

0.1.5. Lipidek

A **lipidek** a szervezetnek csak zsíroldő szerekben oldódó anyagai, amelyek zömükben két feladatot töltenek be a sejtben: energetikai szempontból **igen hatékony raktározott üzemanyagok**, valamint a sejtek és organellumok membránját felépítő anyagok. Kis mennyiségben hormonok, vitaminok stb. formájában jelentős szabályozó funkcióik is vannak.

Az ember szervezete energiakészletének egy részét a glicerinnél és zsírsavakból felépülő triacil-glicerinnél vagy más néven **trigliceridek**, az ún. **neutrális zsírok** alkotják, amelyek tulajdonságai a zsírsavrész hosszától és a benne lévő telítetlen kötések számától függenek. A membránok felépítésében az amfipatikus, poláros lipidek vesznek részt, amelyek glicerinnél kötött két zsírsavláncot, a harmadik alkoholos hidroxilhoz kapcsolódó foszforsavrésszel és az ehhez kapcsolódó egyéb alkotórészt tartalmaznak. Az idegrendszerben másféle poláros lipidek (pl. szfingolipidek) is találhatóak.

A lipidek külön csoportját képezik a terpének és a belőlük származtatható sokféle vegyület. Ezek között találhatóak vitaminhatásúak, kofaktorként működők, és izoprénből vezethető le az élővilágban igen változatos szerepet játszó szteránvázas vegyületek nagy

csoportja is. A lipidek fehérjékkel alkotott komplexei a lipoproteinek; felépítésük függ a szervezet tápláltságától és a transzportfeladatoktól. A membránok lényegében lipidekből és fehérjékből épülnek fel, meghatározva a sejt és környezete közötti szelektív kapcsolatokat, valamint a sejt alakját és integritását.

A zsírok kémiai reakciói közül kiemelésre érdemes az észterkötés hidrolízise, a lipidoxidáció, az avasodás, valamint a hőhatásra bekövetkező dimerizációs és polimerizációs átalakulások. A természetes zsíradékok közül legfontosabbak a tejszíradékok, a sertészsír, a marhafaggyú, a baromfiszír és a növényi eredetű olajok, amelyek keményítésével különféle étkezési margarínokat állítanak elő.

0.1.6. Enzimek

A biológiai munkavégzés csak a kémiai energiát képes hasznosítani, mert a folyamatok állandó hőmérsékleten, nyomáson és térfogaton játszódnak le. **A biológiai rendszerekre a termodinamika törvényei ugyanúgy érvényesek, mint az élettelen környezetre**, ezért az átalakulási folyamatok irányát elsődlegesen a szabadenergia-változás határozza meg.

A szervezet gyors válaszát a környezet megváltozására az igen gyorsan lejátszódó reakciók teszik lehetővé. A gyors folyamatok a sejtekben uralkodó körülmények között csak igen hatékony katalizátorok, az **enzimek közreműködésével** valósulhatnak meg. Ezek a folyamatok sebességük jelentős növelését **az aktiválási energia csökkentésével érik el**. A legegyszerűbb esetben a folyamat sebessége a résztvevő komponensek koncentrációjától, a hőmérséklettől, a közeg pH-jától és ionok jelenlététől függ.

Az enzimreakciókat különféle anyagok **irreverzibilisen vagy reverzibilisen gátolhatják**. Az irreverzibilisen gátló anyagok kovalens kötést alakítanak ki az enzimműködésben közvetlenül részt vevő valamelyik funkciós csoporttal, amely rendszerint aminosav-oldallánc. A reverzibilis gátlásnak kompetitív és nem kompetitív típusa ismert; kompetitív gátlás esetén az inhibitor a szubsztrát szerkezetéhez hasonló felépítésű anyag, az enzim aktív centrumában kötődik. Ilyenkor a gátlás mértéke a szubsztrát és az inhibitor mennyiségének arányától függ. Nagy szubsztrátkoncentráció csökkenti vagy felfüggeszti a gátlást. Nem kompetitív gátlás esetén a szubsztrátkoncentráció nincs hatással a gátlás mértékére. Néhány esetben a nagy szubsztrát- vagy termék koncentráció is gátolhatja az enzim működését.

Az enzimek működésére **nagy fokú specificitás jellemző**, ami azt jelenti, hogy egy enzim csak adott típusú kémiai átalakulást katalizál (funkcionális specificitás), de ezt az átalakítást is csak egy vagy kevés számú, meghatározott szerkezetű anyag részvételével végzi (szubsztrátspecificitás).

Az enzimek specifikus működését és szubsztrátjaikkal létesített szelektív reakcióját a fehérje sajátosan kialakított szerkezete határozza meg. **A katalízis** a nagy molekulatömegű enzimek csak aránylag kis területén, az ún. **aktív centrumokban folyik**, amely két funkcionális részből áll: a **katalitikus centrumból**, amely a kémiai átalakulás típusát határozza meg, és a **kötőhelyből**, amely az átalakítandó anyag kémiai szerkezetével függ össze. A katalitikus mechanizmust illetően – mivel a különféle enzim katalizálta reakciók mechanizmusa igen különböző – különféle hipotézisekre vagyunk utalva. Szerin-proteinázok esetén a katalitikus képességet elektrosztatikus kölcsönhatások által létrehozott töltésrelérendszer

valósítja meg. Elektrosztatikus hatáson alapul a karboxipeptidáz működése is, míg a glikozidkötés lizozim által katalizált bontásában jelentős hatása van a szubsztrátszerkezet mechanikus torzulásának is.

Az enzimműködés hatékonyságát befolyásolja az is, hogy az azonos tulajdonságú vagy különféle funkciójú polipeptidláncok nagyobb egységekké aggregáljanak. A peptidláncok egyesülése révén kooperativitás alakulhat ki, ami működésüket pozitív vagy negatív irányban befolyásolhatja. Egymást követő lépéseket katalizáló enzimekből kialakulhatnak **enzimkomplexek** is, amelyek a channelling effektus révén **jelentékenyen növelhetik működésük hatékonyságát**.

Bizonyos enzimek működése szabályozható, amely szabályozásnak többféle típusa érvényesül a sejtekben. Az alegységek kooperativitásán alapul az **alloszterikus szabályozás**, ami elsősorban a többlépéses folyamatsorok működését határozza meg, és biztosítja, hogy az anyag- és energiafelhasználás a sejtekben gazdaságosan folyjék. Hatása a **feed-back típusú reguláció** révén gyakorlatilag minden anyagcsere-folyamatban érvényesül.

A biológiailag hatékony anyagok egy része, így bizonyos enzimek is, inaktív **előalakban keletkeznek**, majd a működés helyére érve néhány kovalens kötés felhasadása után működőképessé válnak. Ilyenek pl. a pankréász proteolitikus enzimjei, a polipeptidhormonok és számos egyéb fehérje is. A folyamat irreverzibilis, az aktivált alakok működésének felüggesztésére a **proteinázinhibitorok** szolgálnak.

Működik a sejtekben reverzibilis szabályozási rendszer is, amely különféle anyagcsere-folyamatok sebességét növeli vagy csökkenti, miáltal meghatározza az egyes anyagcsere-folyamatok intenzitását.

0.1.7. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek

Az **oxidoreduktázok** hidrogén- vagy elektronátvitelt és oxigénbevitt katalizáló enzimek, amelyek elsősorban az **energiafelszabadító folyamatokban vesznek részt**. Közéjük tartoznak a piridinenzimek, a flavinenzimek, a heminenzimek és az oxigenázok.

A **transzferázok** különböző atomcsoportok, gyökök átvitelét katalizálják a szubsztrátból egy másik molekulára. Az átvitt csoport lehet foszfátgyök, szulfátgyök, metilgyök, cukorrész, aminocsoport, nukleotidrész és más egyéb vegyület is. Fontos szerepet töltenek be az erjedési folyamatokban, a gyümölcsérésben és az aromaképződésben. Legfontosabb transzferázok a foszfortranszferázok, a glikozil-transzferázok és az aminosztransferázok.

A **hidrolázok** szubsztrátjuk kovalens kötéseit víz segítségével reverzibilis reakciókban bontják, ennek ellenére a hidrolázok főként a lebontási folyamatokban vesznek részt. Élelmiszer-tudományi szempontból legfontosabb hidrolázok az észterázok, a glikozidázok, a proteázok, az amidázok, az amidinázok és a savanhidrid hidrolázok.

A **liázok** C–C, C–O, C–N kötéseket bontanak nem hidrolízissel és nem redoxfolyamat-tal, amelynek következtében a reakciótermékek egyike mindig kettős kötést tartalmaz. A telítetlen szubsztrátokba is képesek atomcsoportokat beépíteni; szerepük van a biológiailag aktív vegyületek szintézisében és az intermedier anyagcserében.

Az **izomerázok** a szubsztrát összetételének megváltoztatása nélkül a molekulán belüli szerkezetváltozást katalizálják. Az izomerizáció típusa alapján ismerünk racemázokat és epimerázokat, cisz-transz izomerázokat, intramolekuláris oxidoreduktázokat, -transz-

ferázokat, -liázokat és egyéb liázokat, amely enzimek az átvitt csoport kémiai jellegében, illetve szubsztrátösszetételében különböznek egymástól. Élelmiszeripari szempontból közülük a cukorizomerázok a legjelentősebbek.

A **ligázok** két molekula összekapcsolódását katalizálják, ATP vagy más nukleozid-trifoszfátok energiájának felhasználásával. Az élő sejtekben lejátszódó anyagcsere kulcsenzimek, amelyek minden, energiát igénylő szintézis katalízisében részt vesznek. A létesített kötéstípus alapján lehetnek C–O, C–S, C–N és C–C-kötést és foszfátésztereket létesítő enzimek.

0.1.8. Mérgező anyagok

A mérgek az emberi szervezetre már kis adagban is ártalmasak, átmenetileg vagy tartósan **kóros állapotot alakítanak ki**, és súlyos esetben halált is okozhatnak. A mérgező anyagok a nyersanyagok természetes alkotórészeiként, mikroorganizmusok toxinjaiként, növényvédőszer-maradékként, technikai vagy környezeti szennyezésként juthatnak a tápcsatornába, a bőrfelületen vagy légutakon keresztül a szervezetbe.

A természetes mérgek kémiai szerkezetük alapján lehetnek **alkaloidok, aminosav-származékok, illóolajok és antinutritív anyagok**. Ezen utóbbiak nem közvetlenül mérgező hatásúak, de rendszeresen bejutva a szervezetbe, kóros elváltozásokat okozhatnak. A mérgező alkaloidok közül legismertebbek a ricinin, a lupin-alkaloidok, továbbá a gombamérgek (muszkarin, iboténsav, muszcimol), és az utóbbi években pszichotróp hatású gombaalkaloidokat is felfedeztek. A mérgező aminosav-származékok közül legjelentősebbek a fallo- és amatoxinok, a lektinek és a fazin. A mérgező glikozidok lehetnek ciántartalmúak (amigdalin, fazeolunatin), szteránvázások (szolanin, tomatin, szaponin) és mustárolaj glikozidok (szinigrin, szinalbin). A mérgező illóolaj-komponensek legjellegzetesebb képviselői a szafrol, a miriszticin és a kumarin. Az antinutritív anyagok közül a tripszin- és a kimotripszininhibitorok, a fitinsav, az α -galaktozil-oligoszacharoidok, a vicin és a konvicin, a cseranyagok és a fitoösztrogének bírnak gyakorlati jelentőséggel.

A mikroorganizmusok által termelt mérgek lehetnek **baktériumtoxinok és mikotoxinok**. A baktériumtoxinok által okozott élelmiszer-mérgezések közül legsúlyosabb a **botulizmus** és a **sztafilokokkuszos ételmérgezés**, gyakran előfordul a szalmonellás ételfertőzés, és a biogén-aminok is súlyos egészségkárosodást okozhatnak.

A **mikotoxinok** közül hazánkban legnagyobb jelentőséggel a Fusariumok által termelt **zearalenon- és trichotecén-mikotoxinok** bírnak, de súlyos mérgezést okozhatnak az aflatoxinok, az ochratoxinok és a patulin, valamint egyes neurotoxinok, amely utóbbiak bénítólag hatnak a központi idegrendszerre.

A peszticidek egy része a táplálkozási láncsal eljuthat az emberi szervezetbe is, ahol mérgező hatást fejthet ki. Az inszekticidek közül legveszélyesebbek a **klórozott szénhidrogének**, a szerves foszforvegyületek, a fenol-észterek és a foszfitszármazékok. A fungicidek közül a ditiolkarbamátok és a ftálimidek veszélyesek, a herbicidek pedig jobbra csak keletlen szagot és ízt okoznak az élelmiszer-ipari feldolgozás során. Az állattenyésztési és gyógyászati maradékok közül veszélyesek lehetnek az antibiotikum-maradványok, amelyek a rezisztencia kialakulását segíthetik elő, és a hormonhatású anyagok, amelyek megzavarhatják az emberi szervezet hormonháztartását.

Az előzőeken túl jelentőséggel bírhatnak még a **környezetből eredő toxikus fémszennyeződések**, a műanyagokból kioldódó mérgek és a szennyezett természeti környezet ártalmas komponensei. A fémszennyeződések közül legjelentősebb az ólom, a kadmium és a higany, amely utóbbi főleg szerves higanyvegyületek formájában kerül az élelmiszerbe. A csomagolásra használt műanyagból mérgező monomerek, stabilizálók és töltőanyagok oldódhatnak ki. A szennyezett környezetből **policiklikus aromás szénhidrogének**, nitrózaminok, poliklórozott-bifenilek kerülhetnek élelmiszereinkbe, és környezetünk különböző sugárzásai is nemkívánatos elváltozásokat okozhatnak.

0.1.9. Természetes színezékek

A természetben előforduló növényi és állati szervezetek színét adó vegyületek a színezőanyagok. A **karotinoid színezékek** a magasabb rendű növények lipidjeiben oldva előforduló sárga, narancssárga, vöröses és ibolyás színt adó vegyületek. Legtöbbjük izoprénből levezethető, 40 szénatomos vegyület, amelyekre jellemző a konjugált kettős kötés és a transz konfiguráció. A **kinonszármazékok** közül legelterjedtebbek a benzo-kinonok és a naftokinonok, amelyek narancs- és vörös színű anyagok.

A magasabb rendű növényekben megtalálható **flavonoidok** szintelen, sárga, narancssárga, piros, ibolya és kék színhatású vegyületek. A **pirrolszínezékek** közül a gyűrűs tetrapirrol-származékok a legjelentősebbek, amelyek a sárga, a vörös, a zöld és a kék szín kialakításához járulnak hozzá. A legismertebb e csoportba tartozó vegyületek a **hemoglobin** és a **mioglobin**, valamint a **forbinvázis vegyületek** csoportjába tartozó klorofill és származékai. Az egyéb természetes színezékek közül említést érdemelnek a melaninok, a betalainok, a betaxantin, a betacianin, valamint a tanninok.

0.1.10. Íz- és aromaanyagok

Az íz- és a szagérzet folyadék, illetve gáz állapotú anyagok által az idegvégződésekben kifejtett ingerek agyközpontban létrejött tudata, amelyek együttes észlelését zamatnak hívjuk. Az édes ízhatást olyan vegyületek okozzák, amelyekben egy hidrogénkötést létesítő proton és egy attól 0,3 nm távolságban lévő elektronegatív, kovalensen kötődő atom található. A természetes édesítőanyagok közé tartoznak a mono- és diszacharidok, a cukoralkoholok, a triterpének és a mesterséges édesítőszer. Az édes ízhatást az édességi fokkal, a molekuláris édességi fokkal és az édességi egységgel lehet kifejezni.

Az élelmiszerekben előforduló **keserű ízanyag** a kreatin, a kinin alkaloidok, a koffein, a teobromin, a humulon, a lupulon, a limonin és a naringin. A sók keserűségét a molekula nagysága okozza, hisz a kisebb ionátméretű nátrium- és lítiumionok **tiszta sós ízt** adnak. A **savanyú ízhatás** a citromsavnak, a tejsavnak és az ecetsavnak köszönhető. **Fanyar ízüek** a tanninokat, a depszideket, a klorogénsavat, gallotanninokat, az ellagén cserzőanyagokat és a katechineket tartalmazó élelmiszerek. **Csípős ízhatást** a fűszerek, hűsítő hatást pedig a (-)-mentol és a kámfor típusú anyagok okoznak. Az ízeket az ízfokozó és az ízhatást befolyásoló anyagok módosíthatják, és az ipari feldolgozás során is különféle zamatanyagok alakulhatnak ki.

Az **aroma- vagy illatanyagok** az élelmiszerek szagérzetét keltő vegyületek. Ilyen anyagok lehetnek az Allium-félék, a keresztes- és ernyősvirágzatúak kéntartalmú illóanyagai,

valamint a zsírsavak enzimes bontása után, a hosszú szénláncú zsírsavak β -oxidációjánál és az acilglicerinek hidrolízisének keletkező anyagok. Keletkezhetnek ezentúl illatanyagok elágazó oldalláncú aminosavakból, homo- és heterofermentatív baktériumok segítségével, autooxidációs folyamatok, valamint hőkezelés hatására is, és speciális illóanyagokkal rendelkezhetnek a különböző állatfajok (birka, hal) testszövetei is.

0.1.11. A vitaminok

A vitaminok olyan, természetes szerves vegyületek, amelyeket különböző külső forrásból kis mennyiségben meg kell szerezni ahhoz, hogy a szervezet **anyagcseréje, energiaforgalma és megújítása** zavartalan legyen. A vitaminok, nevüktől eltérően, nemcsak aminok, hanem egészen eltérő felépítésű vegyületek is lehetnek. A C-vitamin és a biotin kivételével többségük kisebb-nagyobb kémiai átalakulás után nyeri el funkcióképes alakját.

A vitaminok hatása azon alapul, hogy **katalizáló- vagy szabályzóanyagokként bekapcsolódnak az életfolyamatokba**, részben fehérjéhez kötődve enzimeként (prosztetikus vitaminok), részben egyéb, még nem tisztázott módon (induktív vitaminok). Oldódásuk alapján megkülönböztetünk zsírolható és vízoldható vitaminokat, és ismerünk még provitaminokat és antivitaminokat is.

Mai tudásunk szerint a **zsírolható vitaminok egyes fehérjék bioszintézisét szabályozzák**. Mivel a szervezet tárolni képes őket, ezért velük kapcsolatos avitaminózis ritkán fordul elő. A zsírolható vitaminok közül az A-, E- és K-vitamin részben vagy teljesen izoprén egységekből épül fel, a D-vitamin viszont a szteránvázis vegyületek csoportjába tartozik.

A **vízben oldható vitaminok** (B_1 -, B_2 -, B_6 -, B_{12} -, B_{15} -vitamin, nikotinsav, folsav, pantoténsav, biotin, C-, P- és U-vitamin) feleslegét a szervezet a vizelettel kiválasztja, ezért ezeket a táplálékkal rendszeresen fel kell venni. Biokémiai szempontból jellemző rájuk, hogy a biológiai oxidációt katalizáló enzimek koenzimjei vagy azok alkotórészei. **Nincsenek provitaminjaik**, és a velük kapcsolatos hiánytünetek gyorsan lépnek fel.

0.1.12. Egyéb szerves vegyületek az élelmiszerekben

Az élelmiszerek kis mennyiségben olyan vegyületeket is tartalmaznak, amelyek részt vesznek az íz- és illatanyagok kialakításában, befolyásolják az eltarthatóságot, és speciális élettani hatással is rendelkezhetnek. Ilyen vegyületek az **alkoholok, a fenolok, a fenol-éterek, a fenol-alkoholok, az oxovegyületek, a szerves savak és származékaik, az illóolajok és az alkaloidok**. Az egyértékű alifás alkoholok közül legnagyobb jelentőségű az etil-alkohol, amely alkoholtartalmú italaink legfontosabb komponense. A metil-alkohol rendkívül mérgező, a propil-, a butil- és a nagyobb tagszámú alifás alkoholok szabad és észterformában is előfordulhatnak az élelmiszerekben.

A többértékű alifás alkoholok közül az etilén-glikol mérgező, a glicerint viszont széles körben alkalmazzák. Az **aromás alkoholok** közül ismertebb a benzil-alkohol, β -fenil-etil-alkohol és a fahéjalkohol. A **fenolok, a fenol-éterek és a fenol-alkoholok** közül a fenol, krezol, etil-fenol, vinil-fenol, karvakrol, timol, anizol és az anetol jelentős aroma-, illat- és antiszeptikus hatású. A kétértékű fenolok és származékaik (pirokatechin, rezorcin, hidrokinnon, gvajakol, eugenol, izoeugenol) színyanyagok képzésében vesznek részt, és emellett illatanyag-komponensek, antioxidáns és fertőtlenítő hatásúak is.

Az **aldehidek** jellemző illatuk révén a különböző élelmiszerek aromaanyagainak összetevői, és résztvevői a nem enzimes barnulási folyamatoknak is. Az alifás, telített aldehidek ismertebb képviselője a formaldehid, acetaldehid, propionaldehid, butiraldehid, és számos nagyobb szénatomszámú aldehid is szereppel bír az íz- és aromaanyagok kialakításában. Az előzőeken kívül jelentősek még a hidroxil-, a telítetlen és az aromás aldehidek is. A **ketonok** (aceton, acetoin, diacetil, acetofenon, maltol stb.) jellegzetes, de nem kellemetlen illatú vegyületek. A **szerves savak** az íz- és illatanyagok kialakításában, a pH-szabályozásban és a mikrobák elleni védelemben játszanak szerepet. Legfontosabb képviselőik az ecetsav, propionsav, vajsav, tejsav, borkősav és a citromsav. Az észterek fontos aromakomponensek, hisz kis szénatomszámú képviselőik (etil-formiát, metil-formiát, etil-, propil-, butil-, pentil-, hexil-acetát) gyümölcscillatúak. A **laktonok** is jelentős élelmiszeraroma-komponensek.

Az **illóolajok** különböző kémiai szerkezetű vegyületek elegyei, amelyek íz- és aromakomponensek, gyógyító és baktericid hatásúak, de lehetnek köztük mérgezőek is. Az illóolaj-összetevők több mint 90%-a a terpének közé tartozik. Az egyéb komponensek fenol- és kumarinszármazékok, alifás és heterociklusos vegyületek lehetnek.

Az **alkaloidok** a növényekben található, erős élettani hatású, nitrogéntartalmú, bázikus tulajdonságú, többnyire heterociklusos vegyületek, amelyek jelentős mértékben befolyásolják az agy különböző központjainak működését. A **purinvázis alkaloidok** közül legismertebb a xantin és a koffein, a teobromin és a teofillin, a kondenzált piridingyűrűs alkaloidok közül a morfin, heroin, kodein, papaverin és a kinin. A **piridinvázis alkaloidok** közül a nikotin, normikotin, anabazin, nikotinin és a nikotellin, az indolvázis alkaloidok közül pedig az LSD-néven ismert lizergsav-dietilamid a legismertebb.

0.1.13. Tartósítószer, antioxidánsok, ízesítőanyagok, mesterséges színezékek, állományjavító anyagok és tápértéket növelő anyagok

A tartósítószer az élesztők, a penészek és a baktériumok életműködését már kis koncentrációban is gátolják. Adszorpcióval megkötődnek a mikroorganizmus felszínén, majd a sejtmembránon áthaladva a **protoplaszma enzimfehérjéit módosítják**, megzavarva a mikroba anyagcseréjét. A legfontosabb szerves tartósítószer a kén-dioxid, a kénessav, a kénessavas sók, valamint a piroszulfid. A szerves tartósítószer közül a legismertebb a hangyasav, propionsav, szorbinsav, benzoésav, a p-hidroxi-benzoésav és észterei, a szalicilsav, a piroszénsavas észterek, a difenil és o-fenil-fenol. Tartósításra használhatók ezenkívül még bizonyos antibiotikumok és fitoncidok is.

Az **antioxidánsok** az oxidációt katalizáló fémnyomok megkötésével, valamint a zsíradék oxidációjának gátlásával megakadályozzák annak romlását. Az antioxidánsok egyrészt megkötik a romlást előidéző szabad gyököket, másrészt a peroxidokat hidroxivegyületekké redukálják. A legfontosabb **természetes antioxidánsok** a tokoferolok, a karotinoidok és az aszkorbinsav; a mesterséges antioxidánsok közül legjelentősebbek a galluszsav észterei és a fenolos antioxidánsok (BHA, BHT).

Az ízesítő és zamatosító alkotórészek javítják egyes élelmiszerek élvezeti értékét, növelik az élelmiszer eredeti íz- és aromakészletét, esetleg átformálják azt. A szénhidrátalapú, édes ízű adalékok mellett egyre nagyobb szerepük van az energiamentes természetes és

mesterséges édesítőszereknek. A sós ízt okozó nátrium-klorid kiváltására csökkentett nátriumion-tartalmú anyagokat hoznak forgalomba. A keserű ízű vegyületek az alkaloidok, a glikozidok és a cserzőanyagok, a savanyú íz pedig a hidrogénion és a disszociálatlan sav együttes koncentrációjának függvénye. A fűszerek adják ételünk jellegzetes ízét és zamatát, amelyek nélkül ma már az élelmiszerek elképzelhetetlenek.

A mesterséges **színezékeket** a feldolgozás során, illetve a termék tárolása alatt fellépő **színvesztések ellensúlyozására használják**. Olyan, a fogyasztó számára teljesen közömbös anyagok tartoznak e csoportba, amelyek segítségével a színskála bármelyik színét elő lehet állítani.

A nagy víztartalmú anyagok konzisztenciájának fenntartására, a nagy zsírtartalmú rendszerek stabilizálására állományjavító anyagokat használunk, amelyek lehetnek szénhidrát- és fehérjealapú gélképzők, szervesetlen állományjavító anyagok és emulgeátorok. A szénhidrátalapú gélképzők közül a pektin, az agar, az alginátok, a keményítő és származékai, valamint a cellulózzármazékok a legfontosabbak. A legismertebb fehérjealapú gélképző a **zselatin**, a kazein és a **szójafehérje**. Szervesetlen állományjavító a konyhasó és a polifoszfátok, míg az emulgeátorok közül természetes eredetű a lecitin és a kefalín, valamint a mesterségesen előállított mono- és digliceridek, a laktil-tejsav-, a cukor- és a szorbitán-észterek használatosak az élelmiszer-előállítás folyamán.

0.2. Az élelmiszerek hasznosulása a szervezetben

0.2.1. Anyagcsere, trikarbonsavciklus, energiatranszformáció és -tárolás

0.2.1.1. Az anyagcsere

Az élt az ételtől elsődlegesen az **entrópiaellenes tendencia különbözteti meg**; ezt a képességet a környezetből felvett és az életfolyamatok igényeinek megfelelően átalakított energia biztosítja. Az élőlények többsége számára elsődleges energiaforrás a Nap sugárzó energiája, amelynek segítségével a növények képesek a szerves anyagokat szerves biomolekulákká átalakítani. Az **emberek a biomolekulákban tárolt kémiai energiát szabadítják fel**, az anyag- és energiaforgalom folyamán. A felhasználásig az energia zömét nukleotid-trifoszfátok, elsősorban ATP alakjában tárolják.

Biológiai munkavégzés csak a kémiai energiát képes hasznosítani, mert a folyamatok állandó hőmérsékleten, nyomáson és térfogaton játszódnak le. **Az emberre a termodinamika törvényei ugyanúgy érvényesek, mint az élettelen környezetre**, ezért az átalakulási folyamatok irányát elsődlegesen a szabadenergia-változás határozza meg.

Az élő szervezetekre jellemző, hogy aránylag kevés anyagot használnak fel szervezük bonyolultabb molekulái felépítésére, közös az élővilágban a **folyamatok energiaigényét kielégítő energiavaluta, az ATP**, de sok a hasonlóság a katabolikus és az anabolikus anyagcsere-folyamatokban is. Igen jelentős tényező az, hogy a sejtekben **biokatalizátorok**, enzimek segítségével zajlanak az átalakulási folyamatok; így olyan átalakulások is végbe-mehetnek, amelyek a sejtekben lévő viszonyok között nem vagy rendkívül lassan játszódnának le. Az enzimek egy részének működését különféle hatások szabályozhatják, ami a

különbéle anyag- és energiaátalakulási folyamatok és az egész szervezet rendkívül érzékeny és hatékony szabályozását teszi lehetővé.

Az anyagcsere két nagyobb anyagáramlási folyamatra osztható: **a katabolikus energia-termelő és az anabolikus energiát igénylő** irányokra. A sejtek szervezettsége folytán e két anyagáramlási folyamat között **dinamikus egyensúly áll fenn**, ami biztosítja az anyag- és energiaáramlás biológiai ökonómiáját, kielégíti a mozgás és transzportfolyamatok energia-igényét, és megfelelő arányban táplálja a szervezet anyagainak felépítését szolgáló anabolikus folyamatokat.

A lebontó és felépítő folyamatok rendszerint teljesen vagy részben a sejtek különféle kompartmentjeiben folynak, hogy egymás hatékonyságát hátrányosan ne befolyásolják. Hasonló biztosítékot jelentenek egy-egy folyamatsorban a sejt körülményei között irreverzibilisen lejártszódo reakciók. Ezek az ellentétes útvonalon kerülőt kénytelenek tenni, más lépések és enzimek közreműködésével.

0.2.1.2. A trikarbonsavciklus

A tápanyagok katabolikus lebontása folyamán a vegyületek szén- és hidrogéntartalmának legnagyobb része a **trikarbonsavciklusba áramlik**. Itt nagyobb részük tovább bomlik szén-dioxiddá, **hidrogéntartalmuk pedig a NAD^+ és a FAD közvetítésével bekapcsolódik a terminális oxidáció energiatermelő folyamataiba**, ahol vízre alakul. A tápanyagok másik része a ciklus valamelyik intermediereként **anabolikus irányban folytatja útját**, és a sejt építőelemeinek prekursoraként biomolekulák felépítésében vesz részt. E kettősség miatt nevezzük a **trikarbonsav ciklust az anyagcsere amfibolikus szintjének**.

A **ciklus folyamatos működését az AcCoA molekulák táplálják**, melyek származhatnak a glikolízis végtermékeként keletkező piruváttól, de ez a terméke a zsírsavak oxidációjának, valamint egyes aminosavak, a pirimidinbázisok és más egyéb vegyületek átalakulásának is. **A citrátkör kapacitását az oxalacetát határozza meg**, ugyanis az AcCoA az oxalacetáttal képezi a folyamatsor nevét adó citrátot. A citrát **akonitáz** hatására aszimmetrikus felépítésű lesz, majd ezt követően két komplex működésű **dehidrogenáz** hatására dekarboxilálódik, két szén-dioxidot veszít, miközben **2 $\text{NADH} + \text{H}^+$ -t szolgáltat a terminális oxidáció számára**. Ezt követően a dikarbonsavak alakulnak át, melynek első résztvevője a szukcinil-CoA, amelynek nagy energiájú kötésében lévő energiát a GTP átalakulás konzerválja. Ez a folyamat a szubsztrát szintű foszforilálás.

A szukcinát dehidrogénezés, hidratálás és újabb dehidrogénezés útján alakul át oxalacetáttá, ami újabb AcCoA -val kapcsolódva egy újabb ciklust indít be. A dikarbonsav szakaszban egy $\text{NADH} + \text{H}^+$ és egy FADH keletkezik.

A citrátkör sokoldalúan és igen hatékonyan szabályozott, termékei a kapcsolódó folyamatsorok számára pozitív vagy negatív modulátorok. A citrátkör zavartalan működését kiegészítő folyamatok is támogatják, melyek feladata az, hogy fenntartsák a mitokondriumokban az oxalacetát szükséges koncentrációját.

0.2.1.3. Az energiatermesztés és -tárolás

A sejtek energiaigényének kielégítésére alkalmas energia nagy része nagy energiájú foszfát-kötés formájában az ATP -ben raktározódik a sejtekben, függetlenül az energia származ-

zásától (légzésindukált, fényindukált folyamatok vagy kemoszintézis). A terminális oxidáció üzemanyaga a hidrogén, amelyet a különféle katabolikus folyamatok a metabolitok hidrogénjének hidrogénátvivőkre (NAD, FAD, FMN) való áttevésével, hidrogénpool kialakításával tesznek lehetővé. A negatívabb standard redoxpotenciálú, a nagyobb elektronvesztési tendenciával rendelkező anyagok a folyamat során pozitívabb, nagyobb elektronfelvételi tendenciájú vegyületekkel találkoznak, és a **potenciálkülönbségből adódó energia az oxidáció során kémiai energiává alakul át**. A standard redoxpotenciálokat figyelembe véve a hidrogénpoolból az oxigén belépéséig 1,2 V a potenciálgradiens értéke. **Az oxidációból származó energia fokozatosan, több lépésben szabadul fel és alakul át kémiai energiává**, mely négy oxidációs komplex közreműködésével valósul meg. Az egymást követő lépések sorrendje szigorúan megszabott, iránya a negatívabbtól a pozitívabb redoxpotenciál felé tart. A folyamatban két szakasz különböztethető meg, a protontranszfer (dehidrogenázok, CoQ segítségével) és az elektrontranszfer (a citokrómok segítségével). **A terminális oxidációval párhuzamosan folyik az oxidatív foszforilálás**, melynek során a lánc három helyén történik olyan szabadenergia-változás, amely egy-egy foszfát ADP-be való beépítéséhez elegendő.

A mitokondrium belső membránjában a terminális oxidációs folyamat résztvevői sztöchiometrikus arányban, működésüknek megfelelő sorrendben helyezkednek el. Az oxidatív foszforilálás a mitokondrium belső membránjában, nagyjából annak belső felületén folyik. Itt található **az ATP szintézist katalizáló komplex felépítésű ATP-áz**. Az energiatranszformáció eredményességének feltétele a mitokondriumok ép volta. Az energiatranszformáció mechanizmusát magyarázó elméletek közül a kémiai kapcsolási hipotézis köztes hordozóanyag közreműködését feltételezi. Ismert olyan elképzelés is, mely a mitokondriumok térfogatváltozásával magyarázza az energiaátalakulást. Leginkább elfogadott a kemiozmózis-hipotézis, amely szerint a mitokondrium elektrontranszportlánc az ATP-szintézissel proton-elektron kémiai potenciál révén kapcsolódik az energiatranszformáló membránban.

0.2.2. Szénhidrátok

0.2.2.1. A szénhidrátok lebontása

Az élő sejt elsődleges kémiai energiaforrása a glükóz; a benne lévő kémiai energia felszabadításának **első, anaerob szakasza a glikolízis**, a végső lépésektől eltekintve minden sejtben azonos úton valósul meg. Végtermékként az intenzív oxidációs tevékenységet folytató sejtekben piruvát és NADH + H⁺, oxigénnel kevésbé ellátottakban laktát keletkezik. Mikroorganizmusokban egyéb vegyület is lehet végtermék.

Az első **hat szénatomos szakaszban** a sejtnek két ATP terminális foszfátját kell befektetni ahhoz, hogy a második, **három szénatomos** származékok átalakulását jelentő szakaszban visszatérüljön a befektetett kémiai energia, és még két plusz foszfát épüljön be az ADP-be. Anaerob átalakulás során a glükózban lévő kémiai energiának kevesebb mint 10%-a szabadul fel, ezért a keletkező **végtermékek még jelentékeny mennyiségű energiát tartalmaznak**.

A glikolízisben a glükóz szénláncá mindössze egy átalakulást szenved az aldoláz reakcióban történő aldolhasítás folytán, a hidrogénben történő változás két dehidrogenáz reakcióban (glicerinaldehid-3-foszfát és piruvát, illetőleg acetaldehid-szubsztrátok esetén), illetőleg az enoláz reakcióban figyelhető meg. Izomerizáció az aldóz-ketóz átalakulásokban következik be. Foszfáttranszfer ATP-ről cukorra, vagy cukorról ATP-re különféle kináz reakciókra jellemző, míg foszfátáttevődés egyik szénatomról a másikra mutáz enzim részvételével mind a hexózok, mind a trióz-foszfátok átalakulása során előfordul.

Az erjedés során a szénhidrátok oxigénmentes környezetben a **hidrogénátvivő koenzimek segítségével kisebb szerves molekulákká alakulnak**, melyek további anaerob átalakulásokban vesznek részt. A glükózból a glikolízis során keletkező piroszőlősav széndioxid-vesztéssel **acetyl-koenzim A-vá alakulhat át, mely vagy belép a citrátkörbe, vagy ecetsav és vajsav keletkezhet belőle**. A piroszőlősav széndioxid-vesztéssel acetaldehiddé alakulhat, melyből etil-alkohol keletkezik, de a piroszőlősav tejsavvá és propionsavvá is átalakulhat az erjedés során. A baktériumok a cellulózt, a hemicellulózt és a pektint is képesek piruváttá átalakítani, tehát a keményítőtől kívül ezek a poliszacharidok is alapanyagai lehetnek az erjedési folyamatoknak.

A glikolízis sebessége **három irreverzibilis kináz** (hexokináz, fruktóz-foszfát kináz és piruvátkináz), **működésén keresztül szabályozott**. A sejt megfelelő energiaellátását jelző anyagok az anaerob szakaszt negatív (ATP, citrát), a kémiai energia befogadására alkalmas anyagok (ADP, AMP) és a fruktóz-1,6-difoszfát pozitív irányban befolyásolják. A hexokináz katalizálta reakciókban keletkező glükóz-6-foszfát többféle úton alakulhat át, de a hexóz második foszforilálása eléggé egyértelműen a glikolízis irányába tereli a folyamatot. A glükóz-6-foszfátnak a pentóz-foszfát útvonalon történő átalakulása a sejtek redukált NADP⁺-igényének kielégítését biztosítja. **A glikogén formájában tárolt glükóz foszforolitikus hasítás útján lép be a glikolízisbe**. A mannóz és a galaktóz epimerizáció útján glükózzá alakulva képes lebomlani a glikolízis során.

0.2.2.2. A szénhidrátok bioszintézise

A növények fotoszintetikus tevékenysége a földi élet kialakulásának az alapja. Megfelelő pigmentrendszer segítségével a Nap sugárzó energiáját kémiai energiává alakítják át, amit a **fotoszintézisre képtelen szervezetek fel tudnak használni**. A növényi fototranszformáció a szerves anyagok szintézisére két alapvegyületet hoz létre: ATP-be épül be a transzformált fényenergia egy része, míg a NADPH + H⁺ szolgáltatja a CO₂ redukációjához szükséges redukáló ekvivalenseket.

Az energiáttranszformáló rendszer legfontosabb pigmentanyaga a klorofill, amely kitűnik igen nagy fényelnyelő képességével. A fotoszintézis során glükózon kívül oxigén is keletkezik, ami az aerob szervezetek létezésének alapfeltétele. A fotoszintézis során a széndioxid a ribulóz-1,5-difoszfáthoz kapcsolódik, ami két darab 3-foszfo-gliceráttá alakul. Ebből részben a glikolízis, részben a pentóz-foszfát körfolyamat reakcióinak közrejöttével alakul ki a glükóz a glikogenezis során.

Heterotróf szervezetek csak másodlagos módon képesek a glükózsintézisre, a **glükoneogenezis folyamatában**. Fokozott izommunka, éhezés vagy cukorbetegség esetén laktát, illetve piruvát prekursorból keletkezhet glükóz. Az irreverzibilis folyamatok kivételével a szintézisreakciók egy része megegyezik a glikolízis lépéseinek megfordításával.

Piruvátból foszfo-enolpiruvát azonban csak a mitokondriumok segítségével keletkezik. A fruktóz-1,6-difoszfát átalakítását is külön enzim, a fruktóz-difoszfát foszfatáz katalizálja. A **glükoneogenesisz prekurzorai lehetnek a citrátkör egyes intermedierjei is**, elsősorban az oxalacetát, továbbá olyan glükogén aminosavak is, melyek katabolizmusa a citrátkör megfelelő intermedierjeinek keletkezése útján folyik.

A hexózok hosszabb-rövidebb láncokká, oligo-, illetve poliszacharidokká való átalakulása a monomer egységek nagy energiátartalmú származékainak részvételével történik. Ezek úgy keletkeznek, hogy a cukor-1-foszfát UTP-vel vagy egyéb NTP-vel reagál, és NDP-cukor jön létre. Ilyen alak szükséges egy másik cukormolekulával való kapcsolódáshoz, a glikozidkötés létesítéséhez, de a cukrok más átalakulásához, mint pl. az epimerizációhoz vagy glükuronsav keletkezéséhez is.

A glükóz raktározása mind a növényi, mind az emberi szervezetekben elvileg hasonló módon történik. A **glükózmolekulák többségében α -1,4-kötésekkel polimerizálódnak**, de jóval kisebb mennyiségben 1,6-kötések is kialakulhatnak, melynek során a lánc elágazóvá válik (amilopektin, glükogén). Az emberi szervezetben a raktározás és a mobilizálódás mértéke igen pontosan szabályozott.

0.2.3. Zsírok

0.2.3.1. A zsírok lebontása

A szervezet fajlagosan **leghatékonyabb energiátároló anyagai** a neutrális zsírok. A bennük tárolt energia felszabadítása a zsírsavak szénhidrogén-láncának C_2 -egységenként való lehasítása útján történik. A folyamat a mitokondriumokban zajlik, ahova a hosszú láncú zsírsavak nem hatolhatnak be akadálytalanul. A transzport a zsírsav aktiválásával kezdődik, és ATP-felhasználás útján acil-adenilát keletkezik, ami a HS-CoA-val acil-CoA-vá alakul. Az extramitokondriális termékről a karnitin veszi át az acilcsoportot és juttatja át a mitokondriummembránon, majd a mitokondriumban a szállított acilcsoport egyesül az intramitokondriális CoA-val.

A C_2 -egységek lehasítása, a **zsírsavak β -oxidációja** négy lépésből áll. Először a β - és a γ -szénatom között dehidrogenálás következtében kettős kötés alakul ki, majd a kettős kötésbe víz lép be, és L-3-hidroxi intermedier keletkezik. A reakció sztereospecifitása előfeltétele az ezt követő újabb dehidrogenálási lépésnek, melynek során 3-keto-acil termék keletkezik. Végül HS-CoA felhasználásával a β -szénatom melletti kötés tiolízis útján lehasad, AcCoA és két szénatommal rövidebb acil-CoA keletkezik, ami hasonló ciklus útján további 2-2 szénatommal rövidül.

A telítetlen zsírsavakban a kettős kötések a lebontó lépések közelébe jutva térbeli okokból akadályozhatják az oxidációs rendszer működését, mely akadályt a kisegítő enzimek háríthatják el. Megfelelő izomeráz az n3-cisz helyzetű telítetlen kötést n2-transz kötéssé alakíthatja, így a lebontás akadálytalanul folyhat. Ha enoil hidratáz reakcióban az OH-csoport a kedvezőtlen L-helyzetbe kerül, megfelelő epimeráz juttatja a további lépések zavartalan lefolyásához szükséges D-helyzetbe. **A zsírsav-oxidációban C_2 -egységenként 5, egy-egy AcCoA-nak a trikarbonsavciklusban történő továbbalakulása révén 12 nagy energiájú foszfát beépítésére van lehetőség**, eltekintve a zsírsavaktiválás érdekében felhasznált ATP-foszfáttól.

A zavartalan β -oxidáció feltétele, hogy a trikarbonsavciklus akadálytalanul fogadhassa a keletkező AcCoA-t. Ezt az aktuális oxálacetát mennyisége határozza meg; ha a mennyisége valamilyen oknál fogva nem kielégítő, **ketontestek keletkeznek**. A ketontesteket normális körülmények között a szövetek feldolgozzák, de kóros viszonyok közt a ketontestek mennyisége meghaladhatja a szövetek kapacitását. A fel nem használt ketontestek ilyenkor a vizelet és a légzés útján kiürülnek a szervezetből.

A **koleszterin** lebomlásának mennyiségileg jelentős termékei az epesavak, a táplálék lipidtartalmának emulgeátorai. Mennyiségileg nem, de funkcionálisan igen jelentős termékei a szteránvázis vegyületek átalakulásának a különféle hormonok és a D-vitamin.

0.2.3.2. A zsírok bioszintézise

A telített zsírsavak bioszintézise lényegét tekintve sokban emlékeztet a lebontásra, minthogy a **zsírsavlánc hosszabbítása C_2 -egységenként történik**. A folyamat nem a mitokondriumban, hanem a **citoszolban folyik**, a zsírsavlánc teljes elkészültéig a szintetáz komplexben lévő ACP-hez kötve. A C_2 -egység beépülését malonil-CoA, C_3 -prekursor keletkezése előzi meg. A redukciós lépésekben a NADPH + H^+ a hidrogéndonor. A folyamat a **zsírsav-szintetáz** közreműködésével C_{16} -zsírsav (palmitát) keletkezéséig halad, a további hosszabbítás a mitokondriumokban más módon történik. A telítetlen zsírsavak a telítettekben NADPH + H^+ igényes monooxigenázok működése révén alakulnak ki. Az emberi szervezet legfeljebb egy telítetlen kötést tartalmazó származékok kialakítására képes, **a többszörösen telítetlen zsírsavak az ember táplálékában esszenciális anyagok**.

A telítetlen zsírsavak közül az élővilágban széles körben elterjedtek a prosztanoidok, melyek többsége az arachidonsav rendkívül változatos szerkezetű és hatású származékai. Az ember szervezetében különféle prosztanoidok: prosztaglandinok, prosztaciklinek és tromboxánok találhatóak, melyek sokféle folyamatra fejtenek ki szabályozó hatást.

Szabad zsírsavak az emberi szervezetben csak **jelentéktelen mennyiségben** találhatóak, inkább trigliceridek, illetőleg poláros lipidek formájában fordulnak elő. A neutrális zsírok és foszfolipidek keletkezésének közös prekursora a glicerín-foszfát, amelyből két acilcsoport felvételével foszfatidsav keletkezik. Ebből egyaránt keletkezhetnek foszfolipidek, vagy a foszfátcsoport lehasadása után neutrális zsírok. A foszfolipidek szintézisét nagy energiájú származék (CDP-diacil-glicerín, CDP-kolin) előzi meg, mely alak alkalmas arra, hogy kapcsolódjék az alkoholkomponenssel.

A nem hidrolizáló lipidek jelentékeny része terpénszármazék, prekursoruk a β -hidroxil- β -metil-glutaril CoA-ból keletkező mevalonsav. A **szteránvázis vegyületek**, melyek 4 kondenzált gyűrűt, hosszabb-rövidebb szénláncot és egyéb szubsztituenseket tartalmaznak, **alapvegyülete a koleszterin**. Ebből alakulnak ki bonyolult reakciók során a különféle biológiailag hatékony származékok: az epesavak, a mineralo- és a glükokortikoidok, az androgének, az ösztrogének és a D-vitamin aktív formája, az 1,25-dihidro-kolekalciferol. A lipidek anyagcseréje sokoldalúan kontrollált, a lipidmobilizációt a tároló sejtekből a hormonszenzitív lipáz indítja meg; a lipidtárolást viszont a táplálékkal felvett szénhidrátok mennyisége növelheti.

0.2.4. Aminosavak

0.2.4.1. Az aminosavak lebomlása

A fehérjéket felépítő aminosavak egy része az emberi szervezet táplálkozásának nélkülözhetetlen (esszenciális) komponensei. Ezeket a nem esszenciális aminosavakkal szemben a szervezet nem képes szintetizálni. Ha az **esszenciális aminosavak** a táplálékban nem kellő mennyiségben fordulnak elő, súlyos károsodást okozhatnak.

A táplálékkal felvett fehérjék az emésztőrendszerben aminosavakká bomlanak le, és a transzportrendszerek közreműködésével felszívódnak. Az aminosav-**katabolizmus** első megoldandó feladata az **aminocsoport eltávolítása**. A nitrogénháztartás gazdaságossága érdekében az aminocsoport transzaminálás útján más aminosavak felépítésében is részt vehet, míg kisebb mennyisége **dezaminálás útján** távolítódik el a szervezetből. Az újrafelhasználás érdekében az aminocsoport nagy része glutamát formájában tárolódik. Az ürítésre szánt nitrogén a karbamid (ornitin)-ciklust követően **karbamid alakjában hagyja el a szervezetet**.

Az aminosavak katabolizmusában, a transzaminálásban, továbbá a β -eliminációs lépésekben közreműködő enzimek kofaktora a piridoxál-foszfát. A nitrogén, illetőleg a kéntartalmát vesztett **aminosavak szénlánc**a lebontási termékeknek megfelelően a **citrátkör intermedierjei lesznek**, és bekapcsolódnak az általános anyaglebontó forgalomba. Az anyaglebontó forgalomban sorsukat tekintve átalakulhatnak zsírszerű és nem zsírszerű útvonalon. A nem esszenciális aminosavak lebomlása egy vagy csekély számú, az esszenciálisoké lényegesen több lépésben jut el a citrátkörig.

Az **aminosav-katabolizmus**, amennyiben a szervezet igényei megkövetelik, lényegében két úton járulhat hozzá az energiaszükséglet kielégítéséhez. AcCoA-val táplálhatja a citrátkör folyamatait, vagy a **glükoneogenezis számára szolgáltató prekursorokat**, és a keletkező glükózban rejlő energia felszabadításának lehetőségeit biztosítja különféle szövetek számára.

A sejtek normális működése és szaporodása tekintetében különös jelentősége van az aminosav-anyagcserében működő C_1 -transzfer kofaktoroknak, a tetrahidrofolátnak, a B_{12} -vitaminnak és az S-adenozil-metioninnak, mert hozzájárulnak a szaporodó sejtek anyagigényének kielégítéséhez.

Az aminosav-katabolizmus zavartalanságának jelentőségét támasztja alá az a tény, hogy az egyes útvonalakon előforduló örökletes enzimhiány súlyos károsodást okozhat az élő szervezetben. Ennek kellő időben történő felismerése és az ezt követő intézkedések csökkenthetik az örökletes enzimhiány súlyos következményeit.

0.2.4.2. Az aminosavak szintézise

A **nitrogén** a Föld atmoszférájában korlátlanul állhatna az élővilág rendelkezésére, **felhasználhatósága mégis korlátozott**, mert mindössze néhány száz élőlény képes a kémiai-lag inert nitrogén fixálására, mely igen energiaigényes folyamat. Néhány mikroorganizmus önmagában is képes a fixálásra, de többségük csak magasabb rendű növényekkel szimbiózisban köti meg a nitrogént. A nitrogénfixálás eredményességét különböző felépítésű enzimrendszerek biztosítják, melyeknek viszonylag nagy negatív redoxpotenciált képviselő kofaktorai vannak. A nitrogénfixálást az oxigén gátolja.

A nem esszenciális aminosavak szintézise viszonylag egyszerű, egy vagy néhány enzim közreműködése elegendő keletkezésükhöz. Nitrogénforrásként a heterotróf szervezetekben a folyamatokhoz elsődlegesen glutamát, illetőleg glutamin szolgál. Az alanin, az aszpartát és a glutamát reverzibilis transzaminálási reakciók útján keletkeznek. A prolin lényegében a lebontásban szereplő reakciók megfordítása útján jön létre. Kapcsolat van a cisztein keletkezése és a metionin lebontása között, míg a glicinszintézis a szerin és a treonin lebontásával van kapcsolatban. A szerin glikolitikus intermediérből, a 3-foszfoglicerátból keletkezik többlépéses reakcióban, míg a tirozin az esszenciális fenil-alanin hidroxilálása útján jön létre.

Az esszenciális aminosavak keletkezése egyrészt jóval bonyolultabb, 3–10 lépésből áll, és ugyanennyi enzim részvételétől függ, másrészt keletkezésük első lépésére egy vagy több termék kifejtette negatív feed-back szabályozás érvényesül. A treonin keletkezésének prekuzora az aszpartát. A metionin-bioszintézis homoszerinből és ciszteinből indul ki. A lizin szintézise a diamino-pimelát útvonalon aszpartátból, az amino-adipát útvonalon α -ketoglutarátból indul. Sok közös vonás van az elágazó láncú aminosavak keletkezésében; prekuzoraik minden esetben ketosavak. A valin prekuzora a piruvát, az izoleucin prekuzora a treoninból keletkező α -ketobutirát, a leucin prekuzora pedig az α -ketoizovalerát. A glutamát a prekuzora az ornitin és az ebből keletkező arginin szintézisének.

A hisztidin keletkezésének útja eléggé egyedi, több vegyület részletei járulnak hozzá az imidazolgyűrű kialakulásához. Közös prekuzora van az aromás aminosavak bioszintézisének. A gyűrű kialakulása két nyílt szénláncú vegyület, a foszfo-enolpiruvát és az eritroz-4-foszfát kapcsolódásával indul, majd több lépésen keresztül korizmát keletkezik. Ha ebből prefénsav irányába benzolgyűrű keletkezik, akkor fenil-alanin és tirozin keletkezik belőle. Ha antranilsavvá alakul, akkor az indolgyűrűs triptofán szintetizálódik.

A szervezet által szintetizált nem esszenciális, illetőleg a táplálkozás útján megszerzett esszenciális aminosavak létesítette aminosavpool jelentékeny része a szöveti fehérjék felépítésére szolgál. Az aminosavak kisebb-nagyobb része bekapcsolódik az energiatermelésbe, így ezek nitrogénje a szervezetből kiürül. Egy részük más, nem esszenciális aminosav keletkezéséhez szolgáltat alapanyagot. Mennyiségileg jelentékeny részük különféle, a szervezet folyamatait szabályozó anyagokká alakul. Ezek a vegyületek hatékonyak az idegrendszeri funkció betöltésében, a neurohormonális szabályozásban, és egyéb, a szervezetek tulajdonságait befolyásoló hatások érvényesülésében. Az aminosavakból kialakult különféle vegyületek sokoldalúan szabályozzák a magasabb rendű szervezetek működését.

A glicin egyik prekuzora a minden élőben megtalálható porfirin-bioszintézisének. A növényvilágban magnéziummal egyesülve klorofillt képez, mely a Nap fényenergiájának kémiai energiává történő átalakítását segíti elő. Ezzel teszi lehetővé mind az autotróf, mind a heterotróf szervezetek létezését. A vassal egyesült porfirin sokféle feladatot tölt be, hemoglobin és mioglobin formában szállítja az aerob szervezetek fennmaradásához szükséges oxigént, a sokféle citokróm elősegíti a redoxfolyamatok hatékony végbemenetelét, enzimekben való közreműködése útján pedig védi a sejt anyagait a károsító hatásoktól.

0.2.5. A purin- és pirimidinbázisok anyagcseréje

A szervezetbe a táplálék útján bejutott nukleinsavakat nukleázok és foszfodiészterázok hasítják monomer egységekké, amiről a nukleotidázok foszfátot hasítanak le, és a nukleozidázok vagy nukleozidfoszforilázok tehetik szabaddá a purin- és pirimidinbázisokat. Az emberi szervezetben a purinbázisok húgysavvá alakulnak és húgysav formában ürülnek. Pirimidinbázisok lebontásakor ammónia, szén-dioxid és β -aminosavak keletkeznek. **Mentési reakció segítségével a bázisok nem bomlanak le, hanem ismét nukleoziddá, nukleotiddá alakulnak.**

A nukleotidok és a nukleinsavak felépítésében részt vevő purin- és pirimidinbázisok **nem esszenciális alkotórészei** a tápláléknak, hisz a szervezetek többsége szintetizálni tudja őket. A kétfajta bázis szintézisére jellemző, hogy gyűrűs szerkezetük többféle vegyületből, szén-dioxidból, glutaminból, glicinből, aszpartátból, metenil-tetrahidrofolátból, N^{10} -formil-tetrahidrofolátból származó atomcsoportok közreműködésével alakul ki. **A purinnukleotidok** keletkezésének elhatároló lépése a glutaminból és a foszfo-ribozil-pirofoszfátból 5-foszfo-ribozil-amin kialakulása. A ribóz-foszfat-rész a gyűrű kialakulása során végig a termékekhez kapcsolva marad. A purinváz öttagú részének keletkezését, a gyűrűzárást a glicin kapcsolódása, formilálás és aminálás készíti elő. Ezt követően szén-dioxid, aszpartát és glutamin nitrogén, majd formilcsoport kapcsolódása adja a hattagú gyűrű alkotóelemeit.

Mivel a szervezet a purinbázisok nagyobb részét csak részlegesen bontja le, a mentési reakcióban ezek közvetlenül kapcsolódhatnak a foszfo-ribozil-pirofoszfáttal, és nukleotiddá alakulnak.

A **pirimidingyűrű** keletkezése karbamoil-foszfat és aszpartát kapcsolódásával indul, amit az aszpartát transzkarbamoiláz katalizál. Dehidratációt és gyűrűzárást, valamint oxidációt követően orotát keletkezik. A pirimidinszármazék kapcsolódik a foszfo-ribozil-pirofoszfáttal, és orotidilát alakul ki, aminek dekarboxilált terméke az UMP. A CTP az UTP aminálása útján keletkezik.

A DNS építőelemei, a **dezoxiribonukleotidok a ribonukleozid-difoszfatok redukciója révén jönnek létre**, megfelelő reduktáz katalizálta reakcióban, mely folyamatokhoz $NADPH + H^+$ szükséges. Az elektronátadásban a tioredoxin vagy glutaredoxin SH-csoportjai működnek közre. A DNS-re jellemző pirimidinbázis a dUMP metilálása útján dTMP alakban keletkezik N^5, N^{10} -metilén-tetrahidrofolát metil- és elektron donor felhasználásával.

A sejt számára az energiatároló funkción kívül szükséges, hogy a nukleotidok a DNS- és RNS-szintézishez megfelelő arányban keletkezzenek, szintézisük ezért sokoldalúan szabályozott. A purinanyagcsere végtermékének, a **húgysavnak a felszaporodása köszvény** és urát vesekő kialakulását okozhatja.

0.2.6. A polinukleotidok

A DNS és az RNS felépítésében alapvető különbség az, hogy egyrészt a bázisok közül az uracil csak az RNS-ben, a timin csak a DNS-ben fordul elő, másrészt a DNS dezoxiribózt, az RNS pedig ribózt tartalmaz. A DNS egészére a rendezettség, az RNS-re pedig inkább a szabálytalan elrendeződés a jellemző. A DNS-ben a bázispárok ($A + G = C + T$) aránya

állandó, ami a DNS-szálak komplementaritásának és szemikonzervatív replikációjának az alapja. A DNS zöme 10-10 bázispárt tartalmazó fordulatokból alakult kettős hélix alakban található a sejtekben; néhány vírustól eltekintve cirkuláris duplexeket alkotva. A kettős hélixen hajtúszerű kitérőmúrádások fordulnak elő, ami a DNS szuperhelikális gombolyodásának kialakulására ad lehetőséget.

A DNS-szálak szintézisét a **DNS-polimerázok katalizálják**, 5' → 3' irányban másolva a szülő DNS-szálat. A lineárisan keletkező DNS-t a ligázok kapcsolják cirkulárisrá. A DNS szintézise rendkívül komplex feladat; sok tényező együttműködése szükséges ahhoz, hogy az egymást követő nemzedékekben azonos összetételű DNS keletkezzen. **A ribonukleinsavak közül a riboszómális RNS a fehérjeszintézisben játszik szerepet.** A transzfer-RNS a fehérjeszintézis során az aminosavakat szállítja a szintézis helyére, míg a messenger-RNS feladata a kódba foglalt információ pontos továbbítása (hírvivés). Az mRNS a sejtben képződik adott DNS-szakasz átírása útján.

A nukleinsavak bázissorrendjének megállapítása, illetve a nukleinsavak szintézise napjainkban már megoldott. A szintézis a reaktív oldalláncok védésével kezdődik, a nukleotidok szintézisével folytatódik, majd a védőcsoportok lehasításával fejeződik be. A hosszabb nukleotidszekvenciákat az oligonukleotidok összekapcsolásával állítják elő.

0.2.7. A fehérjék bioszintézise

A DNS-ben tárolt információk megvalósítása komplex, bonyolult, de a megfejtést illetően nagy biztonsággal működő rendszer. Az mRNS-re átírt információk lefordítása és megvalósítása érdekében egy rendkívül bonyolult folyamatban riboszómák, tRNS-ek, különféle faktorok, energiaszolgáltató molekulák és más egyéb anyagok vesznek részt. **A fehérje építőelemei az aminosavak, aktivált alakban, amino-acil-tRNS formában kapcsolódnak a folyamatba.** Hogy a sokféle amino-acil-tRNS közül melyik **milyen sorrendben** lépjen be a szintézisbe, **azt az mRNS szabja meg**, melynek utasítását a tRNS antikodon triplettje „fogja fel”. Az mRNS-en jel szolgál a szintézis indítására és többféle jel annak befejezésére. **A fehérjeszintézis a riboszómák segítségével megy végbe**, melyek egy kisebb és egy nagyobb alegységből épülnek fel, rRNS-t és sokféle fehérjét tartalmaznak. Olyan komplex rendszerek, melyek bonyolult kémiai működésükkel sokrétű konformációs változások útján kapcsolják egymáshoz az aminosavat.

A **polipeptidszintézis** három fő szakaszból áll: **a szintézist indító iniciáló szakaszból, a láncnövekedést megvalósító elongációból és a folyamatot befejező terminációból**, amit a fehérje szabaddá válása tesz teljessé. A különféle szakaszok eredményes lebonyolítását többféle faktor segíti elő. A fehérjeszintézis során a riboszóma két alegysége közrefogja az mRNS-t, a megfelelő kötőhelyeihez kapcsolódik a készülő peptidlánc, illetőleg a bekapcsolandó aminosavat szállító amino-acil-tRNS. Az egyes aminosavak kapcsolódása után a lánc továbbmozdul, helyet adva a következő aminosavat szállító tRNS-nek mindaddig, amíg az mRNS-ben a szintézis befejezését jelző utasítás nem következik. Az mRNS-hez a keletkezéséhez szükséges transzkripció alatt is kapcsolódhatnak riboszómák, sőt egy mRNS-hez, a fehérjeszintézis hatékonyságának növelésére, egymást követően több riboszóma is kapcsolódhat, poliszómát létrehozva. **Egy-egy peptidkötés keletkezéséhez nagy mennyiségű energia, négy nagy energiatartalmú foszfátkötés használandó fel**, mely biztosítja, hogy a folyamat egyértelmű és irreverzibilis legyen.

Az mRNS-ben lévő információ alapján készült polipeptidlánc több esetben még nem teljes értékű fehérje. A **biológiai aktivitáshoz érési folyamaton megy keresztül**, melynek során **poszttranszlációs** kémiai módosítás következtében egyes oldalláncain metilálás, hidroxilálás és diszulfidhidak kialakulása útján nyeri el biológiailag aktív alakját. Azon fehérjéknek, amelyek keletkezési helyüktől eltérő helyen működnek, kétféle átalakuláson kell keresztülmenniük. Ezek pre-pro fehérje alakban keletkeznek a sejtben, ahonnan történő kijutásuk során a **preszakasz (szignálpeptid) leszakad, és inaktív profehérje formájában érik el működési helyüket**, ahol a propeptid lehasadása után lesznek aktívak.

Fehérjeszintézis történhet még a mitokondriumokban is. Ezen sejtszervecske fehérjéinek egy részét maga termeli, de fehérjéi többsége a citoplazmában keletkezik, és onnan jut be a sejtszervecskébe. Az emberi szervezetben nagyszámú oligopeptid található, mely pár kivételtől eltekintve fehérjéből keletkezik limitált proteolízis során.

DUPress e-jegyzetek

1. Alapfogalmak

1.1. Definíciók

Funkcionális élelmiszer az **élelmiszer**, amely olyan alkotóelemeket tartalmaz megfelelő mennyiségben, amelyek pozitívan hatnak egy vagy több életfunkcióra, hozzájárulnak a mentális jólét állapotához, rendszeres fogyasztással a táplálkozással kialakuló betegségek kockázata csökkenthető. A hagyományos élelmiszerek energia- és tápértéke mellett egészségvédő hatást fejtenek ki.

Más megfogalmazás szerint a funkcionális élelmiszer az olyan élelmiszer, amely az átlagosnál nagyobb mennyiségben tartalmaz egy vagy több olyan komponenst, amely pozitív hatással van az emberi szervezetre (egészségre). Azok az élelmiszerek is funkcionálisak, amelyekben valamely komponensből **a szokásosnál kevesebb van** (csökkentett zsírtartalmú, csökkentett szénhidrát-tartalmú, csökkentett fehérjetartalmú élelmiszerek) vagy **a szokásosnál több van**, valamilyen anyaggal dúsítva vannak.

A nutraceutikumok olyan élelmiszerek, melyek a gyógyszerek és az élelmiszerek határán vannak. Pontos elnevezésük gyógyszernek nem minősül, étrendkiegészítők, gyógyhatású készítmények. Ezek nem szokásos élelmiszerek, de kedvező hatású anyagok, vagy azt tartalmaznak nagyobb mennyiségben. Ilyenek a különböző kivonatok (az amerikaiak szerint az összes vitamin), a most divatos természetes antioxidánsok, a gyümölcsökből nyert sűrített gyümölcslevek, a rákok kemény külsőjéből kivont kitozán és a kapszulázott halolaj. Ezek engedélyeztetése sokkal könnyebb, és szívesen gyártják a gyógyszergyárak is, mert a technológiába könnyen illeszthetők. Hatásukat most már bizonyítani kell, csak hatásság esetén lehet feltüntetni a termék címkéjén, hogy funkcionális.

A prebiotikum olyan anyag, amely, ha a tápcsatornába jut, elősegíti a kedvező mikroorganizmusok szaporodását, visszaszorítja a káros mikroorganizmusokat, elősegíti, hogy a legkedvezőbb mikroflóra alakuljon ki. A **probiotikum élő** mikroorganizmus-kultúra, amely vagy benne van, vagy vele dúsítják az élelmiszert, melyek elszaporodva az ember emésztőrendszerében, visszaszorítják a káros mikroorganizmusok életműködését.

1.2. Mítől lesz egy élelmiszer funkcionális?

A funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban három témakört kell megvizsgálni: Mit, milyen komponenseket adjunk az élelmiszerhez, vagy milyen alapanyagokat keresünk benne, ami nagyobb mennyiségben jelen van, és funkcionálissá teszi azt? Két lehetőség adódik: olyan anyagokat adjunk az élelmiszerhez, amiktől az funkcionális élelmiszerré válik, vagy eleve olyan nyersanyagokat használjunk fel, amiben kedvező arányban van valamely összetevő (egészségvédő komponens) jelen. A fő kérdések a következők: **Milyen hatást lehet elérni ezen komponens adagolásával? Mi lesz a termék, mit gyártunk? Mi az a komponens, melynek nagyobb mennyisége funkcionálissá tehet egy élelmiszert?** Néhány kiragadott példa az utolsó kérdésre:

A **diétás rost** az egyik legnehezebben definiálható komponens. A nagy mennyiségű cellulóz mellett egyéb poliszacharidokat, hemicellulózt, pentozánt, lignint (az elfásodott részekben) és pl. β -glükánokat tartalmaz különböző arányban. A gabonafélék, a zöldség, a gyümölcs, a cukorrépaszelet, a napraforgómag héja, a mikroorganizmusok sejtfala (élesztő), a rákok kemény héja (kitozán), a rezisztens vagy nem emészthető keményítő tartoznak ebbe a csoportba. (A sütőipari termékekben lévő keményítő egy részét a tápcsatornában lévő enzimek nem tudják lebontani.)

A **természetes antioxidánsok** a szervezet redoxiegyensúlyának kialakításához szükségesek. Hiányukban, ha túl sok oxidatív anyag kerül a szervezetbe, az egyensúly felbomlik, melynek helyreállítása antioxidánsokkal lehetséges. Antioxidánsok a likopin (paradicsom), az aszkorbinsav, a tokoferolok, a karotinoidok, a flavonoidok, a kapszorubin (paprika), a zeaxantin (kukorica), melyek zöldségfélékben, gyümölcsökben, gabonamagvakban és pl. a kakaóbabban fordulnak elő. **Talán a daganatos megbetegedések ellen is hatásosak**, mert a szervezetben végbemenő reakciók 80–90%-a redoxireakció, és a daganatos sejtek érzékenyebbek a szabad gyökök támadásával szemben.

A **mikroelemek** az enzimek alkotórészeiként esszenciálisak. Egyre több mikroelemmel dúsítjuk ételleinket, azonban vigyázni kell a túladagolásra (szelén és krómozott kenyér, jódozott, fluorozott só, kalciumos sajt). Fogyasztjuk tablettá formájában is, ezért felhalmozódhatnak. A **többszörösen telítetlen zsírsavak** szempontjából a szervezet számára az a megfelelő, ha a telített és telítetlen zsírsavak aránya optimális. A **többszörösen telítetlen zsírsavak** hőre érzékenyebbek, ezért a hőkezelés során káros bomlástermékek keletkezhetnek belőlük. Sütésre inkább telített zsírsavakban gazdag zsiradékot használunk. A **transzszírsavaknál** a kettős kötések egy része transzhelyzetű, a természetben viszont a *cisz*-izomer az általános. A margarin készítésénél az olajokat hidrogénezik, melynek során emelkedik az olvadáspont, a margarin ezért magasabb hőmérsékleten is szilárd. A hidrogénezés során „transzszírsavak” is keletkezhetnek, amelyek károsak az emberi szervezetre. Sok országban deklarálni kell, hogy az adott élelmiszer mennyi transzszírsavat tartalmaz. Káros hatásuk magyarázata az, hogy a transzszírsavaknál az enzimek elakadnak, nem ismerik fel szubsztrátként őket, felszaporodhatnak az emberi szervezetben, nincs rájuk szükség és problémát okoznak.

Speciális fehérjék is lehetnek funkcionális élelmiszerek komponensei. A sütőipari termékek tejjel, tejsavóval, kazeinnel dúsíthatók, de alkalmaznak peptidekkel való dúsítást is, melyek a tejfehérje lebontásából származnak. **Az antifriz vagy fagyásgátló fehérjékkel** a fagyaltkészítés során kisebb zsírtartalom mellett is meg lehet akadályozni, hogy kristályosodás következzen be. A természetben a sarkvidéki halakban és a fagyűrő növényekben található. Nagyon sok egészségvédő komponens ismert, melyeket kolosztrumból vagy tejből állítanak elő, és amelyeket bizonyos betegségek megelőzésére vagy gyógyítására használnak.

Az **oligoszacharidok** prebiotikumként szerepelhetnek, mint pl. a tejben a laktóz mint fő oligoszacharid, de mellette kisebb mennyiségben van több hasonló tulajdonságú vegyület is (glüko-oligoszacharidok, galakto-oligoszacharidok). Ezek az ember számára emészthetetlenek, de kedvezően befolyásolják a bélben élő mikroorganizmusok fejlődését. Gyümölcs- és zöldségzárítványokba szokták tenni pl. a trehalózt és a tagatózt, mert így a termék a szárítás során kevésbé barnul, kevésbé édes és kevésbé emésztdik.

Egyes **vitaminokkal** kapcsolatban a túladagolás lehet veszélyes. A vízoldható vitaminok is túladagolhatók, és ha a szervezet túl nagy mennyiségben kapja a vitaminokat, rosszabbul gazdálkodik vele, kevésbé hasznosítja (C-vitamin \rightarrow oxálsav \rightarrow kristályképződés \rightarrow vesekő). A **fitokemikáliák** növényekben előforduló kémiai vegyületek, melyek közül többet a gyógyszeripar kezdett hasznosítani. Terjed a zöldség-gyümölcs koncentrátumok, -kivonatok (préselt, extrudált, besűrített, tablettázott) alkalmazása, melyek természetes antioxidánsokat, mikroelemeket tartalmaznak. A **természetes édesítőszereket** az energiában gazdag cukrok pótlására használják. A cukornál több ezerszeres édesítő hatásuk lehet. Ilyen pl. a taumatin, egy természetes fehérje, melynek mellékhatásai nincsenek, egyetlen hátránya az igen magas ár.

1.3. A funkcionális élelmiszerek fiziológiai hatása

Milyen fiziológiai hatást várunk el, milyen betegségek megelőzésére ajánlott fogyasztani a funkcionális élelmiszereket? A hatások lehetnek oxidatív károsodások gátlása, antimutagén hatás (egyres vegyületek mutációt okozó hatásának gátlása), mikrobás fertőzés gátlása, diétásrost-hatás, immunomodulátor (a védekezőrendszer működését erősítő) hatás, neuroregulatív (idegrendszer-stimuláló) hatás, ösztrogénhatás, antihipertenzív (vérnyomáscsökkentő) hatás, koleszterincsökkentő hatás és allergénmentesítő hatás.

A daganatos megbetegedések megelőzésével kapcsolatban sokat beszélnek a funkcionális élelmiszerek jótékony hatásáról. Az erre a célra szolgáló funkcionális élelmiszereket négy kategóriába kell sorolni. Olyanok, amelyek valószínűleg hatásosak, lehetséges, hogy hatásosak, kismértékű vagy elégtelen hatásúak és hatástalanok. A következő vegyületeknek **lehet szerepük a daganatos megbetegedések megelőzésében**: karotinoidok, C-vitamin, folsav, ftalátok, B₁₂-vitamin, E-vitamin, A-vitamin, gyógynövénykivonatok, természetes antioxidánsok: az előzőekben felsoroltakon kívül a brokkoliban lévő szulforafán, a szójában lévő izoflavon és a konjugált linolsav (CLA).

A szív- és keringési betegségek megelőzésére szívbarát élelmiszereket fejlesztettek ki, melyek pl. koleszterincsökkentő hatással rendelkeznek. Ilyenek a diétás rostok, a nem koleszterinjellegű növényi szterinek, az omega-3, omega-6 zsírsavak, a β -glükánok, amelyek főleg a zabban és árpában fordulnak elő, melyekből szoktak dúsított készítményeket is előállítani, amit aztán más élelmiszerekhez adnak.

Az elhízás megelőzésére is fejlesztettek ki funkcionális élelmiszereket, amilyenek pl. a csökkentett cukor- és zsírtartalmú készítmények, mert a fizikai igénybevétellel arányos energiabevitelt célszerű alkalmazni az elhízás megelőzésére. **Sószegény élelmiszereket** is fejlesztettek, mert a sófogyasztás a hazai viszonylatban magasabb az átlagosnál, de figyelembe kell venni azt is, hogy a kevés só alkalmazásának technológiai vonzata is van (sütőipar).

1.4. Hogyan gyártunk funkcionális élelmiszereket?

Mit gyártunk, hogyan gyártunk, hogy az funkcionális élelmiszerré váljon? Az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésünkre: Az adott élelmiszer jellegzetes, hasznos kom-

ponensének koncentrációját kell megnövelni, a dúsítás során az élelmiszerre nem jellemző, de hasznos komponenst kell hozzáadni, a meglévő hasznos komponenst kell módosítani, pl. rezisztens keményítő hozzáadásával, a káros komponenseket, pl. az allergén fehérje, el kell távolítani, vagy a káros komponenseket helyettesíteni kell valami mással.

A **növényi eredetű funkcionális élelmiszerek** legtöbbször gabonából készülnek, a malomipari vagy sütőipari alapanyagot dúsítják valamilyen komponenssel, és szükség szerint lehet belőlük nutraceutikum termékeket is előállítani. A **diétásrost-tartalom növelése** során teljes kiőrlésű liszteket használnak, hidrotermikusan kezelt termékeket alkalmaznak és más gabonafélét is adnak a felhasználandó alapanyaghoz, sőt más növényekből származó rostot (pl. cukorrépaszelet) adagolnak az élelmiszerhez. Az ilyen sütőipari termékek mindig kisebb térfogatúak a normál termékeknel, és a bélszerkezetük is rosszabb. Ezt ellensúlyozandó felületaktív emulgeátorokat használnak, melyek a szervezetben felhalmozódva allergiás reakciókat válthatnak ki. A felhalmozódás oka, hogy túl sok termékben megtalálhatók, és gyakran fogyasztunk sütőipari termékeket. Pentozánok, xilanázok alkalmazása a diétás rostokat fellazítja, melynek következtében a térfogat nő. Pékáruk színezésére sokszor használnak karamellkivonatot (esetleg melaszt).

Vitaminok, mikroelemek adagolása is eléggé elterjedt a funkcionális élelmiszerek előállításánál. Folsavval dúsított lisztből készült kenyér kismamáknak, kalciummal dúsított Kalki sajt gyermekeknek és időseknek, és előállítottak szeléneseztejt és tejtermékeket, valamint tojást is. A gabonafehérjék közül a glutén az, amely sok embernél válthat ki allergiás reakciót, amely súlyos megbetegedéshez is vezethet. A fentiek vezettek a **gluténmentes termékek előállításához**, melynek során az allergiát okozó, a búzalisztben, a rozsban, árpában és a zabban lévő gliadin kiváltása kukoricaliszttel vagy rizsliszttel lehetséges. A különleges táplálkozási igényeket kielégítő termékek országos terítése nehézkes, ezért előtérbe kerül a diéta típusának megfelelő kész lisztkeverék terjesztése, melyből otthon mindenki a saját szokásainak, betegségének megfelelő friss terméket tud előállítani, az ajánlott technológiával. Az allergén hatás csökkenthető fehérjekezelő eljárással, melynek során valamilyen peptidkezelő eljárással a fehérjéhez hozzáadnak pár aminosavat.

A **fehérjével történő dúsítás is elterjedt** a funkcionális élelmiszerek előállításánál, amikor leginkább **tejet és a belőle készült termékeket és magas fehérjetartalmánál fogva szóját használnak**. A tejpor dúsításra való alkalmazását az amerikaiak kezdték el, majd ezt kiszorította az olcsóbban előállítható szója. A tejnél hátrányt jelent a tejcukortartalom is, mely korlátozza a tejjel kiegészített élelmiszer-alapanyag felhasználhatóságát, ma pedig egyre elterjedtebb az olajos magvak használata. A tésztafélék dúsításánál emulgeátorokat és adalékanyagokat is használnak, és a transzglutamináz enzimet is alkalmazzák a megfelelő szerkezet kialakítása miatt.

Manapság egyre terjed a **gyümölcslésűritmények, -kivonatok, -koncentrátumok és gyógynövénykivonatok alkalmazása** funkcionális élelmiszerként. Ezek természetes antioxidánsokat, mikroelemeket, színanyagokat tartalmaznak, és a választék bővítést is szolgálják (pl. az erdei gyümölcsök és a bodza). Terjednek a **funkcionális italok** is, melyek előállításánál a szokásos gyümölcsitalokat multivitammal, Ca-mal, Mg-mal és karotinoidokkal dúsítják.

1.5. Fogyasztói elvárások a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban

Milyen **fogyasztói elvárások** vannak, milyen az **érzékenység a funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatban**? Legfontosabb az élelmiszer-minőség. Legyen finom, ízletes, praktikus, változatos, „olyan, mint a többi”, **de legyen pozitív hatással az egészségre!** Legyen választék, a vásárló tudja leküzdeni az újtól való félelmet. A fogyasztói érzékenység, befogadás legyen pozitív, mely magában foglalja a hajlamot a befogadásra, a fogyasztó vegye komolyan a betegségét, annak megítélését, a fogyasztó ismerje a várható előnyöket, korlátokat, lássák el a fogyasztót tanácsokkal, információkkal.

A funkcionális élelmiszer megvásárlásánál fontos a kockázati tényezők ismerete, a bizalom szerepe. Fontos, hogy az élelmiszer legyen biztonságos, a vásárló tudja, hogy milyen betegség előzhető meg, esetleg gyógyítható vele, de a kapcsolódó betegségek ne legyenek túlhangsúlyozva piaci érdekből, épüljön ki a bizalom a vásárlóban a speciális élelmiszerekkel kapcsolatban, higgye el, hogy szüksége van-e rá, biztosan jó neki. A **fogyasztói elvárások és érzékenység** miatt ki kell alakulni az élelmiszer-preferenciának, elfogadásnak, melyeket befolyásolnak a társadalmi, demográfiai és kulturális tényezők, a globalizáció.

1.6. Élelmiszer-biztonság és a funkcionális élelmiszerek

Élelmiszer-biztonság szempontjából a funkcionális élelmiszerekre ugyanazok a törvények, szabályok vonatkoznak, mint a többi élelmiszere. Az élelmiszer-minőség megítélése a törvény szerint (1995. évi XC. törvény 2. § 21. pont) az alábbi: „**Az élelmiszer-minőség az élelmiszer azon tulajdonságainak összessége, amelyek alkalmassá teszik a rá vonatkozó előírásokban rögzített és a fogyasztók által elvárt igények kielégítésére.**”

Az **élelmiszer-biztonság, élelmiszer-minőség megítélése szempontjából fontos tulajdonságok** a funkcionalitás, a táplálkozási érték, az érzékszervi tulajdonság, az élelmiszer-egészségügyi minőség, a környezeti minőség és az „immateriális” minőség. Az **élelmiszer-biztonság** értelmezése: az élelmiszerlánc szinte minden szereplője arra törekszik, hogy biztonságos élelmiszert állítson elő. **Biztonságos az az élelmiszer, amelynek fogyasztása nem jelent egészségügyi kockázatot.** Teljesen kockázatmentes élelmiszer-fogyasztás **nem létezik**, így az egészségkárosodás valamilyen szintű valószínűségének ki vagyunk téve, mert gyakran (folyamatosan) fogyasztjuk ugyanazt az élelmiszert, mert a betegség kialakulása az általános egészségügyi állapottól függ, mert számos természetes vagy mesterséges élelmiszer-komponens hatása nem tisztázott.

Milyen jellemző veszélyekről beszélhetünk a funkcionális élelmiszereknél? Az általános élelmiszer-biztonsági kérdések nehezebben kezelhetők a keleti „csodaszerek” alapanyagainak termelési, szállítási és tárolási körülményei (vegyszer, tartósítás, „egzotikus” mikrobiális problémák, vírusok) kapcsán. Viszonylag új élelmiszercsoportról van szó, ezért első alkalommal nem tudni, jó-e, hat-e, nem okoz-e más problémákat a túlfogyasztás, nincs-e keresztreakció az általánosan fogyasztott élelmiszerekkel, gyógyszerekkel, nem toxikusak-e az új élelmiszerek, milyen állapotban vannak benne a tápanyagok. Történt-e az előállítás során denaturáció, hozzáférhetőség-csökkenés, esetleg hatóanyag-

csökkenés. Az emésztésre és a felszívódás során nincsenek-e hiányosságra utaló tünetek, az új élelmiszer hogyan befolyásolja más anyagok hasznosulását.

A funkcionális élelmiszerek szempontjából nagyon fontosak a **gazdaságossági kérdések**, melynek során elsősorban azt kell tárgyalni, hogy mi szükséges a piac növekedéséhez? Szempont lehet az ár-érték arány, hogy elegendő információ áll-e a fogyasztó rendelkezésére, fontos a fogyasztói döntés-előkészítés, hogy mitől veszi meg a vásárló a terméket, lényegesek az additív költségek (drágább termék, több hirdetés, meggyőzés, informálás), a piaci verseny, mely a gyártó kockázata, és végül a méltányossági szempontok, ugyanis ha nagyon drága az egészségesebb élelmiszer, a szegényebbek nem veszik.

1.7. A funkcionális élelmiszerek és a törvényi szabályozás

Milyen a törvényi szabályozás Európában? A szabályozás eléggé heterogén, az országok egyelőre saját direktívákat alkalmaznak. A funkcionális élelmiszerekkel kapcsolatos egységesítés jelenleg van folyamatban, és még arra sincs egységes definíció, hogy mit nevezünk élelmiszernek. A tiszta, izolált készítményekre és kiegészítőkre létezik szabályozás, de pl. a nutraceutical elnevezés nem népszerű és nem eléggé ismert.

Az egészségügyi hatással rendelkező élelmiszerekre az EU-direktívák a következő kategóriákat határozzák meg: csecsemőtápszerek, formulák, kiegészítő tápszerek, bébitápszerek, alacsony és csökkentett energiatartalmú élelmiszerek testsúlyszabályozás céljából, tápszerek speciális orvosi kezelés céljából, csökkentett Na-tartalmú és Na-mentes termékek, sikérmentes termékek, sporttápszerek, testépítő szerek, élelmiszerek cukorbe-tegek számára.

Összegzésül elmondható, hogy a funkcionális élelmiszerek megítélésénél sok szempontt figyelembe kell venni. Nem (csak) hinni kell benne, hanem bizonyítani kell(ene) a hatásosságát, ugyanis a betegségmegelőzésből jelentős társadalmi és gazdasági előny származik, fogyasztásánál azonban nem (csak) a piaci előnyök a meghatározóak. Az egységes törvényi szabályozás elősegítheti a funkcionális élelmiszerek elterjesztését, jótékony hatásuk kiaknázását.

2. Funkcionális élelmiszerek előállítása élelmiszer-kiegészítéssel

Az élelmiszerek kiegészítése különféle mikrotápanyagokkal több évszázados múltra tekinthet vissza. A középkorban, Európában **vasszöveget szúrtak az almába**, majd bizonyos idő után azt etették vashiányos gyermekekkel, Dél-Amerikában pedig a golyva megelőzésére speciális sótt alkalmaztak, melyről később kiderült, hogy magas a jódtartalma. Mexikóban a tortillakészítés során a **kukoricát meszes vízben áztatták**, ill. mészőrleményt adtak a liszthez, megnövelve annak kalciumtartalmát. Svájcban az 1900-as évek elején kezdték alkalmazni a **konyhasó jóddal való kiegészítését** a golyva megelőzésére, mely módszer azóta az egész világon elterjedt. Az A-vitamin felfedezését követően szinte azonnal elkezdték a margarin kiegészítését ezzel a vitaminnal, és Dániában a nagymértékű vajimport miatt mutatkozó A-vitamin-hiányt is a **margarin A-vitaminnal való kiegészítésével** tudták visszaszorítani, melynek során halolajat kevertek a margarinhoz. Jelenleg szinte az egész világon legálisan adnak A- és D-vitamint a margarinhoz. Nagy-Britanniában az 1940-es évektől **tiaminnal, niacinnal és vassal egészítették ki a búzalisztet**, és kalciummal kiegészített lisztet is forgalomba hoztak, mely gyakorlatot mind a mai napig fenntartják.

2.1. Alapfogalmak

Az élelmiszerek tápanyagokkal történő kiegészítésével kapcsolatban több fogalom is van a köztudatban. **Növelés (megerősítés, fortification)** az a folyamat, melynek során olyan tápanyagot adnak az élelmiszerhez, mely eredetileg nem volt benne jelen, vagy koncentrációja a kimutathatóság határa alatt maradt. Ezt olyan esetekben alkalmazták, amikor valamely mikrotápanyag hiányának hatása már mutatkozott a népességben. Jó példa erre a margarin megerősítése A-, majd a későbbiek során D-vitaminnal. **A helyreállítás (restoration)** az a folyamat, melynek során pótolják azokat a tápanyagokat, amelyek elvesztek, átalakultak pl. a technológiai folyamatok során. Ilyen a liszt kiegészítése vassal és B₁-vitaminnal, vagy a burgonyából készült termékek kiegészítése C-vitaminnal. A két folyamat azonban szigorúan nem választható szét egymástól, hiszen **a liszt esetében az őrlés során fellépő veszteség pótlására tiamint, niacint és vasat adnak hozzá**, holott a pantoténsav, a folsav, a piridoxin és a tokoferol mennyisége is csökken az őrlés folyamán. **A gyümölcslel-előállítás során csökken a C-vitamin-tartalom, amit pótolni kell**, de általában e vitamin mellett még folsavat és tiamint is adnak a gyümölcslelhez. Ha a liszthez kalciumot és riboflavint is adnak, akkor az nem helyreállítás, hanem megerősítés, mivel ezen két tápanyagból a liszt keveset tartalmaz.

A **gazdagítás (enrichment)** során az élelmiszert olyan anyaggal egészítjük ki, amely valamilyen komponensből többet tartalmaz, mint az alapélelmiszer. A gyakorlatban a megerősítés és a helyreállítás szinonimájaként is használják. A standardizálást (**standardization**) akkor alkalmazzák, ha természeti okokból, az időjárás vagy az évszak

miatt eltérő összetételű élelmiszer összetételét valamilyen módon a standardhoz közelítik. A **helyettesítés (substitution)** az a folyamat, amikor az élelmiszerekhez azért adunk tápanyagokat, hogy elérjük ugyanazokat a szinteket, amelyek az eredeti, nem helyettesített élelmiszerben benne voltak. Jó példa erre a zsírhelyettesítők kiegészítése A- és D-vitaminnal. A **dúsítás (supplementation)** során valamilyen mikrokomponenst adnak, egyedül vagy kombinációban az élelmiszerhez, annak tápértéke megnövelésére.

2.2. Az élelmiszerek funkcionális komponensei mennyiségének növelése

Az élelmiszerek megerősítése, helyreállítása vagy gazdagítása része az egészséges élelmiszerek előállításának, ill. bizonyos betegségek megelőzésének az egész világon. Az előzőekben említett kiegészítéseken túl (jódozott só, a margarin kiegészítése A- és D-vitaminnal vagy a liszt helyreállítása és megerősítése), módszereket dolgoztak ki az **angolkór megelőzésére a tej D-vitamin-tartalmának megnövelésével**, niacint, tiamint és folsavat adtak a liszthez a **beriberi és a pellagra megelőzésére**, és a vérszegénység megelőzésére **vasat adtak a liszthez**. A megerősítés előnye abban mutatkozik, hogy az élelmiszer-előállítás folyamatába könnyen beilleszthető, és alig befolyásolja a megszokott élelmiszer tulajdonságait, gyakorlatilag a fogyasztó nem tud különbséget tenni a kétféle élelmiszer között. A legtöbb esetben a kiegészítés (megerősítés) **nem befolyásolja az élelmiszer organoleptikus tulajdonságait**, mivel csak egy nagyon kis mennyiségű tápanyag-hozzáadásról van szó.

A fejlődő országokban a **legfontosabb népelelmészeti cikkeket egészítik ki főként vitaminokkal és ásványi anyagokkal**. Sok esetben alkalmaznak kiegészítést az olyan legfontosabb élelmiszerek esetében, mint a rizs, a búza vagy a kukoricaliszt, de sikerrel alkalmazták a vashiány enyhítésére a halból vagy a szójából készült szószoikat is. Az élelmiszerek kiegészítése mikrotápanyagokkal nagyon hatékony eszköz olyan betegségek és egészségügyi problémák legyőzésére, mint pl. a **jódhiány**, mely a népesség 10–15%-át érintheti, a **vashiány**, mely a fejlődő világ fél- és kétéves kor közötti népességét érintheti akár 40–60%-os arányban. A vashiány okozta vérszegénységben több tízezer fiatal nő hal meg évente. Az **A-vitamin-hiány** okozta immunrendszeri rendellenesség több millió fiatal gyermek halálát okozza évente, és a folsavhiány az oka több százezer születési rendellenességnek a fejlődő világban.

Tényleg ilyen jelentős probléma a jód-, a vas- és az A-vitamin-hiány a világban? A válasz egyértelműen igen, ezért az ENSZ illetékes bizottsága már korábban célként tűzte ki a jódhiány teljes kiküszöbölését 2005-re, az A-vitamin-hiányt 2010-re, és ugyanerre az időpontra 30%-kal tervezte csökkenteni a vashiányos anémiát. Sajnos a célokat nem sikerült megvalósítani, ezért a bizottság világméretű összefogást javasol e téren. A fejlődő országokban napi gyakorlattá vált a **gabonafélékből készült élelmiszerek kiegészítése mikrotápanyagokkal**, és pl. a **gyümölcslevek vagy a burgonyából készült ételek kiegészítése C-vitaminnal**.

Az összes mikrotápanyag közül legnagyobb mértékben a **folsav-kiegészítés hatását** tanulmányozták az egészségre. Mivel a folsavhiányos táplálkozás növelte a nyitott gerinc-csővel született csecsemők arányát, ezért az Egyesült Államokban folsavval egészítették ki

a gabonából készült élelmiszereket, és javasolták az ilyen megnövelt folsavtartalmú élelmiszerek fogyasztását áldott állapotban lévő kismamáknál. Több kísérlet egyértelműen bizonyította a folsavval való kiegészítés jótékony hatását az egészségre, ezért Európa több országában is éltek a folsav-kiegészítéssel, ami viszont idősebb embereknél B₁₂-vitamin-hiányhoz vezetett. A felsorolt példák azt mutatják, hogy ha valamelyik mikrotápanyaggal ki akarjuk egészíteni élelmiszereinket, kellő körültekintéssel kell eljárni, mert a kiegészítésnek a hasznos hatáson kívül esetleg káros következményei is lehetnek.

2.3. Az élelmiszer-komponensek helyettesítése

Nagy problémát jelentett a **zsíros tejek és tejtermékek helyettesítése** más élelmiszer-alapanyagokkal, mert a zsíros tej jelentős mennyiségű zsírolédékony vitamint tartalmazott, ami gyakorlatilag elveszett a sovány tejjel vagy más hasonló termékkel történő helyettesítés során. Hasonló probléma adódott akkor, mikor a hatvanas-hetvenes években **a húst próbálták meg helyettesíteni szójával**, melynek során vitamin-, ásványianyag- és esszenciális aminosav-kiegészítést kellett alkalmazni, hogy az ételek megfeleljenek a kívánalmaknak. Ugyancsak felvetette a mikrotápanyagokkal való kiegészítés szükségességét **a zsírhelyettesítő margarinok elterjedése**, melyeket szükséges volt A- és D-vitaminnal, valamint karotinnal kiegészíteni. A funkcionális élelmiszerek rendkívül gyorsan növekvő piaca is megkövetelte az élelmiszerek kiegészítését olyan tápanyagokkal, melyek rendszeres fogyasztásától egészségvédő és betegségmegelőző hatást reméltek. Az élelmiszerek mikrotápanyagokkal való kiegészítésével azonban óvatosan kell bánni, mert megváltozhatnak a kedvező tulajdonságok, nem várt íz és zamat alakulhat ki, és pl. a mikroelemekkel történő kiegészítés tönkretelheti az élelmiszer eredeti vitamintartalmát.

2.4. Dúsítás (supplementation)

A kiegészítéstől eltérően a dúsítás egy speciális terméket jelent, amely **egy vagy több élelmiszer-komponensből** vagy fiziológiai megfontolásból vagy egészségügyi okokból **jelentős mennyiséget tartalmaz**. Az élelmiszer-kiegészítéssel ellentétben a dúsítás a populáció kicsiny célcsoportjának a gyors, jó irányba történő megváltoztatását jelenti. A célcsoportot alkothatják a csecsemők, a kisgyermekek, bizonyos betegségben szenvedők vagy az idős emberek. A dúsítás sokkal olcsóbb is lehet, mint a kiegészítés, mert a tápanyagokat nem kell az egész populáció által fogyasztott élelmiszerhez hozzákeverni, hanem elég azt a célcsoportnak pl. kapszulában bevenni. A legismertebb ilyen dúsítmányok voltak a multivitaminok, melyek az összes szükséges vitamint tartalmazták az ember számára, vagy az ásványi anyagokkal kevert vitaminok, az utóbbi időben pedig nagyon népszerűek a különböző mennyiségű C-vitamint tartalmazó kapszulák.

A kiegészítőket a biztonságos táplálkozás, ill. terápiás célból fogyasztják. Az első esetben azt gondolják, hogy valamilyen táplálkozási szempontból fontos anyag, pl. antioxidáns nincs megfelelő mennyiségben a táplálékban, ezért kell ezeket tömény formában

beszedni. A második esetben **kifejezett gyógyhatást várunk el a készítménytől**. A kiegészítők a múlt század nyolcvanas éveig jobbra ásványianyag- és vitaminkiegészítők voltak, melyeket különböző gyógynövénykivonatokkal juttattak a szervezetbe. Ezt követően kezdtek különbséget tenni a kifejezetten gyógyhatású növényi kivonatok és az egyéb gyógynövények között.

A kiegészítők külön csoportját képezték azok a szerek, melyek az idős embereket célozták meg, és amelyek segítségével hatékonyan lehetett küzdeni pl. a csontritkulás ellen. Ezek a készítmények főleg kalciumot és D-vitamint tartalmaztak különböző koncentrációban.

2.5. Az élelmiszerek vitaminnal és ásványi anyaggal történő kiegészítése

A tápanyagokban lévő mikrokomponensek hiánya különösen érinti a csecsemőket, a gyermekeket és a várandós nőket, ezért az élelmiszerek kiegészítése ezen komponensekkel világszerte ismert. Ezek hiányában csökken a munkaképesség, romlik a tanulási készség, ezért a vitamin- és ásványianyag-kiegészítéstől rendkívüli előnyök várhatók társadalmi szinten. Az élelmiszerek kiegészítése a mikrokomponensekkel gazdaságilag is hatékony stratégia, ezért **főleg a széles körben fogyasztott élelmiszereket és azok alapanyagait**, mint amilyenek a gabonalisztek, a só, a cukor vagy a szójaszós, **egésztik ki mikrokomponensekkel**. Az élelmiszerek ilyen fajtájú kiegészítése mind a fejlődő, mind a fejlett országokban mindennapos. Leginkább a gabonafélékből készült élelmiszereket, a csecsemőtápszereket és a gyermekek által fogyasztott csokoládés italokat egészítik ki. Az iparilag fejlett országokban mikrokomponensekkel kiegészített élelmiszereket, funkcionális élelmiszereket hoznak létre, melyeknek egészségmegőrző, betegségmegelőző és számos betegséget gyógyító hatásuk is lehet. Sok ilyen termék van forgalomban terhes és szoptató anyáknak és kórházakban kezelt pácienseknek.

Néhány mikrokomponenssel történő kiegészítés könnyen megoldható (pl. jód), másoké (pl. vas) nehezebben kivitelezhető. Az ásványi anyagok megváltoztathatják az élelmiszer színét, ízét, aromáját, állagát, ezért a kiegészítést alapos előtanulmánynak kell megelőzni, mely minden hatást próbál feltérképezni.

2.5.1. A kiegészítés szükségessége

Az ásványianyag- és vitaminhiány nemcsak a fejlődő, hanem a fejlett ipari országokban is előfordul. **Az ásványi anyagok közül a cink, a szelén, a vas, a jód és a kalcium, a vitaminok közül pedig az A- és a D-vitamin-, valamint a folsavhiány szokott előfordulni**, de gyakori a niacinhiány is a kukoricát fogyasztó társadalmakban, a tiaminhiány a rizsfogyasztó populációkban, és a skorbut azoknál, akik kevés friss gyümölcsöt vagy zöldséget fogyasztanak. Az orvoslás kétféle módon lehetséges: folyamatosan szedni olyan kiegészítőket, melyek a hiányzó komponenseket tartalmazzák, vagy **az alapélelmiszereket kell kiegészíteni a hiányzó komponensekkel**. Egy harmadik lehetőség a megfelelően vegyes táplálkozás, melynek során nagy valószínűséggel minden mikrotápanyaghoz hozzájut a szervezet.

Az élelmiszerek mikrotápanyagokkal történő kiegészítése tűnik hosszú távon a leg-
hatékonyabb megoldásnak, mert ez az egész populációra kiterjed. Manapság **kétmilli-
árd ember szenved vashiányban, 1,9 milliárd jódhiányban, és A-vitamin hiányában**
250 millió iskoláskorú gyermeket veszélyeztet a vakság, ezért az élelmiszerek kiegészítésére
nemzeti és nemzetközi stratégiákat dolgoztak ki világszerte. A fő veszélyforrás a mikrokomponensek alacsony koncentrációja az élelmiszerekben, de veszélyt jelent a csökkent felszívódás és hasznosulás, a gyermekkor, a terhesség és a szoptatás, valamint az öregkor is, amikor a tápanyagok hasznosulása romlik. **A hiánybetegség ott fordul elő legnagyobb mértékben, ahol a táplálkozás a gabonán és a hüvelyeseken alapul**, és nem fogyasztanak elegendő mennyiségben állati eredetű élelmiszereket, főként húst, friss gyümölcsöt és zöldséget. Az ilyen élelmiszerekben sok a fitinsav, mely rontja az ásványi anyagok felszívódását, és kevés bennük a vitamin, különösen az A-vitamin és provitaminja, a karotin. Az élelmiszerek alacsony szelén- és jódhiánya ezen elemek talajban lévő alacsony koncentrációjával magyarázható, mely mind a növényi, mind az állati eredetű élelmiszerekben megmutatkozik.

Amennyiben az élelmiszerekben még megfelelő is lenne a mikrokomponensek mennyisége, az még nem jelentené a szervezet optimális ellátását, mert a komponensek hasznosulását, felszívódását sok tényező befolyásolhatja. Ilyen tényezők a hiányos fehérje- és energiaellátás, a fertőző betegségek, és más mikrokomponensek hiánya is befolyásolhatja a hasznosulást. Több mikrokomponens együttes hiánya is előfordulhat, amelyek egymás hatását erősíthetik.

2.5.2. A vashiány és következményei

A **vashiány** (angol rövidítése ID, iron deficiency), a világon mindenhol, a fejlődő és fejlett országokban egyaránt előfordul. Tanulmányok szerint a világ lakosságának majd 30%-a anémiás, és ezek közül **egymilliárd szenved vashiányos anémiában (IDA)**, másik egymilliárd pedig vashiányban, anémia nélkül. A vashiányt a hosszú távú negatív vasmérleg, a növényi eredetű táplálék alacsony felvehető vastartalma és a kevés húsfogyasztás, a könnyen felvehető hemvas hiánya okozza.

A szervezetünkben a vas teljes mennyisége fehérjéhez kötött, és az összes vas mennyiségének 95%-a a hemoglobinban és a mioglobinban található, melyek feladata az oxigén-szállítás az élő szervezetben. Vasat tartalmaznak még a citokrómok, melyek a terminális oxidációban játszanak vezető szerepet, és a NADH-dehidrogenáz, amelynek ugyancsak központi szerepe van az energiametabolizmusban. Néhány vastartalmú enzim az immunvédekezés eszköze, a maradék vas pedig, ferritin formában, a májban és a csontszövetben található. **A vashiány következtében fáradtság, gyengeség alakul ki, csökken az ellenállás a fertőzésekkel szemben**, csökken a munkakapacitás, növekszik a mortalitás, alacsonyabb tömegű csecsemők születnek, csökken a gyermekek tanulási és felfogóképessége.

Nagyon jó vasforrások a húсок és a húskészítmények, mert bennük sok a vas és a hasznosulás is nagyon jó, de pontosan ezekből az élelmiszerekből mutatkozik hiány a fejlődő országokban. A vasforrások közül a nem hemvas főként a növényi eredetű élelmiszerekben, **a hemvas pedig főként a húsban fordul elő**. Az iparilag fejlett országokban a hasznosuló vas 30–40%-a hemeredetű, az összes elfogyasztott vas mennyiségének ez azonban

csak a 10–15%-át teszi ki. A hemvas felszívódását jelentős mértékben nem befolyásolja az étel, vagy az abban lévő vas állapota, **a nem hemvas felszívódását viszont jelentős mértékben befolyásolják a vas állapota és a táplálék egyéb összetevői.** A gabonafélék és a hüvelyesek fitinsavtartalma, a különféle italok, a tea és a kávé polifenol-tartalma, jelentős mértékben csökkentik a nem hemvas felszívódását. Amikor ezeket az élelmiszereket vassal egészítjük ki, vagy ilyen élelmiszereket nagyobb vastartalmú élelmiszerekkel együtt fogyasztunk, célszerű a vas felszívódását elősegítő komponenseket – aszkorbinsav, etiléndiamin-tetraecetsav – is adagolni az élelmiszerhez.

Annak ellenére, hogy a vaspótlás, vaskiegészítés az egyik legnehezebben megvalósítható technológiai folyamat, az utóbbi években vassal kiegészített lisztet, rizst, halat és szójaszószt, kukoricát és megnövelt vastartamú tejet és tejterméket hoztak forgalomba.

2.5.3. A jódhány és következményei

Az egész világan előfordul jódhány, mely elsősorban a terhes nőket és a fiatalkorúakat veszélyezteti. A WHO adatai szerint az iskoláskorú gyermekek 36,5%-a jóddal hiányosan ellátott, és a megdöbbentő az, hogy Európában a gyermekek majd 60%-a jódhányban szenvedett egészen addig, amíg a jódozott konyhasó használata el nem terjedt a gyakorlatban. **A jód esszenciális komponense a pajzsmirigyhormonoknak,** amelyek szükségesek az idegszövet és az agy kifejlődéséhez a méhen belüli életben és a születés utáni időszakban. Felnőttkorban a nem megfelelő jódbevitel a pajzsmirigyhormonok csökkent szintéziséhez és a golyva nevű betegség kialakulásához vezet. A hiányos jódbevitel funkcionális abnormalitásokat eredményez, melyet összefoglalóan jódhányos rendellenességnek hívnak. A legkomolyabb rendellenesség a kretenizmus, melyet a jódhány okoz a méhen belüli fejlődés alatt. A jódhány neurológiai problémákat okoz a magzatban, melynek következtében kialakul a törpeség, mely együtt járhat a süketséggel. Enyhébb esetben mentális problémák, elégtelen iskolai teljesítmény, csökkent intelligencia alakulhat ki mind a gyermekeknél, mind a felnőtteknél. A fő ok minden esetben a csökkent jódbevitel, mely a talaj és az élelmiszerek jódhánya következtében alakul ki főként olyan folyóvölgyekben, ahol a csapadék kimosta a jódvegyületeket a talajból. Az alacsony jódbevitel miatti betegséget súlyosbítja a szelén és a vas hiánya, mert mindkét mikroelem szükséges a pajzsmirigyhormonok szintéziséhez.

A jódhány megszüntetésére **legjobb megoldás a jódozott konyhasó használata,** melynek alkalmazására először Svájcban került sor, és ma már a WHO javasolja a világon mindenhol a konyhasó jóddal történő kiegészítését, ill. a haszonállatok számára is javasolja a jódozott só használatát. Az intézkedésekkel elérték, hogy jódhány ma már a világon szinte sehol sem fordul elő. A jódozott konyhasó használatát követően javult az iskolás gyermekek felfogóképessége és teljesítménye, különösen akkor, ha az anya jódelátása a terhesség alatt megfelelő volt. A jódozott konyhasó mellett a jódozott víz, a különféle jódozott szósok és a jódozott búzaliszt is jó jódforrások lehetnek az ember számára.

2.5.4. Az A-vitamin-hiány és következményei

A vas- és a jódhány mellett az A-vitamin-hiány a legnagyobb jelentőségű az élelmezésben, és jelentős problémát jelent a fejlődő országokban, elsősorban Afrikában és Délke-

let-Ázsiában. Az **A-vitamin-hiány felelős a gyermekkori vakság kialakulásáért**, és olyan betegségek kockázatának növekedéséért, mint a járványos hasmenés és a kanyaró. Évente mintegy 500 ezer gyerek vakul meg A-vitamin-hiány következtében, és közülük 50% egy éven belül meghal.

Minden sejt a szervezetben rendelkezik retinoid receptorral, ami bizonyítja az A-vitamin esszencialitását és jelentőségét a különböző biokémiai folyamatokban. A-vitamin szükséges a rodopszin, a látórendszer kialakulásához, a retinasav szükséges a növekedéshez és a fejlődéshez, az immunfunkciók kialakulásához és a szaporodáshoz. Az A-vitaminhiány könnyen nyomon követhető a szem funkciójának változásával. **Nagyobb mennyiségű A-vitamin-bevitel esetén a főlegesen mennyiség elraktározódik a májban**, ahonnan a vitaminhiányos táplálkozás során felszabadul, és rendelkezésére áll a szervezetnek. A tejben és tejtermékekben jelentős mennyiségű A-vitamin és karotin is található, míg a hús nem tartalmaz jelentős mennyiségű A-vitamint. Mivel az A-vitamin a májban raktározódik, **a máj az egyik legjelentősebb vitaminforrás.**

Néhány növényi eredetű élelmiszer jelentős mennyiségű karotint tartalmaz, mely elég rossz hatásfokkal tud a szervezetben A-vitaminná alakulni. A β -karotinnak mintegy 10%-a, a többi karotinizomernek kb. 5%-a tud A-vitaminná átalakulni, de az átalakulás hatásfoka sok egyéb tényezőtől is függ, melyek közül az egyik, hogy a karotin milyen hatásfokkal tud a növényi sejtekből felszabadulni. **A gabonafélék és a hüvelyesek A-vitamin-tartalma csekély**, ezért az A-vitamin-hiány nagyon gyakori olyan népesség esetében, akik gabonára és hüvelyesekre alapozzák táplálkozásukat, kevés gyümölcsöt és zöldséget fogyasztanak, és rossz a szervezetükben a karotin A-vitaminná történő átalakulásának hatásfoka.

A lakosság A-vitamin-szükségletének kielégítésére régebb óta alkalmazzák a margarin és a növényi olajok A-vitaminnal történő kiegészítését, és sok helyen nemzeti programmá nemesült a **főzőolajok A-vitaminnal történő kiegészítése.**

2.5.5. A cinkhiány és következményei

A cinkhiányra elég nehéz következtetni, de a kutatások azt valószínűsítik, hogy jelentős cinkhiánnyal kell számolni Délkelet-Ázsiában, Afrikában és a Csendes-óceán nyugati térségében, és Európában is lehetnek olyan populációk, ahol mérsékelt cinkhiány előfordulhat. A cink mintegy 100 enzim működéséhez szükséges, melyek részt vesznek a metabolismusban, a növekedésben, az immunrendszer kialakulásában, a reprodukcióban és az idegrendszer kifejlődésében. A cinkhiány kialakulásához hozzájárul az alacsony cinkbevitel, az alacsony hasznosulás és az élelmiszer magas fitinsavtartalma, mely rontja a cink hasznosulását. **Cinkhiány elsősorban a gabonafélékre és a hüvelyesekre alapozott táplálkozás során fordul elő**, mely párosul a csekély hús, valamint tej- és tejtermékfogyasztással.

A cinkhiány hatással van a növekedésre, a bőr állapotára, a neurológiai rendellenességekre, a halvaszületésre, de nincs hatással az újszülött tömegére. A cinkkiegészítés pozitív hatással volt a lineáris növekedésre különösen azoknál a gyerekeknél, akik soványak voltak a kísérletek megkezdésekor. A cinkkiegészítés hatására csökkentek az emésztőszervi és légzőszervi megbetegedések. Annak ellenére, hogy a cink egy nagyon fontos mikroeleme a szervezetnek, **az élelmiszerek cinkkel történő kiegészítése nem terjedt el a gyakorlatban.**

2.5.6. A kalciumhiány és következményei

A kalciumhiány azokban a populációkban fordul elő világszerte, ahol nincsenek hagyományai a tej és a tejtermékek fogyasztásának. A kalciumhiányra nagyon nehéz következtetni, mert nincsenek látható tünetei. Egyetlen lehetőség a szervezetbe bevitt kalcium mennyiségének összehasonlítása a szükséglettel, bár a szükségletet is széles tartományban adják meg a különböző ajánlások. A kalcium 99%-a hidroxipapatit formájában található a csontokban, ezért különösen fontos a kalciumbevitel a növekedés időszakában, nőknél pedig a menopauzát követően, hogy elkerülhető legyen a csontritkulás. A kalciumbevitel sejtszinten nem befolyásolja a metabolizmust, mert **a kalciumkoncentráció jól kontrollált a szervezetben**, és hiány esetében a szervezet a csontokból pótolja a szükséges mennyiséget. A csontsűrűség 20 éves korig nő, 30 éves korig alig változik, majd ezt követően mindkét nemnél csökken az élet végéig. A nők különleges helyzetben vannak a menopauzát követően, mert csontjaik kalciumtartalma csökken, fokozódik a csontritkulás, és a csontok hajlandósága a törésre. Gyermekes esetében a hiányos kalcium- és D-vitamin-el látás nem teszi lehetővé az erős csontok kifejlődését, és később is hajlamosabb lesz az ilyen szervezet a csontritkulásra.

A fejlett ipari országokban **a kalciumszükséglet 60–70%-a a tejből és a tejtermékekből származik**, ezek az élelmiszerek azonban nem állnak korlátlanul rendelkezésre a fejlődő országokban. Ott, ahol a minimális tej- és tejtermékfogyasztás együtt jár az élelmiszerek magas fitinsavtartalmával vagy a zöldségek magas oxálsavtartalmával, kalciumhiánnyal lehet számolni. **A kalciumabszorpció szoros összefüggésben van az optimális D-vitamin-bevitellel**, mert ahol alacsony az élelmiszerek D-vitamin-tartalma és kevés a napsütés, ami segíti a bőrben a D-vitamin szintézisét, kalciumfelszívódási zavarokkal lehet számolni. Ezért van nagy jelentősége a kalciummal dúsított élelmiszereknek Afrikában és Ázsiában, sőt még az iparilag fejlett északi országokban is, ahol az év egyes szakaszaiban nincs elegendő napsütés a kalcium abszorpcióját segítő D-vitamin szintéziséhez. A serdülő lányok és asszonyok kalciumellátottsága rossz, ha nem fogyasztanak elegendő tejet és tejterméket. A kalciummal és D-vitaminnal dúsított élelmiszerek segítenek abban, hogy a fiatal szervezet elérje a genetikailag meghatározott maximális kalciumtartalmat a csontban, mely a későbbiekben mérsékli az oszteoporózis veszélyét.

2.5.7. A folsavhiány és következményei

A folsavhiányról nem állnak rendelkezésre megbízható adatok, azonban általánosságban elmondható, hogy **folsavhiány ott alakulhat ki, ahol finomított alapanyagokból készült élelmiszereket fogyasztanak, ill. nem fogyasztanak elegendő mennyiségben leveles zöldségeket**. A nem kellő ismeretekhez az is hozzájárul, hogy a folsavstátusz és az élelmiszerek folsav koncentrációjának mérése nehéz feladat. A folsavstátusz meghatározására vizsgálják a szérum és az eritrociták folsav-koncentrációját, és ez utóbbi jobb, ha a folsavstátuszról hosszabb távra szeretnénk információkat kapni. Bár a többi B-vitamin hiánya is hatással van rá, de a szérum homociszteinszintje is hasznos információval szolgálhat a szervezet folsavellátottságát illetően.

Folatoknak hívják azokat a folsavszármazékokat, amelyek a B-vitamin komplex részeként hozzájárulnak a szervezetben **a koenzim-A szintéziséhez**, mely az egy szénatomos

csoportok átvitelében tölt be kulcsszerepet. A sejtek szaporodása, növekedése megköveteli a megfelelő mennyiségű folsavat, hisz ennek hiányában nagyon sok biokémiai folyamat leáll a szervezetben. A nem megfelelő folsavellátás vagy a folsavanyagcsere zavara a nyitott gerinccel születő csecsemők számának növekedéséhez, megaloblasztikus anémiához, neurológiai degenerációhoz, rákhoz és szív-ér rendszeri panaszokhoz vezethet. A folsav és a többi B-vitamin együttes hiánya megemeli a vér homocisztein-tartalmát, melyet összefüggésbe hoztak a szívkoszorúér-megbetegedésekkel.

Az élelmiszerek, elsősorban a liszt folsavval történő kiegészítése jelentősen csökkentette a nyitott gerinccel született csecsemők számát, és hozzájárult a korábban folsavhiánynak tulajdonított betegségek visszaszorulásához.

2.6. Az élelmiszerek vitaminokkal történő kiegészítése

A vitaminokat a köznapi életben többféle névvel illetik. Sokszor alkalmazzák a vitamin szó előtt a betűjelölést, esetleg indexszel ellátva, ha többfajta változat létezik a hasonló hatású vitaminból, de használnak triviális neveket is, melyek valamilyen módon utalnak a vitamin élettani szerepére. A leggyakoribb elnevezések a következők: A-vitamin = retinol; D₂-vitamin = ergokalciferol; D₃-vitamin = kolekalciferol; E-vitamin = α-, β- és γ-tokoferol, α-tokotrienol; K₁-vitamin = fillokinon, fillomenadion; K₂-vitamin = farnokinon, menakinon; K₃-vitamin = menadion; B₁-vitamin = tiamin; B₂-vitamin = riboflavin; B₆-vitamin = piridoxál, piridoxin, piridoxamin; B₁₂-vitamin = kobalamin, cianokobalamin, hidroxo-kobalamin; niacin = nikotinsav (régebben PP-vitamin); niacinamid = nikotinsavamid (PP-vitamin); pantoténsav = nincs más elnevezése; folsav = folacin; biotin = H-vitamin; C-vitamin = aszkorbinsav.

A vitaminok a kevésbé stabil élelmiszer-komponensek közé tartoznak. A stabilitás változik a vitamin fajtájától; vannak, amelyek stabilabbak (niacin), és vannak, amelyek kevésbé stabilak (B₁₂-vitamin). A vitaminok stabilitását leginkább a hőmérséklet, a nedvesség, az oxigén, a fény, a pH, az oxidációs vagy redukációs komponensek jelenléte, a nehézfémionok (réz, vas) jelenléte, a kén-dioxid mennyisége, más vitaminok jelenléte, ill. a felsorolt hatások kombinációja befolyásolja. **E tényezők közül legfontosabbak a hőmérséklet, a nedvesség, az oxigén, a pH és a fény.**

A zöldségek és gyümölcsök esetében a vitaminok bomlása már a tárolás ideje alatt megkezdődik, majd folytatódik a feldolgozás során, és **különösen nagy vitaminvesztéssel kell számolni ott, ahol jelentős hőkezelést is alkalmaznak.** Mivel ugyanarról az anyagról van szó, az élelmiszerekben eredetileg is jelenlévő, ill. a hozzáadott vitamin hasonló módon bomlik le az említett technológiai műveletek során, bár a szintetikus származékok, a só- vagy észterformák növelhetik a stabilitást. Így pl. a tokoferolészterek stabilabbak, mint az eredeti tokoferolalkohol.

Ma már minden élelmiszer esetében meg kell adni az összetételt, ami a vitaminok esetében nehéz, hisz a **vitamintartalom időről időre változhat.** Az ellenőrző hatóságok is mindig azt a komponenst vizsgálják, amely legérzékenyebb a technológiai, a raktározási és a szállítási körülményekre. Ezért vizsgálják többek között intenzíven a vitamintartalmat,

mert ha ezek a jelzett koncentrációban jelen vannak egy élelmiszerben, akkor ott különböző probléma nem lehet. A deklarált vitamintartalom betartása egyébként nehéz helyzet elé állítja az élelmiszer-előállítókat, mert **minden vitamin különböző módon bomlik**, és azt deklarálni, hogy az élelmiszer életútja során hogy változik a vitamin-összetétel, nagyon nehéz.

Bonyolítja a helyzetet, hogy a **vitaminok egymással is kapcsolatba kerülhetnek**, és segíthetik egymás lebontását, ami esetenként nagyon meggyorsíthatja egyes vitaminok átalakítását, különösen gyümölcslevek esetében. Ezt a hatást mindenképpen figyelembe kell venni, amikor az élelmiszer vitamintartalmát a technológiai beavatkozások során elszenvedett bomlás miatt az eredeti szintre állítjuk be, vagy megnöveljük a vitamintartalmat a különböző üdítőitalok vagy gyümölcslevek esetében. A legtöbb eredményt e tekintetben a folyékony multivitamin-preparátumokkal kapcsolatban végzett kutatások hozták, melynek során 13 vitaminnal mutatták ki, hogy kölcsönhatásukkal gyorsítják más vitaminok bomlását. A legfontosabbak ezek közül az aszkorbinsav, a tiamin, a riboflavin és a cianokobalamin.

A legfontosabb interakciók a különböző vitaminok között az alábbiak: **az aszkorbinsav növeli a folsav és a cianokobalamin instabilitását**, a tiamin a folsavét és a cianokobalaminét, a riboflavin pedig a tiaminét, a folsavét és az aszkorbinsavét. Ezenkívül még az is előfordulhat, hogy **a vitaminok csökkentik vagy növelik a másik vitamin oldhatóságát**. Így pl. a nikotinsavamid növeli a riboflavin és a folsav oldhatóságát.

Az utóbbi időben a sok behatás mellett, melyek elősegítik a vitaminok bomlását, különös figyelmet fordítottak a fénynek, a besugárzásnak a szerepére annál is inkább, mert a gyakorlatban terjednek pl. az UV-fénnyel történő csírátlantási módszerek. Európa sok országában az élelmiszer besugárzását nem tiltják a törvények, ezért egyre több élelmiszer esetén alkalmazzák ezt a technológiai eljárást a csíraszám csökkentésére. Kimutatták, hogy **az élelmiszerek vitamintartalma csökken a besugárzás hatására**, és hogy a csökkenés mértéke egyértelműen összefügg a besugárzás erősségével. Alacsony dózis esetében (kisebb, mint egy kGy) nincs számottevő vitaminvesztés, **3–10 kGy besugárzás hatására** azonban, levegő jelenlétében, **már vitaminvesztés léphet fel**, mely tovább növekszik a tárolás során. Még erősebb dózis alkalmazásánál az élelmiszert speciális csomagolóanyagokkal védeni kell, mely magában foglalja a levegőkizárást, és a besugárzást alacsony hőmérsékleten kell végezni.

A kutatások kimutatták, hogy a zsírolédkony vitaminok közül az A-, az E- és a K-vitamin érzékeny a besugárzásra, míg a vízóldékonyak közül a tiamin a legérzékenyebb, a niacin, a riboflavin és a D-vitamin pedig nem érzékeny rá. Ellentmondást találtak a fényérzékenységgel kapcsolatban, ugyanis vannak olyan élelmiszerek, amelyeknél jelentős bomlást észleltek besugárzás hatására, és vannak olyanok, ahol ugyanolyan dózison nem mutatkozik bomlás.

2.7. Az élelmiszerek polifenolokkal történő kiegészítése

2.7.1. A polifenolok tulajdonságai

A polifenolok vagy más néven flavonoidok a növények másodlagos anyagcseretermékei, melyek közül napjainkig több mint hatezret azonosítottak. **A fenolos gyűrűhöz kapcsolódó hidroxilcsoportok kiváló antioxidánssá teszik őket**, és ez az antioxidáns hatás hozható kapcsolatba az egészségvédő, egészségmegőrző tulajdonságaikkal. **A flavonoidok szerkezetük alapján hat csoportba oszthatók:** flavonolok, flavonok, katechinek, flavononok, antocianidinek és izoflavonok. Antioxidáns hatásuk mellett a flavonoidok módosíthatják olyan kulcsenzimek aktivitását, mint a ciklooxygenáz, a foszfolipáz, a glutation-reduktáz és még sok más, a metabolizmusban részt vevő enzim is ide tartozik. Ezen enzimek működésének módosításán keresztül értágító hatással, **rákellenes hatással, gyulladáscsökkentő hatással és immunrendszer-erősítő hatással rendelkeznek.** Élelmiszereink közül a legfontosabb flavonoidforrások a gyümölcslevek, a kávé, a tea, a vörösbor, a hagyma, az alma és a bogyós gyümölcsök, pl. a fekete ribizli és az áfonya. Az élelmiszerekben előforduló fő flavonoidok a katechin és a katechin-gallátok, valamint a kvercetin és a kampferol, és ezek glikozidjai.

Az előzőek ismeretében a polifenoltartalmú élelmiszereket elsősorban a szív-ér rendszeri betegségek és a rák megelőzésére használták, mely célból nemcsak az élelmiszereket, hanem az azokból kivont koncentrátumokat is alkalmazták a betegségmegelőzés érdekében. Az élelmiszerek kiegészítésével és a funkcionális élelmiszerek előállításával foglalkozó ipari üzemek érdeklődése is a polifenolok felé fordult, melynek során különböző **proantocianidinekben gazdag kivonatokat állítottak elő a szőlőmagból**, a fenyőfa kérgeből, a citromfűből, a zöld teából és az olajbogyóból. A szőlőmagkivonat nagy koncentrációban tartalmaz olyan polifenolokat, mint amilyenek pl. az oligomer proantocianidinek, amelyek a szőlőmagban dimer, trimer és egyéb oligomer formában fordulnak elő, és amelyek egyedülnek számítanak ezen a területen. **A szőlőmag polifenoljai antioxidáns hatással rendelkeznek**, és képesek a szív-ér rendszeri betegségek megelőzésére, melyért a vörösborban nagyobb koncentrációban előforduló polifenolok a „felelősek”. Azt is gondolják róluk, hogy segítségével a bőr rugalmassága megőrződik, mivel **stabilizálják a bőrben lévő kollagént és elasztint.** Az utóbbi időben a testkontrollban is szerepet kaptak, mert kutatások szerint **meggátolják a zsír beépülését a szövetekbe.**

A szőlőmaghoz hasonló antioxidáns hatású anyagokat tudtak előállítani a fenyőkéregből is, melyről megállapították, hogy jelentős mennyiségben tartalmaznak proantocianidineket, melyekkel meg lehet akadályozni a lipidek peroxidációját. A citromfűextraktum is gazdag antioxidáns hatású polifenolokban, mint amilyenek a fenolsavak, és közülük is a legfontosabb a rozmaringsav. **A citromfűbalzsam nyugtató hatású**, melybe beleértendő az alvási rendellenességek, a stressz és az idegrendszeri rendellenességek enyhítése. Kisebb mennyiségben jó hatással van az ember hangulatára, közepes mennyiségben pedig nyugtató hatású. A hangulatjavító hatás mellett jelentős nyugtató hatással is rendelkezik. **Pozitív hatással van a felfogóképességre**, ezért rendkívül népszerű az innovatív funkcionális élelmiszerekben. Azt állítják róla, hogy javítja a kognitív képességeket, növeli a koncentrációt és a mentális erőt.

A zöldtea-kivonat gazdag katechinekben, különösen **epigallokatechin-gallátban**, mely az előzetes kutatások szerint **gyorsítja a zsír oxidációját a szervezetben**, de antioxidáns és gyulladáscsökkentő hatást is tulajdonítanak neki, mely mind a katechintartalommal van kapcsolatban. A zöldtea-kivonat jelentős mennyiségben tartalmaz olyan alkaloidokat, mint pl. a koffein, melynek hatására nő az éberség és a koncentrációképesség. Napi fogyasztása karbantartja a testet, és segít megelőzni a zaklatott életstílusból fakadó betegségeket, és a zöld tea és annak epigallokatechin-gallátja csökkenti a testtömeget és a zsír beépülését a szövetekbe. A rooiboskivonat ugyancsak gazdag olyan antioxidánsokban, mint a flavonoidok és a fenolsavak, amelyek jelentős szabadgyök-befogó kapacitással rendelkeznek, és inhibitorai az oxidatív stressznek. Állatkísérletekkel bizonyították, hogy a rooibos antioxidánsai egészségmegőrző hatással rendelkeznek, és segítenek az öregedés okozta betegségek elleni küzdelemben.

A flavonoidokról részletesebb információ található e fejezet végén és az utolsó, vörösborral foglalkozó fejezetben.

2.7.2. A növényi kivonatok készítésének technológiai szempontjai

A funkcionális élelmiszerek előállítása során egyre nagyobb igény mutatkozik olyan bioaktív komponensek előállítására, mint amilyenek a különböző növényi extraktumok, beleértve a zöld teát, a rooibos teát, a citromfűkivonatot, a kaktuszkoncentrátumot és még sok más. Ezen kivonatok közül nem mindegyik felel meg funkcionális élelmiszer előállítása céljából. Hogy használhatók-e funkcionális élelmiszer előállítására, az függ attól, hogy a növényt használták-e tradicionálisan élelmiszerként, hogy **a hatóanyag milyen fiziológiai és farmakológiai tulajdonságokkal rendelkezik**, és függ a növényi kivonat technológiájától is. A növényi kivonatok általában szárított növényi részekből készülnek, és koncentráltan tartalmazzák a hatóanyagokat, amelyért előállítják őket. A kivonást csak olyan oldószerrel lehet végezni, amelyeket engedélyeznek az élelmiszer-előállítás során. Nagyon jól alkalmazhatók kivonásra **a vizes oldószer**, melyek általában **nem változtatják meg a kereset anyag összetételét**, a víztől eltérő oldószer az azonban jelentős változásokat okozhatnak a hatóanyag összetételében. **A növényi extraktumok esetleg több száz anyagot is tartalmazhatnak**, melyek közül esetenként csak egyre-kettőre van szükségünk, de hogy mi van az összes többivel, azt általában nem vizsgálják, annak ellenére, hogy ezek **a hatóanyagok szinergista módon hatnak**.

A hatóanyagok mellett ezekben a kivonatokban előfordulhatnak mérgező nehézfémek, mikotoxinok, policiklusos aromás szénhidrogének, dioxinok és poliklórozott bifenilek és másodlagos növényi anyagcseretermékek is, mint pl. a kumarin, az aloin vagy a pulegon, amelyeket vizsgálni kell, mielőtt a kivonatot élelmezési célokra alkalmaznák. Nagyon lényeges, hogy **a kivonási eljárást standardizálni kell**, és az extraktumoknak nem szabad lényegesen változniuk a különböző sarzsokban. Mindehhez szükséges **a szigorú minőségbiztosítás**, mely magában foglalja az alapanyag minősítését, a kivonási eljárás leírását, **a biztosítékot, hogy az aktív komponens vonat ki megfelelő koncentrációban**, amihez szükséges egy analitikai háttér a vizsgálatok elvégzéséhez. Erre a célra a nagy hatékonyságú folyadékromatográfia (HPLC) a legalkalmasabb, mellyel el lehet végezni a kivonat ujjlenyomat-analízisét, és ellenőrizni lehet, hogy a különböző időben készült kivonatok megfe-

lelnek-e a standardnak, vagyis az előírásoknak. Ugyanezzel a módszerrel lehet minősíteni a nyersanyagot is, valamint azt, hogy az aktív komponens összetétele nem változott-e az extrakció folyamán.

Az extraktumtól függően az megváltoztathatja a kiegészített élelmiszer színét és ízét, előfordulhat barnulás, vagy keserű íz is kialakulhat. A fentiek miatt **az extraktot mindig ellenőrizni kell, mielőtt hozzákevernék az élelmiszerhez.** A zöldtea-extraktum keserű ízű, ezért 600 mg/kg-nál többet nem szabad az élelmiszerhez keverni belőle. Cukor és különböző ízanyagok adagolásával a keserű ízt el lehet nyomni, így több extraktumot lehet az élelmiszerhez keverni. Az extraktum-hozzáadás hatására megváltozhat a funkcionális élelmiszer színe is, amire jó példa a szőlőmagextraktum, melynek barnásvörös színe megnehezíti az élelmiszerhez keverését anélkül, hogy annak színe lényegesen ne változna. Ha zöldtea-extraktumot kevernek vízhez, annak színe alacsony koncentrációban adva halvány borostyánszínű, nagyobb koncentrációban adagolva viszont sötétebbé válik. 0,1–0,2%-ban adagolva színe whiskyszerű lesz, 1%-os koncentrációban viszont már barnává változtatja az oldatot. A továbbiakban a tárolás során előforduló oxidáció miatt a szín sötétebb lesz. Még nagyobb koncentrációban adagolva a zöldtea-extraktumot az kiülepedik a vizes oldatból, melyet meg lehet akadályozni különféle hidrokolloidok adagolásával.

A különféle növényi kivonatokat vízalapú vagy teaalapú italoknál használják, de hozzákeverik tejhez és tejtermékekhez is. A legkedveltebb növényi kivonat a zöld teaé, melyet a rooibostea-kivonat követ, majd a kaktuszkivonat zárja a sort.

2.8. Az élelmiszerek karotinoidokkal történő kiegészítése

A karotinoidok a természetes növényi pigmentek nagy csoportját alkotják. Színük a sárgától a vörösig változhat a természetben. Több mint 600 különféle lipofil pigmentet azonosítottak, melyeket csak a növények, a baktériumok és az algák képesek szintetizálni, az emberek és az állatok pedig a táplálkozás során jutnak hozzá ezekhez a vegyületekhez. Az emberi élelmiszerek kb. 50–60 különböző karotinoidot tartalmaznak, melyek közül mintegy 30-at azonosítottak az emberi vérszérumból. Sok karotint tartalmazó élelmiszer a sárgarépa, mely színét a legismertebb és legjobban tanulmányozott karotintól, a β -karotintól kapta. **A β -karotin az A-vitamin provitaminja**, melyből a karotináz enzim segítségével két molekula A-vitamint tud a szervezet szintetizálni. A β -karotinnal történő élelmiszer-kiegészítés hosszú múltra tekint vissza, mert pl. a gyümölcsleveket már régóta kiegészítik β -karotinnal.

A karotinoidokat leginkább élelmiszer-**színezékként** alkalmazták a múltban. Mivel egyre több bizonyíték van a karotinoidok jótékony hatásáról az emberi egészségre, ezért azt gondolják, hogy azok az étrendek, amelyek sok gyümölcsöt és zöldséget tartalmaznak, egészségesek, és a magas karotintartalmat kapcsolatba hozzák különféle olyan betegségek megelőzésével, amelyek összefüggésben vannak az oxidatív stresszel. Azt gondolják, hogy karotinkészítmények adagolásával ellensúlyozni lehet az alacsony gyümölcs- és zöldségfogyasztásból eredő egészségügyi zavarokat.

Az élelmiszerekben előforduló sok karotinoid közül a legfontosabbak a β -karotin, az α -karotin, a β -kriptoxantin, a lutein, mely nem A-provitamin, a zeaxantin és a likopin. Az **egészségvédő hatásukat a kiemelkedő antioxidáns tulajdonságuknak tulajdonítják**, mely az összes karotinoidra jellemző. Specifikus szerepük még, hogy a szervezetben A-vitaminná tudnak alakulni. Kiemelkedő közülük ebből a szempontból a β -karotin, mely két A-vitamin-molekulává tud átalakulni, de a többi karotinoid nagyobb része is képes erre a konverzióra. A luteinnek, a likopinnek és a zeaxantinnek is speciális szerepe van; a lutein és a zeaxantin **hozzájárul a szem egészséges működéséhez**, a likopin pedig segít a **prosztatarák megelőzésében**. Egyértelműen bizonyított, hogy azoknál a férfiaknál, akik sok paradicsomot és paradicsomlevet fogyasztanak, lényegesen alacsonyabb számban fordul elő prosztatarák. A lutein és a zeaxantin szelektíven abszorbeálódik a szem retinájának sárgatestében, megvédve így azt az oxidációtól, mintegy kék szín szűrőként működve óvják a szemet a nemkívánatos sugárzástól, és késleltetni tudják a korral egyre inkább előforduló betegséget, a makula degenerációt. Az asztaxantin egy rózsaszínű karotinoid, mely nem rendelkezik A-vitamin-aktivitással, ugyancsak a figyelem középpontjába került sok, jótékony egészségvédő hatása miatt, azonban e hatásokat egyelőre még nem sikerült korrekt kísérletekkel bizonyítani.

A növényi vagy algaeredetű karotinoidokat attól függően, hogy milyen típusú élelmiszereket egészítenek ki vele, **olajosoldat- vagy porformában alkalmazzák**. Az olajos formát magas zsírtartalmú élelmiszerek, a tej, vaj, margarin, sajt, joghurt kiegészítésére, míg a por alakú formát főként italok és alacsony zsírtartalmú készítmények esetén alkalmazzák. Azoknál az élelmiszereknél, melyek főként zsírt és vizet tartalmaznak (margarin, tejszín, vaj), a karotinoidokat olajos fázisban, emulgeálószerrel, ízanyagokkal és antioxidánsokkal együtt adagolják, majd legvégül vizet adnak a rendszerhez a kellő emulzió kialakítása céljából. Gabonából készült élelmiszerek és sütőipari termékek esetében olajos fázisban is lehet adagolni a karotinoidokat a tészta készítés során, de elterjedtebb az a gyakorlat, amikor porformában adagolják a liszthez, még a tészta készítését megelőzően. Italoknál, tejalapú ivóleveknél, gyümölcspreparátumoknál a por formájában történő adagolás a leghatékonyabb. Gondoskodni kell a homogén eloszlásról, az állás közbeni szétválás megakadályozásáról, melynek érdekében magas fordulatszámon történő keverést vagy magas nyomáson végzett homogénezést alkalmaznak.

A hozzáadott karotin mennyiségét elsősorban a kívánt szín elérése és az egészségügyi szempontból való hatásosság szabja meg. Magas gyümölcstartalmú narancsleveknél a 4–6 mg/liter luteinészter az eredetileg is jelenlévő sárga szín miatt semmiféle színváltozást nem okoz, de ha a gyümölcsle kevésbé gyümölcsöt tartalmaz, akkor a színváltozás, szín-mélyülés intenzívebb lehet.

Manapság a β -karotint és a likopint az élelmiszeriparban széles körben alkalmazzák élelmiszerek színezésére. A **β -karotint nagy mennyiségben alkalmazzák a margarinok, vaj, sajt, joghurt és a fagylalt színezésére**, de alkalmazzák sütőipari termékeknel, leveseknél, szószoknál, salátaönteteknél és édességeknél is, valamint nagy mennyiségben használják a multivitaminitalok előállításánál. A likopint főként levesek és szószok színezésére használják, és kevésbé terjedt el használata a sütőipari termékeknel és az édességeknél. A likopin használata nem olyan széles körű, mint a β -karotiné, de beszámoltak alkalmazásáról instant csokoládéitalokban és zöldséglevelekben is.

2.9. Az élelmiszerek esszenciális zsírsavtartalmú olajokkal történő kiegészítése

Korábban a zsírokról egyértelműen negatív kép alakult ki az emberekben, mert csak annyit tudtak róluk, hogy növelik az emberi szervezet elzsírosodását, és szív- és érrendszeri problémákat okoznak. Néhány lipidről azonban kiderült, hogy **egészségvédő hatással rendelkeznek**, és esetenként **esszenciálisak az emberi szervezet számára**. Legismertebbek e kedvező hatások közül a **növényi szteroidoké**, melyek **koleszterincsökkentő hatással rendelkeznek**, vagy az olyan zsírsavaké, melyek **gyulladáscsökkentő hatással bírnak**. Az utóbbiakat többszörösen telítetlen zsírsavaknak (PUFA, polyunsaturated fatty acids) vagy ω -zsírsavaknak hívjuk, ami azt jelenti, hogy a karboxilcsoporttal ellentétes vég felől számolva hányadik szénatomnál található az első kettős kötés. Ezek a kettős kötések izoláltak, azaz két szigma-kötés található a két kettős kötés között, míg a konjugált linolsavban (CLA vagy magyarul KLS) a kettős kötések konjugáltak.

2.9.1. A növényi szteroidok hatása

A növényi szteroidokra több kifejezés is elterjedt a gyakorlatban: **növényi szteroidok**, fitoszteroidok, növényi sztanolok, fitosztanolok, melyek mind zsírsavhoz kapcsolt észterek formájában találhatók meg a növényekben. Közös jellemzőjük, hogy kémiai szerkezetüket tekintve **nagyon hasonlítanak a koleszterinhez**. Legfontosabb képviselőik a szitoszterol, a kampeszterol és a sztigmaszterol. A növényi sztanolok telített növényi szterolok, mivel nincs a szteroid gyűrűben kettős kötés. A növényi szteroidok sejtfalépítő komponensek, ezért szinte mindenütt megtalálhatók a növényvilágban. Legnagyobb mennyiségben a zöldségekben, a gyümölcsökben, a hüvelyesekben, a dióban, a különféle magokban és a főzőolajokban fordulnak elő. A napi fogyasztás személyenként 100–400 mg/fő/nap, holt kísérletekből következően legalább 1000–3000 mg-ot kellene fogyasztanunk naponta, hogy legalább 10–15%-kal csökkenjen az LDL-koleszterin-szint a szervezetünkben. **A növényi szteroidok nincsenek hatással a HDL-koleszterin-szintre, de mivel javítják az LDL/HDL arányt, ezért egészségvédő hatással rendelkeznek.**

A fentiek miatt egyértelműen megállapítható, hogy ha naponta kétszer elfogyasztunk 0,65 g növényi olajból származó szteroidot az ételadagban, melynek alacsony a koleszterin- és a telítettzsírsav-tartalma, akkor jelentős mértékben csökkenteni lehet a szívbetegségek kialakulásának valószínűségét. Az utóbbi időben ezt a megállapítást megerősítették az egyéb növényi szteroidok és a szteroidészterek esetében is. A növényi szteroidokkal való kiegészítést az Egyesült Államokban a narancslé, a joghurt, a margarin és különböző növényi kiegészítők esetében alkalmazzák. Európában a növényi szteroidokat élelmiszer-bevonók esetében alkalmazták, és ajánlották azoknak, akik csökkenteni akarták vérük koleszterinszintjét. Ezt követően használták fermentációval készült tejtermékek, joghurt típusú élelmiszerek, szójaalapú italok, salátaöntetek, majonéz, fűszeres szószok és a rizskenyér esetében is.

2.9.2. Többszörösen telítetlen zsírsavak

2.9.2.1. A többszörösen telítetlen zsírsavak biológiai hatása

A többszörösen telítetlen zsírsav (PUFA) kifejezést mindazon zsírsavak esetében használják, amelyek legalább két telítetlen kötést tartalmaznak. Az emberi táplálkozásban a hosszú láncú PUFA-knak van jelentőségük, melyek legalább 18 szénatomot (vagy többet) tartalmaznak, mint amilyenek a linolsav (C18:2) vagy a linolénsav (C18:3), melyek ráadásul még esszenciálisak is, mert a szervezetünk nem tudja előállítani őket, és mindenképpen az élelmiszerekből kell hozzájuk jutnunk. Attól függően, hogy a zsírsav metilvégétől számolva hányadik szénatomon van az első kettős kötés, ismerünk omega-3 (ω -3 vagy n-3) és omega-6 (ω -6 vagy n-6) zsírsavakat. Mindkét típusú zsírsav az emberi szervezet építő komponense, ami olyan anyagokat állít elő belőlük, mint az **eikozanoidok**, mely hormon-szerű vegyületek modulálják a szív- és érrendszert, a légzőrendszert, az immunrendszert és a reprodukciós funkciókat. Az eikozanoidok kulcsszerepet játszanak a **gyulladások megelőzésében**, így minden olyan betegség megelőzésében, mely a gyulladásokkal hozható kapcsolatba. **Az eikozanoidok főbb csoportjai a leukotriének, a prosztaglandinok, a prosta-ciklinek és a tromboxánok.** Az ω -3 zsírsavakból előállított eikozanoidok gyengébb, esetenként ellentétes hatásúak, mint azok, melyeket ω -6 zsírsavakból állít elő a szervezet, ezért az ω -3/ ω -6 zsírsavarány ismerete rendkívül fontos számunkra. Az eikozanoidok szintézise az emberi szervezetben attól függ, hogy milyen zsírsavakhoz jut hozzá, ezért a táplálék ω -3/ ω -6 aránya megszabja a belőlük előállítható eikozanoidok mennyiségét. Úgy gondolják, hogy a 4 : 1 ω -3/ ω -6 arány az optimális az emberi szervezet számára, de több országban mértek 7 : 1 és 14 : 1 arányokat is, amelyek messze eltérnek az optimálistól.

Állatokkal végzett kísérletek és emberekkel történt megfigyelések egyértelműen bizonyították a **PUFA zsírsavak** jótékony hatását az ember egészségére, azonban még mindig viták folynak arról, hogy a placebohatásnak milyen szerepe van a kísérletek folyamán, ill. hogy **mi az optimális dózis ezekből a zsírsavakból** a megfelelő hatás kiváltásához. Jelenleg is kutatják, hogy milyen hasznos szerepe van a PUFA-knak az asztma, a szembetegségek és a neurodermatitisz elleni küzdelemben.

2.9.2.2. A többszörösen telítetlen zsírsavak forrásai

A PUFA-val való kiegészítés optimális nyersanyagai a különféle növényi olajok, mint pl. a **ligetszépeolaj és a lenmagolaj**, melyek karakterisztikus ω -3/ ω -6 aránnyal jellemezhetők, és különösen a **halolaj** tartalmaz nagy mennyiségű eikozapentaén- (C20:5 n-3) és dokoza-hexaén- (C22:6 n-3) savat. Általánosságban véve a növényi olajok sok n-3 PUFA zsírsavat tartalmaznak linolénsavformában. Mivel ugyanaz az enzimrendszer alakítja tovább a linolsavat és a linolénsavat is hosszabb szénláncú telítetlen zsírsavakká, a két zsírsav egymás kompetitív inhibitorai, ezért a **linolénsavnak csak egy kis része konvertálódik EPA-vá és arachidonsavvá.** Ez különösen akkor jelent problémát, ha az n-3/n-6 arány alacsony. Ezért aztán az EPA és a DHA fő forrásai a halolajok, melyek a hallisztgyártás „melléktermékei”.

A halliszt és a halolaj előállítása szempontjából a halakat a következő kategóriákba sorolják: az emberi fogyasztásra alkalmas halak vágási melléktermékei, kis méretű, egyéb-

ként emberi fogyasztásra alkalmas halak, amelyek méretük miatt nem alkalmasak emberi fogyasztásra, olyan halak, melyek esztétikailag alkalmatlanok az emberi fogyasztásra. Ezeket főként halliszt és halolaj előállítására használják. **A halolaj zsírsavösszetétele függ az elfogyasztott takarmány összetételétől**, ezért a különböző helyekről származó **halolajok zsírsavösszetételében jelentős különbségek is lehetnek**. A halolajok EPA-tartalma 5–18% között, DHA-tartalma pedig 6–13% között mozog.

A halolajok kapcsán meg kell említeni, hogy a halak egy része olyan környezetből származik, mely erősen szennyezett poliklórozott bifenilekkel (PCB-k), dioxinnal, ólommal és arzénnal. **A PCB-k és a dioxin** apoláros, zsírolédékony vegyületek, ezért a halolaj-előállítás során **bekerülnek a végtermékbe**. Ezért szigorúan szabályozzák a halolajok PCB- és dioxintartalmát, és eljárást dolgoztak ki a dioxin halolajból, aktív szén segítségével történő eltávolítására. A PCB-ket aktív szénnel nem lehet hatékonyan eltávolítani, ezért új technológiai eljárásokon dolgoznak ezen vegyületek halolajból történő eltávolítására.

Az n-3 PUFA-k kiváló forrásai lehetnek a **különböző mikroorganizmusok** (mikroszkopikus gombák, baktériumok és tengeri mikroalgák) is, mert ezek a mikrobák **képesek 20 vagy 20-nál nagyobb szénláncú n-3 zsírsavak szintézisére**. A **tengeri mikroalgák** tűnnek a legjobb n-3 zsírsavforrásnak, mert ezek **képesek a hosszú láncú n-3-as zsírsavakat szervezetükben akkumulálni**. A halolajjal összehasonlítva a mikroalgák lipidjei sokkal több, estenként több mint 50% DHA-t tartalmaznak, a halolaj mintegy 10% DHA-tartalmához viszonyítva. A mikroalgák mind fototropikus, mind heterotropikus módon képesek a PUFA-k termelésére. Az előbbi hátránya, hogy időjárásfüggő, és a szintézis csak napsütésben lehetséges, ezért zárt rendszerekben csak akkor lehet ily módon zsírsavakat előállítani, ha gondoskodnak a kellő fényviszonyokról is. Az utóbbi időben a heterotropikus módszer terjedt el a gyakorlatban, és ma már ily módon állítják elő a DHA kereskedelmi forgalomba kerülő legnagyobb részét. A mikroalgák segítségével DHA-ban dúsított tojást állítanak elő, és a DHA-ban dús olajokat bedolgozzák olyan termékekbe, mint a margarin, különféle tejtermékek, öntetek, gabonafélék és élelmiszer-kiegészítők. Olyan olajok is kaphatók a kereskedelmi forgalomban, melyek 25–60% DHA-t tartalmaznak, és amelyek segítségével különféle csecsemőtápszereket állítanak elő.

2.9.2.3. Konjugált linolsavak

A **konjugált linolsavak** is két kettős kötést tartalmaznak, azonban azok **konjugált pozícióban** vannak a molekulában. Leginkább a kérődző állatok (szarvasmarha, kecske, juh) húsában, tejében és a tejből készült tejtermékekben fordul elő nagyobb mennyiségben. Az 1980-as években állatkísérletek segítségével, miközben a CLA rákellenes hatását vizsgálták, megállapították, hogy a **CLA-val takarmányozott állatok testtömegének szignifikánsan kisebb részét alkotta a testzsír a kontrollegyedekéhez viszonyítva**. Megállapították, hogy a CLA csökkenti a zsírraktározást az étkezést követően, csökkenti a zsírsejtek összes mennyiségét, és növeli a zsírok bekapcsolódását az energiatermelő folyamatokba. Az állatokkal végzett kísérletek eredményeit emberekkel végzett tesztekkel is sikerült megerősíteni. Megállapították, hogy ugyan a **CLA** nem egy testtömegcsökkentő anyag, de **fogyasztása csökkenti a testzsír mennyiségét**, miközben segít megőrizni a zsírintes testtömeget, végül is segít a fogyásban, és alkalmazásával meg lehet előzni a

jojóeffektust, melynek során az elveszített testtömeg gyorsan újraépül a fogyókúra után. Úgy tűnik, hogy a **CLA rendelkezik immunmodulátor-hatással** is, befolyásolja a sejtek immunválasztát a vakcinákra, befolyásolja a szervezet citokinszintjét, és így szerepe lehet a **gyulladások kezelésében** is.

A sok CLA-izomer közül a **cisz-9, transz 11 és a transz-10, cisz-12 izomer rendelkezik biológiai aktivitással**. A kereskedelmi forgalomban lévő CLA-készítményeket sáfrányoszeklice-olajból állítják elő, mely mindkét izomert 50:50 százalékos arányban tartalmazza. A CLA-t előszeretettel használja az élelmiszeripar funkcionális élelmiszerek előállítására.

2.9.3. A lipidekkel kapcsolatos technológiai szempontok

A növényi szteroidokat legtöbbször növényi olajokból, azok szagtalanítás után visszamaradt melléktermékeiből állítják elő. Legfontosabb forrásaik a szójaolaj, a napraforgóolaj, a repceolaj, de még a papírgyártás melléktermékeiből is előállítanak növényi szteroidokat. Szterolésztereket zsírsavakkal történő észterezéssel, átészterezéssel hoznak létre napraforgóolajból vagy repceolajból. A szterolészterek pasztaszzerű anyagok, 38–47 °C közötti olvadásponttal, mely függ attól, hogy a szterol milyen zsírsavval van észteresítve.

A CLA-előállításnál alapvető követelmény, hogy a **biológiai aktivitással bíró izomerek keletkezzenek** a legnagyobb koncentrációban. A linolsav alkalikus közegben végzett izomerizációjával több linolsav izomer keletkezik, ezért enyhe reakciókörülmények alkalmazásával lehet csak elérni, hogy a kívánatos két biológiailag aktív komponens keletkezzen mintegy 50:50 százalékbán.

A sok telítetlen zsírsavat tartalmazó készítmények **nagyon érzékenyek az oxidációra**, és a másodlagos oxidációs termékek nagyon gyakran kellemetlen ízt és aromát adnak a végterméknek. Ezért gyakran olyan **antioxidánsokat alkalmaznak** az ilyen készítményekben, mint a tokoferolkeverékek, az aszkorbil-palmitát, a rozmarinextraktum vagy a citromsav. Az antioxidánsokon túl a csomagolás, a tárolás és a szállítás is befolyásolja a végső eredményt.

A **lipidoxidáció alapvegyületei** az egy vagy több kettős kötést tartalmazó zsírsavak. **Minél több a kettős kötés a molekulában, annál fogékonyabb az oxidációra; így a DHA ötször fogékonyabb az oxidációra, mint a linolsav.** Az oxidációnak három fő típusa van: az autooxidáció, a fotooxidáció és az enzimatis oxidáció. Az autooxidáció spontán módon történik szabad gyökös mechanizmus szerint, melynek fő lépései az iniciáció, a láncátadás és a láncletörés. A fotooxidáció akkor kerül előtérbe, ha az élelmiszer fényre érzékeny anyagokat tartalmaz, az enzimatis oxidáció tipikus példája pedig az, amelyben egy lipoxigenáz enzim katalizálja a reakciót.

Az **autooxidációt** iniciátorok (fémionok, hő, fehérjegyökök) indítják be, melynek hatására a telítetlen zsírsavakból a szénatomon lokalizált szabad gyökök keletkeznek. Oxigén jelenlétében ezek a szabad gyökök peroxi (LOO*)-gyökké alakulnak, majd később hidroperoxidok keletkeznek (LOOH), melyek az autooxidáció elsődleges termékei. A szabad gyökös reakció addig folytatódik, amíg a szabad gyökök egyesülésével a lánc megszakad, és a nem gyökös termékek keletkezése a gyökös reakciók végét jelenti. A hidroperoxidok hő hatására lebomlanak, vagy az átmeneti fémek nyomnyi mennyiségei

által katalizált reakcióban alkoxil- (LO*) és peroxil (LOO*)-gyökök keletkeznek, melyek továbbviszik a szabad gyökös reakciót, vagy további bomlást követően **illékony vagy nem illékony másodlagos bomlási termékeket alkotnak**. Az illékony komponensek közé tartoznak az aldehidek, a ketonok és az alkoholok, a szénhidrogének és az alkoholok, melyek az avas szag és íz kialakulásáért felelősek. Az illó anyagokkal szemben **a hidroxidok íztelen és szagtalan vegyületek**.

A **fotoxidáció** akkor történik, ha fényérzékenyítő anyag van jelen az élelmiszerben. Ez abszorbeálja a látható vagy a közeli UV-fényt, melyet követően a fényérzékeny anyag vagy közvetlenül reagál a szubsztráttal, szubsztrát gyököket létrehozva, melyek aztán reagálnak az oxigénnel, vagy közvetlenül reagál a triplet oxigénnel, átalakítva azt rövid életű, nagyon reaktív, nagy energiátartalmú szinglet oxigénné, amely közvetlenül reagál a telítetlen zsírsav kettős kötéseivel hidroxidokat (LOOH) létrehozva. Ez a **nem gyökös reakció** hidroxidok és illó komponensek képződéséhez vezet, olyanokhoz, mint amilyenek a gyökös reakciókban is keletkeztek. Fényérzékenyítő vegyületek az élelmiszerekben a klorofill, a riboflavin és a hemfehérjék. A hidroxidok a továbbiakban ugyanúgy bomlanak, mint a gyökös reakciók esetében.

A lipoxidációt néhány esetben antioxidánsok adagolásával meg lehet akadályozni, melyek működési mechanizmusuk szerint elsődleges vagy másodlagos antioxidánsok lehetnek. Az **elsődleges antioxidánsokat** szabadgyök-befogóknak (AH) is hívják, mert a szabad gyökök semlegesítésével megállítják a gyökös reakciókat. Ennek során elektronokat, ill. hidrogént adnak a szabad gyököknek, a lipid, a peroxil és az alkoxil gyökök funkciójukat elvesztik, és a gyökös reakciók leállnak. Az elsődleges antioxidánsok fenolos szerkezetű vegyületek, mint amilyen pl. a BHA (butil-hidroxi-anizol), a BHT (butil-hidroxi-toluol) és a propil-gallát, a természetes antioxidánsok pedig a tokoferolok és a növényi polifenolok. A másodlagos antioxidánsok többféle mechanizmus szerint hatnak, melyek közé tartozik a fémek kelátja alakítása, az oxigénmegkötés és az elsődleges antioxidánsok hidrogénnel történő feltöltése. Ezért a másodlagos antioxidánsok legtöbbször szinergistái az elsődlegeseknek.

2.9.4. A lipidek oxidációja a halolaj és mikroalgaolaj előállítása során

A halolajat **nedves redukciós módszerrel** készítik, melynek során a haltesteket felfőzik, préselik, centrifugálással szétválasztják a vizes fázist az olajtól, és a maradék fehérjét tartalmazó anyagot megszárazítják. A hőkezelés során a fehérje koagulál, melyet préseléssel választanak el a folyékony fázistól. Ennek során a zsírszékelyek is szétszakadnak, és **az olaj a folyékony fázisba kerül**. A préselés során két átmeneti anyag keletkezik, melyet préslepénynek és préslének hívnak. **A préslepény szárítva hallisztté alakul**, a présléből pedig szűréssel eltávolítják a durva részecskéket, a finom részecskéktől pedig dekantálással szabadulnak meg, melyet követ a végső lépés, **az olaj és a víz szétválasztása a szeparátorban**. Mivel a halolaj rendkívül érzékeny az oxidációra, mindent el kell követni annak megakadályozására vagy mérséklésére. Az előállítás során minimálisra csökkentik a szállítási és a tárolási időt, a hőmérsékletet, a fényhatást, minimálisra csökkentik a haltest vérrel való szennyezését, mert a hemvas katalizálja az oxidációt.

Ha enzimés hidrolízissal vonjuk ki a halolajat, minimálisra lehet csökkenteni a hőbehatást és a hőmérsékletet. Az eljárás során, 60 °C körüli hőmérsékleten, a fehérjéket enzimekkel hidrolizálják, melynek során a sejtekből kiszabadul a halolaj, ezért **enzimes hidrolízissel jobb minőségű halolajat lehet előállítani.**

A halolaj minőségét illetően az sem mindegy, hogy teljes haltestből vagy valamilyen melléktermékből készül az olaj. A legtöbb esetben a friss halból vagy a friss melléktermékből készült olaj stabilitása volt a legnagyobb, tehát a halolaj minőségét legnagyobb mértékben az **alapanyag minősége** befolyásolja. A sózott halból vagy a fémekkel szennyezett alapanyagból készült halolaj stabilitása rossznak bizonyult.

A halolaj előállításához hasonló nehézségekkel kell szembenézni az algaolaj előállítása során is, erről azonban nincsenek megbízható információk az irodalomban.

2.9.5. A halolaj finomítása

A nyers halolajat finomítani szükséges, melynek során eltávolítják azokat a szennyeződések, amelyek nemkívánatos ízt és szagot, esetleg veszélyes anyagokat eredményeznének a tárolás vagy valamilyen élelmiszerhez történő hozzákeverés során. Olyan eljárást kell alkalmazni, mely nem károsítja a kívánatos zsírsavakat, és nem távolítja el az olyan természetes antioxidánsokat, mint a tokoferolok.

A nagy tartályokban tárolt halolajat ülepítik, melynek során eltávolítják azokat a szennyező anyagokat, amelyek elősegítik a szabad zsírsavak mennyiségének növekedését, melyek aztán segítik az oxidációt. Javasolják olyan berendezés használatát, melyből nehézfémek nem tudnak kioldódni, melyek katalizálnák az oxidációt. A finomítás során foszforsavas kezeléssel eltávolítják a foszfolipideket, a fehérjeszerű maradványokat, a nyomelemeket és az egyéb maradék szennyeződések. Ezt követi egy közömbösítési lépés, melynek során **többszöri mosással eltávolítják a szabad zsírsavakat**, mely növeli az oxidációs stabilitást és javítja az organoleptikus tulajdonságokat. Ezután jön a fehérítés, mely tovább növeli az oxidációs stabilitást, javítja a színt, az ízt és az illatot, és további szennyező anyagokat távolít el az olajból. Az utolsó lépés a szagtalanítás, melynek során a nemkívánatos szaganyagok távoznak el, és megkapjuk a finomított halolajat, mely kész az élelmiszerek esszenciális zsírsavtartalmának növelésére.

2.9.6. Az élelmiszerek kiegészítése biológiai aktivitású lipidekkel

A kiegészítés célja legtöbbször a biológiailag értékesebb, a kívánt érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező élelmiszer. Leggyakrabban vizesfolyadék-rendszereket, mint amilyenek a tej és tejalapú gyümölcslevek, egészítenek ki biológiai aktivitással rendelkező lipidekkel. Amennyiben ezek a funkcionálisélelmiszer-kiegészítők lipofilek, mint amilyen a CLA, a PUFA-k vagy a szterolok, nehéz az élelmiszerhez hozzákeverni őket, vizes rendszerekben pedig legtöbbször emulzió formájában történik a hozzákeverés. Kereskedelmi szempontból víztiszta ital az ideális, a komponensek tulajdonságai miatt azonban ez csak ritkán érhető el.

A hosszú szénláncú PUFA-t, a CLA-t általában **észterezett formában, szagtalanítás után** adják az élelmiszerekhez, hogy ne rontsák annak organoleptikus tulajdonságait. Az

olajokhoz mindig célszerű **emulgeálószer**t is **adagolni**, mely növeli a diszperzitást, azonban vigyázni kell arra, hogy ne rontsa a végtermék tulajdonságait. Az emulgeálóanyagok felületaktív, amfipatikus molekulák, melyek mind a poláros, mind az apoláros közeggel kapcsolatba lépnek, és az olaj/víz felületen csökkentik a felületi feszültséget, ezzel stabilizálják az emulziót. **Az emulgeálóanyagok tehát stabilitást biztosítanak az élelmiszereknek**, megakadályozva a különböző fázisok szétválását. Az emulgeálóanyagok azonban kapcsolatba léphetnek az élelmiszerek egyéb komponenseivel, nemkívánatos termékeket létrehozva. Ennek megakadályozására nagy körültekintéssel kell eljárni, mind a termék fizikai, mind oxidatív stabilitása céljából.

Általában homogénezést is közebeiktatnak a kellő diszperzításfok és stabilitás elérése miatt. A szterolésztereket ugyanígy adagolják, de emulgeálókomponensek nélkül. A mindennapi gyakorlatban alkalmazott technológiai eljárások, a pasztórozás, az UHT-kezelés, általában nem befolyásolják a funkcionális komponensek tulajdonságait.

A funkcionális lipidkomponensek hozzáadásának megkönnyítésére különböző, **porlasztva szárított termékeket állítottak elő**, melyek vizes közegben is könnyen és homogénnen elkeverhetők. A kihívást az jelenti, hogy az aktív komponenst hogyan lehet nagyobb koncentrációban a termékhez keverni, ill. az oxidáció miatt ügyelni kell az optimális tárolási feltételek biztosítására. **Eredeti állapotú szterolokat nehéz a vizes közegben egyenletesen eloszlatni**, mert ezek a vegyületek erősen hidrofóbok, és az egyszerű hozzákeverést követően azonnal elválnak a vizes közegtől. Ezért általában vagy emulgeálószeret, vagy nagyon erős nyíróerőt alkalmaznak az összekeverés során, hogy a homogén közeg stabil maradjon. A por alakú szterolok ráadásul még robbanásveszélyesek is, ezért kellő óvatossággal kell velük eljárni. Nagyobb koncentrációban krétaízt kölcsönöznek az élelmiszereknek, sőt még a fogakba is beleszagadhatnak, amit meg kell előzni, mert ez a fogyasztói elutasításhoz fog vezetni.

2.9.7. Példák a szterolok, a CLA és a PUFA-k növelésére élelmiszerekben

Először a margarínokat, a vajakat, a zsírokat és a kenyérrre kenhető zsíros anyagokat egészítették ki növényi szterollokkal, majd a tejtermékek, a szójaitalok és a dresszingekek következtek a sorban. Az Egyesült Államokban a **szterollokkal kiegészített italok és gabonafélék jelenleg a legnépszerűbbek**. Mind az USA-ban, mind Európában népszerűek az egykúpacányi tejes italok, melynek 100 grammja 2-3 g növényi szterolt tartalmaz. Ezenkívül népszerű a növényi szterollal kiegészített joghurt, tej, tejpör és kenhető sajt is.

Az USA-ban a narancslevet (0,4 g egy adagban) és a csokoládét (1,1 g egy adagban), valamint a joghurtot is kiegészítik növényi szterollokkal, ill. szterolészterekkel. Japánban a sütőolajat, a margarint és a majonézt is kiegészítik növényi szterollokkal. Az USA-ban és Európában is népszerű a tej és a tejtermékek CLA-val való kiegészítése, de előállítottak CLA-val dúsított ananászlevet, mangólevet, és a friss sajtot is dúsítják CLA-val. Spanyolországban a CLA-val dúsított fölözött tej 0,75%, a joghurt és a joghurtitalok pedig 1,87% CLA-t tartalmaznak.

Az utóbbi időkből elért tudományos eredmények alapján sor került a **csecsemőtápszerek és az idősebbek számára készült élelmiszerek kiegészítésére PUFA-val, eikozapentaénsavval (EPA) és dokoza-hexaénsavval (DHA)**. DHA-val kiegészített csecse-

műtápszert alkalmaznak az agy kifejlődésének segítésére, és a kúrát tovább folytatják a csecsemőkor után is. A DHA-val kiegészített tejpor, joghurt és joghurtitalok a legnépszerűbbek, melyekben a DHA koncentrációja 80–200 mg/100 g között változik. A fő kihívást e tekintetben a halíznek a kiküszöbölése jelenti, mely korlátozza a halolaj mennyiségét a végtermékben. A tej és tejtermékeken kívül számos ún. omega-kenyér van kereskedelmi forgalomban, melyekben a PUFA koncentrációja átlagosan 80 mg/100 g.

Hogyan lehet a PUFA-tartalmú alapanyagokat, ill. a PUFA-val gazdagított funkcionális élelmiszereket hosszabb időn keresztül eltartani oxidatív romlás nélkül? Minimálisan kell csökkenteni a szállítási időt, a hő- és fényhatást, el kell kerülni különböző minőségű olajok keverését. Kerülni kell a finomítás és a szagtalanítás során a magas hőmérsékletet, csökkenteni kell a fényhatást, és távol kell tartani az oxigént. Célszerű vákuumsomagolást alkalmazni, és a funkcionális élelmiszereket alacsony hőmérsékleten tárolni. Meg kell bizonyosodni arról, hogy az alkalmazott olaj hidroxidokat csak minimális koncentrációban tartalmaz, nem tartalmaz átmeneti fémeket és prooxidánsokat. **Az esszenciális zsírsavakat tartalmazó olajat alacsony hőmérsékleten, sötétben, lehetőleg oxigén kizárásával kell tárolni,** és a jó minőségű olajat minél előbb fel kell használni, hisz a peroxidáció 0 °C alatti hőmérsékleten is beindulhat. Óvakodni kell az olyan emulzióképző anyagoktól, melyek gyorsíthatják az oxidációt, ezért ha n-3 zsírsavakkal történő dúsítást tervezünk, akkor esetleg változtatni kell a korábban alkalmazott emulzióképző anyagokat. A nehézfémek megkötésére célszerű kelátképzőket, citromsavat, fehérjéket, poliszacharidokat és polifenolokat alkalmazni az oxidáció megelőzése miatt. Olyan gyökfogyó természetes vagy mesterséges antioxidánsokat kell alkalmazni, amelyek az olaj/víz felületen hatnak, ahol az oxidáció történik.

2.10. A funkcionális élelmiszer-komponensek hatékonyságának fokozása

Fokozni kell a biológiai hasznosíthatóságot, amely szoros összefüggésben van a víz közegben való rossz oldhatósággal, a gyomorban és a bélben való lebomlással és a gyenge bélbeni abszorpcióval. Éppen ezért **növelni kell a komponensek oldhatóságát, abszorpcióját, stabilitását, és kontrollálni kell a felszívódást és a hasznosulást.** A növényi extraktoknál el kell érni a standardizálást, tehát hogy minden alkalommal azonos arányokat kapjunk, azonos összetétellel. Az extraktumokat tisztítani kell, hogy a káros anyagok koncentrációja csökkenjen, a funkcionális komponens koncentrációja pedig a lehető legnagyobb legyen. Jelenleg az extraktumok esetében egy funkcionális komponensre koncentrálnak, de elképzelhető, hogy a jövőben a hasonló hatású komponenseket együtt alkalmazzák, kihasználva azok szinergista hatását. Jó példa erre a zöldtea-kivonat és a CLA együttes alkalmazása, hisz mindegyik jelentős szerepet játszik a testtömegkontrollban és a szövetek elzsírosodásának megakadályozásában.

2.11. Szépségmegőrző funkcionális élelmiszerek

Az utóbbi időben megjelent egy új fogalom a funkcionális termékek körében, mégpedig a **szépségmegőrző élelmiszerek és élelmiszer-komponensek** fogalma. Az ilyen élelmiszerek lassítják az öregedést, védenek a nap ellen, meggátolják a bőr kiszáradását, javítják a táplálék emészthetőségét, mellyel a jó kinézethez járulnak hozzá, és javítják a testi kondíciókat. Ilyen szempontból ezek az élelmiszerek hatásukban nagyon hasonlítanak a kozmetikumokhoz, csak belsőleg alkalmazzák őket. Az öregedés ellen ható szerek az E-vitamin, a karotinoidok, a ginzeng, a zöldtea-kivonat, a rooiboskivonat, a biotin, a koenzim Q10, a folsav, a szőlőmagkivonat és a vöröshere-kivonat, az **emésztést serkentik és a bőr fiatalságát őrzik** meg a probiotikumok, a növényi rostok, az aloe vera, a **napfény ellen** védik a bőrünket az E-vitamin, a karotinoidok, a zöld tea és a rooibos kivonata, a szelén és a fekete áfonya, **testünk összetételét, állapotát javítja** a CLA, a fitoszterolok, a zöld tea, a szőlőmagkivonat, a DHA és az EPA, a **stressz ellen hat és jó hatással van a bőrre** is az E-vitamin, a karotinoidok, a citromfűextraktum, a ginzeng, a zöld tea, a rooibosextraktum és a golyotavirág kivonata.

2.12. A flavonoidok mint funkcionális élelmiszer-komponensek

2.12.1. A flavonoidok szerkezete

A flavonoidok 13 vegyületsoprotot foglalnak magukba, melyek mintegy 4000-féle különböző szerkezettel rendelkeznek. Az alapvázuk, az aglikon, cukormolekulához kapcsolódik, ezért a flavonoidok valójában glikozidok. A flavonoidok 1,3-difenilpropán, az izoflavonoidok 1,2-difenilpropán, a neoflavonoidok pedig 1,1-difenilpropán származékok, és ebbe a csoportba tartoznak még az antocianidin, a cianidin, az antocianin és a cianin is.

A **flavonoidok** a növényi metabolizmus másodlagos anyagcseretermékei, melyek főként a gyümölcsök héjában, magjában és kocsányában találhatóak meg. Mint pigmentképzők, szerepük van az UV-fény és a mikroorganizmusok és egyéb növényi kártevők elleni védelemben, az enzimreakciók szabályozásában, és szignálfunkcióval is bírnak a nitrogénmegkötő baktériumok számára. **Élelmiszerként a növényi anyagokban** színezőanyagok, ízkomponensek és antioxidánsok.

2.12.2. A flavonoidok csoportosítása

A flavonoidok csoportjának jellegzetes képviselői a katechinek, a proantocianidineké az oligomer katechinek, a flavonoké a quercetin és a kampferol, a biflavonoké az amentoflavon és a bilobetin, a flavononoké a heszperidin és a naringin, a flavononoloké a taxifolin, az antocianinoké a cianidin, a delphidin, a malvidin és a petunidin, a flavonolignanoké a szilmarin, az izoflavonoké pedig a genistein és a diadzein.

A **flavonoidok** fő képviselői a heszperidin és a naringenin, melyek a citrusfélékben és a belőlük készített gyümölcslevelekben találhatóak. Sokat tartalmaz belőlük a csicsriborsó, a kömény, a galagonya és az édesgyökér. Szerepük van az **íz, különösen a keserű íz kialakításában** (a naringin keserű). A **flavonoidok** fő képviselői az apigenin és a luteolin, melyek a ga-

bonafélékben, a fűszernövényekben (rozmaryn, kakukkfű) és a zöldségekben fordulnak elő. Szerepük van a növényi szövetek színének kialakításában, mert nagy koncentrációban a fémionokkal komplexeket képeznek, ízalkotók, különösen a keserű ízé (a nobilentin keserű), és csökkentik egyes keserű ízanyagok keserűségét (neodiozmin, roifolin).

A **flavonolok** közé tartozik a kvercetin és a kempferol, melyek szinte mindegyik növényben megtalálhatók. Fontosabb forrásaik a zöldségfélék levelei és a gyümölcsök, és a kómlóban és a fűszerekben fordul még elő. Az **antocianidinek** közé tartoznak a delfinidin, a cianidin, a petunidin és a malvinidin. A bogyós gyümölcsökben, a bodza, szeder, szőlő, cseresznye, az alma, a körte és a csonthéjasok héjában, a zöldségekben, a padlizsánban, retekben, káposztában és a céklában, valamint a virágokban fordulnak elő. Színük függ a pH-tól; pH = 3,5 körül vörös színűek, emelve a pH-t színtelenné válnak, majd lúgos pH-n kék színűek lesznek. Jelentős szerepük van a bor, a cékla és a vörös káposzta színváltozásában.

A **flavan-3-olok vagy katechinek** bonyolult szerkezetű vegyületek, melyek a leggyakrabban előforduló monomerjeikkel dimer, trimer és polimer komponensek kialakítására hajlamosak. Legegyszerűbb vegyületeik a katechin és az epikatechin, melyek az érett gyümölcsökben (alma, fekete szeder, áfonya, szőlő, barack), fiatal levelekben, gabonafélékben (cirok, árpa), a vörösborban és a teában találhatóak. A **flavonoidok forrásai a növényi élelmiszerek**: a zöldségek, gyümölcsök, gyógynövények, a bor, sör és a tea. Stabil vegyületek, hőre, oxigénre, enyhe pH-változásra nem érzékenyek, de a **konyhatechnikai eljárások kb. 50%-kal csökkentik a tartalmukat!** A **leggazdagabb növényi flavonoidforrások a zöldségek** (hagymafélék, fehérrépa, spenót, dió, zeller, zöld bors, paradicsom, brokkoli, fokhagyma), a **gyümölcsök** (sárgabarack, meggy, cseresznye, alma, szőlő, citrusfélék) és a **gyógynövények** (legyezőfű, kecskeruta, körömvirág, ördögcérna, édesgyökér, réti nyúl-szapuka, háromszínű vadárvacska, százsorszép, közönséges gyújtóványfű). A flavonoidok nagy mennyiségben fordulnak még elő a zöld teában, vörösborban, ginzengben, csokoládében és a japánakában. A különféle zöldségek és gyümölcsök flavonoidtartalmát a 2.1. és 2.2. táblázatok tartalmazzák.

2.1. táblázat. Különböző zöldségek flavonoidtartalma (mg/kg)

Minta	KVE	KEM	MIR	LUT	API	Összes
Brokkoli	15,4	30,8	nd	nd	nd	46,2
Karalábé	4,0	24,3	nd	13,0	nd	41,3
Fehér káposzta	1,6	11,9	nd	4,2	nd	17,7
Vöröshagyma	121,5	2,6	nd	nd	nd	124,1
Lila hagyma	171,3	24,3	nd	nd	nd	195,6
Paprika	9,4	nd	nd	10,7	nd	20,1
Fodros saláta	35,0	8,4	nd	3,9	nd	47,3
Spenót	272,2	nd	nd	66,4	nd	338,6
Zellerzöld	nd	nd	43,4	111,4	248	402,8
Zellergyökér	1,8	nd	nd	nd	24,1	25,9
Fehérrépa	3,2	22,7	85,4	nd	154,0	265,3
Torma	5,7	25,7	nd	9,0	nd	40,4

KVE – kvercetin, KEM – kempferol, MIR – miricetin, LUT – luteolin, API – apigenin, nd = nem vizsgálták

2.2. táblázat. Különféle gyümölcsök flavonoidtartalma (mg/kg)

Minta	KVE	KEM	MIR	LUT	API	Összes
Alma	38,3	nd	nd	nd	27,0	65,3
Körte	24,7	nd	nd	nd	nd	24,7
Görögdinnye	nd	nd	nd	18,4	18,4	18,4
Sárgadinnye	nd	nd	nd	nd	25,8	25,8
Szilva	23,3	nd	nd	nd	nd	23,3
Sárgabarack	nd	nd	nd	nd	nd	11,5
Meggy	29,2	nd	nd	nd	nd	29,2
Szeder	14	636	nd	nd	nd	650
Eper	9,0	nd	994	nd	nd	1003
Dió	nd	nd	4565	nd	nd	4565
Kivi	nd	nd	nd	nd	22,3	22,3
Banán	nd	nd	22,8	nd	nd	22,8

KVE – kvercetin, KEM – kemferol, MIR – miricetin, LUT – luteolin, API – apigenin, nd = nem vizsgálták

2.12.3. A flavonoidok élelmiszerekkel történő bevitelle a szervezetbe

Egy 1970-es egyesült államokbeli felmérés szerint az USA lakosai 1,0-1,1 g/fő/nap flavonoidot fogyasztanak, ami a mai tudásunk szerint nagyon soknak tűnik. Egy 1993-as holland felmérés szerint a fogyasztás 23 mg/fő/nap, de itt csak kevés vegyületet vizsgáltak. Az 1997-es finn felmérés 55,2 mg/fő/nap fogyasztást mutatott ki, míg 2001-ben pl. Magyarországon a felnőttek 18,8 mg/fő/nap (0,5–309,7 mg), a gyerekek pedig 19,5 mg/fő/nap (0–179,3 mg) flavonoidot fogyasztottak, míg az ajánlott bevétel összesen 1000 mg/fő/nap. A fenti adatokból leszűrhető az a következtetés, hogy Magyarországon a zöldség- és gyümölcsfogyasztás messze elmarad a kívánatostól!

2.12.3.1. A flavonoidok felszívódása és metabolizmusa

A flavonoidok felszívódása függ a kémiai szerkezettől, a molekula méretétől, a polimerizációtól, a glikozidációtól és az oldhatóságtól. Rosszul szívódnak fel, az összes el fogyasztott mennyiség 0,2–0,5%-a hasznosul a szervezetben. Könnyen adszorbeálódnak, decarboxilációval, demetilációval, a kettős kötések telítődésével átalakulnak, majd az aglikonok a vékonybélben keresztül szívódnak fel.

A metabolizmusuk során a glikozidokat a felszívódás előtt hidrolizálni kell, azonban az emberben hiányzik a β -glükozidáz enzim. A vastagbél mikroflórája hidrolizálja a glikozidokat, melyet követően a metabolitok a vérrel eljutnak a májba, ahol metilálás és szulfonálás következik be, majd a származékok a vérrel eljutnak a vesébe, ahol kiválasztódnak a vizelettel.

A flavonoidok legfontosabb biokémiai tulajdonságai az antioxidáns hatás szabadgyök-befogással, a gyulladáscsökkentő hatás, az asztmaellenes és antiallergén hatás, az enzimek aktiválásának módosítása, általában gátlása, az antivirális, antibakteriális hatás, az ösztrogénaktivitás, a mutagenézist és karcinogenezist befolyásoló hatás, a hepatoprotektív hatás és a véredényrendszer működését befolyásoló hatás.

Erős antioxidáns hatásuk a molekulaszervezettől függ. A fenol nem antioxidáns, de az orto- és paradifenolok igen, és az antioxidáns hatás erőssége szorosan összefügg a hidrolízis mértékével. Rendelkeznek hidrogéndonor-aktivitással, ezért láncmegszakítók. Jelentős redukáló hatásuk is van, ezért másodrendű preventív antioxidánsként is hatnak. Legjelentősebb antioxidáns hatású a kvercetin, majd sorban a miricetin, a kempferol, a luteolin és az apigenin. Az **enzimek aktiválása és módosítása** miatt antiallergén, gyulladáscsökkentő hatásúak. Gátolják a hisztamin kiáramlását, a gyulladási folyamatok során pedig megakadályozzák az enzimek felszabadulását, a hialuronidáz aktivitását, gátolják az LDL oxidációját, és kivédik az oxidált LDL okozta sejtkárosodást.

Antivirális és antibakteriális hatásuk vizsgálatára antimikrobiális tesztek végeztek, melynek során a réti fű a *Candida albicans*, a szeder az *Escherichia coli*, a málna a *Micrococcus luteus*, a herba a *Pseudomonas aeruginosa*, a szőrös nyír a *Saccharomyces cerevisiae*, a burgonya a *Staphylococcus aureus* és a *Staphylococcus epidermidis* mikrobák szaporodását gátolta. **A vizsgált fajok többsége használatos a népi gyógymódokban.**

A mutagenézist és karcinogenezist befolyásoló hatás vizsgálatánál antipromotor és antiinvazív hatást fejtettek ki a daganatos betegségek kialakulásánál fellépő enzimek gátlásán, a proliferáció visszaszorításán, a gamma-sugárzás kivédésén, az antioxidáns hatáson és az oxidatív stressz csökkentésén keresztül. Mai tudásunk szerint a rák semmilyen tápanyaggal vagy táplálékkiegészítő készítménnyel nem előzhető meg, de a daganatos betegségek kockázata alacsonyabb azokban a népcsoportokban, amelyek sok zöldséget és gyümölcsöt fogyasztanak. Epidemiológiai megfigyelések bizonyítják a flavonoidok hatékony szerepét a rákos betegségek kezelésében, ezért az akadémiai orvoslás mellett e területen szerepet kell kapjanak a komplementer medicina, a tudományosan megalapozott természetgyógyászati módszerek.

A mediterrán országokban kisebb a szív- és érrendszeri megbetegedésekben szenvedők száma, ami feltételezések szerint a fogyasztott vörösbor flavonoidtartalmának köszönhető. A flavonoidok ugyanis csökkentik a fibrinogén-, és emelik a plazminogénkoncentrációt, növelik a védő hatású HDL, ezzel párhuzamosan csökkentik a káros LDL szintjét. **Miért a vörösbor a funkcionális ételiszter?** Valószínűleg azért, mert a vizes, alkoholos folyadékból a flavonoidok jobban szívódnak fel, de nagy valószínűséggel nemcsak a vörösbor, hanem életmódbeli és genetikai különbségek is okozzák a megbetegedés hiányát.

További kutatások a flavonoidok hatásáról az alábbiakat állapították meg: Csontritkulásos, osteogenesisis betegségekben helyreállítják a csontok fiziológiás anyagcseréjét, a cukorbetegségben szenvedőknél növelik az inzulintermelést, nőgyógyászati problémákban az ösztrogéntermelésre hatnak, szerepet játszanak az Alzheimer-kór megelőzésében, elősegítik a gyógyszerek felszívódását, a kvercetin pedig gátolja a húgysavképződéshez szükséges xantinoxidáz enzim működését, és számos gyógyszer is ezzel a mechanizmussal próbálja javítani a köszvényesek állapotát.

2.12.3.2. Magas flavonoidtartalmú gyógyhatású készítmények

A funkcionális ételiszterek magas flavonoidtartalommal gyógyhatásúak lehetnek, és ismertek olyan gyógyszerek és készítmények, mint a hajszálerek falát erősítő Rutascorbin, a májvédő Legalon, a látásjavító antociántartalmú orvosságok, és nagyszá-

mú gyógyhatású és funkcionális készítmény, kozmetikum és étrend-kiegészítő is tartalmaz flavonoidokat.

A **flavin 7-12 flavonoid** gyógyszernek nem minősülő, táplálkozást kiegészítő készítmény, mely a környezeti ártalmaktól védett területekről gyűjtött, termelőhely és fajta alapján válogatott gyümölcsök kivonata. A Flavin-7 a rezveratrol mellett 12 flavonoidot, köztük krizint, galangint, apigenint, luteolint, fizetint, kvercetin, heszperidint és anticianidineket tartalmaz. Mint gyümölcskoncentrátum vitamin-, nyomelem- és ásványianyag-tartalma is jelentős. Főbb alapanyagai a szőlő, a fekete szeder, a fekete cseresznye, a fekete ribizli, a szilva, illetve az alma. A termék egy speciális eljárással készült gyümölcslé-koncentrátum, melynek előállítása során a leszűretelt gyümölcsökből darálást követően préseléssel nyerik ki a levet, majd az egyéb növényi részekről szűrővel történő elválasztás után egy többlépcsős molekulaszeparációs módszerrel, egy adott molekulatömeg-tartományban, feldúsított koncentrátumot állítanak elő. A feldolgozásra kerülő gyümölcsök fajta, termőhely és érettségi fok szerint válogatottak, hisz a rezveratrol-tartalom az érés időszakában jelentősen változik, és csak egy rövid időintervallumban mutatja a maximumot. A fenolos vegyületek az UV-fény hatására különböző fotoizomerizációs folyamatokon mehetnek keresztül, amely nem kívánatos átalakulásokhoz vezethet, ezért a termék készítése és tárolása során a fénnyhatásokat ki kell zárni, illetve a minimálisra kell csökkenteni, a kész Flavin7-et pedig sötét üvegben kell tárolni. A Flavin7 összes polifenol-tartalma 216,4 g/l, napi adagja 2×5 ml Flavin7, ami azonos 1–7 kg gyümölcssel. Kapható oldat- és liofilizált változatban is.

A **Flavon Max** kizárólag természetes anyagokat tartalmazó, tartósítószer nélküli készítmény, melyben az összetevők mindegyike régóta használt a népgyógyászatban, így hatásuk már évszázadok óta ismert. A felhasznált sötét színű, bogyós gyümölcsök különösen értékesek, és a „vadgyümölcsökben” is meglehetősen magas mennyiségű antioxidáns (elsősorban C-vitamin és különböző színanyagok) található, amelyek az immunrendszert erősítik, így fokozzák a szervezet ellenálló képességét.

3. A tej bioaktív komponensei, azok kinyerése, dúsítása és előállítása

A **funkcionális élelmiszerek** új kezdeményezések az emberi táplálkozásban, melyeket az egészség javítására alakítottak ki egy olyan környezetben, ahol az életstílusból adódó betegségek és az öregedő népesség veszélyeztetik a társadalom jólétét. A funkcionális élelmiszerek megjelenését elősegítették az étrendünket alkotó komponensek lebomlásáról, genomikai hatásokról és a speciális élelmiszer-alkotók egészségre gyakorolt hatásáról egyre növekvő tudományos ismereteink. A funkcionális élelmiszerek tehát olyan élelmiszerek, melyek az alapvető tápérték mellett speciális egészségügyi előnyöket is hordoznak. **A tehéntej és a kolosztrum** a bioaktív összetevők legfontosabb forrásai, és ezek a bioaktív komponensek megjelennek nemcsak a tehéntejben és a kolosztrumban, hanem az ezekből készült termékekben is.

3.1. A tejben található bioaktív komponensek

A tehéntej speciális hatású fehérjéket, fehérjeszármazékokat, lipideket és szénhidrátokat tartalmaz, melyek ipari méretű kromatográfias és membrántechnikai szétválasztási műveletekkel előállíthatók, ill. kivonhatók. Ma már sok bioaktív összetevő jelenlétét és hatását aknázzák ki mind tejipari, mind más iparági élelmiszerekben, azonban a **tejipar vezető szerepet ért el** a funkcionális élelmiszerek fejlesztésében. Ezek az élelmiszerek hatnak az immunrendszerre, megelőzik a vérnyomás emelkedését, küzdenek a gyomor-, bélrendszeri fertőzésekkel, segítenek a testsúly kordában tartásában és megelőzik a csontritkulást.

Bizonyossággal állítható, hogy egyes tejeredetű összetevők hatásosak olyan metabolikus szindrómák rizikójának csökkentésében, amelyek különböző krónikus betegségekhez vezethetnek. Ezek a szív- és érrendszeri betegségek és a diabetes.

A **bioaktív tejösszetevők technológiai és biológiai tulajdonságai és egészségre gyakorolt hatásai** az alábbiak: A savófehérjék, a kalcium, a glükomakropeptidek és a konjugált linolsav hatásos segítséget nyújtanak a testtömeg karbantartásában, a bioaktív peptidek és a kalcium jó hatással vannak a szív- és érrendszer állapotára, valamint a csont erősségére, ellenálló képességére a fizikai behatásokkal szemben. Egyes vizsgálatok szerint a bioaktív peptidek jó hatással vannak a hangulatra, a memóriára és a stressztűrő képességre. A savófehérjék, az immunmodulátor peptidek, az egyéb bioaktív peptidek, az immunglobulinok, a laktoperoxidáz, a laktoferrin, az antimikrobás peptidek, a glükomakropeptidek és a laktóz, valamint származékai, a probiotikumokkal együtt, jó hatással vannak a szervezet immunológiai állapotára, az emésztésre és a fogegészségre.

3.2. Bioaktív fehérjék

A tejfehérjék, a bennük lévő **bioaktív fehérjék és peptidek** táplálkozási értéke széles körben ismert, és növekvő érdeklődés mutatkozik a fehérjék biológiai tulajdonságaival kapcsolatban is. A kazein és a savófehérjék sértetlen, ép fehérjemolekuláit in vivo körülmények között tanulmányozták az élettani hatások pontos feltárására. Ennek során tanulmányozták a tej és a kolosztrum fő bioaktív fehérjéinek egyes tulajdonságait, amelyek az alábbiak: A **kazein** (α_{s1} , α_{s2} , κ , β) ionhordozó, kalcium-, foszfor-, vas-, cink- és rézforrás, prekuzora az immunserkentő bioaktív fehérjéknek és antikarcinogén hatása. A **β -laktoglobulin** vitaminhordozó, antioxidáns szerepére is vannak utalások, más bioaktív fehérjék prekuzora és zsírsavmegkötő tulajdonsággal is rendelkezik. Az **α -laktalbumin** a laktózsintézis irányítója a tőgyben, Ca-hordozó, immunerősítő, más bioaktív fehérjék prekuzora, és lehetséges, hogy antikarcinogén hatása is van. Az **immunglobulinok** az antitesteken és a kiegészítő rendszeren keresztül a speciális immunvédelem eszközei, és más, bioaktív fehérjék lehetséges prekuzorai.

A **glükomakropeptidek** antimikrobás hatású, trombózásmegelőző, prebiotikus vegyületek, melyek szabályozzák többek között az emésztési hormonok működését. A **laktoferrin** antimikrobás hatású, antioxidáns, antikarcinogén, gyulladáscsökkentő anyag, mely részt vesz a vasszállításban, a sejtnövekedés szabályozásában, a bioaktív fehérjék prekuzora, immunerősítő, és serkenti a csontépítő sejtek szaporodását. A **laktoperoxidáz** antimikrobás, szinergikus hatást fejt ki az immunglobulinok, a laktoferrin és a laktoperoxidáz között. A **lizozim** antimikrobás hatása annak köszönhető, hogy megtámadva a baktériumok sejtfalának peptidoglikánját, elpusztítja azokat. A **szérumalbumin** bioaktív fehérjék (lipázszintetáz) előanyaga (prekuzora).

A tej alapvető fontosságú az emberi táplálkozásban, mert pl. serkenti a csontépítő sejtek szaporodását és megállítja vagy csökkenti a csontleépülést, növekedési faktorai serkentik a sejtnövekedést, védik a belsejteket és javítják, irányítják az immunrendszert. A tejben is sok olyan bioaktív savófehérje található, mint az immunglobulinok, a laktoferrin és a különféle növekedési faktorok, koncentrációjuk azonban a kolosztrumban jóval nagyobb, mint a tejben. A tejfehérjék további hozzáadott élettani értékkel bírnak a számos bioaktív peptid miatt, amelyek az érintetlen fehérjékben találhatóak.

3.2.1. A fő tejfehérjék biológiai hatásai és alkalmazásuk lehetősége

A kolosztrumban és a tejben található **fő fehérjék** az értékes aminosavak kiegyensúlyozott forrásai, funkcionális és biológiai hatással rendelkeznek, és alapvető szerepet játszanak a tej és tejtermékek érzékszervi és szerkezeti tulajdonságainak kialakításában. A kazein, a savófehérjék és a bioaktív peptidek olyan különböző **biológiai aktivitásokat** mutatnak, mint az immunerősítés, a vérnyomáscsökkentés, a mikrobaellenes, antioxidáns és fájdalomcsökkentő hatás. A **kazein hidrolíziséből származó peptidek** számos élelmi-szeripari alkalmazás számára erős, funkcionális tulajdonságú anyagok forrását biztosíthatják. Az USA-ban ismert Calpis^R és Evolus^R nevű tejtermékek kedvező élettani hatása a β -kazeinből és a κ -kazeinből származó hipotenzív tripeptideken (valin-prolin-prolin és izoleucin-prolin-prolin) alapul. Az egyre fontosabbnak tartott egészségügyi hatásoknak és

a dokumentált klinikai vizsgálatok eredményeinek köszönhetően a tehéntej savófehérjéi iránt egyre növekszik az ipari és a kereskedelmi érdeklődés.

A teljes savófehérje-komplex és egyes egyedi fehérjék a következő **előnyös élettani hatásokkal, életfolyamatokkal** hozhatók összefüggésbe: a szív- és érrendszer egészsége, jóllakottság és testtömegkontroll, testfelépítés, regeneráció, izomsorvadás megelőzése, antikarcinogén hatás, sebállapot és -gyógyulás, mikrobiológiai fertőzések, nyálkahártyagyulladás csökkentése, hipoallergén csecsemőtáplálás és egészséges öregedés.

3.2.2. A savófehérjék ipari és kereskedelmi alkalmazása

Az **immunglobulinok** (Ig) antitestek, melyek jelen vannak minden tejet adó faj kolosztrumában, így megvédik az újszülöttet a kórokozóktól. A humán és tehénkolosztrumban a fő osztályok az IgG, az IgM és az IgA. Hasonló szerkezetűek, két azonos rövid és két azonos hosszú láncból tevődnek össze. A négy lánc diszulfidhidakkal kapcsolódik, így a komplett alap immunglobulin Y alakot formáz, melynek molekulatömege kb. 160 kD. A kolosztrum összes fehérjéjének kb. 70–80%-át, a tejnél 1-2%-át teszik ki az immunglobulinok.

A kolosztrumban lévő immunglobulinok a **mikrobiológiai fertőzésekkel szembeni védelemben** játszott szerepe jól dokumentált újszülött borjak esetében. Állattenyésztési célú, kolosztrális Ig-készítmények a kereskedelemben már kaphatók, és piacuk, mint **emberi fogyasztásra szánt táplálkozáskiegészítők**, egyre nő. Az immunglobulinok a sejt és a nyirokrendszeri immunrendszerhez, annak különböző részeihez kapcsolódnak. Képesek megakadályozni a mikrobák megtelepedését, gátolják a mikroba-anyagcserét, csomóba tömörítik a baktériumokat, fokozzák a baktériumok fagocitózisát, pusztítják őket, és képesek számos mikroba és vírustoxin semlegesítésére.

A specifikus, patogénellenes antitestek koncentrációja magasabb azon tehenek kolosztrumában, amelyeket a patogénekből vagy azok antitestjeiből készült **vakcinákkal kezeltek**. A bioszeparációban történt fejlődés lehetővé tette az antitestek frakcionálását, szétválasztását, dúsítását, és ebből következően „**immuntej**” elnevezésű termékek előállítását. Az 1950-es években először javasolják a tehén kolosztrumának orális alkalmazását **emberi passzív immunvédelem** segítésére. Az 1980-as évek számos tanulmánya bizonyítja, hogy a kolosztrumkészítmények **eredményesek a különböző patogénnel való fertőzés** (*Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Clostridium difficile*, *Shigella flexneri*, *Streptococcus mutans*, *Cryptosporidium parvum*, *Helicobacter pylori*) **megelőzésében**, a terápiás hatásosság, a gyógyító célú felhasználás meglévő fertőzés esetén azonban még kevésbé bizonyított. Néhány ilyen termék már megtalálható a kereskedelemben, a kapcsolatok világos szabályozásának hiánya azonban sok országban az elterjedés gátja. Az elterjedés érdekében az antibiotikum-rezisztens mikrobatörzsek kialakítása, az immuntejtermékeknek a fejlesztése lehet a megoldás, mely érdekes és nagy kihívás a fertőzések elleni harcban a jövő kutatói számára.

Az **α -laktalbumin** az egyik meghatározó savófehérje az anyatejben, a tehéntejsavóban pedig a fehérjék 20%-át teszi ki. Az α -laktalbumin a tőgy szövetében szintetizálódik, koenzimként a tejcukor bioszintézisének vesz részt, a **laktózsintetáz β -alegysége**. Az egész érintetlen molekula, a részben hidrolizált fehérjéből származó peptidok és a teljesen el-

bontott fehérje aminosavai is előnyös hatásúak, mert kiváló forrásai az esszenciális aminosavaknak, különösen a triptofánnak és a ciszteinnek, amelyek prekursorai a szerotoninnak és a glutatonnak is. A legnagyobb triptofántartalmú természetes fehérje, melynek szájon át adása növelheti a stressztűrő képességet.

Az α -laktalbuminban gazdag étrend kedvezően hatott a stresszcsökkentésben és a stressz általi rossz hangulatban szerepet játszó biomarker hatásának kompenzálásában. A triptofán és a szerotonin koncentrációjának növekedése az agyban kedvezően hatott a stresszben szenvedők kognitív képességére. Napi 40 g α -laktalbumin bevitelkor egészséges nőkben nőtt a plazma triptofánszintje, és annak aránya a nem esszenciális aminosavakhoz viszonyítva, ugyanakkor ez nem befolyásolta az érzelmi folyamatokat, az érzelmek feldolgozását. Az α -laktalbumin védőhatással bír a nyálkahártya sérüléseinek esetén, mely hatás gyakorlatilag azonos a tipikus fekélymegelőző szerekével.

A tehéntej α -laktalbuminjának hidrolizátuma, azok származékai és speciális peptidjei olyan biológiai aktivitásokkal kapcsolhatók össze, mint a magas vérnyomás megelőzése, a mikrobaellenes hatás, a daganatellenes hatás, az immunerősítés, a fájdalomcsillapítás, és egyesek prebiotikumként is hasznosíthatók. Az emberi és a tehéntej α -laktalbuminja aminosav-összetételének nagy hasonlósága miatt az jól felhasználható csecsemő- és gyermektápszerekben, és néhány, α -laktalbuminban dúsított készítmény is megtalálható már a kereskedelemben.

A **β -laktoglobulin** savófehérje a tehéntejben a savó összes fehérjéjének mintegy 50%-át teszi ki, az **anyatejben** azonban **nem található meg**. Multifunkcionális adalékanyag számos élelmiszeripari és biotechnológiai alkalmazásban, kiváló forrása a széles körű biológiai aktivitással rendelkező peptideknek, amelyek az α -laktalbumin és származékaihoz hasonlóan jótékonyak a magas vérnyomás megelőzésében, mikrobaellenesek, daganatellenesek, immunerősítők, a fájdalom csillapítására használhatók, valamint koleszterinszint-csökkentők.

A **β -laktozin B** (Ala-Leu-Pro-Met; f[142–145]) peptidje szájon át adva szignifikáns vérnyomáscsökkentő hatást mutatott. Bizonyították a fájdalomcsökkentő **β -laktorfín** (Tyr-Leu-Leu-Phe; f[102–105]) artériákra gyakorolt kedvező hatását, és állítják, hogy a β -laktoglobulinból származó peptidok értékes biológiai tulajdonságokkal bírnak. A β -laktoglobulinból származó, ACE- (angiotenzin-konvertáló enzimgátló, mely a vérnyomáscsökkentés mellett az érlelmeszedés folyamatát is kedvezően képes befolyásolni) gátló hatású peptid, a humán szérummal történő in vitro inkubáláskor gyorsan lebomlott, és orális bevitel után nem volt kimutatható az emberi vészsérumban.

A **laktoferrin** egy vaskötéseket tartalmazó glükoprotein, mely a tejben, a kolosztrumban és az emlősök más kiválasztott nedveiben (tőgy sejtjei) is megtalálható, a gazdaszervezetet védő anyag. Pepszinnel bontva a laktoferricin B f(18–36) és a laktoferrampin f(268–284) keletkezik, melyek fontos szerepet játszanak a szervezet belső, a mikrobás fertőzésekkel szembeni védekező mechanizmusában, és a degeneratív folyamatokat kiváltó anyagokkal (pl. a szabad oxigéngyök) szemben.

Mikrobaellenes, multifunkcionális hatású szer. A laktoferrin és származékainak antimikrobás hatása főként **három mechanizmushoz** köthető: A vas megkötése a szubsztátumokból a baktériumok növekedésének gátlásához vezet. A laktoferrin mikrobamemb-

ránhoz, különösen a Gram-negatív baktériumok lipo-poliszacharidjaihoz való közvetlen kötődése végzetes szerkezetváltozáshoz vezet és a reprodukciót gátolja, a mikrobák epitéliás sejtekhez és enterocitákhoz való kötődését akadályozza.

A laktoferrin mikrobagátló hatása a lizozim és az antitestek akcióival megnövelhető, és az LF baktériumok olyan antibiotikumokkal szembeni érzékenységét is megnöveli, mint a penicillin, vankomicin és a kefalosporinok. Az LF és származékainak in vitro antimikrobás aktivitása a patogén mikrobák széles körében bizonyított, mint az enteropatogén *E. coli*, *Cl. perfringens*, *Candida albicans*, *Haemophilus influenzae*, *H. pylori*, *Lis. monocytogenes*, *Ps. aeruginosa*, *S. typhimurium*, *S. enteridis*, *Staph. aureus*, *Str. mutans*, *Vibrio colerae* baktériumok és a hepatitis C, G vírus, a HIV-1, a cytomegalovírus (herpeszvírus), a poliovírus, a rotavírus és a herpes simplex vírus.

Az LF daganatellenes hatásának mechanizmusában a következő tulajdonságok játszanak szerepet: a vas-keláthoz köthető antioxidáns tulajdonság, az immunszabályozási hatás és a gyulladáscsökkentő hatás. **Szabályozási funkciót mutatott** a celluláris és a kiválasztási immunrendszerben a limfociták sokszorozásával és stimulálásával, a neutrophilek, makrofágok, monociták, természetes ölüsejtek aktiválásával, a cytokin és a nitrogén-oxid-termelés serkentésével, a belső és perifériás immunrendszer stimulálásával.

Az LF és több származékának szájon át adása elnyomja a szokásos bélből izolálható baktériumok (*E. coli*, *Cl. törzsek*, *Streptococcusok*) működését és szétszóródását, de nincsenek hatással a bélbarát bifidobaktériumokra. Az LF és a laktoferricin csökkentette *H. pylori* és a *Toxoplasma gondii* candidiasis fertőzés mértékét és az influenza klinikai tüneteit. Javították az étrendi státuszt, az étvágyat, a vashiányt, a gyógyszer okozta gyulladást, a vastagbélgyulladást és a köszvényt, és csökkentették az endotoxikus sokk halálozási arányát. Javította a korai elválasztású borjak testtömeg-gyarapodását, és orálisan alkalmazva az LF javítja a csontsejtek aktivitását és a csontfejlődést.

Az LF-etetés előnyös hatású a karcinogén anyagok által gerjesztett daganatok gátlásában a vastagbélben, a nyelöcsőben, a tüdőben, a húgyhólyagban és a májban. Az LF-nel kiegészített tápot vagy anyatejet fogyasztó csecsemőknél a székletben megnőtt a bifidobaktériumok száma, és lényegesen csökkent az *Enterobacteriaceae*-, a *Streptococcus*- és a *Clostridium*-szám. Csecsemők táplálékának 12 hónapig tartó LF-kiegészítése összefüggésben volt a kontrollcsoportéhoz képest kevesebb légzőszervi megbetegedéssel és a magasabb hematokritszinttel. Az LF lényegesen növeli a *H. pylori* okozta gyomorhurut gyógyulásának arányát, a kórokozó kiirtását. Az LF-adagolás csökkenti a bakteriális fertőzések megjelenésének kockázatát és a fertőzés hevesességét neutropeniás betegek esetében. Az LF-adagolás enyhíti a hepatitis C-fertőzés tüneteit, és csökkenti a vékonybél permeabilitását gyógyszer okozta bélsérülés esetén. Az LF-adagolás előnyös lehet a stressz kiváltotta neurodegeneratív rendellenesség esetén és a gyakori daganatok kezelésében.

Látványos keresletnövekedés tapasztalható az LF-re vonatkozóan, és számos LF-nel dúsított termék kapható a kereskedelemben. Sokan **gyártanak laktoferrint ipari méretben**, mint adalékanyag is egyre inkább használatba kerül, és adagolásával intenzíven növekvő mennyiségű funkcionális élelmiszer és gyógykészítmény fog készülni. Ma már kapható joghurt és csecsemőtápszer LF-nel kiegészítve, és a **laktoferrint táplálékkiegészítőben**

is **alkalmazzák** (laktoferrin-készítmény, kolosztrum [por formában], probiotikus készítmények). A **laktoferrin szinergista hatása** miatt (pl. lizozimmal, laktoperoxidázzal) megtalálható a fogsztákban, a szájöblítőkben, a hidratáló gélekben és a rágógumikban is.

A **laktoperoxidáz** egy olyan glükoprotein, mely az anya-, a tehéntejben, a kolosztrumban és más kiválasztott anyagokban is megtalálható. A tejben a legnagyobb mennyiségben megtalálható enzim, és a savóból is jelentős mennyiségben visszanyerhető. A laktoperoxidáz enzim a **tiocianát és néhány halogenid peroxidációját katalizálja** hidrogén-peroxid jelenlétében, miközben olyan tiocianid-termékeket (SCN^-) és hypotiocianidokat (OSCN^-) képez, amelyek **számos mikrobaféleséget elpusztítanak**, vagy gátolják a szaporodásukat. A hypotiocianid (OSCN^-) anion a mikrobaenzimek és egyéb membránfehérjék szulfhidril (SH)-csoportjainak oxidációját idézi elő, ami az erre érzékeny mikrobák köztes gátlását vagy elpusztítását eredményezi.

Az emlősállatokban a laktoperoxidáz- $\text{SCN-H}_2\text{O}_2$ komplett antimikrobás rendszer, mely természetes, saját gazdarendszert védő mechanizmus. A laktoperoxidáz jelenléte szerepet játszik a légúti nyálkahártyában a mikrobák okozta fertőzés leküzdésében. Az LP jelentős aktivitást mutatott a vírusokkal, penészgombákkal, élesztőgombákkal és protozoákkal szemben. Baktericid hatással bír a fertőző Gram-negatív *E. coli*, *Salmonella*, *Pseudomonas* és *Campilobacter* patogénnel szemben. Bakteriosztatikus számos olyan Gram-pozitív baktériummal szemben, mint a *Listeria*, a *Staphylococcus* és a *Streptococcus* fajok. Gátlást mutat a *Candida* fajok és a *Plasmodium falciparum* esetében, valamint in vitro inaktivátor hatást mutat a HIV-1 és a poliovírussal szemben.

Természetes anyag a nyerstej tartósítására, ezért 1991 óta a Codex Alimentarius Bizottság elfogadta tejtartósítási anyagként. A módszert sok olyan országban alkalmazzák, ahol a tej hűtésének megfelelő körülményei, berendezései nem biztosíthatók. Az LP-rendszert alkalmazzák még állati takarmányokban, fogegészségügyi termékekben (pl. fogkrém), a *H. pylori* által okozott gyomorfekély gyógyításában és különböző termékek (hús, hal, zöldségek, gyümölcsök) tartósítására.

A **glükomakropeptid** (GMP) egy olyan C-terminális glükopeptid, amely a kazeinnek oltóenzimrel történő bontásából (^{105}Phe - ^{106}Met) származik. A hidrofíl tulajdonságú GMP a sajtgyártás során a savóba kerül, molekulatömege hozzávetőlegesen 8000 D, szénhidráttartalma, kb. 50–60%, amely galaktózból, N-acetil-galaktózaminból és N-acetilneuraminsavból tevődik össze. Szénhidrátmentes formája a kazeino-makropeptid (CMP), amely in vitro inaktiválja az *E. coli* és a *Vibrio cholerae* toxinjait, gátolja a karcinogén Str. mutans és Str. sobrimus baktériumok és az influenzavírus megkötődését (adhézióját), erősíti az immunrendszert és támogatja a bifidobaktériumokat.

Vérnyomáscsökkentő és antitrombotikus hatásán keresztül szabályozza a vér áramlását, hatásosan gátolja a patogén *E. coli* in vitro megkötődését az emberi HT29 vastagbélráksejtekben, a probiotikus laktobacillus törzsek működését viszont alig gátolja. Szájon át bevive csökkentette az *E. coli* által kiváltott hasmenést. Gazdag elágazó láncú aminosavakban (Ile, Leu, Val), szegény viszont metioninban, ami értékes összetevővé teszi a májbetegyek étrendjében. Nem tartalmaz fenil-alanint, ezért a fenil-ke-tonuriában szenvedők is fogyaszthatják. Magas szialinsav-tartalma az agy fejlődésében előnyös hatást fejt ki, és javítja a tanulási képességet.

Gátolja a gyomorszekréciót és a gyomor mozgását, stimulálja a cholecystochinin kiválasztását, amely hormon részt vesz a nyombélszakaszban a táplálékbevitel és az emésztés ellenőrzésében. Épen vagy csak részben lebontva joghurt fogyasztása után átkerülhet a véráramba. Testtömeg-ellenőrző és egyéb étrendi termékek GMP-t és CMP-t tartalmaznak, az ilyen termékek hatásossága azonban még további klinikai vizsgálatokat igényel. Nincs hatással az energiabevitelre vagy a jóllakottságra, de előnyös hatást gyakorol az emésztőrendszer mikroflórájára, mivel elősegíti a bifidobaktériumok növekedését. Tiszta GMP nagy mennyiségben a savóból nyerhető ki kromatográfias módszerekkel vagy membránszeparációval.

3.2.3. A bioaktív peptidek előállítása és funkcionalitása

A bioaktív peptidek speciális fehérjetöredékek, amelyek pozitív hatást gyakorolnak a testfunkciókra és testkondícióra, és végső soron az egészségi állapotra. Az **aktivitásuk az őket felépítő aminosavakon és azok sorrendjén alapul**. Az aktív sorrendek, sorozatok száma 2 és 20 között változik a peptidekben, és sok ilyen peptid sokrétű (multifunkcionális) tulajdonsággal bír. A bioaktív peptidek legfőbb forrása a tejfehérje, melyek magas vérnyomás elleni, antitrombotikus, antimikrobás, antioxidáns, immunrendszer-erősítő és fájdalomcsillapító hatással bírnak. A tej enzimes hidrolíziséből, ill. savanyú tejtermékekből származnak, de a tejfehérjék emésztése során is keletkezhetnek. Számos élettani hatással rendelkeznek in vivo az emésztő-, a szív- és ér-, endokrin-, immun-, központi ideg- és egyéb rendszerekben.

Szív- és érrendszeri hatásuk magasvérnyomás-ellenes, antioxidáns, trombózisellenes és koleszterinszint-csökkentő. Az ideg- és endokrin rendszerben fájdalmat erősítő vagy csökkentő hatásúak. Az emésztőrendszerben mikrobaellenes, ásványianyag-megkötő és jóllakottságot befolyásoló szerepük van, az immunrendszer kapcsán pedig mikrobaellenesek, sejt- és immunrendszer-szabályozók.

A bioaktív peptidek és a speciális aminosav-sorrendek az eredeti fehérjén belül inaktívak, melyek a következő módon szabadulhatnak fel a prekursor fehérjéből: hidrolízis emésztőenzimekkel, a tej fermentálása savanyító kultúrákkal és fehérjebontás külső enzimekkel, az emésztőenzimek bioaktív peptideket eredményeznek a hidrolízis során. Leginkább a pepszin, a tripszin és a kimotripszin esetén bizonyított, hogy számos vérnyomáscsökkentő peptid, kalciummegkötő foszfopeptid, baktericid, immunszabályozó és fájdalombefolyásoló peptid keletkezik mind a kazein-, mind a savófehérje-frakciók hidrolízisekor. A kazeinből származó peptidek erősebb ACE-gátlók, míg a savófehérje-eredetű peptidek, pl. az Ala-Leu-Pro-Met-His-Ile-Arg vagy a β -laktoglobulin tripszines bontásából származó laktokinin erős vérnyomáscsökkentő hatást mutatnak.

Az alkaláz, a termolizin, a szubtilizin és a gyorsabb emésztés érdekében történő, egymást követő pepszines és tripszines kezelés szintén bioaktivitást mutató peptideket eredményez. Az *Aspergillus oryzae*-ből kinyert proteáznak volt a legnagyobb ACE-gátló aktivitása. A tejsavbaktérium-kultúrák is rendelkeznek fehérjebontó hatással: a *Lactobacillus helveticus* törzs képes vérnyomáscsökkentő hatású peptidek képzésére, amelyek közül a legismertebb ACE-gátló a Val-Pro-Pro és az Ile-Pro-Pro tripeptid. A joghurtkultúra baktériumai, a sajtstarterek és a közönséges probiotikumok is termelnek bioaktív peptideket a fermentáció alatt.

A tejipari kultúrák a savó antioxidáns aktivitását váltották ki, melyért a keletkezett peptidok voltak a felelősek. Öt *Lactobacillus* törzs keverékét használva a hidrolizátum ACE-gátlása megnőtt, melynek során két erős ACE-gátló peptidet, a Gly-Thr-Trp és a Gly-Val-Trp tripeptideket tudták izolálni. Új ACE-gátlókat tudtak kimutatni a fermentált tejben, melyet a nyers tejből izolált *Enterococcus faecalis*szal savanyítottak, és két β -kazein-alapú peptid, f(133–138) és f(58–76), eltérő vérnyomáscsökkentő hatásáról is beszámoltak.

A *Lact. acidophilus*, a *Bifidobacterium lactis* és a *Lact. casei* alkalmazásakor a fermentált tej növekvő ACE-gátló aktivitását mutatták ki. Megállapították, hogy minden vizsgált kultúra termelt ACE-gátlókat, de a *B. longum* és a *L. acidophilus* mutatta a legnagyobb ACE-gátló aktivitást. A kutatók reményei szerint a jövőben géntechnológiai módszerekkel lehetőség lesz genetikailag módosított *Lactobacillus* törzsekkel kívánt összetételű, ismert hatású bioaktív peptidokat tartalmazó termékek előállítására.

A tej kultúrákkal történő fermentálása megnövelte a termelt bioaktív peptidok mennyiségét és változatosságát. Hasonló folyamatok játszódhatnak le *in vivo* körülmények között az emésztőtraktusban is. A kazein pepszinnel, majd azt követően tripszinnel végzett hidrolízise mind immunstimuláló, mind immunrendszert elnyomó peptidokat is eredményezett. Megállapították, hogy a baktériumeredetű proteinázok megváltoztatják a kazeinhidrolizátum immunrendszert befolyásoló hatását. Állítják azt is, hogy **kettős enzim kezeléssel csökkenteni lehet a tejfehérje allergén hatását, ami új típusú funkcionális tejtermékek megjelenését eredményezheti!**

Savóból és kazeinből az egymást követő pepszines és tripszines emésztés erős ACE-gátló peptidok megjelenését eredményezte, amelyek elsősorban az α_1 -kazeinből és a β -kazeinből származhattak. A joghurttej tripszines kezelése a fermentáció előtt foszfopeptidben gazdag frakció keletkezését eredményezte a termékben, melynek során különösen a β -kazein(1–25)-4P és az α_1 -kazein(43–79)-7P kazeino-foszfopeptidok (CPP) keletkezése volt jelentős.

3.2.4. Bioaktív peptidok és újszerű alkalmazások

A természetes úton keletkező bioaktív peptidok fermentált tejtermékekben való megjelenése, mennyisége, aktivitása függ a starter fajtájától, a fermentáció idejétől, a termék típusától és a tárolási körülményektől. A cheddar sajtban az ACE-gátló aktivitás a proteolízis mértékétől függött, és a probiotikus törzs hozzáadása növelte az ACE-gátló aktivitást a 4 °C-os érlelési körülmények között.

3.2.4.1. A tejtermékekben található bioaktív peptidok és aktivitásuk

A cheddar esetében az α_1 - és β -kazein-töredékeket azonosították, melyek a foszfopeptidokhoz hasonló hatással bírtak. A mozzarella, a crescenza és a gorgonzola (olasz sajtok) esetében a β -kazein f(58–72) frakciónak, a goudánál az α_1 -CN f(1–9) és a β -CN f(60–68) frakciónak, a festivónál pedig az α_1 -CN f(1–9), f(1–7), f(1–6) frakcióknak volt ACE-gátlásuk. Az ementáli α_1 - és β -kazein-töredékekről immunrendszer-fokozási, néhány foszfopeptidről pedig antimikrobás hatást mutattak ki. A manchegónál (juhsajt) a juh α_1 -, α_2 - és β -kazein-töredékekről, 44 kemény-, félkemény- és lágy sajt-minta Val-Pro-Pro, Ile-Pro-Pro szekvenciájáról, a cheddarnál pedig az α_1 -CN f(1–6), f(1–7), f(1–9),

f(24–32), f(102–110) és a β -CN f(42–57), f(193–209) szekvenciáról mutattak ki ACE-gátlást.

Savanyú tejtermékeket vizsgálva az aludttej β -CN f(74–76), f(84–86) és a κ -CN f(108–111) szekvenciájáról magasvérnyomás-gátlást, a Dahi Ser-Lys-Val-Tyr-Pro szekvenciájáról és a juhtejjoghurt nem azonosított aktív peptidjeiről, valamint a kecskekefir PYVRYL, LVYPFTGPIPN szekvenciájáról, valamint a savanyú tejtermékek normál és probiotikus törzsekkel kapott, nem azonosított aktív peptidekjeiről mutattak ki ACE-gátlást.

Megállapították, hogy a bioaktív peptidek a tejtermékekben egy időben vannak jelen, és hogy a peptidek különböző mértékű megjelenését a kultúrák szabályozzák, de a peptidek tárolás alatti stabilitását nehéz megőrizni, ellenőrzés alatt tartani. Indiában két olyan, klinikailag bizonyítottan előnyös hatású, magas antihipertenzív peptidtartalmú termék van a piacon, amelyeket a magas vérnyomásos betegek részére fejlesztettek. A japán Calpis vagy az Ameal, valamint a finn Evolus savanyú tejtermékek egyaránt az ACE-gátló Ile-Pro-Pro és a Val-Pro-Pro peptideket tartalmazzák jelentős mennyiségben. Olyan peptideket is vizsgálnak, amelyek antikarcinogén, antihipertenzív, ásványianyag-megkötő és stresszcsökkentő hatással bírnak.

3.2.4.2. Bioaktív peptideket tartalmazó tejtermékek és adalékok

A Calpis, az Ameal S aludttej és az Evolus aludttej aktív szekvenciája az α ₁- és β -kazein Val-Pro-Pro és Ile-Pro-Pro szekvenciája, melynek vérnyomáscsökkentő hatása van. A Bio-Zate, hidrolizált savófehérje-izolátumban β -laktoglobulin-töredékek találhatóak, melyek vérnyomáscsökkentők. A BioPure-GMP savófehérje-izolátum, melyben az aktív komponens a κ -CN f(106–169) gliukomakropeptid, melynek szerepe a daganatmegelőzés, a mikrobagátlás, a trombózis megelőzése, a fogak remineralizációja és a jóllakottság kiváltása. A ProDiet F200/Lactium ízesített tejital, édesség és kapszulázott formában α ₁-kazein f(91–100), (Tyr-Leu-Gly-Tyr-Leu-Glu-Leu-Leu-Arg) szekvenciát tartalmaz, melynek szerepe van a stressz tünetek enyhítésében.

A Festivo zsírszegény kemény sajt, melynek α ₁-kazein f(1–6), f(1–9), f(1–7) szekvenciája vérnyomáscsökkentő. A Cysteine Peptid egy adalékanyag, egy tejfehérje-származék, mely segíti az elalvást. A C12 Peption adalékanyag egy dodeka-peptid kazeinszármazék, FFVAPFPEVFGK szekvenciával, melynek a vérnyomáscsökkentésben van szerepe. A Capolac adalékanyag egy kazeino-foszfopeptid, melynek az ásványianyag-felszívódás javításában van szerepe. A PeptoPro ízesített ital kazeinszármazékok, di- és tripeptidek keveréke, melynek a testi teljesítmény fokozása, az atletikus alkat kialakítása és az izomregeneráció gyorsítása a szerepe. A Vivinal Alpha adalékanyag α -laktalbuminban gazdag savófehérje-hidrolizátum, melynek szerepe az alvás és pihenés elősegítése. A Praventin adalékanyag laktoferrinben dúsított savófehérje-hidrolizátum, melyet a bőrfertőzések tüneteinek csökkentésére használnak.

3.3. Bioaktív lipidek

3.3.1. Konjugált linolsavak

A tehéntej zsírja 400, különböző kémiai összetételű zsírsavból áll. A legtöbb zsírsav a glicerinnel észtert képez, és a tejben leginkább trigliceridek formájában van jelen. A zsírsavak közül kiemelkedő védő- és egészségmegőrző hatással rendelkezik a **konjugált linolsav** (CLA, KLS), mely elnevezés a cis-9,cis-12 linolsav konjugált kettős kötést tartalmazó, különböző szerkezeti és geometriai izomerjeinek gyűjteményét jelenti. A tejben lévő fő KLS-izomert, a cis-9,t-11 izomert **ruminsavnak** is nevezik, mely részben a többszörösen telítetlen zsírsavak biokonverziójával keletkezik a bendőben, anaerob baktériumok működésének eredményeként (pl. *Butyrovibrio fibrisolvens*), de elsősorban a tejelő állatok tőgyében, a vaccénsav (transz 18:1) $\Delta 9$ -dehidrogenézisével keletkezik.

A tejszír a KLS leggazdagabb természetes forrása. A különböző közlemények alapján mennyisége a tejszírből 2,0–53,7 mg/g között változik; koncentrációját befolyásolja a takarmányozási rendszer, a takarmány tartósítása, a hely és a tehen fajta. A legeltetett állatok tejsírában több KLS van, mint a kötött tartásúakéban, és a legelő minősége is befolyásolja azt, mivel a hegyi legelőkön tartott tehenek esetében nagyobb mennyiséget mértek a síkságokon legeltetett állományokhoz viszonyítva. A takarmány növényi vagy halolajjal történő dúsítása hatékonyan növelte meg a KLS-tartalmat. A linolsavban dús koncentrátumok (szója, napraforgó, repce) jobb hatásúak, mint egyéb politelítetlen zsírsavakban dús növényi olajok (lenmag, mogyoró). A halolajok és azok kombinációi a növényi olajokkal még jobb eredményt adnak a KLS növelése céljából, mint bármely növényi olaj egymagában.

A vaj esetében megállapították, hogy a KLS-ben dús alapanyag (tejszín) esetén a vaj lágyabb, mint a közönséges termék. A sajtgyártás műveletei, úgy tűnik, kismértékben befolyásolják csak a végtermék KLS-tartalmát. A cheddar és az ementáli sajtok esetében a KLS-ben dús alapanyagból készült sajt állománya lágyabb, de más érzékszervi tulajdonságban nincs lényegi különbség köztük. Megállapították, hogy az organikus tejben és az ebből készült termékekben szignifikánsan több a KLS, mint a hagyományos takarmányozásból származó tejben és tejtermékekben. A *Propioni* baktériumok, a *Lactobacillus* és a bifidobaktériumok képesek a linolsavat KLS-sé átalakítani sejtenyészetben, tejjel készülő kultúrában.

Az étrendi KLS egészségre gyakorolt sokoldalú hatásai a következők: antikarcinogén, érelmeszesedés-gátló, diabéteszmegelőző, elhízásmegelőző és immunrendszert erősítő hatás. Ezen előnyöket elsősorban két izomer, a cisz-9,transz-11 és a transz-10,cisz-12 izomer hordozza, de a pontos hatások az izomerektől függenek. A tej KLS-tartalmának mintegy 75–90%-át a cisz-9,transz-11 izomer teszi ki, melyből az átlagos napi KLS-bevitel országunként 95–400 mg-ra becsülhető, azonban az antikarcinogén hatás eléréséhez napi 3,0–3,5 g KLS-bevitelre lenne szükség.

A KLS-bevitel mértéke pozitív hatással van a testtömeg és a testzsír csökkentésére, a sovány testtömeg növelésére, mert kapcsolatot találtak a testzsírcsökkenés és a sovány tömeg arányának növekedése között. A KLS diabéteszt megelőző hatásáról egymásnak ellentmondó eredményeket közöltek, érelmeszesedés-gátló hatását vizsgálva viszont kö-

zöltek azt megerősítő, de azt vitató eredményeket is, és nem egyértelműen jelentkezett a vérzsírcsökkentő és a vér koleszterinszintjét csökkentő hatás sem. Számos in vitro kísérletben megerősítették, hogy a szintetikus KLS-ben és ruminsavban dúsított tejszír daganatellenes hatása. A táplálékeredetű KLS antikarcinogén hatása a mell-, a prosztata- és a vastagbélrák esetében, és egy epidemiológiai kutatásban posztmenopauzás nők esetén az étrendi, ill. szérum-KLS-szint és a mellrák rizikója között fordított összefüggést találtak. Megállapították, hogy a tejtermékkel bevitt KLS nagyobb mennyisége csökkenti a végbélrák rizikóját.

A konjugált linolsavakról tehát megállapítható a rákellenes hatás, az antioxidáns hatás, az immunerősítő hatás, az antiatherogén hatás és a testzsírcsökkentő hatás. A konjugált linolsavak előfordulása élelmiszerekben alacsony, hisz a tejben és tejtermékekben 0,2–2,0 g KLS/100 g tejszír, a kérődző állatok húsában 0,5–1 g KLS/100 g zsír, a növényi olajokban 0,1–0,2 g KLS/100 g zsír, a margarinokban pedig gyakorlatilag nulla KLS található. A fentiek miatt tanulmányoztuk annak lehetőségét, hogy hogyan lehetne növelni a KLS mennyiségét különféle élelmiszerekben.

3.3.1.1. A konjugált linolsavak mennyiségének növelése

Első alkalommal vizsgáltuk a konjugáltlinolsav-tartalom növelésének lehetőségeit tejben és tejtermékekben. Köztudott, hogy a KLS-tartalmat a tejben befolyásolja a szarvasmarhák takarmányozása, a tartásmód (legelő, napfény), majd a savanyú tejtermékekben a mikrobiális fermentáció, a vaj és sajtok esetében pedig a hőkezelés módja és az érlelési idő. A pontosabb adatok megszerzése érdekében vizsgáltuk eltérő genotípusú szarvasmarhák tejszírjának zsírsavösszetételét és KLS-tartalmát, és ezen komponensek változását a laktáció során, ezt követően elemeztük különféle kultúrák hatását a tejtermékek zsírsavösszetételére és KLS-tartalmára, majd a savanyú tejtermékek gyártása során a szintenyészetek hatását a zsírsavösszetételre és a KLS-tartalomra, a hozzáadott linolsav hatását a KLS-tartalomra és a technológia hatását a tejtermékek zsírsavösszetételére és KLS-tartalmára. Vizsgáltuk ezentúl a különféle vajak és margarinok zsírsavösszetételét, a hő- és mikrohullámú kezelés hatását a tejtermékek zsírsavösszetételére és a sajtok zsírsavösszetételének változását a tárolási idő függvényében.

3.3.1.2. A tejszír zsírsavösszetétele, KLS-tartalma és változása a laktáció során

Megállapítottuk, hogy a feketetarka és a vöröstarka holstein-fríz, valamint a vöröstarka tejszírjának zsírsavösszetétele szinte teljes mértékben megegyezik. A telített szénláncú zsírsavak a téli és a kora tavaszi, míg a telítetlen zsírsavak a nyári hónapokban érik el maximumukat, a KLS pedig maximumát 1,35%-kal augusztusban, minimumát pedig 0,75%-kal januárban mutatja. A nyáron fejt tej gazdagabb esszenciális zsírsavakban, valamint magasabb telítetlenzsírsav-tartalma miatt némileg nagyobb táplálkozásbiológiai értéket képvisel.

3.3.1.3. Különböző kultúrák hatása a tejtermékek zsírsavösszetételére és KLS-tartalmára

Vizsgáltuk, hogy a különböző szintenyészetek (*Lactobacillus lactis subsp. lactis*, *Lactobacillus lactis subsp. cremoris*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus*

delbrueckii subsp. bulgaricus, *Lactobacillus lactis subsp. lactis biovar*, *Lactobacillus diacetylactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*) **milyen hatással vannak a különböző technológiával előállított savanyított tejtermékek (Sana, joghurt) zsírsavösszetételére, különös tekintettel a konjugált linolsavra (KLS).** A Székelyföldön savanyú tejtermékek előállítására a napi gyakorlatban használt kultúrakeverékekkel előállított tejkészítményeket összehasonlítva nem tudtunk olyan összeállítást (tejsavbaktérium-kombinációk, hőmérséklet, idő) képezni, amely lényegesen megnövelte volna a tejtermék KLS-tartalmát. Vizsgálataink során megállapítottuk tehát, hogy az általunk alkalmazott és a tejipari gyakorlatban mindennaposan használt kultúráknak **alig van hatása** a tej zsírsavösszetételére. Minimális különbséget találtunk ugyan az egyes zsírsavak esetében, de a csekély különbségek miatt megállapítható, hogy a kultúrák nincsenek hatással a tejszír táplálkozási értékére.

A *Lactobacillus acidophilus*nál és a *Lactobacillus plantarum*nál 100 µl napraforgóolaj-adagolás a KLS mennyiségét 35–40%-kal növelte, a *Lactobacillus casein*él viszont csak 20% növekedést tapasztaltunk. Az optimális KLS-termelés érdekében javasoljuk az általunk napraforgóolajjal elvégzett kísérletet az alkalmazni kívánt tejsavbaktériummal előzetesen elvégezni.

3.3.1.4. A vaj, a sajtok és a margarin KLS-tartalma

A vaj lényegesen több rövid szénláncú zsírsavat, valamint palmitinsavat és sztearinsavat tartalmaz, mint a margarin. A margarinok olajsavtartalma nagyobb, mint a vajaké, lényegesen nagyobb azonban a margarinok linolsavtartalma. Vizsgálataink szerint a jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható margarinok csekély mennyiségben tartalmazzák a transzkonfigurációjú elaidinsavat, így e szempontból a margarin nem jelent kockázatot a fogyasztó számára. A hagyományos és a mikrohullámú hőkezelés (2–8 perc) nem okoz szignifikáns változást az elaidinsav és az olajsav, valamint a többi zsírsav esetében. A vizsgált félkemény sajtok közül a Rucăr sajtnak volt a legnagyobb (0,135 g KLS/100 g zsír), míg a Penteleunak a legkisebb (0,089 g KLS/100 g zsír) KLS-tartalma.

3.3.1.5. Különböző sajtok konjugáltlinolsav-tartalmának változása a tárolás során

Három félkemény (Dalia, Rucăr, Penteleu) és egy fetatípusú (Telemea) sajtot öt hónapra keresztül +4 °C-on hűtőszekrényben tároltunk, és háromhetente megmintáztunk. Megállapítottuk, hogy a konjugáltlinolsav-tartalom a 21. tárolási hét végére a Dalia esetében 0,047 g KLS/100 g zsírról 0,115 g KLS/100 g zsírra, a Penteleunál 0,034-ről 0,089-re, a Telemea esetében 0,038-ról 0,120-ra, a Rucăr esetében pedig 0,042-ről 0,128 g KLS/100 g zsírra nőtt a tárolás során. Mindegyik sajt esetében a KLS-tartalom a tárolás 15–18. hetében érte el a maximális értéket, melyet követően mennyisége vagy csökkent, vagy állandó szinten maradt.

3.3.2. Poláros lipidek

A **poláros lipidek** (foszfatidil-etanolamin, foszfatidil-kolin, foszfatidil-szerin, foszfatidil-inozitol, szfingomielin, ceramidok és gangliozidok) szerepet játszanak a membrán jelátbocsátó képességében, és ezen keresztül a sejtek növekedésében, osztódásában, differenciálódásában és apoptózisában. Szerepet játszanak még az idegingerület-átvitelben és az

öregedéshez köthető betegségek (vérrögképződés, immun- és gyulladásszerű betegségek) kialakulásában is. A szfingolipidek és származékaik nagy bioaktivitású vegyületek, amelyek antikarcinogén, koleszterincsökkentő és antibakteriális hatást fejtenek ki. A vajsav és származékai (butirátok) az emlő- és vastagbélrák kifejlődését gátolják. A szfingomielinben gazdag élelmiszerek és táplálékkiegészítők előnyösek lehetnek a mell- és vastagbélrák és a bélhez köthető betegségek megelőzésében.

3.4. Növekedést befolyásoló faktorok

A növekedést serkentő vagy gátló hatású faktorokat először a humán kolosztrumban és az anyatejben, majd később a tehén kolosztrumában, tejében és a savóban is kimutatták. A tehéntejben található növekedési faktorok a következők: a BTC (béta-cellulin), az EGF (epidermális növekedési faktor), az FGF1 és az FGF2 (fibroblasztikus növekedési faktorok), az IGF-1 és IGF-2 (inzulinszerű növekedési faktorok), a TGF β 1 és a TGF- β 2 (átalakító növekedési faktorok) és a PDGF (trombocitanövekedési faktor). A növekedési faktor mennyisége a kolosztrumban az ellés után a legnagyobb, majd ezután lényegesen csökken. Koncentrációjuk a tehéntejben: EGF (2–155 ng/ml), IGF-1 (2–101 ng/ml), IGF-2 (2–107 ng/ml), TGF- β 2 (13–71 ng/ml), míg a többi ismert növekedési faktor mennyisége 4 ng/ml alatti.

A 6000 és 30 000 D közötti molekulatömegű polipeptidek 53–425 aminosavat tartalmaznak, nem érzékenyek a pasztörözésre, és az UHT-kezelést is jól bírják. Az EGF és a BTC stimulálja (gyorsítja) a bőr-, az epiteliás és az embrionális sejtek osztódását, gátolja a gyomorsav kiválasztását, és támogatja a bél egészségét és a csont felépülését. A TGF- β csoport fontos szerepet játszik az embrió fejlődésében, a szövetregenerációban, a csont és a porc kialakulásában és az immunrendszer szabályozásában. A TGF- β mindkét formája gyorsítja az összekötő sejtek szaporodását, és gátolja a limfociták és az epiteliás sejtek burjánzását. Az IGF mindkét formája számos sejttípus szaporodását gyorsítja, és szabályozza a glükózfelvételt és a glikogénszintézist. Az EGF, IGF-1 és a TF-ek különböző helyi hatásokat idézhetnek elő az emésztőtraktusban, és egyben vagy részben átkerülhetnek a bélből a véráramba. A fehérjék és a fehérjebontó enzimgátlók jelenléte a tejben megvédheti az EGF-et a gyomorban és a bélben való lebomlástól.

A tehéntej- és kolosztrumalapú táplálékkiegészítő fogyasztása rövid, kitarást igénylő gyorsasági tréningek alatt, férfi atlétákban megnövelte a szérum IGF-1 szintjét. Egyes növekedési faktorok étrendileg adagolva helyi és szisztémás hatásokat előidézve megőrzik biológiai aktivitásukat és szerkezetüket a testben. A tehéntej- és kolosztrumalapú növekedési faktort tartalmazó termékek alkalmazásával a bőrbetegségek, a bélegészség biztosítása és a csontrendszer egészsége, jó állapota a cél. Az aktív növekedési faktorokat tartalmazó kolosztrumalapú termékek alkalmasak a nem szteroid gyulladáscsökkentők mellékhatásainak és a köszvény megelőzésére. Crohn-betegségben szenvedő gyermekekben egy TGF- β 2-ben gazdag, savas kazeinkivonatot vizsgáltak sikeresen. Egy sajtavóból készített kivonat ígéretesnek bizonyult az orális mucosis és a sebek (pl. lábszárfekély) kezelésében. Lehetséges területek még a felhasználásra a pikkelysömör, az újszülöttek allergiával szembeni toleranciájának elősegítése vagy a kemoterápia általi bélrendszer-sérülés elleni védelem.

3.5. Egyéb bioaktív vegyületek a tejben

Bioaktív vegyületek még a tejben a hormonok, a citokinok, az oligoszacharidok, a nukleotidok és a speciális fehérjék. A **szteroid- vagy fehérjeeredetű hormonok** a következők: gonadális hormonok (ösztrogén, progeszteron, androgének), adrenalinok (glükokortikoid hormonok), agyalapi hormonok (prolaktin, növekedési hormon) és a hipotalamusz hormonok (gonadotropintermelő hormon, luteinképző hormont termelő hormon, thiotropintermelő hormon) és a szomatostatatin. **Egyéb hormonok** a bombesin, a calcitonin, az inzulin, a melatonin és a paratiroid hormon.

A hormonok igen kis (pikogramm, nanogramm) mennyiségben találhatóak egy milliliter tejben. Legnagyobb mennyiségben a kolosztrumban vannak jelen, és a laktáció kezdetén mennyiségük drasztikusan csökken. A prolaktin mennyisége a kolosztrumban 500–800 ng/ml, a tejben 6–8 ng/ml. A hormonoknak meghatározó szerepük van a tőgy speciális funkcióinak szabályozásában, az újszülött borjú növekedésében, az emésztő- és immunrendszer felépülésében. A kolosztrum hormonjai, amíg az újszülött hormonrendszere felépül, részt vesznek az endokrin rendszer szabályozásában.

A kutatások szerint a melatoninban gazdag tej fogyasztása javítja az alvást és a mindennapos tevékenységet. A nukleotidok, nukleozidok és nukleotid bázisok pleiotropikus faktorként szerepelnek az agyfunkciók kifejlődésében. A nukleotidok mint külső antikarcinogének működhetnek az emésztőrendszeri daganatok kifejlődésének ellenőrzésében, gátlásában. A tehén kolosztruma relatíve nagy mennyiségben tartalmazza a citokinokat, mint az IL-1 (interleukin), IL-6, a TNF- α (tumornekrózis-faktor), az IF- γ (interferon) és az IL-1 receptor antagonistá. Biológiai szerepüket és a lehetséges alkalmazásokat vizsgálják. Biológiai-
lag aktív savófehérjék a proteáz-pepton, a szérumalbumin, az oszteopontin, a lizozim és a xantin-oxidáz.

Egy tejalapú komplex (MBP) a savóban (néhány alacsony molekulatömegű összetevőből áll: kininogén, cisztatin, HMG-szerű fehérje) segítette a csontfejlődést, folyamatosan gátolta a csontkioldódást, ezért Japánban engedélyezett élelmiszer-kiegészítő. A tejsírgolyócska-membrán biológiai aktivitást mutató lipidet és fehérjét tartalmaz (butirofilin, CD36 mucin, lipoproteinek). A colostrinin egy prolingazdag polipeptid, amelyet eredetileg az anyajuh kolosztrumából izoláltak. A tehén kolosztrumából is kimutatták, ahol egy 14 000 D moltömegű komplex peptidet alkot. Immunrendszer-erősítő, és gyenge és közepes súlyosságú Alzheimer-kórban szenvedőknél való felhasználását is javasolják.

3.6. A tejsavbaktériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok

Sok baktérium termel olyan poliszacharidokat, melyeket nem épít be, hanem kiuttat a sejtéből. Ezek az anyagok vagy a sejt közötti térbe jutva **nyálkát képeznek**, vagy kívülről rögzülnek a sejtfalhoz, burokként körbevéve azt. Ezen poliszacharidokat **exopoliszacharidoknak** nevezzük (a továbbiakban: EPS), mivel a **poliszacharidok a sejtfalon kívül találhatóak**. Számos tejsavbaktérium is képes EPS-termelésre. E nyálkatermelő

kultúrák alkalmazása a joghurtgyártásban javíthatja a termék szerkezetét, az EPS határára kedvezőbbé válhatnak a reológiai tulajdonságok, nőhet a viszkozitás, a géltrés és a szinerézis pedig megelőzhető.

Az anyatej jelentős mennyiségben (5–10 g/l) tartalmazza a komplex oligoszacharidokat, amelyek előnyösek a bélflóra növekedésének serkentésében, az immunrendszer erősítésében és a mikrobafertőzések elleni védelemben. Lényegesen kisebb mennyiségben hasonló oligoszacharidokat találhatunk a tehéntejben és kolosztrumban is, melyek prebiotikumként szerepelhetnek funkcionális élelmiszerekben és csecsemőtápszerekben. EPS-termelő tejsavbaktérium-fajták használatával elkerülhető a növényi eredetű állományjavítók használata, s így „természetes”, „adalékmentes” joghurtot, ill. jégkrémet állíthatunk elő. Egyes EPS-fajták **kedvező hatással lehetnek az ember egészségére**, mert nem emészthető élelmiszer-alkotók, és rákellenes és koleszterinszint-csökkentő hatást is tulajdonítanak nekik.

3.6.1. A tejsavbaktérium fajok különböző fajtái által termelt EPS szerkezetének feltérképezése, mennyiségének mérése

A szerkezet a fermentációs körülmények függvényében ugyanazon fajta esetében is elérhető lehet. A termelt EPS mennyisége a fermentációs körülményektől és a fajtától függően tág határok között változik. A tejsavbaktériumok által termelt EPS-ok kémiai szerkezetük alapján három csoportba oszthatók: **α -glükánok**, amelyek főként α -1,6 és α -1,3 kötésekkel kapcsolódó glükózegységekből állnak, például a dextránok és mutánok, **fruktánok**, melyeket leginkább β -2,6 kötéssel kapcsolódó fruktózmolekulák alkotnak, például a leván, és **heteropoliszacharidok**, amelyek többféle monoszacharidból állnak.

A 2–10 molekula glükózt és/vagy fruktózt és galaktózt tartalmazó szerkezetek a **galakto-oligoszacharidok** (a továbbiakban: GalOS), melyek pozitívan hatnak a bélműködésre, elősegítik a hasznos bifidobaktériumok szaporodását, csökkentik a pH-t és a rotadás során keletkező termékek mennyiségét. Emészthetetlenek, a diétás rosthoz hasonló fiziológiai hatást fejtenek ki, azaz csökkentik a vérszérum koleszterinszintjét és a vérnyomást. Kis energiataralmú édesítőszerként élelmiszer- és kozmetikai adalékként is használatosak.

3.6.2. A GalOS-ok ipari előállításának lehetőségei

A GalOS-ok előállíthatók a galaktán és a laktóz kémiai vagy enzimes hidrolízisével, kémiai vagy enzimes szintézissel és az eukarióta sejt kultúrák fermentációjával. A savó magas laktóztartalma miatt alkalmas alapanyag a GalOS-ok enzimes termelésére.

3.6.3. Az exopoliszacharidok (EPS) mennyiségének és szerkezetének meghatározása

Az EPS mennyiségét általában közvetlenül a mátrixból vagy a részlegesen tisztított fermentumból, ritkán a kinyert preparátum vizes oldatából határozzák meg. A minőségi vizsgálatok közé tartozik a molekulatömeg-meghatározás gélkromatográfiával, a monoszacharid-összetételnek a vizsgálata, a monoszacharidok kapcsolódási helyeinek, izomériájának, láncszerkezetének és foszfortartalmának vizsgálata.

Az EPS-ok kinyerésének opcionális lépései a következők: a mikroorganizmusok eltávolítása centrifugálással, a fehérjék kicsapása a felülúszó oldatból, az EPS kicsapása szerves oldószerezrel, az EPS tisztítása enzimekkel, az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés kromatográfiával. Ha fehérjementes APS (savas poliszacharid)-frakciót akarunk kapni, akkor a következő tisztítási lépéseket kell alkalmazni: a fehérjék kicsapása az oldat savanyításával, majd forralásával, az EPS kicsapása etanollal, az EPS tisztítása enzimekkel, az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés vagy gélkromatográfiával. Ha csupán az NPS (semleges poliszacharid)-frakció kinyerése a cél: a mikroorganizmusok eltávolítása centrifugálással, az EPS kicsapása etanollal, az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés kromatográfiával.

Az EPS-ok mennyiségének meghatározása során megmérték adott térfogatú fermentumból kivont EPS-ok tömegét. A tisztított EPS vizes oldatához (vagy a fermentumhoz) megfelelő reagenseket adva színreakciót hoztak létre, majd meghatározták az extinkciót. A preparatív ionkromatográfiával szétválasztott frakciókat reagáltatták a szénhidrátokkal színreakciót adó reagensekkel.

Az EPS-ok molekulatömegének meghatározását a legtöbb szerző gélkromatográfiás vagy más néven méretkizárásos kromatográfiás módszerekkel végezte el. Mások HPLC-vel határozták meg a molekulatömeget, és egy refraktometriás detektorral értékelték. A semleges EPS-frakció egy csúcsban jelent meg a kromatogramon, a molekulatömege $4,5 \times 10^6$ Da körül alakult. **Gélkromatográfiával** meghatározva az NPS egy csúcsban eluált, a molekulatömegét $1,2 \times 10^6$ Da-ra becsülték. Egy kisebb molekulatömegű fehérjetartalmú komponens is megjelent a kromatogramon ($5,8 \times 10^3$ Da), mely teljesen elvált az $1,1 \times 10^6$ Da molekulatömegű APS-től. (NPS = neutrális PS, APS = savas PS). **Nagy teljesítményű méretkizárásos kromatográfiával** (HPSEC) a tisztított EPS moláris tömegét $6,8 \times 10^5$ g/mol-nak mérték.

3.6.4. Az EPS-ok monoszacharid-összetétele

A monoszacharidösszetétel-meghatározás a következő lehetséges lépésekből áll: a poliszacharid felbontása savas hidrolízissel vagy metanolízissel monomer egységekre, származékképzés (piridil-amin monomerek, alditol-acetátok, trimetilszililezett származékok), minőségi és mennyiségi meghatározás nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC) vagy gázkromatográfiával (GC). Az EPS-ok alkotóelemeiként glükózt, galaktózt és ramnózt, galaktózt és glükózt, glükózt, galaktózt, ramnózt, mannózt és xilózt detektáltak. Megállapították, hogy a szénhidrátláncban galaktóz-foszfát észterek találhatóak. A monoszacharidokat trimetilszililezett metil glikozidok formájában analizálva GLC-MS-rel, az EPS-ben D-galaktózt és L-ramnózt tudtak kimutatni. HPLC-metodikák esetében nincs szükség származékképzésre, GC-s vizsgálatok esetében a származékképzés viszont nem maradhat ki, mert a reakcióképes alkoholsoportokat le kell zárni valamely kevésbé aktív csoport bevitelével.

A monoszacharidok kapcsolódási helyei meghatározása során a glikozidkötésben részt vevő szénatomokat acetátcsoporttal „jelölték”, majd a poliszacharidot először a szabad hidroxilcsoportokon metilezték, hidrolizálták. A részlegesen metilezett cukrok hidrolízis után felszabadult glikozidos és nem glikozidos hidroxilcsoportjait acetátcsoportokká

alakították, melynek során részlegesen metilezett alditol-acetátokat kaptak. Az acetát-csoportok helye azonos volt a monomerek hidrolízis előtti kötési helyeivel. A származékok mennyiségéből a különböző kötési formák arányát is meg tudják határozni, melynek során az analízis főbb lépései az alábbiak voltak: metilezés, tisztítás, hidrolízis, acetilezés.

A terméket fordított fázisú kromatográfiával, a részlegesen metilezett alditol-acetátokat GLC-MS-sel analizálták. A részlegesen metilezett monoszacharidokat alditol-acetát származékokká alakították és kapilláris oszlopon választották szét. A foszfortartalmú poliszacharidok esetében probléma lehet a foszfát-észter kötések tökéletlen hidrolízise, mely a foszfátkötésben részt vevő monomerek alábecslését eredményezheti.

3.6.5. Az EPS-ok kémiai módosítása, szerkezetkutatása

A kezeletlen EPS a vizsgálatok szerint 1,4-kötésű glükózt és ramnózt (1,4-di-O-acetil származékok), és nyomokban 1,2,4-kötésű és 1,2,3,4-kötésű galaktózt tartalmazott. Megállapították, hogy az EPS láncában lévő 1,2,3,4-kötésű galaktóz foszfáttal szubsztituált a harmadik szénatomon. Többen nem detektáltak terminálisan kapcsolt galaktózt, néhányan viszont találtak némi terminálisan kötött galaktózt. A kémiai kezelések után a felszabaduló cukrokat és a megmaradt polimer összetételét vizsgálták.

3.7. A tej bioaktív komponenseinek összefoglalása

Az előzők alapján megállapítható, hogy a tejben természetes módon rendkívül sok bioaktív komponens van jelen. Félüzemi és üzemi méretű technológiák állnak rendelkezésre a kolosztrum és a tej fő fehérjéinek és néhány savóeredetű natív fehérje, peptid, növekedési faktor és a lipidfrakciók szétválasztására, tisztán való kinyerésére, amelynek eredményeként mára már ilyen termékek kereskedelmi forgalomba is kerültek. Ezek a termékek kiváló forrásai a természetes, bioaktív összetevőknek, mely termékek a csecsemőket, az időseket, a gyenge immunrendszerű embereket, az étrendi betegségben szenvedőket célozzák, és azokat is, akik gyors testi fejlődést szeretnének elérni.

4. Prebiotikumok, probiotikumok, szinbiotikumok

4.1. A probiotikumokkal kapcsolatos alapismeretek

A probiotikumok nevezéktana (probiotikum, prebiotikum és szinbiotikum) a 20. század utolsó két évtizedében alakult ki, és mind megnevezésükben, mind tartalmukban nemzetközileg egységesítődtek. **Probiotikumoknak** nevezik mindazokat a humán barát bélbaktériumokat, amelyek többféle jótékony hatással vannak a gazdaszervezet egészségi állapotára. **Prebiotikumoknak** hívják mindazokat a természetes tápanyagokat, amelyek jellemzően a probiotikumok kizárólagos tápanyagai, ennél fogva elősegítik azok elszaporodását, túlsúlyba kerülését. A **szinbiotikumok** a pro- és prebiotikumok együttesét jelentik, vagyis a két előnyös tényező hatása összegeződik, nemegyszer szinergistává válik. Ebből eredően szinbiotikusak azok a tejtermékek, amelyek készítéséhez nemcsak probiotikumokat, hanem egy vagy több prebiotikumot is felhasználtak.

4.1.1. A probiotikumok és alapvető jellemzőik

A probiotikumok szinte kivétel nélkül **tejsavbaktériumok és bifidobaktériumok**. A legismertebb probiotikus tejsavbaktérium-törzsek nagyrészt a *Lactobacillus* (Lb.), kisebb részben a *Streptococcus* (Sc.) nemzetséghez tartoznak. Mai ismereteink szerint minden tejsavbaktérium olyan anyagcseretermékeket (metabolitokat) termel, amelyek előnyösek az ember egészségére, de **nem minden tejsavbaktérium-törzs probiotikus**. A probiotikus tejsavbaktériumok alapvetően abban különböznek a közönséges tejsavbaktériumoktól, hogy egy részük (a régebbiek 2–30%-a, a maiak akár 80–85%-a is) **túléli a gyomorban lévő sav, a vékonybélben pedig az epesavak és az emésztőenzimek pusztító hatását. Élve jutnak el a vastagbélbe, ahol képesek elszaporodni és megtapadni a bélfalon.**

Ilyen előnyös tulajdonságokkal pl. a mezofil tejsavbaktériumok (*Lactococcus* [Lc.] *lactis*, *Lc. cremoris*) nem, míg a joghurt hagyományos törzsei (*Sc. thermophilus* és *Lb. bulgaricus*) csak részben rendelkeznek. A joghurttörzsek csak egy kis része képes élve eljutni a vastagbélbe, de ott nem kolonizálódnak, nem képesek megtapadni a bélfalon, és néhány hét után elpusztulnak vagy kiürülnek. A nómenklatúra szerint tehát igazi „tranzitutasok”, hasznosságuk mégsem kérdőjelezhető meg, mivel elősegítik a probiotikumok adhézióját a bélfalra, és hozzájárulnak a rothasztó (putrefactive) csírák visszaszorításához. Probiotikus törzsekkel való kiegészítéssel minden közönséges starterkultúra, ill. savanyú tejtermék – így a joghurt is – probiotikussá tehető.

4.1.2. A prebiotikumok köre és alapvető jellemzőik

A **prebiotikumok**, korábbi nevükön a bifidus vagy bifidogén faktorok, 2–9 egyszerű cukorból (monoszacharidokból) felépülő oligoszacharidok. **A szervezetben nem metabolizálódnak**, emiatt érintetlenül (emésztetlenül) jutnak el a vastagbélbe. Diétás rostok, de vízben oldhatóságuk miatt közülük is a legkiválóbbak. A diétásrost-funkció

mellett igazi hasznosságuk abban rejlik, hogy a probiotikumok kizárólagos táplálékai. Miután a vastagbélben már kevés az emészthető táplálékmaradvány, ott relatív táplálékhiány van, az elfogyasztott prebiotikum lehetőséget kínál a humán barát probiotikumok elszaporodására.

A **prebiotikumok** természetes állapotban **számos élelmiszerben előfordulnak**: gazdag forrásai pl. a csicsóka- és a cikóriagyökér, de léteznek a vöröshagymában, fokhagymában és a póréhagymában, az articsókában, zabpehelyben, búzában, banánban, tejben és az érett sajtokban. Az élelmezési gyakorlatban jellemzően az iparilag előállított tiszta készítményeket használják fel, amelyek lehetnek folyékony sűrítmények és porok, hatóanyag-koncentrációjuk pedig 40–95% között van. A természetes ipari koncentrátumok – aszerint, hogy milyen monoszacharidokból épülnek fel – lehetnek pl. galakto-, frukto-, malto- vagy xylo-oligoszacharidok. A világon már 1995-ben több mint 80 ezer tonna prebiotikumot állítottak elő, de a termelés ma már 200 ezer tonna körül van, jelezve e különleges „élelixír” világsikerét. A termelt mennyiség mintegy 40%-a **galakto-oligoszacharid** (pl. laktulóz), amelynek alapanyaga a tejcukor.

4.2. Az emberi emésztőrendszer mikroflórája

4.2.1. A csíraszám

Az emésztőrendszer ún. felső szakaszához – eltekintve a szájtól és a nyelvcsőtől – a gyomor és a vékonybél, míg az alsó szakaszához a vastagbél tartozik. Amíg a felső szakaszban az ileumig a mikrobaszám jellemzően 10^2 – 10^4 /g béltartalom között mozog, addig az ileumban rohamosan nő, mígnem a vastagbélben (colonban) már 10^{12} – 10^{14} /g béltartalom nagyságrendű. A felső szakaszban jellemzően a testi enzimes, az **alsóban inkább bakteriális emésztés folyik**. A colon hatalmas csíraszámából adódóan a bélsár tömegének mintegy 40–60%-át a mikrobák teste teszi ki. A felnőttek testtömegéből 1,0–1,5 kg-ot tesznek ki az emésztőrendszer mikrobái, vagyis ekkora tömeg „nem a saját tulajdonunk”.

4.2.2. A csíraféleségek és arányaik

A vastagbélben nemcsak a csíraszám, hanem a csíraféleségek is számottevőek. Mintegy **400–500 mikrobafaj, ill. -fajta található a colonban**, amelyek főleg a Lactobacillus (Lb.), Streptococcus (Sc.), Bifidobacterium (B.), Bakterioides (Bt.), Eubacterium (Eb.), Enterococcus (Ec.), Escherichia (E.), Veillonella (V.), Clostridium (Cl.), Proteus (P.), Pseudomonas (Ps.), Staphylococcus (Stc.) baktériumnemzetségekhez, ill. a sarjadzó- és fonalgombákhoz (élesztőkhöz és penészekhez) tartoznak. Egyértelműen hasznosak az első három csoportba tartozók, de az Eubacterium és az Enterococcus nemzetségnél is jótéteményként jelzik a fertőzések elleni védelmet és az immunrendszer stimulálását. Az összes többi mikrobacsoport a mindig és az alkalmilag (esetileg) károsak csoportjába sorolható.

Az egyértelmű besorolást/megítélést az árnyalja, hogy bizonyos mikrobacsoportok a káros hatások mellett hasznos funkciót is ellátnak. Példa erre többek között az Escherichia nemzetség, amelynek tagjai részt vesznek bizonyos vitaminok képzésében és a fertőzések

elleni védelemben, ugyanakkor rothasztók, toxin- és karcinogénanyag-termelők és eseti patogének. Ugyanilyen hatásokkal bírnak a Bacterioidesek is; azonban jótéteményeiket lerombolják a jóval súlyosabb káros hatásaik. Vitamintermelési hasznosságuk is megkérdőjelezhető, mert a hasznos bifidobaktériumok vitamintermelése jóval többféle (B₁, B₂, B₆, B₁₂, nikotinsav, folsav és biotin) és nagyobb mennyiségű. Súlyosabbak a káros, mint az előnyös hatásaik a Veillonella, a Clostridium, a Staphylococcus, a Proteus, a Pseudomonas nemzetségeknek, valamint az élesztőknek és a penészeknek.

A csecsemőknél – az anyatej prebiotikumainak köszönhetően – a hasznos baktériumok, mindenekelőtt a bifidobaktériumok alkotják a bélflóra zömét (95–98%-os hasznos flóraarány). A vegyes táplálkozást folytató felnőttek vastagbelében 40–45% részarányt jelölnek meg elfogadhatónak, ill. a kívánatos alsó értéknek. Ehelyett a magyar felnőtt lakosság vastagbelében a hasznos mikrobák aránya nem haladta meg a 12%-ot, átlagosan 1–20% között mozog. Míg a vastagbél kezdeti szakaszaiban (caecum, colon ascendens és colon transversum) a fakultatív anaerob mikrobák is jól szaporodnak, addig a végső szakaszokban (colon descendens, colon pelvinum és colon sigmoideum, rectum) – az oxigén gyakorlati hiánya miatt – az obligát anaerobok elszaporodására van esély. A hasznosak közül obligát anaerobok a bifidobaktériumok, az anaerob Streptococcusok, a káros társaságból pedig a Clostridiumok, alternatív nevükön a vajsavbaktériumok vagy anaerob gázképzők, továbbá ilyenek minősülnek a Bacterioidesek és az Enterobacteriumok is.

Szervezetünk „konyhája” a vastagbél, melynek működése és az emberi egészség között igen szoros a kapcsolat. Az ott zajló biokémiai folyamatok káros metabolitjai (toxinok, karcinogenezisért felelős enzimek, metán-, kénhidrogén-, ammónia- és hidrogén-gázok) és az azokat termelő rothasztó mikrobák tartós túlsúlya colonrákhoz, májkárosodáshoz, gyakoribb bélfertőzésekhez, irritábilis bélszindrómához (IBS), candidiasishoz és magasabb plazmakoleszterin-szinthez vezethet, míg a humán barát probiotikus csírák az ilyen egészségkárosodások ellen hatnak.

A bélbaktériumok közül az emberi egészség szempontjából hasznosak a Lactobacillusok, a Bifidobacteriumok, a Sc. Thermophilus és az Eubacteriumok, kétarcúak a Ps. aeruginosa, a Vibriónaceae, a Staphylococcusok, a Clostridiumok, a Veillonellák és a szulfátredukálók, károsak az Enterobacteriumok, az E. coli, az anaerob Gram-pozitív coccusok és a Bacterioidesek.

4.2.3. A bélflóra módosulásának okai

A bélflóra módosulásának több oka lehet. A bélflóra stabilitása a nemkívánatos, káros csírcsoportok sajátja, mivel ezek ellenállnak még a legkifejezettebb külső hatásoknak is. A hasznos baktériumok kifejezetten érzékenyek valamennyi külső behatásra. Még az olyan természetes változás is, mint az anyatejes táplálásról a vegyes táplálkozásra való áttérés, alapvetően módosítja, rossz irányba tereli a bélflórát, ugyanis visszaszorulnak a hasznosak, és előtérbe jutnak a károsak. A módosulás forrása, hogy a vegyes táplálékokkal sokféle mikroba kerül az emésztőcsatornába, és prebiotikum hiányában a károsak túlsúlyba jutására nagyobb az esély. A külső behatások másik nagy csoportját a különböző baktériumos, vírusos és gombás (pl. Candida albicans) fertőzések képezik, amelyek részben primer, de nagyon gyakran szekunder alapon következnek be.

A patogén mikroorganizmusok elszaporodása mögött az immunrendszer bármi okból bekövetkezett meggyengülése, a bél mucosagátjának sérülései stb. húzódnak meg. A fertőzések felléptekor szinte kötelezően alkalmazott antibiotikumos kezelés pedig tovább rontja a bélflóra összetételét. A „szájon át” (per os) történő antibiotikumos kezeléssel túl a szennyezett élelmiszerek, az egyoldalú táplálkozás, a bioaktív anyagokban szegény élelmiszerek fogyasztása, a túlzott alkoholfogyasztás és a dohányzás, a stresszes életmód, az utazási izgalmak mind azon hatások közé tartoznak, amelyek a hasznos bélflóra visszaszorulásához vezetnek.

4.2.4. A bélflóra módosításának lehetőségei

A bélflóra módosítására többféle lehetőség is van, ezért megfelelő eszközökkel a jó irányba is módosulhat a bélflóra. Mecsnyikov a balkáni pásztorok hosszú átlagéletkorát összefüggésbe hozta az általuk nagy mennyiségben és rendszeresen fogyasztott joghurttal. Megállapította, hogy a joghurt tejsavbaktériumai gátolják a káros rothasztó, toxintermelő bélbaktériumok tevékenységét, és ezzel hozzájárulnak egy egészségesebb életvitelhez, az élettartam meghosszabbításához. A joghurtkultúra ma alkalmazott klasszikus törzsei nem maradéktalanul probiotikusak.

A Balkánon a joghurtot nyers tejből, a fejes és tejkezelés során belekerült tejsavbaktériumok természetes (spontán) erjesztésével állították elő. E flóra pedig nem csak abból a néhány (két) törzsből tevődött össze, mint amelyeket a laboratóriumokban előállított szintenyészetekben a klasszikus joghurtkultúra tartalmaz. A mediterrán Balkánon a pázsitfüveken a ma legismertebb probiotikus csírák (pl. a *Lb. acidophilus*, a *Lb. rhamnosus*, a *Lb. casei*, a *Sc. faecium* és a *Sc. thermophilus*) tömegesen fordultak elő, és az elmúlt két évtizedben számos izolált törzset is onnan gyűjtöttek be. A „mecsnyikovi joghurtot” egészítette ki az a tény, hogy önmagában minden savanyú tej/tejtermék többlet-egészségvédő anyagok sokaságát hordozza. Az eredeti „mecsnyikovi joghurt” juhtejből készült, amely eredendően is, a megsavanyítás után még inkább, gazdagabb bioaktív anyagokban, mint a tehéntej.

4.3. A mai probiotikus kultúratörzsek és a velük szembeni követelmények

A mai probiotikus kultúratörzsek és a velük szembeni követelmények a következők: Hogy bármilyen élelmiszerral vagy étrend-kiegészítővel a szervezetbe juttassunk humán barát bélbaktériumokat, elsőként ilyen törzset kellett izolálni és tulajdonságaikat meghatározni. Első lépés a fajta szerinti megkülönböztetés, ami arra ad választ, hogy az adott baktérium probiotikus-e, avagy sem. A fajtán belül a szelekció fenotípusos alapon folyik tovább, keresve az egyre jobb tulajdonságú törzset, fenotípusos alapon a törzsek között ugyanis a funkcionális jellemzőikben (tűrőképesség, szaporaság, metabolikus aktivitás, kolonizálódás a bélben) fokozatbeli különbségek vannak. A törzstulajdonságokat nemzetközileg szabványosították, és csak azok nevezhetők/ismerhetők el nemzetközileg probiotikusoknak, amelyek valamennyi tulajdonsága kielégíti az elvárásokat. **Az elvárások a probiotikus törzsekkel szemben a következők:** az alapvető a testfolyadékokkal, a

gyomorsavval, az epesavakkal, az emésztőenzimekkel **szembeni fokozott tűrőképesség**. Képesek legyenek megtapadni a bélfalon, vastagítani/erősíteni a mucosagátat, ugyanakkor csökkenteni a patogének megtapadását, és tudjanak antibakteriális anyagokat (bakteriocinek, hidrogén-peroxid) termelni a patogének ellen.

Olyan alapvető elvárások tartoznak a **metabolikus aktivitáshoz**, mint hogy ne okozzanak D-tejsav-acidózist a vékonybélben, alacsony legyen a biogén-amin termelésük, ne termeljenek, ill. erőteljesen szorítsák vissza a karcinogenezis elindításáért felelős enzimek szintézisét, kössék meg a karcinogén anyagokat, védjenek a fertőzésekkel szemben, rövid szénláncú zsírsavak (SCFA) termelésével erősítsék az immunfunkciót, ne termeljenek toxikus és hemolitikus anyagokat, ne vigyenek át nemkívánatos génállományt a káros csírákba, és ne okozzanak mellék- (adverz) reakciókat, mely utolsó elvárás talán a legkritikusabb tulajdonság.

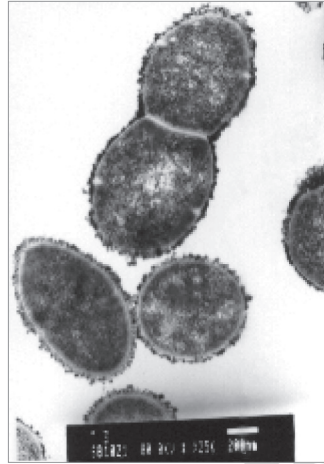
További elvárás, hogy a savanyú tejtermékekben, ill. a poralapú étrend-kiegészítőkben minél nagyobb hányaduk, **minél hosszabb ideig maradjon életben**. Metabolikus aktivitásukat és jótéteményeiket – a laboratóriumi és állatkísérletek mellett – humán klinikai vizsgálatokkal kell igazolni, amit még posztmarketing nyomon követés is egészítsen ki. Egy probiotikus törzsnek sokféle elvárásnak kell megfelelni, és igazi sikerre csak az elvárásokat legjobban kielégítők számíthatnak.

Az igazolt legismertebb probiotikus külföldi törzsek a következők: **Streptococcus** (Sc.) *Thermophilus*, **Lactobacillus** (Lb.) *acidophilus*, *Lb. casei* Shirota, *Lb. rhamnosus* GG, *Lb. casei* immunitas, *Lb. paracasei*, **Bifidobacterium** (B.) *longum*, *B. breve* és *B. infantis*. A *Lactobacillus*-félések közül a *Lb. acidophilus* azért szerepel az első helyen, mert minden törzse probiotikus, és évezredek keresztlül a természetes forrásaik, a savanyú tejek alkotója volt, és sohasem okozott adverz reakciót, vagyis a legbiztonságosabbnak tekinthető.

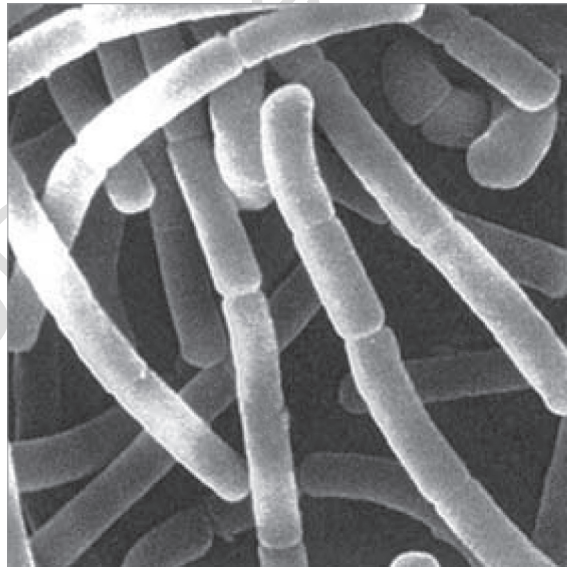
4.4. A magyar kutatók által kifejlesztett probiotikus törzsek

A magyar kutatók által kifejlesztett probiotikus törzsek a *Streptococcus* (Sc.) *thermophilus* (Probiolact-1), a *Sc. thermophilus* (Probiolact-2), a *Lactobacillus* (Lb.) *acidophilus* (Probiolact-3), a *Lb. casei* Tomka (Probiolact-4) és a *Bifidobacterium* (B.) *bifidum* (Probiolact-5). Az első két törzs valódi nemzetközi újdonságnak számít, ugyanis azon ritka *Sc. thermophilus* törzsek, amelyek nemcsak probiotikusak és kiváló élettani hatásúak (pl. plazmakoleszterin-csökkentők), hanem erőteljes exopoliszacharid (EPS)-termelők is. A két törzset e kettős szinbionta tulajdonság teszi nemzetközileg is versenytárs nélkülivé. (Izolálta Szakály Sándor 1979 és 1981 között.) A *Lb. acidophilus* törzsnek egyedi tulajdonsága, hogy probiotikussága mellett még közepes EPS-termelő is. A *Lb. casei* törzset Tomka Gábor izolálta az 1950-es évek második felében. Különleges tulajdonsága az erőteljes fehérjebontó és koleszterincsökkentő képessége. A *B. bifidum* törzset az 1960-as években Pulay Gábor izolálta humán forrásból. A törzs csecsemők, gyermekek és felnőttek emésztőrendszerében egyaránt aktívnak bizonyult.

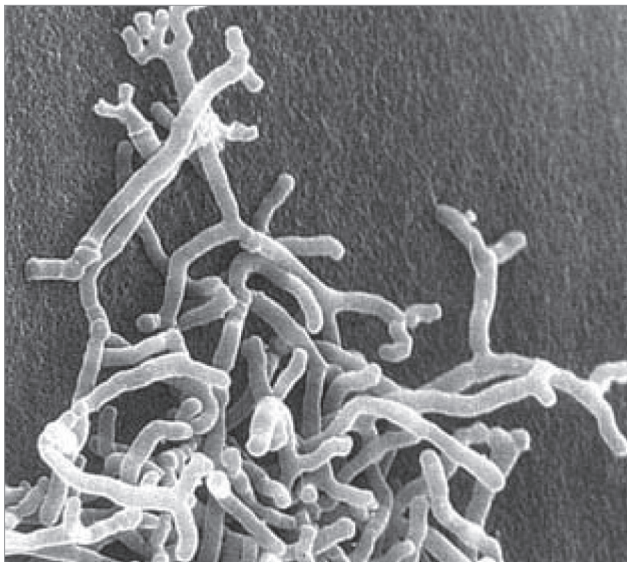
A következő képen a Magyar Tejkutató Kísérleti Intézet (MTKI) egyik probiotikus *Sc. thermophilus* törzsének (Probiolact-2) elektronmikroszkópos képe látható. Jól felismerhető a sejtet körülvevő exopoliszacharid (EPS) mint öntermelésű prebiotikum, ezért a törzs így egymaga szinbiotikus is.



A következő képen a *Lb. acidophilus* pálcikák jellegzetes mikroszkópi képe látható.



A következőkben a *B. longum ssp. animalis* jellegzetes Y, ill. V alakú sejtjeinek mikroszkópi képe látható.



4.5. A probiotikumok felvételének alapelvei

A Földön fellelhető tápanyagok, élelmiszerek közül talán csak a probiotikumok – az őket támogató prebiotikumokkal együtt – az egyetlenek, amelyek úgy biztosítanak humán élettani előnyöket, hogy közben nem okoznak káros mellékhatásokat. Időben és mennyiségben veszély nélkül szedhetők, és a felvett mennyiséggel arányosan nagyobbak lesznek jótéteményeik is. A probiotikumok nemcsak a betegeknek, hanem az egészségeseknek is egyaránt ajánlottak. A betegeknek azért, hogy meggyógyuljanak, az egészségeseknek azért, hogy ne legyenek betegek. Aki fenn akarja tartani egészséges bélműködését és rajta keresztül egészségét, akkor teszi jól, ha élete végéig fogyasztja a pro- és prebiotikumokat. Elégséges már a Bonolact® Pro+biotikum szedésével folytatni a kúrát akkor, amikor a külső hatásra felborult bélflórát a Bonolact® Re+balance, avagy a Comfort már helyreállította. A helyreállítás időtartama néhány hétben, esetleg hónapban jelölhető meg.

4.6. Probiotikumok felvétele tejtermékekkel

A probiotikus élelmiszerek piacát szinte kivétel nélkül a tejtermékek uralják. Korszerűségük legfontosabb kritériuma az élő probiotikus csíraszámuk, amelynek legalább 10^8 /g értékűnek kell lennie. A probiotikumok előnyben részesített hordozói a savanyútej- és tejszínekészítmények, túrókészítmények, vajkrémek, sajtkrémek és érlelt sajtok. **A Magyarországon kifejlesztett korszerű probiotikus tejtermékek márkanevei és a termékek meg-**

nevezése a következők: Biofir® – probiotikus kefir, Probioghurt® – probiotikus joghurt, HunCult® – probiotikus fermentált ital, Milli® – probiotikus tejföl, Új Party® – probiotikus vajkrém, Aktivit® – probiotikus Túró Rudi, Probios® – probiotikus sajtkrém. A kefir, a vajkrém, a Túró Rudi és a sajtkrém igazi nemzetközi újdonságok, a HunCult pedig a Yakult korszerű analógja. További értékes tulajdonságuk, hogy probiotikus élő csíraszámuk igen nagy, 200–1200 millió/g nagyságrendű.

4.7. Probiotikumok felvétele kapszulás étrend-kiegészítőkkal

Az utóbbi időben a probiotikus étrend-kiegészítők rohamos terjedésének vagyunk a tanúi. A megjelenési forma jellemzően kapszula, amelybe liofilezett baktériumkoncentrátumot töltenek. Piacbővülésük okai sorában említhető, hogy a kapszulázott termék megfelel a kor kényelmi elvárásainak, gondolkodás- és magatartásbeli jellemzőinek, jól illik az orvosi gyakorlatba, csomagolása a gyógyszerekével analóg, a termék könnyen bevehető és kezelhető. A liofilezett probiotikus sejtek a protektív anyaguk és a nedvesség- és fényvédő csomagolásuk miatt hosszú ideig (akár 1-2 évig is) nagy arányban (4/5 részben) életképesek maradnak. Ilyen elvárásoknak a probiotikus élelmiszerek nem tudnak megfelelni, mert a bennük lévő probiotikus élő sejtek még hűtőtárolás mellett is gyorsan pusztulnak. A pusztulás különösen a tárolás első két hetében következik be (aránya 50–70%), majd azt követően egyre lassuló. A Magyarországon kifejlesztett, Bonolact® márkanévű kapszulázott probiotikus étrend-kiegészítők megfelelnek a vázolt követelményeknek, tartósságban is korszerűek.

4.8. A probiotikumok jótéteményei

Amikor étrend-kiegészítővel vagy tejtermékkel nagyszámú probiotikumhoz jutunk, annak egyes törzsei olyan mennyiségű β -galaktozidázt termelnek, amely a tejcukor-intolerancia gyakoriságát mintegy 80%-kal csökkenti, így a probiotikus savanyú tejterméket (joghurtot) a laktózérzékenyek 80%-a már gond nélkül fogyaszthatja. A probiotikus törzsek a tej koleszterintartalmának részbeni megemésztésével és a bélben az epesavak dekonjugálásával együttesen hatékonyan csökkentik a plazmakoleszterin-szintet, a rövid szénláncú zsírsavak (SCFA) termelésével táplálják az immunsejteket és az elhízás ellen hatnak. Az egészséges bélműködést több csatornán biztosító tevékenységük a colonrák megelőzésének és a jó közérzet biztosításának alapfeltétele, és az előzőeken kívüli szekunder előny még, hogy csökkentik az allergiás válaszreakciókat.

4.9. A probiotikumok fontosabb humán élettani jótéteményeinek összefoglalása

Magas probiotikus csíraszámú savanyú tejtermékekben, étrend-kiegészítőkből **közvetlen koleszterinemésztés történik**, melynek során 25–30%-kal csökken a tej koleszterintartalma, ezért a vérérum koleszterinszintjének csökkentésével az érlemezsedés veszélye kisebb. A **β -galaktozidáz-termelés** következtében 14%-ról kb. 3%-ra csökken a tejcukor-érzékenység gyakorisága. A **magas probiotikus csíraszám savanyú tejtermékekben, étrend-kiegészítőkből** az epesavak dekonjugálása révén csökkenti a vérérum koleszterinszintjét, melynek következtében az érlemezsedés veszélye kisebb. A mucosavédőgát stabilizálása, erősítése révén védik a szervezetet a patogén csírák ellen, a rövid szénláncú zsírsavak termelése kapcsán pedig a GALT (Gut-associated lymphoid tissue) táplálása révén véd az elhízás ellen. Az egészséges bélflóra helyreállítása, a fekál-enzimek aktivitásának csökkentése, a fekátoxinok visszaszorítása csökkenti a vastagbélrák előfordulását, és javítja a közérzetet.

5. A hús szerepe a táplálkozásban és az egészségmegőrzésben

Élelmiszer-hatósági szempontból a hús a meleg vérű állatok emberi fogyasztásra friss vagy tartósított formában alkalmas része, általánosságban több-kevesebb zsírszövetet is tartalmazó harántcsíkos izomszövet. **Az izomszövet átlagos összetétele** a hozzá kapcsolódó zsír nélkül a következő: nedvességtartalom: 76%, fehérje: 21,5%, zsír: 1,5%, ásványi sók: 1%, szénhidrátok: 0,05–0,2%. A komponensek közül a zsirtartalomnál tapasztalták a legnagyobb szóródást, míg az összes többi viszonylagos állandóságot mutat.

Táplálkozási szempontból a hús nagyon értékes fehérje-, zsír-, vitamin- és ásványianyag-forrás. Szénhidrátartalma alacsony, és a szerves savaknak is szerepük van a hús jellegzetes aromájának a kialakításában. A hús alapvető kémiai összetételét befolyásolja a genetika (faj, fajta), a takarmányozás, a kor és a nem, valamint a testtájék, ahonnan a hús származik.

Az izomrost szerkezetének része a membrán vagy **szarkolemma**, és az egyes összehúzódásra képes egységek, a **miofibrillumok**, melyek a nukleinsavakkal, mitokondriumokkal és a szarkoplazmatikus retikulumokkal együtt a **szarkoplazmába** (kötőszövetbe) ágyazva találhatók. **Szarkomer** a miofibrillum egy olyan részlete, amely az összehúzódásra alkalmas elemeket tartalmazza, amely a miofibrillum legkisebb funkcionális egysége. **Az izomszövet szerkezetének** alapvető elemei az izomrostok, melyeket kötőszövet (endomysium) vesz körül. Az izomrostokból úgy jön létre az izomnyaláb, hogy több izomrostot együttesen burkol be a perimysium, a sok izomnyaláb együttesét pedig az epimysium burkolja be. **A hús színét** alapvetően befolyásolja a mioglobintartalom és a kötőszövet aránya. A fehér hús (baromfi, hal) gazdag miofibrillumokban, de kevés szarkoplazmát tartalmaz, a vörös húsnál viszont a szarkoplazma aránya nagyobb, mint a miofibrillumoké.

5.1. Az izomszövet fehérjéi

Az izom-összehúzódás folyamatában részt vevő fehérjék (aktin, miozin, tropomiozin, troponin) tömény sóoldatokkal extrahálhatók, a vízdékony fehérjék a mioglobin és az enzimek, míg oldhatatlan fehérjék a kötőszövetben és membránban találhatók. A **miofibrilláris fehérjék** tagja, a **miozin**, a teljes fehérjetartalom 50–60%-a, amely két nagyon hosszú, azonos peptidláncból álló α -hélix-szerkezetet tartalmaz, melynek fejrésznél az ATP-áz helyezkedik el. A globuláris alakú **aktin** a teljes fehérjetartalom 15–30%-a, mely a miozinhoz kötődik, és az ATP és a Mg^{2+} -ionok hatására fibrilláris formájú F-aktinná polimerizálódik. A **tropomiozin** egy nagymértékben nyújtott szerkezetű molekula, melynek monomerjei polimer fibrillumokat alkotnak, amelyek az F-aktinhoz kötődnek a vékony filamenten. A **troponin** az aktinfilamenten helyezkedik el; a miozin és aktin filamentek közti összehúzódást kontrollálja az izom-összehúzódás során, amikor a Ca^{2+} a troponin komplexhez kötődik. A **titin** a szarkomer „csontváza”, a legnagyobb molekulatömegű fehérje 26 926 aminosavval. A miozinfilamentet hozzákapcsolja a Z-vonalhoz, melyek a

miofibrillumokban elválasztják egymástól az egyes szarkomer egységeket, és „elasztikus” régiót képez az aktinnal.

Az **izom-összehúzódás előkészítése** során idegimpulzusra a Ca^{2+} kiszabadulnak a szarkoplazmás retikulumból, a troponin komplexkonformációja megváltozik, a tropomiozin fibrillumok leválnak az F-aktinról, és az aktinegységek képesek a miozinefejekhez kötődni. **Izom-összehúzódáskor** a miozinefejek az ATP energiájának segítségével a monomerekhez kötődnek, miközben a miozin konformációja megváltozik. A filamentet elmozdítja a vastag filamenthez képest, a miozinefejeiről leválik az ADP és a P_i , majd elválik a vékony filamenttől, a miozinmolekula feje képes újabb ATP felvételére, és minden kezdődik előlről.

5.1.1. Vízoldható fehérjék

A vízoldható fehérjék a teljes oldható fehérjetartalom ~20%-át teszik ki. Közéjük tartoznak pl. olyan enzimek, mint a gliceraldehid-3-foszfát dehidrogenáz. A nagy oldottfehérje-tartalom miatt a szarkoplazma viszkozitása nagy. Legjelentősebb képviselőjük a **mioglobín**, bíborvörös oxigénzállító pigmentanyag, mely az izomszövet száraz anyagának kb. 1%-át teszi ki. A mioglobín legfontosabb feladata a **hús színének kialakítása**. A mioglobín (Fe^{2+}) oxigén jelenlétében oximioglobinná alakul, mely reverzibilisen vissza tud alakulni mioglobinná, vagy át tud alakulni metmioglobinná (Fe^{3+}), és a metmioglobín is vissza tud alakulni mioglobinná. Ha nagy az oxigén parciális nyomása, akkor az oximioglobín világos cseresznyepiros színe dominál, ami a frissen szelt hús színét okozza. Kis parciális oxigénnyomása esetén lassú oxidáció játszódik le, ami a metmioglobín barna színét eredményezi, melynek során a Fe^{2+} -ionok átalakulnak Fe^{3+} -ionokká, és végbemegy a vörösből barnába mutató színváltozás. Az élő szövetekben a metmioglobint a *metmioglobín reduktáz* visszaalakítja mioglobinná.

A friss hús színét a mioglobín, az oximioglobín és a metmioglobín aránya határozza meg, és mivel ennek kialakításában az oxigénnek jelentős szerepe van, a hús csomagolására oxigént átengedő anyag nem alkalmas. A hús színét a hús pácolása során nitrát vagy nitrit alkalmazásával részben meg lehet őrizni. E két anyagot a mikrobiológiai romlás megelőzése és a szín stabilizálása miatt alkalmazzák. A pácolás során a mioglobín a nitráttal reagálva metmioglobinná és nitrogén-monoxiddá alakul, mely utóbbi mind a mioglobinnal, mind a metmioglobinnal, világosvörös színű, nagyon stabil komplexet hoz létre. Redukálószer jelenlétében (pl. aszkorbinsav, tiolok) a vörös szín képződése felgyorsul, a nitrit nitrogén-oxidá alakul, a nitrozometmioglobín (Fe^{3+}) pedig átalakul nitrozomioglobinná (Fe^{2+})-ná.

A denaturálódott nitrozomioglobinnal adja a pácolt termékek színét, mely hőstabil, az oxigén hiányában rendkívül tartós vegyület, oxigén jelenlétében viszont a nitrozomioglobinnal disszociál, és a felszabaduló nitrogén-monoxid (NO) nitrogén-dioxiddá (NO_2) oxidálódik. Amennyiben nem pácolt húst ér hőhatás, színe megbarnul (Fe^{3+}).

5.1.2. Oldhatatlan fehérjék

A kötőszöveti fehérjék túlnyomó hányada az oldhatatlan fehérjék csoportjába tartozik. A **collagén** emlősök esetében a hús teljes fehérjetartalmának 20–25%-át teszi ki. Három százból álló hélix, mely sok glicint és prolint tartalmaz, ennél fogva biológiai értéke csekély. A *post mortem* változások során a glükózból tejsav képződik, melynek hatására a collagén

denaturálódik. A lizoszomális enzimek (lizoszomális kollagenáz és katepszin B₁) elhasítják, és a hő hatására denaturálódott kollagént a pepszin és a tripszin képes hidrolizálni. Az intakt kollagénrostok hő hatására (sütés, főzés) zsugorodnak. A zsugorodási hőmérséklet halkollagén esetében 45 °C, míg emlősöknél 60–65 °C. A zsugorodási hőmérséklet fölé melegítés random coil szerkezetű zselatinná változtatja a kollagént, mely ennek során vízdoldhatóvá válik. Hűtés hatására megindul egy átmenet a rendezett szerkezet felé, és kialakul a zselatingél. Ez a folyamat a hús főzése és sütése során is lejátszódik, így a kollagén zselatinná alakul. A zselatinizáció mértéke függ az állat korától, mely befolyásolja a kollagén-keresztkötések kialakulásának mértékét, és az eljárás során alkalmazott körülményektől (hőmérséklet, idő, nyomás). Az élelmiszeripari zselatin gélképző ágens, melynek forrása a csont és a bőr, melyekből lúgos vagy savas kezeléssel és vizes extrakcióval állítják elő. Az **elasztin** kisebb mennyiségben található a kötőszövetben. Elasztikus szálakat képezve gumyszerű tulajdonságokat kölcsönöz a húsnak. A pankréasz eredetű elasztáz lebontja.

5.2. Biogén aminok

A biogén aminok az aminosavak dekarboxilezése során keletkeznek többnyire mikrobiális enzimek hatására, ezért a mikrobiális minőség indikátorai. A marha- és sertéshús fő biogén aminjai a hisztamin, tiramin, putreszcin és a kadaverin. A hús minőségének becslésére definiálták a Biogén Amin Indexet (BAI), amely a négy amin koncentrációjának összege mg/kg-ban kifejezve. A hús jó mikrobiológiai minőségű, ha a BAI-indexe kisebb, mint 5, 5–20 között elfogadható (a mikrobafertőzés még korai stádiumban van), 20–50 között rossz minőségű, az 50 feletti pedig egyértelműen jelzi, hogy a hús romlott. A fermentált húskészítmények BAI-indexe magas, a szalámitípusok esetében elérheti az 500 mg/kg-os határértéket is.

5.3. Kreatin és kreatinin

A **kreatin és kreatinin** az izomszövet tipikus összetevői, hisz a kreatin-foszfát energiatároló vegyület. Jelenléte biztosan jelzi, hogy húskivonat van az élelmiszerben. A *post mortem* változások során, mivel a vágás anaerob körülmények között történik, az energiában gazdag foszfátok (ATP, kreatin-foszfát) lebomlanak, a Ca²⁺-diffúzió során a troponin komplexhez kötődnek, az aktin egységek pedig képesek a miozinfajhoz kötődni. ATP hiányában a fejek képtelenek ATP-t felvenni, a körfolyamat nem működik, az izomszövet merevvé és rideggé válik, és bekövetkezik a rigor mortis.

5.4. A hús érlelése

A **hús érlelésének** célja a porhanyósság kialakítása, az aromaképzés és a vízmegkötő kapacitás javítása, hogy kisebb folyadékvesztés legyen a hőkezelés során. Az érlelés hőmérséklete –1 °C és +7 °C között van, az érlelési idő pedig baromfihús esetében 36 óra,

a sertéshúsnál 60 óra, a borjúhúsnál 7 nap, a marhahús esetében pedig 14 nap. Az érésre hatással van még a kollagén-keresztkötések száma miatt az állat kora és a felszabaduló enzimek aktivitása is. A húspanban a következő morfológiai változások játszódnak le az érés során: a Z-vonalak „eltörnek”, a titin lebomlik, a miozin és az aktin 25 °C alatt intakt marad, az izomsejtek külsején elhelyezkedő kötőszövet viszont változatlan marad. A miofibrilláris fehérjék enzimikus lebontásában az endopeptidázok, a rigor mortis fázisban pedig a Ca^{2+} -ionok hatására felszabaduló kalpain játssza a főszerepet, így a katepszinek és a kalpain egymás hatását elősegítve mozdítják elő a hús érését. A hús érési folyamatai és az azt befolyásoló tényezők még nem teljes mértékben ismertek, ezért a porhanyósság előrejelzésére alkalmas markerek megtalálása még a jövő feladata.

5.5. A sertéshús esetében előforduló minőségi hibák

Halvány, lágy és vizenyős hús (PSE-hús) stressz hatására következik be, amikor is a sertések izomszövetében még a vágás előtt/közben gyorsan lebomlik az ATP, a glikolízis sebessége felgyorsul, amely gyors pH-csökkenést eredményez, és a test hőmérséklete, ahelyett hogy csökkenne, 40–41 °C-ra nő. Az alacsony pH és a magas hőmérséklet hatására az oldható fehérjék denaturálódnak. A kicsapódott fehérjék fényszórása miatt a hús sápadtnak tűnik, annak ellenére, hogy a mioglobintartalom változatlan. A sejtmembránok szétesése következtében a hús vízmegkötő képessége kisebb, ezért a csöpögési veszteség három nap alatt elérheti a 15%-ot, ami a normál húsnál csak 4%. **A sötét, rágós és száraz hús (DFD-hús)** ugyancsak stresszhatásra alakul ki, amikor a glikogén döntő hányada felhasználódik, ami miatt a vágás után csak kevés tejsav keletkezik, ezért a pH-érték alig csökken. A magas pH miatt a miofibrillumok több vizet kötnek meg, a hús szárazabb lesz, az oximoglobin a magasabb pH-n stabilabb lesz, ami sötét színt eredményez. A megemelkedett pH-érték hajlamosabbá teszi a húst a mikrobiológiai minőségromlásra, ezért az ilyen hús nyers hústermékként nem használható fel. **A húshibák megelőzhetők** a stresszre érzékeny állatok óvatosabb kezelése és a karkaszok gyors lehűtése által. A marhahúsban a PSE-effektus nem számottevő, mert a zsírok oxidációja elég energiával látja el a szöveteket, ezért a glikogén lebomlása is lassabban megy végbe.

5.6. A hús mint funkcionális élelmiszer

5.6.1. A hús mint fehérjeforrás

A fehérjék hasznosulását a szervezetben a biológiai értékkel fejezzük ki, melynek viszonyítási alapja a tojásfehérje vagy az anyatejfehérje, mert mindkettő tökéletesen hasznosul, ezért ezek biológiai értéke 100%. A hús az egyik legfontosabb koncentrált, teljes értékű és jó biológiai hasznosulású fehérjeforrásunk, ezért már napi 50 g hús elfogyasztása a teljes esszenciális aminosav-igényünket és fehérjeszükségletünk 20%-át fedezi.

Az emberi test sejteinek felépítésében és működésében a legfontosabb szerepet a **fehérjék** játsszák, ezért a megfelelő mennyiségű és minőségű fehérjék hiánya a szervezet

immunrendszerének leromlásához vezet, azaz szervezetünk nem tud kellően védekezni a mikrobás és a vírusos fertőzésekkel, az allergiával, a gyulladásokkal és egyéb, például daganatos megbetegedésekkel szemben. Az **esszenciális aminosavakat** kívülről, a táplálékkal készen kell bevinni a szervezetbe, melyeket a húsok, a tojás-, a tej- és a halfehérjéhez hasonlóan, megfelelő arányban tartalmazzák. A marhahús anyatejhez és tojásfehérjéhez viszonyított biológiai értéke 88–92 között van, és hasonló biológiai értékű a sertés- (84), a baromfi- (82) és a halhús (80–92) is. Az ajánlott fogyasztás belőlük 55 g/fő/nap. A húsfehérjére jellemző a jó hasznosulás. 200–250 g hús fedezi az egész napi szükségletet, a növényi fehérjéből pedig másfél-kétszer annyit kell fogyasztani a rosszabb hasznosulás miatt, ezért a hús már önmagában is funkcionális élelmiszer lehet.

A fiatal, fejlődő szervezet fehérjeigénye nagyobb, mint a felnőtteké, és a mennyiségen túl a teljes értékűségről is gondoskodni kell. Megfelelő fehérje-, vas- és cinkbevitel nélkül nem biztosítható a testi, szellemi, lelki teljesítőképesség és az immunrendszer fejlődése és zavartalan működése. Mivel ezen anyagok megfelelő minőségben és mennyiségben csak a húsban találhatóak, ezért ebben az időszakban a fogyasztását növelni kell. A terhesség alatt fokozottan szüksége van a szervezetnek a húsrá, hiszen a magzat fejlődéséhez megfelelő fehérje- és vasbevitel kell, és ez érvényes a szoptatás alatti időszakra is. Idősebb korúaknál csökken a fehérjék hasznosulása, ezért náluk is szükséges a teljes értékű, nagyobb fehérjetartalmú hús fogyasztásának növelése. A fejlődő országokban a „fehérjeéhezés” valódi oka nem a fehérjefogyasztás elégtelensége, hanem a kevés zsír- és szénhidrát-fogyasztás, aminek következtében a fehérje nagy része energiatermelésre fordítódik, a fehérjeszintézisre pedig nem jut elegendő mennyiség.

5.6.2. A hús mint zsírforrás

A zsíroknak jelentős biológiai szerepük van, mert a legnagyobb energiatartalmú tápanyagok (1 g = 37 kJ), a sejtek nélkülözhetetlen építőkövei, a zsírolható vitaminok, aromaanyagok hordozói, és a bőr alatti zsírszövet mechanikai védőréteg és hőszigetelő réteg. A túlzott zsírbevitel azonban – **kiegészülve a mozgásszegény életmóddal** – szerepet játszik a szív- és érrendszeri, a cukor-, az epeköbetegségek gyakori előfordulásában, a magas vérnyomás, az érrelmeszesedés és az infarktus kialakulásában. A zsír jelenléte a húsban lehet felületi zsiradék, amely eltávolítható, izmon belüli (intramuscularis), márványozottságot adó zsír, amely gyakorlatilag nem távolítható el. A teljesen sovány színhús 1-2% zsírt tartalmaz, függetlenül attól, hogy milyen állatból származik. Két százalék zsírtartalom alatt a hús túlságosan száraz, élvezhetetlen, mert elmarad az a hatás, amit a zsiradék gyakorol a nyáltermelésre.

5.6.3. A húsok zsír- és koleszterintartalma

A sovány húsok szinte korlátlanul fogyaszthatók, mert pl. dagadóból 400 g teszi ki a napi ajánlott mennyiséget. A szalonna fogyasztására kell vigyázni, mert **nagy a zsírtartalma**, és ezzel a szükségesnél több energia kerül a szervezetbe. A hús zsírtartalma függ a fajtól, a fajtától, a kortól, a nemtől, a takarmányozástól és a húsrész fajtájától. A baromfi-húsnál más a zsírtartalom, ha bőrrel vagy anélkül fogyasztjuk. Az állati zsírok egyik komponense a **koleszterin**, ami a sejtmembránok működésében tölt be fontos szerepet, és

amelynek döntő mennyiségét a szervezet maga állítja elő, csak kisebb hányadát vesszük fel a táplálékainkkal. A szervezet szabályozó mechanizmusa gondoskodik arról, hogy a vér koleszterinszintje – függetlenül a táplálékkal bevitt mennyiségtől – normális mértékű legyen. Korábban elsősorban a koleszterint tették felelőssé a szívbetegségek (infarktus) és egyes daganatos megbetegedések kialakulásáért, az utóbbi években azonban az orvosi kutatások alapján a koleszterin „felmentést” kapott egészséges táplálkozás esetén. A húсок koleszterintartalma nem túl nagy, sokkal több koleszterint tartalmaznak a belsőségek, a vaj és a tojássárgája, ezért a hús mellett nyugodtan fogyaszthatunk esetleg magas koleszterintartalmú ételeket is. Napi 400–500 g hús koleszterintartalma töredéke az ember szükségletének, ennél többet pedig biztosan nem eszünk meg naponta.

5.6.4. A különböző zsiradékok és a halak zsírsavösszetétele

A húсок palmitinsav- és sztearinsav-tartalmát, összességében a telített zsírsav-tartalmát (SFA) érte az utóbbi időben támadás, azonban a C18 sztearinsav egy része az anyagcsere-folyamatokban átalakul olajsavvá, egyszerűen telítetlen zsírsavvá (MUFA). A mediterrán étrendet a sok olajsav (pl. olívaolaj)-fogyasztás miatt egészségesebbnek tartják a kisebb mértékben előforduló szívinfarktus miatt. Mások szerint ez csak az egyik ok, a mediterrán életmód is kell hozzá, és szerepe lehet benne a többszörösen telítetlen zsírsavaknak (PUFA) is, mint amilyenek az eikosa-pentaénsav (EPA) és a dokoza-hexaénsav (DHA), ami az olívaolajban pl. kevés. Az esszenciális zsírsavakat, mint amilyen pl. az α -linolénsav, a táplálékkal kell a szervezetbe juttatni, mert a szervezet nem tudja szintetizálni azokat.

A húsételekkel történő zsírbevitel esetén hangsúlyozni kell, hogy a kiegyensúlyozott táplálkozásra célszerű törekedni, és hogy a sertézsírt és a különböző olajokat a tápláléktól függően vegyesen használjunk. Saláták elkészítéséhez javasolt az olívaolaj, sültetekhez pedig a sertézsír és olajok keveréke. Ezenkívül a **húsételek zsírtartalmát erősen befolyásolja az elkészítés módja**. A legsoványabb hús is zsírossá tehető bőséges panírozással, zsiradékban sütéssel és a hagyományosan zsíros, rakott, töltött módon készítve. Zsiradék hozzáadása nélkül, az eredeti zsírtartalom megtartásával, mikrohullámú készülékben, sütő-főző edényekben is lehet ételt készíteni. Ha a köret nem zsíros, pl. párolt zöldség vagy savanyúság, nem kell aggódnunk a zsír- és energiafelvételünk miatt, és a zsíros falatokat a tányéron is hagyhatjuk.

5.6.5. A hús mint vitaminforrás

A **vitaminok nélkülözhetetlenek**, mert szabályozzák az anyagcserét, az energiaforgalmat, az enzimműködést és a szervezet megújítását. Oldékonyságuk szerint a vitaminok lehetnek zsírban oldódó (A-, D-, E-, K-) és vízben oldódó (B-csoport, C-) vitaminok. A húсок sok B₁-, B₂-, niacin, B₆- és B₁₂-vitamint tartalmaznak, melyek hiányában fáradékonyság, gyulladás, álmatlanság és vérszegénység lép fel. A sertéshús B₁-vitamin-tartalma ötször több, mint más állatok húsa. Zsírban oldódó vitaminokból a hús keveset, a belsőségek viszont sokat, főleg **A- és D-vitamint** tartalmaznak magas koleszterintartalommal. Amint az köztudott, az A-vitamin hiányában látáskárosodás, a D-vitamin hiányában pedig csontképzési rendellenesség lép fel, mely betegségeket a rendszeres húsfogyasztással meg lehet előzni.

5.6.6. A hús mint ásványianyag-forrás

Az ember egészséges élete elképzelhetetlen megfelelő mennyiségű és helyes arányú ásványianyag-ellátás nélkül, mert ezek biztosítják a sejtek, szövetek rugalmasságát, felelősek a fehérjék oldatban tartásáért, részt vesznek az ingerületvezetésben és a vér sav-bázis egyensúlyában. Az anyagcsere-folyamatok során állandóan veszítünk ásványi sókat, melyeket ivóvízzel, de főleg az élelmiszerek útján pótolni kell. Az élelmiszerekben található elemeket előfordulási koncentrációjuk, fiziológiai szerepük és az emberi szervezetre vonatkozó szükségleti értékük alapján makro- és mikroelemekre osztjuk. A makroelemek napi szükséglete *gramm*, a mikroelemek napi szükséglete *milligramm* mennyiségű.

A makroelemek közül a nátrium és a kálium megfelelő arányban található a húsokban. Együtt szabályozzák a szervezet vízegyensúlyát és normalizálják a szív ritmusát. A nátrium/kálium arány eltolódása az idegrendszer és az izomműködés zavarát okozza, a túlzott nátriumbevitel (konyhasóval) pedig a magas vérnyomás kialakulásával járhat. **A mikroelemek közül kiemelkedő a húsok vastartalma**, mert a vas központi szerepet játszik a vörösvértestek felépítésében és a szervezet oxigénellátásában. A vas a vörös színt adó húspigment központi eleme, ezért minél vörösebb színű a hús, annál nagyobb a vastartalma. A marhahús vastartalma nagyobb, mint a sertéshúsé, a csirkecombé nagyobb, mint a csirkemellé, és a máj is gazdag vasforrás.

Szintén nagy mennyiségben fordul elő a húsokban a cink, mely részt vesz az enzimek működésében, biztosítja a sejtek épségét, szabályozza az izmok összehúzódnak képességét, elősegíti az inzulin képződését, szerepet játszik a szaporítószervek kialakulásában és hozzájárul a szellemi frissesség megőrzéséhez. A szervezet sokkal könnyebben fel tudja venni ezeket a mikroelemeket a húsfélékben előforduló szerves kötésű vegyületekből, mint más, például növényi eredetű táplálékból.

5.7. Nyers húsok

A marhahúsok konyhatechnikai felhasználása során az egyes húsrészek szerint megkülönböztetünk pecsenyhúsokat, szelethúsokat, leveshúsokat, gulyás- és pörkölt-húsokat. **A szarvasmarha-pecsenyhúsok a szarvasmarha húsának pecsenyék, hirtelensültek készítésére alkalmas részei.** Ezek a vesepecsenye (bélszín), a fehérpecsenye, a gömbölyű felsál, a hosszú felsál, a hátszín és a rostélyos. A bélszín, a hátszín és a rostélyos kivételével a többi húsrész csak számottevő érlelést követően alkalmas pecsenyék készítésére, de a vesepecsenye, a hátszín és a rostélyos is porhanyósabbá válik az érlelés során. Az érlelt hús iránti fogyasztói igény kihalt az elmúlt évtizedekben, de a marhahús esetében fokozottan igaz, hogy a vágást követő érlelés lényegesen javítja annak tulajdonságait. Az Európai Unió szabályai szerint a márkázott marhahúst legalább hét napig kell érlelni, és nem előny, ha a hús „friss”.

5.7.1. Szelet-, leves- és gulyáshúsok

A szelethúsok nyersen vagy főzve adagolásra, szeletelésre alkalmasak. Idesoroljuk a fartó részeit, továbbá a vastag lapockát és a stefániát. **A leveshúsok** rosszabbul szeletelhe-

tők, de húsleves készítéséhez kiválóak (puha szegy, puha hátszín, csontos oldalas, a szegy részei, a lengőborda és a farok). A **gulyás- és pörkölhúsok** általában inakkal átszóttek, így igen zamatosak, a vágásfelületek nem simák, így kockára vágva főzhetők (tarja, nyak, lábszárhús, oldallapocka, felsáldekli, medencehús). Az előző csoportosítást alkotó módon kell alkalmazni, így tarjából és nyakból is jó leves készíthető, de nem jó, ha a rostélyost kiváló levesthúsként ajánlják, mert kis érlelést követően pecsenyének is készíthető.

A **sertéshús** népszerűsége a felhasználás sokféleségének és számos történelmi tényezőnek köszönhető. Napjainkra nem csupán a háziasszonyok kedvelt alapanyaga, hanem a húskészítmények legfontosabb összetevője is. Magyarországon a boltok úgynevezett „**lehúzott**” fél testeket kapnak ami azt jelenti, hogy a „fél sertés” felületéről javarészt eltávolították a bőrt és a bőr alatti zsírszövetet. Európa többi országában a forrázásos házi vágásnak megfelelő bőrös-szalonnás fél testek képezik az üzleti bontás alapját, ami nem jelenti azt, hogy például a karaj és a tarja ott kizárólag csak bőrös lehet, de azt igen, hogy gyakrabban találhatók ilyen kidolgozású húsrészek. Minthogy Magyarországon is lényegesen csökkent a vágósertések zsírtartalma, ezért, különösen a fiatalabb állatok feldolgozása esetén, bátrabban lehetne kínálni bőrös húsrészeket.

5.7.2. A sertéshúsok konyhatechnikai felhasználása

A **szelethúsok** kiválóan alkalmasak frissensültek készítésére. Idesoroljuk a karajt, a tarját, továbbá a comb részei közül a slusszt és a felsált. A **pecsenyehúsok** pecsenyék és egybesültek alapanyagai. Idetartoznak a comb részei (dió, fartő), valamint az oldalas és a dagadó. A sült oldalas igazi csemegének számít hazánkban és külföldön egyaránt. **Kocsonyahúsok** a fej, a láb, a csülök és a farok. Ezek bőrös részei a sertésnek, így zselatint képezve kocsonyásítják a főzőlét. A csülök számos étel alapanyaga, pácolva, füstölve, főzve kiváló tulajdonságú húskészítmény (körömpörkölt).

A húskészítmények húsipari nyersanyagokból (hús, szalonna, belsőség), jelleg- és ízkialakító anyagok felhasználásával, meghatározott technológiával, emberi táplálkozás céljára előállított hústermékek. A **húskészítmények gyártásához felhasznált anyagok** tartalmaznak ízkialakító, ízesítő anyagokat (sót és különböző fűszereket), fehérjekészítményeket, adalékanyagokat és sót. A húsok elkészítéséhez só (nátrium-klorid) használunk, ezért a nyers hús nátriumszegénysége ellenére a húsételek sótartalma jelentős lehet. A húskészítmények sótartalma általában 2%, de egyes termékeké (pl. kolbászoké) elérheti a 4-5%-ot is. A só nemcsak **ízkialakító** hatással bír, hanem 2%-os mennyiség fölött **tartósító** hatású is, azaz gátolja a különböző mikrobák szaporodását.

A túlzott sófogyasztás megterheli a vesét, és magas vérnyomást is okozhat, ezért a húsipar csökkentett sótartalmú készítményeket is gyárt, melyekben a nátrium-kloridot kálium- és magnézium-kloriddal helyettesítik. A húskészítmények előállításához nitrites só is használunk. A fűszerek növényi eredetű termékek, melyeket az élelmiszeripari készítmények ízesítésére, illatosítására vagy esetleg tartósítására használunk, melyek az **ízkialakításon** túl hatást gyakorolnak az ember **egészségi állapotára** is. Elősegítik a nyálképződést, a gyomornedv kiválasztódását, és serkentik az anyagcsere-folyamatokat. Különösen serkentőek a bors, a paprika, a mustár és a gyömbér. Egyes fűszereknek gyógyhatásuk is van: a kömény felfúvódásgátló, a fokhagyma vérnyomáscsökkentő, a kakukkfű

görcsoldó és köhögéscsillapító, a majoránna gyomorerősítő és nyugtató, a petrezselyem vesetisztító, a rozmaryn epehajtó és idegnyugtató, a vöröshagyma pedig vizelethajtó.

A fűszerek illóolaj-tartalmának **csíraölő hatása** is van, melyek a bazsalikomban, a fokhagymában, a szegfűszegben és a vöröshagymában található, ezért a fűszerek bizonyos mértékig javíthatják az élelmiszerek eltarthatóságát. Egy húsipari termékhez átlagosan négy fűszert használnak fel. A leggyakoribbak a bors, pirospaprika, fokhagyma, szegfűbors, szerecsendió, vöröshagyma, köménymag és a majoránna.

5.8. Fehérjekészítmények

A húsipar a húsfehérjén kívül egyéb állati és növényi fehérjéket is felhasznál a termékgyártáshoz. Ennek oka a húsfehérje részleges helyettesítése, az állomány javítása és a zsírtartalom csökkentése. A felhasználható állati fehérjék a tejfehérje, a bőrke és a vér, a növényi fehérjék közül pedig a szója, melyek felhasználása maximálva van: a bőrkéből fehérjetartalomra vonatkoztatva 6%, a vér- és szójafehérjéből összesen 4% adható a húskészítményekhez. A húsfehérje nem vált ki allergiát, szemben a tej- és a szójafehérjével, ennek ellenére a fehérjékre érzékenyek nézzék meg a húskészítmény címkéjén található összetételt.

5.9. Adalékanyagok

Az adalékanyagok természetes vagy mesterséges anyagok, melyeket élelmiszerként önmagukban nem fogyasztják, alapanyagként nem használják, hanem az előkészítés, a feldolgozás, a csomagolás, a szállítás vagy a tárolás folyamán adják az élelmiszerhez. A termék érzékszervi, kémiai, fizikai és mikrobiológiai tulajdonságait kedvezően befolyásolják, és alkalmazásukkal az élelmiszer összetevőjévé válnak. Felhasználásukat a **Magyar élelmiszerkönyv I. kötetének kötelező érvényű előírásai szabályozzák**. A húsiparban használt adalékanyagok majdnem mindegyike GMP, azaz a helyes gyártási gyakorlat szerint van engedélyezve, ami azt jelenti, hogy a szükséges, de legkevesebb mennyiségben alkalmazzák őket. A GMP-adalékanyagok azért nincsenek mennyiségileg korlátozva, mert nincs bizonyítottan egészségkárosító hatásuk.

Az adalékanyagokat az Európai Közösség **E-számozási rendszerbe** sorolta azért, hogy a soknyelvű közösségben az adalékanyagok nevének lefordításából eredő problémák elkerülhetők legyenek, illetve az adalékanyagok azonosítása egyszerűbbé váljon. **Az adalékanyag-mizéria** az alábbiakat foglalja magába. Káros vagy kerülendő adalékanyagokról szóló listák évek óta léteznek, amelyek mindig névtelenek, a szerző neve nincs feltüntetve, hivatkozások nem találhatóak, és tele vannak ellentmondásokkal. Jó példa erre a citromsav (E 330), amely az egyik listán az ártalmatlan anyagok közé van sorolva, egy másik lista szerint veszélyes, rákkeltő anyagnak tartják. Az „E-számok rejtélye” manapság divattá, mániává vált, a kereskedők ugyanis a gyártóktól „E-szám-mentes” termékeket követelnek, melynek az oka a „keringő listákban” keresendő.

Az **antioxidánsok** a húskészítményben meggátolják az oxidációs folyamat megindulását, ami a termék romlásához vezethet. Legfontosabb antioxidánsok az aszkorbinsav (C-vitamin) és sói (E 300–302), a tokoferolok vagy más néven E-vitamin (E 306–309), a butil-hidroxi-toluol, BHT (E 321), a laktátok (E 325–326) és a citromsav és sói (E 330–333). Az **emulgeáló sók** javítják a víz- és zsírkötést a termékben. Ilyenek a foszfátok (E 339–341), a difoszfátok (E 450), a trifoszfátok (E 451) és a polifoszfátok (E 452). Ezeknek köszönhető a hőkezelt húskészítmények megfelelő állománya. Az ízfokozók már nagyon kis mennyiségben alkalmazva is felerősítik az étel ízeit, jellegzetes ízét és zamatát. Közéjük tartoznak a glutaminsav és sói (E 620–625), a guanilsav és sói (E 626–629), valamint az inozinsav és sói (E 630–633).

A **stabilizátorok és sűrítőanyagok** javítják a termék állományát és keményebbé, sűrűbbé teszik azt. Fő fajtái az oxidált keményítő (E 1404), az algakivonatok (E 400–404), az agar (E 406), a karragén (E 407), a szentjánoskenyér-mag-liszt (E 410), a guar (E 412) és a xantán (E 415). A **színezékek** növelik a termék színének erősségét és intenzitását. A hústermékek színezékei a kárminsav (E 120), a paprikakivonat (E 160c) és a céklavörös (E 162), melyek közül a húsipari vállalatok általában csak a paprikakivonatot használják.

A húsiparban használható tartósítószer a **nitrit** (E 250), amit a húsüzemekben önállóan nem, hanem sóval hígított nitrites sókeverék (pácsó) formájában használnak, amelynek nátrium-nitrit-tartalma 0,5%. A húskészítmények és pácolt húsok jellegzetes rózsaszín színének kialakulásához szükséges a nitrit. A nitrit gátolja legjobban a halálos kimenetelű kolbászmérgezést okozó *Clostridium botulinum* spórás baktérium kifejlődését és méregtermelését. A nitrit a késztermékben már alig mutatható ki, a friss zöldségekből viszont a húsnak sokszorosa kerül a szervezetünkbe, mivel a zöld levelek akumulálják a talajban lévő nitrátot, amiből nitrit keletkezik.

5.10. Húsipari termékcsoportok

A Magyar élelmiszerkönyv a húsipari termékeket az alábbi nagy csoportokra osztja: vörösáruk, mozaikos húskészítmények, kolbászok, szalámi-félék, hússajtok, hurkák, kenhető húskészítmények, pástétomok, aszpickos termékek, pácolt, füstölt, füstölt-főtt húsok, formában vagy bélben főtt pácolt húsok és szalonnák. Mindegyik termék esetében előírások rögzítik a minimális fehérjetartalmat, a maximális zsírtartalmat és a minimális sótartalmat.

5.11. A húsok emészthetősége

A „vörös hús” névvel illetett marha-, sertés- és juhhúst **emészthetőség** szempontjából kedvezőtlenebbnek szokták ítélni, mint a „fehér húsnak” számító csirke- és halhúst. A hőkezelés javítja a hús emészthetőségét azért, hogy a denaturálódott izomfehérjék és a feltárt kötőszöveti rostok jobban hozzáférhetővé válnak az emésztőenzimek számára.

Az emészthetőség az állat életkorával csökken, az idős állatok és vadak húsa marinálással (ecetes pácolással), hosszabb idejű, lassú hőkezeléssel, kukta alkalmazásával tehető porhanyósabbá.

5.12. A hús és az allergia

A húsfehérjék – különösen hőkezelve – ritkán váltanak ki **allergiát**, szemben a tej, a tojás és a szója fehérjéivel. A hús- és baromfikészítményekben azonban allergiát kiváltó anyagok is előfordulhatnak, ezért az érzékenyek számára tanácsos, ha vásárlás előtt áttanulmányozzák az összetevők listáját a termékek címkéjén. Hal és kagyló fogyasztása gyakrabban vezethet allergiás reakciókhoz, de az **allergiát leggyakrabban okozó nyolc ételmi-szer között nem szerepel a hús**, és a nagy nemzetközi szervezetek sem sorolják a húsokat az allergiát okozók közé.

5.13. Élvezeti hatás

A hús egyik legértékesebb táplálékunk. Főbb étkezéseinken, ünnepeinkkor már ősidők óta nélkülözhetetlenek az ebből készült ételek. A rendkívül változatos, sokféleképpen elkészíthető húselekek, húskészítmények nemcsak gasztronómiai élményt nyújtanak, hanem ízük, illatuk miatt esztétikai élvezeti források is. A húsétel a legtöbb kultúrában a családi és társadalmi ünnepek fő fogása. Ez a kiemelkedő hely mind a gasztronómiai élmény, mind tápanyagainak gazdagsága miatt megilleti, **mivel a hús igen fontos fehérje-, zsír-, vitamin- és ásványianyag-forrás.**

6. A szója mint funkcionális élelmiszer

A szója energiában, fehérjében, esszenciális aminosavakban igen gazdag táplálékforrás. Nagy lecitin- és E-vitamin-tartalma segíti a karotin felszívódását, a szaporodást és az ideg-tevékenységet. A legnagyobb fehérjetartalmú, sokoldalúan hasznosítható kultúrnövény. Magja 36,8–42,0 g/100 g fehérjét tartalmaz, melynek biológiai értéke (74–78) kimagasló a növényi fehérjék közül. Aminosav-összetételére jellemző a magas lizintartalom, de kén-tartalmú aminosavakból, különösen metioninból, keveset tartalmaz. A magas fehérjetartalom miatt a többi növényi eredetű fehérjéhez viszonyítva kén-tartalmú aminosav-tartalma is jelentős, a többi növényi vagy állati eredetű fehérjével kombinálva optimálisan ki tudja elégíteni az ember szükségleteit, ezért a szója igényt tarthat a funkcionális jelzőre.

6.1. A szójafehérje minőségének alakulása a technológiai műveletek során

A szója több antinutritív anyagot tartalmaz, ezért a szóját a kedvezőtlen élettani hatások kiküszöbölésére hőkezelní kell. **Az optimális hőkezelés** inbibálja az antinutritív anyagokat, de nem befolyásolja jelentős mértékben a fehérje minőségét. **Az optimálisnál nagyobb hőkezelés** rontja a fehérje minőségét, kárt okozva a felhasználónak, esetleg kellemetlen tüneteket vagy betegséget a fogyasztónak. Írásunknak ebben a részében cé-lunk felhívni a figyelmet azokra a körülményekre, amelyek csökkenthetik a fehérje biológiai értékét, bemutatni módszereket a fehérje biológiai értékének meghatározására, a hőkárosodás mértékének becslésére és az antinutritív anyagok maradványainak kimutatására. Felhívni a figyelmet arra, hogy a nyers szóját milyen technológiai beavatkozásoknak kell alávetni, hogy jó minőségű, funkcionális élelmiszer váljon belőle.

6.1.1. Az oxidáció hatása a fehérjék károsodására

A levegő oxigéntartalma már maga károsít, és vannak olyan élelmiszer-komponensek (pl. telítetlen zsírsavak), amelyek önmaguk könnyen oxidálódva elősegítik az aminosavak, fehérjék oxidációját. Szobahőmérsékleten az oxidatív hatás csekély, magasabb hőmérsékleten viszont beindulnak olyan különböző oxidatív bomlási folyamatok, melyek során a zsírsavakból a kettős kötés hasadása során zsírperoxidok, hidroperoxidok, izomerizációs termékek, aldehidek, ketonok, szabad zsírsavak, hidroxidok és oxidok keletkeznek, melyek jelentős hatással lehetnek a fehérje minőségére.

6.1.2. A hő hatása a fehérjék károsodására

A hőkezelés során a fehérje bomlásához vezető kémiai reakciók a hőmérséklet növekedésével rendkívüli mértékben felgyorsulnak, az enzimek reakciói viszont gyakorlatilag leállnak. A hőkezelés során a fehérjemolekula térszerkezete megváltozik, az elsődleges kötések (diszulfidhidak), a hidrogénhidak a hőkezelés során felszakadhatnak, a fehérje denaturálódik, mely a szekunder, a terciér és a kvaterner szerkezet irreverzibilis változását okozza. A denaturáció hasznos is lehet, mert a fehérje hozzáférhetőbbé válik a proteolitikus

enzimek számára, az antinutritív anyagok (pl. tripszinhibitorok) hatása pedig megszűnik. Ha az elsődleges szerkezet, a peptidláncot alkotó aminosavak is megváltoznak, kémiai fehérjekárosodás lép fel, és a szabad aminosavak reakciója az oxocsoportokkal, a fehérjemolekulák között lezajló reakciók, a fehérjék oxidációja, a fehérjék és a lipidek oxidációja csökkenti az esszenciális aminosavak hasznosíthatóságát, kifejezett aminosav-veszteségek azonban csak nagyon erőteljes hőközléskor lépnek fel

6.1.3. Az aminosavak oldalláncában és a fehérjemolekulák között lejátszódó reakciók

Az oxidatív átalakulások a legjellemzőbbek, melynek során először a kéntartalmú aminosavak oxidálódnak, a metioninból és ciszteinből metionin-szulfon és ciszteinsav keletkezik, a triptofán N-formil-kinureninné alakulhat, és oxidálódhat a tirozin, a szerin és a treonin is.

A triptofán oxidatív átalakulását N-formil-kinureninné elősegítik a zsírsavperoxidok, az ionizáló és a γ -sugárzás is, ami azért nagyon jelentős, mert ételmiszerünk legtöbbje triptofánhiányos. A kéntartalmú aminosavak és a triptofán oxidációs termékei, a ciszteinsav, a metionin-szulfon és a formil-kinurenin nem helyettesítheti a megfelelő aminosavakat, ezért az oxidatív változások jelentősen csökkentik a fehérjék biológiai értékét. A **deszulfurizáció és izomerizáció** csak **magasabb hőmérsékleten** következik be, melynek során a cisztein kén-hidrogén, metil-merkaptán és dimetil-szulfid reakcióképes csoportok keletkezése közben számottevő mértékben bomlik, és a bomlástermékek további reakciói kiindulópontjai lehetnek.

6.1.4. A lúgos kezelés hatása

Lúgos kezelés hatására aminosav-izomerizáció, racemizáció és epimerizáció lép fel, mely D-aminosavakat eredményez. A száraz fehérje hevítése, a pörkölés is okozhat izomerizációt, mely átalakulások gátolják a proteolízist, és rontják a fehérje biológiai értékét. A **fehérjék közötti kölcsönhatások**, a keresztkötések gátolják a proteolízist, így csökkentik a fehérjék táplálkozási értékét. Hevítéskor imid-, észter- és tioészter-kötés is kialakulhat a fehérjék között. A glutamil- és a lizil-oldallánc között ammónia felszabadulása közben keresztkötés alakul ki (acilezés), mely a lizin ϵ -aminocsoportjának hasznosulását különbözőképpen módosítja. A fehérjék lúgos kezelése során lizinoalanin (LAL) is keletkezik, melynek prekursora a cisztein bomlásából származó dehidroalanin. A lizinoalanin káros biológiai hatásai nemcsak az esszenciális lizin vesztesége, hanem vesekárosodás is, ugyanis a nefrotoxikus tünetek 200 mg/kg koncentráció esetén már jelentkeznek. A **dehidroalaninból a lizinoalaninon kívül egyéb vegyületek is képződhetnek**. Megállapították, hogy a védő fehérjék ellensúlyozhatják a LAL hatását és azt is, hogy a szabad LAL toxicitása jóval nagyobb. A szója magas lizintartalmánál fogva különösen érzékeny az ilyen jellegű változásokra, ami azonban a magas lizintartalom miatt alig csökkenti a fehérje biológiai értékét.

6.1.5. A fehérjék és a szénhidrátok közti reakciók

A hőkezelés során a fehérjék más komponensekkel is kapcsolódhatnak, melyek közül legjelentősebb a **fehérjék és a szénhidrátok közti reakciók, a Maillard-reakció** és táp-

lálkozási hatásai. Ha a redukáló szénhidrátok szabad aminocsoporttal reagálnak, aroma-komponensek, barna színű pigmentek, melanoidinek keletkeznek (nem enzimés barnulás [NEB] vagy Maillard-reakció). A nem enzimés barnulás előnyös (szárított, pirított élelmiszerek) és hátrányos (szín- és aromaváltozás, fehérjevesztés) is lehet. A redukáló hatású reakciótermékek antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezhetnek, melyek szignifikánsan gátolják a lipidek oxidációját, és gátolják a patogén mikroorganizmusok szaporodását is.

6.1.6. A fehérjék és a lipidek reakciója

A fehérjék lipidekkel is kapcsolódhatnak, melyek közül legnagyobb jelentősége a fehérje és az oxidált linolsavészterek kölcsönhatásainak vannak. A lipidek szabad gyökei (L•, LO• /alkoxi/, LOO• /peroxi/) a fehérjékkel különböző módon reagálhatnak. Lehetséges reakciók: •LOO + fehérje → •LOO fehérje; •LOO fehérje + O₂ → •OOLOO fehérje; •OOLOO fehérje + fehérje → fehérje OOLOO fehérje; •LO + fehérje → LOH + fehérje•; •LOO + fehérje → LOOH + fehérje•. A reakciókban a sötét pont a szabad gyököt jelenti, mely az α-szénatomon, esetleg a cisztein kénatomján alakul ki. A reakciók során a lipidmentes fehérjepolimerizátumok, a nagy molekulatömegű vegyületek mennyisége jelentősen növekedett, melynek hatására veszteség keletkezhet a metionin-, a cisztein-, a hisztidin- és a lizintartalomban. Az előzőeken túl egy **karbonil-amin reakcióban**, mely az oxovegyületek és a fehérjék aminocsoportjai között jön létre (L–C = O + H₂N–fehérje → L–C = N–fehérje), a fehérjék oldhatósága is megváltozik.

6.1.7. A fehérjék és a polifenolok kapcsolódása

A **fehérjék és a polifenolok kapcsolódása** során a könnyen oxidálódó polifenol-vegyületek fehérjékkel kölcsönhatásba lépve csökkentik a hozzáférhető lizin mennyiségét, így rontják a fehérjék biológiai értékét. A **fehérjék és a fitinsav kapcsolódása** azért jön létre, mert savas közegben a fitinsav negatív töltésű, a fehérje pozitív töltésű, így a fitinsav kapcsolatba léphet a fehérjékkel **fitinsav-fehérje komplexeket** létrehozva. A kölcsönhatás gyors, a komplexek stabilak. A fitinsav hidat létesíthet a két polipeptidlánc között, többértékű kation jelenlétében pedig hármas fitinsav-fém-fehérje komplex keletkezhet, és többszörös lipid-, fehérje- és szénhidráttartalmú komplexek kialakulására is van lehetőség.

6.2. A szójafehérjék hőkárosodásának kimutatása

A **hőkezelési** módszerek a szója antinutritív anyagainak elbomlását célozzák, ami azért kényes művelet, mert legtöbbször fehérjeszerű anyagokat kell úgy elbontani, hogy az értékes szójafehérje ne károsodjon. Ezért aztán a legtöbb esetben le is mondunk pl. az inhibitortartalom teljes elbontásáról, megelégszünk azzal, ha annak aktivitása az eredeti érték tizede alá csökken, mert akkor biztosak lehetünk benne, hogy az értékes szójafehérje számottevő mennyiségben nem károsodott. **A szójafehérjék hőkárosodásának kimutatására** sokfajta módszert kidolgoztak. A natív szerkezet megváltozását poliakrilamid gélelektroforézissel, izoelektromos fókuszálással vagy immunoelektroforézissel lehet nyomon követni. Vizes közegben hosszú ideig végzett hőkezelés során a szabad aminosavak és a nem fehérje nitrogén fő része kioldódhat, és az oldható fehérjefrakciók egy része is

eltávozhat. A fehérjék aminosav-összetétele csak igen erőteljes hő hatására változik meg, de mivel a fehérjehidrolízis alatt is léphet fel aminosav-vesztés, az aminosav-analízis nem elég érzékeny az aminosav-vesztés kimutatására, csak a jelentős cisztin-, triptofán-, metionin- és lizinvesztés mutatható ki ezzel a módszerrel.

Az esszenciális aminosavak csökkent hasznosíthatóságának kimutatása történhet kémiai, enzimatis, mikrobiológiai és állatkísérletes módszerekkel. Ezek közül a biológiai módszerek érzékenyen reagálnak a fehérje tápértékében bekövetkező változásokra, különösen ha a limitáló aminosav károsodott, és még érzékenyebbek a hőkezelés során keletkező toxikus anyagokra. Ha az esszenciális aminosavak nagy mennyiségben vannak jelen (mint pl. a lizin a szójában), a felhasználható lizintartalomban bekövetkező veszteség nem mutatható ki.

A szója hőkezelttségének megállapítására többféle módszert dolgoztak ki. A krezolvörös festékkötési próba azon alapszik, hogy a szójaminták és a krezolvörös közötti reakció intenzitása kapcsolatban van a Maillard-reakcióban részt vevő vegyületekkel, a fehérjék szabad ϵ -aminocsoportot tartalmazó lizinjével és a redukáló cukrokkal. A Maillard-reakció termékei megkötik a krezolvörös festékeket, a festékmegkötés mértékéből pedig a szója hőkezelttségi fokára lehet következtetni. A jól hőkezelt szója egy grammja 3,8–4,3, a nyers szója 2,0–3,0, az alulkezelt szója 3,3–3,7, a túlkezelt szója pedig 4,3 mg feletti mennyiségű krezolvörös festéket köt meg.

6.3. A fehérjeminőséget befolyásoló technológiák

A fehérjeminőséget befolyásoló technológiák közül legjelentősebb a szója szárítása és a fehérjék lúgos izólálása. A szárítás közben a hőközlés és oxidáció hatására a fehérje denaturálódik, melynek során a hasznosítható lizintartalom jelentős mértékben csökken. Forró levegős szárításnál a Maillard-reakció következtében a termék karamellszagúvá válik, a fenoltípusú vegyületei polikinonokká oxidálódnak, és irreverzibilisen kötődnek a fehérjéhez. **A fehérjék lúgos kezelését** fehérjeizolátumok előállítására, enziminhibitorok és a mikotoxinok elbontására és a nukleinsav-tartalom csökkentésére alkalmazzák, melynek során a cisztin-, a szerin-, az izoleucin- és a lizintartalom csökken, és D-allo-izoleucin, ornitin, lizinoalanin és lantionin keletkezik. Ezért **a lúgos kezelés jelentékeny mértékben csökkenti a fehérjék biológiai értékét.** A lúgos kezelés során a közönséges L-sztereoiszomer aminosavakból D-sztereoiszomer aminosavak képződnek, melyek nagy mértékben csökkenthetik a szójafehérje emészthetőségét és az átalakult aminosav felhasználhatóságát.

6.4. A fehérjehasznosulást befolyásoló antinutritív és mérgező anyagok

Az antinutritív anyagok növekedésgátló, illetve -lassító komponensek, melyek a tömeggyarapodás megzavarásán kívül (általában) kóros tüneteket nem okoznak. A fehérjék hasznosulását rontják, és rendszeres fogyasztásuk egészségkárosodáshoz vezethet. A nyers szójajamag huzamosabb etetése leállítja vagy lassítja a növekedést, a hőkezelt, főzött

vagy gőzölt magfehérje viszont jól hasznosul, magas biológiai értékű. A szójából eddig tízféle proteázgátló anyagot mutattak ki, melyek hőérzékenysége különböző. A tripszin- és a kimotripszininhibitorok fehérjék, molekulatömegük 6–64 ezer dalton közötti, melyek elsősorban hüvelyesek magvaiban, gabonamagvakban és burgonyában képződnek. A vékonybélben inaktív komplexeket képeznek a *tripszinnel* és a *kimotripszinnel*. Az inhibitor a *tripszinhez* sztöchiometrikusan kötődik, ezért a *tripszin* nem tudja a bázikus pontokon a fehérjeláncot hasítani, korlátozzák a táplálékkal felvett fehérjék hidrolízisét, hasznosulását, a hasnyálmirigyet fokozott működésre készítetik, ami hasnyálmirigy-megnagyobbdáshoz, majd -gyulladásához vezet.

Az inhibitorokat **hőkezeléssel inaktíválni** lehet, bár termikus stabilitásuk függ a molekula méretétől és a diszulfidhidak számától. A **Bowman–Birk-féle tripszininhibitor** molekulatömege 7900 dalton, 71 aminosavból épül fel, hét diszulfidhidat tartalmaz. Szárazon hevítve 105 °C-on, vizes oldatban 10 perces forralás után is megőrzi aktivitásának nagy részét. A **Kunitz-féle tripszininhibitor hőlabilis**, 90 °C-nál irreverzibilisen denaturálódik, 181 aminosavból áll, két diszulfidkötést tartalmaz, molekulatömege 21 500 dalton.

A proteázinhibitorok fajlagossága rendkívül változatos, és specifikusságuk a különböző *proteázokra* és az izodinámiás enzimekre is kiterjedhet; így pl. a Bowman–Birk-inhibitor kétféle enzimet, a *tripszint* és a *kimotripszint* is hatástalanítja. A **proteolízis gátlásán keresztül** a nitrogén emészthetősége csökken, a hasnyálmirigy-stimuláló hatásra, a hiperszekréciója miatt, endogén **nitrogénvesztés** következik be, fokozódik a metionin cisztinné történő konverziója, ami **metioninhiányhoz** vezet. A tripszininhibitor a fehérjével emészthetetlen komplexeket alkot, ami ugyancsak csökkenti a **nitrogénemészthetőséget**. Emészthetetlen endogén fehérjekomplexeket is létrehoz, mely **fokozott endogén fehérjevesztéssel** jár, és a negatív visszacsatolás hiánya miatt a **hasnyálmirigy hiperszekrécióra** kényszerül, begyullad, ami akár tragikus következményekkel is járhat.

A **proteázinhibitorok** főként a növényekben képződnek, bár van néhány állati és mikrobiális változatuk is. Ezek az ovomukoid, az ovinhibitor, a tripszingátló a főcstejben, amelyek a humán *tripszint* nem gátolják. A korábban elmondottak miatt törekedni kell az élelmiszer inhibitor tartalmának limitálására, és a legnagyobb figyelmet a szójára kell fordítani, mert a nyers szója az egyik legfőbb, antinutritív anyagot tartalmazó élelmiszer-alapanyag. Törekedni kell arra, hogy a késztermék tripszininhibitor-aktivitása milligrammonként 10 alatt legyen. A nyers szója tripszininhibitor-aktivitása 100–120 **TIU/mg minta**, mely extrudálás hatására 20-ra, a texturált szójában 2-re, a szójaizolátumban pedig 4-re csökken. A tripszininhibitor általános jelenlétére hívja fel a figyelmet növényi eredetű élelmiszereinkben az a tény, hogy a fehér bab TIU értéke 20, a barna babé 12, a fekete babé 7-8, a lóbabé 12, a lencsée 3, a sárgaborsóé 2-3, a búzaliszté 2-3, a búzakorpáé pedig 1,5–2.

Az előzőekben leírtak alapján egy szójából előállított élelmiszert csak úgy lehet forgalomba hozni, ha annak **tripszininhibitor-aktivitását folyamatosan ellenőrizzük**. A meghatározás alapja az, hogy a *tripszin* a N- α -benzoyl-DL-arginin-p-nitroanilid-hidroklorid (DL-BAPA) mesterséges szubsztrátból sárga színű (p-nitro-anilin) terméket hasít le, mely fotometriásan mérhető. Tripszininhibitor jelenlétében kevesebb sárga színű vegyület keletkezik, az enzimgátlás mértéke a sárga szín intenzitásának mérésével fotometriásan nyomon követhető.

A szóját nemcsak emberi táplálékként, hanem állati takarmányként, elsősorban tejelő szarvasmarhák igényeinek kielégítésére is alkalmazzák. Ennek során azonban a nyers szójában lévő ureáz enzim **súlyos problémát is okozhat, mert a tápban lévő és a marha szervezetében képződő karbamidból gyorsan, nagy mennyiségű ammóniát szabadíthat fel**, ami az állat mérgezéséhez is vezethet. A szója *ureáz*enzim-aktivitásának meghatározása ezért elkerülhetetlen, ami alkalmas a szója és szójatermékek hőkezeltségi fokának megállapítására is. A vizsgálat során a szójadaramintákat karbamidot tartalmazó és karbamidot nem tartalmazó 7,5 pH-jú pufferoldatban szuszpendáljuk, 30 percig 35 °C-on tartjuk. Ennek során az **ureáz enzim a karbamidból ammóniát tesz szabaddá, ami megnöveli az oldat pH-ját**. Mérjük a karbamidot tartalmazó és a karbamidot nem tartalmazó szójaszuszpenzió pH-ját, majd mivel a pH-különbség arányos a szójában található ureáz enzim aktivitásával, abból számoljuk azt. A pH-érték-különbség kezeletlen, nyers szója (toaszterezetlen) esetében 1,7–2,5; részlegesen hőkezelt szója (részlegesen toaszterezett) esetében 0,2–1,7, jól hőkezelt szója (jól toaszterezett) esetében pedig 0,0–0,2 között van.

6.4.1. Hőrezisztens antinutritív anyagok a szójában

A **fitinsav** a létfontosságú makro- és mikroelemekkel stabil komplexeket képez, megakadályozva a fémek felszívódását. A nyers szója fitinsavtartalma 1,1–1,5; a szójaizolátumé 0,4; a texturált szójáé pedig 0,9–1,1 g/100 g, ami közepesnek mondható a növényi eredetű élelmiszereink között. A szójában lévő **α -galaktozil-oligoszacharidok** az α -(1,6)-galaktozil-kötéseket bontó enzimek hiánya miatt nem szívódnak fel, a vastagbélben a bélfóra baktériumai hidrolizálják, melynek során gázok (szén-dioxid, hidrogén, metán) keletkeznek, melyek kellemetlen felfúvódást, hasi puffadást okoznak. A **favizmusfaktorok** közé tartozó vicin és konvicin hemolitikus anémiát okoznak. A **cseranyagok**, melyek a hüvelyesek és a cereáliák magvaiban találhatóak, fehérjekicsapó tulajdonságukkal gátolják a fehérjék emészthetőségét, és még kétórás főzés után is megmarad az eredeti cseranyagtartalom fele.

A szójatartalmú élelmiszerek rendszeres fogyasztása esetén sok ösztrogénaktivitású anyagot viszünk be a szervezetbe, amelyek befolyásolják a szexuálhormonális egyensúlyt. Az ösztrogének vizes-alkoholos mosással eltávolíthatók a szójából. A **lektinek**, a növényi eredetű fehérjék, illetve glikoproteinek, a vörösvértesteket kicsapják, agglutinálják. Molekulatömegük 20–140 ezer dalton közötti, az emésztőcsatorna *proteázai* nem képesek lebontani őket. A hüvelyesek és gabonák magvaiban több száz lektint mutattak ki, melyek toxikus változatai gátolják a tápanyagok felszívódását, akadályozzák a sejtek fehérjeszintézisét. Hőlabilisak, 10–15 perces főzés vagy sütés hatására denaturálódnak. A **fazin** toxikus lektin, mely a nyers zöldbabban, babban vagy bablisztben fordul elő, a **ricin** pedig a **ricinin** alkaloiddal együtt idézi elő a toxikus hatást, melynek következtében a szervezet sejteinek felületén a galaktóztartalmú glikozidokhoz kötődik. Halálos adagja 12 μ g/testtömeg-kg.

A **szaponinok** a növényvilágban nagyon elterjedt felületi feszültséget csökkentő hatású glikozidok. Aglikonjuk felépítése alapján lehetnek szteránvázat tartalmazó szteroidszaponinok és aliciklusos triterpénszármazékok. A vérbe kerülve a vörösvérsejteket feloldják, de a koleszterinnel oldhatatlan, nem mérgező komplexeket képeznek. A **szójalisztben a keserű szaponinok** rossz ízűek, gátolják az emésztőcsatorna *tripszin-* és *kimotripszin-*

aktivitását. A szója szaponinmentesítése nedves állapotban való hevítéssel, gőzöléssel és alkoholos extrahálással valósítható meg.

6.4.2. A szója antinutritív anyagai hatásának kiküszöbölése

Az átlagos ipari tósztolás elegendő. Az eljárás során vigyázni kell arra, hogy a túlzott hőkezelés ne vezessen a fehérje biológiai értékének csökkenéséhez. A szójaalapon készült csecsemőtápszereket, tejpótlókat csak forró gőzzel való tósztolással előállított szójából lehet készíteni, melynek során a fitinsavhatás kompenzálására gondolni kell. A szaponinok és a polifenolok depresszív hatása a fehérjekivonatok és izolátumok aminosav-tartalmának gyenge hasznosulásában nyilvánul meg.

6.5. A szójafehérje minősítésére alkalmas vizsgálatok

A fehérjék minősége, biológiai értéke a gyakorlatban azt jelenti, hogy mennyire tudják a szervezet esszenciális aminosav-igényét kielégíteni. Az esszenciális aminosav-szükséglet életkoronként más és más, ezért a fehérje minősítésekor az életkor szerepét nem hagyhatjuk figyelmen kívül. A fehérje potenciális biológiai értékét mutatja a fehérje szerkezete, a kötéstípusok, az esszenciális és nem esszenciális aminosavak mennyisége és aránya és a fehérje és az aminosavak emészthetősége. Hogy a maximális biológiai potenciálból mi érvényesül, élettani folyamatok döntenek el. A fehérje hasznosulását befolyásolhatja a táplálék energiatartalma, a fehérjekoncentráció csökkenése vagy növekedése, a vitamin- és ásványianyag-ellátás és a toxikus vagy antinutritív anyagok jelenléte az élelmiszerben.

A fehérje minőségét legpontosabban állatkísérletekkel állapíthatjuk meg, melyek drágák és lassúak. A gyakorlatban laboratóriumi módszereket használunk, melyek eredményei szoros összefüggésben vannak az állatkísérletek során kapott minősítéssel. A fehérje minőségét különböző érték mérő indexekkel jelöljük, tudva azt, hogy egyetlen index sem jelöli komplex módon a fehérje tápértékét. **Szinonim fogalmak** a fehérje tápértéke, élelmezési értéke, biológiai értéke és minősége, ami mind ugyanazt jelenti. Megállapításuk kémiai, in vitro enzim, mikrobiológiai és biológiai módszerekkel lehetséges.

A fehérje biológiai potenciáljának mérése során meghatározzuk a nyersfehérje-tartalmat, a valódi fehérje-tartalmat, az emészthető nyersfehérje-tartalmat, a fehérje aminosav-összetételét, a D-enantiomerek mennyiségét és a hasznosítható esszenciális aminosavak mennyiségét. Az aminosav-összetételi adatokból a következő indexeket számolhatjuk: $E/N, I/D, E/T$, ahol E = az esszenciális aminosavak mennyisége a fehérjében, N = a nem esszenciális aminosavak mennyisége a fehérjében, I = a nélkülözhetetlen aminosavak mennyisége a fehérjében, D = a nélkülözhető aminosavak mennyisége a fehérjében, T = az összes aminosav mennyisége a fehérjében. Az aminosav-analízis eredményeiből megállapítható a fehérje limitáló aminosava, ami a legkisebb százalékos mennyiségben előforduló aminosav. A limitáló aminosav számértéke a kémiai index (CS). Az **indexek** nem jelzik a fehérje emészthetőségét, az aminosavak hasznosíthatóságában bekövetkező változásokat, az aminosav-inballansz kialakulását, az aminosavak toxicitását és antagonizmusát, a toxikus és antinutritív anyagok jelenlétét, de több információt adnak a fehérjéről, mintha csak az aminosav-összetételt szemlélnénk.

A **mikrobiológiai tesztek** jobb közelítést adnak az in vivo vizsgálatokhoz, és a proteolitikus aktivitású testorganizmusok segítségével mérni lehet az egyes aminosavak mennyiségét fehérjehidrolizátumokból, a fehérjék relatív tápértékét (RNV) és az egyes esszenciális aminosavak hasznosíthatóságát. **A szervezet tömegváltozása alapján meghatározható indexek** a fehérjehatékonysági arány (PER), a nettó fehérjehatékonyság (NPR), a fehérjeretenció-hatékonyság (PRE) és a bruttó fehérjeérték (GPV). **A szervezet nitrogéntartalma alapján meghatározható indexek** a nettó fehérjehasznosítás (NPU), a nitrogénmérleg-index (NBI), a relatív növekedési index (RGI) és a relatív tápérték (RNV). A legismertebb biológiai módszerek a testtömeg változásának mérésén alapulnak.

6.5.1. Néhány kémiai módszer a fehérje minőségének meghatározására

A **fehérjék oldhatóságának vizsgálata** alkalmas az extrahált szójadara minőségének ellenőrzésére és a denaturáció fokának megállapítására. A módszer szerint a fehérjét vízzel oldjuk ki, az oldatba ment fehérje mennyiségét pedig Kjeldahl-módszerrel határozzuk meg. A nitrogénoldhatósági index (NSI) esetében az oldható nitrogén mennyiségét a minta összes nitrogénjének százalékos arányában adjuk meg, a fehérjeoldhatósági index (PDI) esetében pedig az oldhatóságot az oldatban maradó fehérje és a minta összes fehérjének százalékában fejezzük ki. A hőkezelt, denaturálatlan szójafehérjék NSI-értéke 70% feletti, PDI-értéke pedig nagyobb, mint 80%. A fehérje enyhe, de a biológiai értéket még nem befolyásoló hőkezelésére utal, ha a PDI értéke 60%, az NSI pedig 20–40% közötti. Intenzív hőkezelés esetén a PDI 20–40%, az NSI pedig 10–20% közötti, ami már némi fehérjekárosodásra utal, ezen értékek alatt viszont már jelentős hőkárosodásra lehet számítani.

6.5.2. A szójafehérje komplex minősítése

A komplex minősítés során meghatározzuk a szója fehérjetartalmát, aminosav-összetételt, emészthetőségét, felhasználásának lehetőségeit és korlátait, más fehérjehordozókhoz viszonyítva táplálkozási értékét és felhasználásának gazdaságosságát, valamint kémiai, biológiai és állatkísérleti módszerekkel próbálunk minél több információhoz jutni. Minősítünk akkor is, ha megváltozik az előállítás technológiája, a szója tárolása, és ha a fajta genetikai módosításokon ment keresztül. A komplex minősítés során választ keresünk arra, hogy mennyi a szója nyersfehérje-tartalma, milyen az aminosav-összetétele, a szabad aminosavak mennyisége, a fehérjékben kötöttekhez viszonyított aránya, milyen az esszenciális aminosavak mennyisége, a többi esszenciális és nem esszenciális aminosavhoz viszonyított aránya, és mennyi a fehérje és az energia aránya. A fogyasztás során jelentkeznek-e toxicitásra vagy antinutritív hatásra utaló tünetek, milyen hatékonysággal hasznosul a fehérje a tömegváltozáson vagy a nitrogénmérleg alapján mérve, alkalmas lehet-e gyengébb minőségű fehérjék komplettálására, költségesebb vagy nehezen beszerezhető fehérjék kiváltására, és hogy alkalmazása milyen gazdasági haszonnal jár. A minősítés során célszerű kémiai vizsgálatokkal kezdeni, majd következhetnek a laboratóriumi állatokon végzett tesztek és a haszonállatokkal végzett etetési kísérletek.

7. Szelénnel dúsított élelmiszerek

7.1. A szelénről általában

A szelént *Berzelius* fedezte fel 1817-ben. Nevét *Szelénéről*, a Hold görög istennőjéről kapta. A XX. század közepéig azt hittük, hogy mérgező és rákkeltő, 1957-ben azonban bizonyították esszencialitását patkányokon. A szelén (${}_{34}\text{Se}$, $A_r = 78,96$) a kénnel kémiaileg rokon nemfémes elem, amely a kénnel analóg vegyületeket képez. Hasonlóságát a kénhez a következő vegyületek mutatják: Na-szulfid (Na_2S) ~ Na-szelenid (Na_2Se); Na-szulfít (Na_2SO_3) ~ Na-szelenit (Na_2SeO_3); Na-szulfát (Na_2SO_4) ~ Na-szelenát (Na_2SeO_4); cisztein ~ szeleno-cisztein; metionin ~ szeleno-metionin.

A **szelénről** nemrégén még azt tartották, hogy **toxikus átmeneti fém**, hisz nagyobb mennyiségben az élő szervezet pusztulásához vezet. Az utóbbi időben rájöttek arra, hogy fontos élettani hatása van, a tokoferolokkal együtt antioxidánsként részt vesz a metabolizmusban, a szervezet antioxidánsai, a káros szabad gyökök elleni védelemben játszanak igen fontos szerepet; és hogy az emberi szervezetben mintegy 10–15 mg szelén található. Természetes védőmechanizmusként részt vesznek a szabad gyökök káros hatásának kiküszöbölésében, mely védekezőmechanizmus részei a glutation-peroxidáz és a tioredoxin-reduktáz szeléndependens enzimek. Az enzimek, szelén hiányában, nem képesek semlegesíteni a káros, sőt esetenként rákkeltő komponenseket, megfelelő szelénellátás esetében viszont a glutation-peroxidáz a peroxidbontó reakció katalizálásával védi a telítetlen lipideket, segíti megőrizni a sejthártyák épségét.

7.2. A szelén mint esszenciális nyomelem

Az elmúlt évtizedekben fedezték fel, hogy a **szelén szükséges a normális élettevékenységhez**, és segít bizonyos daganatos betegségek gyógyításában, sőt megelőzésében. A Skandináviában és Európa néhány más országában termelt élelmiszerek rendkívül szelénhiányosak, így a napi étkezések során szervezetünkbe jutó szeléntartalom (0,05–0,10 mg) nem jelentős.

A szelén relatív atomtömege 78,96 g, izotópjai közül a ${}^{80}\text{Se}$ -izotóp fordul elő gyakrabban. Mínusz 2, 0, +4, +6 oxidációs állapotú lehet, mely megjelenési formákat a környezeti hatások befolyásolják. 1930 körül még toxikus elemnek tekintették, 1943-ban már karcinogén tulajdonságát is leírták, 1949-ben viszont kimutatták a szelén esszenciális szerepét az élő szervezetben, és rájöttek arra is, hogy a szelénkiegészítés lecsökkenti a daganatos megbetegedések számát. 1957-ben újra rámutattak a szelén esszenciális szerepére (az étrendhez adott szelén megakadályozta a máj nekrozisát), majd 1966-ban a szelén antikarcinogén hatását publikálták, de ekkor még a táplálék összes szeléntartalmáról tettek említést. 1973-ban a szeléndependens enzimfehérjék katalitikus aktivitását vizsgálva megállapították, hogy a glicin-reduktáz az anaerob baktériumokban, a glutation-peroxidáz pedig az emlősökben játszik jelentős szerepet. 1976-ban felfedezték a glicin-reduktázt és

a szelenociszteint, a cisztein szelénanalógját. Rájöttek arra, hogy **a különböző kémiai módosulatok jelentősen eltérnek egymástól** toxicitásukat, felszívódásukat és az emberi szervezetben való hasznosulásukat illetően. Megállapították, hogy a módosulatokat minden esetben meg kell határozni, ha azok hasznosságáról az ember szempontjából információkat akarunk kapni. Vizsgálni kell a szelén oxidációs állapotát, a fémkomplexek eloszlását, a komplexképző ágensekkel való kapcsolatát, mert ezek jelentős mértékben befolyásolhatják a hasznosulást. A speciációs analitika segítségével vizsgálni kell a szelén módosulatainak eloszlását, a módosulatok minőségét, illetve mennyiségét.

7.3. A különböző szelénformák az élővilágban

A növényi eredetű élelmiszerek **szelenometionint**, az állati eredetűek pedig **szelenometionint és szelenociszteint** is tartalmaznak. A szelenometionin az ember és az állatok számára is esszenciális aminosav, mert szerves forrásokból szelenometionint nem tudnak előállítani, a szervezetbe bejutott szelenometionint szelenociszteinné viszont át tudják alakítani. E két szeleno-aminosav mellett, ezek származékai, a szeleno-metil-szelenocisztein és a γ -glutamil-szeleno-metil-szelenocisztein is jelen vannak élelmiszereinkben. Nagyobb a koncentrációjuk a növényi eredetű táplálékban, ha a talajt jelentős mennyiségű szelén-tartalmú műtrágyával kezelik.

Az emberi táplálékban a szelén főként szelenit és szelenometionin formájában van jelen. A szelenit a szervezetben a tiolokkal reagál, mely reakciót a glutation enzim katalizálja, aminek során a szelenát szelenitté alakul, majd hidrogén-szelenid keletkezik belőle. A szelenometioninból a szelenociszteinnel keresztül transzszulfurilálás során szelenocisztein keletkezik, ami egy β -liáz enzim hatására hidrogén-szelenidre bomlik. Egy másik úton transzaminálással és dekarboxilezéssel metabolizálódik, és kb. 90%-a nem specifikus módon beépül szervezetünk fehérjébe. A hidrogén-szelenidből a S-adenozil-metioninnal történő reakció során metil-szelenol keletkezik, amely dimetil-szelenidre, majd trimetil-szelenoniumionná alakul.

Növényeket nagy mennyiségű szelénrel kezelve elsődlegesen γ -glutamil-metil-szelenocisztein keletkezik, melynek hasznosulása hasonló a metil-szelenociszteinéhez. A metil-szelenocisztein β -liáz enzim hatására metil-szelenollá alakul. Átlagos szelénbevitelt feltételezve a főleg szelén a vizelettel aminocukor formában ürül, ha nagy mennyiségben kerül a szervezetbe, akkor a tüdőn keresztül dimetil-szelenidként is távozik, a vizeletben pedig trimetil-szelenoniumion formájában is ürülhet.

7.4. A szelén antioxidáns tulajdonságai

A szelén **antioxidáns tulajdonságát különféle enzimekkel való kapcsolódása során fejt ki**. A vázizomzat fehérjéi a külső forrásból származó szelenometionint és szelenociszteint is be tudják építeni (ezek a szeléntartalmú fehérjék), az anyagcserében aktív szerepet betöltő szelenoproteinek viszont csak a szervezetben keletkezett szelenociszteint

tudják felhasználni, csak szelén jelenlétében képesek működni. Mennyiségük szelénhiányos táplálkozás esetén jelentős mértékben csökken. A múlt században közismertté vált, **a szelenoproteinek szerepe a biokémiai folyamatokban** a következő: azonosították a szelenoprotein P-t, a jodotironin-dejodinázt, a tioredoxin-reduktázt és a szelenofoszfát-szintetázt. 1975-ben azonosították az antioxidáns hatású glutation-peroxidázt, megállapították, hogy az minden emberi szövetben megtalálható, melynek működését elsősorban a redukált glutation mennyisége és a szervezet szelénellátottsága határozza meg. Kiderítették, hogy védi a membránok szerkezetét, meggátolja a DNS károsodását, és a lipid és foszfolipid hidroperoxidok eltávolítása által csökkenti a rákkeltő anyagok kialakulását a szervezetben. A szelén, a kén helyét elfoglalva, szelenociszteinként épül be az enzimekbe, ahol könnyebben redukálódik, mint a kén, ezért rendkívül fontos szerepet tölt be a szervezet oxidáció elleni védekezőrendszerében.

7.5. Szeléntartalmú enzimek

A múlt században **négy szeléntartalmú glutation-peroxidázt azonosítottak**, melyek mind antioxidáns tulajdonságúak. A szelén megnöveli ezen enzimek aktivitását, ezért az enzimaktivitás mérése a vérlemezékben jó indikátora a szervezet szelénellátottságának. A szeléntartalmú jodotirozin-dejodináz enzim jelentős szerepet tölt be a trijodo-tironin és a tiroxin hormonok szintézisében, azok aktiválásában, ezért a szelén ezen enzimek metabolizmusa révén feltétlenül szükséges a normális fejlődéshez és növekedéshez. A tioredoxin-reduktáz a szervezet antioxidáns rendszere regenerálásában vesz részt, melynek során a dehidro-aszkorbinsavat aszkorbinsavvá alakítja vissza. A tioredoxin redukálásával jelentős szerepet tölt be a sejtnövekedés szabályozásában. A szelenoprotein C-nek nagy valószínűséggel szerepe van a membránon keresztül történő transzportfolyamatokban, antioxidáns hatásánál fogva megvédi az endothel sejteket a peroxi-nitritek támadásával szemben.

7.6. A szelén hasznosulása

A fémes, ill. szervetlen állapotban levő szelén hasznosulása csekély mértékű a szervezetben, mert az emésztőrendszerből való felszívódás korlátozott, a mégis felszívódó szeléntartalmú vegyületek jó része a vizelettel kiürül, a vizelettel ki nem ürülő forma pedig korlátozottan hasznosul. **Jól hasznosul a szelenometionin formában bevitt szelén**, mely a növényekben keletkezik a talaj szeléntartalmából, amit az állatok szelenocisztinné tudnak konvertálni.

Magyarország lakossága ételmiszereinek szelénnel való kiegészítése során mindenképp a cisztin és a metionin szelénanalógját lenne célszerű alkalmazni. A szervezet szelénpótlására két lehetőség adódik: növényi és állati eredetű tápanyagok segítségével és megnövelt szeléntartalmú táplálékok fogyasztásával. A leggyakrabban fogyasztott ételmiszereink kis szeléntartalmúak, míg a leggazdagabb szelénforrások az állatok belső szervei (máj, vese), a tengeri halak, rákok és az állati húсок. Igen magas szeléntartalmú a brazil dió, mely darabonként több mint 100 µg szelént is tartalmazhat.

7.7. A növényi eredetű élelmiszerek szeléntartalma

A növényi eredetű élelmiszerek szeléntartalmát befolyásolja a talaj szeléntartalma, a szelén oxidációs formája, a talaj kémhatása, mely hatással van a szelénmódosulatokra, a talaj szerves anyagai, a vas- és alumíniumvegyületek mennyisége és aránya, melyek a szelént megköthetik, a kénvegyületek mennyisége, melyek nagy koncentrációban meggátolhatják a szelén talajból történő felszívódását, a csapadék, amely kimoshatja a szelént a talajból és a mikroorganizmusok, melyek oldhatóvá alakíthatják az oldhatatlan szelénvegyületeket. Az alacsony szeléntartalmú élelmiszerek fogyasztásának növelésével a szelén szervezetbe történő bevitelét nem lehet növelni, ezért a szervezet szelénszükségletét étrend-kiegészítőkkel és szelénnel dúsított élelmiszerekkel lehet kielégíteni. Az étrend-kiegészítők a múlt század 80-as éveiben terjedtek el mint kapszulázott vagy tablettázott formában kiválóan hasznosuló termékek, ill. szelenitet, szelenátot, szelenometionint vagy szelénnel dúsított élesztőt tartalmazó anyagok.

7.8. A szelénnel dúsított élelmiszerek

A különleges szelénnel dúsított élelmiszerekben a szelén a természetes vagy ahhoz közeli formában fordul elő, melyek előállításához bonyolult technológia szükséges. A növénynek vagy az állatnak tápanyag-kiegészítőként adják a szelént, ami több átalakuláson keresztül éri el természetes formáját. Az átalakulások során a szelén oxidációs állapota megváltozhat, ezért fontos annak nyomon követése, hogy a növényi vagy állati eredetű tápanyag milyen formában tartalmazza a szelént. Magyarországon szelénnel dúsított gabonapelyhet, tojást, margarint, kenyeret, ill. péksüteményt hoznak forgalomba, és beszámoltak a csirkehús, a tojás, a brokkoli, a hagymafélék és a búza szelénnel történő kiegészítéséről is. A leggyakrabban forgalmazott szelénforrás a **szelénnel dúsított élesztő**, melynek előállítása során a dúsítást nátrium-szelenittel, nátrium-hidrogén-szelenittel, nátrium-szelenáttal és szelenometioninnal lehet végrehajtani. A dúsított élesztő szeléntartalma elérheti a 3000 mg/kg-ot, amely főként szelenometioninként épül be az élesztőfehérjébe, a metil-szelenocisztein viszont csak kis mennyiségben van jelen a szelénnel dúsított élesztőben.

A szelénnel dúsított élesztő a *Saccharomyces cerevisiae* magas szelénkoncentrációjú közegben történő fermentációs folyamatának eredménye, melynek során szelénforrásként legtöbbször nátrium-szelenitet alkalmaznak. A szelénben gazdag élesztőmassza előállítását követően hőkezeléssel elpusztítják az élesztősejteket, porlasztva szárítással szárítják, a végtermék pedig magas koncentrációban, szerves kötésben tartalmazza a szelént. A gyártást követően ellenőrzik a szervetlen és a szerves szelén mennyiségét, mely elsődlegesen befolyásolja a végtermék minőségét. A szerves kötésű szelén főként szelenometioninként van jelen, mely képes arra, hogy a metionint helyettesítve, nem specifikusan, beépüljön a szervezet fehérjéibe, szeléntartalékként szolgálva a fogyasztó számára.

A szelénnel dúsított élesztő szervetlenszelén-tartalma (nátrium-szelenit) kiváló szubsztrát a fehérjék képződésénél, a szervezet azonban nem képes szelénraktárt képezni belőle. Néhány országban engedélyezték a szelén élesztő takarmányokba történő keverését is,

melynek célja szelénben dús állati eredetű élelmiszerek előállítására. **A különböző szelénrel dúsított élesztőkből a szelén felszívódása különböző lehet.** Ezt magyarázni lehet a termék gyártása során alkalmazott élesztőtörzsek különbözőségével, az eltérő gyártási technológiával és a felhasznált szelén minőségében mutatkozó különbségekkel. A szelén élesztő szeléntartalma a szerves formánál sokkal jobban hasznosul, az ilyen szelénkiegészítést követően hosszabb ideig marad vissza a szervezetben, ami a szelenometionin szöveti fehérjékbe történő beépülésével magyarázható. A szelén élesztővel történő kiegészítés a felvétel és visszatartás szempontjából is hasonló, jóval magasabb a szerves szelénénél.

A szelénkiegészítés hatással van az **anyatej szeléntartalmára** is. A szelenometionin és a szelén élesztő hasznosulását vizsgálva gyermeküket szoptató és nem szoptató anyáknál megállapították, hogy a szelénpótlást nem kapó szoptató édesanyák vérplazma-szelénszintje szignifikánsan kisebb volt a gyermeküket nem szoptatóknál. Szelenometionin hatására mindkét csoportban nőtt a plazma szelénszintje, míg a szelén élesztő csak a nem szoptató anyáknál növelte meg a plazma szelénkoncentrációját. Szelenometionin-pótlás hatására az anyatej szeléntartalma szignifikánsan megnőtt a szelén élesztőt fogyasztókkal szemben.

Összefoglalva megállapítható, hogy **a szelén élesztő-kiegészítés hatására növekszik a szelénmetionin aktivitása**, az élesztő szelenometionin-tartalma pedig – beépülve a szervezet fehérjéibe – lehetővé teszi a szelén lassú kiürülését a szervezetből, folyamatosan biztosítva a szervezet szelén szükségletét. A szelén élesztő hasznosulása kisebb a szelenometioninnál, ugyanis a szelén élesztőt a szervezetnek le kell bontani a szelenometionin hozzáférhetővé válása érdekében. Az élesztőben a szelén nemcsak szelenometionin, hanem egy része szerves szelén formában van jelen. A szelenometionin felezési ideje a szervezetünkben 252 nap, a szeléné 102 nap, ami magyarázza a szerves módosulat jobb tárolhatóságát.

A különböző szelénformák LD_{50} értéke különböző. Ez az érték szelén élesztőre 37,3, nátrium-szelenitire 12,7 mg/kg, ezért a szelén élesztőből sokkal több kell az akut toxicitás kiváltásához. **A szerves szelén-tartalmú vegyületek** hosszú időn át való fogyasztása **szelénózist okozhat**, hisz a szervezet akkumulálni képes azt. Nagyon fontos a szelén felhalmozódását nyomon követni, és tudni, hogy a szelénkiegészítő vagy a megnövelt szelén-tartalmú élelmiszer milyen formában tartalmazza a szelént.

7.9. A növényi eredetű táplálékok szeléntartalma

A növényi eredetű táplálékok szelénrel történő dúsításának lehetőségei sokfélék. A növények a talaj vagy a leveleikre kipermetezett szelenitet képesek szerves kötésű szelén-vegyületekké átalakítani. Ez biztonságos szelénforrás az emberek számára a kiindulási szelenithez képest, hisz a szeléntúladagolás veszélye csekély. **A legtöbb növény maximum 1-2 mg/kg szelént tartalmaz** 100% szárazanyagra számolva, és még akkor sem lépi túl a szeléntartalom a 10 mg/kg-ot, ha a talaj szelénben gazdag. A növények többsége akkumulálja a szelént, így vannak olyanok, melyek szelénben gazdag talajon természetesen nagy

mennyiségű szelént képesek raktározni szerveikben. Az **elsődlegesen akkumulálók közé tartozó pillangósvirágúak** és a keresztesek családjába tartozók **több ezer mg/kg szelén felhalmozására is képesek**. A másodlagosan akkumulálók a talajból csak kisebb mennyiséget képesek felvenni, ezért szöveteikben csak pár száz mg/kg szelén halmozódik fel.

A nagy mennyiségű szelénfelvevő képességű növények elsősorban szeleno-aminosavakat szintetizálnak (90–95% metil-szelenociszteint), melyet a növény hosszú időn keresztül képes raktározni. Az elsődlegesen akkumulálók a szeleno-aminosavakat nem építik be a fehérjéikbe, ezért a toxikus mennyiségű szelént tartalmazó talajok szelénmentesítésére használhatók. Normál szeléntartalmú talajokon **a szelén beépül a növényi fehérjéikbe, és főként szelenocisztein- és szelenometionin-formában kerül be az élelmiszerláncba**. Magasabb szeléntartalmú talajokon a növények (a brokkoli és a különféle hagymafélék) fő szeléntartalmú vegyülete a metil-szelenocisztein.

A szelén a kénnel szinergens, a ként kiszorítja az aminosavakból. Nagy szeléntartalmú élelmiszerek előállítására sokan a hagymaféléket választották. Alacsony szelénkoncentrációnál a fokhagyma γ -glutamil-metil-szelenocisztein formában tárolja a szelént, ha azonban a talaj szelénkoncentrációját megnöveljük, akkor a fő szelént tároló vegyület a metil-szelenocisztein, de kis mennyiségben a szelenometionin is előfordul a növényekben.

Három mg/kg szelénben dúsított fokhagyma 65%-kal csökkentette az emlőrák kialakulását patkányoknál, és brokkolival is hasonló eredményre jutottak. A szelénrel dúsított fokhagyma hatásosabbnak bizonyult az emlőrák kialakulásának csökkentésében, mint a szelénrel dúsított élesztő, mert az élesztőben a szelén szelenometioninként, a fokhagymában pedig metil-szelenociszteinként vagy annak glutamilszármazékaként van jelen, melyek élettani hatékonysága nagyobb.

7.10. A szelén akkumulációja

A **szelén akkumulációját** mérték búzában, kukoricában, rizsben és szójában, ahol a szelén főként szelenometionin formában fordul elő. A szelénrel dúsított fokhagyma, zöldség, snidling és brokkoli fő szelénmódozata a metil-szelenocisztein. A szelén szerves formában való fogyasztása során az akut toxicitás könnyen és gyorsan kialakul, ezzel szemben kevésbé veszélyes a szerves forma, ha **szelenometioninként** vesszük be a szelént a szervezetbe, ekkor azonban **a szelén felhalmozódása jelent veszélyforrást**. Jobb megoldás szelénrel dúsított növényi tápanyagok, de még jobb szelénben dúsított állati termékek fogyasztása. Az állat konverziót hajt végre a szelénanyagcsere folyamán, ezért az állati eredetű élelmiszer – normális táplálkozási szokásokat feltételezve – semmiféle veszélyt nem jelent az emberi szervezet számára.

A növények egyik részében a talajból felvett szelén metil-szelenocisztein vagy glutamil-metil-szelenocisztein formában fordul elő, a növények másik részében a fő szeléntartalmú szerves komponens a szelenometionin, az állati eredetű élelmiszerekben pedig szerves komponensként szinte kizárólag a szelenometionin fordul elő. A növények közül némelyek **nagy mennyiségű szelénakkumulációra képesek**, mások viszont magas szeléntartalmú talajokon természetesen is emberi fogyasztásra alkalmas mértékben tartalmazzák a

szelént. Növények esetében a szeléntartalom növelésére alkalmasak lehetnek különféle szeléntartalmú műtrágyák, levéltrágyák, állatok esetében pedig alkalmas lehet a szerves selenit, illetve szelenát, de jobb, ha az állat takarmánya is szerves kötésben lévő szelént tartalmaz.

Az állati eredetű táplálékok **szelénnel történő dúsításának lehetőségei** a következők. Az állati eredetű termékeknél elő lehet állítani szelénnel dúsított húst, de igen jó hatásfokkal lehetne a népesség szelénkiegészítésére használni a **szelénnel dúsított** baromfifojást és a **szarvasmarhatejet** is. A szervezet szelénszükségletét egyrészt étrend-kiegészítőkkel, másrészt szelénnel dúsított élelmiszerekkel lehet növelni. A szelénnel dúsított élelmiszerek előállítására rendkívül bonyolult technológia, melynek során a növények vagy az állatok tápanyag-kiegészítőként kapják a szelént, ezt követően a szelén több átalakuláson keresztül éri el természetes formáját, mely átalakulások során a szelén oxidációs állapota megváltozhat.

Fontos, hogy a növényi vagy állati eredetű tápanyag milyen formában tartalmazza a szelént. A sertés takarmányának kiegészítése szerves (szelén-dúsított élesztő) szeléntartalmú anyagokkal magas szeléntartalmú serteshúst lehet előállítani. A tojótúrók tojótájának hasonló módon történő kiegészítése magas szeléntartalmú biotójást eredményez. A szarvasmarha takarmányának kiegészítése megnöveli a szeléntartalmat a tejben.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a **szelénkiegészítés hatására növekszik a szelenoenzimek aktivitása**, a szelenometionin – beépülve a szervezet fehérjéibe – lehetővé teszi, hogy a szelén lassan ürüljön ki a szervezetből, folyamatosan biztosítva a szervezet szelénszükségletét. Malacoknál, süldőknél szeléntartalmú táp (nátrium-szelenittel, szelén-élesztővel kiegészített) fogyasztását követően jelentős mértékben megnő a belső szervek és az értékes izomrészek szeléntartalma. A tej, mint alapvető táplálék, szelénforrásnak számít az ember számára, ezért nem lehet közömbös számunkra annak szeléntartalma. Tejelő szarvasmarhák takarmányát szelénnel kiegészítve szelénben dúsított tehéntejet lehet előállítani. **A szelén** tehát, mivel a szelenoenzimek (pl. glutation-peroxidázok, tiroxin-dejodinázok) működése szelén nélkül elképzelhetetlen, **esszenciális a magasabb rendű állatok és az ember számára**. A növények számára valószínűleg nem esszenciális, mert nincs egyértelmű bizonyíték a specifikus beépülésre. A *szeleno-aminosavak* beépülése a növény fehérjéibe toxikus a növény számára.

7.11. Szelénspecieszek a bioszférában

A szelén számos kémiai formában (speciesz) létezik a bioszférában. Ezek hatása, toxikussága eltérő, az élő szervezetekre különböző, ami felveti a specieszanalitika szükségességét. **A szeléntartalmú specieszek** csoportján belül a *szelenoproteinek* specifikusan, az UGA-kodonok által kódolt, beépült SeCys-egységek, ami által a Se-szint homeosztatikusan szabályozott. *A szeléntartalmú fehérjék* esetében a Met helyére random beépült **SeMet-egységek a szervezet szelénraktárai**. A fehérjében nem kötött szelénformák a szervezetben a szerves-szelén selenit (SeO_3^{2-}), szelenát (SeO_4^{2-}) és szelenid (Se^{2-}), a szerves szelén a szeleno-aminosavak, főként a SeMet, a SeCys és a Se-metil-SeCys, és vannak egyéb szerves specieszek, pl. metilezett intermedierek is.

7.12. Szeleno-aminosavak

A fehérjeépítő **szeleno-aminosavak** közé tartozik a szelenometionin (SeMet), képlete $\text{CH}_3\text{-Se-CH}_2\text{CH}_2\text{CH(NH}_2\text{)-COOH}$, ikerionos formája $\text{CH}_3\text{-Se-CH}_2\text{CH}_2\text{CH(NH}_3^+\text{)-COO}^-$, a szelenocisztein (SeCys), képlete $\text{HSe-CH}_2\text{CH(NH}_2\text{)-COOH}$, ikerionos formája $\text{HSe-CH}_2\text{CH(NH}_3^+\text{)-COO}^-$ és a szelenocisztin (SeCys₂) $\text{HOOC-(NH}_2\text{)CH-CH}_2\text{-SeSe-CH}_2\text{CH(NH}_2\text{)-COOH}$, ikerionos formája $^- \text{OOC-(NH}_3^+\text{)CH-CH}_2\text{-SeSe-CH}_2\text{CH(NH}_3^+\text{)-COO}^-$. A szelén metabolizmusa szervezetünkben a mai tudásunk szerint a következő módon megy végbe. A szeléntartalmú fehérjékből szabaddá váló SeMet SeCys-né alakul a szervezetben. Egy másik úton a szelénát szelenitté, majd szeleniddé alakul, ebből az ATP terminális foszfátjának segítségével szelenofoszfát keletkezik, ami SeCys-né alakul a szervezetben, amelyből, bármilyen úton keletkezett, **szelenoproteinek szintetizálódnak**. A fölös mennyiségű szelenid egy másik reakcióban metil-szelenollá alakulhat, ami a vizelettel távozik, a metil-szelenol átalakulhat dimetil-szeleniddé, ami a légzéssel hagyja el a szervezetet, vagy tovább alakul trimetil-szelenoniumionná, ami ugyan csak a vizelettel ürül.

Összefoglalva a **szelén biológiai jelentőségét**, elmondható, hogy antioxidánsként a tokoferollokkal együtt részt véve a metabolizmusban, segít megőrizni a sejthártyák épségét, és a szeléntartalmú *glutathion-peroxidáz* enzim, a peroxidbontó reakció katalizálásával, védi a telítetlen lipideket. A Se a talajban elsősorban szerves formákban (szelenit, szelenát, szelenid), a növény- és állatvilágban szerves formákban (szeleno-aminosavak, ill. ezek származékai) fordul elő. A **növények szelenometionint (SeMet), az emberi és állati szervezetek SeMet-t és szelenociszteint (SeCys)** tartalmaznak, mely utóbbiak a SeMet-t át tudják alakítani SeCys-né. A szelénhiány következményei a reprodukciós zavarok, hogy romlik a sperma minősége, az embriódegeneráció, a keltethetőség és a tojástermelés csökkenése, a májnekrozis, a pankreászfibrozis, a hemolízis, az exudatív diatézis, a váz- és szívizom-elfajulások, az izombetegségek és a szőr kihullása.

7.13. A szelénhiány és annak megelőzése

A **szelénhiány következményei az embernél** a szív- és érrendszeri megbetegedések, a tumorok (emlő, prosztatata, nyirokmirigy, vastagbél), a hematológiai rendellenességek, a vázizomzat legyengülése, termékenységi zavarok, a pseudoalbinizmus (fehér foltok a bőrön), a hajhullás, a neurogeriátriai kórképek és a csökkent immunválasz. A szelén véd a Hg, a Cd, az Pb, az As és az egyéb xenobiotikumokkal szemben.

Növényi eredetű élelmiszereink közül a **gomba (130 µg/kg) és a fokhagyma (250 µg/kg) szeléntartalma a legnagyobb**. Az alma szeléntartalma átlagosan 6, az őszibaracké 12, a narancsé 29, a banáné 46, a zöldségeket és a főzelékeket tekintve a paradicsomé, a vöröshagymáé és a zöldbabé 7, a spenóté 16, a sárgarépáé pedig 22 µg/kg. A gabonafélék közül a fényszegény rizs 315, a barna rizs 390, a fehér búzaliszté 150, a Graham-liszté pedig 350 µg/kg.

Az állati eredetű élelmiszerek közül a **belsőségek szeléntartalma a legnagyobb**. A marhahús szeléntartalma 100–350, a sertéshúsé 150–250, a birkahúsé 90–200, a csirkehúsé 90–150, a marha-, a sertés- és a birkamájé 30–600 µg/kg. A tej és tejtermékek nem tartoznak a kiemelkedő szeléntartalmú élelmiszerek közé. A 2,8%-os zsírtartalmú tej szeléntartalma 5–28 µg/kg közötti, a sovány tejporé 100, a zsíros tejporé 55, a sajté pedig 7–105 µg/kg között van. A tojás lényegesen több szelént tartalmaz, mint a tej, mert a tojásfehérje szeléntartalma 110, a tojássárgájáé 380, a teljes tojásé pedig 200 µg/kg. A tengeri eredetű élelmiszerek közül a homár és az osztriga 650, a tökehalhús pedig 420 µg/kg szelént tartalmaz.

7.14. Szelénnel történő dúsítás

7.14.1. A búzafű és a búzamazag összszelén-, szelenometionin- és szervesszelén-tartalma

A lakosság jobb szelénellátását célozva kutatómunkánk során meghatároztuk 35 (+14) darab búzafű, 44 db búzamazag, 3 darab kenyér, 3 darab szelénnel dúsított kenyér és egy szelénos premix szeléntartalmát. A **szeléntartalom-meghatározást fluorimetriás módszerrel** végeztük, és mivel a szelén rendkívül érzékeny a roncsolási körülményekre, ezért nedves roncsolással végezzük a feltárást. A roncsolt minta savas oldatához 2,3-diaminonaftalin reagensoldatot adunk, és a kapott piazszenol-komplexet fluorimetriásan mérjük. A fluorimetriás mérés során a gerjesztési hullámhossz 380 nm, a mérési hullámhossz 519 nm volt. A szeléntartalmat **atomabszorpciós spektrofotométerrel is meghatároztuk**. Az atomizáció során az atomos gőzök lángba juttatása során a mérendő anyag a ködkamrába kerül, az éghető gázzal keveredik, majd együttesen kerülnek tovább a lángig. A lángban megtörténik a vájtkatód lámpa által kisugárzott fény abszorpciója, melynek mértékét a fényérzékelő méri. A szeléntartalmat **hidridfejlesztéses módszerrel is analizáltuk**. A hidridfejlesztéses módszerek közül a tetrahydroborátos módszert alkalmaztuk, melynek lényege, hogy az oldatban lévő szelént savas közegben Na-tetrahydroborát reagenssel reagáltatjuk, melynek során a keletkező hidrogén a hidridaktív (szelén) komponenssel illékony hidridet képez. A szelén esetében a folyamat a következő:



A módszer előnye, hogy hidridformában a szelént tökéletesen ki lehet nyerni, az illékony komponens a minta mátrixából teljes egészében eltávolítható, a zavaró anyagok pedig a folyadékfázisban maradnak. A szeléntartalmú mintát nedves roncsolást ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) követően hidridképző Se(IV)-gyé alakítjuk (KBr-tartalmú HCl-oldattal), majd az atomabszorpciós spektrofotométerhez (AAS) kapcsolt hidridgenerátorban nátriumborohidriddel (NaBH_4) reagáltatjuk, és a képződött hidrogén-szelenidet (H_2Se) inert vívőgázárammal (Ar) bevezetjük az AAS-készülék lángos mintakamrájába. Az atomizálódott Se abszorbancióját 196 nm-en mérjük.

A **szelenometionin-tartalom meghatározása során** fehérjehidrolízist alkalmazunk, ezért az analízist megelőzően vizsgáltuk, hogy különböző hidrolizálószerek hogyan befolyá-

solják a szeleno-aminosavakat. A fehérjék esetében általánosan használt hidrolízismódszer (6 M HCl, 110 °C, 24 óra) mindkét szeleno-aminosav (szelenometionin, szelenocisztein) teljes bomlásához vezetett. A *2-merkaptó-etán-szulfonsavval* (3 M vizes oldat, 110 °C, 24 óra) végzett fehérjehidrolízis a merkaptocsoport miatt a SeCys₂ teljes átalakulását okozta, ugyanakkor a SeMet gyakorlatilag nem bomlott el. *P-toluol-szulfonsavval* (3 M vizes oldat, 110 °C, 24 óra) végzett hidrolízisnél gyakorlatilag mind a SeMet, mind a SeCys₂ érintetlen maradt, csupán az utóbbi szenvedett kisebb mértékű bomlást.

A hidrolízismódszer kidolgozása után a szeleno-aminosavakat nagy hatékonyságú folyadékkromatográfias módszerrel választottuk el a fehérjealkotó aminosavaktól OPA/2-merkaptó-etanol származékképző alkalmazásával, SeMet és SeCys₂ standardok használatával. A mérést egy 125 × 4 mm-es Purospher RP-18e (C18) oszlopon végeztük, kétkomponensű eluenskeveréket használva (metanol/nátrium-acetát puffer). Csak a SeMet jelent meg a kromatogramon, a 39. perc körül, a Phe előtt eluálva, a SeCys₂ nem képzett fluoreszcens detektorral mérhető származékot a reagenssel. OPA/2-merkaptó-etán-szulfonsav származékképzőt alkalmazva, az előzőekhez hasonló körülmények között, a SeMet jól elvált a többi ninhidrin pozitív vegyülettől, és a Trp előtt eluálva, az 51. perc körül jelent meg a kromatogramon.

Az analitikai módszerek kidolgozása, ill. pontosítása után meghatároztuk a búzafű és a búzamag szeléntartalmát. A búzafű eredeti szárazanyagra és 100% szárazanyagra számított összes szeléntartalma közti összefüggést vizsgálva a korrelációs koeficiens értékét $P < 0,001$ szinten 0,92-nek mértük. A rendkívül szoros összefüggés nem meglepő, hisz ugyanarról az adatsorról van szó, melyben a hibalehetőséget egyedül a szárazanyagtartalom meghatározás hordozza. A búzafű eredeti szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza szelenometioninból számolt szeléntartalma közötti összefüggést vizsgálva a korrelációs koeficiens értéke $P = 0,055$ szinten 0,34, ami egy közepes szoros összefüggést jelent. A búzafű 100% szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza szelenometioninból számolt szeléntartalma közötti összefüggést vizsgálva R értéke $P = 0,022$ szinten 0,40 volt, ami közepesen szoros összefüggésre mutat.

A búza összes szeléntartalma és a szelenometioninból számolt szeléntartalma közötti összefüggést vizsgálva a korrelációs koeficiens (R) értéke $P < 0,001$ szinten 0,99, ami rendkívül szoros összefüggésre utal. A számítást a szelenometionin molekulatömegének ismeretében végeztük. A rendkívül szoros összefüggés várható volt, hisz a szelenometioninban jelen levő szelén az összes szeléntartalomnak része, és mivel a búzák hasonló időben, fejlettségi állapotban kerültek betakarításra, a két érték között az összefüggés rendkívül szoros kell hogy legyen. A búzafű eredeti szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búzafű szelenometionin-tartalma, valamint a szelenometioninból számolt szeléntartalma közti összefüggést vizsgálva, 35 minta analízisét elvégezve R értéke $P < 0,001$ szinten 0,92 volt, ami rendkívül szoros összefüggésre mutat. A szelenometionin-tartalomtól számolt szeléntartalom esetében 35 minta mérési eredményét analizálva a korrelációs koeficiens (R) értéke 0,92 volt, ami rendkívül szoros összefüggésre utal.

A búzafű 100% szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búzafű szelenometionin-, valamint a szelenometioninból számolt szeléntartalma közötti összefüggést vizsgálva, 33 minta analízisének eredményeképpen a szelenometionin-tartalom esetén a kor-

relációs koefficiens (R) értéke 0,92 volt $P < 0,001$ szinten, ami rendkívül szoros összefüggésre utal. A szelenometioninből számolt szeléntartalom esetében ugyancsak 35 minta analizését követően a korrelációs koefficiens értéke $P < 0,001$ szinten 0,92 volt. A búza szelenometionin-tartalma és a búzafű eredeti szárazanyagra számított szelenometionin-tartalma közötti összefüggést vizsgálva, 32 mintát analizálva, a korrelációs koefficiens értéke $P = 0,212$ szinten 0,23 volt, ami gyenge összefüggést mutat. A búza szelenometionin-tartalma és a búzafű 100% szárazanyagra számított szelenometionin-tartalma közötti összefüggést elemezve, 32 minta analizésének eredményeként a korrelációs koefficiens értéke 0,27 volt $P = 0,141$ szinten. Az összefüggés gyenge-közepes.

A búzával végzett kísérleteink összefoglalásaképpen elmondható, hogy **rendkívül szoros az összefüggés** a búzafű eredeti szárazanyagra és 100% szárazanyagra számított összes szeléntartalma között ($r = 0,92$), a búza összes szeléntartalma és a szelenometioninből számolt szeléntartalma között ($r = 0,99$), a búzafű eredeti szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búzafű szelenometionin-tartalma, valamint a szelenometioninből számolt szeléntartalma között ($r = 0,92$ és $r = 0,92$), a búzafű 100% szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búzafű szelenometionin, valamint a szelenometioninből számolt szeléntartalma között ($r = 0,92$ és $r = 0,92$). **Közepes az összefüggés** a búzafű eredeti szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza összes szeléntartalma között ($r = 0,36$), a búzafű eredeti szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza szelenometioninből számolt szeléntartalma között ($r = 0,34$), a búzafű 100% szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza összes szeléntartalma között ($r = 0,40$), a búzafű 100% szárazanyagra számolt összes szeléntartalma és a búza szelenometioninből számolt szeléntartalma között ($r = 0,40$). **Gyenge az összefüggés** a búza szelenometionin-tartalma és a búzafű eredeti szárazanyagra számított szelenometionin-tartalma között ($r = 0,23$), a búza szelenometionin-tartalma és a búzafű 100% szárazanyagra számított szelenometionin-tartalma között ($r = 0,27$).

7.14.2. Szelénnel dúsított táplálkozási csírák

A csírák jelentősége a táplálkozásban a vegetáriánusok számának növekedésével nőtt, mert a vegetáriánusok előszeretettel fogyasztanak élelmi csírákat. A **csíráztatás „előemésztésnek” tekinthető**, mert segíti a szervezetünkben lejátszódó biokémiai mechanizmusokat. A csírázás során a poliszacharidokból oligo- és monoszacharidok, a zsírok-ból szabad zsírsavak, a fehérjékből oligopeptidek és szabad aminosavak keletkeznek, és javul az ásványi anyagok hasznosíthatósága is. Az előzőeken túl még a **tápanyagok összetétele is kedvező módon változik** meg számunkra, hisz nő az esszenciális zsírsavak mennyisége, megjelennek a szabad aminosavak, elbomlanak vagy csökken az antinutritív anyagok (tripszininhibitor, fitinsav, pentozán, tannin) mennyisége. Egészségvédő hatással és fitokémiai tulajdonságokkal rendelkező vegyületek (glükozinolatok, természetes anti-oxidánsok) jelennek meg, tehát a csíráknál jobb a hasznosulás, és magasabb a tápérték.

A csíráztatott magok előnyös hatásai miatt **funkcionális élelmiszerek kifejlesztésére alkalmasak**, melyek kedvező hatással vannak az emberi szervezetre, és segítenek az egészség megőrzésében. A múlt század utolsó évtizedeiben Európa nyugati felében **mindennapossá vált a csíráztatott magvak fogyasztása**, és változatos csírákínálat alakult ki az

európai és a távol-keleti piacokon. Legkedveltebbek az adzukibab, lucerna, brokkoli, hajdina, lóhere, mungóbab, mustár, retek, vöröskáposzta és a szója csírái. Japánban a fényben termelt csírákat nyersen, míg a sötétben előállítottakat hőkezelve fogyasztják.

A csírázás során a következő biokémiai változások történnek. **A fehérjék enzimatis bomlása kisebb fehérjefragmenseket, polipeptideket, oligopeptideket és szabad aminosavakat eredményez.** Ennek következtében pl. a borsó- és a szójababcsírák a nagy mennyiségű szabad aminosav és a sok γ -amino-vajsav miatt vérnyomáscsökkentő hatásúak. A szabad aminosavak közül a legnagyobb mennyiségben az aszparagin (borsó- és a szójababcsírák), valamint a glutamin fordul elő (egyéb típusú csírákban). A csíráztatás hatására a szabadaminosav-tartalmon belül csökkent a hisztidin, a glutaminsav, a glicin, az arginin és a triptofán aránya, az aszparagin-, a valin-, az izoleucin- és a fenilalanin-tartalmat pedig nagymértékben befolyásolták a csíráztatási körülmények. A bab és a lencse csíráztatása során fény hatására magasabb szabadaminosav-tartalmat kaptak, mint sötétben csíráztatva, de a fény nem befolyásolta a fehérje minőségét. Két nap csíráztatás után a borsó-fehérje táplálkozási értéke javult.

A **hajdinacsírák** táplálkozási értékének vizsgálata során megállapították, hogy a csírában négyszer több a szabad aminosav, mint a magban, és hogy a **csíráztatás során megnőtt a lizin és a kéntartalmú szabad aminosavak mennyisége**, ami magas táplálkozási értékű élelmiszerhez vezetett. A zsírsavösszetétel változását elemezve elmondható, hogy a telítetlen zsírsavak mennyisége a csírázás előtti 36,8% olajsav, 38,1% linolsav, 2,7% linolénsav arányról az olajsav mennyisége fokozottan csökkent, a linolsav és a linolénsav aránya viszont nőtt. A linolénsav koncentrációja hét nap alatt 52,1%-ra nőtt, és a legnagyobb mennyiségben jelenlevő zsírsavvá vált. **A csíráztatás végére a telítetlen zsírsavak aránya meghaladta a 83%-ot**, ami azért jelentős, mert a linolsav és az arachidonsav esszenciális, a linolénsav szemiesszenciális az emberi szervezet számára. **A telített zsírsavak koncentrációja a csírázaskor rohamos mértékben csökkent**, így a mirisztinsav, valamint a sztearinsav egy nap múlva már nem volt kimutatható a csírában.

Az eddigi kutatások alapján megállapítható általános tendencia az, hogy a **csírázás lényeges összetételi változásokkal jár**, melynek során a fehérjefrakciók megváltoznak, kisebb fehérjefrakciók, oligopeptidek, szabad aminosavak jelennek meg a mintában. Változik a szabadaminosav-összetétel, és megjelennek a nem fehérjeépítő aminosavak. A trigliceridek bomlása következtében megváltozik a zsírösszetétel, módosul a zsírsavösszetétel, egészségvédő hatású vegyületek jelennek meg, ezért a csíráztatással értéke-sebb táplálékot kapunk. Felmerül a kérdés, hogy hogyan lehetne a csíranövényeket táplálkozási szempontból még értékeesebbé tenni?

7.14.3. A szelénnel dúsított csírák a rák megelőzésében

Szelénrel dúsított termékeket fejlesztettek a lakosság szelénellátásának javítására, mert a monometilált szeleno-aminosavaknak rákellenes hatást tulajdonítanak. A csíráztatás során a fejlődő növényi szervezet megfelelően előkészített táptalajból különféle makro- és mikroelemeket tud dúsítani szöveteiben, ezért lehetséges, hogy **a csíranövény szeléntartalmát megfelelő körülmények között meg lehet növelni**. Mivel a magas szeléntartalmú talaj (szelenit, szelenát) környezeti szennyezéshez vezethet, ezért célszerűbbnek látszik

a kontrollálhatóbb zárt rendszerű termesztés. Japán kutatók speciális japán retekmagokat csíráztattak magas szeléntartalmú talajon, melynek következtében a csíranövényben a szelén legnagyobb mennyiségben szeleno-metil-szelenocisztein formában volt jelen, ezenkívül szeleno-metil-szelenocisztein, szelenometionin, nem hasznosuló szelenit, γ -glutamil-Se-metil-szelenocisztein is kimutatható volt a mintából.

Többen vizsgálták a szelén hasznosulását **megnövelt szeléntartalmú növényekből**, és a szelénnel dúsított növények hatását az **antitumor-aktivításra**, és tanulmányozták a szelénnel dúsított tök és a szelénnel dúsított retekcsíra szeléntartalmának hasznosulását hím egerekben. Megállapították, hogy a kiegészítés a szeléntartalom függvényében megnövelte a vérszérum és a máj szeléntartalmát és glutation-peroxidáz-aktivitását, de a szérum szeléntartalma, illetve glutation-peroxidáz-aktivitása független volt a szelénforrástól. A máj esetében Na-szelenit adagolásakor mind a szeléntartalom, mind a glutation-peroxidáz aktivitása nagyobb volt, mint a szelénnel dúsított töknél vagy retekcsíránál, és a szelénestök-kiegészítés nagyobb mértékben növelte a máj szeléntartalmát, mint a szelén csíra.

A szelénnel dúsított japán retek szeléntartalma hasznosulásának és rákellenes hatásának vizsgálatok patkányokban megállapították, hogy a szelénnel dúsított japán retekcsíra összes szeléntartalmának 80%-át a szeleno-metil-szelenocisztein tette ki. A vizsgált szövetek közül a legtöbb szelént a vér tartalmazta, ennél kevesebb volt a májban, és a legkevesebb szelént a tüdőből mutatták ki. A **szelénnel dúsított japán retekcsíra gátolta a 7,12-dimetil-benz(a)antracénnel kiváltott emlőtumor kialakulását**. A legnagyobb szeléntartalmú dózis (12,5 mg/kg) etetésekor csökkent a testtömeg-gyarapodás és megnőtt a máj tömege. A szelénkiegészítés, a dózistól függetlenül, megnövelte a szérum és a máj szelénkoncentrációját és glutation-peroxidáz-aktivitását. A szelenitkiegészítéssel ellátott csoportoknál a máj szelénkoncentrációja és glutation-peroxidáz-aktivitása nagyobb volt, mint a szelén csírával ellátott csoportokban. Az 1,2-dimetil-hidrazinnal kiváltott emésztőrendszeri tumorok gyakoriságát kisebb dózisu szelénadagolásnál (0,1 $\mu\text{g Se/g}$ táp) csak a retekcsíra csökkentette, nagyobb dózisu szelénadagolásnál (2 $\mu\text{g Se/g}$ táp) mind a szelenitforma, mind a retekcsírával bevitt szelén csökkentette azt. A retekcsírával bevitt szelén kisebb mértékben épült be a szervezetbe, mint a szelenittel bevitt szelén, de a retekcsíra fogyasztásának tumorelles hatása nagyobb volt, mint a szelenitkiegészítésnek.

7.14.4. Élelmiszerek szelénnel történő kiegészítése

A svédek és a norvégok gabonát importálnak Kanada és az USA szelénben gazdag körzeteiből, mivel a jégkorszak alatt Skandinávia talaja a tengerbe mosódott, és a jelenlegi talaj szelénkoncentrációja rendkívül alacsony. 1984-től Finnországban, majd Új-Zélandon Na-szelenáttal műtrágyázott gabonát termesztnek (talaj- vagy levéltrágyázás), melynek során a talajok elsavanyodását is igyekeznek megakadályozni, mert $\text{pH} < 6$ esetén rossz a Se felszívódása. Kínában a **Keshan-kórt a konyhasóhoz és/vagy az ivóvízhez hozzáadott Na-szelenittel szorították vissza**. 1985-től szelénnel dúsított élesztőt állítanak elő, mely kb. 1000 mg/kg szerves kötésben levő szelént tartalmazó *Saccharomyces cerevisiae* vagy *Candida utilis*.

Szelén élesztőt tartalmaznak különböző táplálékkiegészítők (paramedicinális készítmények) és a szelenokenyér. A „**bioszelén**” elnevezés valójában **szerves kötésű Se-t je-**

lent, melynek előnyei a szelenittel szemben a nagyobb mértékű felszívódás, a kisebb toxicitás, hogy a bemérés és a homogénezés relatíve kisebb hibával végezhető, mivel a szerves mátrix a szelént viszonylag kis koncentrációban tartalmazza, hátránya viszont a viszonylag magas ár.

7.14.4.1. Szelénnel dúsított tojás

Az 1970-es évektől foglalkoznak azzal, hogy a tojás Se-tartalmát a takarmányhoz adott Na-szelenittel, szeleno-aminosavakkal vagy szelénés élesztővel megnöveljék. Ennek során rájöttek arra, hogy a szerves Se-formák jobban hasznosulnak a tojás előállításakor, és hogy a felhasznált **Se-adalék kémiai minősége jelentősen befolyásolja a Se tojáson belüli megoszlását**, mert a *Se-metionin* főleg a sárgájában, a *Se-cisztein* és a *Na-szelenit* pedig a fehérjében növeli meg a szelénkoncentrációt. Mind a sárgájának, mind a fehérjének Se-tartalma Na-szelenittel megnövelhető, de a tojásfehérje érzékenyebben tükrözi a tyúkok Se-ellátottságát, mint a sárgája.

A szelénés élesztő mind a tojás, mind a tyúkszervek (elsősorban a máj) Se-tartalmát szignifikánsan nagyobb mértékben növeli meg, mint a Na-szelenit. A tojás Se-tartalma Na-szelenites kezelés esetén kb. 21 nap alatt, élesztős kezelés esetén kb. 27 nap alatt telítési értéket vesz fel. A telítési értékek mind a Na-szelenit, mind az élesztő esetében maguk is egy-egy telítési görbét írnak le a takarmány Se-tartalmának függvényében. Mivel a telítési értékek viszonylag mérsékeltek, **a fogyasztó szelénózis megbetegedése még többszörös túladagolás esetén sem valószínű.**

A tojás Se-tartalma különböző kiegészítés esetében eltérő módon változott. Amikor 110, 400 és 1800 µg/kg nátrium-szelenittel egészítették ki a tojótyúk takarmányát, akkor a tojás ehető részének szeléntartalma 98 µg/kg-ról (kontroll, szelénkiegészítést nem kapott csoport) 110, 156 és 302 µg/kg-ra nőtt. Ugyanezek az értékek azonos mennyiségű SelPlex szervesszelén-kiegészítés esetén 140, 253 és 587 µg/kg voltak. Levonható tehát az a következtetés, hogy **a tojás szeléntartalmát, szervesszelén-kiegészítővel hatékonyabban lehet növelni, mint szerveszelenittel.**

7.14.4.2. Szelénnel dúsított tej és tejtermékek

Magyarország a szelénben hiányosan ellátott területek közé tartozik, ezért célunk volt vizsgálni, hogy milyen takarmányozási módszerekkel lehetne a tehéntej és a tejtermékek szeléntartalmát növelni, és hogy a tej szeléntartalma hogyan megy át más tejtermékekbe. Szerettünk volna információt kapni arról, hogy a nyers tejhez hozzáadott szerveszelen, illetve szervesszelén-kiegészítés milyen hatással van a tejsavbaktériumok és a tejparban alkalmazott kefirgomba-készítmények szaporodására, és hogy a szerveszelen-tartalom hogyan alakul át szerves formává a tejtermékek készítése során. Olyan takarmányozási módszerek kidolgozását céloztuk meg, melynek segítségével **a tehéntej szeléntartalmát az egészségvédő szintre lehet növelni.** Célunk volt vizsgálni a különféle kereskedelmi forgalomban kapható és általunk kialakított szelénkiegészítők (szelenit, szelenát, szelénés élesztő, más szerves szelénformák) hatását a tej szeléntartalmára, a magas szeléntartalmú tejből kefir és joghurt, különféle technológiával előállított sajtok és vajak, vajkrémek előállítása, nézve azt, hogy a szelén a tejből hogyan megy át a különféle tejtermékekbe. A végső

célunk ajánlás és **technológia kidolgozása volt magas szeléntartalmú tej és tejtermék előállítása** a lakosság jobb szelénellátottsága érdekében. Mivel nem közvetlenül adjuk a szeléntartalmú vegyületeket az élelmiszerekhez, a szeléntúlfogyasztást vagy -mérgezést ily módon biztonságosan el lehet kerülni.

A tej szeléntartalmának növelésére szeléntartalmú élesztővel egészítettük ki tejelő szarvasmarhák étrendjét, remélve azt, hogy a szeléntartalom jelentős mértékben megnő a tejben, majd az ilyen tejből különféle, ugyancsak magas szeléntartalmú tejtermék előállítása válik lehetővé. A kísérleti állatokat és a szelénkiegészítést az alábbiak szerint szerveztük. A kísérletbe vont szimentáli jellegű tejelő szarvasmarhák tejtermelése 4000–5000 liter között változott a laktáció folyamán. A szelénkiegészítést szelén élesztővel végeztük, mely 2300 mg/kg szelént tartalmazott szelenometionin, illetve szelenocisztein formában.

Az állatok által fogyasztott takarmányadag szeléntartalma (kontrollcsoport) 0,42 mg szelén volt naponta. A tejelő tehenek szelénkiegészítése az alábbiak szerint történt: 1–2 hét 1 mg tehén/nap szelénkiegészítés, 3–4 hét 2 mg, 5–6 hét 4 mg, 7–8 hét 6 mg, 9–10 hét 0 mg, 11–12 hét 0 mg, 13–14 hét 0 mg tehén/nap szelénkiegészítés szelén élesztő formájában, az abrakhoz keverve. A tej szeléntartalma a Selplex-2300 szelénkiegészítés hatására a következők szerint alakult: Növekvő szelénkiegészítéssel a tej szeléntartalma a kontrollcsoportban mért 0,018 mg/kg-ról 1 mg szelénkiegészítés hatására 0,031; 2 mg hatására 0,053; 4 mg hatására 0,081; 6 mg hatására pedig 0,094 mg/kg-ra nőtt. A szelénkiegészítés befejezését követően a szeléntartalom két hét alatt 0,062; 4 hét alatt 0,021; 6 hét alatt pedig 0,019 mg/kg-ra csökkent, amely majdnem egybeesett a kísérlet kezdetekor a kontrollcsoportnál mért 0,018 mg/kg értékkel.

A szeléntartalom, a kontrollcsoport értékéhez képest, a különböző mértékű szelénkiegészítést kapó tehenek tejében szignifikánsan nagyobb volt, és a növekvő szelénkiegészítés hatására a tej szeléntartalma szignifikánsan nőtt. A legnagyobb mértékű emelkedést a 4 mg/nap szelénkiegészítéskor a 6. héten mértük, melyet követően a szelénkiegészítés 6 mg/nap dózisa történő emelése szignifikánsan ugyan tovább növelte a tej szeléntartalmát, de a növekedés mértéke lényegesen kisebb a megelőző időszakhoz képest. A szelénkiegészítés elhagyása után két héttel a tej szeléntartalma a 6. és a 8. héten mért értékekhez képest szignifikánsan kisebb volt, de a 2 mg/nap szelénkiegészítést kapó állatok értékét statisztikailag igazoltan meghaladta. A szelénkiegészítés elhagyása után egy hónappal a tej szeléntartalma megegyezett a szelénkiegészítést nem kapó kontrollcsoport értékével. Megállapítottuk, hogy a **6 mg szelénkiegészítés szerves szelén formájában a tej szeléntartalmát mintegy ötszörösére növeli**, a szelénkiegészítés elmaradása esetén viszont a tej szeléntartalma hat hét alatt 0,019 mg-ra csökkent. Következtetésünk az, hogy a folyamatosan megnövelt szeléntartalmú tejet csak akkor lehet előállítani, ha az állatok takarmányában a szelénkiegészítés folytonos.

Mind a kontroll- (18 µg/kg), mind a szelén, 2 mg szelénkiegészítést kapott tehenek tejéből (53 µg/kg szeléntartalom), joghurtot, telemea sajtot, tehéntúrót, orrát és egyes alvasztású sajtot készítettünk. Minden esetben mértük a szeléntartalmat, valamint a tejtermék-előállítás melléktermékeként kapott savó szeléntartalmát is. Mind a kontroll-, mind a szelén tejet 78 °C-on 50 másodpercig pasztóroztuk, majd a joghurt-előállítás során 27 °C-ra lehűtött tejet *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*, valamint

Lactococcus lactis subs. cremoris szintenyészet-keverékkel oltottuk be, majd ezt követően a mintát 27 °C-on 7 órán át termosztátban inkubáltuk, és -25 °C-on lefagyasztottuk. A vegyes alvasztású félkemény sajt előállításánál a sajttej zsirtartalmát 3,9%-ra állítottuk be, laboratóriumi pasztörözőn 70 °C-on hőkezeltük, majd a beoltási hőmérsékletre, 34–36 °C-ra hűtöttük. 0,001% Propioni baktérium szintenyészetet adtunk hozzá, érleltük, számított mennyiségű oltóenzimmel beoltottuk, az alvadék kidolgozása során azt felaprítottuk, forgattuk, formába öntöttük, szikkasztottuk, megforgattuk, tároltuk. A telemea előállítása során a sajttej zsirtartalmát 3,8%-ra állítottuk be, és laboratóriumi pasztörözőn 70 °C-on hőkezeltük. A tejhez 0,0015% Propioni baktérium szintenyészetet adtunk, 20 percig érleltük, számított mennyiségű oltóenzimet kevertünk hozzá, alvasztottuk. Az alvadékot kidolgoztuk, 38–40 °C-ra melegítettük. A formába öntést követően a sajtot szikkasztottuk, majd 12%-os, 12–14 °C-os hőmérsékletű sóoldatba tettük. A sózás végére sótartalma elérte a 2,5–3,0%-ot. 24 órán keresztül érleltük, melynek során többször megforgattuk.

A friss fogyasztású tehéntúró előállítása során 1,5% Propioni baktérium szintenyészetet és 2% szintenyészet-keveréket (*Streptococcus termophilus*, *Lactococcus lactis lactis*, *Lactococcus lactis cremoris*, *Lactococcus acidophilus*) használtunk. 0,001% oltóenzimet adtunk hozzá, és 10 órán keresztül alvasztottuk. Az alvadék kidolgozása során azt dió nagyságú rögökre felaprítottuk, sajtkenőn keresztül a savót eltávolítottuk, majd az alvadékot gyúrtuk és csomagoltuk. Az orda (savósajt) előállítása során a vegyes alvasztású félkemény sajt és a telemea gyártásából visszamaradó savót használtuk fel. A savót 95–96 °C-on 1–2 órán keresztül melegítettük, majd a kiváló savófehérjét sajtkenővel eltávolítottuk a savótól, és hűtőszekrényben tároltuk az analízisig. Az ordakészítés során kapott savó fehérjét gyakorlatilag nem tartalmazott.

Fölmerül a kérdés, hogy **a megnövelt szeléntartalmú tej okoz-e valamilyen egészségügyi kockázatot a lakosság számára?** Összehasonlítva az 1–19 éves fiatalok napi szelénszükségletét, valamint az annak kielégítéséhez szükséges tejmennyiséget, megállapítottuk, hogy mivel Magyarországon a felnőtt lakosság tejfogyasztása, a tejtermékekkel együtt, 0,26 (nők) és 0,28 (férfiak) liter naponta, a felnőtt lakosság szelénszükségletéhez a tej csak mintegy 7%-ban járul hozzá. **A megnövelt, 0,094 mg/kg szeléntartalmú tej a napi szelénszükséglet kielégítéséhez is csak 34%-ban járul hozzá.** Felnőtteknél, a tejjel nem számolva, az állati eredetű élelmiszerekkel 73 és 126 µg szelén felvételére kerül sor naponta, ami az 1–3 éves gyerekeknél 12 µg-ra tehető. **A felnőtt lakosság szelénrel dúsított tejfogyasztása abszolút biztonságosnak értékelhető,** hisz a maximális szelénfogyasztás egy liter tejjel 220 µg naponta, míg a még elfogadható napi bevitel 300 µg körül alakul.

Az egy és három év közötti gyerekeknél a napi félliteres szelén tejfogyasztás a többi élelmiszerral együtt 59 µg-os szelénbevitelt jelent, ami majdnem azonos a szelénbevitel felső limitjével (60 µg/nap). Az előzőek miatt javasolható, hogy 1–3 év közötti korban a gyerekek ne fogyasszanak több mint fél liter szelén tejet, a szelén tejfogyasztást ebben az életkorban maximum fél liter/napban kell korlátozni.

7.14.4.3. A szelénrel dúsított tejből készült tejtermékek szeléntartalma

Minden általunk előállított, megemelt szeléntartalmú tejből készült tejtermék esetében a szeléntartalom $P < 0,001$ szinten szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll-

csoportnál. A kontrolltejből készült joghurt szeléntartalmát 18,6 µg/kg-nak, a szelénesejtből készültét pedig 58,5 µg/kg-nak mértük. A kontrolltejből készült telemea szeléntartalmát 66,0, a szelénesejtből készültét pedig 138,1 µg/kg-nak mértük. A kontroll esetében a savó 9,7, a szelénesej esetében 20,1 µg/kg mennyiségű szelént tartalmazott. A szelénesejtből készült telemea több mint kétszer annyi szelént tartalmaz, mint a kontroll, és a szelénesejtből készült telemeasavó szeléntartalma több mint duplája a kontrollénak. Orda esetében a kontrolltejből készült termék 80,8, míg a szelénesejtből készült 167,2 µg/kg szelént tartalmazott, ami duplája a kontrollénak. Az ordakészítés során kapott folyadék szeléntartalma 4,6 µg/kg, a szelénesejtből készülté 10,8 µg/kg volt.

A kontrolltejből készült vegyes alvasztású sajt szeléntartalmát 88,6, a szelénesejtből készültét pedig 200,0 µg/kg-nak mértük. A kontrolltejből készült tej savója 9,2, míg a szelénesejtből készülté 21,4 µg/kg szelént tartalmazott, mely szerint a növekedés több mint kétszeres, a szelénesej javára. A kontrolltejből készült tehéntúró szeléntartalmát 57,4, míg a szelénesejtből készültét 154,8 µg/kg-nak mértük. A tehéntúró-előállítás során kapott savó szeléntartalma a kontroll esetében 8,8, a szelénesej esetében pedig 25,8 µg/kg volt.

Összefoglalóan megállapítható, hogy **a szelénesejtből készült telemea, orda és vegyes alvasztású sajt szeléntartalma több mint duplája volt, mint a kontrolltejből készített tejtermékeké.** A legtöbb szelént a vegyes alvasztású sajt tartalmazta 200,0 µg/kg-mal, amelyet az orda követett 167,2 µg/kg-mal, ezt követte a tehéntúró 154,8 µg/kg-mal, majd végül következett a telemea 138,1 µg/kg-mal. Mindegyik tejterméknél a savó szeléntartalma több mint duplája volt a szelénesej esetében a kontrollhoz viszonyítva. A telemea, a vegyes alvasztású sajt és a tehéntúró savója nagyobb koncentrációban tartalmazza a szelént szelénesejtből előállítva, ezért **a szelénesejtből készült tejtermékek savója jelentős szelénforrás lehet** az emberek (esetleg gazdasági állatok) számára. Ezt bizonyítja a savóból készült orda 167,2 µg/kg-os szeléntartalma is.

8. A tojás mint funkcionális élelmiszer

A tojás a roston kívül szinte minden értékes tápanyagot tartalmaz. Fehérjéjének biológiai értéke talán az összes élelmiszer-fehérje közül a legnagyobb, ezért aztán a biológiai érték meghatározásánál egy olyan fehérjének tekinthető, mely a többi fehérje értékelésének a viszonyítási alapja. A sárgájában sok a zsír és a vitamin, így a fehérje és a sárgája együttesen az ember szükségleteit szinte optimális módon elégíti ki, ily módon összetételének változtatása nélkül, megfelelően elkészítve funkcionális élelmiszernek tekinthető. Összefoglalóan a tojás, táplálóanyag-tartalmában dús, a természet által létrehozott egyik legértékesebb élelmiszer. Ipari és otthoni felhasználása sokoldalú, és a tyúktojáson kívül használjuk még a kacsá, liba, búbic, sirály és a fűrj tojását is táplálékként.

8.1. A tojássárgája

A tojássárgája zsír a vízben emulzió, különböző méretű részecskék halmaza. Az 1,0–1,3 µm átmérőjű szemcsék fehérjék, lipidek és ásványi anyagok elegye, míg a 20–40 µm átmérőjű cseppcsekék főleg lipideket tartalmaznak, az alacsony sűrűségű lipoproteinek (LDL) elegye. A tojássárgája szárazanyag-tartalma kb. 50%, amiből a lipidek 65%-ot, a fehérjék 31%-ot, a szénhidrátok 4%-ot tesznek ki, míg a maradékot a vitaminok és az ásványi anyagok alkotják. Fő komponensei az alacsony sűrűségű lipoprotein (LDL), a magas sűrűségű lipoprotein (HDL), a livetinek és a foszvitinek.

A tojássárgája szemcsék fehérjéi. A foszvitin (α és β) 110 °C-on, 10 percig hőkezelve viszonylag hőstabil. Sok foszforsavat tartalmazó glikofoszfoprotein, mely polielektrolitként működik (polianion). Erősen megkötö a többszörösen pozitív töltésű ionokat; a Fe^{3+} 95%-a a foszvitinhez kötve található, ezért hasznosíthatósága korlátozott. A Fe/P molaránya a fehérjében 0,5; a vasion kelátkomplexet képez, ahol két foszfátcsoport jut egy vasionra. A nehézfémionok megkötése révén a foszvitin szinergikusan támogatja az antioxidánsok működését.

A lipovitellinek (α és β) nagy sűrűségű lipoproteinek (HDL), melyekben a lipid a szárazanyag 22%-a, melynek 35%-a trigliceridek, 60%-a foszfolipid, 5%-a pedig koleszterin és koleszterinészter. Kovalensen kötődnek az olyan oligoszacharidokhoz, mint a mannóz, galaktóz, glükózamin és a szialsav. Az α -lipovitellin a nagy foszforsav- és szialsavtartalmának köszönhetően erősen savas karakterű. A lipovitellinek komplex formában, a foszvitinnel együtt előforduló hőstabil fehérjék.

A tojássárgája lipidjei a fehérjékkel szoros kapcsolatban, lipoproteinként vannak jelen. Zsírsavösszetételüket jelentős mértékben befolyásolja a takarmányozás, ezért a takarmány összetételének változtatásával az befolyásolható. Szójaolajtetetés hatására nő a linolsav mennyisége, a halolaj pedig a többszörösen telítetlen zsírsavak, az eikozapentaénsav, a dokoza-hexaénsav és a dokoza-pentaénsav (20:5, 22:6, 22:5) mennyiségét növeli, de a növekedés nincs összhangban a takarmánnyal bevitt mennyiséggel. A kókuszdíóolaj kaprilsavtartalma (10:0) csak nyomnyi mennyiségben jelentkezett a tojásban. Az az ál-

talános tapasztalat, hogy a takarmány zsírsavmintázata sokkal inkább megmutatkozik a tojáslipidek triglicerid-frakciójában, mint a poláros lipidek csoportjában. Mégis kijelenthető, hogy a tojótújk takarmányának változtatásával a tojás zsírsavösszetétele optimális irányba befolyásolható, tehát a tojás funkcionális ételkészítmény vagy azzá tehető.

A szterinek a tojás lipidjeinek 4%-át teszik ki, melyek 96%-a koleszterin, mely a szárazanyag 2,5%-a, és amely messze meghaladja a többi ételkészítményét. A koleszterintartalomból következtetni lehet pl. arra, hogy felhasználtak-e jelentős mértékben tojást egy adott ételkészítmény gyártása során. A koleszterin oxidációra érzékeny anyag, autooxidációja veszélyeztetheti a tojás minőségét.

8.2. A tojásfehérje

A tojásfehérje a fehérjék 10%-os vizes oldata, mely a fehérjék mellett még 0,03% lipideket és 1% szénhidrátot is tartalmaz. A friss tojás pH-ja 7,6–7,9 közötti, mely a tárolás alatt 9,7-ig is emelkedhet, mert az oldható CO₂ a tojáshéjon keresztül kidiffundál a tojásból. A pH emelkedése idő- és hőmérsékletfüggő folyamat. A pH pl. 9,4-re emelkedik 35 °C-on, 21 nap alatt. A biológiai aktivitással bíró albumin fehérjék védelmet nyújtanak a mikrobiológiai romlás ellen, így pl. a lizozim enzim a baktériumok sejtfalát alkotó peptidoglikánok hasításával elpusztítja a baktériumokat, és ugyanezt a szerepet tölti be az enziminhibitorok (ovomukoid, ovoinhibitor) és a koenzimokkal komplexet képező anyagok (pl. flavoprotein, avidin).

Az albumin fehérjék közül az ovalbumin a fő albumin fehérje, mely vizes oldatban mechanikai hatásra (rázatás, habverés) viszonylag könnyen denaturálódik. Az albumin fehérjék közül a konalbumin (ovotranszferrin) gátolja a mikrobanövekedést, az ovomukoid pedig gátolja a szarvasmarha-eredetű tripszin működését, de a humán eredetű tripszinre nincs hatással. A lizozim vagy más néven ovoglobulin G₁ sok állati szövetben és váladékban is megtalálható, mely a Gram-pozitív baktériumokat sejtfaluk hidrolízisével pusztítja el. Az ovomucin fibrilláris szerkezetű, mely növeli az albumin viszkozitását. A sűrű, gélszerű állagú tojásfehérje négyszer nagyobb koncentrációban van jelen, mely a tárolás során egyre hígabbá válik. A flavoprotein erősen kötődik a riboflavinhoz, és elősegíti, hogy a koenzim a vérszérumból a tojásba kerüljön. Az ovoinhibitor proteinázinhibitor, mely ugyanúgy, mint az ovomukoid, gátolja a tripszin és a kimotripszin működését. Az avidin antibakteriális tulajdonsága annak köszönhető, hogy megköti a biotint; a tojásfehérjében biotinmentes formában fordul elő.

8.3. Tojásszínező anyagok

A tojássárgája színe minőségi jellemzőnek számít, mert a vásárlók egy része általában a sárgája színét gondolja a legfontosabb minőségi jellemzőnek, amely minél sötétebb színű, annál jobb minőségű a tojás. A takarmányból a karotinoidok és a xantofillok (főleg a lutein) szívódnak fel, melyek a sárgája színét okozzák. A tojássárgája színének erősítése

érdekében adalékanyagokat is használnak, mint amilyen pl. a β -apo-8-karotin-etil-észter; a citranaxantin (5,6-dihidro-5-*apo*- β -karotin-6-on) és a kantaxantin (β , β -karotin-4,4'-dion).

8.4. A tárolás során bekövetkező változások

A tojás pH-ja, a szén-dioxidnak a tojáshéj pórusain keresztül történő diffúziója miatt, mely különösen a tojás fehérjerészében jelentős, a tárolás során emelkedik. Eközben a víz egy része elpárolog, a tojás sűrűsége pedig a kezdeti 1,086 g/cm³-ről csökken, melynek mértéke 0,0017 g/cm³ naponta. A tojásfehérje viszkozitása, elsősorban az ovomuciné csökken, a tojássárgája pedig, mely friss állapotban tömör és alaktartó, egyre inkább ellapul a tárolás során. A tojássárgája-indexből, mely a magasság és az átmérő aránya, a tojás frissességére lehet következtetni. A tojásfehérje feldolgozásánál fontos olyan tulajdonságok változása, mint a habképző sajátságok, a habstabilitás és az állott aroma kialakulása.

A tojás korának meghatározására különböző módszereket dolgoztak ki, melyek közé tartozik a tojásfehérjeviszkozitás-teszt, a megvilágítási teszt („flash candling”), mely a tojássárgája alakját és helyzetét értékeli, a „lebegési” teszt, melynek során, ha a tojás a hideg vízben fennmarad a víz tetején, akkor régi, mert a kialakult légkamra a tojás sűrűségét csökkenti, a refrakciós index vagy a légkamra méretének meghatározása és az állott aroma kialakulásának érzékszervi vizsgálata. A tojás **minőségvesztése mérsékelhető** a vízvesztés csökkentésével, a tojáshéj bevonásával (olajozás) könnyű paraffinalapú ásványi olajjal, szabályozott légterű tárolással (CO₂- vagy nitrogén-atmoszférában) és alacsony hőmérséklettel. Hűtve tárolással -1,5 és 0 °C közötti hőmérsékleten, 85–90% relatív nedveségtartalom mellett az eltarthatóság 6–9 hónapig is növelhető. A mikrobiológiai romlás kimutatható, ha a tejsavtartalom nagyobb, mint 1 g/kg szárazanyag, a borostyánkősav-tartalom pedig nagyobb, mint 25 mg/kg szárazanyag. A megtermékenyített és a terméketlen tojások között nincs vagy minimális a tápértékbeli különbség, a termékenyítés ténye a 3-hidroxivajsav-koncentráció alapján mutatható ki, amely, ha nagyobb, mint 10 mg/kg, akkor a tojás termékenyített.

8.5. A tojásalapú készítmények jellemzői

Habképző képesség. Mind a tojásfehérje, mind a tojássárgája habot képez, melynek során a folyadék/levegő határfelület nagymértékben megnő, ennek során a fehérjék denaturálódnak és aggregátumokat képeznek, melyek magukba zárják a levegőt. **Tojásfehérje-proteinek habstabilizáló képessége** különböző. Az ovomucin filmet képez a folyadéklamella és a levegőbuborék között, a globulin pedig növeli a folyadék viszkozitását és csökkenti a felületi feszültséget, mely nagyon fontos a habképzési folyamat korai fázisában. A tojásfehérje **habképző tulajdonsága** objektív módon vizsgálható, mely a habterfogat és a habstabilitás (a habból eltávozó folyadék mennyisége adott idő alatt) mérésén alapul. A szárított tojásfehérje habképző képességének javítására savófehérjét, kazeint vagy szarvasmarha-szérumalbumint használnak, és esetenként részleges (enyhe) fehérje-

bontást is alkalmaznak, melynek során megtörténik a glikoproteinek oligoszacharidjainak részleges hidrolízise. A tojássárgája 0,1%-os jelenléte jelentősen csökkenti a habképződést, ami megakadályozza, hogy a tojásfehérjét sütőipari termékek, sütemények, kekszek lazítóanyagként eredményesen lehessen alkalmazni.

A **tojássárgájából** is verhető hab, mely hatszoros térfogatnöveléssel jár, és a hab stabil magas hőmérsékleten. A habverés optimális hőmérséklete 72 °C, ennél magasabb hőmérsékleten koaguláció lép fel. Alacsonyabb pH-n a koaguláció ecetsavval kivédhető, melynek alkalmazásával nagyon stabil szerkezetű szósók gyárthatók. Mind az egész tojás, mind a tojássárgája **emulgeáló hatású**, mely a fehérjéknek, a foszfolipideknek és az LDL-nek köszönhető. E tulajdonságot hasznosítják a krémszerű salátadressingek és a majonéz gyártása során. A tojásfehérjénél 62 °C-on, a tojássárgájánál pedig 65 °C-on következik be a **termikus koaguláció**, de amennyiben a tojás pH-ja magas, 11,9 felett a tojásfehérje szobahőmérsékleten is gélt képez. A tojástermékek koagulációs képessége nagyon fontos a technológia szempontjából, mert nagy mennyiségben használják élelmiszeripari kötőanyagként.

8.6. Szárított tojásalapú termékek

A szárított termékek előállításának lépései a fertőtlenítés, a feltörés, a héjelválasztás, esetleg a tojássárgája és fehérje elválasztása, a keverés (teljes tojás/tojásfehérje/tojássárgája), a tisztítás centrifugálással (szeparátor), a pasztőrözés és a csomagolás, vagy a szárítás és csomagolás. A koaguláció miatt a folyékony tojás előállítása során a pasztőrözés hőmérséklete alacsonyabb, mint amit a tejnél alkalmaznak: 64,5°C/6 perc teljes tojás esetén, 62°C/6 perc tojássárgája esetén, 52°C/7 perc tojásfehérje esetében. A cukrok mikrobiológiai fermentációja és a hőkezelés során lejátszódó reakciók nemkívánatos barna elszíneződést és kellemetlen aromaképződést okozhatnak, melynek során az aminokomponensek (fehérjék, foszfatidil-etanolamin) és a redukáló cukrok (glukóz) között játszódik le reakció.

A **tojásfehérje vagy a teljes tojás szárazanyag-tartalmának növelése** membránszűréssel vagy vákuum-filmbepárlással is megoldható. A tojássárgája viszonylag magas szárazanyag-tartalmú, ezért mindenfajta előzetes kezelés nélkül porlasztva szárítható. A tojásfehérje szárítása során a hőmérsékletet 45–50°C-ra emelik, a szárítást pedig nagy nyomású diszperzió formájában, 165°C-os levegőáramban végzik, melynek során a tojásfehérje 50–60°C-ra melegszik fel. Ezt követi a lassú hőmérséklet-csökkenés klimatizált kamrában, melynek során végbemegy az utópasztőrözés. **Fagyasztott tojásalapú termékek** előállításánál a technológia eleje hasonló az előbbiekhöz: fertőtlenítés, feltörés, héjelválasztás (tojássárgája és fehérje elválasztása), keverés (teljes tojás/tojásfehérje/tojássárgája), tisztítás centrifugálással (szeparátor), pasztőrözés, majd következik a gyors fagyasztás –40 °C-ra. A fagyasztott termék eltarthatósága (–15 és –18°C között) 12 hónap. A fagyasztás utáni kiolvadást követően a tojásfehérje gélszerű konzisztenciát vesz fel, ami miatt nehéz elegyíteni, ami gátolja a további felhasználást. A kiengedett teljes tojás esetében kisebb mértékben, de hasonló probléma léphet fel.

9. Növényi és állati eredetű zsiradékok

A növényi és állati eredetű zsiradékok **összetétele** változó. Jellemző rájuk, hogy főként változó zsírsavösszetételű trigliceridekből állnak, melyek mellett az egyéb összetevők, mintegy 3%-ban, az el nem szappanosítható frakcióban vannak. A különféle zsiradékok közül azok tekinthetők funkcionálisaknak, melyek **bővelkednek olyan esszenciális zsírsavakban, mint a linolsav, az arachidonsav, az eikozá-pentaénsav, a dokoza-pentaénsav vagy a dokoza-hexaénsav.** A linolsav kivételével az utóbbiak csak az állati eredetű zsiradékokban fordulnak elő, így az állati zsiradékok is lehetnek funkcionális élelmiszerek. A köznapi életben „zsír”-nak hívjuk azt, ami szobahőmérsékleten szilárd, és „olaj”-nak azt, ami szobahőmérsékleten folyadék. Sok zsiradék átmeneti fázisban van a folyadék és a szilárd halmazállapot között, így ez alapján a megkülönböztetésük nehéz. Általánosságban elmondható, hogy azok a lipidek, amelyek túlnyomó részben telítetlen zsírsavakat tartalmaznak, azok az olajok, amelyek telítetteket, azok a zsírok.

9.1. Növényi eredetű zsiradékok

A növényi eredetű zsiradékok a kinyerésükhöz szükséges technológiai folyamatok alapján lehetnek olajosmag-olajok, melyek nagyszámú forrásból származhatnak, és gyümölcsolajok, melyek esetében csak két forrásnak van gazdasági jelentősége. Az **olívaolajat** az olajfa (*Olea europaea sativa*) gyümölcspulpjából nyerik. A világ termelésének 90%-a a mediterrán régióból (Olaszország, Spanyolország, Görögország) származik. A hidegen préselt olajat szűz olajnak hívjuk, a melegen, 40 °C-on préseltet, melynél a préselést követően az olajpogácsát oldószerral extrahálják, „sansa” olajnak nevezik, mely a finomítást követően kevesebb mint 0,3% szabad zsírsavat tartalmaz. Az érzékszervi tulajdonságok és a szabadzsírsav-tartalom között szoros összefüggés van. Az extra szűz olívaolaj 0,8%-nál kevesebb szabad zsírsavat (FFA) tartalmaz, kellemes aromás ízű. A szűz olívaolaj 2%-nál kevesebb FFA-t tartalmaz, aromája kisebb intenzitású, míg a lampante olaj 2%-nál több FFA-t tartalmaz, lényegesen kevésbé aromás ízzel. A **pálmaolaj az olajpálma gyümölcse és húsa** felhasználásával készül, ami alapján megkülönböztetünk gyümölcshúsolajat és magolajat, melynek felhasználása az utóbbi időben növekvő tendenciát mutat. A feldolgozás menete a következő: gőzzel kezelés, melynek során az eredeti, magas lipázaktivitás lecsökken, és a gyümölcspulp elválasztható a magtól, a pulp préselése, a nyers olaj kinyerése, centrifugálás, forró vizes mosás és szárítás. A nyers olaj magas karotintartalmú, mely a sárgászöröses szín okozója. A finomított olaj szintelen, az eljárást fehérítésnek nevezik.

A **laurinsavban és mirisztinsavban gazdag olajok** közé tartoznak a **kókuszdió és a pálmamagolajok**, amelyek a csak növényi eredetű zsiradékokat tartalmazó margarínokban található meg. Jellemző rájuk, hogy szobahőmérsékleten szilárdak, a szájban olvadnak jelentős olvadáshő kíséretében, melynek következtében hűsítő hatást keltenek. Eltarthatóságukat a zsírsavösszetétel nagyban befolyásolja. Linolsav csak elhanyagolható mennyiségben van bennük, ezért az autooxidációs változások gyakorlatilag minimálisak.

Vizet jelentős mennyiségben tartalmazó élelmiszerekben fordulnak elő nagyobb mennyiségben, ezért előfordulhat mikrobiológiai romlásuk is, melynek során a C8–C12 zsírsavak felszabadulása és metil-keetonokká alakulása „parfümös jellegű avasodást” okozhat.

Palmitinsavban és sztearinsavban gazdag olajok a kakaóvaj és a kakaóvaj helyettesítő zsiradék. Olvadáspontjuk 30–40 °C, ezért viszonylag szilárdak. A **kakaóvaj** szűk olvadási tartománnyal rendelkezik, trigliceridjeik főleg palmitinsavat, olajsavat és sztearinsavat tartalmaznak. A triglicerideken belül az 1,3-dipalmito-2-olein 22%-ban, az 1-palmito-3-sztearo-2-olein 46%-ban, az 1,3-disztearo-2-olein pedig 31%-ban fordul elő. A kakaóvaj helyettesítése a triglicerid-összetételen alapul, ezért csak hasonló zsírsav- és triglicerid-tartalmú zsírok felelnek meg ennek a célnak. A **kakaóvaj** olvadása kellemes, hűsítő érzetet kelt a szájban, mely csupán néhány típusú trigliceridre jellemző. Ellenálló az autooxidációval és a mikrobiális romlással szemben is, ezért az édességiparban az egyik legdrágább összetevő.

A **palmitinsavban gazdag olajoknál** a besorolási kritérium, hogy legalább 10% palmitinsavat tartalmazzon. Idetartozik a **gyapotmagolaj**, mely nyersen sötétvörös, jellegzetes illatú, a mérgező, fenolos komponenst (gosszipol) tartalmazza, melyet finomításkor eltávolítanak belőle. A **gabonacsíra-olajok** közül a legfontosabb a **kukoricacsíra-olaj**, melyet saláta- és főzőolajként, margarin-alapanyagként és majonéz (krémes salátadressingek) készítésére használnak. A **búzacsíraolaj** nagy tokoferoltartalma miatt kiemelkedő tápértékű. Ázsiában jelentős népelelmészeti szerepet tölt be a **rízscsíraolaj**, Európában azonban nincs jelentősége. A **tökmagolajat** elsősorban Dél-Európában fogyasztják, de Magyarországon is reneszánszát éli. Barna színű, íze diójellegű, nagyon kellemes aromájú olaj.

A **kevés palmitinsavat, sok olajsavat és linolsavat tartalmazó olajok** közé számos fajtól származó nagyszámú olajtípus tartozik, melyek a margarinyártás fontos alapanyagai. Közülük is kiemelkedő jelentősége van a **napraforgónak**, mely Európa legnagyobb mennyiségben termesztett olajnövénye. A napraforgóolaj világossárga, enyhén aromás, melyet nyersen vagy finomított olajként sütésre használnak, és a margarinyártásnak is alapanyaga.

A **hüvelyesek olaja** közül a **szójababolaj** az egyik legnagyobb mennyiségben termelt növényi zsiradék. Finomított olaja világossárga, enyhén aromás; aromahibát okozhatnak az elágazó lánccú furán-zsírsavak, melyek fény jelenlétében gyorsan oxidálódnak intenzív aromaanyagok (3-metil-2,4-nonandion [MND] és diacetil) keletkezése közben, melyek „babszerű, szénához hasonlító, vajszerű” szagot adnak az olajnak. **Eltarthatósága parciális hidrogénezéssel javítható.** Ennek során az olvadási tartomány 22–28 °C-ról 36–43 °C-ra nő. A margarinyártás alapanyaga, melyet leggyakrabban sütőipari termékek készítése során használnak fel. Termesztésszelekcióval és genetikai tervezéssel ma már az igényeknek megfelelő zsírsavösszetételű szójabab-genotípusok állíthatók elő. A **kevés linolsavat és sok olajsavat tartalmazó genotípusok** lényegesen kevésbé hajlamosak az oxidációra, ezért nem szükséges a részleges hidrogénezés alkalmazása. A **kevés palmitinsavat és telített zsírsavat tartalmazó genotípusoknál** az egyes telített zsírsavak (pl. palmitinsav) hozzájárulhatnak az LDL-koleszterin-szint növeléséhez, ezért ezek termelése csökkenő tendenciát mutat.

A **földimogyoró-olaj** jellegzetes zsírsavai az arahidinsav (20:0), az eikozénsav (20:1), a behénsav (22:0), az erukasav (22:1) és a lignocerin-sav (24:0). A zsírsavösszetétel nagyban

függ a termesztés helyétől. Az afrikai eredetű (Szenegál vagy Nigéria) olaj 25% linolsavat és 55% olajsavat, a dél-amerikai eredetű pedig 41% olajsavat és 37% linolsavat tartalmaz. A földimogyoróból és annak olajából földimogyoróvaj, egy kenhető, pasztaállagú nagyon keresett termék készíthető, melynek összetevői a pörkölt és őrölt földimogyoró, földimogyoró-olaj, esetenként hidrogénezett földimogyoró-olaj.

A **repceolaj** sok linolénsavat tartalmaz, ezért hajlamos az autooxidációra. Hidrogénezéssel stabilitása nő, és olvadási sajátságai a kókuszdióolajéhoz válnak hasonlóvá. A hagyományos káposztarepce- és réparepcefajták 45–50% erukasavat tartalmaznak, melyek rendszeres fogyasztása szívizom-károsodást okozhat. Ennek megakadályozására természetik a „zéró” erukasav-tartalmú fajtákat, melyben az erukasav (C22:1) mennyisége kisebb, mint 5%, és a „dupla nullás” fajtákat, amelyek erukasav- és goitrogénanyag-tartalma rendkívül alacsony. Közülük is kiemelkedő minőségű a Canola olaj, mely a „**Canadian oil, low acid**” kifejezés rövidítéséből alkotott márkajelzés. A repcében jelentős mennyiségben megtalálhatók a **mustárolaj-glikozidok** (glükozinolátok), amelyek izotiociansav-észterekké hidrolizálva (R-N=C=S) a mustárolajok alkotórészei. Izomerizációval tiocianátokká (tiociansavak (H-S-CN) alakulnak át, melyek észterei (X-S-C) a rodanidok. Ezek illékony, olajban oldódó, egészségkárosító (goitrogén) hatású vegyületek, melyek szubtoxikus dózisban rákellenes védőhatásúak, azonban erről nincs hatósági megerősítés. Tönkreteszik az olaj aromáját, és a parciális hidrogénezésnél Ni-katalizátor-mérgek.

A **szezámolaj** jelentős mennyiségű tokoferolt tartalmaz, fenolos antioxidáns komponense a szezámol, amely a szezámolin hidrolízisével jön létre. A **sáfrányos szeklice** (*Carthamus tinctorius*, kerti pórsáfrány) bogáncsszerű növény, melynek fő termőterülete Észak-Amerikában és Indiában van. Az újabb fajták olaja 80% olajsavat és 15% linolsavat tartalmaz. A **lenmagolaj** a len magterméséből nyerhető ki. Jellemző rá a magas linolénsav-tartalom, ezért az autooxidáció folyamán keserű anyagok keletkezése közben könnyen oxidálódik. Az autooxidáció során polimerizációs folyamatok is lezajlanak, ezért ez a „gyorsan száradó olaj” az olajfestékek alapanyaga. Étkezési célokra a hidegen préselt olaját hasznosítják.

9.2. Állati eredetű zsiradékok

Az állati eredetű zsiradékok fő zsírsavai az olajsav, a sztearinsav és a palmitinsav, melyek nagyon eltérő koncentrációban fordulnak elő a zsiradékokban. Monogasztrikus állatoknál a zsírsavösszetétel takarmányozással befolyásolható, de hatással van rá a faj és a fajta is. Kérődzőknél a bendőben fejlődő hidrogén a telítetlen kötéseket telíti, tehát itt lényegesen nagyobb a telített zsírsavak részaránya. A zsír a háziállatok zsírdepóiban és a különféle szervek körül található mint bőr alatti (szubkután) zsír, és az egyes szerveket (emésztőrendszer, vese) burkoló zsírréteg.

A tejszír összetételéről és hatásáról az emberi szervezetre ebben a fejezetben nem teszünk említést, mert azt a korábbi fejezetek során, a tej funkcionális jellegének tárgyalásakor már megtettük. A **marhafaggyú** a takarmányeredetű karotinoid-tartalom miatt világossárga színű, omlós állagú, törékeny konzisztenciájú anyag, mely 45–50 °C között olvad

meg. Zsírösszetételét a korábban említett okok miatt a takarmányozás alig befolyásolja. A **prémium minőségű faggyú** („premier jus”) a marhafaggyúból előállított termék. Előállításánál a frissen vágott, válogatott húsnyesedékből a faggyút 50–55 °C-os vízben kiolvasztják. A lipolitikus aktivitás miatt maximum 0,65% szabad zsírsavat tartalmazhat. A prémium marhafaggyú 30–34 °C-ra történő melegítése két frakciót eredményez. A folyadékállapotú **oleomargarin, vagy más néven** lágy zsír az olvasztott vajhoz hasonló konzisztenciájú, melyet a margarin- és a sütőipar használ fel. Az **oleosztearin** (szilárd, préselt faggyú) magas dermedéspontú (50–56 °C), melyet főként sütőipari zsiradékok gyártására használnak fel. A 60–65 °C-os vízben kiolvasztott **étkezési marhafaggyú** („secunda beef fat”) tipikus marhafaggyú-illatú és -ízű zsiradék, melynek szabadzsírsav-tartalma maximum 1,5%. Az ennél rosszabb minőségű faggyú ipari felhasználásra kerül, melynek során pl. szappant és mosószert gyártanak belőle.

A **sertészsír** származása szerint lehet hasúri zsír, egyéb helyekről származó nyesedékszír és hátszalonnaszír, mely a szalonnagyártás terméke. Szemcsés, olajszerű állagú, a faggyú és a vaj után a leggyakrabban fogyasztott állati zsiradék, melynek tulajdonságait jelentős mértékben befolyásolja a fajta és a takarmányozás. A **neutrális sertészsír** a kereskedelmi forgalomban legnagyobb mennyiségben eladott termék, mely egyben a legmagasabb minőségi kategóriát is jelenti. Kizárólag a hasüregi nyesedékből származó, a hasüregi bőr alatti (szubkután) zsír. Jellemző rá a lágy aroma és a fehér szín. Az egyéb szerveket burkoló és a hátszalonnából származó zsírt gőzzel olvasztják ki a szövetekből. A szervezetben szétzórva elhelyezkedő zsírszövetből származó sertészsírt túlnyomásos gőzzel 120–130 °C-on, autoklávban olvasztják ki. A sertészsír kevesebb SSS típusú és több SUU, USU és UUU típusú trigliceridet tartalmaz, mint a marhafaggyú (S = telített zsírsavszélet, U = telítetlen zsírsavszélet a trigliceridben).

A telítetlen zsírsavak jelentős mennyisége miatt a **sertészsír dermedése** alacsonyabb hőmérsékleten következik be, és a kevert trigliceridek miatt a fázisátmenet szélesebb hőmérséklet-tartományt ölel fel, és eltarthatósági ideje is rövidebb, mint a marhafaggyúé. A marhafaggyúval szemben a telített zsírsavakat főként az sn-2 helyzetben tartalmazza (a zsírsavak a glicerin középső OH-csoportjával képeznek észterkötést), amely tulajdonság felhasználható a sertészsír kimutatása, exportellenőrzés céljából, az iszlám vallású országokba történő szállítás előtt. A sertés takarmánya a zsírösszetételt jelentősen befolyásolja.

9.3. A tengeri állatokból származó zsiradékok

A tengeri állatokból származó zsiradékok forrásai a tengeri emlősök (pl. bálnák), amelyeket egyes nemzetek még mindig vadásznak, és a heringek családjába tartozó halak. Ezek a zsírok nagymértékben telítetlen, 4–6 allil-csoportot tartalmazó zsírsavak. Közéjük tartoznak az arachidonsav, C20:4 (6, 9, 12, 15), az eikoza-pentaénsav, C20:5 (5, 8, 11, 14, 17), a dokoza-pentaénsav, C22:5 (7, 10, 13, 16, 19) és a dokoza-hexaénsav 22:6 (4, 7, 10, 13, 16, 19). A tengeri állatokból származó zsiradékok közvetlenül nem hasznosíthatók étkezési célra, az esszenciális zsírsavak jelentős mennyisége miatt viszont gyógyhatású készítmények alapanyagai. Étkezési célokra csak a kettős kötések telítése és finomítás után tudják használni.

9.4. A zsírok és olajok minőségét befolyásoló tényezők

Első számú minőséget befolyásoló tulajdonság a **lipolízis mértéke**, mely megnöveli a szabadzsírsav-tartalmat (FFA-tartalom) vagy a savszámot. Ha az FFA-k mennyisége több, mint 1%, finomítás nélküli, nyers olajjal van dolgunk, vagy a faggyú feltételezhetően romlott. Kivételt képez az olívaolaj, amely még 3%-os FFA-tartalomnál is fogyasztásra alkalmas, azonban ha az FFA-k mennyisége kevesebb, mint 0,1%, akkor finomított olajjal vagy zsírral van dolgunk. **Érzékszervi szempontból fontos komponensek a 14 szénatomnál rövidebb**, alacsony móltömegű acilmaradékból felépülő zsírok, mint amilyenek pl. a tejszír, a kókuszdió- és a pálmagolaj, ahol nincs összefüggés a szabad zsírsavak szintje és a minőségromlás észlelése között. A szabad zsírsavak elsősorban nem rövid szénláncúak a zsiradékokban. Az **oxidatív bomlás** termékei a telítetlen acilmaradékok autooxidációját követő gyors bomlás során jönnek létre. Ha a lipidperoxidációt detektáljuk biológiai rendszerekben, akkor a peroxidszám az oxidatív bomlásra vonatkozik. A meghatározás során a hidroperoxid-csoportot HI-dal (vagy Fe^{2+} -ionokkal) redukálják, majd a felszabadult jódodometriás titrálással meghatározzák, melyből a peroxidszám számolható.

A **hidroperoxidok aromaanyagga bomlását** sok tényező befolyásolja, ezért nincs közvetlen összefüggés a peroxidszám és az aromahibák, pl. az avas íz között. Az aromadefektusokért felelősek az avas szag, melyet a benzidin, az anizidin vagy heptanal okoznak, de a bomlás során keletkezhetnek még aroma nélküli oxo-acilgliceridek vagy oxosavak is. Nem ismert az aromaaktív és az érzetet nem kiváltó karbonilkomponensek aránya, ezért a karbonilérték és az aromahibák közötti kapcsolat esetleges. Az illékony karbonilkomponensek mennyiségének meghatározása a tiobarbitursav-tesztel (TBA) lehetséges, mely reakció igen kedvelt módszer, de nem specifikus, mert a lipidperoxidációs folyamat számtalan elsődleges és másodlagos termékéből keletkezhet malonaldehid, amely aztán reagál a TBA-tesztben. Számottevő mennyiségű olaj- és linolsavat tartalmazó élelmiszer esetében a Fe^{2+} -teszt sokkal érzékenyebb, mint a TBA-teszt. Az egyedi karbonilkomponensek meghatározhatók gázkromatográfias mérésel, és ezzel párhuzamosan érzékszervi bírálattal, és így az aromahibát okozó szaganyagok felderítése és mérése is megvalósítható. A főtt hús túlfőzött jellegéért felelős molekulák közül a hexanal a legjelentősebb off-aroma. A repceolaj avas aromadefektusát elsősorban az illékony hidroperoxidok [1-oktén-3-hidroperoxid, (Z)-1,5-octadién-3-hidroperoxid], valamint a (Z)-2-nonenal okozzák.

Az **eltarthatóság becslésére alkalmazható tesztek** az oxidációra való hajlam felmérését célozzák. A különböző mérések során a zsír vagy olaj standard körülmények között gyorsított oxidációnak van kitéve. A Schaal-teszt szerint a zsiradékot 60 °C-on hűn tartják, a Swift stabilitási teszt esetében pedig 97,8 °C-on való hűn tartást alkalmaznak aerob körülmények között. Az oxidáció mértékét meghatározhatják érzékszervi bírálattal és a peroxidszám-meghatározással is. Szoros összefüggést találtak az indukciós periódus hossza és a termék eltarthatósági ideje között. A **sütőolajok hőstabilitását** a petroléterben oldhatatlan oxidált zsírsavak mennyiségének meghatározásával végzik, melynek során a sütőolaj poláris és apoláris frakcióra bontása történik oszlopkromatográfiával. A **füstölési pont** az a hőmérséklet, amelyen levegő jelenlétében a trigliceridek bomlani kezdenek. A bomlástermékek jelenlétében ez az érték csökken, így a füstölési pont normál tartománya 200–230 °C, amely, ha 170 °C alá csökken, akkor a zsiradék romlottnak tekinthető.

10. A gabona, zöldség és gyümölcs mint funkcionális élelmiszerek

10.1. Gabonafélék

A fő gabonafélék talán az emberiség legfontosabb élelmiszerforrásai. Közéjük tartozik a búza, a rozs, a rizs, az árpa, a köles és a zab, melyek közül a búza és a rozs alkalmas kenyérfőzésre. Az ipari országokban a kenyérfogyasztásból eredő tápanyagellátás fedezi a napi szénhidrátszükséglet 50%-át, a fehérjeigény mintegy egyharmadát, a B-vitamin-szükséglet 50–60%-át, és fontos ásványianyag- és nyomelemforrás is.

10.2. A gabonafélék összetétele

10.2.1. A gabonafélék szénhidráttartalma

A **keményítő** a gabonafélék fő tároló szénhidrátja, mely a szemtermés endospermiumának sejtjeiben fordul elő. A keményítőszemcsék mérete és alakja eltérő a különböző gabonafajoknál. A poliszacharid molekulák sugárirányban rendeződnek, melynek amorf rétege főleg amilózból, a szemikristályos réteg pedig amilopektinből áll. Általánosságban a gabonakeményítők 25% amilózt és 75% amilopektint tartalmaznak, melyekre jellemző, hogy jellegzetes hőmérséklet-tartományban duzzadásuk, zselatinizációjuk következik be. A viaszos kukoricafajták nagy amilopektin-tartalmuk miatt melegítés hatására határozott duzzadást mutatnak, míg az amilózból gazdag egyéb fajták csak kismértékben duzzadnak.

A gabonafélék **egyéb szénhidrátjai** a szemtermés külső rétegében fordulnak inkább elő, és elsősorban a sejtfalalkotók közé tartoznak. Kis mennyiségben vannak jelen az endospermiumban, de mennyiségük a kiörlési fok növelésével nő. Közéjük tartoznak a pentozánok, a cellulóz, a β -glükánok és a glükofruktánok. A diétás rost táplálkozási és fiziológiai szempontból a keményítőn és a ligninen kívüli oldható és nem oldható szénhidrátok összességét jelenti, melyek legfontosabb forrásai a gabonafélék és a hüvelyesek.

A **rozsliszt** 6–8%, a búzaliszt 1,5–2,5% **pentozánokat** tartalmaz. A vízzel extrahálható vízoldható pentozánok 15–20-szor több vizet kötnek meg, mint a vízoldható fehérjék, ezért nagy viszkozitású oldatokat képezhetnek. A lineáris arabinoxilán-lánc D-xilopiranoz egységekből felépülő, vízzel extrahálható poliszacharid (Ws-AX). Ebbe a csoportba tartozik még a nagymértékben elágazó arabinogalaktán peptid. A vízben nem oldódó pentozánok közé tartozik az arabinoxilán egy része (Wi-AX). A Ws-AX vízoldható arabinoxilán megnöveli a tészta vízmegkötő képességét, növeli a viszkozitást és a gázbuborékok stabilitását. A Wi-AX (vízben nem oldható arabinoxilán) kedvezőtlen hatása, hogy fizikailag gátolja a gluténképződést és destabilizálja a gázbuborékokat. Endoxilanázok főként a Wi-AX-t hidrolizálják, javítva ezzel a sütési eredményt. A búzalisztben endoxilanáz inhibitorok is vannak, melyek a liszthez adott endoxilanázok aktivitását gátolják. Ennek kivédésére olyan molekuláris mérnöki módszerekkel előállított mikrobaenzimeket kezd-

tek el alkalmazni, melyekre nem hatnak ezek az inhibitorok. A **rozszban** a pentozánok vízben nem oldható része víz hatására rendkívül nagymértékben megduzzad, amely felelős a tézsta reológiai sajátosságaiért, a rozslisztből készült termékek sütési tulajdonságaiért és a sütőipari termékeknel javítja a bélzet léduóságát és rághatóságát. A rozslisztban az optimális keményítő : pentozán arány 16 : 1.

Az árpa 3–7%, a zab 3,5–4,9%, a búza és a rozsz szemtermése 0,5–2% **β -glükánt** tartalmaz, melyek D-glükopiranoz egységekből β -1,3 és β -1,4 kötésekkel kapcsolódó lineáris poliszacharidok. Nyálkás, viszkózus állagú anyagok, amelyek alkalmasak vizes oldatok viszkozitásának növelésére. A sörgyártásnál a β -glükánok problémát jelenthetnek a sörlé tisztításánál (cefreszúrás).

10.2.2. A gabonafélék fehérjéi

A gabonafélék **aminosav-összetételére** jellemző a kis lizin- és metionintartalom, és különösen kevés metionin van a búzában, rozszban, árpában, zabban és a kukoricában. Próbálkoztak ugyan az esszenciális aminosav-tartalom mennyiségének növelésével, több Lys-t és Met-t tartalmazó árpa- és kukoricafajták előállításával, azonban az egyéb tulajdonságok megváltozása miatt a nemesítés nem járt a kívánt sikerrel. A **gabonafélék, Osborne módszere szerint**, a fehérjék eltérő oldhatóságát alapul véve, a lisztminta szekvenciális extrakciójával a következő **frakciókra** oszthatók. Az albuminok vízoldhatóak, a globulinok 0,4 mol/l NaCl-oldatban oldódnak, a prolaminok oldhatók 70%-os vizes etanolelegyenben, a glutelinek pedig a szekvenciális extrakció után a lisztből visszamaradó frakciót alkotják. A glutelineket 60%-os vizes 1-propanol-elegyenben 60°C-on oldva a nagy móltömegű (HMW) alfrakció kicsapódik, a kis móltömegű (LMW) alfrakció viszont oldatban marad. Az albumin- és globulinfrakciókba az enzimek sorolhatók, a prolaminok és a glutelinek pedig a tárolófehérjék osztályát alkotják.

Az Osborne-frakciók mennyisége a különböző gabonafélékben nagyon eltérő lehet. A búzában az albuminfrakció az összes fehérje 14,7%-át, a globulin 7,0%-át, a prolamin 32,6%-át, a glutelin pedig 45,7%-át teszi ki. Ugyanezen értékek a rozsznál 44,4; 10,2; 20,9 és 24,5%, az árpánál pedig 12,1; 8,4; 25,0 és 54,5%. Lényeges különbségek vannak a zab, a rizs, a köles és a kukorica fehérjefrakcióiban is. A búza, a rozsz és az árpa fehérjefrakciói hasonló aminosav-összetételűek, ezért az egyes gabonafajok botanikai származása igazán csak a prolaminok aminosav-összetételében tükröződik. A fehérjék közti különbségek az **egyes Osborne-frakciók fajfüggő elnevezésében** is tükröződik. A búzában az albumin neve leukozin, a globuliné edesztin, a prolaminé gliadin, a gluteliné pedig glutenin. A rozsz prolaminját szekalinnak, az árpáét aveninnek, a zabét hordeinnek, a rizsét zeinnek, a kukoricáét pedig kafirinnek hívják, és hasonló elnevezésbeli különbségek vannak a többi fehérjefrakcióban is.

A fehérjefrakciók közül a prolamin okozza a **cöliákiát vagy lisztérzékenységet**, amely a genetikailag fogékony személyek minden korosztályát érintheti a csecsemőktől a kamaszokon át a felnőttekig. A betegséget a búza, a rozsz és az árpa prolaminfrakciója okozhatja, míg a zab szerepe még bizonytalan. A betegség következtében a bélnyálkahártya (mukóza) bélbolyhai károsodnak, majd elpusztulnak, az epithelium sejtjei degeneratív károsodást mutatnak, ezért a tápanyagfelszívási funkció komoly zavart szenved. A cöliákia

megelőzhető a rizs, a köles és a kukorica fogyasztásával, a nevezett fehérjék kiiktatásával az étrendből.

A kenyér és a tészta gyártása során a glutén képződése a legfontosabb technológiai folyamat. A búzaliszt vízhozzáadással a dagasztás során viszkoelasztikus kohézív tészta-vá áll össze, melyben a glutén felelős a tészta plasztikus tulajdonságáért és stabilitásáért. A **glutén** 90% fehérjéből, 8% lipidből, melyek lipoprotein komplexet alkotnak egyes gluténfehérjékkel, és 2% szénhidrátból áll, melyek jobbra vízoldékony pentozánok, amelyek jelentős mennyiségű vizet kötnek meg. A gluténfehérjék a hozzájuk kapcsolódó lipidekkel felelősek a tészta kohézív és viszkoelasztikus sajátságaiért. A **reológiai tulajdonságok** közé tartoznak a tészta gáztartó képessége a kelesztés során, és a termék porózus, szivacszerű bélzetének elasztikus tulajdonságai. A **rozs- és egyéb gabonaféléknél** nem képződik glutén, a pentozánok és egyes fehérjék a savanyú közegben megduzzadnak, így hozzájárulnak a gázmegekötő képességhez, és befolyásolják a sütési minőséget.

10.2.2.1. A búzaglutén fehérjekomponensei és szerkezete

A hidratált frakció hatása a tészta reológiai sajátságaira az alábbiak: A búzaprolaminok (gliadin) a viszkozitásért, a gluteninek pedig a tészta szilárdságaért és elasztikus tulajdonságaért felelősek. Molekulán belüli diszulfidhidakat csak az α -gliadin és a γ -gliadin tartalmaz. A gluteninek HMW (nagy móltömegű) és LMW (kis móltömegű) alegységei fehérjeaggregátumokat képeznek, melyeket (többek közt) a molekulák közti hidrogénhidkötések és hidrofób kölcsönhatások tartanak össze. **Az egyes gluténfehérjék hozzájárulása a sütési minőséghez különböző.** A gluténfehérjék szerkezete és mennyisége változhat az egyes búzafajtáknál, ezért eltérőek a tésztaképződési és sütési jellemzők. A gluténfehérjék értékelése azon az alapon történik, hogy milyen mértékben alkalmas a fehérje arra, hogy nagymolekulájú fehérjeaggregátumok képződjenek belőlük.

Egymással ellentétes hatású folyamatok a tésztaképződés és a gluténkialakulás fázisában a láncképződés és a láncszakadás. Nagy tészta- és gluténszilárdság akkor érhető el, ha elégséges mennyiségű polimerizációra alkalmas gluténfehérje (x típusú, azaz 4 ciszteinil-oldallancot tartalmazó HMW-alegység, és megfelelő mennyiségű LMW-alegység) van jelen. Kedvező, ha a lehetséges legkisebb mennyiségben vannak jelen a láncképződést megszakító anyagok, mint amilyenek az alacsony móltömegű tiolkomponensek, a páratlan számú ciszteinil-oldallancot tartalmazó gliadinok és az y típusú, azaz 7 ciszteinil-oldallancot tartalmazó HMW-alegységek.

10.2.3. A gabonák lipidtartalma

A gabonamagvak viszonylag kis mennyiségű lipidet tartalmaznak, de a különbségek az egyes gabonafajták között jelentősek lehetnek. A zab endosperm sejtjei 6–8%; a búzáé 1,6% lipidet tartalmaznak. A lipidek főként a csírarészben tárolódnak, ezért az olajat is a csíráztatást követően nyerik ki. Az aleuronrétegben is számottevő a lipidek mennyisége. A gabonafélék lipidjeinek zsírsavösszetételében nincs jelentős különbség, a zsírsavak között a linsav dominál. A búzaliszt lipidtartalma liszt típusától függően 1,5–2,5%, melyek nagymértékben befolyásolják a sütési minőséget. A keményítőhöz nem kapcsolódó lipidek a liszt lipidállományának 75%-át adják, melyek közé tartoznak a trigliceridek és a

digalaktozil-diacil-gliceridek. A keményítővel asszociátumokat képező lipidek többnyire lizofoszfátidok, míg a keményítőhöz nem kapcsolódó lipidek a tészta reológiai tulajdonságait befolyásolják.

A szabad, keményítőhöz nem kapcsolódó lipidek az apoláros lipidek 90, a poláros lipidek 20%-a, melyek a tésztaképződés során aggregátumokat képeznek a gluténnal. A dagasztás során a glikolipidek teljesen hozzákapcsolódnak a gluténhoz, míg az egyéb lipidfrakcióknak csak 70–80%-a kötődik meg. A trigliceridek megkötésének mértéke a tésztakezeléstől függ, melyet befolyásol az intenzív levegőztetés és lipoxigenázadagolás. A poláris lipidek előnyös hatást gyakorolnak a tészta gázmegkötő képességére, és egy minimumértéket követően a sütési térfogatra.

A **tesztaképződés** során a lipidek aggregátumokat képeznek a gluténnal. A **dagasztás során** a glikolipidek teljesen hozzákapcsolódnak a gluténhoz, míg az egyéb lipidfrakcióknak csak 70–80%-a kötődik meg, melynek mértéke a tésztakezeléstől, az intenzív levegőztetéstől és a lipoxigenázadagolástól függ. A **poláros lipidek előnyös hatást gyakorolnak** a tészta gázmegkötő képességére és a sütési térfogatra. A **szabad, keményítőhöz nem kapcsolódó lipidek hatását elemezve a zsirmentes búzalisztből készült kenyér sütési tulajdonságára** elmondható, hogy 30 g lisztre számolva a 250 mg összes lipid (140 cm^3) és a 100 mg poláros lipid (160 cm^3) adja a legkisebb cipótérfogatot, míg az apoláros lipidek mennyiségének növekedésével a térfogat 180 cm^3 -ről 150 cm^3 -re csökken. A **poláros lipidek tésztaminőségre gyakorolt pozitív hatásának lehetséges magyarázatai** a következők: A poláros lipidek a gáz/folyadék határretegben feldúsulva stabilizálják a gázbuborékokat, nem engedik azokat összeolvadni, valamint a poláros lipidek kettős rétege összetartja, mintegy „tömíti” a fehérjefilmen a dagasztás során kialakuló pórusokat. A nem poláros lipidek a legtöbb búzafajta esetében viszont rontják a sütési eredményt.

10.3. A gabonafélék feldolgoása

10.3.1. A gabonafélék feldolgozásában szerepet játszó enzimek

A legfontosabb enzimek közé tartoznak a búza és a rozs α - és β -amilázai, melyeknek optimális aktivitása szükséges a tésztaképződéshez. A búzánál az aktivitás minimális az érett magokban, míg a rozs esetében nincs kihangsúlyozott nyugalmi állapot. A kedvezőtlen betakarítási körülmények (magas hőmérséklet, nagy nedvességtartalom) idő előtti csírázáshoz („sprouting”) vezet, mely kívülről nem látható. Ennek során az α -amiláz-aktivitás megnő, nagy fokú keményítőbomlás következik be a sütési folyamat során, ami kenyérhibákhoz vezethet.

A **lipázok hatására** a lisztártolás során a szabad zsírsavak mennyisége megnő. A liszt-készítés során a búza lipáz enzimje a korpában dúsul fel, ezért felértékelődik a lisztben jelen lévő mikrobákból származó lipáz hatása. A nyugalmi állapotban lévő magvakban a lipáz aktivitása alacsony, mely alól kivétel az árpa, mely jelentős lipázszinttel bír. Az árpa szemtermésének aprítása hatására a lipáz aktivitása megnő, a linolsav felszabadul az acil-lipidekből, a lipoxigenáz és a hidroperoxidáz enzimek hatására hidroxizsírsavak keletkeznek, és a linolsav átalakulása során off-aromák képződnek. Hőkezeléssel a lipázok inaktíválódnak, így a minőségromlás megelőzhető.

A gabonafélék fitinsav (fitát, inozitol-hexafoszfát)-tartalma mintegy 1%, amely a gabonában lévő foszfor mintegy 70%-át megköti. A fitinsav főként az aleuronrétegben fordul elő, melynek mennyisége a lisztben a kiörlési foktól függ. A fitinsavat a **fitáz** enzim hidrolizálja. A **fitát részleges hidrolízise** inozitol-tetra- és -trifoszfátot eredményezhet, mely táplálkozásfiziológiai szempontból kívánatos, mert a kevésbé foszforilált inozitok nem képeznek olyan stabil komplexet a kationokkal, mint a fitát, így a cink-, a vas-, a kalcium- és a magnéziumionok felszívódása nem gátolt, de táplálkozási szempontból mutatják a fitát pozitív hatásait. A tésztaélesztés során a fitát egy része hidrolizál a gabonaeredetű, ill. a mikrobaeredetű (pl. élesztő) fitáz hatására. A fehér kenyér egy óráig tartó sütése során a fitát 85–90%-a lebomlik, míg a teljes kiörlésű rozskenyérben csak 25–35%-a alakul át.

A **lipoxigenázok (LOX)** működése során a gabonafélékben a linolsavból 9-hidroperoxi-zsírsavak, a rozs lipoxigenáza hatására pedig 13-hidroperoxi-zsírsavak keletkeznek. A búzalisztben található lipoxigenáz specifikusan reagáló LOX, melynek hatására a karotinoidok lassú kooxidáció során átalakulnak, és a tésztafélék sárgás színe fakul, ezért a tésztagyártás során a búza-lipoxigenázt inaktíválni kell. Főként a magok külső rétegében található **polifenol-oxidázok** a teljes kiörlésű lisztek barnulását okozhatják. A **peroxidázok és katalázok** az aszkorbinsav nem enzimikus oxidációját felgyorsítják, a hemkatalízis során a dehidroforma válik dominánssá, így mindkét enzim elősegíti az aszkorbinsav lisztjavító hatását. A **glutathion-dehidrogenáz** H-akceptor, dehidro-aszkorbinsav jelenlétében elősegíti a glutathion (GSH) oxidációját. A búzalisztben viszonylag nagy aktivitású enzim a dehidroaszkorbinsav négy diasztereoizomerjét eltérő sebességgel alakítja át.

10.3.2. A búzaliszt tiolkomponensei

A **búza szabad állapotú tiolkomponensei**, a glutathion (G-SH) a csírában és az aleuronrétegben található, ezért koncentrációja a kiörlési fok növekedésével nő. Idetartozik még a szabad cisztein is (C-SH), mely páratlan szulfhidril-csoportja folytán rontja a tészta minőségét. **Oxidált formájúak** a G-S-S-G és a cisztin (C-S-S-C), **fehérjéhez kötött formájú** pedig a G-S-S-P és a C-S-S-P, ahol a C a ciszteint, a P pedig a fehérjét jelenti. A G-S-S-P és a C-S-S-P redukciója során a G-SH és a C-SH szabadul fel. A tésztaélesztés során a G-SH nagyon gyorsan reagál a P-S-S-P lisztfehérjékkel, és diszulfidhíd-kicserélődés megy végbe az alábbiak szerint: $G-SH + P-S-S-P \rightarrow G-S-S-P + PSH$. A nagy móltömegű gluténfehérjék hasítása miatt a tészta viszkozitása csökken, a molekulák közti diszulfidhidak hasítása pedig a glutén és a tészta szerkezete gyengülését okozza.

10.3.3. Sütési próbák

A sütési próbák során a kisült késztermék térfogatát, alakját, a bélzet szerkezetét és elasztikusságát, valamint a termék ízét vizsgáljuk. A próba elvégzése és kiértékelése standardizált körülmények között történik, melynek során azonos az összemérés minden egyes termékre. A **sütési minőség adalékokkal befolyásolható**. A gyártás legtöbbször nagy tételben, nagy fokú automatizálás mellett történik, mert az előállítás így gazdaságosabb, de az alapanyag minőségét így is azonos szinten kell tartani. Az **adalékanyagok** hozzáadásának célja a liszt tulajdonságainak módosítása úgy, hogy az összhangban legyen a gyártási folyamatnál megvalósítandó céllal, a rövid tésztaélesztési idővel, az alacsony energiafelhasználással, de biztosítsa a termék előírásoknak megfelelő tulajdonságait.

A gyenge sikerminőségű lisztek javítására aszkorbinsavat, bromátok alkálifémsóit és enzimaktivitással bíró szójalisztet használnak. Ezek az adalékanyagok növelik a tészta nyújtással szembeni ellenállását, a dagaszthatóságot, javul a fermentáció, megnő a sütési térfogat, és a bélzetszerkezet is javul. Cisztein vagy proteinázok hozzáadása a fentiekkel ellentétes hatást vált ki, ugyanis gyengül a siker, lágyabb lesz a tészta, ami előnyös is lehet a kisebb energiaszükséglet miatt pl. a süteménygyártásnál. Az adalékanyagok, emulgeálószeres, sütőipari zsiradék, keményítőszirupok, tejjpor, szójaliszt, só, amiláz- és proteinázkészítmények módosítják a tészta reológiai tulajdonságait és a sütőipari késztermékek minőségét.

10.3.4. Az aszkorbinsav hatása a tésztaképzésre, búzaliszt esetében

Tésztaképzéskor a redukált glutation és a gluténfehérjék között SH/SS kicserélődése megy végbe, melynek során a gluténfehérjék depolimerizálódnak, és a siker meggyengül. Oxigén hatására a tésztában az aszkorbinsav az aszkorbinsav-oxidáz, a Me^{n+} , a hemtartalmú komponensek, a peroxidáz és a kataláz együttes hatására dehidroaszkorbinsavvá oxidálódik. Az endogén eredetű glutation a dehidroaszkorbinsavat aszkorbinsavvá redukálja, a dehidroaszkorbinsav elvonja a glutationt, a gluténfehérjékkel kevesebb SH/SS-kicserélődés megy végbe. A folyamatot a glutation-dehidrogenáz (GSH-DH) enzim katalizálja. Az előző mechanizmus értelmében a dagasztás módja (intenzitása) a levegőből felvett oxigén mennyisége szerint befolyásolja a tészta minőségét.

10.3.5. A lipoxigenáz-aktivitást mutató liszt adagolásának hatása a búzalisztre

Szójaliszt-hozzáadás hatására javulnak a tészta reológiai tulajdonságai, megnő a tészta stabilitása, dagasztáskor nem lágyul el hamar, így növekedhet a kenyér térfogata. Az eljárás csak a nagy teljesítményű dagasztógépeknél hatékony a levegő (oxigén) intenzív bedolgozása miatt. A másik hatás a karotinoid pigmentek kiféhéredése, ami a fehér kenyér esetében nem jelent problémát, a több mint 1% (lipoxigenáz-aktivitással bíró) szójaliszt azonban off-aromák kialakulásához vezethet.

10.3.6. Ciszteinadagolás hatása a búzalisztre

A cisztein- és a gluteninfrakció között SH/SS-kicserélődés megy végbe, melynek során a glutén ellágyul, a tészta nyújtással szembeni ellenállása csökken, a nyújthatóság nő, a tésztaképződési idő csökken és a tészta stabilitása is csökken. Alkalmazható nagy sikértartalmú liszteknel, ahol egy optimális ciszteinszinttel jelentős sütési térfogat-növekedést lehet elérni, mert a gáztartó képesség megnő, a bélzet szivacsos szerkezete pedig javul.

10.3.7. Az α -amiláz adagolásának hatása a búzalisztre

A nyugalmi állapotú magvakból származó lisztben kis mennyiségű, élesztő által is metabolizálható cukor található, ami az alacsony α -amiláz-aktivitás következménye. Amiláz tartalmú készítmények hatására – malátaliszt/mikrobiális eredetű készítmények – a keményítő fermentálható, maltózá bomlik, mely kedvező növekedési körülményeket teremt az élesztő számára, melyet követően kelesztéskor kellő mértékű a CO_2 -termelés. Gyenge sikerminőségű liszteknel nem ajánlatos malátalisztet használni, mert proteolitikus

aktivitása is van, ezért malátaliszt helyett a mikrobiális eredetű α -amiláz-készítményeket kell előnyben részesíteni. Az α - és β -amilázok **egyéb hatásai** között meg kell említeni, hogy a redukáló cukrok a sütés során a nemenzimes barnulási reakcióban vesznek részt, mely kedvező hatású a héj színe és aromája szempontjából, ráadásul késleltetik a bélzet öregezési folyamatait.

10.3.8. Emulgeálószeres és zsiradékhatása

A liszt sütési minősége pozitív összefüggést mutat a poláros lipidek mennyiségével. Emulgeálószeres adagolásával javulnak a tészta tulajdonságai (gáztartó képesség), a sütési eredmény (kenyértérfogat), a termék lassabban öregszik, eltarthatósága javul. Adalékanyagként alkalmazzák a nyers lecitint, a mono- és diacilglicerideket és a mono- és diacilglicerid-származékokat, ahol az OH-csoport(ok)at ecetsavval, borkósavval, tejsavval, monoacetyl- vagy diacetyl-borkósavval észterezik. Trigliceridek (zsiradékok) adagolása a tésztahoz, egyes búzafajták lisztjei kivételével, általában csökkentik a kisült termék térfogatát.

10.4. Zöldségek és gyümölcsök

10.4.1. Zöldségek

10.4.1.1. A zöldségek összetétele

A zöldségek emberi táplálkozásra alkalmas friss növényi részek, melyek nyers és/vagy feldolgozott (főzött, párolt vagy tartósított) formában fogyaszthatók. Az érett magvak (pl. borsók, babok, gabonamagvak) nem tekinthetők zöldségeknek. **Csoportosíthatjuk őket a fogyasztott rész alapján**, mely szerint lehetnek levélzöldségek (pl. fejes saláta), szárzöldségek (pl. spárga), gyökérzöldségek (pl. sárgarépa), virág (pl. brokkoli), gumó (pl. fokhagyma), éretlen, húsos mag (pl. zöldborsó, zöldbab) vagy botanikai értelemben vett gyümölcs (pl. uborka, tök, paprika, paradicsom, de a növény a zöldségfélékhez tartozik).

Összetételük nagyon változó, mely függ a fajtól és a származási helytől. A legtöbb zöldségféle esetében a szárazanyag 10–20%, a nitrogéntartalom 1–5%, a szénhidrátok mennyisége 3–20%, a lipidtartalom 0,1–0,3% között, a nyersrost- és az ásványianyag-tartalom pedig 1% körül alakul. Fontos egyéb összetevőik még a vitaminok, az aromaanyagok, a diétás rostok, és néhány gumós és magzöldség a nagy szárazanyag-tartalom mellett még magas keményítőtartalommal is rendelkezik.

A **nitrogéntartalmú komponensek** 35–80%-a fehérje, a többi szabad aminosav, peptid vagy egyéb nitrogéntartalmú anyag. A **fehérjefrakció döntő hányadát az enzimek adják**, melyek a feldolgozáskor káros vagy hasznos hatást fejthetnek ki. Hozzájárulhatnak a jellegzetes zamat kialakulásához, a kellemetlen aromák képződéséhez és a szövetek gyengüléséhez, elszíneződéséhez. A **zöldségekben előforduló legfontosabb enzimek** a következők: oxidoreduktázok (pl. lipoxigenázok, fenoloxidázok, peroxidázok), hidrolázok (pl. glikozidázok, észterázok, proteinázok), transzferázok (pl. transzaminázok), liázok (pl. glutaminsav-dekarboxiláz, alliináz, hidroperoxid-liáz) és ligázok (pl. glutamin-szintetáz).

A zöldségekben nagyon sok **enziminhibitor** is előfordul. Ilyenek a hüvelyesek, főként a szója, Kunitz és Bowman-Birk inhibitora, a burgonyában a szerin-proteinázokat gátló anyagok, a babokban és uborkafélékben a pektinbontó enzimek inhibitorai. A **szabad nem fehérjealkotó aminosavak** oldalláncukat tekintve a homológ sor nagyobb tagszámú aminosavai (homoszerin, homometionin és amino-adipinsav), az S-alkil-cisztein-szulfoxidok pedig a hagyma zamatának fontos prekursorai. Az **aminok** közül a spenótban a hisztamin, az N-acetilhisztamin és az N,N-dimetilhisztamin, a paradicsomban és a padlizsánban a triptamin, a szerotonin, a melatonin és a tiramin fordul elő.

A **szénhidrátok** közül a legnagyobb mennyiségben előforduló cukrok a glükóz és a fruktóz 0,3–4%-ban, a szacharóz pedig 0,1–12%-ban fordul elő a zöldségekben. A **keményítő** széles körben előforduló tároló szénhidrát, amely nagy mennyiségben megtalálható néhány gyöker- és gumós zöldségben. Az **inulin** a fészkesvirágzatúak (Compositae, pl. articsóka) tároló szénhidrátja, a **pektinnek** pedig különleges szerepe van a zöldségfélék szöveti szilárdságának biztosításában. A **pektinek lebontása** előnyös lehet a gyümölcslevek előállításánál (lényérés, létisztítás), a pektinek bomlási folyamatainak lassítása pedig akkor, ha a gyümölcs és zöldség megfelelő konzisztenciájának és minőségének megőrzése a cél. A **pektinbontó enzimek** közé tartozik a pektin-észteráz, mely a metilézett karboxilcsoport észterkötését hidrolizálja, a pektáz (poligalakturonáz), mely a poligalakturonsav-láncot hasítja hidrolízissal és a pektáziáz, mely a poligalakturonsav-láncot eliminációs mechanizmussal hasítja. A paradicsomban, az uborkában, az almában, a banánban és majd minden zöldségben és gyümölcsben előfordulnak.

A paradicsom szöveti szilárdsága nő a teljes pektintartalommal, a Ca- és a Mg-tartalom növekedésével és a pektin észterezettségének csökkenésével. A zöldségek pektin-észterázai csak 88 °C feletti hőmérsékleten inaktíválódnak teljesen. A karfiol 70°C körüli hőkezelése során aktívak maradnak, és hatásukra feldúsulnak az oldhatatlan pektátok, ami kedvező a szöveti szilárdság megőrzése szempontjából.

A **zöldségek lipidtartalma** alacsony, főként trigliceridekből, valamint gliko- és foszfolipidekből állnak. A karotinoidok esetenként nagy mennyiségben fordulnak elő a paprikában, a paradicsomban és a görögdióban. A **szerves savak** jelentős szerepet töltenek be a zöldségek íz- és zamatanyagainak kialakításában. A zöldségekben a szabad titrálható savasság, 0,2–0,4 g/100 g friss szövet, a gyümölcsökhöz képest kisebb. A pH a paradicsom kivételével viszonylag magas (5,5–6,5), kialakításában az almasav és a citromsav bír legnagyobb jelentőséggel. Egyes zöldségekben (pl. rebarbara, sóska, spenót) kiemelkedően sok az oxálsav, ezért a vesekőre hajlamos egyének ezeket a zöldségeket csak mértékkel fogyasszák.

10.4.1.2. Aromanyagok

A **gombák** aromaanyagai a linolsav enzim oxidációja során alakulnak ki. Az (R)-1-octén-3-ol a champignonszerű aroma, az 1-octén-3-on a gombaszerű illat hordozója. Ezen utóbbinak rendkívül alacsony az illatküszöbértéke. A **zeller** aromáját a levelekben, a gyökérben, a gumóban és a magokban található ftálidok okozzák, melyek fő komponense a 3-butil-4,5-dihidroftálid, más néven szedanolid. A **cékla** fő aromajelleget kialakító anyaga a geozmin. A glükozinolátok széles körben elterjedtek a Brassicaceae fajoknál. Szeletelés hatására a 4-metil-tio-transz-3-butenil-izotiocianát szabadul fel, amely a csípős íz okozója.

A fokhagyma és a hagymafélék sértetlen állapotban gyenge illatúak, a „könnyfakasztó faktor” (lachrymatory factor) a hagyma felszeletelése során alakul ki. Ha megsértjük a szöveteket, akkor a transz-(+)-S-(1-propenil)-L-cisztein-szulfoxid az alliináz enzim hatására ammóniára, piroszőlősavra és (Z)-propénial-S-oxid(II)-re hasad, mely utóbbi a könnyezés okozója. Főzés hatására 3-merkaptó-2-metilpentan-1-ol keletkezik, melynek az aromaküszöbe vízben 0,0016 µg/l, mely a húsleves hagymaszerű illatát adja. Az alkiltiosulfonátok a nyers hagyma, a propil- és propenil-diszulfidok és -trisulfidok a főtt hagyma, a dimetiltiofének pedig a sült hagyma ízanyagai. Az S-allil-L-cisztein-szulfoxid (alliin) a fokhagymaaroma kulcsprekurzora a fokhagymagumókban található, mely az alliináz enzim hatására diallil-tioszulfinná (allicin) és diallil-diszulfiddá alakul, melyek a fokhagyma aromájának jellegzetes komponensei.

A **főtt fejes káposzta** ízanyagai az allil-izotiocianátok, melyek csak nagy koncentrációban érződnek, hisz vízben magas az illatküszöbük (375 µg/kg), ennek ellenére a 2-feniletil-tiocianáttal (illatküszöb 6 µg/kg, vízben) és a 3-metiltiopropil-izotiocianáttal (5 µg/kg) részt vesznek az aroma kialakításában. A **mustárolaj** a főtt fehér és vörös káposzta illékony komponenseinek több mint 6%-a. Legfőbb összetevői a 2-propenil-, a 3-butenil- és a 2-feniletil-izotiocianátok. Az allil-glükoszínolátok a mirozináz enzim hatására izotiocianátokká alakulnak. A friss állapotú **kelbimbó** főzés hatására megfelelő aromát ad, a fagyasztott állapotot követő főzés utáni aroma azonban nem megfelelő, mert viszonylag kevés allil-mustárolaj és több allil-nitril keletkezik. Az izotiocianátok kis koncentrációban kellemes, étvágygerjesztő hatású, a nitrilek viszont a fokhagymára emlékeztető illatú anyagok. Ha a fagyasztás előtt blansírozzuk a kelbimbót, akkor a mirozináz enzim inaktíválódik, az allil-glükoszínolát pedig a főzés során hő hatására nitrilekké bomlik.

A **főtt karfiol és a brokkoli** legfontosabb aromaanyagai kéntartalmú komponensek, amelyek ugyanazok, mint a fejes káposztánál. A karfiol legfontosabb aromakomponensei a 3-metil-tiopropil-izotiocianát, a 3-metil-tiopropil-cianid és a nonanal. A cisztation-β-liáz aromahibát létrehozó reakciót katalizál, amit blansírozással inaktíválni kell azért, hogy a homocisztein lebomlása elkerülhető legyen.

10.4.1.3. A zöldségek vitamintartalma

A **zöldségek vitamintartalma** jelentős ingadozást mutat. Mennyiségük függ a fajtól és a fajtától, az éghajlattól és a tárolás időtartamától. A spenót aszkorbinsav-tartalma 40–155 mg/100 g friss tömeg, mely a feldolgozás során jelentős mértékben csökken. A burgonya C-vitamin-tartalma a betakarítás után 15–20 mg/100 g, 6–8 hónapos 4 °C-on történő tárolás után 50%-os veszteséget szenved, míg hámzás és főzés után 40–60%-os a veszteség. Az **ásványi anyagokat** tekintve a zöldségekben legnagyobb mennyiségben a kálium van jelen, melyet követnek a kalcium, a nátrium és a magnézium. Legjelentősebb anionok a foszfát, a klorid és a karbonát.

10.4.1.4. A növényi pigmentek

A **növényi pigmentek** közül legjelentősebbek a karotinoidok, az antocianinok, a klorofil és a betalainok. A klorofillok közül a klorofil-a (kékeszöld) és a klorofil-b (sárgászöld) a levelek és az éretlen gyümölcsök zöld színét adják. Ha a klorofillból elvonjuk a

magnéziumot, akkor olajbarna feofitin-a-vá és feofitin-b-vé alakulnak, ha a magnéziumion helyére Sn^{2+} - vagy Fe^{3+} -ionok kerülnek, akkor szürkésbarna komponensek keletkeznek. A **száritott zöldségek tárolása** során színváltozás következik be, melynek oka a klorofill feofitinné alakulása. Színváltozás előfordul még blansírozás hatására és a fagyaszttva tárolás során is. A babfélék és a kelbimbó feofitintartalma 2 perces 100°C -on történő blansírozás után: 8–9%-ra, -18°C -on 12 hónapos tárolást követően pedig 68–83%-ra csökken. A betalainok közé tartoznak a betacianinek, melyek vörös-ibolya, és a betaxantinok, melyek sárga színűek. A betanin vízzoldható, természetes élelmiszer-színezék, de használata limitált, mert a tárolás és feldolgozás során szintelen származékokká hidrolizál. A betanin a cékla fő pigmentanyaga.

10.4.1.5. A zöldségek eltarthatósága

Eltarthatóság szempontjából elemezve a zöldségeket a levélzöldségek (saláta, spenót), az éretlen, húsos magok (babok, borsók), a karfiol, uborka, spárga, paradicsom **korlátozottan eltarthatók**, a gyökér- és gumós zöldségek (pl. répafélék, burgonyafélék, karalábé, fehérrépa, cékla, zeller, hagyma és egyes káposztafajták) **hónapokig tárolhatók**. A tárolásra legmegfelelőbb a hűtve tárolás és a magas, 80–95%-os páratartalom. A tárolás alatt az **összetétel változik**. A tömegcsökkenés: 2–10%-os, az aszkorbinsav- és a karotintartalom jelentősen csökken, keményítő- és fehérjebomlás következik be, melynek következtében a karfiol, a spenót és a fejes saláta esetében jelentős mértékben megnő a szabad savtartalom.

10.5. Gyümölcsök

A gyümölcsök eredetüket tekintve lehetnek vad gyümölcsök és termesztett gyümölcsök, termésük alapján pedig valódi termésűek vagy ártérmetésűek. A termesztett gyümölcsök lehetnek almatérmetésűek, csonthéjasok, boggyósok, trópusi és szubtrópusi gyümölcsök, valamint héjas gyümölcsűek. **Összetételüket** befolyásolja a faj, a fajta és az érettségi stádium. A boggyós gyümölcsök, az almatérmetésűek, a citrusfélék és a trópusi gyümölcsök szárazanyag-tartalma 10–20% közötti, melynek fő komponensei a cukrok, a szénhidrátok és a szerves savak. **Kis mennyiségben előfordulnak** még bennük N-tartalmú anyagok, lipidek, pigmentek, aromaanyagok és vitaminok. A pigmentek és az aromaanyagok az organoleptikus tulajdonságokat, míg az összes többi komponens a tápértéket határozza meg. A héjas gyümölcsűek (dió, mogyoró, mandula, gesztenye) magvai magas szárazanyag-tartalmúak, a N-tartalmú anyagok ~20%-ban, a lipidek pedig ~50%-ban fordulnak elő bennük.

A **monoszacharidok** közül a **glükóz** és a **fruktóz** fordul elő legnagyobb mennyiségben, a két monoszacharid aránya azonban nagyon változó. Nyomnyi mennyiségben egyéb monoszacharidok (pl. arabinóz, xilóz) is előfordulhatnak bennük. Kivételt képeznek a heptulózok, melyek az alma- és barackfélékben, valamint a földieperben, és heptulózok és oktulózok, melyek együttesen 0,2–5,0%-ban fordulnak elő az avokádóban. Az **oligoszacharidok** közül a **szacharóz** a domináns, míg a maltóz a szőlőfélékben, a banánokban és guavában kis mennyiségben, a melobióz, a raffinóz és a sztachióz a szőlőben

fordul elő. A cseresznyében, a szőlőben és a fűgében gyakorlatilag nincs szacharóz, a kajszibarackban, az őszibarackban és az ananászban viszont a répacukor mennyisége meghaladja a redukáló cukrokét. A redukáló cukor/szacharóz arány nagyon eltér a fajok között.

A **poliszacharidok** közül a cellulóz, a hemicellulóz (pentozánok), a pektinek és a keményítő található meg legnagyobb mennyiségben a gyümölcsökben. Az érés során az oldhatatlan pektinfrakció mennyisége csökken, az oldható pektinfrakció mennyisége viszont nő a teljes pektintartalom csökkenése mellett. Keményítő az éretlen gyümölcsökben található, melyek alól kivétel a banán, mely még érett állapotban is több mint 3% keményítőt tartalmaz, és a brazil dió vagy paradió.

A **szerves savak** közül az **L-almásav** a húsos gyümölcsökben és a csonthéjasokban dominál. A **citromsav** a bogyós gyümölcsök, a citrusfélék és a trópusi gyümölcsök fő savkomponense, míg a borkósav csak a szőlőben van jelen számottevő mennyiségben. A gyümölcsök csak citromsavat tartalmaznak, ezért a gyümölcslevek citrát/izocitrát aránya mérésével detektálható a citrát vizes oldatával való hígítás. A **fenolos komponensek** főleg glikozidok formájában, részben észterek formájában vannak jelen a gyümölcsökben. Aktív **antioxidáns sajátosságuk** függ az OH-csoportok számától, helyzetétől és a pH-tól, és sok gyümölcs **színét** és **ízét** is befolyásolják. A **tartósítás** során fémkomplexek keletkeznek, ami elszíntelenedéshez vezet, a turbiditást, zavarosodást pedig a fehérjekomplexek kialakulása okozza.

A fenolos komponensek az alábbi **alosztályokba sorolhatók**: flavanolak (Faol), antocianidinek (Acn), flavanonok (Faon), flavonok (Fon), flavonolak (Fool) és izoflavonok (Ifon). Az **élelmiszerek polifenol-tartalma függ** a fajtától, az éghajlattól és az érettségi foktól. A Golden delicious alma polifenol-tartalma 1,3 g/kg, a Jeanne Renard-é pedig 6–10 g/kg. A tanninok „szájösszehúzó”, fanyar hatásúak, melyek az „éretlenalma-íz”-t okozzák. A flavanonok közül a naringin és a neoheszperidin a citrusgyümölcsök keserű ízeért felelősek. A monofenolak a polifenoloxidázok hatására o-difenolokká, majd egy újabb, ugyancsak a polifenoloxidázok által katalizált reakcióban o-kinonokká alakulnak át, melyek **nemkívánatos barna elszíneződést** okoznak. Az **elszíneződés megelőzhető** az enzimek hőkezeléssel történő inaktiválásával, a redukálószerrel (SO₂ vagy aszkorbinsav) alkalmazásával és a rendelkezésre álló oxigénszint csökkentésével. A polifenolak fémionokkal (Al³⁺, Sn²⁺, Fe³⁺), négyenél magasabb pH-n intenzív színű komplexeket alkotnak. Így pl. a leukoantocianinok, sav jelenlétében, melegítés hatására átalakulnak, melynek során kialakul a főtt alma és körte vörös színe. A fenolos komponensek a fehérjékkel nagy turbiditású komplexeket képeznek, melyeknek a gyümölcsle-, a sör- és a borkészítés során van jelentősége.

11. A táplálkozási csírák mint funkcionális élelmiszerek

11.1. A csírák jelentősége a táplálkozásban

A csíráztatás „előemésztésnek” tekinthető, mely segíti a szervezetünkben lejátszódó biokémiai mechanizmusokat, ugyanis a csíráztatás folyamán a poliszacharidok oligo- és monoszacharidokká, a zsírok szabad zsírsavakká, a fehérjék oligopeptidekké és szabad aminosavakká bomlanak le, az ásványi anyagok hasznosíthatósága pedig javul. A tápanyagok összetétele kedvező módon változik meg. A zsírsavösszetételt elemezve nő az esszenciális zsírsavak mennyisége és aránya, nő a szabad aminosavak mennyisége, az antinutritív anyagok (tripszininhibitor, fitinsav, pentozán, tannin) mennyisége csökken, és egészségvédő hatással és fitokémiai tulajdonságokkal rendelkező vegyületek (glükozinolátok, természetes antioxidánsok) jelennek meg. Összességében tehát a csírázás jobb hasznosulást és magasabb tápértéket von maga után. **A csíráztatott magok előnyös hatásaik miatt alkalmasak funkcionális élelmiszerek kifejlesztésére, melyek kedvező hatással vannak az emberi szervezetre, és segítenek az egészség megőrzésében.**

A múlt század utolsó évtizedeiben Európa nyugati felében **mindennapossá vált a csíráztatott magvak fogyasztása**. Változatos csírákinálat alakult ki az európai és a távol-keleti piacokon, ahol legkedveltebbek az adzukibab, lucerna, brokkoli, hajdina, lóhere, mungóbab, mustár, retek, a vörös káposzta és a szója csírái. Japánban a fényben termelt csírákat nyersen, míg a sötétben előállítottakat hőkezelve fogyasztják.

11.2. Biokémiai változások a csírázás során

A csírázás során a fehérjék kisebb fehérje-fragmensekre, polipeptidekre, oligopeptidekre és szabad aminosavakra bomlanak, melyeket saját enzimeink könnyebben tudnak lebontani. A borsó- és a szójababcsírák nagy mennyiségű szabad aminosavat és sok vérnyomáscsökkentő hatású γ -amino-vajsavat tartalmaznak. A szabad aminosavak közül a borsó- és a szójababcsírákban legnagyobb mennyiségben az aszparagin, az egyéb típusú csírákban pedig a glutamin fordul elő. A csíráztatás hatására a szabadaminosav-tartalom belül csökkent a hisztidin, a glutaminsav, a glicin, az arginin és a triptofán aránya, az aszparagin-, a valin-, az izoleucin- és a fenilalanin-tartalmat viszont nagymértékben befolyásolták a csíráztatási körülmények. A bab és a lencse csíráztatása során fény hatására magasabb szabadaminosav-tartalmat kaptak, mint a sötétben csíráztatva, de a fény nem befolyásolta a fehérje minőségét. Két nap csíráztatás után a borsófőhéjre táplálkozási értéke javult.

A hajdinacsírák táplálkozási értékét vizsgálva megállapították, hogy a csírában négyszer több a szabad aminosav, mint a magban. A csíráztatás során megnőtt a lizin- és a kén-tartalmú szabad aminosavak mennyisége, ami magas táplálkozási értékű új zöldségféle

előállításához vezetett. A **zsírsavösszetétel változását** elemezve megállapították, hogy a **telítetlen zsírsavak** esetében a csírázás előtt 36,8% olajsavat, 38,1% linolsavat és 2,7% linolénsavat lehetett kimutatni, melyet követően a csíráztatás során az olajsav aránya fokozottan csökkent, a linolsav és a linolénsav aránya pedig nőtt. A linolénsav koncentrációja hét nap alatt 52,1%-ra nőtt, és a legnagyobb mennyiségben jelenlevő zsírsavvá vált, a csíráztatás végére pedig a telítetlen zsírsavak aránya meghaladta a 83%-ot. (A linolsav és az arachidonsav esszenciális, a linolénsav szemiesszenciális az emberi szervezet számára.) A **telített zsírsavak** koncentrációja a csírázáskor rohamos mértékben csökkent, és a mirisztinsav, valamint a sztearinsav egy nap múlva már nem volt kimutatható a **csírából**.

Az eddigi kutatások alapján megállapítható általános tendenciák, hogy a **csírázás lényeges összetételi változásokat okoz, melynek során a fehérjék kisebb fehérjefrakciókra, oligopeptidekre, szabad aminosavakra bomlanak, és a szabadaminosav-összetétel változása mellett megjelennek a nem fehérjeépítő aminosavak. Bomlanak a trigliceridek, megváltozik a zsírsavösszetétel, nő a többszörösen telítetlen esszenciális, és csökken a telített és nem esszenciális zsírsavak aránya. Megjelennek az egészségvédő hatású vegyületek, ezért a csíráztatással értékeesebb táplálékot kapunk.**

11.3. Szelénnel dúsított csírák

Hogyan lehetne a csíranövényeket táplálkozási szempontból még értékeesebbé tenni? A monometilált szeleno-aminosavakról rákellenes hatást mutattak ki, ezért a **szelénben dúsított csírák hasznosak lehetnek a rák megelőzésében, és a szelénben dúsított termékek alkalmasak lehetnek a lakosság szelénellátásának javítására.** Megállapították, hogy a fejlődő növényi szervezet a csíráztatás során a megfelelően előkészített táptalajból különféle makro- és mikroelemeket tud dúsítani szöveteiben, ezért kezdtünk el kísérleteket annak megállapítására, hogy **hogyan lehet a csíranövény szeléntartalmát megnövelni.** A magas szeléntartalmú talaj (szelenit, szelenát) környezeti szennyezést okozhat, ezért japán kutatók a zárt rendszerű termesztést alkalmazták, melynek során speciális japán retek-magokat csírázattak magas szeléntartalmú talajon. A csíranövényben a szelén legnagyobb mennyiségben szeleno-metil-szelenocisztein formában volt jelen, ezenkívül szeleno-metil-szelenociszteint, szelenometionint, nem hasznosuló szelenitet és γ -glutamil-Se-metil-szelenociszteint is ki tudtak mutatni.

11.3.1. A szeléntartalom hasznosulása

A megnövelt szeléntartalmú növényekből a szelén hasznosulásának vizsgálata során rájöttek, hogy a **szelénnel dúsított növények antitumor-aktivitással bírnak**, és a szelénnel dúsított tök és a szelénnel dúsított retekcsíra szeléntartalmának hasznosulását hím egerekben elemezve azt is megállapították, hogy a szelénkiegészítés a szeléntartalom függvényében megnövelte a vérszérum és a máj szeléntartalmát, és a glutation-peroxidáz aktivitását. Mások arra jöttek rá, hogy a **szérum** szeléntartalma, illetve glutation-peroxidáz-aktivitása független volt a szelénforrástól. Na-szelenit adagolásakor mind a máj szeléntartalma, mind annak glutation-peroxidáz-aktivitása nagyobb volt, mint a szelénnel dúsított töknél vagy

retেকcsíránál. Mások szerint a szelénestök-kiegészítés nagyobb mértékben növelte a máj szeléntartalmát, mint a szelén csíra.

Szelénnel dúsított japán retek szeléntartalmának hasznosulását és rákellenes hatását patkányokban vizsgálva megállapították, hogy a szelénnel dúsított japán retekcsíra összes szeléntartalmának 80%-át a szeleno-metil-szelenocisztein tette ki. A vizsgált szövetek közül a legtöbb szelént a vér tartalmazta, ennél kevesebb volt a májban és a legkevesebb szelént a tüdőből mutatták ki. A szelénnel dúsított japán retekcsíra gátolta a 7,12-dimetilbenz(a)antracénnel kiváltott emlőtumor kialakulását, de a legnagyobb szeléntartalmú dózis (12,5 mg/kg) etetésekor csökkent a testtömeg-gyarapodás, és megnőtt a máj tömege.

Szelénnel dúsított retekcsíra szeléntartalmának hasznosulását és rákellenes hatását patkányokban vizsgálva megállapították, hogy a szelénkiegészítés a dózistól függetlenül megnövelte a szérum és a máj szelénkoncentrációját és glutation-peroxidáz-aktivitását. A szelenitkiegészítéssel ellátott csoportoknál a máj szelénkoncentrációja és glutation-peroxidáz-aktivitása nagyobb volt, mint a szelén csírával ellátott csoportokban. Az 1,2-dimetil-hidrazinnal kiváltott emésztőrendszeri tumorok gyakoriságát a kisebb dózisu szelénadagolásnál (0,1 µg Se/g táp) csak a retekcsíra csökkentette, a nagyobb dózisu szelénadagolásnál (2 µg Se/g táp) viszont mind a szelenitforma, mind a retekcsírával bevitt szelén csökkentette azt. Ezért a **retekcsírával bevitt szelén kisebb mértékben épült be a szervezetbe**, mint a szelénittel bevitt szelén, de a **retekcsíra fogyasztásának tumorelles hatása nagyobb volt**, mint a szelenitkiegészítésnek.

11.3.2. Saját vizsgálataink az étkezési csírák vonatkozásában

Saját vizsgálatainkat megelőzően célul tűztük ki a szabadaminosav-tartalom, a teljes aminosav-tartalom és a zsírsavösszetétel alakulásának vizsgálatát különböző magvak csírázása során, és a szeléntartalom feldúsulásának folyamatos nyomon követését különböző magvakban, eltérő koncentrációjú szelént tartalmazó csíráztató közegekben. Az általunk vizsgált magok a következők voltak: lencse, mungóbab, csicseriborsó, búza, rozs, hajdina. A **csíráztatási körülmények** az alábbiak voltak: A csíráztató közeg 0–5 mg/l szelenitkoncentrációjú desztillált víz, az időtartam 96 óra a lencse, a mungóbab és a csicseriborsó esetében, 48 óra a búza, a rozs és a hajdinánál. A lencse, a mungóbab és a csicseriborsó esetén 12 óránként, a búzánál, rozsnál és a hajdinánál 6 óránként vettünk mintát, és vizsgáltuk a **szabadaminosav-tartalmat** a fehérjék triklórecetsavas kicsapása után, és a fehérje aminosav-összetételét a 6 mólos sósavas, 110 °C-on, 24 órán át végzett fehérjehidrolízist követően. Az aminosav-analízist az ioncserés oszlopkromatográfia elvén működő aminosav-analizátorral, oszlop utáni ninhidrines származékképzéssel és nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, oszlop előtti merkaptó-etanol/orto-ftáldaldehydes származékképzéssel végeztük.

A **zsírsavösszetétel meghatározása** magában foglalta a zsírkivonást, a hidrolízist metanolos NaOH-oldattal, a zsírsavak átészterezését metanolos bór-trifluorid-oldattal, és az analízist WCOT kapillaris oszloppal és FID-detektorral felszerelt gázkromatográffal. A **szeléntartalom meghatározása során** a salétromsavas, illetve királyvizes roncsolás után 2,3-diamino-naftalinnal végzett származékképzést követően, fluorimetriás módszerrel mértük az összes szeléntartalmat, ioncserés oszlopkromatográfiával és nagy hatékony-

ságú folyadékkromatográfiával pedig a szelenometionin- és a szelenocisztein-tartalmat. **A vizsgálati eredmények alapján**, a zsirok telítetlenné válása és az aminosavak felszabadulása szerint megállapítottuk az optimális csíráztatási időket, meghatároztuk az optimális csíráztató közeget és a csíráztatási időt, szeléntartalmú tápközegen végezve a csíráztatást a szelénbeépülés mértékét és tendenciáját, és a beltartalmi adatok mellett a csíráztatott magvak organoleptikus sajátságait is értékeltük.

12. A vörösbőr mint funkcionális élelmiszer

12.1. A szőlő, a must és a bor kémiai összetétele

Ahhoz, hogy a vörösborról mint funkcionális élelmiszerről lehessen nyilatkozni, meg kell ismerni azt a folyamatot, melynek során a szőlőből must, a mustból pedig bor keletkezik. **A bor összetételének ismeretében lehet csak tudományosan magyarázni, hogy miért is funkcionális élelmiszer a vörösbőr, és miért nem az a must és a fehérbőr.** A borszárti kémia tárgya a szőlő, a must mint alapanyag, a bor mint végtermék összetételének meghatározása, és azon bonyolult folyamatok tisztázása, melynek során a gyümölcsleiből funkcionális élelmiszer, bor keletkezik.

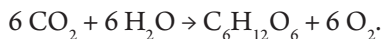
12.1.1. A szőlő érésének biokémiája

12.1.1.1. A szőlőbogyó növekedése, érése és túlérése

A szőlő szerveinek növekedése a zsendülésig tart, melynek során a szőlőbogyó változtatni kezdi a színét. A szőlőgyümölcs elraktározza a tartalékait: a cukor felhalmozódik a bogyóban, a vesszők tartalékolják a keményítőt, fásodnak, barnulnak, a levelek lehullanak. A szőlőfürt fejlődési folyamata magában foglalja a **növekedést, a zsendülést, az érést és a túlérés időszakát.** A növekedési periódus elején a fürt csak egy klorofilltartalmú, zöld növényi szerv, melyben a cukor kis mennyiségben már (kb. 20 g/kg) megjelenik, a savtartalom pedig növekszik. A zsendülés során a bogyó tovább növeli térfogatát, puhábbá, rugalmasabbá, átlátszóbbá válik, elveszíti klorofilltartalmát, színeződni kezd, **flavon és antocianin pigmentek képződnek benne.** Ebben az időszakban gyorsan halmozódik a cukor, a savtartalom pedig jelentősen csökken. Az érési időszakban a bogyó összetétele teljesen megváltozik, más szervekből származó anyagok halmozódnak fel benne, és a meglévő alkotórészek is átalakulnak. Speciális érési folyamat a nemes rothadás, mely a Botrytis cinerea működésének eredményeképpen jön létre.

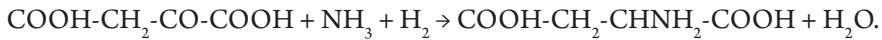
12.1.1.2. Fotoszintézis, anyagvándorlások

A klorofilltartalmú növények a nap fénysugarainak hatására a levegő szén-dioxid-tartalmát szénhidrátok és szénhidrátokból származó más szerves anyag képzésére használják fel. A lejátszódó reakció:

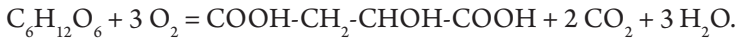


A szén asszimilációja erősen endoterm, sok energiát igényel, mely a klorofill által elnyelt fényenergia függvénye. A fotoszintézis során először a víz fotólízise következik be, ami lehetővé teszi a napsugárzás fényenergiájának tartalékolását redukáló hidrogén formájában. Az enzimek működésének hőmérsékletfüggése következtében az asszimiláció 20°C alatt erősen lecsökken, legmagasabb fokát 35°C körül éri el.

A fehérjeszintézis az ammóniának a cukorszármazékokkal végbemenő kondenzációjával magyarázható, melynek során pl. az oxálcetsavból az aszparaginsav keletkezik a következő reakcióegyenlet szerint:



A fotoszintézissel párhuzamosan folyik annak fordított reakciója, a légzés, melynek során lépcsőzetes reakciókban a glükóz energiájának csak egy kis része szabadul fel, így pl. a glükóz oxidációjával almasav keletkezik:



A többi szerves sav a növényben a Szent-Györgyi–Krebs-ciklus (trikarbonsavciklus, citromsavciklus) szerint képződik. Ennek során a glükózból és a fruktózból triózfoszfátok, azokból pedig piroszőlősav keletkezik. A piroszőlősav átalakul citromsavvá, az cisz-akonitsavvá, izocitromsavvá és α -keto-glutársavvá, ami tovább alakulhat borostyánkősavvá. A piroszőlősav egy másik útvonalon átalakulhat borkősavvá, az oxálecetsavvá, ami továbbalakul almasavvá, fumársavvá, és a végtermék a borostyánkősav. Természetesen a ciklusban az oxálecetsavból közvetlenül is keletkezhet citromsav.

12.1.1.3. A cukor felhalmozódása a bogyóban

A szőlőgyümölcs a növény cukorfelhalmozó szerve. A zöld szőlőbogyók cukortartalma csak 10–20 g/kg, de a zsendülés és az érés alatt a cukortartalom hirtelen 1%-ról akár 20%-ra is emelkedik. A glükóz és fruktóz alakjában felhalmozódott cukor nagy része a tőke különböző részeiben raktározott cukroknak a zsendüléskor hirtelen a bogyóba való beáramlásából ered. A zsendülés idején a fruktóztartalom növekszik, a glükóz/fruktóz arány (G/F) viszont gyorsan csökken, és a zsendülés vége felé közeledik az egyhez.

12.1.1.4. A szerves savak változása a szőlőbogyóban

A szőlőbogyó savtartalmát főként három szerves sav alkotja: a borkősav, az almasav és a citromsav. Igen kis mennyiségben oxálsav, glikolsav, glioxisav és borostyánkősav is előfordul benne. Egyes évjáratokban különböző mennyiségű borkősav és almasav képződik, melyek aránya is különböző. A bogyó növekedésekor, a zsendülés idején az almasav van túlsúlyban, a borkősav : almasav arány egynél kisebb. Az érés folyamán az arányszám növekszik, érett állapotban mindig nagyobb egynél.

12.1.1.5. A borkősav változása

A borkősavtartalom az érés folyamán 10,5–13,5 g/dm³-ről 5,3–7,5 g/dm³-re csökken. Az érés kezdetén a borkősavnak kb. 85%-a, a végén mintegy 60%-a van szabad állapotban. A borkősav szintézise a szőlőben az alábbi folyamatok szerint megy végbe: Az első folyamat szerint a glükózból glükonsav, abból 5-keto-glükonsav képződik, ami az enol-formán keresztül átalakul 4-keto-glükonsavvá. A másik folyamat szerint a glükóz glükuronsavvá majd gülonsavvá alakul, ezt követi az 5-keto-gülonsavvá alakulás, ami az enol-formán keresztül átalakul 4-keto-gülonsavvá. A mindkét folyamat során keletkezett 4-keto-gülonsavból közvetlenül vagy a glikolaldehid, glikolsav, glioxilsav folyamat során keletkezik a borkősav.

12.1.1.6. Az almasav változása

Az almasav koncentrációja erősen csökken az érés során, majd annak vége felé a csökkenés már lassúbb ütemű, és az érés végén néha az almasavtartalom enyhe emelkedése észlelhető. Az almasavtartalom az érés folyamán 22–26 g/dm³-ről 3,8–6,0 g/dm³-re csökken. Az érés kezdetén az almasavnak kb. 95%-a, a végén 80–92%-a van szabad állapotban.

12.1.1.7. Az ásványi anyagok beáramlása a bogyóba

A szőlőbogyó hamutartalma állandóan emelkedik a növekedés és az érés egész ideje alatt. A kationokkal párhuzamosan az ásványanion-tartalom (SO₄²⁻, Cl⁻, SiO₃²⁻ és főleg PO₄³⁻) állandóan emelkedik a szőlőbogyó érése közben.

12.1.1.8. Fehérjésintézis

A szőlőbogyó nitrogéntartalma nő az érés alatt, mert az érő szőlő felhalmozza a nitrogént. A fehérjék felépítése a következő általános séma szerint megy végbe:

ammóniumkation (NH₄⁺) → aminosavak (R-CHNH₂-COOH) → polipeptidok, peptonok → proteinek (fehérjék) → proteidek (összetett fehérjék).

Az érés alatt az aminosav-tartalom állandóan növekszik. Az érés előrehaladásával a bogyóhús nitrogéntartalmú anyagai nagyobb molekulatömegű vegyületekből tevődnek össze. Az érett szőlő levének nitrogéntartalma jellemző a szőlőfajtára.

12.2. Az érettség meghatározása

Az érettségi állapot meghatározására a cukor:sav arányt használják fel mint érettségi indexet (ÉI). Gyakorlati megfigyelés, hogy az érés folyamán a cukor- és a savtartalom ellenkező értelemben változik. Az arány kiszámításához a cukortartalmat is és a savtartalmat is g/dm³-ben adják meg.

12.2.1. A szüret időpontjának meghatározása

A megállapítás nagyon gyakran empirikus, megelégednek az ízlelés útján való becsléssel. Tapasztalat szerint a szüret optimális időpontja 100 nap a teljes virágzástól, vagy 45 nap a zsendülés végétől az érettségig. A lehető legjobb minőség eléréséhez feltétlenül meg kell várni a teljes érettséget.

12.3. A szőlőfürt szerkezete és összetétele

A szőlőfürt a kocsányból és a szőlőbogyóból áll. A kocsány cukrokban szegény, szabad-sav-tartalma közepes, sok kötött savat tartalmaz, ásványi anyagokkal bőven el van látva, sejtnedvének pH-értéke 4 feletti. Sok polifenolt, cserzőanyagot tartalmaz, de cukortartalma nem haladja meg a 10 g/kg-ot. Szárazanyag-tartalma 23–44% között, hamutartalma 4–6% között van.

12.3.1. A szőlőháj összetétele

A héj legjellemzőbb anyagai a **sárga és vörös pigmentek, az elsődleges aromaanyagok**. A zöld szőlőben a pigmentekből (klorofill, xantofill, karotinoidok) az érés ideje alatt csak kevés marad meg. A sárga pigmentek (flavonok) és a vörösek (antocianidok) a zsendüléskor kezdenek megjelenni, **maximumukat a teljes érettség idején érik el**. A flavonok a héjban és a bogyóhúsban is megtalálhatók, **az antocianidok csak a héjban vannak**. A legfontosabb flavon alkotórész a kvercitrin, a kvercetinnek egy glükozidja. A szőlő héjában kisebb mennyiségben más flavonszármazékok is vannak.

12.3.2. A szőlőmag összetétele

A szőlőmagok tömege a bogyóéna 3–5%-a. 25–45% vizet, 34–36% szénhidrátot, 10–20% olajat, 4–6% cserzőanyagot, 4–7% N-tartalmú anyagokat, 2–4% ásványi anyagot és egy százalék zsírsavakat tartalmaz. A szőlőmagok gazdagok leukoantocianinokban, melyek a legfontosabb fenolos alkotórészek. A felsorolt anyagok a borkészítés folyamán részben beoldódnak a borba.

12.3.3. A bogyóhús összetétele

A szőlőbogyó legfontosabb része, mely tömegének 75–80%-át teszi ki. A sejtek belsejét a sejtnedv foglalja el, mely a bogyó legértékesebb része. Nincs különbség a bogyóhús és a szőlőlé, valamint a must összetétele között. A bogyóhús csaknem teljesen tartalmazza a must alkotórészeit.

12.4. A must kémiai összetétele

A szőlő sajtolásakor nyert **édes, zavaros folyadék** a must. A fehér szőlőfajták mustjának színe zöldessárgától aransárgáig változik, a kék szőlőké enyhén vörhenyes. 100 kg szőlőből 65–80 dm³, átlagban 75 dm³ mustot lehet kisajtolni. A must sűrűsége 1,065 és 1,100 között ingadozik. A must csaknem kizárólag a bogyóhús sejtnedvéből áll, de szilárd részeket, valamint a héjból és a magból kioldott komponenseket is tartalmaz. A zúzott szőlőből gyenge sajtolással lefolyó must a **színmust**, míg a nyomással kapott lé a **sajtott must**, az utópréssel nyert folyadék pedig az **utósajtolás mustja**. A mustnak 60%-a színmust, 30%-a sajtolt must, 10%-a az utósajtolású must. A must jellemzésére felhasználható a pH-érték, a hamutartalom, a hamuoldhatóság (hamualkalitás), az extrakttartalom és a redoxpotenciál.

12.4.1. A must alkotórészei

A must alkotórészei a szénhidrátok (monoszacharidok, diszacharidok, keményítő, pentózok, cellulóz, pentozánok, glikogén, pektinanyagok, gumik), a szerves savak (borkősav, almasav, citromsav, egyéb szerves savak), az ásványi alkotórészek, a nitrogéntartalmú anyagok, a polifenolok, a színezékek (zöld és sárga színezékek, vörös színezékek), viaszok, olajok, zsírok, enzimek, vitaminok, aromaanyagok és egyéb alkotórészek.

12.4.1.1. Szénhidrátok

A szénhidrátok túlnyomó részét a redukáló cukrok, a glükóz és a fruktóz teszi ki. A must redukálócukor-tartalma 150–250 g/dm³. A töppedt, aszúsodott, nemes rothadáson átment szőlőből származó must cukortartalma 450–470 g/dm³. Az érett szőlőből sajtolt must glükóztartalma a szőlőfajtától, évjárártól, érési állapottól, esetleg a rothadástól függően a fruktózzal azonos. Az érett szőlőből sajtolt must fruktóztartalma 70–120 g/dm³. A szacharóz a szőlő leveleiben és zöld részeiben található, gyors felhasználásra szolgáló cukortartaléka a növénynek, ami a levéltől a gyümölcsig való vándorlása közben invertálódik, és az érett bogyóban már csak nyomokban található (1–3 g/dm³). **A magyar bortörvény jelenleg megengedi a szacharóz mustjavításra való felhasználását.** Az érett bogyó keményítőt nem vagy csak nyomokban tartalmaz. A pentózok 0,3–1,2 g/dm³ mennyiségben a must rendes alkotórészei, nem erjeszhetőek, a borba is belekerülnek.

12.4.1.2. Pektinanyagok, gumik

A szőlőbogyó cellulóz-pektines membránjaiból származó pektinanyagok a tiszta pektin és az egyéb anyagok (gumi, arabánok, pentozánok, poliszacharidok) keverékei. A tiszta pektin a galakturonsav-anhidridekből felépített poligalakturonsav metil-alkohollal részben észterezett származéka. A pektinben a karboxilcsoportok mintegy 75%-a metil-alkohollal észterezett, ami azért jelentős, mert a pektin enzimhatásra lebomlik, a pektin-metilészteráz az észterkötéseket, a poligalakturonáz pedig a glükozidos kötéseket bontja.

12.4.1.3. Szerves savak

A mustban levő jelentősebb szerves savak a borkósav, az almasav és a citromsav, az egyéb szerves savak mennyisége pedig 3-4%-a az összes szerves savnak. A glikolsav és a glicerinsav mellett igen kevés mennyiségű oxálsav is van a szőlőben és a mustban. A must savasságán a borkósav- és almasavtartalmat értjük. A must savanyú ízét a szabad és félig kötött savak okozzák (szabad savtartalom). A mustok titrálható savtartalma a fajtától, a termőhelytől, az időjárási viszonyoktól és a szüret időpontjától függően tág határok között változik. Hazánkban 4–15 g/dm³.

A szőlőben és a mustban L(+)-borkósav van, mely erősen savanyú ízű, 168–170°C-on olvad. Megtalálható a szőlő minden részében, a szőlő jellegzetes sava, mely a legállandóbb és legerősebb a szőlő szerves savai közül. A mustban jelentős része kötött állapotban van, a szüret időpontjára túlsúlyba kerül az almasavval szemben. A mustok borkósavtartalma 4–8 g/dm³. Sói közül borászati szempontból fontos a borkő (kálium-hidrogén-tartarát) és a kötött, semleges kalciumsója. A borkő vízben kevésbé oldható, 20°C-on 100 rész víz 0,55 rész borkövet, 100 rész 10,5%-os alkoholos oldat viszont csak 0,30 rész borkövet old, és ennél még nehezebben oldható a borkósavas kalcium. Csekély oldhatósága következtében erjedéskor a képződő alkohol hatására rendszerint kiválik, így csökken az összes borkósav mennyisége.

A szőlőben és a mustban az L(-)-almasav fordul elő, mely kellemesen savanyú ízű, vízben és alkoholban jól oldódó anyag. Savanyú és semleges sókat képez; savanyú sói nehezebben oldódnak, mint a semlegesek. A must almasavtartalma erősen változó, mennyisége 2–7 g/dm³ között ingadozik. A mustban levő almasavnak kb. 20%-a kötött formában for-

dul elő. A citromsav a szőlőnek és mustnak kis mennyiségben rendes alkotórésze, a must általában 0,1–0,5 g/dm³ citromsavat tartalmaz. A szőlőben és a mustban előforduló egyéb szerves savak a glikolsav, a glicerinsav, a glükonsav, a glükuronsav és a galakturonsav. Csekély mennyiségben előfordul még benne az oxálsav, a fumársav, a 2-hidroxi-glutársav, a malonsav és a nyálkasav (a galakturonsav oxidációs terméke).

12.4.1.4. Nitrogéntartalmú anyagok

Az összes nitrogéntartalom 0,2 és 2,0 g/dm³ között ingadozik, ami a must cukormentes extraktjának 20–25%-a. **A must nitrogéntartalmú szerves anyagai az amidovegyületek és az aminosavak.** A mustokban legnagyobb mennyiségben az arginin, prolin, treonin, glutaminsav, glutamin, szerin és az alanin fordul elő; ezek alkotják a mustok aminosav-tartalmának kb. 85%-át. Kisebb-nagyobb mennyiségben még 10 aminosav található a mustban. A polipeptidek közül a peptonok és albumozok (propeptonok) a fehérjebontás nagy molekulatömegű termékei. A szervesnitrogén-tartalom a talaj nitrátjaiból kerül a bogyóba, ott nem tud felhalmozódni, a szervesnitrogén-tartalmú anyagok szintéziséhez használandó fel. **A fehérjésztézis a bogyóban zajlik, ami a zsendüléskor indul meg.** A nitrogéntartalom elsősorban a héjban és a magokban koncentrálódik. Az érés végére leáll a fehérjésztézis, megtörténik a meglévő nitrogén újraelosztása, melynek során a magok nitrogéntartalma csökken, a bogyóhúsé pedig növekszik. A mustban az ún. oldható szőlőfehérje-formát lehet kimutatni, ami az albumin és a könnyen oldható globulintípusú növényi fehérjék összessége.

Az érés során a szőlőfajtától és az évszaktól függően az aminosavak száma és koncentrációja növekszik, a szabad aminosavak gyarapodásával párhuzamosan emelkedik a szőlőlében a fehérjék mennyisége is. Csapadékszegény, igen meleg években az oldható szőlőfehérje mennyisége erősen megnő, kevesebb egyéb nitrogéntartalmú anyag képződik, száraz és meleg években viszont a fehérjetörésre való hajlam nagyobb. Az alacsony savtartalom elősegíti a fehérjetörést, mert a pH a szőlőfehérjék izoelektromos pontja felé tolódik, ezért a fehérje kicsapódhat, ami a bor zavarosodását idézheti elő.

Az aminosav-összetétel függ a szőlőfajtától, a tápanyag-ellátottságtól (N-trágyázás!), az érettségi állapottól, a klimatikus viszonyoktól és az egészségi állapottól. A növekvő érettségi foktól függően az aminosavak össz mennyisége nő, és az egyes aminosavak arányai is változnak. Az aminosavak lényeges anyagai az élesztők nitrogénasszimilációjának, és prekursorai a magasabb rendű alkoholoknak.

12.4.1.5. Viaszok, olajok, zsírok

A szőlő viaszrétegének összetétele megegyezik a növényi viaszok jellegzetes összetételével. A szőlőmag olajtartalma jelentékeny, a légszárak magnak 10–20%-a, amelyből olaj a mustba csak a magok szétzúzásaakor kerülhet. A must zsirtartalma nagyon alacsony (0,01 g/dm³), de a zsír az elhalt élesztőkből is a borba kerülhet.

12.4.1.6. Polifenolok, színanyagok

A must és a bor egyik legérzékenyebb vegyületcsoportja, mert oxidációs hajlamuk miatt barnulással járó és más különböző kiválások okozói lehetnek, de a vörösboroknál

feltétlenül szükségesek a borjelleg kialakításához. A polifenolokat négy nagy csoportra lehet osztani: flavonok, antocianinok, fenolsavak és tanninok. Kémiai szerkezetük szerint lehetnek **nem flavonoid-fenolok** (hidroxi-benzoészav és származékai, hidroxi-fahéjsav és származékai), **egyéb nem flavonoid-fenolok** (pl. rezveratrol), **flavonoid-fenolok** (katechinek, 3-flavanol), **leukoantocianinok** (3,4-flavandiolok), **antocianinok** (flavonok és flavonolok) és tanninok.

A **nem flavonoid-fenolok** egyszerű fenolok, a bogyóhúsban található élesztítípusú vegyületek formájában. A szőlő és a bor hat benzoészav- és három fahéjsavszármazékot tartalmaz. **Benzoészav-származékok** a p-hidroxi-benzoészav, a protokatechuszav, a vanillinsav, a veratrumészav, a szalicilészav és a gencizinsav, **fahéjsavszármazékok** a p-kumársav, a kávéészav és a ferulészav. A benzoészav-származékok az antocianinok lebomlásának termékei. A fahéjsavszármazékok szabad állapotban és az antocianinokkal (jellemző alapvázuk a flaviliumváz) alkotott vegyületek formájában találhatóak a mustban és a borban.

Az egyéb nem flavonoidok közül a **rezveratrol**, a stilbének családjába tartozó fenolos vegyület a **legfontosabb**, melynek alapváza az α , β -difenil-etilén, és amely a szőlőbogyóban, elsősorban a héjszerkezetben halmozódik fel. A borok rezveratroltartalma főként az alkalmazott szőlőfeldolgozási technológia függvénye. Átlagos koncentrációja $2,24 \text{ mg/dm}^3$, szélső értékek $0,44\text{--}4,71 \text{ mg/dm}^3$. A **rezveratrol** egyrészt fontos szerepet tölt be a szőlő patogén kórokozókkal szembeni védekezőmechanizmusában, másrészt **szív- és érrendszeri betegségek elleni védőhatást fejt ki**. A rezveratrol gyógyhatása a vér HDL-koleszterin-szintjének normalizálásán alapszik.

A **flavonoid-fenolok** mennyiségére vezethető vissza a bor fenolos anyagainak változása, a barnulási hajlam és egyéb érzékszervi elváltozások, és a keserű, összehúzó íz is a flavonoidkoncentrációtól függ. Legfontosabbak a katechin, a leukoantocianin és az antocianin monomerek, melyek rendszerint glükozidjaik alakjában fordulnak elő. A flavonoidok könnyen oxidálhatóak, jó fémmegkötő képességgel rendelkeznek, könnyen reagálnak fehérjékkel és egyéb polimerekkel. **Redukálóképességük az alapváz telítetlenségére, a különböző helyzetű és számú hidroxil-csoportok oxidációs-redukációs mechanizmusára vezethető vissza**. Antioxidáns hatásúak, az oxidációt katalizáló fémionokat kelátkomplex képződése közben megkötik, és jellemző rájuk a kondenzációs reakcióra való hajlam. A vér- és a hajszálerék áteresztőképességének és törékenységének csökkentése miatt a gyógyászatban sikeresen alkalmazzák retina- és vesevérzések gyógyításában.

A **katechinek flavanol-3 alapvázú vegyületek**, melyek két aszimmetriacentrummal rendelkeznek. A szőlőben a (+)-katechin és sztereoizomerje a (-)-epikatechin fordul elő. A bor P-vitamin-aktivitása a katechinkoncentráció növekedésével nő, az öregedéssel csökken. A **leukoantocianidinek** mennyisége borokban 2 g/dm^3 körüli, mint antioxidánsok hatnak, megvédve a borokat az oxigén káros hatásától. A leukoantocianinok szintelen vegyületek, a flavandiol-3,4 alapváz hidroxilezett származékai. Idetartoznak a leukoantocianidin, a leukodelfinidin, a leukomalvidin, a leukopetunidin, a leukopeonidin és a leukopelargonidin. Alkoholos sósavval melegítve antocianin-kloriddá alakulnak, amelyek vörös színű vegyületek. Az antocianinok bioszintézise a leukoantocianinokon keresztül történik. A szintelen leukoantocianinok dehidrogénezés révén flavonszármazékokká

alakulnak, ezekből dehidratálás és az ezt követő diszproporcionálódás útján antocianidinek és katechinek jönnek létre, így proantocianinoknak is tekinthetők. A flavonoidok elsősorban a héjban, a kocsányban és a magban találhatóak, ahonnan eljutnak a mustba, illetve a borba.

A **tanninok** csoportjába tartozó hidrolizálható tanninok a **fenolkarbonsavak egymással vagy cukrokkal alkotott észterei**. Legismertebbek a galluszsav, a digalluszsav, az ellágsav és a penta-galloil-glükóz, amely 1 molekula glükóz és 5 molekula digalluszsav észtere. A nem hidrolizálható tanninok közé tartoznak a procianidinek, a kondenzált tanninok és a tannin-flavonoidok. Kis kondenzációs fokú és molekulatömegű dimer, trimer, tetramer vegyületek, amelyek vízben jól oldódnak, és cserzőanyagokra jellemző tulajdonságot (összehúzó fanyar íz, fehérjék kicsapása) mutatnak. Nagy polimerizációs fokú és molekulatömegű származékaik a flobafének, melyek vízben rosszul, alkoholban, lúgos közegben viszont jól oldódnak. **A tanninok denaturálják a fehérjéket, ezért gátolják az enzimek működését.**

A procianidinek a tannintípusú polifenolok 2–6 egységből álló oligomerjei. A szőlő fenolos vegyületei közül a procianidinek prekursorai, a monomer katechinek határozzák meg döntően a színintenzitást, a színárnyalatot, felelősek az oxidációs hatásra bekövetkező színmélyülésért. Szerepet játszanak a bor tisztaságában, stabilitásában, de okozói lehetnek a kellemetlen fanyar ízérzetnek is. **A szőlő fenolos vegyületei baktericid hatással, P-vitamin-aktivitással, szív- és érrendszeri betegségek elleni védő hatással rendelkeznek. A vérben gyorsítják a koleszterin kiürülését, stabilizálják az érfalak rugalmasságát, megakadályozzák az érszűkületet, illetve a szívinfarktus kialakulását.**

A fenolos vegyületek lehetnek **nem tannin fenolok** és **tannin fenolok**. A nem tannin fenolok egyik csoportját a nem flavonoid- (egyszerű) fenolok alkotják, melyek közé tartoznak az oxifahéjsav-származékok (kávéssav, p-kumársav, ferulasav), az oxifahéjsav-észterek (klorogénsav), a dihidroxi-benzoésavak (protokatechusav, vanillinsav), a trihidroxi-benzoésavak (galluszsav, ellágsav) és a galluszsav éterjellegű származékai (sziringasav). A nem tannin fenolok másik csoportját a flavonoid-fenolok alkotják, melyek közé tartoznak a katechin-monomerek [(±)-katechin, (±)-epikatechin], a katechin-galluszsav észterek [(+)-gallokatechin, (-)-epigallokatechin], a quercetin, a quercetin-glikozid (rutin), a leukoantocianidin monomerek és az antocianidin monomerek (malvidin, cianidin, delphinidin, peonidin, petunidin, pellargonidin).

A tannin fenolok közé tartoznak a katechin-dimerek, a katechin-trimerek, a katechin-oligomerek, a katechin-polimerek, a leukoantocianidin-polimerek, az antocianidin-polimerek és a procianidinek. A procianidinek a (+)-katechin és a (-)-epikatechin egymással kondenzációs reakciók során képzett oligomer származékai. A polimerizációs fok a dimerektől a hexamerig terjed.

12.4.1.7. Színanyagok

A színanyagok közé tartoznak az antocianinok, melyek a **kék szőlők és a vörösborok színét dominánsan meghatározzák**. A flavonoidok a héjban és a bogyóhúsban találhatóak, az antocianinok pedig a héjban, az epidermisz alatti 3-4 sejtsorban helyezkednek el. Az erjedés során az antocianinok kémiaiilag változatlanul kerülnek át a mustba, majd a bor-

ba. Az antocianinok a 2-fenil-benzo-pirillium-glikozid származékai, ahol az aglükonrészt antocianidineknek nevezzük. A flaviliumváz savas közegben ionos szerkezetű, ezért az antocianinok vízben oldódnak, az antocianidinek (aglükonok) viszont nem oldódnak. A cukorrész az oldhatóságot javítja, és megvédi az érzékeny antocianidint a különböző kémiai vagy enzimes behatásoktól. Az antocianinok savas hidrolíziskor vagy enzimes behatásra monoszacharidra és aglükonra bomlanak. A természetben megtalálható antocianinok a delfinidin, a petunidin, a malvidin, a peonidin, a cianidin és a pelargonidin. **Az európai kék szőlők színét a monoglükozidok adják, a nagyobb mennyiségű diglükozid pedig direkt termő szőlő jelenlétére utal.** A monomer antocianinok koncentrációja az érés során fokozatosan csökken.

Az **antocianinoknál** gyengén savas közegben a piros színű forma reverzibilis egyensúlyban van a színtelen formával, mely egyensúlyi helyzet a pH függvénye. **Színük savas közegben vörös, növekvő pH mellett színtelen, majd kék.** A HSO_3^- -ionok kondenzálódnak az antocianinokkal, és a reverzibilis reakció során színtelen vegyület keletkezik, amivel a vörösborok kénezés utáni időszakos elszíntelenedése magyarázható, de az antocianinok elszíntelenedését redukció is okozhatja.

A szőlő zöld és sárga színezékeit a klorofill, a karotin, a xantofill és különböző flavonok, flavonszármazékok képezik. A levelekben és zöld növényi részekben zöld színezék képződik. A kloroplasztok alapanyaga színtelen, a klorofill zöld olajos cseppet tartalmaz. A klorofilltestecskékben sárga (xantofill) és narancsvörös (karotin) festékanyag is van. A klorofill-a kékeszöld, a klorofill-b sárgászöld, melyek sav hatására barna színűvé válnak.

A szőlőbogyó érésekor a klorofilltartalom csökken, de csak a teljes érés vagy a túlérés idején tűnik el egészen. **A szőlő két sárga színezéke a karotin és a xantofill.** A karotin izoprénegységekből álló szénhidrogén, amelyben két nem aromás gyűrű metilcsoporttal szubsztituált konjugált kettős kötésű láncot fog közre. Három izomerje az α -, a β - és a γ -karotin. A xantofill (lutein) az oxigéntartalmú karotinoidok csoportjába tartozik, valószínűleg a karotin oxidja. A flavonok és flavonszármazékok igen elterjedt sárga színezékek, melyek jelen vannak a mustokban és a fehér-, illetve vörösborokban is.

12.4.1.8. Aromaanyagok

A szőlő és a must aromaanyagai keletkezésük szerint lehetnek **elsődleges vagy primer, prefermentatív, fermentatív vagy erjedési és ún. érlelési aromák.** A szőlő és a must esetében a primer és a prefermentatív aromák a jellemzőek. Az elsődleges vagy primer aromák közé tartoznak az illatos szőlőfajta mustjában mérhető mennyiségben található terpénalkoholok, melyek az „egyszerű” mustokban csak nyomokban fordulnak elő. **Nem illatos szőlőfajták** illó vegyületei hat szénatomos aldehidekből és alkoholokból, kapronsavból, benzilalkoholból, valamint α -butiro-laktonból állnak. A **muskotályos borok** specifikus aromaanyagai az etil-cinnamát, a β -jonon, a linalool, a geraniol és a nerol. A **rizlingre és a chardonnay-ra** a β -damascenon, a fűszeres traminire a cisz-rózsaoxid, a sauvignonra a 2-sec-butil-3-metoxipirazin, a scheurebe-re pedig a 2-izobutil-3-metoxipirazin és a 4-merkaptó-4-metilpentán-2-on a jellemző aromaanyag. Az **illatos szőlőfajták** terpénvegyületei a monohidroxi-terpénalkoholok, a linalool, az α -terpineol és a nerol. A mustokban $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ a linalool érzékszervi küszöbértéke, ami a muskotályos szőlő-fajtákra jellemző.

A többi terpénalkohol íz- és illatküszöbe jóval magasabb a linaloolénál. A linaloolból és a nerolból aromaveszteséget okozva képződnek a különféle oxidált származékok, mint amilyenek az A-furán-linalooloxid, a B-furán-linalooloxid, a C-pirán-linalooloxid, a neroloxid, a cisz-rózsaoxid és a transz-rózsaoxid, melyek képződése aromaveszteséget okoz.

A di- és trihidroxiterpénalkoholok közé tartoznak az 1-diendiol (3,7-dimetil-1,5-oktadien-3,7-diol), a 2-diendiol (3,7-dimetil-1,7-oktadien-3,6-diol), az endiol (3,7-dimetil-1-oktén-3,7-diol) és a triol (3,7-dimetil-1-oktén-3,6,7-triol). Belőlük érzékszervileg aktív vegyületek képződnek. A terpénvegyületek a fajtajelleget adó komponensek közé tartoznak. A **prefermentatív aromák** a szőlő feldolgozása során képződnek. Közéjük tartoznak a C6-aldehidok és alkoholok (transz-2-hexenol, n-hexenal), melyek a „zöld ízt és illatot” okozzák. A héjon áztatás során keletkeznek a C6-, C8-, C10-karbonsavak és etilészterek.

A terpénalkoholok illat szempontjából inaktívak, ízben sokszor keserű érzetet okoznak, indirekt módon azonban hozzájárulnak az aromakarakter fenntartásához. Az **illatos szőlőfajta frissen préselt mustjában** néhány száz $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ szabad linalool, néhány mg/dm^3 1-diendiol, max. 100 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ C-linalool, 50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ körüli D-linalool-oxid, 2-diendiol és geraniol, 10–20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ körüli A- és B-linalool-oxid, α -terpineol, nerol és citronellol, néhány $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ nerol-oxid és nyomokban rózsaoxid található. A **nemes rothadáson átesett szőlők boraiban** nő a glükonsav és a glicerin koncentrációja, a terpénalkoholok illat szempontjából inaktív diolokká oxidálódnak, emelkedik a „gombaillatot” okozó 1-oktén-3-ol koncentrációja, és nő a karamellízt adó szotolon mennyisége.

12.4.1.9. Vitaminok és enzimek a szőlőben, a mustban és a borban

A szőlő és a must vitaminjai

A szőlőben a karotin mutatható ki, amely a szőlő egyik sárga festékanyaga. A szőlőlé és a must C-vitamint csak nyomokban vagy egyáltalán nem tartalmaz. Egyéb **vízoldható vitaminokban a szőlő és a must meglehetősen gazdag**, tartalmazza a B-vitaminok számos tagját, a H- és PP-vitamint, a pantoténsavat, a folsavat, a mezo-inozitot, a kolint és a p-amino-benzoetsavat. Az E-vitaminok fontosak, mint a mustban levő élesztők és baktériumok növekedési faktorai, jelentősen befolyásolják azok életét és tevékenységét. A must vitamintartalmának szélső értékei az alábbiak: B₁ tiamin 160–450 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, B₂ riboflavin 3–60 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, B₆ piridoxin 0,16–0,50 mg/dm^3 , B₁₂ kobalamin 0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, H biotin 1,5–4,2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, PP nikotinsav-amid 0,86–2,60 mg/dm^3 , pantoténsav 0,5–1,4 mg/dm^3 , mezo-inozit 380–710 mg/dm^3 , P-amino-benzoetsav 15–92 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, folsav (pteroil-glutaminsav) 0,9–1,8 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, kolin 19–39 mg/dm^3 .

A szőlő és a must enzimek

A szőlő, illetve a must fontos enzimek az oxidázok, melyek közül említést érdemelnek a **polifenoloxidázok és a fenoloxidázok**. Legfontosabb közülük a tirozináz és a Botrytis által termelt lakkáz. A peroxidázok és katalázok felelősek a fenolok, az aminok és az aminosavak oxidációjáért, melyek koncentrációja a kék szőlőkben nagyobb. A szacharáz főleg a levélben található, és az érés kezdetén még a bogyóban is van szacharázaktivitás. Az invertáz aktivitása az érés során csökken. A cukoranyagcserében részt vesznek még a hexokináz, a glükóz-6-foszfát-dehidrogenáz és a szacharóz-foszfátáz.

A proteázok a nitrogénvegyületek lebontásában játszanak szerepet. A malát-dehidrogenáz az érés folyamatában először a savnövekedésért, majd a csökkenésért felelős. A glikozidázok a terpének és az antocianidok glükozidos kötését bontják. Az észterázok közül a pektinészteráz, a pektinbontás alapelzime; szerepe a mustok öntisztulásában van. A poligalakuronáz növeli a pektinanyagok lebontását.

Az **egyéb alkotórészek** között említést érdemel a szorbit, mely megtalálható a körte, az alma és más gyümölcsök levében, a szőlőmust és a bor azonban csak csekély mennyiségben (max. 80 mg/dm³) tartalmazza. **Jelentősebb mennyiségű szorbit jelenléte esetén a szőlőmusthoz más gyümölcsök levét keverték.** A mustok 380–710 mg/dm³ inozitot (hexaoxi-hexahidrobenzol) tartalmaznak. A mustok pH-értéke sok tényezőtől függve 2,80 és 3,70 között váltakozik. A must pH-értéke már jelentős mértékben meghatározza a belőle erjesztett bor pH-értékét.

12.4.1.10. Ásványi anyagok

Az ásványi anyagok főleg a szőlő szilárd részeiben helyezkednek el, a szőlőlé és a must aránylag szegény ásványi anyagokban. A szőlőnövény ásványianyag-felvétele függ az időjárástól, a talajtípustól, a tápanyagellátástól, a fajtától és az érettségi állapottól. A legfontosabb és mennyiségben is legjelentősebb ásványi anyagok a szőlőben a kationok közül a kálium, magnézium, kalcium, nátrium, az anionok közül pedig a karbonát, foszfát, szulfát és a klorid. Kis mennyiségben előforduló ásványi anyagok a vas, bór, szilícium, mangán, cink és a réz, nyomokban fordulnak elő benne az alumínium, ólom, kadmium, fluor és a szelén.

A káliumnak fontos szerepe van a transzportfolyamatok szabályozásában; a mustokban 1000–2000 mg/dm³ koncentrációban fordul elő. A kalcium mennyisége a mustokban 40–160 mg/dm³, a magnéziumé 50–160 mg/dm³, a nátriumé pedig 10–20 mg/dm³. Az alumínium mennyisége nem tisztított mustokban 30 mg/dm³, az ülepített mustban viszont csak 1–5 mg/dm³. Az ólom 0,01–0,3 mg/dm³ koncentrációban, a bór 5,3–26,1 mg/dm³, a kadmium 3,4–4,3 mg/dm³, a vas pedig, a gyökéren keresztül feljutva maximum 4–5 mg/dm³ koncentrációban fordul elő a mustban. A fluor koncentrációja a szőlőben 0,05–0,40 mg/dm³ közötti, a kobalté pedig 0,005 mg/dm³ alatti. A réz koncentrációja a mustban 0,2–4,0 mg/kg közötti, mely réztartalmú permetezőszerből kerülhet bele. A mangán koncentrációja 0,4–2,5 mg/dm³, a molibdéné 2–3 µg/dm³, a szeléné 0,1–1,0 µg/dm³, a cinké pedig 1–3 mg/dm³ a mustban. A must foszfortartalma, P₂O₅-ben kifejezve, 100–200 mg/dm³.

A must és a bor hamuja az extrakt elhamvasztása után visszamaradó anyagok összessége. A mustok hamutartalma nagyobb, mint a boroké, mert az erjesztés alatt egyes ásványi anyagok oldhatatlan formában kiválnak. A mustok hamutartalma 3 és 5 g/dm³ között ingadozik. A magyar mustok hamutartalma 1,90–7,70 g/dm³, legnagyobb részük 2,5 és 4,0 g/dm³ között van. A must ásványianyag-tartalma 100 g tiszta hamura vonatkozóan 500–700 mg kálium (K₂O), 5,80–160 mg foszforsav (P₂O₅), 40–70 mg kalcium (CaO), 20–40 mg kénessav (SO₃), 30–50 mg magnézium (MgO), 20–40 mg kovasav (SiO₂), 10–25 mg nátrium (Na₂O), 20–60 mg klór (Cl), 4–20 mg vas (Fe₂O₃) és nyomokban bór (BO₃). A mustok hamujában mindig több a kalcium, mint a magnézium. A szőlőlé és a must vastartalma rendszerint nem több néhány mg-nál literenként. A mustok réztartalma 1–15 mg/dm³ között változik.

A mustban és a borban a szerves savak só formájában, a szerves savak részben szabad sav, részben só formájában vannak jelen. **A must és a bor mindig savas, mert a szerves savak egy része szabad állapotban van.** Hamvasztáskor a szerves savak kötött része karbonáttá alakul, ezért a hamu mindig lúgos kémhatású. A hamualkalinitás azt mutatja, hogy egy liter must vagy bor hamujának közömbösítéséhez hány cm^3 1 mólos sósav szükséges.

12.4.1.11. Az extrakttartalom

Az extrakttartalom a mustok és borok mindazon anyagainak összessége, amelyek meghatározott fizikai feltételek mellett nem párolognak el, vagyis a **bepárlás után visszamaradó száraz maradék**. A mustból víz, a borból víz, alkohol és más, kis mennyiségű, alacsony és részben magasabb forráspontú anyagok párolognak el. A cukormentes extraktot megkapjuk, ha az összes extraktból levonjuk az 1 g-on felüli cukormennyiséget. A cukor- és savmentes extraktot akkor kapjuk meg, ha a cukormentes extraktból levonjuk a nem illó savak borkósavban kifejezett összegét. A cukormentes extrakt a szerves savak, az ásványi alkotórészek, a nitrogéntartalmú anyagok, a polifenolok és a kolloid anyagok összessége.

12.4.1.12. Redoxpotenciál, oxidáció, redukció

Egy közeg oxidáló és redukáló niveljét a redoxpotenciállal, az ebből kiszámítható rH-értékkel mérik. A borban a Fe^{2+} - és a Cu^+ -ionok autooxidálhatók, oxidált formáik másodlagosan képesek oxidálni az egyéb anyagokat. E rendszerek oxidációs katalizátorokat alkotnak, melyeknek nagy szerepük van a mustok és borok oxidációs reakcióiban. Reverzibilis redoxrendszerek még ezenkívül a borban a kinon-hidrokinon, a tejsav-piroszólósav és az etil-alkohol-acetaldehid rendszer, és ezentúl még az aszkorbinsav, a dioximaleinsav, a redukton és más hasonló glükózszármazékok is alkotnak redoxrendszert.

A **redoxpotenciál** az a feszültség, amelyet a vizsgálandó oldatba merülő, sima platinaelektrod vesz fel normál hidrogénelektroddal szemben. Redoxrendszer oldatában a feszültség a redukált és oxidált forma arányától, azaz az oldat „oxidáló-redukáló niveljétől” függ. Ez a must vagy a bor oxidációs-redukációs feszültsége, redoxpotenciálja. **Minél oxidáltabb a közeg, annál magasabb a redoxpotenciál**, ezért a must vagy a bor minél jobban levegőztetett, annál magasabb a redoxpotenciál-értéke. Az erősen levegőztetett borok redoxpotenciál-értéke eléri a 350–450 mV-ot. Ha a bort levegőtől elzárva tartjuk, redoxpotenciálja fokozatosan a határpotenciálig (100–150 mV) csökken.

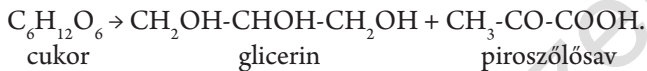
Az rH-értékkel megadott hidrogéngáz-koncentráció az oxidáló-redukáló nivelje kifejezése. A 27,6-nál alacsonyabb rH-érték redukálóoldatokat, a magasabb értékek oxidálóoldatokat jelentenek. Az rH-skála 0 értéke a legredukálóbb közegnek, a 42-es érték pedig a legoxidáltabb közegnek felel meg. A mustok és borok oxidációs-redukációs nivelje összehasonlítására az rH-érték alkalmasabb. A levegőztött mustok rH-értéke 19–24 közötti, a tokaj-hegyaljai mustok rH-értéke 19–22 közötti. Az erjedés megindulásáig az rH-érték lassan, egy-két egységgel, az erjedés alatt egészen 10–12 értékig rohamosan csökken.

12.5. Az erjedés biokémiája

Borélesztők enzimmerevszere soklépcsős biokémiai folyamatok során alakítja át a monoszacharidokat (glükóz és fruktóz) alkohollá. Az alkoholos erjedés során a mustban található erjeszhető cukrok, a glükóz és a fruktóz, és néhány grammos mennyiségben a szacharóz, melyet a szőlőből származó invertáz enzim elbont, piroszölősavvá (piruvát) alakulnak, végső soron az etanol képződik:



A glikolízis során képződött piroszölősav dekarboxileződik acetaldehiddé, majd alkohollá redukálódik. A cukormolekula egy része az ún. glicerín-piroszölősavas erjedésen megy át:



A piroszölősav acetaldehiddé dekarboxileződik, és számos másodlagos termék prekuzora lesz. Az alkoholos erjedés során 2 molekula ATP keletkezik:



Az erjedés harminc egymás után bekövetkező reakciót foglal magában. A foszforsav-észterek képződése során fruktóz-1,6-difoszfát alakul ki, a trióz-foszfátok képződésekor a hexóz-1-6-difoszfát molekula 2 db három szénatomos molekulára – triózokra – bomlik. A piroszölősav keletkezésekor a glicerinaldehid-3-foszfát glicerinsav-3-foszfáttá oxidálódik, majd a glicerinsav-3-foszfátból glicerinsav-2-foszfát, ebből pedig piroszölősav keletkezik. Ha oxigén nincs jelen, a piroszölősav hidrogénakceptor lehet, és közvetlenül D-tejsavvá alakul. Ha a redukciót dekarboxileződés előzi meg, a piroszölősav acetaldehiddé alakul, amiből alkohol képződik. Ha a piroszölősav nem tud redukálódni, számos szekunder termék prekuzora lesz.

A másodlagos (szekunder) termékek közé tartozik a tejsav, mely ha eléri a 400 mg/dm³-es erjedési tejsav-koncentrációt, akkor a piroszölősav nem dekarboxileződik, hanem a tejsav-dehidrogenáz katalizálta reakcióban közvetlenül tejsavvá redukálódik. A borélesztők szinte kizárólag D(-)-tejsavat állítanak elő a cukorból. A biológiai almasavbomlás során a tejsavbaktériumokban az L(-)-almasavból L(+)-tejsav keletkezik. **Glicerín képződik a glicerín-piroszölősavas erjedéskor**, melynek során a dihidroxi-aceton-foszfát glicerín-3-foszfáttá redukálódik, majd glicerinné alakul. A glicerín képződése sokkal nagyobb intenzitású az erjedés induló fázisában. Az acetaldehid és a glicerinaldehid-3-foszfát egyenlő koncentrációja esetén az acetaldehid redukálódik gyorsabban. **A cukor 3–8%-ban alakul glicerinné** a normális erjedési folyamatban, és az erjedés alatt ecetsav is képződhet. Az erjedés kezdetén ecetsav-növekedést, majd ecetsavcsökkenést lehet megfigyelni. Az ecetsav az acetaldehid diszmutációja révén keletkezik:



A képződés másik módja enzimatis, melynek során az aldehid-dehidrogenáz az acet-aldehidet ecetsavvá oxidálja.

Piroszőlősavból is származtatható több másodlagos termék. A piroszőlősav átlagos koncentrációja a borokban 80 mg/dm^3 , mely számos másodlagos termék keletkezésének kiindulópontja. A piroszőlősav prekürzora az acetyl-CoA-nak, az acetoinnak és a diacetylnek, melyek két molekula piroszőlősav kondenzációjakor keletkeznek. A diacetyl (2,3-butándiol) az acetoin oxidációjával keletkezik $0,5\text{--}2,5 \text{ mg/dm}^3$ -es koncentrációban, de az erjedés anaerob fázisában is keletkezhet az acetoin redukciójával. Maximális koncentrációja borokban 1 g/dm^3 . **Az almasav piroszőlősavból képződik**, melynek során a piroszőlősav oxálcetsavvá karboxileződik, amit az élesztő almasavvá alakít át. **A borostyánkősav is piroszőlősavból képződik**, melynek során a piroszőlősav almasavvá, az fumaréssavvá, végül borostyánkőssavvá alakul át. A borostyánkőssav dekarboxileződése után propionsav keletkezhet. A borostyánkőssav az egyik legjellegzetesebb másodlagos erjedési termék, maximális koncentrációja $1,5 \text{ g/dm}^3$. A piroszőlősavból citramálsav (metil-almasav) is képződhet, mely az alkoholos erjedés során képződik az ecetsav és a piroszőlősav kondenzációjával. A borokban $0\text{--}300 \text{ mg/dm}^3$ -es koncentrációban fordul elő.

A nitrogéntartalmú összetevők az alkoholos erjedés során lebomlanak. A must nitrogéntartalmú vegyületei az ammónia, az aminosavak, a polipeptidek és a fehérjék. Az aminosavak jelenléte a szubsztátumban megkönnyíti az erjedést. Az élesztő képes a szubsztátról közvetlen aminosav-felvételre, az aminosavakból ammónia szabadul fel, amely könnyen asszimilálható, a dezaminálás és dekarboxileződéskor pedig magasabb rendű alkoholok képződnek. Így a valinból 2-metil-1-propanol (izobutil-alkohol), a leucinból 3-metil-1-butanol (inaktív izoamilalkohol), az izoleucinból pedig 2-metil-1-butanol (aktív izoamilalkohol) keletkezik. A magasabb rendű alkoholok az erjeszhető monoszacharidokból is kialakulhatnak az élesztő tevékenysége révén. A magasabb rendű alkoholok közül a legjelentősebbek az 1-propanol, a 2-metil-1-propanol (izobutil-alkohol), a 3-metil-1-butanol (inaktív izoamilalkohol) és a 2-metil-1-butanol (aktív izoamilalkohol). Az élesztő az alkoholok alábbi prekürzor-kecsavait szintetizálja: α -ketovajsav (4C), α -ketoizovaleriánsav (5C), α -ketokapronsav (6C), α -keto- β -metilvaleriánsav (6C).

Az alkoholos erjedés során a mustban található szulfátok redukciójával kénhidrogén (H_2S ; $10\text{--}100 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$) és szulfid-ionok (SO_3^{2-}) képződnek, és $10\text{--}80 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$ SO_2 is keletkezhet.

12.6. A bor kémiai összetétele

A bor különböző szervetlen és szerves anyagok, vegyületek valódi és kolloid, alkoholos-vizes oldata. A **bor összetétele nem állandó**, az erjedés befejeztével az újbor csak kiindulóanyag, amiből a fejlett, állóképes, palackozott bor lesz. Az állandó változások, a sokszor ellentétes irányú folyamatok még a palackozott borban is történnek, mely igen lassú, de folyamatosan tart. **Az összetétel a bornak nem állandó, változatlan, hanem mindig változó, fejlődő vagy visszafejlődő tulajdonsága.** A bort az alábbi főbb kompo-

nensek alkotják: víz, alkoholok, cukrok, szerves savak, fenolos vegyületek, nitrogéntartalmú anyagok, pektinek és poliszacharidok, aromaanyagok, ásványi anyagok és vitaminok.

12.6.1. Alkoholok

A borok **metil-alkohol**-tartalma 20–350 mg/dm³, ami a szőlő pektinjének erjedés alatti hidrolíziséből ered. A törkölyön erjesztett borok, a vörösborok több metil-alkoholt tartalmaznak, és a direkt termő szőlők borában is több a metil-alkohol. 8–10 g metil-alkohol elfogyasztása súlyos látási zavarokat idézhet elő, 30–40 g pedig már halálos lehet, ezért kívánatos, hogy a borok metil-alkohol-tartalma minél kisebb legyen. Magyarországi vizsgálatok alapján a borok metil-alkohol-tartalma 21–293 mg/dm³, melyek megoszlása a következő: fehérborokban 21–117, siller- és vörösborokban 40–160, direkt termő borokban 40–293 mg/dm³ metil-alkohol található.

Az **etil-alkohol** egyértékű alkohol; forráspontja 78,3 °C; sűrűsége 20°C-on 0,7892 g/cm³. Színtelen, jellegzetes ízű, gyenge illatú folyadék; gyúlékony, kékes lánggal ég; vízzel minden arányban elegyedik. A keletkezett alkohol mennyiségét elsősorban a must cukortartalma szabja meg, ezért a nagyobb cukortartalmú mustokat az élesztők nem tudják bizonyos alkoholfokon felül erjeszteni. Az alkohol a bor természetes védő- és tartósítósóánya, ezért a **nagyobb alkoholtartalmú bor jobban ellenáll** a mikroorganizmusok okozta borbetegségeknek, és a **kiemelkedő évjáratok borai mindig nagy alkoholtartalmúak**, ezért az alkoholtartalom a bor minőségének egyik igen fontos meghatározója. A borok alkoholtartalma széles határok között 7–17, szélsőséges esetekben 5–19 v/v% között változik. Az alkohol igen kis része szerves savakkal és aldehidekkel észtereket és acetálokat képez, melyek fontos szerepet játszanak a bukéanyagok kialakulásában.

A két szénatomnál többet tartalmazó, egyértékű alkoholok a **valódi kozmaalkoholok, kozmaolajok**, melyek az alkoholos erjedés melléktermékeként képződnek. Az alkoholos erjedéskor képződő valódi kozmaalkoholok a normál propil-alkohol: CH₃-CH₂-CH₂-OH, forráspontja 97,2°C, mely kellemes szagú folyadék, az izopropil-alkohol: CH₃-CH(OH)-CH₃, forráspontja 82°C, az izobutil-alkohol: (CH₃)₂=CH-CH₂OH, forráspontja 107°C, jellemző illatú folyadék, az aktív amid-alkohol: C₂H₅-CH(CH₃)-CH₂OH, forráspontja 128°C, optikailag aktív, balra forgató, az izoamid-alkohol: (CH₃)₂=CH-CH₂-CH₂OH, forráspontja 131°C, jellemző szagú, 40 rész vízben oldható, optikailag inaktív folyadék. A magasabb rendű alkoholok 150–500 mg/dm³-nyi mennyiségben a borok normális alkotórészei. Nagy szerepük van a bor érzékszervi tulajdonságainak, illatanyagainak kialakulásában. Szerves savakkal észtereket, aldehidekkel acetálokat képeznek, melyek kellemes illatú és aromájú vegyületek. A normál propil-alkohol- és az izopropil-alkohol-tartalom néhány mg/dm³, az izobutil-alkohol-tartalom 50–250 mg/dm³, az amid-alkohol-tartalom 100–300 mg/dm³ között változik.

Az alkoholos erjedés másodlagos terméke a **glicerin**. Az első 50 g cukor erjedése alatt keletkezik a bor glicerintartalmának több mint fele; az alkohol után a glicerin a bor legnagyobb mennyiségű alkotórésze, mely a **bor extraktanyagának jelentős részét képezi**. A glicerin lágságot, simaságot, bársonyosságot, testességet kölcsönöz a bornak. Mennyisége 6 és 10 g/dm³ között van, és a magyar borok glicerintartalma is 6–10 g/dm³ között változik. A tokaji szamorodni borok 10–14 g/dm³, az aszúborok 7–24 g/dm³ glicerint

tartalmaznak. A magyar borok $0,42\text{--}1,46\text{ g/dm}^3$ 2,3-buténglikolt tartalmaznak, mely az erjedés alatt az acetoin redukciójával képződik. A borok $200\text{--}700\text{ mg/dm}^3$ mezo-inozidot tartalmaznak; a fehérborok mezo-inozit-tartalma 500 mg/dm^3 , a vörösboré 300 mg/dm^3 . A mannit jelenléte a borban rendellenes, hibás erjedésre mutat, melynek következtében koncentrációja $1\text{--}30\text{ mg/dm}^3$ lehet. A szorbit kis mennyiségben (100 mg/dm^3 alatt) a szőlőből ered.

12.6.2. Cukrok, szerves savak, illó savak, fenolos alkotórészek

A bor cukrai közül a legjelentősebbek a D-glükóz, a D-fruktóz, az L-arabinóz, a D-xilóz és a szacharóz. A borok cukortartalma függ a must cukorfokától, az erjedés körülményeitől, az élesztő fajtájától és a bor tárolásától, kezelésétől. A must cukortartalma elérheti a $350\text{--}400\text{ g/dm}^3$ -t, melyből a száraz bor legfeljebb néhány g/dm^3 -t tartalmaz. A természetes édes borok cukortartalma néhány grammtól $80\text{--}90\text{ g}$ -ig változik literenként. A hexózok közül a glükóz és a fruktóz az édes borok természetes alkotórésze. A mustban a glükóz és fruktóz aránya megközelítőleg 1, édes borokban ez az arány kisebb, megközelítően 0,50. A száraz borok glükóztartalma néhány tized g/dm^3 , fruktóztartalma $1\text{--}2\text{ g/dm}^3$. Az édes borok glükóztartalma néhány grammtól 30 g -ig, fruktóztartalma 60 g -ig változik literenként. A pentózok, az L-arabinóz, a D-xilóz és a ramnóz nem erjeszthetők, a mustból változatlanul kerülnek be a borba, és $2\text{--}3\text{ g/dm}^3$ -en felül már érezhető az ízük az érzékszervi bírálatnál.

A szerves savaktól ered a borok savas tulajdonsága. Az L-borkősav a szőlő és a bor jellegzetes, legfontosabb, legerősebb és legjobban disszociáló sava, a hidrogénionok mennyiségét legjobban növeli, ezért a bor pH-értéke nagymértékben függ a borkősavtartalomtól, melynek maximális értékét a must borkősavtartalma szabja meg. Az erjedéskor a kálium-bitartarát (borkő) kicsapódása folytán mennyisége csökken, ugyanis a keletkező alkohol miatt csökken az oldhatósága. A borkősav mennyisége 1 és 5 g között változhat literenként.

A borostyánkősav mennyisége $0,5$ és $1,5\text{ g/dm}^3$ mennyiségben változik az erjedés körülményei szerint. Az L-almasav szerepet játszik a szőlő érettségi állapotának meghatározásában, mert a fiatal borok zöld íze, nyersesége az almasavaknak tulajdonítható. Koncentrációja a zöld szőlőtől az érett borig az érési, alkoholos folyamatokon keresztül állandóan csökken. A borok almasavtartalma $0\text{--}8\text{ g/dm}^3$. A citromsav a szőlő és a bor természetes alkotórésze, a Fe^{3+} -iont megköti, így meggátolja a vasas töréseket. A tejsav az alkoholos erjedés alatt 1 g/dm^3 -nyi mennyiségben képződik cukorból, de az erjedés lefolyásától függően koncentrációja elérheti az 5 g/dm^3 -t is. Az erjedéstől kezdve koncentrációja állandóan nő. Az ecetsav az egészséges mustokban csak nyomokban mutatható ki. Az erjedés folyamán mindig keletkezik ecetsav, mely maximumát akkor éri el, amikor a cukor fele kiejedt. Az ecetsav mennyisége $0,6\text{--}0,8\text{ g}$ literenként, mely a fejlődés és a tárolás alatt csak növekedhet.

Az illó savak közül a hangyasav 50 mg/dm^3 -ig mindig kimutatható a borban; propionsavat az egészséges borok csak nyomokban tartalmaznak; vajsav pedig $10\text{--}20\text{ mg/dm}^3$ mennyiségben fordul elő az egészséges borban. Egyéb szerves savak a borokban a glikolsav, a glioxisav, a mezooxálsav, a glicerinsav, a szacharinsav, melyek nyomokban fordulnak elő,

nincs borászati jelentőségük. A glükonsav jelenléte bizonyítja, hogy az édes bor nemes rothadású szőlőből származik. A mustok és a borok 120 mg/dm^3 glükonsavat tartalmaznak. A glükuronsavat a nemes rothadásos vagy rothadásos átment szőlőkben mutatták ki. A borban $0,40\text{--}1,25 \text{ mg/dm}^3$ mennyiségben található.

A bor fenolos alkotórészei közül az antocianinok a szőlőben monomerként, esetenként acilezett formában vannak jelen. Hideg hatására a színanyagok molekuláris állapotból kolloidális állapotba mennek, majd kicsapódnak. A bor tisztulásakor, tisztításakor a színanyag egy része adszorbeálódik. Az oxidációs lebomlás során a Cu^{2+} - és Fe^{3+} -ionok katalizálta folyamatokban keletkező peroxidok alkalmasak a szőlő és a bor antocianinjainak oxidatív lebontására. A kondenzációs mechanizmus valószínűleg kopolimerizáció, de valamely tanninmolekula kapcsolódó közbelépésével lejátszódhat kondenzáció is. A kopolimerizációs és a kationos polimerizációs átalakulások a vörösborok érzékszervi tulajdonságait nagymértékben befolyásolják. A mustban lévő antocianin koncentrációja az erjedés alatt csökken, és az erjedés végére az antocianinok 40%-a kicsapódik. Az antocianinok valódi oldatból kolloid állapotba mennek át, adszorbeálódnak, majd kicsapódnak a közegből. Az antocianin-koncentráció változik a vörösborok érése során is, így fél éves tárolás alatt az antocianin-koncentráció átlagosan 25%-kal csökken.

12.6.3. A vörösborok színe objektív meghatározásának lehetőségei

A vörösboroknál nagyon fontos minőségi követelmény az elegáns vörös szín, mely több vegyület összhatásának az eredménye. A különböző borokban az egyes színanyag-komponensek különböző arányban vannak jelen, melyek pH-függőek. A fiatal vörösbor spektrumát 420 nm -en vizsgálva minimumot, 520 nm -en maximumot kapunk. A két hullámhosszon mért abszorbancaértékek jól jellemzik a vörösborok színerősségét, színárnyalatát (színtónusát), ugyanis 420 nm -en a barna színű polifenol-vegyületeket, 520 nm -en pedig a vörös színű antocianinokat mérjük. A két érték összege a vörösbor színerősségét, hánydosa színtónusát, a barna szín arányát határozza meg. A színtónus (T) értékei a következők lehetnek:

$T = 0,50\text{--}0,80$	a vörösbor színárnyalata jó
$T = 0,80\text{--}1,00$	a bor barnatőrésre hajlamos
$T > 1,00$	a bor barnatörött

A színintenzitás (I) értékei a bortípustól függően:

$I \leq 0,70$	rozé típusú bor
$I \leq 1,00$	siller típusú bor
$I = 1,00\text{--}2,00$	kadarkatípus,
$I = 2,00\text{--}3,00$	pecsenyevörösbor
$I = 3,00\text{--}4,00$	minőségi vörösbor
$I = 4,00\text{--}5,50$	különleges minőségű vörösbor
$I = 8,00\text{--}10,00$	gyenge festőbor,
$I = 10,00\text{--}15,00$	közepes festőbor
$I = 15,00\text{--}20,00$	kiváló festőbor

A színindex függ a kénessav-koncentrációtól, ugyanis 100 mg/dm³ kénessav-koncentráció-változás 1,00 egység színindexváltozást eredményez. A színtónus is függ a kénessav-koncentrációtól, mert a kénessav az antocianin-vegyületeket szinteleníti el, ezért a T színtónus növekedni fog. A színindex függ a pH-tól is, mert az antocianin-monomerek érzékenyek a pH változására. Az antocianin-koncentráció csökkenése az érlelés folyamán nem tekinthető színanyagvesztésnek, a monomer-antocianinok egy része ugyanis polimerizálódik, a polimer színanyagok pedig a pH-ra szinte teljesen érzéketlenek. A fél-, egyéves vörösborok színanyagainak 30–40%-át polimer vegyületek alkotják. A színindex és a színtónus időbeli változása sok tényezőtől (tárolás, hőmérséklet, adott bor kémiai összetétele stb.) függ. A bor színindexe az első 6–10 hónapban növekszik, utána csökken, majd színtónusa idővel újból növekszik.

12.6.4. A bor nitrogéntartalmú anyagai

A borban kevesebb a nitrogéntartalmú anyag, mint a szőlőben és a mustban, mert az erjedés alatt az élesztők a nitrogénvegyületek egy részét felhasználják. A borok összes nitrogéntartalma 50–1800 mg/dm³, ez 0,3–11,3 g/dm³ nitrogénvegyületnek felel meg, ami a bor extrakttartalmának 20–30%-át is kiteheti. A bor nitrogénvegyületei az ammóniumkation (NH₄⁺), az amidok, az aminosavak, a biogén aminok, a polipeptidek, a peptonok és a fehérjék (proteinek).

Az ammóniumkation mennyisége a borban néhány mg-tól 150 mg-ig terjed literenként. Az amidok közül a borban az aszparagin és a glutamin fordul elő, melyek koncentrációja az összes nitrogéntartalom 1-2%-a, néhány mg/dm³. Az aminosavak a borok összes nitrogéntartalmának 10–40%-át teszik ki. A fehérborok aminonitrogénje 10–25%-a, a vörösboroké 20–40%-a az összes nitrogénnek. Az aminosavak közül a glicin, a lizin és a cisztin nem változik az erjedés alatt, a többiek mennyisége 75–90%-kal is csökken, az arginin, a hisztidin, a tirozin és a prolin mennyisége viszont növekszik az erjedés folyamán.

A borok biogénamin-koncentrációja az egyéb élelmiszerekhez képest elenyészően alacsony. A borral bevitt csekély amin felhalmozódik, és az arra érzékenyeknél allergiás tüneteket okozhat. A magyar borokban a hisztamin, tirozin, triptamin, kadaverin, fenil-etilamin, putreszcin és ritkábban a szerotonin fordul elő. A vörösborokban általában magasabb a hisztamin, illetve a tiramin koncentrációja. A magyar borok hisztamin-koncentrációja 0,17–2,50 mg/dm³ közötti. A kadaverin a fehérborokban 0–0,30, a vörösborokban 0–0,90 mg/dm³ koncentrációban fordul elő. Ezek az értékek az etil-aminra 0–0,40 és 0–0,80, a hisztaminra 0,17–1,25 és 0,59–2,20, a metil-aminra 0,21–1,30 és 0,30–0,87, a β-fenil-etil-aminra 0 és 0–0,78, a putreszcinre 0,31–1,78 és 0,45–5,49, a szerotoninra 0–0,75 és 0–1,07, a tiraminra 0,01–1,10 és 0,30–0,95, a triptamin pedig se a fehér-, se a vörösborokban nem fordul elő.

A polipeptidek és a peptonok nitrogénjének mennyisége 60–90%-a a bor összes nitrogénjének. A fehérjenitrogén a bor összes nitrogéntartalmának csak néhány százaléka. A fehérjenitrogén-tartalom a magyar borokban 7–120 mg/dm³, amely 44–750 mg/dm³ fehérjét jelent. A mustok és borok tartalmaznak oldható szőlőfehérjét, mely a bor természetes ászkolása alatt lassan denaturálódik, kiválik, zavarosodást, majd csapadékot okozhat.

12.6.5. Pektinek és poliszacharidok

A musthoz képest a bor pektintartalma kisebb: 0,1–0,2 g/dm³, melynek nagy része az erjesztés alatt kicsapódik, az erjedés folyamán nagymértékben denaturálódik. A gumik polimerizált cukoranhidridek, melyek kémiaiilag arabánok, az arabinóz anhidridjei, néha pedig galaktánok, melyek a borban 0,1–3,0 mg/dm³ koncentrációban találhatóak, és amelyek mennyisége az ászkolás alatt csökken. A nyálkaanyagok és a mézgák közül jelentősebbek a glükózánok, a glükózanhidrid-egységek és a dextrán, melyek néhány tized g/dm³ koncentrációban találhatóak a borban.

12.6.6. A bor aromaanyagai

A bor aromakomponensei tartalmazzák a szőlőben, illetve a mustban megtalálható vegyületeket, melyek kiegészülnek az erjedés során képződött aromahordozó vegyületekkel. A borban előforduló íz- és illatanyagok a kémiai csoportosítás szerint az alábbiak: aldehidok és ketonok, acetálok; észterek; laktonok és más oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek; terpének és oxigénszármazékaik; nitrogéntartalmú vegyületek; kéntartalmú aromák és polifenolok.

A szőlőben kevés aldehid fordul elő, mert az aldehidok alkohollá redukálódnak, a hexanalok és a hexenalok pedig részt vesznek a fűillat kialakításában. A legnagyobb mennyiségű borban található aldehid az acetaldehid, mely az illatküszöb feletti mennyiségben kellemetlen szagú, az erjedés vége felé viszont koncentrációja a minimálisra csökken. Az acetaldehid a kénssavval reakcióba lép, és felhasználódik a procianidinek polimerizációjában. Egyéb borban előforduló aldehidok a furfural, az 5-hidroximetil-3-furalaldehid (furfural), a fenolaldehidok (a fahéjaldehid és a vanillin), valamint a benzaldehid. **A borban előforduló ketonok** a nor-izoprenoid, a damascenon, az α -ionon és a β -ionon, melyek több szőlőfajta aromaanyagainak kialakításában vesznek részt. A diacetil a vajra emlékeztető, nemkívánatos szagot eredményez, mely borbetegségre utal, és melyet bizonyos tejsavbaktériumok tevékenysége okoz. Az acetálok akkor keletkeznek, amikor egy aldehid reagál két alkohol hidroxilcsoportjával. A borban jelentéktelen koncentrációban fordulnak elő.

A borokban mintegy 160 speciális észtert azonosítottak, amelyek csak alacsony (mg/dm³, μ g/dm³) koncentrációban vannak jelen. Gyümölcsillatra emlékeztetnek, fontosak a fiatal borok aromájának kialakításában. A monokarbonsav-észterek közül a legfontosabbak **etil-alkoholból és telített karbonsavból képződnek**. Gyümölcsészterek az izoamil-acetát, amely banán-, és a benzil-acetát, amely almaillatot mutat. Az aminosavak etil- és metilészterei mg/dm³ nagyságrendben fordulnak elő. Az erjedés végén a gyümölcsészterek hidrolizálnak alkoholra és ecetsavra, mely az aromajelleg csökkenésével, laposodásával jár. Az alacsony erjedési hőmérséklet elősegíti a gyümölcsészterek (izoamil-, izobutil- és hexil-acetát) képződését, a magasabb hőmérsékletek pedig a hidrolízisnek kedveznek. Az etil-acetát mennyisége egészséges borokban általában 50 és 100 mg/dm³ között van. Alacsony (50 mg/dm³) vagy ez alatti koncentrációban kellemes, 150 mg/dm³ felett már savanyú, ecetjellegű, kellemetlen szagot ad.

A laktonok és más oxigéntartalmú heterociklusos vegyületek közül a borban a γ -laktonok fordulnak elő, melyek a szőlőből kerülnek a borba, és az erjedés és az érés fo-

lyamán is képződhetnek. A terpének és oxigénszármazékaik fontos szerepet játszanak a gyógynövény- és a gyümölcsízestésű borok illatában. Az egészséges szőlő terpénalkoholtartalma stabil, de mennyisége csökken a tárolás alatt, így az illat kialakításában a szerepe csekély. A muskotály a linalooltól származó liliomra emlékeztető illata folyamatosan felcserélődik az α -terpineol dohos fenyőre emlékeztető illatával.

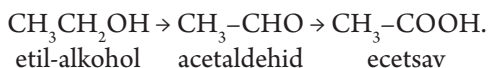
A **nitrogéntartalmú aromák** közül jelentősebbek a pirazinok, melyek gyűrűs nitrogéntartalmú vegyületek. A 2-metoxi-3-izobutil-pirazin a zöldpaprika, a sauvignon blanc és a cabernet sauvignon borok illatának kialakításában vesz részt. A piridinek (2-acetil-tetrahydro-piridin) szerepe az „egéríz” kialakítása. Kénhidrogén és szerves kénvegyületek csak nyomokban fordulnak elő a kész borban. Érzékszervi küszöbértékük néhány pg/dm^3 . A kénhidrogént az elemi kén redukciójával élesztők termelik, amely a szüreti időszakban megtalálható a szőlőn. A merkaptánok szénhidrogénláncához kapcsolódó szulfidhidril-, vagyis SH-csoportokból állnak. A 2-merkaptó-etanol részt vesz az ún. „bakszag” kialakításában, a dimetil-szulfid ($\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$) pedig rákra emlékeztető szagot okoz. A tiofének (2-metil-tiofén-3-ol) gyenge hagymaszagot okoznak, a tioészterek (3-etil-merkaptó-propionát) pedig a „rókaízt” adják.

12.6.7. Polifenolok az aromaképzésben

A flavonoid-fenolok a vörösborok ízét és zamatát alkotják, az antocianinok viszont kevésbé befolyásolják a bor ízét. A legjobban érezhető ízű anyagok a vörösborokban a katechinek és polimerjeik, a procianidinek és a kondenzált tanninok, melyek a keserű és húzós írzeteket adják. A tirozin kb. $25 \text{ mg}/\text{dm}^3$ kritikus mennyiségben hozzájárul a fehérbor keserű ízének kialakításához, a 2-fenil-etanol és a metil-antranilát viszont a borsíz kialakulásáért felelős. Az aceto-vanillinnak enyhe, vaníliára emlékeztető illata van, a 2-fenil-etanol pedig rózsára emlékeztető illatú. Néhány illó fenilszármazék még a 2-fenil-etanol, a vanillin és a cingeron. A szőlő hidroxifahéjsav-észterei illó fenolokká alakulnak. Az eugenol általános fűszeres jelleget ad, a guajakol pedig édeskés, füstre emlékeztető illatú. Fontos fenil-aldehidek a vanillin és a sziringaldehid, amelyeknek vaníliaillatuk van. Az 5-hidroxi-metil-2-furánaldehid (oximetil-furfurol) a kamillára emlékeztető illatú.

12.6.8. Jellegetes ízhibát okozó vegyületek a borban

A szőlőfajtából eredő aromahibák a szamócaíz, ribizliíz, rókaíz, burgonya- és zöldpaprikaíz, valamint az orvosságíz. Az erjedésből és a további mikrobiológiai folyamatokból eredő ízhibák az ecetíz, a savanyúkáposzta-íz, a „Böckser”-íz, az egéríz, az orvosságíz és a lóistállóíz. A tárolás során, hordós érleléssel vagy szennyeződéssel a borba kerülő, nemkívánatos aromaanyagok okozzák a dugóízt és a kerozinízt. Ecetízt mikrobiológiai folyamatok, az ecetsav megemelkedett mennyisége okozzák. Ha a borban az illósavak koncentrációja $0,8 \text{ g}/\text{dm}^3$ körüli, vagy több mint $90 \text{ g}/\text{dm}^3$ etil-acetát van jelen, erős „illóíz” jelentkezik, ha az etil-acetát több mint $200 \text{ g}/\text{dm}^3$, érezhető ecetíz tapasztalható. Az ecetsavképződés mechanizmusa során mindkét alábbi reakciót az alkoholdehidrogenáz enzim katalizálja:



A hosszabb szénláncú aldehidek is oxidálódhatnak savakká.

A szőlőfajtából származó izhibák közül a számócaízt a furaneol nevű vegyület okozza, melynek érzékszervi küszöbkonzentrációja 100–150 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. A burgonyacsira és a zöldpaprikaízt a 2-alkil-3-metoxipirazinok, melyek ízküszöbértéke 2–150 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, és a 2-propil-3-metoxi-pirazin okozzák, mely a borokban 0,6–38 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ koncentrációban fordul elő. Az orvosságíz okozói az illékony fenolvegyületek. Ha a vinilfenol-tartalom $>700 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, akkor nagyon kifejezetten érezhető az orvosságíz. A 4-etil-guajakol lóistállóíz és -szagot okoz. Az egéríz, mely az egérvizeletre emlékeztet, olyan borokban alakul ki, amelyek nem kaptak megfelelő kénezést, savtartalmuk alacsony, pH-juk pedig magas. A bökser (bakszag) kialakulását különböző kéntartalmú vegyületek okozzák.

A tárolás során nagy szennyezésként a borba kerülő izhibák közé tartozik a petróleumíz, melyet a karotionidok bomlásából származó szénhidrogének okoznak. A dugóíz és a penészíz a dugók mikrobiális fertőzöttsége és a szabad klór jelenléte együttesen okozza. A korai öregedési íz kiváltó vegyülete a 2-amino-acetofenon, melynek nagyobb mennyiségéért a stresszreakciók (szárazság, kevesebb tápanyag [főleg nitrogén], a szőlő nagyobb terhelése) felelősek.

A must ásványianyag-tartalma változik az erjedés alatt, mert egyes anyagokat az élesztő használ fel, mások pedig oldhatatlan sók alakjában kiválnak. A bor normális klorid (Cl^-)-tartalma kicsi, 20–200 mg/dm^3 , de a sós, szikes talajon termesztett szőlők borai 1 g/dm^3 kloridot is tartalmazhatnak. A szulfát (SO_4^{2-}) 50–100 mg/dm^3 -nyi mennyiségben a szőlőből ered. A kénessav egy része kénsavvá oxidálódik, az ászkolás során a borok szulfát-tartalma növekszik, de az 1 g/dm^3 -t ritkán haladja meg, általában 200–500 mg/dm^3 . A magyar borokban 200–540 mg/dm^3 foszfátot (PO_4^{3-}) találtak, melynek tizedrésze szerves kötésben van. A magyar borokban 0–52 mg/dm^3 szilikátot (SiO_3^{2-}) mutattak ki. A bromid (Br^-) kis mennyiségben (0,1–0,8 mg/dm^3), a fluorid (F^-) pedig 1 mg/dm^3 körüli koncentrációban mutatható ki a borokban. A jodid (I^-) igen kis mennyiségben, néhány tized mg/dm^3 koncentrációban, a borok normális alkotórésze. A borok 10–80 mg/dm^3 „bórsavban” kifejezett borátot (BO_4^{3-}) tartalmaznak. Nitrátot (NO_3^-) a szőlő, a must és a bor csak nyomokban tartalmaz.

A borokban 100–1800 mg/dm^3 kálium (K^+) van. A káliumtartalom 400–1600 mg/dm^3 között, a legtöbb esetben 600–1000 mg/dm^3 között változik. A borban a nátrium (Na^+) mennyisége 10–200 mg/dm^3 közötti, a magyar borokban 10–50 mg/dm^3 nátrium található. A borok kalciumtartalmának (Ca^{2+}) határt szab a kalcium-tartarát csekély oldhatósága, ezért a borok kalciumtartalma csak 50–160 mg/dm^3 között ingadozik. A magnézium (Mg^{2+}) minden borban előforduló sója könnyen oldható, mennyisége a musttól kezdve a kész borig nem változik, a borok magnéziumtartalma 60–140 mg/dm^3 . A szőlőlé eredeti vastartalma (Fe^{2+}) 2–5 mg/dm^3 között van, a borok vastartalma erősen változó, 5–15 mg/dm^3 közötti.

Néhány tized mg/dm^3 réz (Cu^{2+}) a szőlőből származik, de ennél lényegesen több kerül a réztartalmú védőszerekből a borba. A mustok réztartalma 20–30 mg/dm^3 -t is elérheti, az újborok réztartalma viszont rendszerint 1 mg/dm^3 alatt van. A borok réztartalma a legtöbb esetben 0,1–2,0 mg/dm^3 . Néhány mg/dm^3 -nyi mennyiségben az alumínium (Al^{3+}) rendes alkotórésze a bornak, mennyisége 50 mg/dm^3 -nél mindig kevesebb. A mangán

(Mn²⁺) 1-2 mg/dm³ koncentrációban található a szőlőben, míg a borok mangántartalma 0,2–5 mg/dm³ közötti. A mustok 0,5 mg/dm³-nél kisebb mennyiségben tartalmazzák az ólmot (Pb²⁺), míg a borokban 0,1–0,4 mg/dm³ az ólomtartalom, melynek maximális értékét 0,6 mg/dm³-ben szabták meg. A cink (Zn²⁺) normális mennyisége 0,1–5 mg/dm³, az arzén (As³⁺) pedig 0,01 mg/dm³ koncentrációban van jelen a borban, és 1 mg/dm³ feletti arzéntartalmú bor fogyasztása már veszélyes!

12.6.9. Vitaminok a borban

A borból teljesen hiányoznak a zsíroltható, az A-, D-, E- és a K-vitamin, a vízoldható vitaminok közül pedig az **aszorbinsav**, ugyanis az erjedés alatt a mustban esetleg jelenlevő C-vitamin is lebomlik. A többi vízoldható vitamin kisebb-nagyobb mennyiségben megtalálható a borban, melyek legnagyobb része a szőlőből származik, de az élesztők is szintetizálnak vitaminokat. A bor mint B₁-vitamin (tiamin)-forrás alig jön számításba, mert mennyisége egy liter vörösborban kevesebb, mint 10 µg, a fehérborban pedig 10 µg körüli. (A továbbiakban az első érték a vörösborra, a második a fehérborra vonatkozik.) A vörösborok jóval több B₂-vitamint (riboflavin) (177–32 µg) tartalmaznak, mint a mustok, mert a vörösborokban a színezékek megvédik az elbomlástól. A B₆-vitaminból (piridoxin) (0,35–0,31 mg) 1 liter bor kb. a napi szükséglet tizedrészét biztosítja, míg B₁₂-vitaminból (kobalamin) (0,06–0,07 µg) 1 liter bor a napi szükséglet 6-7%-át fedezi. A bor jelentős H-vitamin (biotin)–(2,1-2,0 µg) forrás, 1 liter bor a napi szükséglet ötödét fedezi. PP-vitaminból (nikotinsav-amid) (1,36–0,82 mg) 1 liter bor a napi szükséglet 5–10%-át, pantoténsavból (0,98–0,82 mg) a napi szükségletnek csak tizedét fedezi. A bor mint folsavforrás (pteril-glutaminsav) (2–2 µg) alig jöhet számításba. Összességében elmondható tehát, hogy a **bor nem jelentős vitaminforrás**, kis mennyiségű vitaminjai azonban mégis fontos szerepet játszhatnak hiányos táplálkozáskor. A must kevesebb vitamint tartalmaz, mint a belőle készült bor, mert az **erjedés során a mikroorganizmusok nemcsak fogyasztják, de termelik is a vitaminokat.**

12.7. A bor fejlődésének kémiája

A hordóban érlelt minőségi borok a tárolási idő alatt mélyreható kémiai és fizikai változásokon mennek keresztül, melyek a **bor érése, jellegének kialakulása, öregedése és elvénülése**. Az érlelés során bekövetkező változások lehetnek fizikai jelenségek (az alkohol és a víz elpárolgása, az élesztősejtek kiülepedése) és fizikai-kémiai jelenségek (a borkő és a kalcium-tartarát képződése, illetve kicsapódása, a kolloidok koagulációja és flokkulációja [fehérjék, tanninok és színyanyagok], a polifenol-vegyületek oxidációja, az acetáلكépződés az aldehidek és az alkohol között, és a kötött és illósavak észtereződése alkoholokkal) és biológiai-biokémiai változások (a maradékcukor kiejerdése [utóerjedés], biológiai almasavbomlás, az aminosavak alkoholos erjedése, az élesztők önemésztése [autólízis]).

12.7.1. Oxidációs-redukciós jelenségek a borokban

A borok literenként, 20°C-on 5,6–6,0 cm³, 12°C-on 6,3–6,7 cm³ oxigént oldanak. A borban lévő szén-dioxid nagyobb mennyisége az oxigén oldódását jelentősen lassítja.

Az oldott oxigén változó sebességgel kötődik a bor oxidálható anyagaihoz. A vas és a réz katalizálja az oxidációt, együttes jelenlétük erősíti a katalitikus hatást.

12.7.2. A bor tárolása, érése során képződő aromaanyagok

Az érés alatt alakul ki az **oxidatív buké**, melynek során aldehidek és acetálok képződnek. A vörösborok fahordós tárolása során a fából kioldódnak az aromadús fenolvegyületek (vanillin, eugenol, wisky-lakton), melyek jelentősen alakítják a bor ízét és zamatát. A **reduktív buké** kialakulása során az észtertartalom változik, az acetálok mennyisége és a gyümölcsíz, a frissesség csökken, a mono- és dikarbonsav-etil-észterek mennyisége pedig nő. Megjelennek a karotin- és a szénhidrát-bomlástermékek, a terpénvegyületek reakciói során viszont a linalool, a geraniol és a hotrienol mennyisége csökken, és az α -terpineol, valamint a nem illatos hidroxilinalool és nerol-oxid képződik.

12.8. A vörösbor mint funkcionális élelmiszer

12.8.1. A vörösbor egészségvédő szerepe

A kutatások szerint a vörösbor kismértékű fogyasztása kedvező lehet az emberi szervezetre. Ezzel párhuzamosan felmerül a kérdés, hogy **miért is funkcionális élelmiszer a vörösbor**, és nem funkcionális a szőlő vagy a szőlőlé? A legtöbb fejlett országban az étrend magas zsír-, telítettségű zsírsav- és koleszterintartalma, a jelentős energiabevitel összefüggésbe hozható a szív- és érrendszeri betegségekkel. A mediterrán országokban (különösen Franciaországban) nincs ilyen összefüggés. Eltérés csak az étrend összetételében és a rendszeres vörösborfogyasztásban van, így összefüggést sejtene a mérsékelt alkoholfogyasztás és a csökkent kardiovaszkuláris megbetegedések között. Az alkoholt nem fogyasztók hajlama a betegségre kicsit magasabb, mint a mérsékelt, 12–24 g alkoholnak megfelelő italt fogyasztóké, de mindenhol hangsúlyozzák, hogy a nagyivók az alkohol toxikus hatásai miatt korán halnak.

12.8.2. A mérsékelt vörösborfogyasztás hatásai

A vörösbor (és benne az alkohol) alacsony dózisban megakadályozhatja a trombózis kialakulását, mert csökkenti a fibrinogén- és emeli a plazminogénkoncentrációt. Visszaszorítja a vérlemezkék koagulációját, ezzel gátolja az atherosclerosis kialakulását. Növeli a protektív hatású (jó) HDL-koleszterin koncentrációját, és kismértékben csökkenti a (rossz) LDL-t. Az alkohol indukálja a HDL-koleszterin egyik fehérjekomponense, az apoprotein A-1 keletkezését. A különböző alkoholos italok hatása nem egyenértékű. Legkedvezőbb hatású a vörösborfogyasztás. A másfél-három deci vörösborot fogyasztóknál 50%-kal kisebb az esély a kardiovaszkuláris megbetegedés kialakulására, a várható élettartam pedig 10–12 évvel hosszabb. A kardioprotektív hatásért a fenolos vegyületek felelősek, melyek monomer, oligomer és polimer alakban fordulnak elő. A proantocianidinek és antociánok az alkoholos erjedés alatt a héjből átoldódnak a vörösborba, és a vörösborok jellegzetes csersavas aromáját is fenolos vegyületek eredményezik. A fehérbor összes fenoltartalma 170–300 mg/l, a vörösboré 1800–4000 mg/l.

A vörösbőr jótékony hatásának háttérében három kémiai folyamat található: az anti-oxidáns hatás, a trombocitaaggregáció gátlása és a vazorelaxáló hatás. A kardiovaszkuláris mortalitás és az elfogyasztott természetes antioxidánsok mennyisége között negatív az összefüggés, amit a vérplazma magas aszkorbinsav- és α -tokoferol-szintjével lehet magyarázni. A lipofil antioxidánsok (BHT) megakadályozzák az LDL oxidációját, és a vörösbőrben található polifenolos vegyületek is antioxidánsként viselkednek. A boreredetű fenolos komponensek LDL-oxidációt gátló hatásúak, így a relatív antioxidáns aktivitás szoros összefüggésben van a bór összes fenoltartalmával, és néhány monomer komponens, a galluszsav, a katechin, a miricetin, a kávésav és a rutin koncentrációjával. A vörösbőrökönál magasabb antioxidáns aktivitást tapasztaltak, ami jelzi a polifenolos vegyületek antioxidáns hatását. Egy kísérletben két hétig napi 400 ml vörösbőr fogyasztása jelentősen csökkentette az LDL oxidációra való hajlamát.

A fitoalexin rezveratrol (3,4,5-trihidroxisztilbén) fungicid hatású, mely gátolja az LDL-oxidációt, a fehérjéhez kötött antioxidáns aktivitása pedig a kvercetinével és az α -tokoferollal azonos. A polifenolok jól kötődnek az LDL-hez, és endogén antioxidáns (C- és E-vitamin) analógokként viselkednek. Egy másik kísérletben négy hétig tartó rendszeres vörösbőr fogyasztás után az LDL-koleszterin polifenoltartalma szignifikánsan megnőtt.

A vörösbőr polifenoljai szinergensek a tokoferollal és az aszkorbinsavval, melynek következtében az antioxidáns hatás erősödik. A boreredetű fenolos komponensek kedvező hatása antitrombotikus mechanizmusokon keresztül is érvényre juthat, mert a vörösbőr-eredetű fenolos vegyületek gátolják a trombociták és a makrofágok ciklooxygenáz és lipoxigenáz aktivitását, lassítják a trombotikus folyamatokat. Kettő és négy hónapig tartó étrendi vörösbőr-kiegészítés, a rezveratrol önmagában és magas polifenoltartalmú borhoz adagolva is csökkentette a trombocitaaggregációt, és gátolták azt a kvercetin és a rezveratrol is. A vörösbőr-eredetű fenolos vegyületek a keringési rendszert, a vérerek működését is képesek befolyásolni, mert a vörösbőrben, a kékszőlő-lében és a szőlő héjából származó kivonatban olyan komponensek vannak jelen, melyek vazorelaxáló hatásúak.

A magyarországi vörösbőrökkel végzett vizsgálatok az alábbi eredményeket hozták: a vörösbőrök összes polifenoltartalma 1040–3400 mg/l között változott. Megállapították, hogy a vörösbőr-eredetű fenolos molekulák kiváló hidrogéndonor-vegyületek, melyek láncmegszakító antioxidánsként funkcionálhatnak a lipidperoxidáció gátlásában. A bór polifenoltartalma és hidrogéndonor-aktivitása között szoros összefüggést találtak. A redukálóképesség és a polifenoltartalom között szintén szoros lineáris volt az összefüggés, így a vörösbőr-eredetű polifenolok, másodrendű (preventív) antioxidánsok jelenlétében a lipid-hidroperoxidok bomlása következik be.

Összefoglalva: a vörösbőr összetevői közül kedvező hatású maga az alkohol és a szőlőléből, a bogyból, a magból és a héjből származó fenolos jellegű molekulák. A fenolos vegyületek változatos kémiai szerkezetükből adódóan redoxipotenciáljuk eltérő, és így egymással vagy az egyéb természetes antioxidánsokkal képesek szinergista hatást kifejteni. A vörösbőr-eredetű polifenolos vegyületek kedvezően befolyásolnak antioxidáns, antitrombotikus és vazorelaxáló folyamatokat. Alkoholos közegből (bőr) a polifenolos vegyületek felszívódása könnyebb, mint a vizes (szőlőlé) rendszerből. A mérsékelt mennyiségű vörösbőr, férfiaknak napi 100–300 ml, nőknek 100–200 ml, kulturált, étkezéshez kapcsolódó fogyasztása elméletileg csökkentheti a szív- és érrendszeri megbetegedések arányát.

13. Válogatott fejezetek

13.1. A vitaminok szerepe az idős emberek táplálkozásában

Idős korban a vitaminszükséglet **nem tér el lényegesen** a felnőtt emberekéétől, számolni kell azonban azzal, hogy a **szervezet vitaminraktárai telítődhetnek**, ami csökkentheti, a megváltozott élettani folyamatok viszont növelhetik a vitaminszükségletet. A zsírban oldódó vitaminok esetében a csökkent zsírszorbpció, a **máj csökkent vitamintároló képessége**, a táplálékkal történő csökkent bevitel, az emésztőenzimek részleges hiánya, valamint a **bélből történő felszívódási zavarok vezethetnek vitaminhiányhoz**. Problémák jelentkezhetnek a **vitaminok többszörös túladagolása** miatt is, ami a vitamintabletták túlzott fogyasztása és a szervezet raktárainak feltöltöttsége miatt alakulhat ki. Normál táplálkozás esetén **A-, D-, E- és K-vitamin-hiánnyal csak ritkán kell számolni**, nagy gondot kell viszont fordítani a D-vitamin-szükséglet, és vele párhuzamosan a kalciumigény kielégítésére, hogy a csontritkulás és az időskoriaknál fokozott csonttörés veszélyét el lehessen kerülni.

Fejlett országokban idős embereknél a **vízben oldódó vitaminok hiánya csak nagyon ritkán fordul elő**, melyet a táplálék vitaminhiánya, de inkább a vitamin kötéseiből történő felszabadulása, a szabad vitamin abszorpciójának nehézsége, emésztőrendszeri problémák, gyógyszerek szedése és sokszor az alkoholizmus okozhat. A vízben oldódó vitaminok közül a szervezet csak a **B12-vitamin esetében rendelkezik megfelelő tartalékkal**, mely vitaminhiányos élelmézéskor is hosszabb ideig meg tudja előzni a hiánytünetek jelentkezését. Esetenként szükséges lehet a napi szükségletnél jóval több vitaminfogyasztás, mert az **optimális túladagolás az egészségre jótékony hatást fejthet ki**, bár az eredmények esetenként ellentmondásosak.

13.1.1. Zsírban oldódó vitaminok

Ahhoz, hogy szervezetünk működni tudjon, szükségünk van az élelmiszerek rendszeres napi fogyasztására, melyen keresztül hozzájutunk a létfontosságú fehérjékhez és az energiához. Az életkor növekedésével, különösen a **40. év után csökken az ember energiaszükséglete**, és egy idősebb ember harmadával kevesebb (9000–9500 kJ/nap) energiával is beéri, mint egy 40 éves (11 000–11 500 kJ/nap). Általánosságban elmondható, hogy **egy 70 év körüli ember 30%-kal kevesebb energiával is beéri**, mint a fiatalabb, és hogy a közösségben élő idősök 60–80%-ának energiabevitele naponta 4000–4500 kJ. A múlt század második felében a férfiaknál a napi energiabevitel 4000–5000 kJ/nappal, nőknél pedig mintegy 3000 kJ/nappal csökkent, ami együtt járt sok fontos tápanyag csökkent bevitelével is.

A **legnagyobb problémát a fehérjebevitel csökkenése okozta**, ugyanis a férfiak 10, a nők pedig 20%-a kevesebb fehérjét fogyasztanak az RDA-ban (Recommended Dietary Allowance) megszabottnál. A kevesebb fehérjebevitel **együtt jár** a kevesebb ásványianyag- és a **kevesebb vitaminfelvétellel**, ami hiánybetegségek kialakulásához vezethet. Az idősebbek 50%-ának vitamin- és ásványianyag-bevitele nem éri el az RDA-ban megszabott

értéket, és 10–30%-uknál jelentős hiány mutatkozik. Az idős emberek hajlamosak arra, hogy kevesebb energiában dús ételeket és több energiában szegényebb teljes kiőrlésű magokat, zöldségeket és gyümölcsöket fogyasszanak, mellyel párhuzamosan a korral csökken a táplálékfelvétel és a folyadékfogyasztás is. Mindehhez hozzájárulnak azok a fiziológiai változások, melyek együtt járnak az öregedéssel, mint a gyomor lassúbb kiürülése, a megváltozott íz- és illatérzés, a hormonális változások, és a fogazat megváltozása következtében előállt rágási nehézségek.

A csökkent étel- és energiafelvételhez hozzájárulnak még olyan dolgok is, mint a jövedelemben bekövetkezett változás, a műveltségi szint, a családi állapot, a társadalmi-gazdasági állapot megváltozása, az étel- és táplálékfelvétellel kapcsolatos vélemények és hiedelmek, valamint tévhitek. Ezek hatására vagy ezek következtében a **csökkent energia- és táplálékanyag-bevitel étellel kapcsolatos hiánybetegségekhez vezethet**. Különösen azok az időskorúak **veszélyeztetettek**, akik vitaminhiányosan táplálkoznak, **vegetáriánusok** vagy valamiféle étel- és táplálékfelvétellel kapcsolatos malabszorpcióban szenvednek. Különösen nagy figyelmet érdemelnek azok, akik tejcukor- vagy tejfehérje-allergiások, hisz **megfosztják szervezetüket a magas biológiai értékű fehérjétől** és az igen kedvező hatású tejszíntől.

A világ legtöbb országában az egészségügyi hatóságok megszabják minden korosztály számára azokat a minimális energia- és étel- és táplálékfelvétellel kapcsolatos értékeket, melyek szükségesek az egészséges életvitelhez, melyeket az RDA-szintekben fejeztek ki. Itt figyelembe vették a testtömeget, hogy gyerekről, férfiról vagy nőről van szó, de nem tettek különbséget az azonos tömegű, de különböző korú emberek között. A hivatalosan megállapított RDA-szintek folyamatosan változtak, és később azt is figyelembe vették, hogy **az emberi szervezet bizonyos tápanyagokat raktározni tud, melyet hiányos táplálkozás esetén mozgósítani képes**. Megállapították azt is, hogy az átlagosnál nagyobb mennyiségben terápia célból fogyasztott táplálékok hatása hosszabb távon ellentmondásos.

Az RDA hibáinak kiküszöbölésére bevezették a DRI-t (Dietary Reference Intake), mely már nemcsak a tápanyagellátásra, hanem bizonyos típusú betegségek megelőzésére is figyelemmel volt. Kidolgozásánál alapnak tekintették, hogy a meghatározott értékek a népesség 50%-ának igényeit teljesen elégítsék ki, és 98%-uknál ne okozzon hiánybetegséget azokra a tápanyagokra, amelyeknek nem volt RDA-értéke. Meghatározták a megfelelő bevitel értékét és azt a még elviselhető felső határt, amely nem okozott kockázatot a népesség 98%-ánál. Az RDI már kiterjed a 70 évnél idősebb emberekre is, és ezen belül külön a nőkre és a férfiakra. A 13.1. táblázat a zsírolékony vitaminok RDI-értékét és a még elviselhető felső határt mutatja.

13.1. táblázat. A 70 évnél idősebb férfiak és nők zsírolékony vitamin RDI-értékei, valamint a még elviselhető felső határ

Vitamin	Férfiak	Nők	Felső határ
A-vitamin (µg)	900	700	3000
D-vitamin (µg)	15	15	2000
E-vitamin (mg)	15	15	1000
K-vitamin (mg)	120	90	Nincs adat

Amennyiben a táblázat adatait a fiatalabbakra meghatározott szintekkel összehasonlítjuk, csak minimális eltéréseket lehet megfigyelni.

13.1.1.1. Makrotápanyag-szükséglet

Ahhoz, hogy a vitaminok optimálisan hasznosulni tudjanak, **a szervezetnek megfelelő energia-, fehérje-, zsír- és szénhidrátellátásra van szüksége.** A napi energiabevitelt pihenő embereknél 100–110 kJ/kg/nap, míg idősebb embereknél normális életviszonyok mellett ezt 160–170 kJ/kg/napban határozták meg. Különböféle képleteket alkalmaznak a gyakorlatban az energiaszükséglet mérésére. A fehérjeszükséglet 0,8 g/kg/nap, de ha idősebb embereknél el akarjuk érni a pozitív nitrogénmérleget, akkor ez az érték 1,0–1,2 g/kg/nap. Fehérjékre az idősebb embereknek azért van szükségük, mert az ezeket alkotó esszenciális aminosavakból építik fel testük fehérjéit, és különböző biológiailag értékes komponenseit. Az optimális energia- és fehérjeellátás azért nagyon fontos, mert **energia hiányában a szervezet nem tudja a felvett aminosavakat a testbe beépíteni, illetve energianyerésre fogja azokat hasznosítani.**

Az **optimális szénhidrátbevitel**, mely a szervezet energiaszükségletének 50–60%-át biztosítja, azért nagyon fontos, mert nagy részük energiaként hasznosul, **megvédve a fehérjét a lebontástól és a glikoneogenezisben történő hasznosítástól.** A nem megfelelő mennyiségű energia- és szénhidrátbevitel az izom leépüléséhez vezet, mert a fehérje energiaként hasznosul, és a fehérjével együtt a bőr alatti szövetek is leépülnek. A teljes kiőrlésű magvakból készült kenyerek, a gabonafélék, hüvelyesek, zöldségek és a gyümölcsök, valamint a tej kellő mennyiségben tartalmazzák a szénhidrátokat.

A zsír az energiában legkoncentráltabb tápanyag, mely a szervezetben trigliceridformában a zsírszövetben raktározódik. **A zsírbevitelből származó energia optimális mennyisége 20–25%,** azonban idősebb embereknél ez esetenként sokkal magasabb, ami elhízáshoz vezethet. Nincs ajánlás a zsírbevitelre, az azonban látszik, hogy a kiegyensúlyozott zsírsavösszetételű zsírok (olajos magvak, baromfi, hal, zöldségek) egészségesebbek, melyek kellő mértékben tartalmazzák az esszenciális zsírsavakat is.

Az energia és a fehérje mellett fontos összetevői táplálékunknak az élelmi rostok, melyek eredetileg is benne vannak az élelmiszerben, és a hozzáadott rostok, melyek mindkétten emészthetetlenek, de sok jó hatást tulajdonítanak nekik. **A rosttartalom jó hatással van az egészségre,** különösen a szív-ér rendszeri panaszokat képes csökkenteni, az agyvérzést és néhány ráktípust segít megelőzni. Egyértelmű összefüggést mutattak ki a magasabb rostfogyasztás és a szív-ér rendszeri megbetegedések csökkenése között különösen akkor, ha a rostforrás gabona, zöldség és gyümölcs volt, bár ismertek olyan kísérletek is, ahol a kapcsolat következtelen volt e téren. Többen ki tudtak mutatni, mások viszont nem tudtak kimutatni kapcsolatot a vastagbélrák és a rostfogyasztás között. Korábról közismert tény, hogy a rosttartalom a bélben megduzzadva segíti a bélsár mozgását, megakadályozza a szorulást, és nagy felületén megköti a fölösleges epesavakat és a szervezetbe kerülő egyéb, nem kívánatos anyagokat. A napi rostfogyasztás-optimum felnőtt férfiaknál 38 g/nap, míg nőknél 25 g/nap. Mivel **a rost** nehezen vagy egyáltalán nem emészthető, és **csökkenti egyéb tápanyagok hasznosulását is,** ezért 50 év fölötti férfiaknál az optimális mennyiség 30 g/nap, nőknél pedig 21 g/nap.

Összességében nincs lényeges különbség az 50 év fölötti korosztályok makrotápanyag-komponensekre javasolt DRI-értékeiben. A vízbevitel férfiaknál 3,7, nőknél 2,7 liter naponta. A szénhidrát napi bevitelét 130 g-ban, a fehérjét (0,8 g/kg/nap alapon számolva) férfiaknál 56 g-ban, nőknél 46 g-ban, a rostbevitelt férfiaknál 30 g-ban, nőknél pedig 21 g-ban szabták meg.

13.1.1.2. Vitaminszükséglet

Az emberi lét fenntartásához kis mennyiségben olyan természetes szerves vegyületek is szükségesek, amelyek szerepet játszanak az anyagcsere és az energiaforgalom szabályozásában, valamint a szervezet megújításában. Ezek a nélkülözhetetlen anyagok a vitaminok. A **vitaminok olyan szerves vegyületek**, amelyeket az emberi szervezet nem tud vagy nem tud elegendő mennyiségben szintetizálni, **energiát nem szolgáltatnak, de kis mennyiségben nélkülözhetetlenek az anyag- és energiaforgalomhoz.**

A vitaminok hatása azon alapul, hogy a szervezet különböző részeiben **katalitikus vagy szabályozó tényezőként** bekapcsolódnak az életfolyamatokba. A vitaminok egy része a szervezetben fehérjékhez kapcsolódik, és enzimeként vesz részt a biokémiai folyamatokban, másik csoportjuk pedig a fehérjeszintézis során tölt be fontos szerepet. **A napi vitaminszükséglet függ a kortól, az egészségi állapottól és a végzett munka jellegétől.** Az ember a számára szükséges vitaminokat növényi és állati eredetű élelmiszerek fogyasztásával kapja meg, egyes vitaminokhoz azonban a bélcsatornában élő mikroorganizmusok segítségével is hozzájut.

A zsírban oldódó vitaminok feltételezések szerint egyes fehérjék bioszintézisét szabályozzák. Hiányuk esetén egyes szövetekben az enzimek aktivitása csökken vagy növekszik. A zsírolható vitaminokat a szervezet tárolni tudja, ezért a velük kapcsolatos avitaminózis ritkábban fordul elő, a hipervitaminózis veszélye azonban, elsősorban az A- és D-vitaminnál, nagyobb.

Idősebb embereknél az alacsonyabb energia- és fehérjebevitel sokszor együtt jár a nem megfelelő vitaminellátással, különösen akkor, ha a zöldség- és gyümölcsfogyasztás is csekély. Az időskorúak mintegy 50%-a lényegesen kevesebb vitamint fogyaszt, mint ami az RDA előírásaiban szerepel, és 10–53%-uknál is csak alig éri el a kívánatos szintet, amihez az is hozzájárul, hogy csak 10%-uk fogyaszt naponta rendszeresen zöldséget és gyümölcsöt. Egy felmérés szerint az idősek 41%-a nem eszik napi rendszerességgel gyümölcsöt, és 17%-uk zöldséget. A fentiek ellenére az A-vitamin-hiány a fogyasztás csökkenése ellenére csak elvétve fordult elő, a D-vitamin-hiánnyal viszont az idősek esetében 3–7%-ban lehet számolni, ami szélsőséges esetben, idősek otthonában, elérheti a 35%-ot is. Mivel időskorban a test zsírtartalma megnő, **a zsíroldékony vitaminokat a szervezet jól tudja raktározni**, ezért nincs szükség a rendszeres napi bevitelre.

Ezzel ellentétben a **vízoldékony vitaminoknál** nincsenek ilyen nagy raktárak a szervezetben, ezért, a májban raktározott B₁₂-vitamin kivételével, a B-vitamin-**szükséglet kielégítéséről naponta gondoskodni kell.** A fentiek miatt B₁-vitamin esetében az idősek 13–43%-át, B₆-vitamin esetében pedig 5–56%-át találták vitaminhiányosnak. Az olyan klasszikus vitaminhiányos betegségek, mint a skorbut, a beriberi, a pellagra az időseknél csak nagyon ritkán fordul elő, inkább akkor mutatkoznak vitaminhiányos tünetek, ha nem

fogyasztanak megfelelő mennyiségű és minőségű ételeket, vagy valamiféle hóbortból bizonyos ételeket visszautasítanak.

A megfelelő vitaminellátottság fontosságát azok a tudományos eredmények is megerősítették, melyek szerint a vitaminok hatásosak azokkal a szabad gyökökkel szemben, amelyek bizonyos betegségek kialakulásáért felelősek, és amelyek kapcsolatba hozhatók az öregedéssel. A kezdetben szkeptikusan fogadott elképzelés hamarosan elfogadottá vált, ami előtérbe helyezte az antioxidáns tulajdonságokkal is rendelkező vitaminok fogyasztását. **Gyakorlattá vált a fiziológiás szintnél sokkal nagyobb dózisu, antioxidáns hatással bíró vitaminok fogyasztása a betegségek megelőzésére, illetve a krónikus betegségek gyógyítására.** A betegeket azzal biztatták, hogy a nagy mennyiségű vitaminfogyasztás segít a szív- és érrendszeri betegségek, valamint a rák megelőzésében. Állították, hogy a nagy mennyiségű C-vitamin-fogyasztás segíti az öregedés késleltetését.

A táplálkozásukra kellő figyelmet fordító idős embereknel vitaminhiánnyal nem kell számolni, mert az elmúlt években nagyon sokfajta vitaminkészítményt fejlesztettek ki, így **a megfelelő vitaminellátáshoz vitaminkiegészítők rendszeres fogyasztásával azok is hozzájuthatnak**, akiknek élelmiszerei vitaminhiányosak.

Általánosságban elmondható, hogy szervezetünk A-, D-, E- és K-vitamin-raktárral rendelkezik, ezért szervezetünkbel, hiányos táplálkozás esetén, csak lassan ürülnek ki. Időskorban a vitaminraktárok oly mértékben túltöltődhetnek a zsírolékony vitaminokkal, ami már a hipervitaminózist vetíti előre.

13.1.1.3. A-vitamin

A-vitamin hiányában **szürkületi vakság vagy farkasvakság alakul ki**, ezért hámvédő vitaminnak is nevezik, amely a bőr és a nyálkahártya ép állapotban tartásához szükséges, és védi a szervezetet az itt behatoló kórokozókka szemben. Az A-vitamin hiányának leg-súlyosabb tünete a vakság, amely a szem szaruhártyájának kiszáradása következtében lép fel. Hiányában csökken a szervezet védekezőképessége, és csökken a fehérvérsejtek száma. Megnö a fogékonyság a tüdőgyulladás és a légzőszervi megbetegedések iránt. A szervezet számára növekedési tényező, mert **hiánya fiatalkorban lassítja a csontok fejlődését.** Hipervitaminózisa hajhullást, hámlással járó bőrgyulladást és végtagfájdalmakat okoz.

Növényekben csak az A-vitamin provitaminjai fordulnak elő. A₁-vitamin mintegy 12 karotinoid típusú vegyületből keletkezhet, amelyek közül az α -, β - és a γ -karotin, továbbá a kriptoxantin a legfontosabbak. Élelmiszereink közül rendkívül sok A-vitamint tartalmaz a csukamájolaj, a csirke-, a liba- és a sertésmáj, és jelentős lehet a tojás, valamint a tej és tejtermékek A-vitamin-tartalma is. β -karotinból sokat tartalmaz a sárgarépa, a rebarbara és a paraj.

Az A-vitamin, de különösen a karotinok hasznosítása zsírok jelenlétében nagyobb hatásfokú. Nyers zöldségfélék fogyasztásakor a sárgarépa karotintartalmának csak mintegy 2%-a szívódik fel, a többi a bélsárral kiürül. Az emberi szervezetben a karotinoidok enzim útön átalakulnak A-vitaminná, és **A₁-vitamin-zsír-savészterként a májban raktározódnak.** A szervezetet megvédi a szabad gyökök támadásától, és kiváló antioxidánsként az oxidációra érzékeny élelmiszer-komponenseket, testünkben pedig a membránokat az oxidációtól és az elbomlástól.

Az A-vitamin a vékonybél epithel sejtjein keresztül szívódik fel, a nyirokrendszeren keresztül szállítódik a májba, ahol a szervezet elraktározza. A máj a szervezet A-vitamin-tartalmának 50–95%-át tartalmazza. A vér A-vitamin-szintje erősen kontrollált, ezért az A-vitamin-fogyasztás csak csekély mértékben befolyásolja azt, és szintje alig ad információt a szervezet A-vitamin-mérlegéről, ugyanis **a vér A-vitamin-szintje nagyobbrészt a májban raktározott vitamin szabaddá válásától függ.**

Az A-vitaminnal ellentétben **a karotinok passzív transzporttal szívódnak fel** a vékonybélből, aztán az epithel sejtekben átalakulnak A-vitamin-aldehiddé, majd redukcióval A-vitamin-alkohollá, melyet követően a májba jutva raktározódnak. A karotinoidok, a májon kívül, képesek olyan emberi szövetekben raktározódni, mint a mellékvese és a zsírszövet. A likopin főként a herékben, az oxidált karotinszármazékok (zeaxantin, lutein) pedig főként a sárgafoltban található, mely mentes a β -karotintól.

Az ember napi A-vitamin-szükséglete 0,8–1,5 mg A-vitamin, illetve 5–9 mg β -karotin. 50 évnél idősebb embereknél ez az érték kisebb, nőknél 700 μg , férfiaknál pedig 900 μg naponta. A fejlett országokban a hiánybetegség idősebb embereknél nagyon ritka. Ha mégis előfordul, akkor annak hátterében a csökkent zsírszorbpció vagy más rendellenességek, májproblémák (a máj nem képes az A-vitamin tárolására), a táplálékkal történő csökkent bevitel vagy a vesén keresztül történő megnövekedett mennyiségű kiválasztás állhat.

65–75 év közötti idős embereket vizsgálva megállapították, hogy a növekvő korral nem csökkent a máj A-vitamin-tartalma, csökken viszont az A-vitamin felszabadítása a raktárból, amely, megfelelő A-vitamin-tartalmú táplálékok fogyasztása esetén, maga után vonja a toxicitás előfordulásának lehetőségét. A hipervitaminózissal akkor kell számolni, ha a rendszeres napi vitaminfogyasztás meghaladja a 3000 μg -ot, ami háromszor-négyszer több az ajánlott értéknél. A nem megfelelő vese vagy a májműködés fokozza a toxicitás lehetőségét, amit némileg ellensúlyozni lehet E-vitaminnal. **Az A-hipervitaminózis idősebb embereknél csontfájdalmakhoz, csontgyulladásokhoz és hiperkalcinémiahoz vezethet**, mert az A-vitamin, negatív kalciummérleget kialakítva, növeli a D-vitamin és a paratiroid hormon aktivitását. Ez csökkenti a csontsűrűséget, és megnöveli a csonttörésre való hajlamot.

Karotinhiány gyakorlatilag nem fordul elő, és nincs is RDA-érték meghatározva karotinra. A karotint nem tekintik toxikusnak, és soha nem fordult elő, hogy a nagy mennyiségű karotinfogyasztás bármilyen betegséget okozott volna, és arra sincs bizonyíték, hogy a sok karotin A-vitaminná alakulva fejtette volna ki káros hatását. A túl sok karotinfogyasztás mégsem kívánatos, mert enyhén sárga színűre színezi az ember bőrét.

13.1.1.4. D-vitamin

A D-vitamin (kalciferol) **a kalcium és a foszfor felszívódását és a csontokba való beépülését szabályozza.** Napfényben eleget tartózkodó felnőtteknek nincs szükségük D-vitamin-kiegészítésre. A D-vitaminok a növényi eredetű ergoszterin (ergokalciferol, D_2 -vitamin) és az állati eredetű 7-dehidrokoleszterin (kolekalciferol, D_3 -vitamin) **provitaminokból keletkeznek az ibolyántúli sugarak hatására.** Az ergoszterin nagyobb mennyiségben található a növényi eredetű élelmiszerekben, az élesztőben, egyes gombákban és az anyarozsban. A 7-dehidrokoleszterin állati eredetű szteránvázas vegyület, amely a bőr alatti zsírban lévő koleszterin kísérőjeként található meg.

A két formáról korábban azt hitték, hogy azonos módon működnek a szervezetben, kimutatták azonban, hogy a D_3 -vitamin háromszor olyan hatásos, mint a D_2 . Mindkét forrásból származó D-vitamin a D-vitamin-kötő fehérjéhez kapcsolódik, mellyel eljutva a májba 25-hidroxi-D-vitaminná (kalcidiol) hidroxilálódik, mely a vesében tovább hidroxilálódik 1,25-dihidroxi-D-vitaminná (kalcitriol). Közülük a **kalcitriol a legaktívabb forma**, melynek affinitása a sejtmag receptoraihoz ezerszer nagyobb, mint a kalcidiolé. A kalcitriol felezési ideje a szervezetben kb. négy-hat óra, míg a kalcidiolé három hét.

Az ember D-vitamin-szükséglete 20 éves korig napi 10 μg , felnőtteknél, a terhes és szoptató anyák kivételével, **napi 5 μg** . A pontos igényt felmérni azért nehéz, mert a szervezetben, a bőrfelületen napfény hatására, állandóan képződik vitamin. Jelentős mennyiségű D-vitamin van a kaviárban és a lazacban, a vajban, a csirke-, liba-, sertés-, marha- és borjómájban. Mindennapi ételmiszereinkben elsősorban a provitaminok találhatóak meg, amelyekből legtöbbet a tej, vaj, máj és a tojássárgája tartalmaz.

Idős embereknél a **D-vitamin-hiány** közismert, mely komoly egészségi problémákat okozhat. A legsúlyosabbak az **előrehaladott csonttritkulás és a csonttörés megnövekedett valószínűsége**. Annak ellenére, hogy a szervezet a D-vitamint raktározni tudja, mindkétféle (D_2 -, D_3 -) vitamin szintje csökken a korrallal a vérében. Az idősotthonokban élők 25%-a mutatott D-vitamin-hiányos tüneteket, de ez a szám, hosszú ideig tartó ott-tartózkodás után, elérheti a 80%-ot is. Ennek oka valószínűleg a napfény hiánya, melynek következtében csökken a bőr 7-dehidrokoleszterin tartalma, melyből a D-vitamin keletkezik fiatalabb emberek szervezetében. Mivel a bőrben való szintézis visszaszorul, az ellátást illetően döntő jelentőségre tesz szert az ételmiszerek D-vitamin-tartalma. Ez különösen akkor válik még veszélyesebbé, amikor csökken a tej és tejtermékek, valamint a magasabb D-vitamin-tartalmú ételmiszerek aránya az idősok élmezőjében. A májban és vesében történő csökkent mértékű hidroxilálódás, valamint gyógyszerek hatására történő csökkent abszorpció is hozzájárulhat a D-vitamin-hiányhoz.

Ennek következtében az **idősek több D-vitamint igényelnek, mint a fiatalabbak**. Az 51–70 év közötti korosztály számára a 10 μg , míg a 70 évnél idősebbeknél a 15 μg napi bevétel az optimális, míg súlyosan vitaminhiányos egyedeknél a 20 μg lehet a kívánatos, mely növeli a csontsűrűséget, és csökkenti a csonttörés veszélyét. Ezt a szintet könnyen el lehet érni napi kétszeri alkalommal bevett multivitamin-tablettával vagy magas D-vitamin-tartalmú ételmiszer-kiegészítővel. A **D-vitamin-kiegészítés mellé célszerű vele párhuzamosan kalciumkiegészítést is alkalmazni**, mert az idősok táplálékának kalcium-tartalma ritkán éri el a kívánatos szintet. A legtöbb D-vitamin-készítmény ezért 200–600 mg közötti mennyiségű kalciumot is tartalmaz.

A D-vitamin-kiegészítés jótékony hatását idős embereknél klinikai kísérletekkel is bizonyították. Egy 18 hónapig tartó kísérletben 20 μg **D-vitamin- és 1200 mg kalciumkiegészítés hatására** szignifikánsan csökkent a csípő (43%-kal) és az egyéb csontok (32%-kal) törésének valószínűsége a kontrollhoz képest. 2,7%-kal **nőtt a csontsűrűség** a combcsontnál, míg a placebót kapóknál ez az érték 4,6%-kal csökkent. Az eredmények alapján azt javasolják, hogy a veszélyeztetett csoportokban, mint amilyenek az idős emberek, szedjenek legalább 10–15 μg D-vitamint és 800–1000 mg kalciumot a szervezet kalciumegyensúlyának és a megfelelő erősségű csontok kialakulásának érdekében. Az évenkénti nagyobb dózisu (250–2500 μg), injekcióban beadott D-vitamin-kiegészítést csak kevesen javasolják.

Idős, törékeny hölgyekkel történt kísérlet során 20 µg D-vitamin-kiegészítés 1200 mg kalciummal együtt 49%-kal csökkentette az elesések számát a csak kalciumkiegészítést kapott csoporthoz képest, amit a csont-izom rendszer jobb működésével tudtak magyarázni. A legtöbb kísérlet arra az eredményre vezetett, hogy a **D-vitamin-kiegészítés több mint 20%-kal csökkentette az elesések számát.**

A D-vitamin toxikus hatása azon személyeknél, akik hosszú időn keresztül nagy mennyiségű D-vitamint fogyasztanak, nagyon ritkán előfordulhat. Ehhez azonban az szükséges, hogy az optimálisnál 50–100-szor nagyobb mennyiséget fogyasszanak naponta, ami hiperkalcinémiához, a szérum és a vizelet kalciumszintjének növekedéséhez vezet. A túlzott napfürdőzés, optimális D-vitamin-bevitel mellett, sohasem vezethet D-vitamin-mérgezéshez.

13.1.1.5. E-vitamin

Az E-vitaminok (tokoferolok, tokotrienolok) **antioxidáns hatású vegyületek**, melyek az esszenciális zsírsavakat és a membránlipideket védik az oxidációtól. E hatásért az aromás gyűrűn található hidroxilcsoport a felelős. Az antioxidáns hatáson túl elnyomja a leukotriének szintézisét, és ezen keresztül a lipoxigenázok gátlásával gyulladáscsökkentő hatást fejt ki a szervezetben. Nagyobb dózisban fogyasztva módosítja a prosztaglandinok szintézisét, ezen keresztül megakadályozza a trombociták aggregációját. Szabadgyökbefogó képességgel is rendelkezik, melyet követően **a C-vitamin segítségével képes regenerálódni**, és hatását ismételtelen kifejteni. Az E-vitamin csökkenti a véredények permeabilitását, és befolyásolja a kollagén képződését.

Mint zsírolédkony vegyület, a belekből az epesavakkal kialakított kilomikron micella formájában szívódik fel. A véráramban lipoproteinlipáz hatására felszabadul, és különböző transzportfolyamatok segítségével eljut a májba, ahonnan a nagyon alacsony sűrűségű lipoprotein formájában visszakerül a véráramba. 90%-a a zsírszövetben raktározódik, bár a mellékvese, a sejtmembránok és a véráramban keringő lipoproteinek is képesek megkötésére.

Az emberi táplálkozásban az α -, β -, γ - és a δ -tokoferolnak van gyakorlati jelentősége. Közülük **az α -tokoferol a legnagyobb biológiai aktivitású**, bár az élelmiszerekben a γ -tokoferol a legelterjedtebb. Az E-vitamin RDA-értékét ezért is α -tokoferol ekvivalensben adják meg. A sztereoizoméria miatt a természetes eredetű α -tokoferol hatékonyabban szívódik fel, és aktivitása is nagyobb, mint a mesterségesen előállítotté.

A tokoferolok a természetben csak növényekben fordulnak elő. Sárgás színű olajok, amelyek csak zsírokban és zsíroléd szereken oldódnak. Oxidatív hatásra érzékeny, redukáló tulajdonságú vegyületek, ezért levegőn és napfényen biológiai aktivitásukat elvesztve bomlanak. Antioxidánsként használhatók, mert **képesek gátolni a zsírsavak autooxidációját**, ezért jelenlétük késlelteti a zsírok avasodását. A legnagyobb antioxidáns hatással a γ - és a δ -tokoferol rendelkezik. Az ember E-vitamin-szükséglete napi 15 mg, és feltételezések szerint az étellel elfogyasztott **telítetlen és többszörösen telítetlen zsírsavak mennyisége arányosan növeli az E-vitamin-szükségletet**. Különösen sok E-vitamin van a hüvelyesek magvaiban, a gabonamagvak csíraolajában, a vajban és a levélzöldségekben. Emberen E-avitaminózist vagy hipovitaminózist nem mutattak ki.

Időskorban csak akkor szokott E-vitamin-hiány előfordulni, ha az idős embernek zsírfelszívódási zavarai vannak, ha hasnyálmirigy-problémákkal küzd, ha bélgyulladásban szenved vagy lisztérzékeny. Ilyenkor az **E-vitamin-hiány** olyan változatos kóroktanú betegségekhez vezethet, mint az eritrociták megnövekedett hemolízise okozta **vérszegénység**, a vér lassabban alvad meg és **idegrendszeri rendellenességek sokasága**, melyeknek csak egyik oka az E-vitamin-hiány. Bár egy felnőtt ember napi E-vitamin-szüksége 15 mg, idősebb korban azonban a fogyasztás felmehet akár 400–800 mg/napra is anélkül, hogy betegséget okozna. Vigyázni kell azonban a **rendszeres túladagolással**, mert 1000 mg/napnál nagyobb adag rendszeres szedése **izomgyengeséghez, fáradtsághoz, hányingerhez és hasmenéshez vezethet**. A magas dózis vérzékenységgel járhat, ha a páciens kumarintartalmú vagy más egyéb véralvadást gátló gyógyszereket fogyaszt.

13.1.1.6. K-vitamin

A K-vitaminok (fillokinon) **hiánya súlyos vérzékenységet okoz**, ami elsősorban a gyomor- és bélrendszerben léphet fel. A vérző sebek nem hegednek be, a véralvadás elmarad, mert a véralvadáshoz szükséges fehérjét, a protombint a máj nem képes megfelelő mennyiségben szintetizálni. Az **ember bélfőrája elegendő K-vitamint szintetizál**, ezért egészséges szervezetben hiánybetegség nem lép fel. Legnagyobb mennyiségben a zöld levelekben, a parajban és a káposztában, az állati eredetű élelmiszerek közül pedig a májban fordul elő. A növényekben a K_1 -vitamin vagy fillokinon található, míg a bélbaktériumok a K_2 -vitamint vagy menakinont szintetizálják. Mindkét forma szükséges a szervezet normális működéséhez.

Egy felnőtt ember napi K-vitamin-szüksége 100 μg , amelyet a táplálék és a bélbaktériumok napi K-vitamin-szintézise fedez. Szükséges a folyamatos bevitel, mert a **máj K-vitamin-tartaléka viszonylag csekély**. K-vitamin szükséges a protrombinszintézishez, és olyan enzimek kofaktora is, mint a γ -glutamil-karboxiláz. Szükség van rá a kalcium megkötéséhez és a koagulációt segítő faktorok aktiválásához. **Szükséges a csontok kalciumtartalmát szabályozó fehérjék szintéziséhez, a normális csontanyagcseréhez.**

Az 50 évnél idősebb hölgyek K-vitamin-szüksége 90 μg , a férfiaké pedig 120 μg . Függetlenül attól, hogy a máj csak kevés K-vitamin raktározására képes, időseknél K-vitamin-hiány normális, vegyes táplálkozás esetében nem szokott előfordulni, mert mind a növényi, mind az állati eredetű élelmiszerek jelentős mennyiségű K-vitamint tartalmaznak. **A szervezet képes a K-vitamin újrahasznosítására is**, és a normál bélfőrá is jelentős mennyiségben termeli. Hiány időseknél csak akkor szokott előfordulni, ha a szervezetet jelentős trauma éri, ha a páciens súlyos emésztőrendszeri operáción ment keresztül, ha hosszú ideig szed nagy hatású antibiotikumokat, ha zsíremésztési zavarai vannak, ha olyan gyógyszereket szed, amelyek nehezítik a K-vitamin abszorpcióját és hatásmechanizmusát, valamint alultápláltság és éhezés esetében. A vérszérum K-vitamin-szintjének mérése nem ad kellő információt a vitaminellátottságról, különösen akkor, ha nem ismerjük a vitaminfogyasztást. Idősebb embereknél az RDA-érték ötszázszorosa sem okozott toxikus tüneteket.

Újabban a K-vitamint **kapcsolatba hozták az egészséges csontozat kialakulásával**, mert az oszteokalcin ásványianyag-kötő kapacitása összefüggésben van három glutamin-

sav-molekula K-vitamin-függő γ -karboxilálásával. A nem megfelelő mértékben karboxilált oszteokalcin mennyisége jelentősen nő a korrall, mely szoros összefüggésben van idős embereknel a csípőcsonttöréssel. Kis mennyiségű K-vitamin-kiegészítés csökkentette a nem megfelelő mértékben karboxilált oszteokalcin és a vizelettel ürített kalcium mennyiségét. 75 éves átlagéletkorú nőknél és férfiaknál a kis mennyiségű K-vitamin-kiegészítés jelentős mértékben csökkentette a csípőcsonttörés valószínűségét.

13.1.2. Vízben oldódó vitaminok

Az idősök vízben oldódó vitaminszükségletén túl tárgyaljuk az egyes vitaminok szerepét, a vitaminhiány és a túladagolás következményeit, a vitaminok terápiás célból történő használatát, minden esetben kitérve az idős korúak igényeire. A 13.2. táblázat a vízben oldódó vitaminok RDI-értékét és a még elviselhető felső határt mutatja.

13.2. táblázat. A 70 évnél idősebb férfiak és nők vízoldékony vitamin RDI-értékei, valamint a még elviselhető felső határ

Vitamin	Férfiak	Nők	Felső határ
B ₁ -vitamin (tiamin) (mg)	1,2	1,1	nincs adat
B ₂ -vitamin (riboflavin) (mg)	1,3	1,1	nincs adat
B ₃ -vitamin (niacin) (mg)	16	14	35
B ₆ -vitamin (piridoxin) (mg)	1,7	1,5	100
B ₁₂ -vitamin (cianokobalamin) (μ g)	2,4	2,4	nincs adat
Folsav (mg)	600	600	1000
Biotin (mg)	30	30	nincs adat
Pantoténsav (mg)	5	5	nincs adat
C-vitamin (aszcorbinsav) (mg)	90	75	2000

Amennyiben a táblázat adatait a fiatalabb emberekre meghatározott szintekkel összehasonlítjuk, csak minimális eltéréseket lehet megfigyelni, ami felhívja a figyelmet arra, hogy az idős embereknel csak bizonyos betegségek, a kor miatt megváltozott emésztési és felszívódási problémák esetében kell különös módon odafigyelni a vízoldható vitamin-szükségletre.

A vízoldékony vitaminoknál **nincsenek raktárak a szervezetben**, ezért, a májban raktározott B₁₂-vitamin kivételével, a B-vitamin-szükséglet kielégítéséről naponta gondoskodni kell. A fentiek miatt B₁-vitamin esetében az idősök 13–43%-át, B₆-vitamin esetében pedig 5–56%-át találták vitaminhiányosnak. Az olyan klasszikus vitaminhiányos betegségek, mint a skorbut, a beriberi, a pellagra, az idősöknél csak nagyon ritkán fordulnak elő, inkább akkor mutatkoznak vitaminhiányos tünetek, ha nem fogyasztanak megfelelő mennyiségű és minőségű ételeket, vagy valamiféle hóbortból bizonyos ételeket visszautasítanak.

13.1.2.1. B₁-vitamin

A B-vitamin-csoport első tagja, a B₁-vitamin (tiamin, aneurin, tiamin-pirofoszfát, TPP) olyan enzimek koenzimje, melyek részt vesznek a citrátkörben, segítik a kémiai ener-

gia felszabadulását. A piroszőlősav és az α -ketoglutársav dekarboxilezése acetil-koenzim-A-vá és szukcinil-koenzim-A-vá kulcsreakciói ennek a körfolyamatnak, és mindkét enzim TPP-koenzimmel működik. A pentóz-foszfát körfolyamatban, az ATP, a dezoxiribonukleinsav (DNS) és a ribonukleinsav (RNS) szintézisében is vannak TPP-tartalmú koenzimek, tehát ez a vitamin nélkülözhetetlen szervezetünk számára. A szervezet B₁-vitamin-ellátottságáról az eritrociták traszketoláz aktivitásának mérésével, újabban az eritrociták TPP-tartalmának közvetlen analizisével lehet meggyőződni.

A B₁-vitamin **hiánya a beriberi betegséget okozza.** Az avitaminózis jellegzetes tünete az ideggyulladás, az izomgyengeség, az álmatlanság, a végtagokon kezdődő és végül az egész szervezetre kiterjedő ödémaképződés, majd bénulások, és a szív működés zavara következtében beáll a halál. B₁-vitamin-hiány következtében a szervezet szénhidrát-anyagcseréje felbomlik, mert a közbenső anyagcseretermékek (piroszőlősav, tejsav) a szövetekben és a vérben feldúsulnak, ugyanis a piroszőlősav lebontásában B₁-vitamint tartalmazó enzim vesz részt. A B₁-vitamin foszfátokkal kapcsolódva tiaminpirofoszfát (TPP) koenzimet képez, melynek hiányában zavart a piroszőlősav-dekarboxiláz és a traszketoláz működése, melyek prosztetikus csoportja.

A B₁-vitamint szerkezete alapján tiaminnak is nevezik, a molekulában ugyanis egyrészt kén, másrészt aminocsoport található. Antineuritiszes hatása miatt aneurinnak is hívják. **A B-vitamin-csoport leghőrzékenyebb tagja.** Nehézfémek, oxidálószeres és kénesav jelenlétében gyorsan inaktíválódik. A gabonamagvak héja és csírárészke különösen gazdag vitaminforrás, ezért a korpamentes lisztből sült kenyér a barna kenyérral szemben csak nagyon kevés B₁-vitamint tartalmaz. A különböző szövetek (a vese, a máj és az izomszövetek) állatfajonként változó mennyiségű B₁-vitamint tartalmaznak. Legnagyobb tiamintartalma az élesztőnek van. Az átlagos táplálkozási étrend alig fedezi a felnőtt ember napi 1,5–2,0 mg tiaminigényét.

A változatos étrend ugyan fedezheti az idősök B₁-vitamin-igényét, a gyakorlat azonban azt mutatja, hogy **sok idős ember hiányosan ellátott ebből a vitaminból.** Egy kísérletben a részt vevő idős emberek 46%-a hiányos B₁-vitamin-ellátásban részesült, mert kb. egyharmaddal kevesebb B₁-vitamint fogyasztottak az RDA előírásánál. Az idősothonokban élők 5%-a, a közösségi lakásokban élőknek pedig 13–43%-a hiányosan ellátott B₁-vitaminnal. Az idősothonokban élőknek azért ilyen alacsony az arány, mert a veszélyeztetett egyének rendszeresen kapnak multivitamin-kiegészítést, ami megfelelő mennyiségű B₁-vitaminnal látja el a szervezetüket.

Az RDA-értéknél **többszörös mennyiségű B₁-vitamin-kiegészítés javította a felfogóképességet,** egy másik kísérletben viszont nem okozott javulást Alzheimer-kórban szenvedő idősöknél. Általánosságban elmondható, hogy a **B₁-vitamin-kiegészítés hozzájárult az idősök életminőségének javításához, amit az étvágy javulása, a nyugodt alvás, az aktivitás növekedése és a fáradékonyság csökkent mértéke bizonyított.** Az RDA-értékhez viszonyított többszörös mennyiséget a szervezet jól tolerálja, mert a felesleg a vizelettel gyorsan kiürül. Terápiás célból javasolt dózis 1,5–2,0 mg helyett **15–20 mg, mely idősök esetében felfogóképesség- és étvágyjavító, segíti a nyugodt alvást, fokozza az aktivitást és csökkenti a fáradékonyságot.** Különösen ajánlott alkoholfüggőknek, ugyanis a fejlett ipari országokban a vitaminhiány oka gyakran az alkoholizmus, mert a sok bevitt folya-

dékkal sok B₁-vitamin is távozik a vesén keresztül a szervezetből. A B₁-vitamin-hiány oka lehet még veseprobléma is, mert a hemodialízis vagy a peritoneális dialízis gyorsíthatja a B₁-vitamin kiürülését a szervezetből.

13.1.2.2. B₂-vitamin

A B₂-vitamin (riboflavin, laktoflavin) a szervezetben a flavin-mononukleotid (FMN) és a flavinadenin-dinukleotid (FAD) kofaktora, ezért **részt vesz a biológiai oxidációs folyamatokban, a mitokondriális oxidatív foszforilezésben és az adozin-trifoszfát (ATP) szintézisében.** Ezeket az enzimeket összefoglalóan flavoproteineknek is hívják. Szubsztráttal reagálva a két nitrogénatomon reverzibilisen két hidrogénatomot köt meg, amelynek során a flavin színtelen leukoflavinná redukálódik. Fontos szerepe van a redukált glutation előállításában, mely a szervezet kiváló redukálószere. Részt vesz a májban lezajló méregtelenítési folyamatokban, melynek során a toxikus anyagokat és a különböző kábítószereket semlegesíti a szervezet.

A B₂-vitamin hiánya a **száj és a nyelv nyálkahártyáján gyulladós tüneteket és berepedéseket okoz, valamint általános fáradtság és látási zavarok jelentkeznek.** A B₂-vitamin-hiány sok helyen előfordul a világon azoknál az embereknél, akik folyamatos hasmenéssel küzdenek, májproblémáik vannak vagy alkoholisták. Ritkán fordul elő kifejezett B₂-vitamin-hiány, inkább az a jellemző, hogy a **B-vitamin-csoportba tartozó több vitamin együttes hiánya vált ki klinikai tüneteket.**

Időskorú emberek B₂-vitamin-szükségletét kevesen tanulmányozták, és az idősök B₂-vitamin-szükségletéről is csak keveset tudunk. Általánosságban elmondható, hogy a szemlencse fehérjéinek oxidatív károsodását meg lehet akadályozni a táplálék antioxidáns hatású komponenseinek növelésével, így a szürkehályog kialakulásának valószínűsége is fordított arányban állt a riboflavinbevitellel. Megállapították azt is, hogy a szürkehályog megakadályozása szempontjából nemcsak a riboflavin, hanem a szervezetbe bevitt összes antioxidáns hatású vegyület is hatásos.

A B₂-vitamin **hőre nem érzékeny, fényhatásra azonban** egy fotokémiai reakció során **könnyen bomlik**, amely az oldallánc leszakadásával jár, és aminek következtében biológiailag inaktív alloxazin-származékok keletkeznek. A riboflavin nagyon elterjedt a növényi és állati szövetekben és a különböző élelmiszerekben. Különösen nagy a máj, vese, hal, tojás, tej és a különféle zöldségfélék B₂-vitamin-tartalma. Különösen a tej tartalmaz sokat belőle, ezért laktoflavinnak is hívják. Az ember napi B₂-vitamin-szükséglete 1,5–2,0 mg-ra tehető. Terápiás célokból javasolt dózis 15–20 mg, mely idősök esetében védi a nyálkahártyát, csökkenti a fáradékonyságot, és csökkenti a szürkehályog kialakulásának veszélyét.

13.1.2.3. B₃-vitamin

A B₃-vitamin (nikotinsavamid, niacin, PP-vitamin) **hiánybetegsége** a pellagra, amely elsősorban azoknál jelentkezik, akik főként kukoricából készült ételeket fogyasztanak. A betegség általános fáradtsági tünetekkel kezdődik, kialakul az emésztőcsatorna működésének zavara, a **száj és a nyelv nyálkahártyájának gyulladós berepedezése, majd a bőrfelületeken jelentkező érdesség, gyulladás és hámlás.** A felsorolt tünetek

nikotinsavamid adagolására elmúlnak, de rajta kívül még triptofán, tiamin és riboflavin bevitele is szükséges a teljes gyógyuláshoz.

A PP-vitamin kémiai szerkezetét tekintve nikotinsav, amelyet más néven niacinnak is hívunk, a természetes anyagokban pedig a nikotinsavamidot, a niacinamidot találjuk meg. Az élő szervezet a nikotinsavat könnyen tudja amidálni. A niacin nagyon elterjedt a természetben, hisz koenzim formájában minden élő sejtben előfordul. **Sok található a gabonamagvak héjában, az élesztőben, májban, vesében, az állatok és a halak húsaiban, a tejben, a tojásban és a zöldségfélékben.** A niacin egy része fehérjéhez kötött formában található, ezért a gabonák niacintartalmának ez a része – mivel felszabadítás csak lúgos hidrolízissel történhet – a táplálkozás során nem hasznosul. A kukorica nagyon kevés nikotinsavamidot és triptofánt tartalmaz, ezért a kukoricás étrenden élőknel gyakori a pellagra fellépése.

A nikotinsavamid a piridinzimek dinukleotid jellegű koenzimjébe (NAD, NADP) épül be. A piridingyűrű az egyik kettős kötés megszűnésével hidrogént vesz fel, és ily módon részt vesz az enzimatikus kifejtésében. Fontos szerepe van ezenkívül a **gyomornedvsósávanak képzésében, a vér koleszterinszintjének csökkentésében, és értágító hatással is rendelkezik.** B₁-, B₂- és B₆-vitamin jelenlétében a máj triptofánból szintetizálni tudja, de az átalakítás határfoka nagyon rossz, ugyanis 1 mg niacin bioszintéziséhez kb. 60 mg triptofánra van szükség.

A felnőtt ember napi nikotinsavamid-szüksége 10–20 mg. Az RDA-értéke B₃-vitaminra 50 évnél idősebb nőknél 14 mg/nap, 50 évnél idősebb férfiaknál pedig 16 mg/nap. Gyomorfekély, bélgyulladás vagy az alkoholizmus ezeket az értékeket jelentősen megnövelheti. **Szív- és érrendszeri panaszok kezelésére és korábban a vérszérum koleszterinszintjének csökkentésére 500–3000 mg/nap szinteket is hatékonyan alkalmaztak.** Ma már egyértelmű, hogy a megnövelt mennyiségű B₃-vitamin növeli a szérum nagy sűrűségű lipoproteinszintjét (HDL), csökkenti a triglicerid és a lipoprotein(a) szintet, és ugyancsak csökkenti, kisebb mértékben, az alacsony sűrűségű lipoprotein (LDL)-szintet és az összes koleszterin mennyiségét. **A B₃-vitamin, önállóan alkalmazva, csökkentette a szív- és érrendszeri megbetegedések arányát.** Az LDL-koleszterin-szintet csökkentő gyógyszerek hatékonyabbak, ha B₃-vitammal együtt adagolják azokat. Terápiás célból javasolt dózis 15–20 mg helyett **100–150 mg, mely idősek esetében segíti a gyomorban a sósavképzést, értágító hatású, csökkenti a vérszérum koleszterintartalmát és a szív-ér rendszeri megbetegedések arányát.**

13.1.2.4. B₆-vitamin

A B₆-vitamin (piridoxin) **hipovitaminózisa a fehérje-anyagcserében okoz zavarokat.** Hiánya a pellagrára emlékeztető tüneteket idéz elő: **a száj és a szem kivörösödik, gyulladás lép fel, a bőr cserepes lesz és hámlik, a szőrzet pedig kihullik.** A piridoxin elnevezés három, rokon vitaminhatású vegyületet foglal össze, amelyek a piridoxol, a piridoxál és a piridoxamin; valamennyien szubsztituált piridinszármazékok. A piridoxol növényi, a piridoxál és a piridoxamin állati eredetű élelmiszerekben fordul elő foszfátészterként. A foszforsav az ötös helyzetű, elsőrendű alkoholos hidroxilcsoporthoz kapcsolódik, ezért a B₆-vitamin tulajdonképpen piridoxál-5-foszfát (PLP) alakjában fejt ki élettani hatását.

Biológiai szerepe az intermedier aminosav-anyagcserében van, ahol foszforsavészterei különböző enzimek (aminotranszferázok, aminosav-dekarboxilázok, deszulfurilázok stb.) koenzimjei. Ezek az enzimek részt vesznek az aminosavak és a neurotranszmitterek (serotonin, norepinefrin, γ -amino-vajsav) szintézisében. PLP kell a triptofánból történő nikotinsav-szintézishez, és koenzimje a glikogén foszforiláznak, mely a glikogénből teszi szabaddá a glükózt, részt vesz a glükoneogenezisben, melynek során cukor keletkezik az aminosavakból.

B₆-vitamin-forrás a hús, hal, máj, tojássárgája, a teljes kiőrlésű magvak, a vitaminnal kiégésített gabonafélék, a leveles zöldségek, a hüvelyesek és a bélben élő baktériumok is termelik. Egy felnőtt ember napi szükséglete 2–3 mg-ra tehető, idősebb korban azonban a szükséglet nagyobb is lehet. A növényi eredetű B₆-vitamin glikozid-kötésben található, melynek hasznosulása korlátozott. A vékonybél kezdeti szakaszából passzív transzporttal szívódik fel, melyet segít a savas környezet. A szervezet nem tudja tárolni, ezért szükség van a rendszeres napi felvételre. B₆-vitamin hiánya vitaminban hiányos élelmiszerek fogyasztásakor, májcirrózis esetén, nem megfelelő dialízisakor vagy alkoholistáknál fordul elő. Vitaminhiányt okozhatnak bizonyos gyógyszerek is, melyek használatakor az ételmiszert ki kell egészíteni B₆-vitaminnal.

Időskorúaknál a B₆-vitamin hiánya, más emésztési zavarokkal együtt, gyakran előfordul, mely növeli a szérum homocisztein szintjét, ami köztudottan megnöveli a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát. Számos kutató beszámolt arról, hogy az RDA-értéknél jóval nagyobb mennyiségben fogyasztott B₆-vitamin véd a szív- és érrendszeri betegségek és a magas koleszterinszint ellen, és jó hatással van a cukorbetegre is. A B₆-vitamin és a folsav együttes adagolása csökkentette a szív koszorús ereinek betegségét.

B₆-vitamin-hiány esetében súlyosan sérülhet az immunrendszer is, ugyanis jelentős mértékben csökkenhet a limfociták száma, és csökken az interleukin-termelés is. Megállapították, hogy az immunrendszer normális működését az RDA által javasolt adag sokszorosának alkalmazásával vissza lehet állítani a normális szintre. Szoros negatív összefüggést állapítottak meg időseknél a kognitív képességek és a magas homocisztein, valamint az alacsony B₆-vitamin-szint között. Az RDA-nál (1,7 mg/nap) nagyobb B₆-vitamin-adag esetében (20 mg/nap) határozott javulást tapasztaltak a memóriában 70–79 év közötti idős emberek esetében. **A terápiás célokból javasolt dózis 2,0–3,0 mg helyett 15–20 mg, mely idős emberek esetében immunrendszer-erősítő, csökkenti a szív- és érrendszeri betegségek arányát, csökkenti a vérszérum koleszterinszintjét, jó hatással van a kognitív képességre és javítja a memóriát. A B₆-vitamin feleslege inaktív piridoxinsavvá oxidálódik, és a szervezetből kiürül.**

13.1.2.5. Pantoténsav

A pantoténsav-hiánybetegség az emberben fáradékonyságot, nyugtalanságot, izomgörcsöket és emésztési zavarokat okoz. **Avitaminózis gátolja a növekedést és a szaporodást, pellagraszerű elváltozást okoz, valamint bőr alatti vérzések és idegműködési zavarok is jelentkeznek. A pantoténsav tulajdonképpen a pantoinsavnak β -alaninnal képzett peptidje. Savas jellegű, vízben jól oldódó vegyület, amely semleges közegben ellenáll a fénynak és a levegő oxigénjének. Erős savak és lúgok hatására inaktíválódik. A természetben előfor-**

dul még a pantotenol, amely a pantoténsavnak megfelelő alkohol, és a pantetein, amely a pantoténsav és cisztein kapcsolódásából származó pantotenil-cisztein dekarboxilezési terméke. Mindkét vegyület pantoténsav-hatású.

A pantoténsav biológiai hatását a szervezet anyagcseréjében a **koenzim-A alkotórészeként** tölti be, amelynek során **az energiaszolgáltató tápanyagok hasznosításának nélkülözhetetlen közreműködője**, a zsírok és a szénhidrátok egymásba alakulásának irányítója. A koenzim-A tulajdonképpen a pantetein és az ADP egyesülésével jön létre. Több mint 70 olyan enzimes reakciót ismerünk, amelyben részt vesz. Legismertebb közülük az acilcsoport átvitele a szénhidrátok, a zsírsavak és az aminosav lebontásánál, valamint a zsírsavak, a porfirin- és a szteroidvegyületek bioszintézisében való részvétel.

13.1.2.6. Folsavcsoport

A folsav (folát, pteroil-glutaminsav) zöld növények leveleiben fordul elő nagy mennyiségben. Az emberi szervezetben **hiánya vészes vérszegénységet okoz**, a folsav ugyanis a **B₁₂-vitammal együtt a vörös- és fehérvérsejtek, valamint a vérlemezkék képződésének a szabályozója**. Szerepe van ezentúl az emésztőrendszer nyálkahártyájának kialakításában is. A folsav elnevezést olyan vegyületcsoportra alkalmazzák, amelynek alapvegyülete a pteroesav és az ehhez kapcsolódó 1, 3 vagy 7 glutaminsav-molekula. A pteroesav a paramino-benzoosavnak és a pteridinnek a származéka. A pteroesavhoz az első glutaminsav amidkötéssel, a továbbiak pedig γ -peptidkötéssel kapcsolódnak. Elnevezésük pteroil-glutaminsav, pteroil-triglutaminsav és pteroil-heptaglutaminsav. A pteroil-glutaminsavból aszkorbinsav és NADPH hatására 5,6,7,8-tetrahidro-folsav keletkezik, amely biológiailag aktív folinsavvá alakul.

A **folinsav a szintetázok, transzferázok és izomerázok koenzimjének felépítésében vesz részt**. Az enzimek az egy szénatomos egységek átvitelében játszanak szerepet, mint széndonorok, az aminosavak és a nukleinsavak szintézisében is nélkülözhetetlenek. Az egyik legfontosabb folyamat a homocisztein remetilációja metioninná, melyhez szükséges a folsav és a B₁₂-vitamin. Ezek hiányában a szérum homocisztein szintje megnő, és megnő a valószínűsége a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának.

A folsav mind passzív, mind aktív transzporttal képes a vékonybélből abszorpcióra. A folsav a májból visszajut a véráramba, a felesleg pedig a vesén keresztül távozik a szervezetből, ezért a szervezet a folsavat nagyobb mennyiségben nem tudja raktározni. A csökkent folsavbevétel követően a folsavhiány néhány napon belül jelentkezik, bár a klinikai tünetek kialakulásához hosszabb időre van szükség. Idős embereknél a folsavhiány 2–34%-ban fordul elő. A vitaminhiányos táplálkozáson és a rossz felszívódáson kívül a vitaminhiányhoz hozzájárul a túlzott alkoholfogyasztás, a dohányzás, az atrófiás gastritis, a bélgyulladás és néhány gyógyszer fogyasztása. Mivel a folsavhiány időseknél kapcsolatba hozható olyan betegségek kialakulásával, mint a rák több formája, az érelmeszesedés és az időskori elbutulás, az RDA-értéket megemelték napi 400 μg -ra. **Napi öt mg folsavfogyasztás csökkentette a vastagbélrák és az egyéb bélrendszeri daganatok kialakulását**. A napi két adag alkohol elfogyasztása, folsavhiánnyal párosulva, ugyancsak növelte a vastagbélrák kialakulásának kockázatát. A megnövelt folsav-kiegészítés csökkentette az alkoholista nők mellrákjának kialakulását.

Az utóbbi időben többen tanulmányozták a folsavfogyasztás és a felismerőképesség gyengülésének kapcsolatát idős embereknél. Megállapították, hogy **65 évnél idősebb embereknél a folsavhiány a rövid távú memória gyengülésével járt együtt**, ami az időskori elbutulás egyik fajtája. Folsav-kiegészítés hatására csökken az isémiás stroke kialakulásának veszélye.

Az ember szokásos étrendje általában elegendő folsavat tartalmaz. Leggazdagabb folsavforrások a máj, vese, hús, a különböző gombák, a spárga, kelbimbó, citrusfélék és a le-vélzöldecskék. A folátok rendkívül érzékenyek az oxidációra és a hőre, ezért az ételkészítés során az alapanyag 50–95%-a elbomlik, a folsav viszont, mely a biológiai aktivitással bíró formája a vitaminnak, lényegesen stabilabb. A bélfóra is hozzájárul az emberi szervezet normális működéséhez szükséges napi 0,4 mg szükséglethez.

A túlzott folsavfogyasztás káros hatásai nem ismertek, de a hosszú időn keresztül nagy mennyiségben fogyasztott folsav B₁₂-vitamin-hiányhoz vezethet, és esetleg irreverzibilis neurológiai károsodást is okozhat, ezért nem tanácsolják az 1000 µg-nál több napi folsavfogyasztást. **A terápiás célból javasolt dózis 0,4–0,6 mg helyett 1 mg, mely idősek esetében csökkenti a vastagbél- és a bélrendszeri daganatok kockázatát, a stroke kialakulásának veszélyét, késlelteti az érlemeszesedést és az időskori elbutulást.**

13.1.2.7. Biotin

A biotin (H-vitamin) **avitaminózisa étvágytalanságot, bőrgyulladást, a szőrzet kihullását és a bőrfelület elszírosodását idézi elő**. Az élesztőgombák számára is fontos növekedési faktor. A biotinmolekula kéntartalmú gyűrűs részből és valeriansav-oldalláncból áll. A két öttagú heterogyűrűből álló váz a karbamid és a tiofénygyűrű összekapcsolódásából alakul ki. Biológiaiilag aktív az aldehidváltozat, a biotinál is, amely képes biotinná oxidálódni. A természetben a lizinnel képzett savamidja, az ugyancsak aktív biocitin is megtalálható.

A biotin **hőre nem érzékeny, erős savak és lúgok, valamint oxidálószerrek azonban bontják**, és fény hatására is lassan inaktíválódik. A nyers tojásfehérje avidin glikoproteinje a biotinnal olyan komplexet képez, amely az enzimes bontásnak ellenáll, ezért az avidin-biotin komplex az emésztőcsatornán keresztül kiürül a szervezetből. A biotin a növényekben szabadon fordul elő, az állati szövetekben és a mikroorganizmusokban, továbbá a tejtermékekben viszont fehérjéhez kötött állapotban található. **Az ember napi igénye 100–300 µg-ra tehető**. Az emberi táplálkozás szempontjából legfontosabb forrás a máj, vese, tej, tojássárgája, szója, a zöldségfélék, a dió és az élesztő, továbbá a bélfóra is képes biotint szintetizálni. **Az idősek biotinszükségletéről nem találhatók adatok a szakirodalomban.**

Biológiai funkcióját az enzimek prosztetikus csoportjaként fejt ki oly módon, hogy az **enzimfehérjék peptidláncában lévő lizinrészhez kapcsolódik**. Biotintartalmú enzimek elsősorban a szénhidrát- és lipidanyagcserében fontos dekarboxilezési, dezaminálási, karboxilálási és szintetizáló folyamatokban vesznek részt.

13.1.2.8. B₁₂-vitamin

Az emberi szervezetben a B₁₂-vitaminra (kobalamin) a **normális növekedéshez, az egészséges idegállapothoz és a vérképzéshez van szükség.** Szerkezetének alapja a porfirinvázhoz hasonló korringyűrű, amely a kobaltatom köré épül. A kobaltnak komplex kötéssel 5,6-dimetil-benzimidazol és vagy egy cianid-, vagy egy hidroxil-, vagy egy nitritgyök kapcsolódik. Mindhárom változat vitaminhatású, mert felszívódás után a májban ezek a gyökök egyaránt 5-dezoxiadenozinnal cserélődnek ki, és a kobalamin ebben a formában (adenozilkobalamin) épül be az enzimbe.

Sok fontos folyamatban (tiaminszintézis, egy szénatomos egységek redukálása, a propionsav metabolizmusa stb.) **koenzimként vesz részt.** Sok biokémiai folyamatban a folsavval együtt szerepel. Kofaktora a metioninszintetáznak és az L-metilmalonil-CoA mutáznak. Az előbbi enzim a homociszteint alakítja át metioninná, mely szükséges az S-adenozil-metionin szintéziséhez, és metilcsoportdonorként részt vesz sok olyan biokémiai reakcióban, ahol metilcsoportra van szükség. Ilyenek pl. az RNS és a DNS metilálása. Az L-metilmalonil-CoA mutáz a szukcinil-CoA szintézisét irányítja metilmalonil-CoA-ból.

A B₁₂-vitamin **kisebb hiánya idegrendszeri panaszokat, nagymértékű hiánya az ember vészes vérszegénységét okozza.** Ennek jellegzetes tünete a vörösvértestek számának csökkenése és természetellenes duzzadása, ezenkívül felléphet még étvágytalanság, gyengeség és emésztési panaszok is. A B₁₂-vitamin felszívódásához szükség van egy 60 ezer dalton molekulatömegű, a gyomorfalban képződő mukoproteinre, amely felszabadítja az élelmiszerekkel felvett B₁₂-vitamint a fehérjekomplexekből, és elősegíti a megfelelő receptorok kapcsolódását a vékonybélben.

A B₁₂-vitamint **kizárólag a mikroorganizmusok állítják elő,** növényekben és az élesztőkben nem fordul elő, a növényevő állatok szükségletét pedig a belekben lévő mikroorganizmusok termelik meg. Az ember a nagy fehérjetartalmú állati eredetű táplálékkal (csirkehús, egyéb húsok, hal, tej és tejtermékek, főként sajt) hozzájut a szükséges B₁₂-vitaminhoz, amelyből **napi szükséglete 3–4 µg.** Idősek esetében a B₁₂-vitamin RDA-értéke 2–4 µg, melynek kb. **felét fél liter tej vagy annak megfelelő tejtermék fogyasztásával fedezni lehet.** A tej nagyon fontos B₁₂-vitamin-forrás a vegetáriánusoknak is, hisz e nélkül nem jutnak hozzá ehhez az esszenciális anyaghoz.

A gyomorsav és enzimek kellene ahhoz, hogy kötéseiből a B₁₂-vitamin felszabaduljon és felszívódva hasznosuljon. A hasnyálmirigy proteázai bontják le a fehérjéket, melynek következtében a szabadabbá vált B₁₂-vitamin a véráramba jutva egy szállító mechanizmussal jut el a májba, ahol raktározódik. Időseknél a **B₁₂-vitamin hiánya,** a vegetáriánusok kivételével, a **vitamin csökkent abszorpciójával hozható kapcsolatba.** Mivel a májban a szervezet képes raktározására, és a májban egyfajta mentési reakció is működik, felezési ideje a májban hosszú, és a hiánybetegség csak évek múlva alakul ki. Becslések szerint az időskorúak 4–43%-a szenved vitaminhiányban.

Mivel a fehérjéhez kötött B₁₂-vitamin szabadabbá tételéhez gyomorsavra és emésztőenzimekre van szükség, a gyomorsav hiánya vitaminhiányhoz vezethet. Idősebb embereknél gyakori a gyomorhurut (30%), ami csökkenti a felszívódást és vitaminhiányhoz vezet. A vékonybél gyomorsavhiány miatti magas baktériumszáma ugyancsak vitaminhiányhoz vezethet, mert a baktériumok felhasználják szaporodásuk során a B₁₂-vitamint. Idősebb

embereknél a hasnyálmirigy enzimtermelő tevékenységé következtében, vagy gyomor- és bélműtéteket követően fordulhat elő **B₁₂-vitamin-hiány**. Ez idős embereknél a központi idegrendszer zavart működését, feledékenységet és depressziót okozhat.

Vitaminfelszívódási zavarok esetében hagyományosan a cianokobalamin intramuszkuláris injekcióval lehet eljárni. Mivel a szervezet tárolni tudja, az egy vagy több havonta adott 1000 µg-os dózis megoldást jelenthet a problémára, bár manapság ez a megoldás már nem kedvelt. Kifejezett vérszegénység esetén azt javasolják, hogy a beteg fogyasszon 1000 µg B₁₂-vitamint a szokásos napi 100–500 µg helyett. A B₆-vitamin hiányához hasonlóan a B₁₂-vitamin hiánya is megnöveli a szérum homocisztein szintjét, fokozva ezzel a szív- és érrendszeri betegségek valószínűségét. A folsavhoz hasonlóan az **500 µg/nap B₁₂-vitamin-kiegészítés is jelentősen csökkentette a homociszteinszintet.**

A szérum csökkenő B₁₂-vitamin-szintje együtt járt a növekvő homociszteinszinttel, amit az RDA-értéknél 3,5-szer nagyobb B₁₂-vitamin-mennyiséggel ellensúlyozni lehetett. A B₁₂-vitamin-hiányt kapcsolatba hozták az idős korban kialakuló Alzheimer-kórral, és azt is megállapították, hogy hiánya szoros összefüggést mutat a 65 éven felüliek depressziós tüneteivel. Terápiás célból javasolt dózis 3,0–4,0 µg helyett 50 µg, mely idős emberek esetében csökkenti az Alzheimer-kór kialakulásának veszélyét, a depressziós tüneteket, a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának valószínűségét, és csökkenti a vészes vérszegénység kialakulásának kockázatát.

13.1.2.9. B₁₅-vitamin

A B₁₅-vitamin (pangaminsav) az élő szervezet fontos metilezőszure. Fiziológiai jelentősége a sejtek és szövetek oxigén-anyagcseréjének elősegítésében, továbbá méregtelenítő és lipotróp hatásában van. Azok az anyagok lipotróp hatásúak, amelyek megakadályozzák egyes szervek (máj) elzsírosodását. Kémiai összetétele: a D-glükonsav dimetil-glicinnel képezett észtere. Ételeink közül a gabonamagvakban, a májban és az élesztőben, továbbá a melaszban fordul elő nagyobb mennyiségben. Idősek pangaminsav-szükségletéről nem található adatok a szakirodalomban.

13.1.2.10. U-vitamin

Az U-vitamin (S-metil-metionin) gátolja és gyógyítja a gyomorfekélyt, csökkenti a vérszérum zsír- és koleszterinszintjét, lipotróp hatása pedig hasonló a pangaminsavéhoz. Kémiai szerkezetét tekintve a metionin kénatomon metilezett L-konfigurációjú, bázikus jellegű, reakcióképes szulfóniumszármazéka. A magasabb rendű növényekben S-adenozil-metioninból képződik. A szervezetben részt vesz a kolin és a kreatin szintézisében. Fontos biokémiai metilezőszure, a metionint is helyettesíti. Az emberi szervezet nem tud metilcsoportot szintetizálni, ezért a zsírok lebontásához szüksége van metildonorokra. Az U-vitamin a káposztában, salátában, paradicsomban, zöldhagymában, retekben, petrezselyemzöldben, spárgában és a gyümölcsökben fordul elő. Főzés hatására dimetil-szulfidra és homoszerinre bomlik, ezért elsősorban a nyers növények és azok kisajtott leve tartalmaz sok U-vitamint. Idősek U-vitamin-szükségletéről nem található adatok a szakirodalomban.

13.1.2.11. C-vitamin

A C-vitamin (aszcorbinsav)-hiány okozta **skorbut a középkorban félelmetes betegség volt**, a vizsgálatok azonban kimutatták, hogy a skorbutot a C-vitamin és egyes bioflavonoidok együttes hiánya okozza. Jellemzői az általános gyengeség, a légszomj, a zavart szív működés, az izom- és csontfájdalmak, a fogíny nagy fokú vérzékenysége, majd a pontszerű bevérzések az alsó végtagokon, amit az vált ki, hogy a hajszálerek könnyen megsérülnek és véráteresztővé válnak. **A csontok törékenyek lesznek, az ízületek megduzzadnak, a fogak meglazulnak és kihullanak, a sebek csak rendkívül nehezen gyógyulnak, és végül bekövetkezik a halál.** C-vitamin-hiány miatt ma már csak ún. tavaszi fáradtság alakul ki, amelynek következtében a szervezet ellenálló képessége csökken, és nő a meghűléses betegségekkel szembeni fogékonyság.

A skorbut csak akkor alakul ki, ha valaki legalább három hónapon keresztül 10 mg-nál kevesebb C-vitamint fogyaszt naponta. A skorbuttal általában együtt jár a **dentin rossz minősége**, melynek a fogak kihullása lesz a következménye. C-vitamin-hiány esetében vashiányos anémia is előfordulhat.

Az előzőekben felsorolt tüneteket, ill. betegségeket az okozza, hogy a C-vitamin **szükséges a kollagén szintéziséhez** és integritásához, mely döntő fontosságú az erek, az inak és az ínszalagok kialakulásában és a sebgyógyulásban. A C-vitamin-hiány a normálistól eltérő keresztkötéseket eredményez a kollagénben, csökkentve annak szakítószilárdságát. A megváltozott struktúrájú kollagén **abnormális csont kialakulásához vezethet**. Fontos szerepet játszik ezentúl a norepinefrin- és a karnitinszintézisben. A karnitin segíti bejuttatni a zsírsavakat a mitokondriumokba, segítve ezzel az energia felszabadítását.

A C-vitamin hatékony a szervezetet támadó szabad gyökök elleni küzdelemben, melyek a mindennapi élet során keletkeznek, különböző szennyező anyagok vagy mérgek okozzák őket, vagy dohányzás hatására alakulnak ki. A **C-vitamin megvédi** a DNS-t, a fehérjéket, a telítetlen zsírsavakat és a szénhidrátokat **az oxidációtól**. Segíti a vas és más mikroelemek felszívódását a duodénumból, a methemoglobin redukcióját hemoglobinná, redukálja a nitrátokat, megakadályozva ezzel a mutagén nitrózaminok és ennek következtében a gyomorrák kialakulását.

Egy felnőtt ember **átlagos napi C-vitamin-szükséglete** a munkavégzéstől függően mintegy **80–100 mg**. A C-vitamin-felesleg a szervezetből távozik ugyan a vizelettel, de túlzott mértékű fogyasztása (a vesekő kialakulása miatt) káros az egészségre. A vérédegyek falának nagy permeabilitását, a vérzékenységet csak aszcorbinsav adagolásával nem lehet megszüntetni. Ehhez szükséges a P-vitaminnak elnevezett, permeabilitást szabályozó vitamin. P-vitamin-hatású anyagok a bioflavonoid-glikozidok, amelyek közül a rutin bizonyult biológiailag legaktívabbnak.

A rutin olyan glikozid, amelynek cukorrésze a rutinóz, az aglikonja pedig három gyűrűből álló flavonolvegyület. A rutinóz olyan oligoszacharid, amely D-glükózból és L-ramnózból, β -konfigurációjú összekapcsolódás során jön létre. (A bioflavonoidokat ma már nem soroljuk a vitaminok közé.)

Mivel vízben oldódó vitaminról van szó, a túlzott C-vitamin-fogyasztásnak nagyon kevés káros hatása lehet. Naponta **2000 mg-nál nagyobb C-vitamin-bevitel azonban olyan gyomor-bél rendszeri panaszokat okozhat**, mint a hányinger, a hasi görcsök és a hasmenés. Abnormális B₁₂-vitamin-abszorpció és megnövekedett vérösztrogenszint is előfordul

hat ilyen esetben. A közönséges megfázás ellen sokan gyógyszernek tartják, bár kísérletek bizonyították, hogy 2000 mg-os napi adagban fogyasztva nincs érzékelhető hatása az enyhe megfázásra, de felnőtteknél 8%-kal csökkentette a megfázásos betegség idejét.

Néhányan állítják, hogy nagy dózisu C-vitamin-fogyasztás segít megelőzni a szív-ér rendszeri panaszokat és a rákot idősebb embereknél, azonban ez az állítás nem nyert megerősítést. Viszont **bizonyosnak látszik, hogy hatásos a szemlencse opálosságának megelőzésében időseknél.** Mivel a megadózisu C-vitamin-fogyasztás előnyös hatásai nem nyilvánvalóak, ezért nem is célszerű ilyen mennyiségben fogyasztani. Jelenlegi tudásunk alapján úgy tűnik, hogy elegendő napi 100–140 mg C-vitamint fogyasztani ahhoz, hogy a szervezetben minden szükséges helyre eljusson, és C-vitamin-hiány okozta káros folyamatok ne történjenek az emberi szervezetben. Természetes eredetű, C-vitaminban dús ételek fogyasztásával, naponta ötször zöldség és gyümölcs, elérhető a **napi 200 mg-os C-vitamin-bevitel is, mely jelentős mértékben csökkentheti a rák kockázatát idős embereknél.**

A szervezetben nincs olyan biokémiai rendszer, mely képes lenne a C-vitamint tárolni, ennek ellenére a mellékvese, az agyalapi mirigy, a thymus és a retina a szérumhoz képest akár 50-szeres mennyiségben tartalmazhatja. Az agy, lép, herék, pajzsmirigy, hasnyálmirigy és a vesék 5–25-ször annyi C-vitamint tartalmaznak, mint a szérum. Általánosságban megállapítható, hogy a nők vérszéruma 20%-kal több C-vitamint tartalmaz, mint a férfiaké, és hogy a nem dohányzóké magasabb, mint a dohányzóké. Ennek következtében a férfiak RDA-értéke 90 mg/nap, a nőké 75 mg/nap, a dohányosoké pedig 35 mg/nappal nagyobb, mint a nem dohányzóké.

A C-vitamin a glükóz oxidációs termékének, a 2-keto-gulonsavnak L-konfigurációjú laktinja. A 2-keto-gulonsav is vitaminhatású, a D-askorbinsav biológiai hatása viszont jelentéktelen. Az askorbinsavra jellemző a dienolcsoport, amely diketocsoportra oxidálódhat, ezért az askorbinsav erős redukálószer; jellemző tulajdonsága, hogy reverzibilisen oxidálódik dehidroaskorbinsavvá, amellyel redoxrendszert képez. Mindkét forma vitaminhatású, azonban az askorbinsavat tartjuk értékesebb terméknek. Az askorbinsav oxidációval diketo-gulonsavvá alakul, ami oxálsavra és L-treonsavra bomlik, amely átalakulásuk már irreverzibilisek. Az askorbinsav nemcsak a levegő oxigénje vagy vegyszerek, hanem egyes enzimek hatására is oxidálódik. A vitamin inaktiválódását melegítés, fény és fémnyomok is katalizálják. Aminosavak jelenlétében az askorbinsav, a dehidroaskorbinsav és különböző bomlástermékei Maillard típusú reakciókban barna színű terméké alakulhatnak.

Az askorbinsav jellegzetesen savanyú ízű, kristályos anyag, amely vízben jól oldódik, 2%-os vizes oldatának pH-ja 2,8, savanyú oldatai állandóak, levegő jelenlétében azonban pH = 4 felett könnyen bomlik. A második szénatomon lévő hidroxilcsoportjának hidrogénje könnyen ($pK_1 = 4,2$), a harmadik szénatomon lévő nehezen ($pK_2 = 11,6$) disszociál. Az elsőrendű alkoholos hidroxilcsoportja zsírsavval észtereszíthető; a palmitinsavval kapott észtere, az askorbil-palmitát, a zsiradékokban antioxidáns hatást fejt ki. Az askorbinsav sztereoizomerjei (D-askorbinsav, D-izoaskorbinsav, L-araboaskorbinsav) vitaminhatás nélküli antioxidánsok.

A C-vitamin mesterséges szintézise D-glükózból indul ki, és D-szorbiton keresztül jut el az L-askorbinsavhoz. Különösen sok C-vitamint tartalmaz a zöldpaprika, paradicsom,

káposzta, fekete ribiszke, a friss és szárított csipkebogyó, a burgonya, a petrezselyem és a különböző délgyümölcsök. Az állati szövetek közül csak a belsőségek rendelkeznek nagyobb C-vitamin-tartalommal, és a tehéntej C-vitamin-tartalma is csekély. **Az élelmiszerek C-vitamin-tartalma függ a fajtától, az évszaktól, az élelmiszer-előállítás technológiájától és különösen a hőkezelés módjától**, ezért a hőkezelt zöldségek és zöldséglevések nem igazán jó C-vitamin-források. A tárolás során a leveles zöldségek C-vitamin-tartalma 50–80%-kal is csökkenhet a frisshez viszonyítva.

A C-vitamin a vékonybélből energiaigényes aktív transzporttal szívódik fel. Abszorpciója és biológiai hasznosulása fordítottan arányos a felvett mennyiséggel. Kisebb adagokra osztva a C-vitamin hasznosulása jobb, és a felszívódást befolyásolja még a fogyasztott élelmiszer összetétele is. Ha növekszik a dózis, az abszorpció csökken, bár a felszívódott mennyiség a nagyobb dózissal köszönhetően nő. A C-vitamin **felezési ideje a szervezetben nagyon gyors: 30–60 perc**. A vérszérum alacsony vitamintartalma vagy a csökkent felszívódásból, vagy a gyors kiválasztásból ered. Az abszorpciót befolyásolják olyan típusú gyógyszerek, mint az aszpirin, mely 50%-kal volt képes csökkenteni a fehérvérsejtek C-vitamin-tartalmát, ami főként a vesén keresztül történő ürítéssel magyarázható.

Az aszkorbinsav biológiai hatása oxidációs-redukációs képességével függ össze. Az emésztőcsatornában **elősegíti a vas és kalcium felszívódását**, a sejtek biokémiai folyamataiban a redukált állapot fenntartásával és hidrogéndonorként vesz részt. Közreműködik a kötőszövetek kollagénjének képződésében, a mellékvese hormonjainak szintézisében, a szerotonin szöveti hormon termelésében és a tirozin oxidatív lebontásában. **A terápiás célból javasolt dózis 200–300 mg, mely idős emberek esetében javítja a látást, segít megelőzni a skorbutot, csökkenti a megfázás tüneteit és véd a szabad gyökökkel szemben.**

13.1.3. Következtetések

Összefoglalva elmondható, hogy az időskorúak csak a normális napi energia- és fehérjebevitel mellett tudják a vitaminokat optimálisan hasznosítani, mert mind **a vitaminok táplálékból történő felszabadításához és abszorpciójához, mind szállításához és a velük kapcsolatos biokémiai folyamatokhoz enzimekre és energiára van szükség**. Megállapítható, hogy optimálisan táplált idős emberek esetében a vitaminszükséglet nem tér el lényegesen a középkorú felnőttekétől, számolni kell azonban azzal, hogy **a szervezet vitaminraktárai telítődhetnek**, ami csökkentheti, a megváltozott élettani folyamatok viszont növelhetik a vitaminszükségletet. A zsírban oldódó vitaminok esetében a csökkent zsírabSORPCIO, a máj csökkent vitamintároló képessége, a táplálékkal történő csökkent bevitel, az emésztőenzimek részleges hiánya, valamint a bélből történő felszívódási zavarok vezethetnek vitaminhiányhoz. Problémák jelentkezhetnek a vitaminok többszörös túladagolása miatt is, ami a vitamintabletták túlzott fogyasztása és a szervezet raktárainak feltöltöttsége miatt alakulhat ki. **A napi adag sokszorosának fogyasztása csak speciális vitaminhiány esetében ajánlott, mert nagy a túladagolás veszélye, ami súlyos megbetegedésekhez vezethet**. Úgy tűnik, hogy normál táplálkozás esetén a fejlett országokban A-, D-, E- és K-vitamin-hiánnyal csak ritkán kell számolni, nagy gondot kell viszont fordítani az A- és a D-vitamin-szükséglet, és ez utóbbival párhuzamosan a kalciumigény kielégítésére, hogy a csontritkulást és az időskorúaknál fokozott csonttörés veszélyét el lehessen kerülni.

Idős embereknél a máj A-vitamin-tartalma változatlan, **csökken viszont az A-vitamin felszabadításának hatásfoka a májban lévő raktárakból.** A napi adag többszörösének fogyasztása idős embereknél csontfájdalmakhoz, csontgyulladásához, és az A-vitamin hatására megnőtt D-vitamin-aktivitás miatt hiperkalcinémiához vezethet, ami csökkenti a csontsűrűséget, és megnöveli a csonttörésre való hajlamot.

Az idős emberek D-vitamin-szükséglete a környezettől is függ, hisz a vitamin a napfény ultrabolya sugarainak hatására is keletkezik a bőrben, bár idős embereknél ez a szintézis az életmód megváltozása következtében visszaszorul. Döntő jelentőségű ilyen esetben az élelmiszerek D-vitamin-tartalma, és a hiány gyakran akkor fordul elő, ha az idősek nem vagy csak kis mennyiségű tejet és tejterméket fogyasztanak. A biokémiai folyamatok megváltozása (csökkentet abszorpció a belekből, a májban és a vesében történő hidroxilálódás hatásfokának romlása) is vitaminhiányhoz vezethet, valamint a gyógyszerek is csökkenthetik az abszorpciót. Emiatt **70 éves korig napi 10, ezt követően viszont napi 20 µg D-vitamin-fogyasztás tűnik optimálisnak az időskorúak esetében, amit célszerű együtt adni napi 200–600 mg kalciummal is,** a csontozat megfelelő szinten tartása miatt. Hasonló vitaminadag mellett többen a napi 1000–1200 mg kalciumfogyasztást is javasolják különösen hölgyek esetében, akiknél nagyobb a csonttrikulásra való hajlam. A hipervitaminózis mindkét vitamin esetében nagyon ritka, ami csak extrém magas, a napi szükségletet sokszorosán meghaladó vitaminfogyasztás esetében fordulhat elő.

E- és K-vitamin-hiány idős korban, normál táplálkozás mellett, alig fordul elő. E-vitamin-hiány kialakulhat zsírfelszívódási zavarok, hasnyálmirigy- és bélgyulladás vagy lisztérzékenység esetén, melyet követően változatos kóroktanú betegségek (vérszegénység, véralvadási zavarok, idegrendszeri panaszok) alakulhatnak ki. **Vigyázni kell a rendszeres túladagolással, mert izomgyengeséghez, fáradtságához, hányingerhez és hasmenéshez vezethet.** Mivel a K-vitamint a bélflóra is termeli, hiánya csak súlyos emésztőrendszeri operáció után szokott előfordulni. Ilyenkor a vitamin sokszoros túladagolása sem okoz problémát. A K-vitamin-fogyasztás napi mennyisége kapcsolatban van az egészséges csontozat kialakulásával is, hisz a kis mennyiségű túladagolás csökkenti a csonttörések számát.

A vízben oldódó vitaminokból, a B₁₂-vitamin kivételével, **a szervezetünk nem tud raktárakat képezni,** tehát szükséges a napi, esetenként a heti több alkalommal történő felvétel. A vízben oldódó vitaminok fogyasztása azért is rendkívül fontos idős emberek számára, mert több közülük hatásos a szabad gyökökkel szemben, és antioxidáns tulajdonságaiknál fogva késleltetik az öregedést. Néhányan a napi szükségletet sokszorosán meghaladó vitaminfogyasztásra serkentik az időseket, amely csak rövid időre, bizonyos betegségek idején indokolt, egyébként a javasolt mennyiség már súrolja a hipervitaminózis határát.

A fejlett országokban B-vitamin-hiány idős embereknél ritkán fordul elő, mert egyrészt a táplálék nagyrészt fedezi a vitaminszükségletet, másrészt az idősek napi rendszerességgel szednek vitamintablettákat, melyek optimális arányban tartalmazzák azokat. Vitaminhiányt okozhat az alkoholizmus, mert a sok folyadékkal sok vitamin távozik a vesén keresztül, és ugyanezt okozhatják különféle veseproblémák, melyek a dialízis kóros voltával állnak kapcsolatban.

Szinte minden B-csoportbeli vitaminról megállapították, hogy **kismértékű, egyes esetekben sokszoros túladagolása jótékony hatású lehet a szervezetre.** A B₁-vitamin-kiege-

szítés javította az idősök felfogóképességét, nőtt az aktivitás és az étvágy, nyugodttá vált az alvás, összességében **hozzájárult az életminőség javulásához**. Az RDA-értékhez viszonyított többszörös mennyiséget a szervezet jól tolerálta. **B₂-vitamin-kiegészítéssel** meg lehet akadályozni a szemlencse fehérjéinek oxidatív károsodását és a szürkehályog kialakulását.

A **niacinszükséglet** gyomorfekély, bélgyulladás vagy alkoholizmus esetében időskorúaknál **jelentősen megnőhet**. A szükségletet több mint tízszeresen meghaladó kiegészítés megnöveli a szérum nagy sűrűségű lipoproteinszintjét, ezzel szemben csökkenti az alacsony sűrűségű lipoprotein, a triglicerid és az összes koleszterin koncentrációját. Önállóan alkalmazva **csökkentette a szív- és érrendszeri megbetegedések arányát**, és az LDL-koleszterin-szintet csökkentő gyógyszerek hatékonyságát.

B₆-vitamin-hiány időskorúaknál gyakrabban előfordulhat, mely emésztési zavarokkal együtt járva növeli a szérum homociszteinszintjét, ami fokozott szív- és érrendszeri kockázattal jár. A napi szükségletnél jóval nagyobb mértékben fogyasztva **csökkenti a szérum koleszterinszintjét, jó hatással van a cukorbetegekre, és véd a szív- és érrendszeri betegségekkel szemben**. Túladagolásával vissza lehet állítani a sérült immunrendszer normális működését, és határozott javulást tapasztaltak a memóriában is idős embereknél. Folsavval együtt adagolva javítja a szív koszorús ereinek állapotát.

Időseknél a pantoténsav hiánya ritkán, nem megfelelő táplálkozás esetén fordulhat elő. A **folsavhiány** oka elsősorban a nem megfelelő táplálkozás, a rossz felszívódás, az alkoholizmus, az atrófiás gasztritisz, a bélgyulladás és néhány gyógyszer fogyasztása. Időseknél a napi adag 0,4 mg, melyet **öt grammra emelve csökkenthető a vastagbélrák és egyéb rákos daganatok, az érelmeszesedés és az időskori elbutulás kockázata**. Folsav-kiegészítés hatására csökken az isémiás stroke és a rövid távú memória gyengülésének veszélye. **Túlzott fogyasztása nem ajánlott, mert az B₁₂-vitamin-hiányhoz és irreverzibilis neurologiai károsodáshoz vezethet**.

Biotinhiány időskorban nem szokott előfordulni, mert a táplálék elegendő mennyiséget tartalmaz belőle, és a bélfóra is szintetizálja. Vegyes étrend esetén, mely kellő arányban tartalmazza az állati eredetű élelmiszereket, **B₁₂-vitamin-hiány nem szokott előfordulni**. Időseknél a hiány oka, hogy a vitamin kötéseiből a felszívódás előtt a gyomorsav és enzimek segítségével szabadul fel, és ez a mechanizmus az időseknél nem működik megfelelően. **A májba jutva raktározódik**, ezért vitaminhiánnyal csak akkor kell számolni, ha csökken a vitamin emésztőrendszerből történő abszorpciója. Feltöltött vitaminraktár esetén a hiánybetegség esetleg csak évek múlva jelentkezik. **B₁₂-vitamin hiányában a központi idegrendszer zavart működése, depresszió és feledékenység fordulhat elő**, és a megnövekedett szérum-homociszteinszint miatt nőhet a szív- és érrendszeri megbetegedések valószínűsége. B₁₅- és U-vitamin hiánya időseknél csak igen ritkán fordul elő.

A C-vitamin hatásáról, túladagolásának kedvező vagy kedvezőtlen voltáról ellentmondásosak az eredmények. Néhányan állítják, hogy a **nagy dózisu** (1000 mg vagy több naponta) **C-vitamin-fogyasztás segít megelőzni a szív- és érrendszeri panaszokat és a rákot idős embereknél**, mások nem találtak ilyen kedvező hatást. Bizonyosnak tűnik, hogy a szükséglet többszörösének fogyasztása hatásos a szemlencse opálosságának megelőzésében, de a napi 100–140 mg-nál több C-vitamin-fogyasztást a többség nem javasolja. A 2000 mg-nál nagyobb napi fogyasztás már súlyos emésztőrendszeri panaszokat is okozhat.

13.2. A tej és tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma

13.2.1. A tej konjugáltlinolsav-tartalmát befolyásoló tényezők

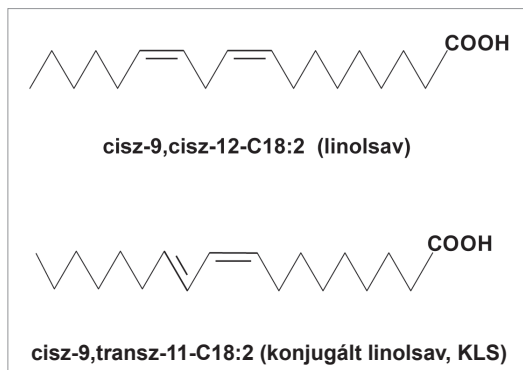
A betegségek gyógyításával kapcsolatos kutatások mellett az azok megelőzésével kapcsolatos ismeretek bővítése is fontos. Mind az állampolgárok, mind az állam szempontjából előnyösebb, ha már a **betegségek kialakulása megelőzhető**, mint ha a már kialakult betegségeket kell gyógyítani. A megelőzés egyik eszköze olyan életmód, illetve életvitel kialakítása, amely **csökkenti a betegségek kialakulásának kockázatát**. Az életmód egyik eleme a táplálkozás. Az ételek, amelyeket fogyasztunk, egyaránt lehetnek pozitív vagy negatív hatással az egészségünkre. Egyes ételek olyan alkotórészeket tartalmaznak, melyeknek szerepe van különféle betegségek megelőzésében, vagy a már kialakult betegségek gyógyításában. Ezek az ún. **gyógyhatású élelmiszerek**.

Az emberi táplálkozás zsírforrásai közül a tejsírt nemrég még egyértelműen egészségre károsnak tartották, mivel az telített zsírsavakban gazdag. A **tejsír** a magas telített zsírsavtartalom mellett azonban az újabb vizsgálatok szerint olyan komponenseket is tartalmaz, melyek **pozitív egészségi hatást fejthetnek ki: rákellenes és atherosclerosis-ellenes hatásukat több állatkísérlet során is észlelték**. Az elmúlt évtizedben végzett állatkísérletek során a tejsírban található több vegyület előnyös hatására derült fény; az ún. **konjugált linolsavakat (rövidítve KLS)** is beleértve. Miután kiderült, hogy a KLS jelentős élettani hatással bír, vizsgálni kezdték, hogy mely élelmiszerek szolgálhatnak gazdag KLS-forrásként.

A KLS-tartalom változásai mögött eltérő mechanizmusok lehetnek attól függően, hogy az adott élelmiszer KLS-szintjét mely folyamatok befolyásolják jelentősen. A nyers tej KLS-tartalmának egy része például feltehetően a tehének bendőjében zajló biokémiai reakciókból származik. Feldolgozott élelmiszereknél, egyes technológiai lépések során is keletkezhetnek konjugált linolsavak. Felmerül annak lehetősége is, hogy ezen folyamatokba úgy avatkozunk be, hogy a KLS-termelődés irányába tolódjanak el, s ezáltal **KLS-ben gazdag, kedvező élettani hatású terméket kapjunk**. Ennek megvalósítása bonyolult feladat, melynek során arra is vigyázni kell, hogy a KLS-tartalom növekedése ne járjon együtt egyéb, nemkívánatos változásokkal.

13.2.1.1. A konjugált linolsav definíciója

A **konjugált linolsav** megnevezés azon linolsavizomerek (szerkezeti és geometriai izomerek) gyűjtőneve, melyek a linolsavval szemben nem izolált, hanem **konjugált helyzetben tartalmaznak két kettős kötést**. A kettős kötések többnyire a 9, 11 vagy a 10, 12 helyzetben található, de egyéb pozíciókban (8, 11 vagy 11, 13) is előfordulhatnak. **Mindkét kettős kötés lehet cisz- vagy transzkonfigurációjú**. A linolsav és a konjugált linolsav képlete:



13.2.1.2. A konjugált linolsavak kialakulása a természetben és kémiai előállításuk lehetőségei

A KLS a természetben főként a többszörösen telítetlen zsírsavak **biológiai hidrogénezése során termelődik**. Ez a bakteriális enzimtevékenység főként a kérődző állatok bendőjében zajlik, és feltételezik, hogy a patkányok bélcsatornájában található mikrobák is képesek a szabad linolsavat cisz-9,transz-11 konjugált linolsavvá alakítani. Azt tapasztalták, hogy a patkányok linolsavfogyasztása befolyásolta szöveteik KLS-tartalmát. Magasabb linolsavbevitel esetében a patkányszövetekből izolált lipidek KLS-koncentrációja is jelentősen magasabb volt, mint a kevesebb linolsavat fogyasztó patkányoké.

A leggyakrabban előforduló természetes KLS-izomer a **cisz-9,transz-11-C18:2 (c9,t11-KLS)**, amely a linolsav (cisz-9,cisz-12-C18:2) biológiai hidrogénezésének első lépésében keletkezik. A *Butyrivibrio fibrisolvens* baktérium mikrobiális izomeráz enzimének hatására a linolsavból (cisz-9,cisz-12-C18:2) először konjugált linolsav (cisz-9,transz-11-C18:2) képződik, majd a cisz-9 kettős kötés két hidrogénatom felvételével telítődik, és így egy egyszerűen telítetlen zsírsav (transz-11-C18:1) jön létre. Ez további hidrogénezéssel sztearinsavvá (C18:0) alakulhat át.

Újabb vizsgálatok eredményei alapján feltételezni lehet, hogy a KLS a **transz-C18:1 zsírsavakból is kialakulhat a tehének tejmirigyében** vagy a patkányok májában a **$\Delta 9$ -deszaturáz reakcióval**.

A konjugált linolsavak kémiai reakciókban, enzimek közreműködése nélkül is, kialakulhatnak a **linolsavban gazdag olajok lúgos izomerizációja** vagy a ricinusolaj víztelepítése közben. Kutatások szerint a linolsav in vivo szabad gyökös autooxidációja során is keletkezhet KLS, nagy kéntartalmú fehérjék jelenlétében. Egy olyan szintézismódszert is kifejlesztettek, mellyel metil-c9,t11-KLS-t lehet előállítani ricinusolajból nyert ricinussavmetil-észterből.

13.2.1.3. A konjugált linolsavak előfordulása az élelmiszerekben, és a mennyiségüket befolyásoló tényezők

A **tejtermékek a legjelentősebb konjugáltlinolsav-források** az emberi táplálkozásban, azonban ezek a zsírsavak az állatok húzában, a tojásban és – kisebb mértékben – a növényi olajokban is megtalálhatók. Általában a kérődző állatok termékei több KLS-t tartalmaznak, mint a monogasztrikusoké. A bárányhús, a marhahús és a tehéntej körülbelül tízszer

annyi KLS-t tartalmaz (0,5–1 g KLS/100 g zsír), mint a sertéshús, a lazac húsa vagy a tojássárgája. A biológiai hidrogénezés során képződött KLS egy része a kérődzők bendőjéből továbbjut a vékonybélbe, ahol a többi takarmányeredetű zsírsavval együtt felszívódik, átésztereződik, és végül is **az állat szervezetének minden részébe eljut**. Az abrakfogyasztó állatok zsírjának KLS-tartalma származhat egyrészt a takarmányból; a húsalapú takarmányok és a faggyú fogyasztásával hozzájuthatnak ezekhez a zsírsavakhoz, másrészt elképzelhető, hogy a patkányok és az egyéb monogasztrikus állatok egyes bélrezidens mikroorganizmusai is képesek a linolsavat konjugált linolsavakká alakítani; bár ez hidrogénezési folyamat, ha végbe is megy bélcsatornájukban, kisebb mértékű, mint a kérődzők bendőjében.

A növényi olajokban és az azok parciális hidrogénezésével előállított margarinban egyes kutatók nem találtak KLS-t. Mások ki tudták ugyan mutatni ezeket a zsírsavakat, de az esetek többségében az olajok és a margarinok csupán kevés KLS-t tartalmaztak. A hidrogénezett növényi olajok KLS-tartalmában mért különbségeket az eltérő hidrogénezési körülményekkel indokolták.

Az élelmiszergyártás egyes lépései, a hőkezelés és a fermentációs eljárások is befolyásolhatják a termék KLS-tartalmát. A sajtgyártásnál több szerző jelentősnek találta a hőkezelés és az érlelés KLS-szint növelő hatását, míg egyéb élelmiszerek esetében nem tapasztaltak jelentős KLS-tartalom-változást a feldolgozás során.

13.2.1.4. A nyers tej konjugáltlinolsav-tartalma

A tejszírban a KLS-izomerek közül a c9,t11-KLS a teljes KLS-tartalom több mint 80%-át teszi ki. A nyers tej KLS-szintje ugyanakkor nagy szórást mutat. A tejszír KLS-tartalmát több országban vizsgálták, és az értékek a 0,2–2 g KLS/100 g tejszírtartományba estek. Ezekkel az eredményekkel a Svédországban végzett mérési eredmények is összhangban vannak (0,25–1,77 g KLS/100 g tejszír). Mások a c9,t11-KLS-izomer minimum szintjét nyers tejben 0,45 g/100 g zsír értékben határozták meg. 14 EU-országból származó 2110 darab tejmintát vizsgálva a c9,t11-KLS mennyiségének átlaga a tejszírban 0,76 g/100 g volt, és a mért értékek a 0,13–1,89 g/100 g szélső értékek között váltakoztak. A minták transz-C18:1, transz-C18:2 és teljes transzzsírsavtartalma átlagosan 3,67 g (1,29–7,17 g/100 g zsír); 1,12 g (0,30–2,04 g/100 g zsír); és 4,92 g (1,71–8,70 g/100 g zsír) volt.

13.2.1.5. A nyers tej konjugáltlinolsav-tartalmára ható tényezők

A tej KLS-tartalmát befolyásoló tényezők közül a **tartásmód és az évszak hatása is takarmányozási okokra vezethető vissza**. A takarmányozással összefüggő leglényegesebb tényezők a következők: a takarmány telítetlen zsírsav (főként linolsav és linolénsav) tartalma, a takarmány energia- és rosttartalma, a zsiradék kötött vagy szabad formában való bevitele, kötött forma esetén az olajhordozó szerkezete, a takarmányfelvétel ütemezése (a napi etetések száma). Korábban azt tapasztalták, hogy mikor tavasszal a teheneket kihajtották a legelőre, a tejükben lévő zsírsavak fényabszorpciója jelentősen megnőtt az ultraviola-tartományban (230 nm-en). Ezzel a méréssel tulajdonképpen a tej KLS-tartalmát mérték. A tejszír konjugáltdiénsav-tartalmának spektrofotometriás meghatározásával fog-

lalkozó módszerek leírása során hasonló évszakonkénti ingadozásról számoltak be. A nyers tej KLS-tartalma nyáron kétszer olyan magas volt (1,46%-a az összes zsírsavnak), mint télen (0,78%). Úgy találták, hogy a **legelőre kihajtott tehének tejeinek szignifikánsan magasabb volt a KLS-tartalma**, mint a szénával és/vagy szilázssal takarmányozott tehéneké. A transzszírsavak (TZSS) esetében is szezonális változást tapasztaltak francia tehének tejeinek zsírjában; a transz-C18:1 tartalom kétszer magasabb volt júniusban, mint a januártól márciusig tartó időszakban.

12 EU-tagországból származó tejminták c9,t11-KLS- és transzszírsav (TZSS)-tartalmának gyakorisági eloszlását tanulmányozva három eltérő szezonális tartási és takarmányozási módszer KLS- és TZSS-koncentrációra gyakorolt hatását vizsgálták: legeltetés (nyár), istállózott tartás és etetés (tél), átmeneti időszakok (tavasszal és ősszel). A **német** tejmintákkal végzett felmérésben a c9,t11-C18:2 izomer koncentrációjának eloszlása 0,4 és 1,4 g/100 g zsír értékek körül ért el maximumot, azaz ez a két KLS-koncentráció-érték volt a leggyakoribb a vizsgált mintákban. Az első maximum a téli, a második a nyári takarmányozás esetében vett tejmintákhoz tartozott. A nyáron és a télen mért KLS-koncentrációk átfedése kicsi volt; az átmeneti időszakban mért értékek a télen és a nyáron mért értékek között helyezkedtek el. Hasonló eloszlásokat kaptak a tejminták teljes transz-C18:1 és transz-C18:2 tartalmára, a t11-C18:1 és a t11,c15-C18:2 zsírsavtartalomra is. A teljes transzszírsavtartalom (transz-C16:1, transz-C18:1 és transz-C18:2 összege) eloszlása hasonló volt a KLS-éhez.

A **francia** tejminták c9,t11-C18:2 és transz-C18:1 zsírsavtartalmának eloszlása is mutatta a téli és a nyári szezonális maximumot. A francia tehének zsírjának átlagos KLS (0,74%), transz-C18:1 (3,58%) és a teljes TZSS-tartalma (4,78%) majdnem azonos volt a németországi tejszírokban kapott értékekkel (0,75; 3,62; és 4,86%). A harmadik mintacsoportba 12 EU-országból származó tejszírminták tartoztak Németország és Franciaország kivételével. Ezeknél a mintáknál a KLS-koncentrációk gyakorisága nem mutatott nyári és téli maximumot. Ennek oka az, hogy az **adott országok éghajlati adottságai, és ezzel összefüggésben a takarmányozási körülmények is eltértek egymástól**. Az írországi tehenekeket például egész évben legeltették, ezért az írországi adatok esetében a legnagyobb gyakorisággal előforduló koncentrációk szinte kivétel nélkül a legmagasabb értékek közül kerültek ki. A legeltetett állatok többszörösen telítetlenzsírsav (PUFA)-bevitelére magasabb, mint az istállóban tartott és részben tartósított tömegtakarmányokkal takarmányozott állatoké.

A **transzszírsavak a linolsav és a linolénsav részleges biológiai hidrogénezésével keletkeznek a szarvasmarhák bendőjében**, így nyáron, a magasabb PUFA-tartalmú takarmány etetésekor több TZSS keletkezik, mint télen. A tejszír linolénsav-koncentrációjának gyakorisága szintén két értéknél ért el maximumot, azonban a linolsav esetében ez a takarmányozásfüggő, tipikus mintázat nem volt felismerhető. A statisztikai vizsgálatok szerint szoros volt az összefüggés a tejszír c9,t11-C18:2 szintjének változása és a transz-C18:1; t11-C18:1; transz-C18:2; t11,c15-C18:2; illetve a teljes TZSS-tartalom változása között ($r < 0,9$). Mások szintén pozitív összefüggést találtak a tej KLS-tartalma és t11-C18:1 zsírsavtartalma között. Erre magyarázatul szolgálhat az a tény, hogy in vivo körülmények között a c9,t11-C18:2 KLS-izomer a t11-C18:1 zsírsav fő prekursora, másrészt a t11-C18:1 a transz-C18:1 zsírsavak fő izomere a tejszírban és a kérődzők előgyomrában.

Szoros lineáris kapcsolatot fedeztek fel a tejszír c9,t11-C18:2 KLS és t11-C18:1 tartalma között, amiből arra lehet következtetni, hogy **a biológiai hidrogénezés reakciójának első két lépése nem sebességfüggő**. Miután a transz-11 kötés az izomeráz enzim közreműködésével létrejött, a cisz-9 kötés hidrogéneződik, és t11-C18:1 keletkezik. Ezt a két reakciót a szarvasmarha bendőjében is előforduló, *B. fibrisolvens* baktérium enzimei katalizálják, de a t11-C18:1 → C18:0 **második hidrogénezési lépés** független ezen baktériumok tevékenységétől, és **a teljes biológiai hidrogénezési folyamat** (linolsavtól sztearinsavig) **reakciósebességét is meghatározza**.

Ugyancsak szoros összefüggést találtak sajtból származó tejszírminták c9,t11-C18:2 és t11-C18:1 tartalma között. A linolsav és a c9,t11-C18:2 mennyisége között negatív kapcsolatot, míg a linolénsav és a c9,t11-C18:2 mennyisége között pozitív kapcsolatot véltek felfedezni. A linolénsav és a t11,c15-C18:2 koncentrációjának szoros kapcsolata a **linolénsav biológiai hidrogénezésének egy lehetséges metabolikus útvonalára utalhat**, amelyet a következők szerint javasoltak: c9,c12,c15 → c9,t11,c15 → t11,c15 → t11. Az általánosan elfogadott takarmányozási körülmények között **a tejszír KLS-tartalmának növekedése** (mely táplálkozástani szempontból kívánatos) **mindig összefügg a nemkívánatos transz-C18:1 és transz-C18:2 zsírsavak mennyiségének növekedésével**.

Nagyobb mennyiségű KLS akkor szívódik fel a bélcsatornából, ha a táplálék telítetlenzsírsav-tartalma magas és/vagy ha a biológiai hidrogénezés folyamata valamely okból nem teljes. A zöldtakarmányok zsírja gazdag linolénsavban; a szójaolaj, a gyapotmagolaj és a napraforgóolaj pedig linolsavban. Úgy találták, hogy a legeltetett tehének tejének magasabb volt a KLS-tartalma, ha kiegészítésként nem kaptak koncentrált (abrak-) takarmányt. Azonban, ha teljes zsírtartalmú extrudált **szójadarát**, teljes zsírtartalmú **extrudált gyapotmagot** vagy **napraforgóolajat** kaptak kiegészítésként, **a tej KLS-tartalma nőtt**. Teljes zsírtartalmú repcemag etetése esetében szintén magasabb KLS-szintről számoltak be. A kérdés az, hogy a legeltetett tehének, illetve a telítetlen zsírsavakban gazdag takarmánnyal etetett tehének esetében a tej KLS-szintjének emelkedése összefüggésbe hozható-e az emelt szintű linolénsav-, illetve linolsavbevitellel?

Vizsgálták azt is, hogy **hogyan hat a takarmányok eltérő linolsav- és linolénsavszintje a tej KLS-tartalmának alakulására**. A cél az volt, hogy gazdaságosan növeljék a tej KLS-tartalmát a tej egyéb összetevőinek (zsírtartalom, fehérjetartalom, zsírsavösszetétel) jelentős megváltoztatása nélkül. Az első kísérletben a tejelő tehének koncentrált takarmányának egy részét roppantott nyers szójababbal, roppantott és pörkölt szójababbal, szójababolajjal vagy lenolajjal helyettesítették. Utóbbi esetben az adag szárazanyag-tartalmának 2,2%, illetve 4,4%-a volt lenolaj. Azt tapasztalták, hogy a 3,6% szójaolaj és a 4,4% lenolajtartalmú táp még nem csökkentette a takarmányfelvételt.

Mások szerint viszont már 4% olajat tartalmazó táp esetében negatív hatásról számoltak be, a szárazanyag emészthetőségének csökkenése miatt. A szójabab-adagolás megnövelte a takarmányok sztearinsav-, linolsav- és linolénsav-tartalmát a kontrolltakarmányéhoz képest; a lenmagolaj-tartalmú takarmányoknak a linolénsav-tartalma volt magasabb, mint a többi takarmánynak. A szójaolajat és a nagyobb koncentrációban lenolajat fogyasztó tehének csoportjánál az FCM- (FCM = fat corrected milk) tejhozam és a tej zsírtartalma alacsonyabb volt, mint a többi csoport esetében. Ezt a jelenséget – a tejszírdepressziót – általában a takarmány magas szabad olajtartalma okozza.

A megnövekedett linolsav- és linolénsav-bevitel is okozhat tejszírtartalom-csökkenést. Ezen többszörösen telítetlen zsírsavak nagyobb arányú bevitele megnövelheti a tej C18:1 zsírsavtartalmát, mivel a bendőben lezajló hidrogénezés során a linolsav és a linolénsav részben C18:1 zsírsavakká alakul át. A szójaolaj-kiegészítést tartalmazó takarmány fogyasztása a bendőfolyadék C18:1 zsírsavmennyiségének növekedését okozta. A transz-C18:1 izomer szintjének növekedésével csökken a tej zsírtartalma, de ezen folyamat pontos mechanizmusa még nem ismert.

A nyers és a pörkölt szójababot fogyasztó csoportok esetében nem észlelték a tejszírtartalom csökkenését a kontrollcsoporthoz képest, a szójaolajat és az emelt szinten lenolajat fogyasztó csoportok esetében viszont csökkent a tej zsírtartalma. Más szerzők is tapasztalták, hogy a többszörösen telítetlen olajok szabad formában történő fogyasztása csökkentette a tej zsírtartalmát, továbbá azt is, hogyha a tehének olajos magvakat fogyasztottak, akkor a tej zsírtartalma nem változott. Ezt a tényt azzal magyarázták, hogy a bendőbeli lebomlás során a magvakból lassabban szabadult fel az olaj, mintha azt szabad formában adták volna a takarmányhoz. Így a transz-C18:1 zsírsavak nem halmozódtak fel olyan mértékben a bendőben, mint a szabad olaj bevitele esetében. Ezáltal a bendőt elhagyó transz-C18:1 zsírsavak mennyisége is kevesebb volt, melyek így kevésbé csökkentették a tej zsírtartalmát.

A tehének zsírfogyasztásának növelése – a tejszírdepresszió kivül – a tej fehérjetartalmának csökkenésével is járhat. A zsiradék ugyanis gátolja a bendőbeli mikrobiális fermentációt, ezáltal kevesebb mikrobaeredetű fehérje keletkezik, így a bélben zajló emésztéshez rendelkezésre álló fehérjemennyiség is csökken. Mások azonban nem tapasztaltak jelentős fehérjetartalom-csökkenést egyik kezelés esetében sem. Ennek oka az volt, hogy a kísérlet során alkalmazott takarmányok a tehének termelési szintjéhez már önmagukban is elegendő fehérjeellátást biztosítottak.

A takarmányeredetű hosszú szénláncú zsírsavak szintjének emelkedése azzal jár, hogy a tejszírban fokozottabb mértékben választódnak ki, és egyúttal gátolják a tejmirigyben a közepes lánchosszúságú zsírsavak de novo szintézisét is. Többen a közepes lánchosszúságú zsírsavak arányának csökkenését tapasztalták a tejszírban hasonló takarmányozás mellett.

A tej KLS-tartalma a pörkölt szójababot, szójaolajat, a kevesebb és a több lenolajat fogyasztó csoport esetében is megemelkedett a kontrollcsoporthoz képest 97, 438, 305 és 318%-kal. Egyedül a nyers szójabab fogyasztása nem növelte meg a tej KLS-szintjét. Ezt a tényt azzal magyarázták, hogy a nyers szójababból lassabban szabadult fel az olaj a bendőben, mint a hőkezelt szójababból, a hőkezelés hatására ugyanis törékenyebbé váltak a babszemek. A 3,6%-os szójababolaj-tartalmú táp nagyobb mértékben növelte a tej KLS-szintjét, mint a 4,4% lenmagolajat tartalmazó táp. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy **szójababolaj etetésével a tej KLS-szintje sokkal hatékonyabban emelhető**, mint lenolaj adagolásával. A tej KLS-szintjét mintegy 500%-kal növelték meg 5,3% olajat tartalmazó táp etetésével, de eközben a tej összes zsírtartalma 3,38%-ról 2,25%-ra csökkent. Egy kísérletben a hőkezelt szójababot és a 2,2% lenmagolajat tartalmazó táp fogyasztása okozott jelentős KLS-tartalom-növekedést, a tej zsírtartalmának jelentős csökkenése nélkül.

Öt kísérleti csoport koncentrált takarmányát részben 0,5; 1,0; 2,0; és 4,0% szójaolajjal, illetve 1,0% lenolajjal kiegészítve a 2,0 és 4,0%-os szójaolaj-hozzáadás esetében szignifikánsan csökkent a tej zsírtartalma a takarmány magas szabad olajtartalma miatt. A KLS-

tartalom 237 és 314%-kal nőtt a kontrollcsoporthoz képest; míg a 0,5 és 1,0% szójaolajat és az 1% lenolajat tartalmazó takarmányt fogyasztó csoportok tejének KLS-tartalma nem különbözött a kontrollcsoportétól, azaz nem volt olyan csoport, ahol a KLS-szint növekedése mellett a tejszírtartalom változatlan maradt volna. A tej KLS-tartalma nem nőtt lineárisan a takarmány szójaolaj-tartalmának növelésével. A tej fehérjetartalma ugyanakkor egyik kezelés esetében sem csökkent jelentősen. A közepes lánchosszúságú zsírsavak arányának csökkenése a zsírsavösszetételen belül arányos volt a takarmányhoz adott zsír mennyiségének növelésével.

Egy hasonló kísérletben 1, 2 és 3% halolajat adtak a takarmányhoz, hogy annak a tej KLS-szintjére gyakorolt hatását vizsgálják. A kontroll- (halolajat nem tartalmazó) takarmányban nem volt kimutatható mennyiségű C20:5 (EPA = eikozapentaénsav) és C22:6 (DHA = dokozahexaénsav) zsírsav, melyek viszont a halolajban jelentős mennyiségben voltak jelen. A szárazanyag-felvétel 1% halolajtartalom felett már csökkent, aminek két oka lehetett: a takarmány megváltozott íze és a bendőbeli rostbontás csökkenése. A bevitt olajtartalom növelésével a tej zsírtartalma jelentősen ($P < 0,01$) csökkent. Mások is megfigyeltek hasonló tejszírdepressziót halolaj etetése esetében, míg többen nem tapasztalták a tej fehérjetartalmának csökkenését egyik kezelés esetében sem. Ez a csökkenés valószínűleg az alkalmazott kísérleti szakaszok rövid időtartama miatt nem következett be. Egy több hétig tartó kísérlet során, az emelt zsírtartalmú takarmány fogyasztása esetében, a tej fehérjetartalmának jelentős csökkenéséről számoltak be, és mások is jelentős tejszírösszetétel-változást tapasztaltak a kezelések hatására. A hosszú láncú zsírsavak aránya nőtt, a rövid láncúak aránya csökkent, és a tejszír gazdagabb lett telítetlen zsírsavakban.

A tejszír KLS- és transz-C18:1 zsírsavtartalma szignifikánsan nőtt a takarmány halolajtartalmának 2%-ra növelésével. A legjelentősebb KLS-izomer, a c9,t11-C18:2 mennyisége is a 2%-os halolajszintnél ért el maximumot, és a kontrollcsoporthoz képest 370%-kal nőtt koncentrációja a tejben. Ez az izomer a teljes KLS-tartalom 84–92%-át tette ki. A t9,t11-C18:2 izomer mennyisége 270%-kal nőtt. Még nincs arról tudomásunk, hogy milyen biológiai folyamatokon keresztül növeli a halolaj fogyasztása a tej KLS-szintjét, mivel a halolaj linolsavtartalma egyébként alacsony. Bár a halolaj bendőbeli lebontása még nem teljesen tisztázott, a halolaj lipidjeinek kevesebb mint 50%-a hidrolizál a bendőben, szemben a növényi olajokkal, amelyek mintegy 90%-ban hidrolizálnak. Arról sem tudunk, hogy a 20 és 22 szénatomot tartalmazó zsírsavak átalakulhatnak-e oxidációval a bendőben 18 szénatomszámú zsírsavakká, és arra sincs bizonyíték, hogy ezek a zsírsavak részt vennének-e a biológiai hidrogénezésben. Így feltételezik, hogy a halolaj valamely egyéb alkotója serkentette a KLS képződését a bendőben, a KLS pedig a takarmány más összetevőivel (pl. kukoricaszilázs) bevitt linolsavból alakult ki.

Hogy növeljék a tej KLS-tartalmát, tejelő tehének takarmányát magas linolsav-tartalmú napraforgóolajjal kiegészítették, egyhetes etetési idő után kiválasztották a legmagasabb KLS-tartalmú tejet termelő tehéneket, és azok továbbra is kísérleti takarmányt kaptak. A második hét végén azt tapasztalták, hogy **több tehen tejének KLS-szintje jelentősen visszaesett.** A tejszír KLS-tartalmának átlaga 3,7 g/100 g volt az első, de mindössze 2,3 g/100 g a második hét végén. A harmadik héten tovább folytatódott a hanyatlás, és a harmadik hét végén a tejszír átlagos KLS-szintje már csak 1,6 g/100 g volt. Felhívták a fi-

gyelmet arra is, hogy a kísérleti takarmány etetésének első néhány hetében a bendőbeli hidrogénezési folyamatok jelentősen megváltozhatnak.

A tej KLS- és t11-C18:1 tartalmát befolyásolhatja a tápok rost- és keményítőtartalma is. Egy in vitro kísérletsorozatban bárányok bendőtartalmában a táplálék keményítőtartalmának és rosttartalmának a lipolízis és a hidrogénezés sebességére gyakorolt hatását vizsgálva úgy találták, hogy a **takarmány rosttartalmának csökkentésével és keményítőtartalmának növelésével a végső hidrogénezési lépés lelassult**, és több t11-C18:1 zsírsav keletkezett, amely a sztearinsav (C18:0) helyett a hidrogénezési folyamat fő termékévé lépett elő. Arra a következtetésre jutottak, hogy magas keményítő- és alacsony rosttartalmú tápok etetésekor a **terminális hidrogénezési lépés gátolt**, és a tej t11-C18:1 tartalma jelentősen emelkedik. A mások által kapott eredmények is összhangban voltak a fenti megfigyelésével, de ők a tej t11-C18:1 szintjének emelkedése mellett a c9,t11-C18:2 koncentráció emelkedését is megfigyelték.

Egy kísérletben három különböző takarmányozási csoportot alakítottak ki: a kontrollcsoportban a koncentrált és a terimis takarmány aránya szárazanyagra vonatkoztatva 50 : 50% volt, a két kísérleti csoportban ez az arány 65 : 35% volt (több keményítő, alacsonyabb rost és magasabb cisz-9-18:1 zsírsavtartalom). A kontrollcsoporttal és a kísérleti csoportokkal etetett kétféle takarmány zsírsavtartalma mindössze a cisz-9-18:1 zsírsav esetében különbözött. A kontrollcsoportban és az egyik kísérleti csoportban az aktuális táplálékanyag-szükségleteknek megfelelő adagolt takarmányozás folyt, a második kísérleti csoportban pedig az állatok étvágy szerint fogyaszthatták a takarmányt. A három csoport közül az **adagolt takarmányozású kísérleti csoport tejeinek átlagos c9,t11-KLS-tartalma volt a legmagasabb** (1,13 g/100 g zsír), és szignifikánsan különbözött a szintén adagolt takarmányozású kontrollcsoportétól (0,55 g/100 g zsír). A két kísérleti csoport esetében az ad libitum takarmányozott csoport tejeinek c9,t11-KLS-tartalma (0,66 g/100 g zsír) jelentősen kevesebb volt, mint az adagolt takarmányozású kísérleti csoporté (1,13 g/100 g zsír). Ugyanezt a tendenciát figyelték meg a tej t11-C18:1 zsírsavtartalma esetében is.

Az etetési gyakoriság tejsírtartalomra és zsírsavösszetételre gyakorolt hatását vizsgálva úgy találták, hogy a **tejsírtartalom magasabb volt, ha az etetések száma is több volt**. A többszörösen telítetlen zsírsavak összes mennyiségében nem tapasztaltak különbséget, de a t11-C18:1 zsírsav mennyisége a tejben kissé magasabb volt a naponként kétszeri etetésnél, mint a napi 24-szeri etetésnél. Azt a következtetést vonták le, hogy a t11-C18:1 zsírsav mennyisége csak kismértékben függ az etetés gyakoriságától. Ezek az eredmények részben ellentmondanak mások tapasztalatainak, akik a tejsírtartalomban ugyan nem találtak különbséget, de a c9,t11-C18:2 és a t11-C18:1 zsírsavak **mennyisége jelentősen különbözött az adagolt takarmányozású és az ad libitum takarmányozású kísérleti csoportok között**.

Arra a következtetésre is jutottak, hogy az állatok tartási módja (hagyományos vagy ökológiai) is befolyásolhatja a tej KLS-tartalmát. A kísérletben az elegytejminták KLS-tartalma széles tartományok között változott: 0,34 g/100 g zsír értéktől (istállózott állatok) 0,80 g/100 g zsír értékig (ökológiai farmokon tartott állatok).

Amennyiben a tehéntej KLS-tartalmának emelése előnyös, ez megvalósítható megfelelő takarmányozási receptúrák összeállításával. A takarmányozáson kívül azonban egyéb

tényezők is jelentős szerepet játszhatnak a nyers tej KLS-tartalmának alakításában, mivel a legtöbb tanulmányban nagy egyedek közti eltérést figyeltek meg. Ezen tényezők felderítése még a jövő feladata.

13.2.2. A sajt, a vaj, egyéb tejtermékek és más élelmiszerek konjugáltlinolsav-tartalma

13.2.2.1. Egyéb tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma

A tejtermékek KLS-tartalma egy svédországi felmérés szerint 0,46–0,71 g/100 g zsír-értékek között volt. Hasonló értékeket kaptak az USA-ban is (0,36–0,70 g KLS/100 g zsír). Németországban a tejtermékek zsírjában a zsírsavak 0,40–1,70%-át azonosították konjugált linolsavnak. A sajt KLS-tartalmát több szerző magasabbnak találta, mint a többi tejtermékét.

A pasztörözött tej zsírjának KLS-tartalmát 0,98 g/100 g értéknek mérték. A sűrített tej (0,63 g/100 g zsír) KLS-tartalmát hasonlóan találták, mint akik 0,7 g/100 g értéket mértek a sűrített tejben, és 0,55 g/100 g zsírértéket a homogénezett tej esetében. **Nagy szórást tapasztaltak a joghurtok (0,69 ± 0,30 g/100 g zsír) és a sajtok (0,84 ± 0,38 g/100 g zsír) KLS-tartalmában.** 0,48 g/100 g KLS-t mértek joghurtok zsírjában, mások joghurt esetében 0,38 g KLS/100 g értéket kaptak.

A Svédországban kapható tejtermékeket vizsgálva megállapították, hogy a különféle joghurtok, a vaj, a tejszínhab és a tejföl KLS-tartalma 0,45–0,62 g/100 g zsírértékek között változott. Nem tapasztaltak jelentős eltérést egyik fent említett termék esetében sem. A teljes és a csökkentett zsírtartalmú joghurtok zsírjának KLS-tartalma sem különbözött jelentősen egymástól. Négy és tíz hónap közötti érlelési idejű sajtok 0,50–0,71 g/100 g zsír KLS-t tartalmaztak. A legmagasabb KLS-tartalmú tejtermék a grevé sajt volt (0,71 g/100 g zsír). A KLS-tartalom szórása a tejtermékek esetében kisebb volt, mint amit a nyers tej esetében mértek.

Két ausztrál vaj KLS-tartalmát meghatározva 0,94, illetve 1,19 g KLS/100 g zsírértékeket kaptak. 14-féle tejtermék vizsgálatát elvégezve azok KLS-tartalma 0,06 g KLS/100 g zsír (nem zsíros fagyasztott tejdesszert) és 0,7 g KLS/100 g zsír (sűrített tej) között változott. 13-féle sajt esetében 0,29 g KLS/100 g zsír (romano) és 0,71 g KLS/100 g zsír („téglasajt”) közötti értékeket mértek. Négy ömlesztett sajt átlagosan 0,50 g/100 g KLS-t tartalmazott, és a közöttük lévő eltérés is nagyon csekély volt. **A c9,t11-KLS-izomer adta a tejtermékek teljes KLS-tartalmának 90%-át.** Többen ennek az egy KLS-izomernek tulajdonítják a kedvező biológiai hatásokat. Tejtermékekben ugyanerről az izomerarányról számolnak be mások is, míg egyesek szerint a biológiailag aktívnak vélt c9,t11-KLS-izomer aránya 80%. Mások idős és fiatal sajtok zsírjában 0,51–0,54 g/100 g zsír KLS-szintet határoztak meg, és a KLS-izomerek 82–88%-a a c9,t11-KLS volt.

Nem ömlesztett és ömlesztett sajtok KLS-tartalmát vizsgálva az előbbieket esetében a két szélső érték 0,06 g KLS/100 g zsír (kék sajt) és 0,19 g KLS/100 g zsír (parmezán) volt. Ezen értékek alacsonyabbak voltak a többi, hasonló sajtokban mért értékeknél. Az **ömlesztett sajtok**, melyekhez **savófehérje-koncentrátumot is adtak** a feldolgozás során, körülbelül **négyszer annyi KLS-t tartalmaztak**, mint a kezeletlen, nem ömlesztett

sajtok (0,88 g/100 g zsír vö. 0,19 g/100 g zsír). A hét azonosított KLS-izomer közül a c9,t11-KLS csak 17,1%-át tette ki a teljes KLS-tartalomnak. A legnagyobb mennyiségben a t9,t11-KLS és a t10,t12-KLS-izomer fordult elő az ömlesztett sajtokban. A kereskedelemben kapható ömlesztett sajtok KLS-tartalma 0,32–0,89 g KLS/100 g zsírértékek között volt. A c9,t11-KLS-izomer a teljes KLS-tartalom 39,7–67,9%-át tette ki ezekben a sajtokban. A KLS-izomerek arányának pontos megállapításához megfelelő laboratóriumi módszerek szükségesek, ugyanis **az izomerek aránya a nem megfelelő minta-előkészítés hatására is megváltozhat**, mivel az egy vagy több cisz-konfigurációjú kettős kötést tartalmazó izomerek sztereomutációval transzformájúvá alakulhatnak.

13.2.2.2. A vaj konjugáltlinolsav-szintjének növelése

A tejszír KLS-szintjének növelésére alapvetően két megközelítés létezik: első esetben a **bendőben zajló biológiai hidrogénezési folyamatokba avatkoznak be** a tehenek takarmányozásán keresztül annak érdekében, hogy megnöveljék a bendőből továbbhaladó KLS mennyiségét, és így a tejszírba való beépülés mértékét. A másik megközelítés szerint a **késztermék (a vaj) összetételét biológiai vagy fizikai-kémiai eljárásokkal módosítják** a KLS-tartalom növelése érdekében.

Néhányan a tejelő tehenek napraforgóolajat tartalmazó takarmányával emelték meg a tej KLS-tartalmát, mely aztán a vajgyártás alapanyagául szolgált. Az eljárás célja az volt, hogy **természetes módszerekkel olyan KLS-ben gazdag terméket állítsanak elő**, mely orvosi biológiai állatkísérletekben védőanyagként alkalmazható a rákkutatásban. Kísérletükben a tej KLS-szintje egy hétig tartó kísérleti táp etetése után volt a legmagasabb, ezért a tejet az első hét végén gyűjtötték be. Az egyedek között is szelektáltak, és a legmagasabb KLS-szintű tej volt a vaj alapanyaga. Míg a napraforgóolajat nem fogyasztó kontrollcsoport tejéből készült vaj csupán 0,5 g/100 g zsír KLS-t tartalmazott, a kísérleti csoport tejéből készített vaj ennek nyolcszorosát (**4,1 g KLS/100 g zsír**) tartalmazta. Mindkét vajban a legfőbb KLS-izomer a c9,t11-C18:2 zsírsav volt, bár ennek a zsírsavnak az aránya a napraforgóolaj-tartalmú tápot fogyasztó állatok termékében magasabb volt, mint a kontrollcsoportéban (90,8%; szemben a 76,5%-kal). A kísérleti takarmányt fogyasztó tehenek tejéből készült vajban a transz-C18:1 zsírsavak aránya majdnem háromszor annyi volt, mint a kontrollban. Minden transz-C18:1 izomer aránya magasabb volt, mint a kontrollcsoport termékében, és ez különösen vonatkozott a t11-C18:1 izomerre. **A KLS-ben gazdagított vaj több telítetlen zsírsavat és kevesebb rövid és közepes lánchosszúságú zsírsavat tartalmazott.**

Többen a már elkészített vajhoz adtak szintetikus konjugált linolsavat és enzimek készítményt, ily módon a vaj **triacil-gliceroljait enzimes módszerrel részlegesen átészterezték**. A módszerfejlesztés során az volt a cél, hogy a vajhoz adott konjugált linolsavak minél jobban beépüljenek a triacil-glicerolokba. Első kísérletükben több enzimek készítmény lipázaktivitását vizsgálták meg, és úgy találták, hogy a *C. antarctica* lipáz enzime (Chirazyme L-2, helyhez kötött [immobilizált] forma) viszi be leghatékonyabban a KLS-t az acil-glicerolokba. Megállapították, hogy az enzim hőmérsékleti optimuma 50 °C, mivel 60 °C-on az átészterezés mértéke a denaturálódás miatt már csökkent. A keletkezett termék mennyiségét az inkubálási idő függvényében ábrázolva megállapítható, hogy a be-

épült KLS mennyisége az inkubálás kezdetén rohamosan nőtt, majd a görbe, minden enzimkoncentráció esetében, ellaposodva egy telítési határhoz tartott. Mikor a szerzők adott szubsztrátmennyiséghez képest növelték az enzimmennyiséget, egyre hamarabb érte el a termék mennyisége ezt az egyensúlyi értéket. 50 mg enzim használata esetében (100 mg KLS és 1 g vaj mellett) az egyensúly már húsz óra alatt beállt (kb. 10 g KLS/100 g zsírtarték). Ezzel az immobilizált enzimmel csőreaktorban, folyamatos üzemelésel, elméletileg lehetőség nyílna a konjugált linolsavban dúsított vaj előállítására. Az átészterezés hatékonyságát befolyásolta a vaj víztartalma is, ugyanis 0,15% víztartalom felett a KLS-bevitel mértéke csökkent, és a nemkívánatos hidrolízistermékek mennyisége is nőtt (szabad zsírsavak, mono- és diacil-glicerolok). A triacil-glicerolok szénatomszám szerinti megoszlása megváltozott az átészterezés hatására, mivel a hosszú szénláncú zsírsavak (C18) főleg a közepes és rövid szénláncú zsírsavak helyett épültek be az acil-glicerolokba.

Szuperkritikus fluid extrakcióval (SFE) is állítottak elő tejszírből KLS-ben gazdag tejszírfrakciót. Az ötletet erre a technológiára az adta, hogy régebbi tapasztalatok szerint a vízmentes tejszírből szén-dioxidos SFE során olyan frakciót lehet kinyerni, amely gazdagabb a hosszabb szénláncú és telítetlen zsírsavakat tartalmazó triacil-glicerolokban, mint az eredeti tejszír. Egy folyamatos üzemű, kísérleti SFE-berendezést összeállítva a szén-dioxidos SFE-vel a vízmentes tejszírt ellenáramú extrakcióval öt frakcióra bontották. Az első frakció KLS-tartalma jelentősen magasabb volt (0,78 g/100 g), mint az eredeti tejszír (0,42 g/100 g) vagy a többi frakcióé (0,45; 0,42; 0,28; 0,31 g/100 g). A KLS-tartalmú triacil-glicerolok frakciók közti koncentrációváltozása követte a többi hosszú láncú, telítetlen zsírsavat tartalmazó triacil-glicerol mennyiségi változását az extrakció során. Az első frakció összetétele több egyéb komponens mennyisége szempontjából is kedvezően alakult: több telítetlen zsírsavat és β -karotint, de kevesebb koleszterint tartalmazott, mint a többi frakció és az eredeti tejszír. Az első frakció olvadáspontja a szobahőmérséklet felett volt (30 °C). A szerzők úgy vélik, ezt a terméket vagy önállóan, magas táplálkozási értékű vajként, vagy egyéb tejtermékekhez keverve lehetne hasznosítani.

13.2.2.3. A sajt konjugáltlinolsav-szintjére ható tényezők

A sajtok KLS-tartalmát több szerző magasabbnak mérte, mint a többi tejtermék KLS-tartalmát. A sajtok KLS-szintjét befolyásolhatja például a tejalapanyag KLS-tartalma, az érlelési idő, és ömlesztett sajtok esetében a gyártási folyamatok során alkalmazott hőkezelés, és nem zárható ki a starterkultúra mikrobáinak KLS-termelése sem.

Természetes és ömlesztett sajtok KLS-tartalmát vizsgálva azt találták, hogy azok az ömlesztett sajtok, melyekhez savófehérje-koncentrátumot is adtak a feldolgozás során, körülbelül négyszer annyi KLS-t tartalmaztak, mint azok a sajtok, melyek esetében nem történt fehérjekiegészítés. Az indoklás szerint a KLS-termelődés több okból is bekövetkezhetett: létrejöhetett KLS a feldolgozás során a hőkezelés hatására, valamint az érés alatt is a linolsav szabad gyökös oxidációja folytán. A fehérje eltérő minősége is befolyásolhatta a keletkezett KLS mennyiségét az ömlesztett sajtban.

Egy kísérletben cheddar sajtból ömlesztett sajtot készítettek, két ömlesztési hőfokon. Úgy találták, hogy a 80 °C-on és a 90 °C-on, atmoszferikus nyomáson ömlesztett cheddar sajtok KLS-tartalma kb. 10%-kal magasabb volt, mint a nyersanyagajté. Ha azonban

az ömlesztést nitrogén-atmoszférában végezték, nem tapasztaltak emelkedést a KLS-tartalomban. Az ömlesztett **sajt savófehérje-koncentrátum tartalmának** nulláról 6%-ra történő **növelésével a KLS-szint 35%-kal nőtt**. A fehérje-hozzáadással előmozdított KLS-szint-növelés során az ömlesztett cheddar sajtban a c9,t11-KLS-izomer aránya nem változott jelentősen (45%).

Mivel a KLS-t a bendőbaktériumok is elő tudják állítani a linolsav izomerizációjával, elképzelhető, hogy a starterkultúráknak is szerepük van a tejtermékek KLS-tartalmának alakításában, bár többen nem találtak különbséget különböző starterkultúrával készített cheddar típusú sajtok KLS-tartalma között. Annak érdekében, hogy a starterkultúrák KLS-szintre gyakorolt hatását kísérleti, ellenőrzött körülmények között is vizsgálni tudják, a két legismertebb svéd kemény sajtot (grevé és herrgårdost) kísérleti körülmények között készítették el, két eltérő starterkultúrával, azonos gyártási és tárolási technológiával. Megállapították, hogy **a kétféle szintenyészzettel készült sajtok KLS-tartalma nem különbözött** jelentősen. A bolti grevé sajt KLS-tartalmát magasabbnak mérték (0,71 g/100 g zsír), mint a szerzők által készített grevé sajtét (0,48 g/100 g). A különbséget a bolti sajt sajttejének magasabb KLS-tartalma okozta, a bolti sajt készítését ugyanis nyáron kezdték el.

Az élelmiszergyártás során használt starterkultúrák tartalmazhatnak olyan **mikroorganizmusokat, melyek in vitro KLS-t állítanak elő**, ezért megvizsgálták több olyan baktérium KLS-termelő képességét, melyek előfordulnak a szintenyészetekben. Hét Lactobacillus, négy Lactococcus, két Streptococcus és hat Propionibacterium faj, illetve alfaj közül **mindössze három Propionibacterium freudenreichii törzs termelt KLS-t**. Ezeknek a baktériumoknak fontos szerepe van az ún. svéd típusú sajtok jellegzetes aromájának és lyukazottságának kialakításában.

A baktériumsejtek és a tápközegek analízise azt mutatta, hogy a KLS inkább a sejteken kívül fordult elő, mint a sejtekben. Az összes KLS-tartalom 70–90%-át a c9,t11-C18:2 és a t9,c11-C18:2 izomer tette ki, és a c9,t11-C18:2 izomer KLS-en belüli aránya hasonló volt ahhoz, amit a tejtermékekben általában mértek. E két izomeren kívül még a t10,c12-C18:2, a t9,t11-C18:2 és a t10,t12-C18:2 konjugált linolsavak voltak jelen kisebb mennyiségben. A KLS-termelő három Propionibacterium freudenreichii törzsre **a szabad linolsav antibakteriális, növekedést gátló hatást gyakorolt**. A KLS-t nem termelő törzsek esetében ellenben nem volt ilyen hatás. A KLS-termelő fajok és törzsek linolsavtűrése és az általuk termelt KLS mennyisége egyenesen arányos volt egymással. Így **a szabad linolsav KLS-sé alakítása ezen Propionibacterium freudenreichii törzsek esetében egy méregtelenítési folyamatnak fogható fel**. Ezek a baktériumok a számukra káros szabad linolsavat úgy próbálják hatástalanítani, hogy KLS-sé alakítják, a transzkonfigurációjú kettős kötéseket is tartalmazó zsírsavak antimikrobás hatása ugyanis kisebb, mint a cisz-konfigurációjú kettős kötéseket tartalmazóké.

Az extracelluláris tér analízise azt mutatta, hogy a c9,t11-C18:2 és a t9,c11-C18:2 izomerek egy része tovább hidrogéneződött c9-C18:1 zsírsavvá. Ez a biológiai hidrogénezési folyamat eltér a B. fibrisolvens által a bendőben végzett linolsav-hidrogénezéstől, mert ott a c9,t11-C18:2-KLS-izomer az első lépésben t11-C18:1 zsírsavvá alakul. Azokban a tápközegekben, melyek felületaktív anyagokat (Tween 80, **fehérjék**) tartalmaztak, a szabad linolsav növekedést gátló hatása kisebb mértékű volt. Így elképzelhető, hogy ezekkel

az anyagokkal csökkenteni lehet a linolsav baktériumnövekedést gátló hatását, és ezáltal több KLS is termelődik. Többen lehetségesnek tartják, KLS termelési mechanizmusuk jobb megismerése után, a jövőben KLS-ben gazdag sajtok előállítását ezekkel a KLS-termelő *Propionibacterium* törzsekkel. Egy kísérletben nem találtak különbséget a *Propionibacterium* fajokat tartalmazó grevé és azokat nem tartalmazó herrgårdost sajtok KLS-tartalma között.

Az érlelési idő hatásával kapcsolatban ellentmondásosak a tapasztalatok. Egyesek szerint a **parmezán sajt magasabb KLS-szintje összefügghet a hosszú érlelési idővel**, mások viszont nem találtak különbséget a fiatal és az idős cougar sajtok KLS-tartalma között. Nem mutattak ki jelentős változást a grevé és a herrgårdost sajtok KLS-koncentrációjában a kilenc hónapos érlelés során sem. A sajtok KLS-tartalma nem különbözött jelentősen a sajttej KLS-tartalmától, tehát **sem a gyártás, sem az érlelési idő nem befolyásolta számottevően a két sajt KLS-tartalmát**. Bár a sajtgyártás során nem tapasztaltak számottevő KLS-tartalom-növekedést, leszögezik, hogy a KLS-szint stabilitása fontos tény táplálkozástani szempontból, mivel a **nyers tej eredeti KLS-tartalma nem vesz el a táplálékból a feldolgozás során**.

Az eltérő starterkultúrák, feldolgozási módok és érlelési időtartamoknak a KLS-tartalomra és az izomeroszlásra gyakorolt hatását vizsgálva három, nem ömlesztett cheddar típusú sajt esetében az eredmények azt tükrözték, hogy a **különböző starterkultúrák, a gyártási folyamatok és az érlelési időtartamok sem gyakoroltak jelentős hatást a teljes KLS-tartalomra**, azonban – bár kismértékben – befolyásolták a KLS-izomerek megoszlását a sajtokban.

Kísérletekkel igazolták, hogy az indiai ghee KLS-szintjét nagyban befolyásolja annak előállítási módja. A KLS mennyisége akár ötszörösére is növelhető az előállítás során. Sikerült 0,5–0,6 g/100 g zsír KLS-t tartalmazó tehéntejnyersanyagból 2,5–2,8 g/100 g zsír KLS-tartalmú ghee-t előállítani. A szerzők szerint a **KLS-tartalom növekedéséért** részben az **alvadékképzés során fellépő mikrobiális fermentáció tehető felelőssé**. A KLS-tartalmat befolyásolta a szűrési hőmérséklet is, ugyanis magasabb hőmérsékleten (120 °C) több KLS keletkezett, mint alacsonyabb hőmérsékleten (110 °C). A kutatók véleménye szerint a ghee gyártása folyamán alkalmazott **hőközléssel járó folyamatok, fehérje jelenlétében**, minden kétséget kizáróan **felelőssé tehetőek a KLS-szint növekedéséért**. Ez a hatás hasonló ahhoz, amit a savófehérjével dúsított ömlesztett sajtok esetében tapasztaltak.

Különböző tejtermékek, illetve különböző sajtok KLS-tartalma nemcsak a termék fajtájától és gyártási módjától függhet, hanem a tejalapanyag KLS-tartalmától is. A termékek alapjául szolgáló nyers tej KLS-tartalmának ingadozása igen jelentős lehet, amint arra többen is rávilágítanak. A tejtermékek KLS-tartalmának összehasonlításánál ügyelni kell arra, hogy a KLS-szintben mért különbségek adódhatnak a nyers tej ingadozó KLS-szintjéből is. A sajt KLS-szintjére ható gyártási tényezők vizsgálatakor is célszerű azonos alapanyagból kiindulni.

13.2.2.4. Más élelmiszerek konjugáltlinolsav-tartalma

A kérődzők húsában mintegy tízszer magasabb KLS-tartalmat találtak, mint a monogasztrikus állatokéban. A nyers hús KLS-tartalma 0,11 g/100 g zsír (nyúlhús) – 1,20 g/100 g zsír (bárányhús) értékek között változott. A húskészítményeknél ugyan-

ezek az értékek 0,27 g/100 g zsír (főtt sonka) – 0,44 g/100 g zsír (füstölt német kolbász) tartományba estek. A **húskészítmények KLS-tartalma hasonló a nyersanyagok KLS-szintjéhez, és nem változtak jelentősen sem a fermentáció, sem az egyéb gyártási folyamatok során.** A nyers húsok KLS-tartalma hasonló volt ahhoz, amit nyers marhahúsban (0,31–0,85 g/100 g zsír közötti értékek) mértek. Vizsgálva, hogy jelent-e változást a darált marhahús KLS-tartalmában a hőkezelés hőmérséklete (belső hőmérséklet: 60 °C, illetve 80 °C) és az elkészítési módszer (sütés zsírban és zsír nélkül, főzés, mikrohullámú sütés), úgy találták, hogy **sem a konyhatechnikai módszer, sem az alkalmazott hőmérséklet nem befolyásolta jelentősen a darált marhahús KLS-tartalmát.**

Egy Új-Zélandon készült vizsgálat szerint legeltetett bárányok szubkután zsírja 0,1–0,7 g/100 g zsír c₉t₁₁-KLS-t tartalmazott. A kereskedelmi sertéshússzelet zsírja kismértékben tartalmazta ugyanezt az izomert, grillezett darált marhahúsban pedig 0,1 g/100 g-nak mérték a KLS mennyiségét. Ausztráliában különféle gazdasági állatokból több húsmintát vizsgálva az átlagos c₉t₁₁-KLS-tartalom g/100 g zsír mértékegységben megadva 1,49 volt a bárány-, 1,30 a marha-, 0,74 a borjú-, 0,14 a sertés- és 0,18 a csirkehúsban. Három tojás minta 0,00–0,24 g/100 g zsír mennyiségben tartalmazta ezt az izomert. A tojássárgája esetében 0,02 g KLS/100 g zsír, a teljes tojás esetében 0,06 g KLS/100 g zsír koncentrációt határoztak meg.

A fentihez hasonló, de szélesebb körű felmérést végezve az Egyesült Államokban az átlagos teljes KLS-izomer-tartalom g/100 g zsírra vonatkoztatva, marhahúsnál 0,37, bárányhúsnál 0,56, borjúhúsnál 0,27, sertéshúsnál 0,06 és csirkehúsnál 0,09 volt. Ezek az értékek, főként a kérődző állatok esetében, lényegesen alacsonyabbak voltak, mint amit az ausztráliai termékeknél mértek. Az eltérések oka valószínűleg a különböző takarmányozási módszerekben keresendő.

Megvizsgáltak több tengeri eredetű élelmiszert is, melyek KLS-tartalma alacsony volt (0,05 g/100 g zsír). Ezekből az élelmiszerekből a biológiailag aktív c₉t₁₁-KLS-izomert nem tudták kimutatni. Több halfaj KLS-tartalmát vizsgálva jóval kisebb mennyiségű KLS-t találtak bennük, mint a hús- vagy tejtermékek esetében. A legkisebb érték: 0,01 g KLS/100 g zsír (lándzsás folyami sügér), a legmagasabb pedig 0,09 g KLS/100 g zsír (ponty) volt.

A feldolgozott húsok és húskészítménykonzervek, zöldségkonzervek, tengeri eredetű élelmiszerkonzervek és csecsemőételek KLS-tartalmát vizsgálva megállapították, hogy a késztermékekben mért KLS-mennyiség általában hasonló volt az alapanyagokban mért értékekhez, tehát **a gyártási folyamatok nem változtatták meg jelentősen a KLS-szintet.** Megállapították, hogy a csokoládék, a sütemények, a kekszek és az egyéb **készételek KLS-tartalma főként a tejszírből származott.** Ha a termékben a tejszír egy részét növényi eredetű olajjal helyettesítették, akkor a termék zsírsavainak kisebb része volt KLS. Azok az élelmiszerek, melyek magasabb mennyiségben tartalmaztak növényi eredetű hidrogénezett olajat, nem tartalmaztak KLS-t detektálható mennyiségben (KLS-koncentráció < 0,01 g/100 g zsír).

Három **margarinmintát** megvizsgálva **nem találtak bennük kimutatható mennyiségű KLS-t**, és mások sem tudták ezeket a zsírsavakat több különböző eredetű olajból és margarinból kimutatni (KLS < 0,01%). A vizsgált zsiradékok a következők voltak: finomított és finomítatlan dió-, olíva-, napraforgó-, szőlőmag-, szójabab-, avokádó-, kesudió- és földimogyoró-olaj, kakaózsír, diétás, napraforgó- és csökkentett zsírtartalmú margarin.

Ezzel szemben néhányan a margarinok KLS-tartalmát 0,31–2,04 g/100 g zsír közötti értékek találták, mások 0,2 g/100 g zsír fölötti mennyiségben találtak c9,t11-KLS-izomert, és szintén ebben a mennyiségben C18:2 konjugált t,t és C18:2 konjugált c,t izomereket a margarinokban.

A Brazíliában használt egzotikus olajokban szintén találtak konjugált linolsavakat, és kis mennyiségű c9,t11-KLS-izomert tudtak kimutatni a Kanadában kereskedelmi forgalomban kapható kukorica-, földimogyoró-, szójabab- és pálmaolajban is. A kukorica-, az olíva- és a kókuszolaj esetében körülbelül 0,02 g KLS/100 g zsír értékeket mértek, és a c9,t11-KLS-izomer aránya a teljes KLS-tartalom 45%-át tette ki. Mikor a szerzők a laboratóriumukban készített kukoricaolajat vizsgálták, a teljes KLS-tartalom szintén 0,02 g/100 g zsír értéknek adódott, viszont ebben az esetben nem detektálták a c9,t11-KLS-izomert. A c9,t11-KLS-izomer jelenlétét a többi minta esetében azzal magyarázták, hogy az a **feldolgozás során, talán a részleges hidrogénezés alatt keletkezhetett, és hogy a hidrogénezett növényi olajok KLS-tartalma valószínűleg a hidrogénezés körülményeitől függ.**

13.2.3. A konjugált linolsavak és a tejszír biológiai hatása; konjugált linolsavak az emberi szervezetben

13.2.3.1. A konjugált linolsavak biológiai hatása

A daganatos betegségek kialakulásának több oka lehet, ugyanis mind a genetikai, mind a káros környezeti hatások növelhetik a betegség kialakulásának kockázatát. Egy epidemiológiai tanulmányokról írt összefoglalóban leírták, hogy a **rákos halálesetek körülbelül 35%-a táplálkozási okokra vezethető vissza.** A különféle rákbetegségek esetében ez az érték 20 és 60% között van. Az elfogyasztott táplálék tartalmazhat olyan **összetevőket, melyek segítenek megelőzni a rákot,** és lehetnek benne olyan alkotók is, amelyeknek szerepe lehet a rák kialakulásában. Manapság a rákmegelőzési stratégia egyik fontos része olyan természetes élelmiszer-komponensek felfedezése, melyeknek rákellenes hatásuk van. A legtöbb ilyen vizsgálat a növényi eredetű élelmiszerekre irányul, azonban a kutatások során kiderült, hogy **az állati eredetű tejszír is tartalmaz több olyan komponenst, melyeknek rákellenes hatása van.** Ilyenek a konjugált linolsavak, a szfingomielinek, a vaj-sav és az éter-lipidek.

A KLS rákellenes hatását először 1985-ben tapasztalták, amikor arra kerestek választ, hogy milyen mutagén anyagok keletkeznek a hús konyhatechnikai kezelése során. A mutagén anyagok helyett felfedeztek **egy csoport antimutagén hatással rendelkező zsírsavat,** melyekről kiderült, hogy konjugált linolsavak. Ledarált, majd megsütött marhahúsból készítettek tisztítatlan és részlegesen tisztított kivonatokat, melyek gátolták a baktériumok mutagenezisét, és a 7,12-dimetilbenz(a)antracénnal (DMBA) kiváltott bőrrák kifejlődését egerekben. Ez a mutagenezist szabályozó anyag szintén jelen volt a nyers darált marhahúsból készült kivonatokban, és nem bomlott le a sütés hatására sem.

Ezeket a kísérleteket tovább folytatva egy tisztított frakciót különítettek el, amely legnagyobb mennyiségben a következő négy KLS-izomert tartalmazta: c9,t11, t9,t11, t10,c12 és t10,t12. Ez a négy izomer adta a teljes KLS-tartalom több mint 90%-át. Ez a frakció a citokróm P-450 enzimcsalád aktivitását in vitro gátolta. Ez az enzimcsalád fele-

lős a rákkeltő IQ (2-amino-3-metilimidazo[4,5-f] kinolein, IQ) aktiválásáért a májban. Néhány év múlva kiderült, hogy a KLS a májban, in vivo körülmények között is gátolta a citokróm P-450 enzimcsalád működését. Az IQ aktiválását a májon kívül a prosztaglandin H-szintetáz végzi, és a KLS ezt az enzimet is gátolta.

A frakció elemzése után szintetikus KLS-készítményekkel vizsgálták azok élettani hatását. Egy kétlépcsős kísérlet során arra kerestek választ, hogy gátolja-e a KLS a bőrrák kialakulását egerekben. A KLS-t helyileg alkalmazták, az egerek háti bőrrétegén. A kontrollegereket linolsavval vagy acetonnal kezelték, majd az egerek DMBA-t és 12-O-tetra-decanoylphorbol-13-acetátot (TPA) kaptak, a tumorképződés kiváltása érdekében. A linolsavval és az acetonnal kezelt egerek esetében nem volt különbség a daganatos esetek számában, ezzel szemben **a KLS-sel kezelt egereken mindössze feleannyi papilloma keletkezett, és a daganatos esetek száma is alacsonyabb volt, mint a kontrollcsoportokban.**

Egy későbbi tanulmányban azt tapasztalták, hogy **a szintetikus KLS meggátolta a benz(a)pirén (BP) által indukált kóros szövetképződést az egerek gyomrának elülső részében.** Három egymástól független kísérletsorozatot végeztek, melyek során egereknek gyomorszondán keresztül KLS-t, olívaolajat vagy linolsavat adtak, majd rákkeltő anyaggal (BP) karcinogenezist idéztek elő. Azokban az állatokban, melyeknek KLS-t adtak a BP-adagolás előtt, csak feleannyi daganat keletkezett, mint a kontrollcsoportokban (olívaolaj- vagy linolsav-adagolás). A három kísérletsorozatból két esetben a daganatos egyedek száma szintén kevesebb volt a KLS-sel kezelt csoportban. A KLS intubálása után biokémiai analízisnek alávetve az egerek eltávolított gyomrát azt tapasztalták, hogy **a KLS beépült a szöveti sejtek membránjának foszfolipidfrakciójába.** A szintetikus KLS-ben jelenlévő kilenc izomer közül mindössze egyet, a **c9,t11-C18:2** zsírsavat tudták kimutatni a foszfolipidekből, amiből arra következtettek, hogy csak ennek az egy **izomernek van biológiai aktivitása.**

A KLS antioxidáns tulajdonságára is felfigyeltek, és **a KLS-t még az α -tokoferolnál is hatékonyabb antioxidánsnak találták.** A KLS majdnem annyira hatásosnak bizonyult a lipidperoxidációs folyamatok ellen, mint a butil-hidroxi-toluol (BHT). A feltételezések szerint a KLS rákellenes hatása azon alapult, hogy a molekula in situ védelmet nyújtott a membránt támadó szabad gyökök ellen.

A sejtproliferációs folyamatok beindulását többek között az ornitin dekarboxiláz enzim (ODC) aktiválódása jelzi. Az ODC szintje magas a gyorsan osztódó szövetekben, például a bélnyálkahártyában, de a magas ODC-érték a daganatképződés jele is lehet. Azt tapasztalták, hogy az egerek előgyomrában **rákkeltő anyaggal (TPA) kiváltott ODC-aktivitás a KLS-adagolás hatására mérséklődött.** A proteinkináz C számos sejtfolyamatban vesz részt, többek között a sejtek közötti kommunikációban, a sejtosztódásban és a daganatképződés előmozdításában. A daganatkeltő TPA hatékonyan aktiválja a proteinkináz C enzimet. Ha a rákkeltő TPA beadása előtt KLS jut a szervezetbe, az meggátolja, hogy a TPA a proteinkináz C-t aktiválja, és ez is okozhatja a gyomorban és egyéb szervekben a KLS rákellenes hatását.

A grillezett marhahús olyan heterociklusos amin tartalmaz (2-amino-3-metilimidazo[4,5-f] kinolein, IQ), amely több szervben DNS-eltváltozásokat okoz. Ezt a folyamatot is gátolták a konjugált linolsavak egerekkel végzett kísérletekben. **A KLS etetése szintén**

gátolta az IQ DNS-re gyakorolt negatív hatását patkányok vastagbélében, és a rendellenes bemélyedések számának növekedését is jelentősen csökkentette. A rendellenes kripták mikroszkóppal megfigyelhetők, és mennyiségük a korai kóros szövétképződést megelőzően jelzi, hogy milyen esély van arra, hogy a vastagbél-karcinogenezis rosszindulatúvá fajuljon.

Emlőrák esetében, patkányokon végzett kísérletek eredményei alapján, **a szintetikus úton előállított KLS jelentős antikarcinogén hatásáról számoltak be.** Egy kísérletben a DMBA beadása előtt két héten át KLS-t etettek a patkányokkal, és folytatták a védőanyag adását egészen a kísérlet végéig. A takarmány 0,5, 1,0 és 1,5%-át kitevő KLS-bevitel hatására az **előldaganatok száma 32, 56 és 60%-kal csökkent.** A daganatos állatok száma, az egyedeken található átlagos daganatszám és a daganatok tömege hasonló mértékben csökkent a KLS-bevitel növelésének hatására. A fibroadenomák száma szintén csökkent a KLS-szintjének növelésével; tehát a KLS mind a jó, mind a rosszindulatú daganatok képződését gátolta. Az emlők rákos sejtjeinek kivonatából és a májból nyert foszfolipidfrakciók analízise azt mutatta, hogy mindkét szerv esetében **csupán a c9,t11-KLS-izomer épült be a foszfolipidekbe.** A KLS összes izomere megtalálható volt a szövetek triacil-glicerol molekuláiban; de csak a cisz-9, transz-11 izomer épült be a foszfolipidmembránokba. Ez az eredmény egybevág a korábban leírt kísérletek eredményével, és a KLS antioxidáns tulajdonságát is igazolta. A KLS-etetés hatására az emlőmirigyekben csökkent a lipidperoxidációs folyamatok intenzitása, hasonló hatás azonban a májban nem mutatkozott. Más szerzők véleménye szerint a KLS-nek nincs antioxidáns hatása, sőt még elő is segítheti a lipidoxidációt.

Egy másik kísérletben, alacsonyabb karcinogén dózis alkalmazása esetén úgy találták, hogy még alacsonyabb KLS-szintek (0,1 g KLS/100 g táplálék) hatására is jelentősen csökkent a kialakult előldaganatok száma. A fenti két kísérlet során kiderült, hogy **a KLS hatása arányos volt annak dóziséval egy adott szintig** (1 g KLS/100 g táplálék), viszont ezen érték fölött már nem volt további javulás. Az elválasztástól (21 napos kor) a rákkeltő anyag beadásáig (50 napos kor) tartó rövid időtartamú KLS-bevitel szintén csökkentette a daganatképződést azokban az esetekben, mikor DMBA-t vagy metil-nitrozo-ureát használtak karcinogén vegyületeként.

A 21. és az 50. életnapok között zajlik a patkányok emlőmirigyeinek érési folyamata. Az 50. napra az emlőmirigyek szerkezete megegyezik a felnőtt állatok emlőmirigyeinek felépítésével. A KLS emlőrák kialakulását gátló hatása nem függött a táplálékkal bevitt zsíradék mennyiségétől és típusától, és szintén fontos kitérni arra, hogy **a KLS csak akkor jelentett védelmet az emlőtumor-képződéssel szemben, ha adagolását már a rákkeltő anyag beadása előtt megkezdték** az elválasztás után vagy a prepubertás időszakában. Mikor olyan patkányoknak adtak be karcinogén anyagot, melyek ezt megelőzően nem kaptak KLS-t és emlőmirigyeik már kifejlődtek, akkor a védelem érdekében egész életük alatt fogyasztaniuk kellett a KLS-t. Ezek a tapasztalatok közelebb visznek ahhoz, hogy megértsük a malignus emlőtumorok kialakulásának folyamatát, és tanulmányozzuk a KLS kölcsönhatását a fejlődő emlőszövetekkel és a karcinogén anyagokkal.

Sejtkultúrákban a KLS citotoxikus hatást gyakorolt az emberi rákos sejtekre. Ha az inkubálás során a sejttenyészetekhez annyi KLS-t adtak, hogy az a vérben mért fizioló-

giai koncentrációban legyen jelen, akkor a humán eredetű rosszindulatú melanoma, a kolorektális rákos sejtek és az emlőtumor sejtjeinek proliferációja jelentősen csökkent a kontrollkultúrákhoz képest. A KLS gátló hatása nagyobb volt, mint a β -karotiné, amely csak az emlő tumorsejtjeinek proliferációját csökkentette. A KLS szintén gátolta három tüdő adenocarcinoma-sejtvonal szaporodását, de nem gátolta a glioblastoma-sejtvonalak proliferációját. Azok a rákos emlősejtek, melyekhez KLS-t adtak, kevesebb leucint, uridint és timidint, a kolorektális és a melanomasejtek pedig kevesebb leucint építettek be, mint a kontrollkultúrák. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy **a KLS a fehérje- és a nukleotid bioszintézis gátlásán keresztül gátolja a rákos sejtek növekedését**. Ezenkívül elképzelhetőnek tartották, hogy a KLS befolyásolta az eikozanoidlebontást vagy a lipidperoxidációt is.

A KLS antioxidáns tulajdonságait vizsgálták egy in vitro modellrendszerben, amikor a linolsav-metilészter (LSM) és konjugált linolsav-metilészter (KLSM) oldatokhoz metilénkéket (MK) adtak, majd megvilágítással fotooxidációt váltottak ki. A KLSM-oldatok peroxidszáma lényegesen kisebb volt, mint az LSM-oldatoké. A zsírsavészterek mennyisége is kisebb mértékben csökkent a besugárzási idő függvényében, mint az LSM-oldatoknál. A zsírsavészterek mennyiségének csökkenésével arányosan nőtt a peroxidérték mindkét zsírsavészter esetében, de az egyenes meredeksége nem volt azonos; egységnyi zsírsavészter-veszteségnél lényegesen kisebb volt a peroxidszám-növekedés a KLSM-oldatok esetében, mint az LSM-oldatokban.

Ezt a jelenséget azzal magyarázták, hogy a KLSM-nek a hidroperoxidokon kívül egyéb elsődleges oxidációs termékei is voltak, vagy/és a KLSM-ből származó hidroperoxidok keletkezésükhöz hasonló sebességgel le is bomlottak másodlagos termékekre. Ebből az következik, hogy csupán a peroxidérték mérése nem elégséges a KLSM oxidatív lebomlásának nyomon követésére. A fényérzékeny anyagként használt metilénkéket egy idő után elszíntelenedett, mivel hidrogént vett fel a hidroperoxidoktól. A megvilágítás első két napján az MK színváltozása nagyobb volt a KLSM-oldatoknál, mint az LSM-oldatoknál, a harmadik naptól viszont fordított helyzet állt elő. Azonos zsírsavészter-veszteségnél viszont a KLSM-oldatok sokkal jobban elszíntelenedtek, mint az LSM-oldatok. Mivel a KLSM-oldatokban kevesebb hidroperoxid keletkezett, mint az LSM-oldatokban, a szerzők az indikátor gyors színváltozásának okát valamely más, eddig még nem ismert reakcióban keresték. Az eredményekből azt a következtetést vonták le, hogy a KLSM és az LSM nem viselkedik azonos módon az MK indikálta fotooxidáció során.

Sokan vizsgálták már, hogy a KLS milyen folyamatokon keresztül befolyásolja a karcinogenezist, de ennek ellenére ezek a folyamatok még nagy részben feltáratlanok. A kölcsönhatás mechanizmusa eltérő lehet különböző típusú tumorok esetében, de az életkor, a karcinogén anyaggal való kapcsolat időtartama és a karcinogenezis előrehaladottsága is megváltoztathatja a KLS hatásmechanizmusát. Az eddig ismertté vált, a KLS antikarcinogén hatását okozó folyamatok a következők: **a KLS viselkedhet antioxidánsként, lehet prooxidáns, amelynek citotoxikus hatása van, gátolja a nukleotidszintézist, csökkenti a proliferatív aktivitást, gátolja a DNS-károsodást, és gátolja a rákkeltő anyag aktiválódását.**

A KLS rákellenes hatásán kívül egyéb biológiai hatásairól is beszámol néhány kutató. A KLS alkalmazásával az **immunstimuláció által okozott katabolikus hatás megelőz-**

hető volt, és koleszterinszint-csökkentő és antiatherogén hatást is tulajdonítanak a KLS-nek. Állatkísérletekben egerek testének zsírtartalma 60%-kal csökkent annak hatására, hogy tápjukba 0,5% KLS-t keverték, azonban még nem ismertek azok a folyamatok, melyek ezekért a biológiai hatásokért felelősek.

13.2.3.2. A tejsír rákellenes hatása

Számos tanulmány szerint a tejtermékek fogyasztása csökkenheti bizonyos rákbetegségek kialakulásának az esélyét. A **tej több komponensének tulajdonítanak antikarcinogén hatást:** a tejfehérjéknek, a tejsavbaktériumoknak, a kalciumnak, valamint a tejsír több alkotóelemének (konjugált linolsavak, szfingomielinek, vajsav, éter-lipidek).

Néhány kísérletben az állatok takarmányában a tejsírt vagy a vaját izokalorikusan növényi olajokkal vagy margarinnal helyettesítve úgy találták, hogy bármely zsíradék etetése esetében magas volt a daganatos esetek száma (az állatok jelentős %-ában alakult ki daganat), ha a takarmány zsírtartalma 20% volt. A növényi olajban gazdag takarmánnyal ellátott csoport esetében, a DMBA-val kiváltott patkányemlő adenocarcinomás esetek száma magasabb volt, mint a vaját vagy az egyéb telített zsíradékot fogyasztó csoportok esetében. Egy másik kísérletben nőtény patkányoknak 1,2-dimetilhidrazint (DMH) és DMBA-t adtak, hogy vastagbél- és emlődaganatok keletkezését idézzék elő. A patkányok alaptakarmánya 15 g/100 g vaját (B) vagy 15 g/100 g kukoricaolajat (C) tartalmazott, főlőzött tejpórral (M) vagy kazeinnel és szacharózzal (S) kombinálva. A négy kezelés (MB, MC, SB, SC) esetében a vastagbél-daganatos állatok aránya 46, 83, 46 és 78% volt. Mikor az előző diétákkal az elválasztástól kezdve etették a patkányokat, a DMBA indukálta emlődaganatos esetek aránya 20% volt az MB-, 58% az MC-, 26% az SB- és 56% az SC-diéta esetében. Mikor ezeket a takarmányokat csak a rákkeltő anyag beadása után kezdték el adagolni a patkányoknak, a daganatok előfordulási aránya magasabb volt (56; 70; 70; 100%).

Egy másik kísérletben négy különböző táppal etettek nőtény egereket az elválasztás után. Az alaptápot 20% vajjal, vagy margarinnal (64 g linolsav/100 g zsírsav), vagy pórsáfrányolajjal gazdagították. A főként adenocarcinomás spontán emlőrák kialakulásának mértéke kisebb volt a vajjal etetett csoportban (21%), mint a margarinnal (43%) és a pórsáfrányolajjal (44%) táplált csoportban. Hasonló takarmányokat adtak nőtény patkányoknak, egy héttel a rákkeltő anyag (DMBA) beadása előtt. Az emlőtumor előfordulásának gyakorisága az alaptáp esetében, mely csak 4,9% zsírt tartalmazott, 44%; a vajhozadásnál 36%; a margarin-hozzáadásnál 63% és a pórsáfrányolaj-hozzáadásnál pedig 46% volt. Annak érdekében, hogy eldöntsék, ténylegesen a tejsír okozta-e a vaj emlőrák kifejlődését gátló hatását, egy újabb kísérletben az előző kísérlethez hasonló körülmények között, patkányokkal a következő tápokot etették: alaptáp (4,6% zsír); alaptáp és teljes tejpór (8,9% zsír) kiegészítés; főlőzött tej (3,9% zsír) kiegészítés; tejszín (20,8% zsír) kiegészítés. Ebben az esetben a magas tejszírtartalmú tejszínes tápot fogyasztó csoportban nem volt nagyobb a rákos esetek száma (42,3%), mint az alaptápot fogyasztó csoportban. A teljes tejpórt és a főlőzött tejet fogyasztó csoportokban magasabb volt a rák előfordulási aránya (60%, illetve 52%), mint az előző csoportokban.

Patkányok alaptápját egy magasabb (20%) és egy alacsonyabb szinten margarinnal kiegészítve az emlőrákos esetek aránya a kontrollcsoportban 40%, a kevesebb margarint

fogyasztó csoportban 70%, a több margarint fogyasztó csoportban pedig 80% volt. Mikor a táphoz 20% margarint mellett 20% vajat is adtak, a rákos esetek aránya 70% körül alakult, azonban az összes kialakult daganatok száma, az átlagos daganatszám és a daganatok átmé-
rője jelentősen kisebb volt a csak margarint fogyasztó csoporthoz képest.

Egy kísérletben a szőrtelen (nude) egerek hajlamosabbak voltak az ultraviola (UV-) fény és az UV/DMBA kombinált hatásával kiváltott fotokarcinózisra abban az esetben, ha sokszorosan telítetlen zsírsavakat tartalmazó margarinoakat és napraforgóolajat fogyasztot-
tak, mint ha vajat tartalmazott a tápjuk.

Az előző állatkísérletek – melyekben a magas zsírbevitel miatt magas volt a bélrák kiala-
kulásának kockázata – világosan mutatták, hogy a **tejalapú étrend kevesebb daganat ki-
alakulását vonta maga után, mint a többszörösen telítetlen növényi olajokban gazdag
étrend.** A fenti kísérletekből azonban nem derült ki, hogy a daganatos esetek számában
mért különbség minek volt tulajdonítható: a tejszír rákellenes hatásának vagy a linolsav
bélrákot, emlőrákot és bőrrákot előmozdító hatásának. Ennek a kérdésnek a megválaszo-
lására olyan kísérleteket kellene elvégezni, melyekben a linolsavbevitel és az energiabevitel
is egyensúlyban van. Bár az állatkísérletek nagymértékben elősegítik a karcinogenezis
jobb megértését, a kapott adatokat humán (klinikai) esetekre csak nagy óvatossággal és
körültekintéssel szabad alkalmazni.

13.2.3.3. A konjugált linolsavak előfordulása és eredete az emberi szervezetben

A KLS az emberi szervezetben is megtalálható; a vészérumból, az anyatejből, az epé-
ből, a béltartalomtól és a zsírdépből is kimutatták ezeket a zsírsavakat. A c9,t11-KLS
koncentrációja 0,3–0,5% között változott a vészérumban, 0,3–1,3% között az anyatejben;
0,3–0,9% között volt a zsírszövetben, a teljes zsírsavtartalom %-ában megadva. A vészé-
rumban a KLS a koleszterinészterek, a triacil-glicerolok és a foszfolipidek alkotórészeként
szerepelt. A KLS-izomerek közül az emberi vészérumban a c9,t11-KLS volt a legnagyobb
mennyiségben előforduló konjugált dién. 18 ausztráliai anyatejminta KLS-tartalmát meg-
határozva az átlagos érték 0,58 g KLS/100 g zsír volt, a szélső értékek pedig a 0,31–0,85 g
KLS/100 g zsír tartományba estek. A Hare Krisna vallási szektához tartozó nők esetében
az anyatej átlagos KLS-tartalma 1,18 g/100 g zsír volt (0,97–1,25 g KLS/100 g zsír).

A KLS lipidcsoportok közti megoszlására ellentmondó eredményeket kaptak. Egye-
sek szerint a KLS közel azonos mértékben található a foszfolipidekben (36%), a triacil-
glicerolokban (36%) és a koleszterinészterekben (28%), mások szerint viszont a szérum-
KLS inkább a triacil-glicerolokban található (58–78%), mint a foszfolipidekben (16–34%)
vagy a koleszterinészterekben (2–8%).

Kezdetben úgy vélték, hogy a konjugált linolsavak eredete az emberi szérumban a több-
szörösen telítetlen zsírsavak szabad gyökös reakcióira vezethető vissza, később azonban
kiderült, hogy a **táplálék KLS-tartalma az a tényező, ami jelentősen befolyásolja a vér-
szérum és az anyatej c9,t11-KLS-szintjét.** Mivel a tejszír KLS-szintje általában magas, a
tejszírbevitel mennyisége jelentős hatást gyakorolhat a szérum KLS-szintjére. Feltételez-
ték, hogy a Hare Krisna vallási szekta tagjainak esetében azért volt magasabb az anyatejek
KLS-tartalma (1,18 g/100 g zsír), mint az ausztráliai anyák esetében (0,58 g/100 g zsír),
mert előbbieket nagy mennyiségű ghee-t vagy vajat használtak fel ételeik elkészítéséhez.

A vaj és a ghee a KLS-ben leggazdagabb ételek közé tartoznak. Bár az emberi szövetek KLS-tartalmának nagy része valószínűleg táplálékeredetű, nem zárható ki az endogén szintézis lehetősége sem. Lehetséges, hogy a táplálékeredetű linolsav az emberi bélrendszerben is átalakul biológiai hidrogénezéssel KLS-sé, bár erre a folyamatra még nincs minden kétséget kizáró bizonyíték. Ezt a feltételezést támasztja alá az a tény, hogy emberi bélsárból is ki tudtak mutatni olyan baktériumokat (*Butyrivibrio fibrisolvens*), melyek kéroldzókben a linolsav biológiai hidrogénezésében vesznek részt.

A monogasztrikus állatok közül a patkányok esetében valószínű, hogy a KLS endogén úton is létrejöhet, mivel kísérletekben a **patkányszövetek KLS-szintje megemelkedett a magasabb linolsavtartalmú diéta fogyasztásának hatására.** Ezenfelül a patkányok májában a táplálékeredetű transz-11-C18:1 zsírsav is átalakulhat c9,t11-C18:2 zsírsavvá, a $\Delta 9$ -deszaturáz enzim hatására. Emberben eddig még csak a méhnyakban találtak bizonyítottan baktériumeredetű KLS-t, a KLS bakteriális termelődésére a bélsatornában még nincs bizonyíték. Nem zárható ki annak a lehetősége sem, hogy az emberi szövetekben a táplálékeredetű transzszírsavak egy része konjugált linolsavakká alakul. Az emberi vérszérum KLS-koncentrációjának emelkedését figyelték meg, ha a táplálékban a transzszírsavak szintje magas volt.

13.2.3.4. Az emberi szövetek konjugáltlinolsav-szintje és a táplálkozás

A KLS beépülését a szövetekbe patkányokon már tanulmányozták. E vizsgálatok során kiderült, hogy a beépülés mértéke függ a szövetfajtától; a tüdőszövetben a legmagasabb és az agyszövetben a legalacsonyabb a KLS-szintje. Az emberi zsírszövet összetétele függ a táplálkozási szokásoktól, mely nagymértékben, míg a kor, a nem, a mintavétel helye és a genetikai adottságok csak kismértékben befolyásolják a zsírszövet összetételét.

Azt vizsgálva, hogy az étrend KLS-tartalma milyen hatással volt a vérszérum foszfolipidjeiben található konjugált linolsavak szintjére, azt tapasztalták, **hogy magas KLS-tartalmú ételek fogyasztása esetében** a kísérletben részt vevők ($n = 14$) **szérum-KLS-szintje** három hét alatt átlagosan $12,1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ értékről $18,8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ értékre **nőtt.** Ezt követően alacsony KLS-tartalmú ételeket fogyasztottak a résztvevők, és három hét alatt a szérum KLS-szintje $14,3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ értékről $8,9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ értékre csökkent. Egy másik kísérletben kilenc lakto-ovo vegetáriánus ember a szokásos étrendjén felül, naponta cheddar sajtot fogyasztott ($112 \text{ g sajt}/\text{nap}$; $178,5 \text{ mg KLS}/\text{nap}$). Négyhetes kísérleti időszak alatt a foszfolipid-észterekben található KLS mennyisége $7,1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ értékről $9,6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ szintre nőtt, majd ezt követően, négyhetes kiegészítés nélküli étrend hatására, a szérum KLS-szintje $7,8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ szintre állt vissza.

Ezt követően 123 ember esetében vizsgálták az összefüggést a táplálékkal bevitt KLS-mennyiség és a szérumban, valamint a zsírszövetben mért KLS-koncentráció között. Az egyhetes kísérleti időszak alatt a résztvevők feljegyezték, milyen ételből mennyit fogyasztottak, majd vér- és szövetmintát vettek tőlük. Ezt az egy hétig tartó kísérletet hat hónapon belül még egyszer megismételték, majd ezt követően a 24 órás időszakok fogyasztását jegyezték fel a résztvevők, egy éven belül, 14 alkalommal. Az elfogyasztott tejszír mennyiségét és a bevitt zsírsavak mennyiségét irodalmi adatok alapján, az ételek tejszírtartalmából és az ételek zsírsavtartalmából számították ki. A kísérleti időszakok után vér- és zsírszö-

vetmintát vettek a résztvevőktől. **A zsírszövetek KLS-tartalma és a tejszírbevitel között jelentős pozitív kapcsolatot találtak**, mely azt jelzi, hogy az emberek zsírszövetének KLS-tartalma jelentős mértékben függ az elfogyasztott tejtermékek mennyiségétől. A zsírszövet KLS-szintje szintén pozitív kapcsolatban állt a becsült KLS-bevitellel. Ezzel szemben a zsírszövet KLS-tartalma fordítottan volt arányos a táplálékkal bevitt linolsav mennyiségével.

A vérszérum KLS-szintje átlagosan 0,24 g KLS/100 g zsír volt (0,13–0,52 g/100 g zsír), ami körülbelül feleannyi, mint amennyit a zsírszövetben mértek. A szérum és a zsírszövet KLS-tartalma között pozitív összefüggés állt fenn ugyan, de a korreláció alacsony volt ($r = 0,38$; $P < 0,05$). Az alacsony szintű korreláció és a zsírszövet szérumhoz viszonyított magas KLS-szintje miatt további vizsgálatok elvégzését javasolták a KLS lehetséges endogén szintézisének és metabolizmusának felderítésére.

A zsírszövetben nem találtak kapcsolatot a KLS és a linolsav mennyisége között, ami egybevág az emberi vérplazma esetében kapott régebbi eredményekkel. Egy korábbi vizsgálatban pozitív kapcsolatot fedeztek fel a tehéntej c9,t11-KLS és transz-11-C18:1 zsírsav szintje között, viszont csak gyenge korrelációt tapasztaltak az emberi zsírszövetben ($r = 0,20$) e két zsírsav mennyisége között. Ezzel szemben szoros kapcsolatot állapítottak meg a c9,t11-KLS és a C15:0, a C14:1 és a C16:1 zsírsavak koncentrációja között, amire nem találtak magyarázatot. A kapott eredmények viszont összhangban voltak egy régebbi megfigyeléssel, amely szerint **az emberi zsírszövet C15:0 szintjét biológiai markerként lehet használni a bevitt tejszír mennyiségének becsülésére**. Az eredmények összevetéséből kiderült, hogy a C14:1 és a C16:1 zsírsavak mennyisége duplája volt a hatvanas években az emberi zsírszövetben, mint a kilencvenes években. Mivel a zsírszövet C14:1 és C16:1 szintje, valamint a KLS-szintje között szoros pozitív korrelációt találtak, ennek alapján feltételezték, hogy a KLS mennyisége is a felére csökkent az elmúlt évtizedekben az emberi zsírszövetben. A KLS-szint hanyatlását az állati eredetű zsírok fogyasztásának csökkenésével magyarázták.

Még nem ismerjük pontosan, hogy milyen mennyiségű KLS-t kell naponta az embernek elfogyasztania ahhoz, hogy a KLS kedvező élettani hatásai megmutatkozzanak. Az eddig elvégzett vizsgálatok tapasztalatai azt mutatták, hogy a patkányok emlődaganat-képződése jelentősen mérséklődött, ha takarmányuk 100 grammja 0,1–1,0 g KLS-t tartalmazott. Egyes kutatók ebből az adatból számolták ki, az ember és a patkány testtömegaránya alapján, az **ember számára szükséges napi KLS-bevitelt, ami 3,5 g KLS/napnak adódott**. Az Egyesült Államokban a napi KLS-fogyasztás kb. 0,5–1,0 g, Ausztráliában 0,5–1,5 g, Németországban pedig 0,4 g, amely értékek alacsonyabbak, mint amennyire szükségünk lenne – már amennyiben a patkány és az ember KLS-igénye egységnyi testtömegre vonatkoztatva megegyezik.

Többen úgy vélték, hogy a hatékony mennyiség bevitel nem oldható meg a hagyományos tejalapú élelmiszerek fogyasztásának növelésével, mivel ez 20–30 liter tej (!) fogyasztásával járna naponta. Többek véleménye szerint **a KLS-bevitel jelentős növelése csak a KLS-ben gazdagított tejtermékek fogyasztásával lehetséges**. A tejalapanyag KLS-tartalmának növelését már többen megvalósították KLS-szint-növelő takarmányozási módszerekkel, azonban ezeknél a módszereknél problémát jelenthet a tej összetéte-

lének jelentős megváltozása (tejszír- és fehérjetartalom, zsírsavösszetétel-változás). Ezek a folyamatok nem minden esetben kedvezőtlenek, azaz élettani szempontból nem mindig járnak kedvezőtlen hatással, azonban ki kell emelni, hogy a **tejszír KLS-tartalmának növekedése**, ezekben a takarmányozási kísérletekben, **együtt járt az élettani szempontból nemkívánatos transz-C18:1 zsírsavak mennyiségének növekedésével**. Ha a tejalapú élelmiszerek KLS-szint-emelését a transzzsírsavak szintjének emelkedése nélkül akarjuk megvalósítani, akkor szintetikus KLS-t kell az élelmiszerhez adni, és azt enzimes úton kell a tejszír triacil-gliceroljaiba bejuttatni. Megoldást jelenthet az is, ha **KLS-ben gazdag tejzsírfrakciót állítunk elő extrakcióval**, de ebben az esetben felmerül a kérdés, hogy a viszsamaradt KLS-ben szegény, értékcsökkent frakciók hogyan hasznosíthatók.

13.2.4. A konjugált linolsavak összefoglalása

Jelenlegi ismereteink alapján élelmiszereink közül a kérődző állatok húsa és teje, valamint az ezekből készített termékek tartalmazzák a legtöbb konjugált linolsavat (0,2–2,0 g KLS/100 g zsír). A monogasztrikus állatok húzában mindössze tizedannyi KLS-t találtak, mint a kérődzőkében, a halak és egyéb tengeri állatok húzában KLS-tartalmát pedig még ennél is kevesebbnek mérték. A kérődző állatok termékeiben található KLS részben a linolsavból jön létre, a biológiai hidrogénezés folyamán baktériumos közreműködéssel, részben a transz-C18:1 zsírsavakból alakul ki a tejmirigyben zajló $\Delta 9$ -deszaturáz reakcióval. Monogasztrikus állatoknál is a szövetek KLS-szintjének emelkedését tapasztalták a linolsavbevitel növelésének hatására, így nem zárható ki, hogy emésztőrendszerükben – bár kisebb mértékben, mint a kérődzők bendőjében – biológiai hidrogénezés megy végbe. A $\Delta 9$ -deszaturáz reakció révén is termelődhet KLS a patkányok májában, és az endogén KLS-termelődés mellett az abrakfogyasztó állatok termékeinek KLS-tartalmát jelentősen gyarapíthatja az állati eredetű takarmányokkal bevitt KLS is. Kérődzők esetében a tej KLS-szintje jelentősen növelhető azáltal, ha a takarmányozáson keresztül beavatkozunk a biológiai hidrogénezési folyamatokba. Egyik lehetőség erre olyan takarmányok etetése, amelyek sok többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmaznak. Ha a zsiradék szabad formában van jelen a takarmányban, vagy kötött forma esetében az olajhordozó szerkezete törékeny, és/vagy a napi takarmányadagot kevés részletben kapják meg az állatok, akkor nagy mennyiségű, a baktériumok számára könnyen elérhető linolsav jut a bendőbe rövid idő alatt. A magas szubsztrátkoncentráció hatására a biológiai hidrogénezés első két gyors reakciójának termékei, a c9,t11-C18:2 és a t11-C18:1 felhalmozódnak a bendőben, majd a tápcsatornában továbbhaladva felszívódásuk után az állat szervezetében mindenhova eljutnak. A másik lehetőség a magasabb keményítő- és alacsonyabb rosttartalmú takarmány etetése, amely a végső hidrogénezési lépés sebességének lelassulását vonja maga után. Nyilvánvaló azonban, hogy a takarmány zsírtartalmának növelése és rosttartalmának csökkentése csak kismértékű lehet a káros élettani hatások kiküszöbölése miatt. Jelenleg a halolaj KLS-szint-növelő hatásának mechanizmusa még nem ismert, és megválaszolatlan az a kérdés is, hogy a tej KLS-szintjét milyen mértékben befolyásolja a biológiai hidrogénezés, és milyen mértékben a $\Delta 9$ -deszaturáz reakció. Ezen reakció egyik szubsztrátja, a t11-C18:1 azonos a biológiai hidrogénezés egyik köztes termékével, így a $\Delta 9$ -deszaturáz reakció sebességét elvileg befolyásolhatja a biológiai hidrogénezésből származó és felszí-

vódott t11-C18:1 zsírsavak mennyisége. A tejsír KLS-tartalmának növelése megfelelő takarmányozással megvalósítható, azonban ez rendszerint együtt jár a tej összetételének jelentős megváltozásával. A tej zsírtartalma és fehérjetartalma csökkenhet, a zsírsavösszetételen belül a hosszú szénláncú zsírsavak szintje emelkedik, miközben a közepes szénláncú zsírsavak aránya, párhuzamosan a transzszírsavak mennyiségének növekedésével, csökken. A tej KLS-szintjének növekedése azonban csak átmeneti jelenség, a tej KLS-tartalma ugyanis az új takarmány bevezetése után néhány hét múlva csökken.

Az ömlesztett sajt vagy az indiai ghee gyártása során alkalmazott hőkezelés, valamint a nyersanyagok élelmiszeripari feldolgozásának egyes lépései megnövelhetik a KLS-szintet. A hőkezelés főleg abban az esetben jár jelentős KLS-képződéssel, ha a termék fehérjetartalma magas. Húsok sütése és főzése viszont nem változtatta meg jelentősen a KLS-szintet, és a hús- és zöldségalapú konzervek KLS-tartalma sem módosult jelentősen a gyártás során. Csokoládék, sütemények és kekszek KLS-szintje a termék tejsírtartalmától függ. Az erjesztéssel készített termékek esetében a termék KLS-tartalma a fermentáció során is változhat, mivel egyes sajtgyártásnál is alkalmazott *Propioni* baktérium fajok képesek mikrobiológiai tápközegekben linolsavból KLS-t előállítani. A tényleges sajtgyártás során azonban nem találtak különbséget a *Propioni* baktérium fajokat tartalmazó és azokat nem tartalmazó sajtok KLS-tartalma között. Egyesek szerint a sajtok KLS-szintje emelkedhet az érlelés során, mások viszont nem tapasztalták a félkész termék KLS-tartalmának jelentős változását a starterkultúrával való beoltását követően. A legtöbb esetben a sajtok KLS-tartalma nem különbözött jelentősen a sajt készítéséhez felhasznált tej KLS-tartalmától. Ha a vajhoz szintetikus KLS-t adunk, a szabad zsírsavakat enzimes átészterezéssel be lehet juttatni a triacil-glicerol molekulákba, és ezzel a módszerrel a késztermékek KLS-szintjének növelése is megoldható. A vajból szuperkritikus folyadékextrakcióval KLS-ben gazdag frakciót lehet kinyerni. Amennyiben kívánatos, az élelmiszerek KLS-tartalmának növelése is megvalósítható. A legkisebb bizonytalansággal járó eljárásnak az látszik, ha a késztermékekhez szintetikus készítményeket adunk. Manapság azonban a fogyasztók előnyben részesítik a csak természetes komponenseket tartalmazó élelmiszereket. Ha a tejtermékek nyersanyagául szolgáló tej KLS-szintjét takarmányozással megnöveljük, az a tej összetételének megváltozását okozhatja, ugyanis többek között a nemkívánatos transzszírsavak mennyisége is megnövekedhet a tejben. A sajtok KLS-szintjének növelése KLS-termelő starterkultúrákkal ígéretes lehetőségnek tűnik, de az eddig elvégzett kísérletek még nem jártak eredménnyel. Több szerző nem talált kimutatható mennyiségű KLS-t margarinokban és növényi olajokban, míg mások jelentős mennyiségekről (0,02–2,0 g/100 g olaj) számoltak be. A különbségek oka feltételezések szerint a növényi olajok előállításánál alkalmazott eltérő feldolgozási módszer, ugyanis a c9,t11-C18:2 KLS képződése során az olajok részleges hidrogénezése is bekövetkezhet.

Állatkísérletek alapján bizonyítottnak látszik, hogy a takarmányhoz kevert szintetikus KLS gátolja a gyomor- és a bőr rák kialakulását egerekben, valamint a bélrák és az emlőrák kifejlődését patkányokban. Bár in vitro kísérletekben a KLS több emberi szövet esetében is jelentősen csökkentette a rákos sejtek proliferációját, nem tudjuk, hogy hatása mennyiben módosul in vivo körülmények között. Az eddigi kutatások alapján megállapítható, hogy a KLS-nek a carcinogenezis folyamatára gyakorolt hatása nagyon összetett és teljességében

még nem ismert. Az emberi szervezetben a kedvező élettani hatások kiváltásához szükséges napi KLS-bevitel mennyisége sem ismert, csupán állatkísérleteken alapuló becslött értékeket ismerünk. Az ember KLS-fogyasztása és a rosszindulatú daganatos betegségek kialakulása közötti kapcsolat kimutatása nehézségekbe ütközik, mivel a kísérletben részt vevő önkéntesek táplálkozási szokásait akár évtizedeken keresztül rögzíteni kellene, hogy a KLS-bevitel összevethető legyen a betegségek kialakulásának mértékével. A kísérletben részt vevő önkéntesek életmódjában és környezetében nagy eltérések lehetnek, szemben az azonos kísérleti körülmények között tartott állatokkal, s így a zavaró faktorok hatását csak nehezen lehetne csökkenteni vagy kiküszöbölni. Mindezen nehézségek ellenére célszerű lenne az állatkísérletek eredményeinek figyelembevételével kísérleteket folytatni a KLS emberre gyakorolt élettani hatásának megismerésére, és a rákellenes hatás igazolására, mielőtt az élelmiszerek KLS-tartalmának növelését tűznénk ki célul.

13.3. A tejsavbaktériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok szerkezeti és mennyiségi analízise

13.3.1. Bevezetés

Sok baktérium termel olyan poliszacharidokat, melyeket nem épít be, hanem kijuttat a sejtől. Ezek az anyagok vagy a sejt közötti térbe jutva nyálkát képeznek, vagy kívülről rögzülnek a sejtfalhoz, burokként körbevéve azt. Ezen poliszacharidokat **exopoliszacharidoknak** nevezzük (a továbbiakban: EPS), mivel a poliszacharidok a sejtfalon kívül találhatóak.

Számos tejsavbaktérium is képes EPS-termelésre, mely nyálkatermelő kultúrák alkalmazása a joghurtgyártásban javíthatja a termék szerkezetét, mivel az **EPS hatására kedvezőbbé válhatnak a reológiai tulajdonságok, nőhet a viszkozitás, a géltörés és a szinerézis pedig megelőzhető.** Egyes EPS-termelő tejsavbaktérium-fajták használatával elkerülhető a növényi eredetű állományjavítók használata, s így „természetes”, „adalékmentes” joghurtot, illetve jégkrémet állíthatunk elő. Az EPS jelenléte nem minden élelmiszer esetében kívánatos, mert pl. a borok állaga nyálkás, olajos lesz tőle.

Egyes **EPS-fajták kedvező hatással lehetnek az ember egészségére**, egyrészt mivel nem emészthető élelmiszer-alkotók, másrészt **rákellenes és koleszterinszint-csökkentő hatást** is tulajdonítanak nekik. Az elmúlt időszakban átfogó kísérleteket végeztek a tejsavbaktérium-fajok különböző fajtái által termelt EPS szerkezetének feltérképezésére és mennyiségének mérésére. Egyes szerzők szerint a szerkezet a fermentációs körülmények függvényében ugyanazon fajta esetében is eltérő lehet, ezért a termelt EPS mennyisége a fermentációs körülményektől, fajtától függően tág határok között változik. Ahhoz, hogy az EPS-termelő fajok által nyújtott előnyöket az élelmiszeriparban kiaknázhassuk, egyrészt ismernünk kell, hogy melyik fajta milyen körülmények között, milyen mennyiségű és szerkezetű EPS-ot termel; másrészt, hogy az adott szerkezetű és mennyiségű EPS szignifikánsan javítja-e a termék fizikai tulajdonságait. A nemkívánatos EPS esetében (pl. nyálkás bor) a viszkozitást csökkentő enzimes kezelés kidolgozása a cél, s ehhez szintén az adott EPS szerkezeti ismerete szükséges.

A tejsavbaktériumok által termelt EPS-ok kémiai szerkezetük alapján három csoportba oszthatók:

- α -glükánok, amelyek főként α -1,6 és α -1,3 kötésekkel kapcsolódó glükózegységekből állnak, például a dextránok és mutánok;
- fruktánok, melyeket leginkább β -2,6 kötéssel kapcsolódó fruktózmolekulák alkotnak, például a leván és
- heteropoliszacharidok, amelyek többféle monoszacharidból állnak.

Az oligoszacharidok közül jelenleg az érdeklődés középpontjába kerültek azon 2–10 molekula glükózt és/vagy fruktózt és galaktózt tartalmazó szerkezetek, melyeket **galaktooligoszacharidoknak** nevezünk (a továbbiakban: GalOS). A GalOS-ok **pozitívan hatnak a bélműködésre: elősegítik a hasznos bifidobaktériumok szaporodását, csökkentik a pH-t és a rothadás során keletkező termékek mennyiségét.** Mivel emészthetetlenek, a diétás rosthoz hasonló fiziológiai hatást fejtenek ki, azaz **csökkentik a vérszérum koleszterinszintjét és a vérnyomást,** és kis energiataralmú édesítőszerként élelmiszer- és kozmetikai adalékként is használatosak. A fentiek miatt tanulmányozzák a GalOS-ok ipari előállításának lehetőségeit, mely jelenlegi ismereteink szerint háromféle módszerrel lehetséges:

- A galaktán és a laktóz kémiai vagy enzimes átalakítása
- Kémiai vagy enzimes szintézis
- Eukarióta sejt kultúrák fermentációja

A savó magas laktóztartalma miatt alkalmas alapanyag a GalOS-ok enzimes termelésére. Vizsgálták az enzimes módszerek termelékenységét, és egy adott módszer esetén optimalták a fermentációs paramétereket. Ezekhez a vizsgálatokhoz szükség van az előállított GalOS-ok mennyiségének és szerkezetének meghatározására.

A laktóztoleranciában szenvedők laktózemésztése nem olyan hatékony, mint az egészségeseké, ezért alacsony laktóztartalmú élelmiszerek fogyasztásával csökkenteni kell a laktózbevitelüket, ami csak akkor valósítható meg, ha ismerjük, a tejtermékek laktóztartalmát. Vizsgálva, hogy a joghurtgyártás során hogyan változik a termék laktóz-, glükóz- és galaktóztartalma, megállapították, hogy a laktóztartalom az előzetes hőkezelés, majd az ezt követő fermentáció során jelentősen csökken. Összegzésként megállapítható, hogy az EPS-ok és a GalOS-ok élelmiszeripari alkalmazása és élettani hatásainak vizsgálata érdekében szükség van olyan analitikai módszerekre, melyek segítségével e szénhidrátok mennyisége és összetétele meghatározható.

13.3.2. Az exopoliszacharidok (EPS) mennyiségének és szerkezetének meghatározása

Az EPS-okat vizsgálatuk előtt ki kell vonni a közegből, mely többnyire valamely fermentum, egy összetett biológiai rendszer; élő és halott sejteket, az oldatba „kiszabadult” makromolekulákat és kisebb molekulákat is tartalmaz. E bonyolult feladat egyrészt hagyományos módszerek alkalmazásával jár (szétválasztás eltérő ülepedési sebesség vagy eltérő oldhatóság alapján), másrészt a végső finomítási lépésben néhány esetben preparatív

kromatográfias tisztítást vagy a nemkívánatos anyagok enzimés bontását kívánja meg. Az EPS mennyiségét általában közvetlenül a mátrixból vagy a részlegesen tisztított fermentumból, ritkán a kinyert preparátum vizes oldatából határozzák meg. Minőségi jellemzőinek vizsgálatai közé tartozik a **molekulatömeg-meghatározás gélkromatográfiával**, a **monoszacharid-összetétel vizsgálata**, a **monoszacharidok kapcsolódási helyeinek, izomériájának, láncszerkezetének és foszfortartalmának vizsgálata** különféle eljárásokkal.

13.3.2.1. Az EPS-ok izolálása

Az EPS-ok kinyerésének opcionális lépései a következők:

- a mikroorganizmusok eltávolítása centrifugálással;
- a fehérjék kicsapása a felülúszó oldatból;
- az EPS kicsapása szerves oldószerrel;
- az EPS tisztítása enzimekkel;
- az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés kromatográfiával.

A közeg, melyből az EPS-ot ki kell nyerni, többnyire valamely tejalapú fermentum. Az elsőként kidolgozott módszerek szerint először a sejteket távolították el, közvetlen centrifugálással (20 000 g, 30 perc), illetve hűtés (6 °C, 1 óra) utáni centrifugálással (11 000 g, 20 perc). Mindkét esetben az **EPS alkoholos kicsapása** következett a felülúszóból. A fehérjék eltávolításának lépése az első esetben kimaradt, a második esetben pedig az alkoholos kicsapás után ioncserés **kromatográfiával kísérelték meg eltávolítani a fehérjéket**. Mások a fermentumból centrifugálással, ultraszűrőssel, majd liofilizációval nyert „nyers EPS”-ot 4%-os triklór-ecetsav-oldatban két órán át 4 °C-on kevertették, hogy kicsapassák a fehérjéket, majd centrifugálás következett (28 100 g, 30 perc).

Többen az izolálást az első lépés kihagyásával, azonnal a fehérjék kicsapásával kezdték, majd a csapadékot eltávolították. **Többségük a triklór-ecetsavas módszert alkalmazta**, néhányan pedig az oldat savanyításával, majd azt követő forralásával érték el céljukat. Voltak, akik 70 cm³ 80%-os triklór-ecetsavat adtak 400 cm³ oldathoz, az elegyet egy éjszakan át állni hagyták, majd 4 °C-on centrifugálták (13 000 g, 30 perc), mások a fehérje kicsapása során 85%-os triklór-ecetsavat adtak a joghurthoz. Néhányan a fermentumhoz vele azonos térfogatú 20%-os triklór-ecetsavat adtak, majd a fehérjéket és a sejteket 20 perces centrifugálással távolították el (25 000 g). Mások először a kazeinfrakciót csapatták ki a fermentum kétszeres térfogatra történő hígítása után úgy, hogy a fermentum pH-ját 4,6-ra állították be. A kazeint és a mikrobákat 20 perces (10 000 g, 4 °C) centrifugálással választották el a savótól. Semlegesítés után a savót vízfürdőben 30 percig forralták, és az oldhatatlan fehérjéket centrifugálással (10 000 g, 20 perc) ülepítették le.

A harmadik lépésben a legtöbben **tömény alkoholos oldattal csapják ki az EPS-ot**, egyesek pedig a metanol, az izopropanol és az acetonek alkalmazását vizsgálták meg e célra, majd az acetonek használata mellett döntöttek. A fehérjementesített oldathoz vele azonos térfogatú acetont adtak, egy éjszakan át állni hagyták, majd lecentrifugálták (25 000 g, 30 perc, 4 °C). A pellet vizes feloldása után egy újabb triklór-ecetsavas derítés és centrifugálás következett, majd egy második acetonos kezelés zárta a sort.

Az **alkoholos derítést legtöbbször megismételték**: az etanol hozzáadásának hatására keletkezett csapadékot vízben feloldották, az oldhatatlan részt eltávolították, és a felülúszóhoz ismét etanolt adtak. Voltak, akik a sejtek eltávolítása után egységnyi térfogatú felülúszóhoz háromegységnyi térfogatú hideg etanolt adtak, az oldatot egy éjszakán át 4 °C-on állni hagyták, majd 4500 g-n 20 percig centrifugálták. A csapadékot desztillált vízben oldották fel, majd az etanos kezelést háromszor megismételték, a végső csapadékot pedig desztillált vízben feloldották és dializálták.

Mások szintén háromszoros térfogatú alkoholt adtak a fehérjementesített oldathoz, az elegyet 30 percig –20 °C-on tartották, majd 13 000 g-n, 30 percig, 4 °C-on centrifugálták. A csapadékot vákuumban kiszárították, majd a pellet mennyiségétől és oldhatóságától függően 5–25 cm³ steril desztillált vízben feloldották. Az oldhatatlan frakciót az oldható-tól centrifugálással elválasztották. Az oldhatatlan részt desztillált vízben újra szuszpendálták, és az oldható fázishoz ismét háromszoros térfogatú etanolt adtak. A centrifugálás után a pelletet ismét kiszárították, majd feloldották vízben.

Néhányan az egységnyi térfogatú felülúszóhoz három egység térfogatú hideg etanolt adtak. Egy éjszakán át 4 °C-on állni hagyták, majd 5000 g-n 10 percig centrifugálták. A pelletet forró vízben feloldották, és az oldatot 10 percig ismét centrifugálták. Ezt a műveletet háromszor megismételték, majd a **kinyert poliszacharidot vízzel dializálták és liofilezték**. Mások a triklór-ecetsavas kezelés után maradt felülúszó egy részéhez vele azonos térfogatú etanolt adtak, a csapadékot szuszpendálták, és egy második alkoholos csapadékképzést is végrehajtottak. A fehérjementesített oldat aliquot részével azonos térfogatú 99,5%-os etanolt is használtak az EPS-ok kicsapására. Az oldatot egy éjszakán át 4 °C-on kevertették, majd a csapadékot centrifugálással nyerték ki, azt vízben feloldották, és az etanos csapadékképzést még kétszer megismételték.

Úgy is próbálkoztak az EPS-ok kinyerésével, hogy a triklór-ecetsavas felülúszót 2 M nátrium-hidroxiddal semlegesítették, és kétszeres mennyiségű 96%-os etanolt adtak hozzá 4 °C-on. A centrifugálás után (28 100 g, 30 perc, 4 °C) a csapadékot desztillált vízben feloldották, dializálták és liofilezték, majd a **frakciók cukortartalmát a későbbiekben meghatározták**. A „nyers” EPS 51 tömeg%, a triklór-ecetsavval kicsapott, főként fehérjertartalmú anyag 17 tömeg%, az etanollal kicsapott anyag 63 tömeg%, az etanos kicsapás felülúszója pedig 9 tömeg% cukrot tartalmazott. Mint várható volt, az etanos oldat csapadéka tartalmazta a cukrok döntő részét. A cukortartalom 51%-ról 63%-ra nőtt a fehérjék eltávolítása után. A poliszacharid monoszacharid összetétele alig tért el a „nyers” EPS és az alkoholos csapadék esetében.

Néhányan a triklór-ecetsavas és alkoholos tisztítás után a **maradék fehérjék és DNS eltávolítását enzimekkel végezték el**. A poliszacharidot 0,05 M Tris-HCl pufferben oldották fel (pH = 8,0), mely 1 mM magnézium-kloridot is tartalmazott, majd 37 °C-on, hat órán át 2 µg/cm³ DNázssal (IV-es típus, EC.3.1.21.1, Sigma, St.Louis, USA) és RNázssal (I-AS típus, EC.3.1.27.5, Sigma) kezelték. A mintában lévő fehérjeszennyezést 0,2 mg/cm³ proteináz K-val (EC.3.4.21.14, Sigma) egy éjszakán át, 37 °C-on bontották el. A reakciót 10 perces, 90 °C-os hőkezeléssel leállították, az EPS-frakciót etanollal kicsapatták, desztillált vízzel dializálták, majd liofilezték.

Többen a preparátumban esetlegesen előforduló **maradék fehérjék eltávolítását, valamint az EPS frakcióra bontását preparatív ioncserés folyadékkromatográfiával (IE-HPLC) végezték.** Mások kihagyták ezt a tisztítási és egyben tisztaság-ellenőrzési lépést, és voltak olyanok is, akik kromatográfiás tisztaságvizsgálatot nem végeztek, így közleményük szerint az EPS-preparátumban „nem tudtak sem peptideket, sem fehérjét kimutatni”.

Az ioncserés kromatográfiát is használták az EPS-ok tisztítására. Ennek során a poliszacharid-oldat aliquot részét egy DEAE-Sephadex A-50 (Pharmacia Fine Chemicals) $1,5 \times 20$ cm-es ioncserelő oszlopon vezették keresztül. Az oszlopot 50 mM-os Tris-aminometán-sósav pufferrel (pH = 8,7) ekvibráltatták, majd ugyanezt a puffert használták eluensnek, 250 cm^3 eluens betáplálásig; ezután további 250 cm^3 folyadék betáplálásával lineáris nátrium-klorid-gradienst alkalmaztak 0,1 M-ig. **A fehérjék jelenlétét spektrofotometriás detektorral az abszorbancia 280 nm-en történő mérésével, a cukrok jelenlétét a fenol-kénsavas módszer használatával, 490 nm-en határozták meg.** A módszerrel jól el tudták különíteni a semleges poliszacharidokat (melyek a kromatogram elején találhatóak), egy főként fehérjéket tartalmazó frakciótól. Ez a frakció a fehérjéken kívül tartalmazott szénhidrátokat is, melyek valószínűleg az eluens pH-ján **anion tulajdonságú savas szénhidrátok**, mivel az oszlophoz jobban kötődtek, és csak a NaCl-gradiens „ionkiszorító” hatására eluáltak az oszlopról.

Hasonló technikát alkalmazva mások az előzetesen tisztított EPS-ot 5 mM-os nátrium-acetát (pH = 6) oldatban feloldották, majd ugyanezzel a pufferrel ekvibrálták az analitikai kolonnát is (DEAE Sepharose fast flow [52×5 cm] [Pharmacia], Biopilot rendszer). A mérés során az áramlási sebességet $10 \text{ cm}^3/\text{perc}$ ről $50 \text{ cm}^3/\text{perc}$ re növelték, miközben a nátrium-acetát koncentrációja a kiindulási 5 mM-ról 2 M-ra nőtt. A még ezután is az oszlopon maradt anyagot $20 \text{ cm}^3/\text{perc}$ áramlási sebességgel, 0,5 M-os nátrium-hidroxiddal mosták le. **Az eluens abszorbanciáját 280 nm-en mérték, a fehérjekoncentrációt pedig a β -kazein extinkciós koefficiense alapján határozták meg.** A frakciók (kb. 100 cm^3) cukortartalmát az orcinol módszerrel mérték meg, melynek során glükózt alkalmaztak standardnak. A kromatogramon ebben az esetben is két nagy szénhidrátfrakció-csúcs volt látható, melyek közül a második csúcs egybeesik a fehérjefrakció-csúccsal.

Ilyen körülmények között az előzőleg leírt módszerekkel csak **a semleges EPS-ot tudták megtisztítani a fehérjéktől ioncserés oszlopkromatográfiával.** Amennyiben a savas EPS-frakciót is meg akarjuk tisztítani, vagy új kromatográfiás módszert kell kidolgozni, mellyel végre lehet hajtani a savas EPS és a fehérjék szétválasztását, vagy a minta-előkészítésen kell változtatni. Az előkezelés lényegileg abban különbözött, hogy alkalmaztak-e triklór-ecetsavas előkezelést, vagy nem használtak triklór-ecetsavat. A kezelés ellenére mégis számottevő fehérjét detektáltak, tehát **a triklór-ecetsavas kezelés** (4%-os triklór-ecetsav-oldatban, kevertetés $4 \text{ }^\circ\text{C}$ -on két órán keresztül, majd centrifugálás) **önmagában nem volt elégséges módszer a fehérjementesítésre.** Az együtt eluáló frakcióban (savas EPS és fehérje) a szénhidrát/fehérje arányt összehasonlítani a két módszer között a megadott adatok alapján nem lehet, mivel csak az abszorbanciát közlik, és nem tájékoztatnak a szénhidrát- és a fehérjefrakciók koncentrációjáról. A fermentumok kiindulási összetétele is más volt, így csak elméleti megfontolások alapján javasolható, hogy a minta-előkészítés során alkalmazzunk triklór-ecetsavas kezelést, mert csökkentheti a savas EPS-sal

interferáló fehérjefrakció mennyiségét.

Néhányan a 0,05 M-os Tris-HCl pufferben (pH = 8,6) feloldott EPS-ot egy DEAE-Toyopearl 650 M anioncserélő oszlopba táplálták be (Tosoh, Tokió, Japán, $2,6 \times 20$ cm), melyet előzőleg ugyanezzel a pufferrel ekvibráltak. Az oszlopot a betáplálás után 350 cm^3 , az ekvibráló oldattal azonos összetételű pufferrel mosták, majd 0 M-tól 0,5 M-ig terjedő lineáris nátrium-klorid-gradienst alkalmaztak. Az eluensben a **semleges cukrok kimutatására a fenol-kénsavas reakción alapuló módszert használták**, és a fehérjék abszorbanciáját 280 nm hullámhosszon mérték. A szénhidrát tartalmú frakciókat előbb 2 M nátrium-hidroxiddal, majd desztillált vízzel 4°C -on dializálták, melyet követően liofilezték. Az EPS-okat két fő frakcióra, **nem kötődő semleges poliszacharidra (NPS) és kötődő savas poliszacharidra (APS) választották szét**. A közölt kromatogram alapján az eluált fehérje mennyisége egyik EPS-frakcióban sem volt jelentős. A savanyítással, majd forralással járó fehérjementesítés, majd az azt követő enzimes bontás hatékonyan eltávolította a fehérjék nagy részét; vagy az oszlopról csak a regenerálás során eluálódott nagyobb mennyiségű fehérje. A géلكromatográfiai vizsgálatok során viszont az APS-től szétválasztva megjelent a kromatogramon egy fehérjefrakció.

Összegezve: az EPS-ok izolálásánál, ha fehérjementes APS-frakciót akarunk kapni, akkor a következő tisztítási lépéseket kell alkalmazni:

- a fehérjék kicsapása az oldat savanyításával, majd forralásával;
- az EPS kicsapása etanollal;
- az EPS tisztítása enzimekkel;
- az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés vagy géلكromatográfiával.

Ha csupán az NPS-frakció kinyerése a cél, elegendő egy egyszerűbb előkészítést alkalmazni, melyek lépései a következők:

- a mikroorganizmusok eltávolítása centrifugálással;
- az EPS kicsapása etanollal;
- az EPS tisztítása és frakciókra bontása ioncserés kromatográfiával.

13.3.2.2. Az EPS-ok mennyiségének meghatározása

Az EPS-ok kvantitatív mérését a következő kémiai eljárásokkal végezték: **Gravimetriásan** mérték az adott térfogatú fermentumból kivont EPS tömegét, a tisztított EPS vizes oldatához (vagy a fermentumhoz) **megfelelő reagenseket adva színreakciót hoztak létre**, majd meghatározták az extinkciót, s ebből a koncentrációt, a **preparatív ionkromatográfiával szétválasztott frakciókat reagáltatták a szénhidrátokkal színreakciót adó reagensekkel**, majd az extinkció mérését követően meghatározták a koncentrációt.

Többek szerint az EPS-meghatározások főként indirekt módszereken alapulnak, így a kolorimetriás technikák azt eredményezik, hogy az EPS mennyiségét glükóz vagy dextrán ekvivalens értékben adják meg, a viszkozitásmérések eredménye és az EPS-mennyiség között pedig nem feltétlenül van kapcsolat. **Gravimetriás módszerrel** az EPS mennyiségét úgy határozták meg, hogy 0,5 liter mintán végrehajtották az EPS izolálási eljárást, majd a tisztának tekintett poliszacharid preparátumokat acetonnal mosták, 48 órán 42°C -on át szárították, majd **megmérték tömegüket**. Az EPS mennyiségét polimer száraz anyag/liter (mg PDM/liter) mennyiségben fejezték ki.

Az EPS-ok mérésére az alábbi módszereket alkalmazták:

A tisztított EPS-ot 1 cm³ desztillált vízben feloldották, majd **1 cm³ 5%-os fenololdatot és 5 cm³ tömény kénsavat** adtak hozzá. Az oldat extinkcióját 490 nm-en mérték, majd az EPS-koncentrációt glükóz standard oldatok segítségével készített kalibrációs görbével határozták meg.

A **fenol-kénsavas módszer esetén** 0,2 cm³ EPS-készítményt 1,8 cm³ bidesztillált vízben oldottak fel, 50 µl desztillált fenolt és 5 cm³ 97%-os kénsavat adtak hozzá. Az elegyet 10 percig szobahőmérsékleten tartották, forgatással összekeverték, majd 27 °C-on újabb 15 percig inkubálták. A mintákat kvarcküvetébe tették, majd 490 nm-en, vak mintaként vizet használva, megmérték az abszorbanációjukat. Az **EPS-koncentrációt glükóz standard oldatok segítségével készített kalibrációs görbével** határozták meg.

Egy másik módszer szerint 4 cm³ fermentumot 0,7 cm³ 80%-os triklór-ecetsavval keverték össze, majd 2000 g-n, 10 percig centrifugálták. A tiszta felülúszóból 900 µl-t vizsgáltak meg a az ún. dextrán vizsgálattal, és az EPS mennyiségét **hígított dextránoldatokkal készített kalibrációs görbéből határozták meg**. Több különböző tejsavbakterium-fajt, illetve fajtát tartalmazó fermentum vizsgálata során ellentmondásos eredményt adott a két vizsgálat: a dextránvizsgálat az öt különböző fermentumból csak két esetben mutatott ki mérhető mennyiségű EPS-ot, míg a kénsavas módszer mind az öt esetben mérhető eredményt produkált. Elvégezve a hidrolízis után a monoszacharidok HPLC-s mennyiségi meghatározását, a monoszacharid-koncentrációk összege jó egyezést mutatott a fenol-kénsavas módszerrel kapott EPS-eredményekkel.

Az ioncserés vizsgálatot elvégzők közül néhányan az eluens EPS-tartalmát a már említett fenol-kénsavas módszerrel határozták meg, a frakciók cukortartalmát pedig az orcinol módszerrel mérték glükózoldatokkal történő kalibrálással.

Az alkalmazott indirekt fotometriás módszerek (fenol-kénsavas és dextránvizsgálat) egymással ellentmondó eredményeket hoztak, ezért összehasonlító vizsgálatokat végeztek, melynek alapján úgy tűnik, hogy **a fenol-kénsavas módszer jobb egyezést adott a HPLC-s mérési eredményekkel**, mint a dextránmódszer, így az előbbi módszer alkalmazása ajánlottabb. Ezt követően szinte az összes szerző a fenol-kénsavas módszert alkalmazta. Megállapították, hogy a tömegmérés csak akkor alkalmazható az EPS mennyiségének meghatározására, ha a preparátum szennyező anyagokat (pl. fehérjéket) nem tartalmaz jelentős mennyiségben, illetve ha a tisztítás során az EPS-veszteség nem számottevő.

13.3.2.3. Az EPS-ok molekulatömegének meghatározása

A legtöbb szerző a molekulatömeg meghatározását gélkromatográfiás, vagy más néven méretkizárásos kromatográfiás módszerekkel végezték el. Az EPS molekulatömegét HPLC-vel is meghatározták. A készülék egységei egy Tohsoh SD 8022 szivattyú, TSK gél G6000 PWWL (7,8 mm I.D. × 30 cm) oszlop és egy refraktometriás detektor (Tohsoh RI-8020) voltak. A meghatározás során desztillált vizet használtak eluensként. A molekulatömeget pullulán standard készlet (P-800, Shodex) segítségével határozták meg. A semleges EPS-frakció egy csúcsban jelent meg a kromatogramon, a **molekulatömege 4,5 × 10⁶ Da körül alakult**. A savas frakciót és a fehérjeszennyeződést nem vizsgálták.

Egy másik módszer szerint szintén gélkromatográfiával, Asahipak GS-710 típusú oszloppal ($7,6 \times 500$ mm, Asahi Chemical Industry Co., Kawasaki, Japán) dolgoztak. Az eluens 5 mM-os trietilamin–ecetsav puffer ($\text{pH} = 5,0$) volt. A retenciós térfogatok kalibrálása a pullulánkészlet elemeivel, P-800, P-400, P-200, P-100, P-50, P-20, P-10 és P-5 (Showa Denko K. K., Tokió, Japán) történt. Az elválasztás során az NPS egy csúcspan eluált, a **molekulatömegét $1,2 \times 10^6$ Da-ra becsülték**. Egy kisebb molekulatömegű fehérjetartalmú komponens is megjelent a kromatogramon ($5,8 \times 10^3$ Da), mely teljesen eluált az **$1,1 \times 10^6$ Da molekulatömegű APS-től**.

Nagy teljesítményű méretkizárásos kromatográfiával (HPSEC) is meghatározták a molekulatömeget. A méréseket SP8700 HPLC (Spektra-Physics) készülékkel végezték, amely $300 \times 7,8$ mm méretű Bio-Gel TSK-oszlopsorozattal volt ellátva (60XL, 40XL és 30XL), és mindegyikhez TSK XL (40×6 mm) előtétkolonna tartozott. Az eluens 0,4 M nátrium-acetát, ($\text{pH} = 3,0$), a kolonnater hőmérséklete 30°C , az áramlási sebesség $0,8 \text{ cm}^3/\text{perc}$ volt. Az eluens on line módon egy Viscotek refraktométeren folyt keresztül, a kalibrációhoz dextránokat használtak, ahol a molekulatömeg 4000–500 000 között változott. Az elemzések során statikus „light-scattering” (SLS)-detektort is használtak. **A tisztított EPS moláris tömegét $6,8 \times 10^5$ g/mol-nak mérték.**

13.3.2.4. Az EPS-ok monoszacharid-összetétele

A monoszacharid-összetétel meghatározása a következő lehetséges lépésekből áll:

- a poliszacharid felbontása savas hidrolízissel vagy metanolízissel monomer egységekre;
- származékképzés (piridil-amin monomerek, alditol-acetátok, trimetilszililezett származékok);
- minőségi és mennyiségi meghatározás nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC) vagy gázkromatográfiával (GC).

Az EPS monoszacharid-összetételének meghatározására az alábbi konkrét módszereket alkalmazták:

Az első módszer szerint 2 cm^3 EPS-készítményt 2 cm^3 egymólos kénsavoldattal, hermetikusan lezárt, 5 cm^3 -es csőben, 100°C -on, három órán keresztül inkubáltak. A monoszacharid-összetétel meghatározását HPLC-s módszerrel, 1 cm^3 hidrolizált preparátum szétválasztásával (REZEX szervessav-oszlop, 50°C) végezték. Mozgófázisként $0,6 \text{ cm}^3/\text{perc}$ áramlási sebességgel vizet alkalmaztak. Az EPS alkotóelemeiként glükózt, galaktózt és ramnózt detektáltak.

A második módszer szerint a tisztított EPS-ot a vizes oldás után még egy alkalommal acetonos kicsapással tisztították, majd a csapadékot liofilezték. $15 \text{ mg}/\text{cm}^3$ liofilezett anyag tartalmú oldatból $1-1 \text{ cm}^3$ -t 100°C -on, 3 órán át 6 M trifluor-ecetsavval vagy 100°C -on 4 órán át $0,6 \text{ M}$ sósavval hidrolizáltak. A monoszacharid-összetételt a hidrolizátumokból négy HPLC-s mérés átlagából számolták ki, melynek során a csúcsterületek relatív arányát használták a monomer-összetétel becslésére. A mérésre egy Waters HPLC-t használtak (Waters Corp., Milford, MA, USA) a következő modulokkal: Waters 410 differenciál refraktométer, Waters oszloptermostát, „Waters 717 plusz” mintaadagoló és 2,10 verzió

Millennium szoftver. 30 µl mintát adagoltak 35 °C-on egy Polispheer OA KC-oszlopra (MERCK, Darmstadt, Németország). A mozgófázis 0,005 M kénsavoldat, az áramlási sebesség 0,4 cm³/perc volt. A módszerrel a glükózon és a galaktózon kívül a laktóz és a tejsav koncentrációját is meg tudták határozni, így a HPLC-vizsgálat az EPS-összetétel-meghatározáson kívül a fermentációs profil meghatározására is használható volt.

A harmadik módszer szerint a mintákat 2 M trifluor-ecetsav-oldatban 100 °C-on, 2 órán át hidrolizálták, majd piridilaminálás (PA) és redukció következett. A PAmonoszacharidokat a következő elemekből összeállított HPLC-készülékkel határozták meg: Hitachi L-6200 „Intelligent pump” (Hitachi Ltd., Tokió, Japán), Palpak „A” típusú oszlop (4,6 × 150 mm, Takara, Kiotó, Japán), és egy F-1080 fluoreszcens detektor (Hitachi Ltd.). Az elúció izokratikus körülmények között, 0,7 M kálium-borát puffer (pH = 9,0)/acetonitril (9:1, v/v) arány mellett, 0,3 cm³/perc áramlási sebességgel, 65 °C-on ment végbe. A **PA-cukrok detektálását azok fluoreszcenciája alapján** (Ex: 310 nm, Em: 380 nm) **végezték**. A csúcs alatti területet egy D-5500 Chromato szoftverrel (Hitachi Ltd.) határozták meg. Az **EPS a vizsgálat szerint galaktózt és glükózt tartalmazott**.

A következő módszer szerint a savval és etanollal kezelt preparátumokat először 12 M-os kénsavban 30 °C-on, egy órán át inkubálták, majd 1 M-os kénsavoldattal 100 °C-on, 3 órán át, inozitol belső standard alkalmazásával hidrolizálták. A felszabadított cukrokból alditol-acetát származékokat képeztek, melyeket egy Carlo Erba 4200 gázkromatográfval, 15 m × 0,53 mm méretű J&W DB-225 oszlopon választották el egymástól. A hőmérsékletprogram a következő volt: 1 perc hűtés 180 °C-on, felfűtés 180 °C-ról 220 °C-ra 2,5 °C/perc sebességgel, majd izoterm 220 °C-on 3 percig. A lángionizációs detektor (FID) hőmérséklete 275 °C volt, vivőgáznak pedig héliumot használtak. Ezzel a módszerrel a **következő monomereket tudták kimutatni: glükóz, galaktóz, ramnóz, mannóz és xilóz**. A kémiai módosítások segítségével arra az eredményre jutottak, hogy ha a szénhidrátláncban galaktóz-foszfát észterek találhatóak, akkor fennáll annak a veszélye, hogy a hidrolízis a galaktóz-foszfát kötések esetében nem zajlik le tökéletesen, így az alditol-acetát-származékok mennyisége is kisebb lesz, s a tényleges galaktóztartalomnál kevesebbet detektálnak.

A monoszacharidokat **trimetilszililezett metilglikozidok formájában is analizálták**. A poliszacharidokat 80 °C-on, 16 órán át, 0,625 M sósavas metanololdattal kezelték, majd 80 °C-on, 16 órán át piridin-BSTFA 1:1 arányú keverékével szililezték. Az elegyhez izobutanolt adtak, majd nitrogéngázáramban megszáritották. A TMS-származékokat GLC-MS (gáz-folyadékromatográfia–tömegspektrométer) alkalmazásával analizálták, melynek során egy Kratos MS80RFA készülék kapcsolódott egy 25 m × 0,32 mm belső átmérőjű CP-Sil5-CB (WCOT [„Wall Coated Open Tubular”]) kolonnához. Az oszloptér hőmérséklete 140 °C-on 2 percig izoterm volt, majd 8 °C/perc sebességgel növekedett 250 °C-ra.

Egy másik módszer szerint a poliszacharidokat 2%-os sósavas metanololdatban 80 °C-on, 20 órán keresztül metanolizálták, majd ezt követte a N-acetilzés ecetsav-anhidrid metanolos oldatával (1:3, v/v). A 2%-os sósavas metanololdat 5%-os sósavas metanololdatból készült úgy, hogy az oldatot vízmentes alkohollal hígították. A metanolizátumot TMS-HT-készlettel (Tokyo Kasei Co., Tokió, Japán) trimetilszililezték, és a származékokat

egy Shimadzu 13B GC-vel analizálták. A detektor FID, az oszlop pedig egy 30 méteres kvarckapilláris (123-1732 DB-17, Shimadzu, Kiotó, Japán) volt. A mérés során 150 °C-tól 250 °C-ig 3 °C/perc hőmérséklet-gradienst alkalmaztak. Az EPS-ben D-galaktózt és L-ramnózt tudtak kimutatni.

Összefoglalva a módszereket megállapítható, hogy az összetétel-meghatározást többféle módon valósították meg. Egyes **HPLC-metodikák esetében nincs szükség származékképzésre**, míg a **GC-s vizsgálatok esetében nem maradhat ki ez a lépés**, ugyanis a reakcióképes alkoholsoportokat valamely kevésbé aktív csoport bevitelével le kell zárni. A monomerek minőségi azonosításának menetéről nem ír egy közlemény sem. A monoszacharid-származékok detektálására csak egy szerző használ MS-t, a többiek esetében az azonosítás alapja a standard anyagok retenciós ideje lehetett. A mennyiségi meghatározás elvét többen nem részletezik, feltételezhető, hogy a csúcsterületek relatív arányát használták fel a monomerek mennyiségének megállapítására.

13.3.2.5. A monoszacharidok kapcsolódási helyei

A glikozidkötésben részt vevő szénatomokat acetátcsoporttal „jelölték” mindazok a szerzők, akik a kapcsolódási hely vizsgálatával is foglalkoztak. A poliszacharidot először a szabad hidroxilcsoportokon metilezték, majd hidrolizálták. A részlegesen metilezett cukrok hidrolízis után felszabadult glikozidos és nem glikozidos hidroxilcsoportjait acetátcsoportokká alakították, melynek során részlegesen metilezett alditol-acetátokat kaptak, melyeknél az acetátcsoportok helye azonos volt a monomerek hidrolízis előtti kötési helyeivel. A származékok mennyiségéből a különböző kötési formák arányát is meg tudják határozni. A főbb lépések tehát a következők voltak:

- metilezés,
- tisztítás,
- hidrolízis,
- acetilezés.

A következő módszereket alkalmazták a monoszacharidok kapcsolódási helyeinek meghatározására:

Az első módszer szerint a poliszacharidokat két alkalommal metilezték. A terméket fordított fázisú kromatográfiával, Sep-pak C18 oszlopon tisztították, majd 2 M trifluor-ecetsavval hidrolizálták, redukálták, majd acetilezték. **A részlegesen metilezett alditol-acetátokat GLC-MS-sel analizálták**, melynek során a hőmérsékletprogram egyperces hőn tartással kezdődött 100 °C-on, majd 5 °C/perc hőmérséklet-növelés következett 250 °C-ig.

A második módszer szerint a tisztított EPS-okat metilezték, majd a metilezett poliszacharidokat szilikagél-oszlopon (Wakogel S-1) tovább tisztították. **A permetilezett poliszacharidokból részlegesen metilezett alditol-acetátokat állítottak elő**, majd a származékok analízisét Hitachi 163 GC-n végezték, chromosolv W-vel töltött, 2% OV-17-tel nedvesített, 0,2 × 200 cm méretű üveglonnával, FID-detektorral. A mérés során 3 °C/perc hőmérséklet-gradienst alkalmaztak 150 °C-tól és 250 °C-ig. A GC-MS-vizsgálatokat Jeol HX-105 tömegspektrométerrel végezték, melynek során az ionizáló áram 100 µA, a

feszültség 70 eV, az MS-hez csatlakozó oszlop MXT-5 típusú, 0,25 mm belső átmérőjű és 60 m hosszú volt. Az oszloptér hőmérséklete a mérés során 3 °C/perc sebességgel 150 °C-ról 250 °C-ig nőtt. Az **alditol-acetátok mennyiségi meghatározása a GC-s csúcs alatti területek alapján** történt.

A harmadik módszer szerint a permetilezett szénhidrátokat szilikagéloszlopon tisztították (Wakogel S-1; 0,3 × 3 cm, Wako Pure Chemicals, Oszaka, Japán). A tisztított mintát 90%-os hangyasavval 100 °C-on egy órán át kezelték (formolízis), majd 2 M trifluor-ecetsavval 100 °C-on, 5 órán át hidrolizálták. A **részlegesen metilezett monoszacharidokat alditol-acetát származékokká alakították**. A származékokat Hitachi 163 GC-vel, 0,8 mm × 30 m UA-1 kapillárisoszlopon (Hitachi, Co. Ltd. Japán) választották szét. Az analízis során 1 °C/perc sebességgel emelték a hőmérsékletet 150 °C-ról 240 °C-ra. Az azonosítást HP GC 5890A/Jeol JMS HX-105 GC-MS-rendszerrel végezték, az elektronok gyorsítási energiája 70 eV volt. Az elválasztásnál egy 0,28 mm × 60 m méretű MXT-5 kapillárisoszlopot (Restek, Bellefonte, USA) használtak, a molarányok meghatározását pedig a csúcs alatti terület mérésével végezték. A tömegspektrumok azonosítása ismert, részlegesen metilezett alditol-acetát spektrumokkal való összehasonlítás alapján történt.

A következő módszer szerint a metilezett EPS-ot vízzel dializálták, majd liofilezték. A hidrolízist 2 M trifluor-ecetsavval, egy órán át, 121 °C-on végezték. Miután az oldatot 20 °C alatti hőmérsékletű levegőárammal bepárolták, a **részlegesen metilezett cukrokat alditol-acetátokká alakították**. Az analízis egy Carlo Erba HRGC 5160-as GC-vel, lángionizációs detektorral történt. A részlegesen metilezett alditol-acetátok mennyiségét az effektív szénszám alapján határozták meg. A komponensek azonosítását HP 5973 tömeg szelektív detektorral végezték, melyhez egy HP 6890-es GC kapcsolódott, 25 m × 0,25 mm méretű, 0,2 µm filmvastagságú, CP Sil 19 CB kvarckapillárisal (Chrompack) ellátva. A hőmérsékletprogram során az első felfűtés 160 °C és 185 °C között 0,5 °C/perc sebességgel, a második felfűtés 185 °C és 230 °C között 10 °C/perc sebességgel folyt, majd 230 °C-on tartották a kolonnát 5,5 percig. Az adatok elemzésére Hewlett-Packard Chem Station programot használtak.

A kapcsolódási helyek meghatározásánál a foszfortartalmú poliszacharidok esetében probléma lehet a foszfát-észter kötések tökéletlen hidrolízise, mely a foszfátkötésben részt vevő monomerek alábecslését eredményezheti.

13.3.2.6. A monoszacharidok konfigurációja

Az első módszer szerint az **optikai izomerek meghatározását enantiomer-párok létrehozásával, majd gázkromatográfiás analízisével végezték**. A poliszacharidokat a 0,625 M metanosos sósavval végzett metanolízis után 0,625 M (+)-2-butanolos sósavoldattal ugyanúgy kezelték, mint a cukorösszetétel analízisének, majd trimetilszililezték. A trimetilszililezett 2-butil-glikozidot GLC-MS-sel, a monoszacharid-összetétel vizsgálatával megegyező körülmények között analizálták. A különbség csak a hőmérséklet-gradiensben volt, mely a mérés kezdetén izoterm volt 130 °C-on, majd 2 °C/perc sebességgel emelték az oszloptér hőmérsékletét 250 °C-ra.

13.3.2.7. Az EPS-ok foszfortartalmának vizsgálata

Az NPS és az APS foszfortartalmának meghatározása során perklórsavas hidrolízissel az APS-ből és az NPS-ből eltávolították a foszfort, a **keletkezett származékot pedig ammónium-molibdáttal reagáltatták**. A keletkezett színes származékot fotometriás módszerrel mérve úgy találták, hogy az NPS nem tartalmazott foszfort, míg az APS foszfortartalma 0,1% volt. Ez összhangban volt az utóbbi savas karakterével, melyre az ioncserés oszlopkromatográfia során derült fény.

Egy másik módszer szerint a minták teljes foszfortartalmát előzetesen 72%-os perklórsavval 180 °C-on, 20 perces kezelés utáni színreakcióval, szabad foszfortartalmát pedig kezelés nélküli színreakcióval határozták meg. A cél annak kiderítése volt, hogy vajon a cukorösszetétel-meghatározásnál a hidrolízis elbontotta-e az összes cukor-foszfat kötést, ezért a hidrolizált minták szabad foszfortartalmát is meghatározták.

13.3.2.8. Az EPS kémiai módosítása

Az EPS kémiai módosítását az EPS szerkezetének vizsgálata és a kémiaileg módosított EPS-ok fizikai és kémiai tulajdonságainak megfigyelése érdekében végezték. A kénsavas kezelés során 25 mg EPS-ot 6,25 cm³ desztillált vízben oldottak fel, majd 6,25 cm³ 0,6 M kénsavat adtak az oldathoz. Az oldatot 37 °C-on 2 órán át inkubálták, majd jégen hűtötték és 2 M nátrium-hidroxiddal semlegesítették. A hidrogén-fluoridos kezelés során 50 mg EPS-hoz 2,5 cm³ 28 M (kb. 48%-os) HF-ot adtak 0 °C-on, 48 órán át kevertették, majd 6 M nátrium-hidroxiddal az oldatot jeges vizes hűtés mellett semlegesítették. A nátrium-hidroxidos kezelés során 12,5 cm³ desztillált vízben feloldottak 25 mg EPS-ot, majd 12,5 cm³ 1 mg/cm³ NaBH₄-tartalmú 4 M nátrium-hidroxid-oldatot adtak hozzá, 3 percig szobahőmérsékleten állni hagyták, majd 80 °C-on 4 órán át melegítették, ezt követően jeges vízzel lehűtötték, és 2 M ecetsavval semlegesítették.

A kémiai módosítások után a mintákat HPAEC-vel analizálták. A maradék mintákat dializálták és kettéosztották: az egyik részt koncentrálták, majd HPSEC- és „light scattering” analízisnek vetették alá; a másik részt liofilezték, majd a monoszacharidösszetétel- és foszforanalízishez használták fel. **A kémiai kezelésekre hatására felszabaduló monoszacharidok mérését nagy teljesítményű anioncserés kromatográfiával (HPAEC) végezték.** A Dionex rendszerű készülék a következő modulokat tartalmazta: gradiens szivattyú, eluens gázmentesítő egység (He), 4 × 250 mm méretű CarboPac PA1 oszlop CarboPac PA100 előtétkolonnával, egy pulzáló elektrokémiai detektor (PED-2) pulzáló amperometrikus detektálási (PAD) üzemmódban és egy Spectra-Physics AS3000 mintaadagoló. A kromatogramokat PC1000 szoftver alkalmazásával vették fel. Az eluens aranyelektrodát tartalmazó PED-2 detektorral elemezték, a referenciaelektrod Ag/AgCl volt. A T1 0,4 s, T2 0,2 s és T3 0,4 s tartózkodási időkre E1 0,1, E2 0,7, E3 0,1 potenciálokat alkalmaztak. A gradiens elúciót Millipore desztillált víz és 0,1 M nátrium-hidroxid, illetve 1 M nátrium-acetát és 0,1 M nátrium-hidroxid elegyítésével hozták létre. A 16 mM nátrium-hidroxiddal történő ekvilibrálás után 20 µl mintát injektáltak az oszlopra. Az eluensprogram a következő volt: 0→20 perc, 16 mM nátrium-hidroxid; 20→25 perc, 0→1 M nátrium-acetát; 25→30 perc, 1 M nátrium-acetát; 30→35 perc, 0,1 M nátrium-hidroxid; 35→40 perc, 0,1 M→16 mM nátrium-hidroxid; 40→55 perc, 16 mM-os nátrium-hidroxidos újra ekvilibrálás.

A felszabadult galaktóz-1-foszfát mennyiségét HPAEC-vel, az ismertetett rendszerrel mérték. Az eluens-összetételt (áramlási sebesség $1 \text{ cm}^3/\text{perc}$) úgy változtatták, hogy 0,1 M nátrium-hidroxid-oldatot és 0,1 M-os nátrium-hidroxidban oldott 1 M nátrium-acetátot elegyítettek. Az eluensprogram a következő volt: 0→5 perc, 0,1 M nátrium-hidroxid izokratikus; 5→72 perc, lineáris gradiens 0→0,6 M nátrium-acetát; 72→77 perc, 0,6 M nátrium-acetát izokratikus; majd ezt a mosólépés követte: 77→82 perc, 0,6→1 M nátrium-acetát; 82→87 perc, 1 M nátrium-acetát; 87→102 perc, 0,1 M-os nátrium-hidroxidos újra ekvibrálás. Standarnak α -D-galaktóz-1-foszfátot (Sigma) használtak.

A kémiai kezelések után meghatározták a keletkezett polimerek cukorösszetételét és foszfortartalmát. A kénsavas kezelés után a minták monoszacharid-tartalmát HPAEC-vel elemezték, és **csupán galaktózmonomert tudtak kimutatni**. Mivel a cukor-1-foszfát kötések érzékenyek a híg savakra, **a galaktóz valószínűleg terminálisan kötődött a foszfáthoz**, azonban a felszabadult galaktóz mennyisége kevesebb volt, mint azt a feltételezett EPS-struktúra alapján várni lehetett. Ez vagy azzal magyarázható, hogy **a terminális galaktózmolekuláknak csak egy része szabadult fel a kénsavas kezelés hatására**, vagy azzal, hogy ebben a szerkezetben nem minden ismétlődő egység tartalmazott terminálisan kötött galaktózt. Az NMR-vizsgálatok során később kiderült, hogy a kénsavval kezelt EPS-ben **szignifikáns mennyiségben csak foszfomonoészter kötés volt jelen**, tehát szinte az összes terminálisan kötött galaktózt sikerült a kezeléssel eltávolítani. Azért mérhettek kevesebb galaktózt a vártnál, mert az EPS láncszerkezete más lehetett, mint amit feltételeztek.

A hidrogén-fluoridos (HF) kezelés az EPS-ből az összes foszfort eltávolította, és az így kezelt polisacharid kevesebb galaktózt és ramnózt tartalmazott, a glükóztartalma pedig változatlan maradt. A HF-es kezelés során **a cukor-foszfát kötések felszakadtak, míg a cukor-cukor kötések változatlanok maradtak**. Többen úgy találták, hogy a ramnóz kötése is felszakadhat a HF-es kezelés hatására. A polimer hidrodinamikusan HPSEC-vel és statikus „light-scattering”-detektorral mérték. Mivel a foszfát és a ramnóz eltávolításának hatására nem csökkent nagymértékben a molekula hidrodinamikusan, ezeknek az EPS-molekula oldalsó csoportjaiban és nem a fő láncban kellett jelen lenniük. A galaktóz megjelenése a kezelés után arra utalt, hogy az foszfátcsoporton keresztül kötődött a fő láncához.

A HF-es kezelés eltávolította az összes foszfort, így az összes terminálisan kötött galaktózt; míg a kénsavas kezelés felszabadította a legtöbb terminálisan kötött galaktózt, **de a foszfort szinte változatlanul hagyta**. A kénsavas kezelésnek alávetett polimer galaktóztartalmát relatíve kevesebbnek találták, mint a HF-fel kezeltét, amiből arra következtek, hogy **foszfor jelenlétében a fő láncban lévő galaktóz csak kis része került analízisre**. A galaktóz-foszfát kötéseknek csak egy része bomlott le a hidrolízis során, s így kevesebb volt a szabad galaktóz, ami alditol-acetáttá alakulhatott. A feltételezés helyességét úgy ellenőrizték, hogy a monoszacharid-összetétel meghatározásának egyes lépései után megmérték a teljes és a szabad foszfortartalmat. **A szabad foszfortartalom a kezeletlen EPS-ben szinte elenyésző volt, a hidrolízis után viszont a teljes foszformennyiség 30–40%-a volt szabad foszfor**. Ez azt jelentette, hogy a fő lánc galaktóz-foszfát kötéseinek csak egy része hidrolizált. Ennek eredményeként feltételezhető, hogy a fő láncban lévő galaktóznak csu-

pán 30–40%-át, a terminális galaktóznak viszont teljes mennyiségét detektálták, mivel az maradéktalanul felszabadult a hidrolízis során.

A nátrium-hidroxidos kezelés alacsonyabb foszfor- és galaktóztartalmú polimert eredményezett, mert a HF-es kezeléssel szemben a **nátrium-hidroxidos kezelés nem távolította el az EPS-ből az összes foszfort; és a ramnózkötések felbontatlanok maradtak.** A kémiai módosítások hatásaiból azt a következtetést lehet levonni, hogy a tisztított EPS fő láncában lévő galaktóz mennyiségét a fő láncban lévő galaktóz-foszfát észterek nem teljes hidrolízise miatt alábecsülték.

A monoszacharidok kapcsolódási helyeit felderítő vizsgálatok (metilezés, hidrolízis, acetilezés) esetében is felmérték a foszfortartalom hatását. A mintákat három részre osztották: egy részüket még a metilezés előtt HF-es kezelésnek vetették alá; a minták egy másik részét a metilezés után kezelték, az alditol-acetátos származékképzés előtt; a harmadik rész esetében pedig nem alkalmazták a HF-es kezelést. A kezeletlen EPS az eredmények szerint **1,4-kötésű glükózt és ramnózt (1,4-di-O-acetil származékok), és nyomokban 1,2,4-kötésű és 1,2,3,4-kötésű galaktózt tartalmazott.**

Többen említést tettek arról, hogy foszforilált poliszacharidok esetében a metilezés során részleges defoszforiláció következik be, és a foszfát-észterek hidrolízise sem teljes. A metilezés után alkalmazott HF-es kezelés hatására nőtt az 1,2,3,4-kötésű galaktóz viszszerzése a kezeletlen EPS-hez képest. Ezt azzal magyarázták, hogy mivel minden cukor-foszfát kötés felszakadt a HF-es kezelés során, a foszfor nem zavarta többé a hidrolízist, és ezért a fő láncban lévő összes galaktózt analizálták. A metilezés előtti HF-es kezelés hatására az 1,2,3,4-kötésű galaktóz helyett vele közel azonos mennyiségben 1,2,4-kötésű galaktózt találtak. Az eltávolított foszfátcsoport volt kötőhelye ugyanis a metilezés szempontjából már szabad csoportnak minősült, így ez a hely is metileződött, így ott már acetilezés nem játszódhatott le. Az EPS láncában lévő 1,2,3,4-kötésű galaktóz tehát foszfáttal szubsztituált a harmadik szénatomon.

A metilezéses analízis során itt „alulmetilezés” következett be, valószínűleg azért, mert az EPS rosszul oldódott a metilezőszerben. A nem metilezett anyag cukorösszetétele azonban hasonlít az EPS cukorösszetételéhez. Az eredmények jól reprodukálhatóak voltak, és a terminálisan kötött ramnóz és az 1,4-kötésű glükóz esetében nem figyeltek meg di-O-metil és mono-O-metil cukrokat, ezért feltételezték, hogy az EPS metilezett része reprezentálja a teljes EPS-ot.

Voltak, akik **nem detektáltak terminálisan kapcsolt galaktózt, ami a HF-fel kezelt minták esetében várható is volt**, mivel a foszfáttal a lánchoz kapcsolt terminális galaktózt a kezelés lehasította, és az ezt követő dialízis eltávolította. Ezzel szemben a kezeletlen EPS esetében a terminálisan kapcsolt galaktóz hiánya váratlan volt. Mivel a szerkezetfeltáró analízis során a pH erősen lúgos volt, valószínűnek látszott, hogy a galaktóz-3-foszfát kötés felbomlott, majd az így felszabadult galaktóz-1-foszfát eltávozott a dialízis folyamán. Ennek ellentmond az a tény, hogy a metilezés utáni HF-es kezelés 1,2,3,4-kötésű galaktózszármazékot eredményezett, mely azt jelenti, hogy a metilezés alatt a foszfátcsoport még jelen volt. Voltak, akik találtak némi terminálisan kötött galaktózt a részlegesen metilezett, HF-kezelt és újra metilezett poliszacharid tisztítása után, de kevesebbet, mint amit vártak. Mivel a felesleges HF-et vákuummal távolították el kálium-hidroxidos exztrak-

kátorban, visszatartották a terminálisan kötött galaktózt, mely a HF-es kezelés során vált le. Ha a terminálisan kötött galaktóz a metilezéskor felszabadult volna, azt is visszatartották volna. Így a terminálisan kötött galaktóz visszanyerésének különbözőségét a tisztítási eljárások eltérése okozhatja.

Összefoglalóan tehát elmondható, hogy a kémiai kezeléseket után egyrészt a felszabaduló cukrokat, másrészt a megmaradt polimer összetételét vizsgálták. A kénsavas kezelés során **felszabadultak a foszfáthoz 1-glikozidos kötással kapcsolódó egységek**, így ezek szerkezetét és mennyiségét meg lehetett határozni. A HF-es kezelés eltávolította az összes foszfátot és a ramnóz egy részét; a molekula hidrodinamikus térfogatának mérésével **megállapítható volt, hogy ezek a komponensek nagyrészt a fő láncon vagy az oldalsó láncon helyezkedtek-e el**. A kezeléseket után maradt polimer összetétel-vizsgálata keltette fel a gyanút, hogy **foszfát jelenlétében a polimer hidrolízise nem tökéletes**, s ez később be is igazolódott a hidrolízis utáni szabad és teljes foszfortartalom meghatározása során. A HF-es kezelés hatására nőtt a foszfáthoz kapcsolódó monoszacharid visszanyerése, mivel a hidrolízis előtt **felbontották a hidrolízist gátló foszfát-észter kötések**et. A metilezéses analízis kombinálása a HF-es kezeléssel lehetővé tette a **foszfortartalmú szubsztituens kapcsolódási pontjának meghatározását** (HF-es kezelés a metilezés előtt, majd a metilezés után).

A kémiai kezelésekkal az alábbi eredményeket érték el: **a foszfáthoz 1-glikozidos kötással kapcsolódó egységek szerkezetének és mennyiségének meghatározása, a foszfát és a ramnóz elhelyezkedésének megismerése a molekulában (fő vagy oldallánc) a molekula hidrodinamikus térfogatának mérésével, a foszfortartalmú szubsztituens kapcsolódási pontjának meghatározása** (a metilezéses analízis kombinálása a HF-es kezeléssel), és végezetül megállapították, hogy a HF-es kezelés hatására nőtt a foszfáthoz kapcsolódó monoszacharid visszanyerése.

13.3.2.9. A monoszacharidok szerkezetének vizsgálata mágneses magrezonancia-spektroszkópiával

E vizsgálatok széles körű szerkezetfeltárást tesznek lehetővé, és nemcsak az atomcsoportok meghatározására, hanem a finomszerkezet tanulmányozására is alkalmasak. **A kémiai eltolódás** (az elektronfelhő megváltoztatja a magra ható lokális mágneses teret, és ezáltal a magrezonancia frekvenciáját) és a **spin-spin kölcsönhatások** (a protonok spinorientációja hat a velük szomszédos csoportok protonjaira, a hatást a kötő elektronpárok közvetítik) által létrehozott jelek spektrumbeli tanulmányozásával már **kis környezeti különbség is detektálható**. Az alkalmazott vizsgálatok az EPS-ok esetében a következők voltak: az ismétlődő egységek szerkezetének felderítése, az ismétlődő egységeket alkotó monomerek azonosítása, az anomer szénatomok izomériájának vizsgálata (α vagy β), a monomerek kapcsolódási módjának meghatározása és egyes atomcsoportok előfordulása és az előfordulás gyakorisága.

A kísérletek során a mintákat többször „deutériumozták”, fagyasztva szárítással eltávolították a deutériumot, majd az oldatot (3 mg/cm^3) 99,98%-os D_2O -ben oldva vizsgálták. A spektrumokat 303 vagy 333 K hőmérsékleten vették fel egy Bruker AMX 500-as spektrométerrel, melynek során az elektromágneses sugárzás frekvenciája 500,13 MHz (^1H),

illetve 125,75 MHz (^{13}C) volt. A kémiai eltolódást ppm-ben adták meg, a HDO jelét (4,75 ppm, 303 K vagy 4,33 ppm, 333 K) (^1H), illetve külső standard dimetil-szulfoxid jelét használva (39,5 ppm) (^{13}C) referenciaként.

Az $1\text{D}^1\text{H-NMR}$ spektrumban meghatározták az eltérő környezetben lévő, és ezáltal más rezonanciafrekvencia-eltolódást mutató anomerikus protonok (azaz az anomer szénatomhoz kapcsolódó hidrogénatomok) számát. Meghatározva az anomerek konfigurációját (α és β) és azok arányát kiderült, hogy hány különböző α -glükánopiranóz és hány különböző β -glükánopiranóz-egység szerepel az EPS-ben, és milyen ezeknek a monomereknek az egymáshoz viszonyított aránya. A monomerek kapcsolódási helyének vizsgálata és a kezdeti NMR-vizsgálatok alapján valószínűsíthető volt, hogy az EPS kétféle poliszacharid keveréke: egy része α konfigurációjú egységekből (PS α), a másik része β konfigurációjú egységekből (PS β) áll. Ezt a feltételezést az EPS frakcionált alkoholos kicsapásával nyert frakciók $^1\text{H-NMR}$ vizsgálata megerősítette, melynek során a frakciók spektrumának anomer régiójában mérték az α/β poliszacharid arányt.

A PS α -t NMR-spektroszkópiával részletesen megvizsgálták. A frakció ^1H és ^{13}C NMR jeleinek kémiai eltolódását elemezve az egy dimenziós $^1\text{H-NMR}$ -spektrumon három eltérő rezonanciafrekvenciát adó anomerikus protonjelet figyeltek meg: a PS α háromféle α -D glükopiranózból állt (A, B és C jelű). Megfigyelték a spektrumon az egyes alegységek (A, B, C) szénatomjaihoz (1,2,3,4,5,6) tartozó protonok rezonanciajeleit, és vizsgálták a spin-spin kölcsönhatásokat, konkrétan a három különböző spinrendszer (A, B, C) közti kölcsönhatást. A C-2 (a monomerek második szénatomja) és a hozzá kapcsolódó H-2 rezonanciajele az A egységben a mágneses mező csökkenése irányában a B és a C egység azonos magjaihoz képest eltolódást mutatott. Ebből az következtetett, hogy az A egység második szénatomjához, a többi egységtől eltérően, valamely szubsztituens kapcsolódott, tehát ez az 1,2,6 kötésekkel rendelkező egység a fő lánc oldalirányú elágazásának pontja. A B egység C-6 rezonanciajele eltolódást mutatott a nagyobb mezőerősség irányába, az A és a C egységhez képest, ami azt jelenti, hogy a 6. szénatom a B egységben nem szubsztituált, tehát a B terminális egység, a lánchoz az anomer szénatomjával kötődő α -D-glükopiranóz. A C egység nem szubsztituált, 1,6 kötésekkel a fő láncot adó α -D-glükopiranóz.

Egy kísérletben a poliszacharidot 1 cm^3 nehézvízben oldották fel (99,96 atom%D, Aldrich, USA), majd az NMR mintatartójába helyezték. A kémiai eltolódás értékét a 2,2-dimetil-2-szilapentán-5-szulfonsav nátriumsójához (DSS) képest relatíve adták meg, de az analízis során a kémiai eltolódást az acetonhoz képest mérték. A $^1\text{H-NMR}$ (proton NMR) spektrumot nehézvízben (99,96 atom%D, Aldrich, USA), 270 MHz frekvencián, egy Jeol JNM-GSX-270 spektrométeren vették fel, melynek során a minta hőmérséklete 300 K volt. A $^1\text{H-NMR}$ spektrumon található, különböző kémiai eltolódásértékeket mutató anomer rezonanciajelek alapján a poliszacharid szerkezete hét egységet tartalmazó ismétlődő gyűrűkből állt. A gyűrűt öt α -glikozid és kettő β -glikozid alkotta. A spektrumon megtalálták a ramnóz (H-6) rezonanciajelét is.

A következő kísérletben a $^1\text{H-NMR}$ -spektrumot szintén D_2O -ben vették fel (Merck, 99,75%, Darmstadt, Germany), 300 vagy 354 K hőmérsékleten, acetont használva belső standardnak. Az NMR-készülék egy Varian Unity INOVA 600-as modell volt, ami pulzá-

ló Fourier-transzformációs módban üzemelt. Az NPS 50 °C-on, D₂O oldószerben felvett 600 MHz-es ¹H-NMR spektrumán öt H-1 (a monoszacharid első szénatomjához tartozó hidrogénatom) rezonanciajelet találtak, közel egyforma intenzitással. A kémiai eltolódás alapján az öt jel két, egymástól elkülönülő csoportot alkotott; az első csoportba három, közel azonos, a másik csoportba kettő, közel azonos rezonanciájú jel tartozott. Ebből arra lehetett következtetni, hogy **egy pentaszacharid-egység ismétlődött a láncban** (öt különböző környezetű H-1), melyben **három tag α, kettő tag pedig β térbeli irányultságú volt**. Az APS NMR spektruma szintén öt H-1 jelet tartalmazott, hasonló kémiai eltolódásértékekkel, mint az NPS esetében. Ez arra utalt, hogy **ugyanaz a pentaszacharid ismétlődő egység volt jelen az APS-ben is és az NPS-ben is**. A spektrumokon nem találták meg sem a metilcsoport, sem a 6-deoxi-szacharid, sem a hexózamin aminocsoportja, sem a szíalsav (H-3) rezonanciajelét. Az NMR-spektrum és a kémiai összetétel ismerete alapján **a szénhidrátszerkezet az APS és az NPS esetében azonos volt, csak a foszfortartalom-ban volt különbség**.

A protontól eltérő magok rezonanciáját is vizsgálva a ³¹P NMR-analízis során a minta spektrumát 5–10% D₂O-t tartalmazó vízben vették fel 121,500 MHz rezgésszámon egy Bruker AMX-300 típusú spektrométeren. A mintatartó 10 mm-es, a hőmérséklete pedig 27 °C volt. A kémiai eltolódást a belső standard L-α-glicero-foszforil-kolinhoz (GPC; Sigma) képest határozták meg. A pH-változások által okozott kémiai eltolódást azért mérték, hogy megállapítsák, vannak-e foszfomonoészterek vagy/és foszfodiészterek a mintában. A minta pH-értékét 25 mM sósavoldattal vagy 25 mM nátrium-hidroxid-oldattal állították be.

A HF-fel kezelt EPS 1D; 400,13 MHz-es ¹H-NMR spektrumát és a proton spinszét-csatolással felvett 100,63 MHz ¹³C NMR spektrumát 8 mg/cm³ D₂O-ben vették fel, 60 °C-on, egy Bruker DPX-400 spektrométerrel, melyben a mintatartó 5 mm-es volt. A tisztított EPS ³¹P NMR spektruma semleges pH-n egy rezonanciajelet tartalmazott, mely egy ismétlődő egységben jelenlévő egyféle foszfortartalmú csoport létezését igazolta. A titrálási kísérlet során a rezonanciafrekvencia nem tolódott el lényegesen a pH 6,1–10,0 tartományban, **mely a foszfodiészterek jelenlétére utalt. A tisztítás után nem találtak foszfátmonoésztereket**, ami arra utal, hogy a **triklór-ecetsavas tisztítás során a savakra érzékeny galaktóz-1 foszfátkötés nem bomlott fel**, és hogy **az összes foszfátcsoport diészter formában volt jelen**, azonban a hosszabb ideig triklór-ecetsavnak kitett EPS-ben előfordulhat a foszfodiészterek bomlása is. Ilyen esetben a ³¹P NMR-rezonancia-spektrumon a foszfodiészter rezonanciajelén kívül a foszfomonoészter jele is megfigyelhető.

A kénsavval kezelt minták 4,0-es pH-n egy rezonanciavonalat adtak, mely a titrálási kísérlet során eltolódott. Ez a jelenség **titrálható foszfomonoészter jelenlétére utal**. A foszfodiészter jele nagyon kicsi volt, amiből azt a következtetést vonták le, hogy **szinte az összes (terminálisan a lánchoz foszfát-észter kötéssel kötődő) galaktózt eltávolították a kénsavas kezeléssel**. A HF-es kezelésnek alávetett EPS nem adott rezonanciajelet a ³¹P NMR-méréseknél, mivel a kezelés hatására az EPS teljesen defoszforileződött. A ¹H-NMR és a ¹³C NMR technikákkal felvett spektrumokat más szerzők által vizsgált, más eredetű EPS-ok spektrumaival hasonlították össze, amit az ismétlődő szerkezeti egységek tanulmányozására használtak.

13.3.2.10. A joghurt glükóz-, galaktóz- és laktóztartalma

A szénhidrátok kivonása a joghurtból

A kivonási kísérlet során a szobahőmérsékleten homogénezett joghurtból 10 g-ot centrifugacsőbe mértek, és annyi abszolút etanolt rétegeztek rá, hogy a végső etanolkoncentráció 80 térfogat%-os legyen. A zagyot összekeverték, és 20 percig szobahőmérsékleten állni hagyták, hogy a fehérjék leülepedjenek. Ezt követően 80 térfogat%-os etanolt adtak az elegyhez, hogy az oldat teljes térfogata 50,0 cm³ legyen, és a precipitátumot lecentrifugálták. A felülúszót leöntötték, és a csapadékot 25 cm³ 80 térfogat%-os etanollal mosták. A kivonatot és a mosófolyadékot összeöntötték, majd rotációs gyorsbepárlóval az alkoholt 25–27 °C-on az oldatból eltávolították. Az extraktumok térfogatát 25 cm³-re töltötték fel vízzel, és Whatman No. 42-es szűrőpapíron szűrték át. A mintákat és a standard oldatokat 0,45 µm-es Metrical membránon is átszűrték, és fiolákban –10 °C-on fagyasztva tárolták az analízis megkezdéséig.

A szénhidrátok minőségének és mennyiségének meghatározása HPLC-vel

A HPLC-rendszer a következő elemekből állt: Waters Assoc. (Milford, MA) M-45 oldószerzállító egység, Waters U6K szeptummentes mintaadagoló, Waters Model RI-401 differenciál refraktométer és egy Linear Instruments Model 232 rekorder. Az oszlop 300 mm × 7,8 mm Bio-Rad Aminex HPX-87 szénhidrátoszlop volt. Az oszlopot egy 30 cm-es Alltech Assoc. vízköpeny (katalógusszám: 9502) tartotta 80 °C-on, egy Precision Scientific 66600 vízfürdővel és egy 62538-as hőmérséklet-szabályozóval. A nem kívánt anionokat Bio-Rad Aminex A-25 típusú, 40 mm × 4,6 mm méretű Microguard Anion/OH cartridge, patronrendszerű előtétkolonnával távolították el. Az eluens reverz ozmózzissal ioncserélt ammóniamentesített víz volt, melyet vákuummal gázmentesítettek, és a HPLC-analízis megkezdéséig 50 °C-on tartották, hogy csökkentsék a gázok visszaoldódását. A mintákat és a standardokat egyaránt 10 µl-es Hamilton-fecskendővel adagolták a készülékbe. **A minőségi azonosítás a retenciós idők alapján, a mennyiségi azonosítás külső standard kalibrációval, hat mérési pontra illesztett egyenes egyenlete alapján történt** (laktózkoncentráció-tartomány: 0,20–2,00 g/100 cm³; glükóz- és galaktózkoncentráció-tartomány, egyenként 0,10–1,00 g/100 cm³).

A módszer vizsgálata

A visszanyerést laktóz és galaktóz esetében vizsgálták. Az extrakciós lépést először standard oldatokból, majd joghurt-cukor készítményből végezték el. Tíz gramm standard oldatot (2,00 g/100 cm³ laktóz és 1,00 g/100 cm³ galaktóz) és 10,0 g joghurtot mértek össze, az elegyet extrahálták, majd mérték a kivonat cukortartalmát. A standard cukoroldat egy grammját összekeverték 10,0 g joghurttal, és szintén extrahálták. Ismétléssel az alábbi minták szénhidráttartalmát határozták meg: kezeletlen standard oldat; extrahált standard oldat; joghurt; joghurt és a hozzáadott szénhidrátok. A laktóz visszanyerése 103,6%, a galaktózé 103,4% volt. A hőkezelt minták analízise során egy új csúcs jelent meg a kromatogramon, amit a standard retenciós ideje alapján laktulóznak azonosítottak.

13.3.3. A galakto-oligoszacharidok mennyiségének és összetételének meghatározása

Egy kísérletsorozatban a GalOS-ok mennyiségét és szerkezetüket, valamint a fermentumban lévő összes szénhidrátot (mono- és oligoszacharidot) is meghatározták, egy lépésben, nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC). A Waters (USA) gyártmányú készülék refraktív index (RI)-detektorral és Sugar Pak I oszloppal (Waters, USA) volt ellátva. A mozgófázis 10 mM kalcium-EDTA-oldat, az áramlási sebesség $0,5 \text{ cm}^3/\text{perc}$, az oszloptér $90 \text{ }^\circ\text{C}$ -os volt. Az **analízis eredményeként oligoszacharidként egy di- és egy triszacharidot találtak a fermentumban.**

Egy másik kísérletben a permeátumok laktóz-, glükóz + galaktóz- és oligoszacharid-tartalmát ugyancsak HPLC-vel határozták meg. A készülék a következő részekből állt: 20 μl -es kézi mintaadagoló, szivattyú (Waters, M-6000A modell), egy előtétkolonna (Nucleosil 120-7NH₂, $30 \times 4 \text{ mm ID}$) és egy $250 \times 4 \text{ mm}$ méretű oszlop (Nucleosil 120-7NH₂), refraktívindex-detektor (Varian R1-4, 16., $35 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet) és Crome Jet SP 4400 integrátor ($AT=8$. $C5 = 0,5 \text{ cm}/\text{perc}$). A mozgófázis acetonnitril/víz elegy volt ($75\% : 25\% \text{ v/v}$), melyet használat előtt $0,22 \mu\text{m}$ -es mikroszűrőn szűrtek át, és 30 percig ultrahangfürdőben gázmentesítettek. A mintákat bidesztillált vízzel hússzorosra hígították, $0,22 \mu\text{m}$ pórusméretű szűrőn szűrték, szobahőmérsékleten injektálták, majd $2,0 \text{ cm}^3/\text{perc}$ áramlási sebességgel eluálták. Minden mérést háromszor ismételték meg. A glükóz és a galaktóz retenciós ideje olyan közel volt egymáshoz, hogy mennyiségüket csak együtt tudták meghatározni.

Az oligoszacharidok szerkezetét HPLC-vel, egy „LC module 1” készülékkel, „model 490” UV (208 nm) és „model 410” refraktívindex-detektorral (Waters, Tokió, Japán) tanulmányozták a következő körülmények között: „A” változat: Bio Rad ionkizárásos HPX-87H, $6 \times 250 \text{ mm}$ méretű oszlop; $0,005 \text{ M}$ kénsavoldat eluens, áramlási sebesség: $1,0 \text{ cm}^3/\text{perc}$. „B” változat: Shodex SH-1821 (Showa Denko Co.) oszlop; $0,005 \text{ M}$ kénsavoldat eluens, $0,75 \text{ cm}^3/\text{perc}$ áramlási sebesség. Az N1 jelű savas oligoszacharidot szénoszlop-kromatográfiával, $5,0 \times 50 \text{ cm}$ méretű oszlopon még két külön anyagra sikerült szétválasztani (N1-1; N1-2). A mérés során lineáris gradienst alkalmazva az etanol mennyisége $0\% \rightarrow 15\%$ között változott. A FAB-MS spektrumokat negatívion-üzemmódban egy Jeol JMS-700 tömegspektrométerrel vették fel, 6 kV -tal egyenértékű kinetikus energiájú Xe atomokkal, glicerint használva mátrixnak.

A ^1H - és ^{13}C -NMR spektrumokat $2\text{-}3\%$ D₂O-t tartalmazó oldatban, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -on vették fel egy Jeol Alpha-500 NMR-spektrométerrel. A kémiai eltolódást a mezőerősség csökkenése irányában ppm-ben adták meg a nátrium-4,4-dimetil-4-szilapentanoát jeléhez képest, az 1,4-dioxánra vonatkoztatva. A savas oligoszacharidok vizsgálata kétdimenziós NMR-méréseken alapult. A savas oligoszacharidokat anioncserés kromatográfiával tisztították meg ($5,0 \times 50 \text{ cm}$, Dowex 1, acetátforma). Az oszlopot bőségesen mosták vízzel, eltávolítva a semleges cukrokat, majd a savas oligoszacharidokat nátrium-acetát-oldat lineáris gradiensével ($0 \rightarrow 0,2 \text{ M}$) eluáltatták. Minden egyes frakciót egy „Micro-acilyzer S1” (Asahi Chemical Ind. Co Ltd.) berendezéssel sóalanították, majd vákuumban koncentrálták, végül liofilezték őket. A HPLC-s mérésekkel négy (N1, N2, G1, G2) sa-

vas GalOS-t választottak szét. Az „A” analitikai körülmények között az N1 és az N2; a „B” mérési paraméterekkel a G1 és a G2 oligoszacharidokat különítették el. **Az N1 jelű oligoszacharidot szénoszlop-kromatográfiával még két külön anyagra sikerült szétválasztani (N1-1; N1-2).** A GalOS-okat a reakcióelegyből az oligoszacharid-hozam mérése céljából anioncserés kromatográfiával nyerték ki, és a szerkezetazonosítási vizsgálatokra is ezeket a preparátumokat használták fel.

A savas GalOS-ok részletes szerkezetét NMR-spektroszkópiával derítették fel. Az N1-1 savas GalOS galaktozil maradékának H1-H6 rezonanciajeleit a spektrumok alapján azonosították, melynek során az anomerikus protont azonosították először (β -galaktóz H1). Az N1-1 spektrumán a kémiai eltolódások alapján nem volt látható az α -galaktóz (H1) jele, amiből az következett, hogy **az N1-1-ben szereplő galaktózegység a nem redukáló láncvégen helyezkedett el, azaz a galaktóz glikozidos OH-csoportja kötésben volt.** A spektrumban a N-acetilneuraminsav (NeuAc) axiális H3 és ekvatoriális elhelyezkedésű H3 protonjának jeleit figyelték meg, s e jelek segítségével határozták meg a H4, H5 és H6 protonok sorrendjét. A NeuAc H7, H8 és H9 jeleinek kijelölése érdekében először a H9 jelét, majd ezután a H7 és a H8 jeleit azonosították a spektrum használatával. Ezt követően a spektrummal ellenőrizték, hogy az N1-1-et alkotó szénatommagok jeleit jól azonosították-e. A NeuAc-egység C8 rezonanciajele a glikozidkötésben való részvétele miatt a kisebb mezőerősség irányába kémiai eltolódást mutatott. Ezekből a részeredményekből **a GalOS szerkezete meghatározható volt: egy β -galaktóz molekula 1 \rightarrow 8 kötéssel kapcsolódott egy NeuAc molekulához.**

Az előzőekhez hasonlóan az N1-2 ^1H - és ^{13}C -NMR adatai azt mutatták, hogy a nem redukáló galaktózcsoport hasonló kémiai eltolódásokat ad, mint az N1-1 galaktózcsoportja. Az N1-2 ^{13}C -NMR spektrumán a NeuAc C9 jele eltolódást mutatott a kisebb mezőerősség irányába, amit a polarizációs transzfer torzításmentes növekedése is igazolt. Ezen eredmények alapján **az N1-2 szerkezete a következő volt: egy β -galaktóz molekula 1 \rightarrow 9 kötéssel kapcsolódott egy NeuAc molekulához.**

Az N2 GalOS ^1H - és ^{13}C -NMR adatai közül a terminális, nem redukáló galaktozilcsoport és a NeuAc kémiai eltolódás jelei hasonlóak voltak az N1-1-éhez, és a belső galaktózegység C3 jele a glikolizáció miatt eltolódást mutatott a kisebb mezőerősség irányába. **Az N2 szerkezete: galaktóz β -(1 \rightarrow 3)-galaktóz β -(1 \rightarrow 8)-NeuAc.** A G1 és a G2 GalOS-ok szerkezetének azonosítását is a ^1H - és ^{13}C -NMR spektrumok tanulmányozásával, a korábban részletezett módon végezték el.

13.3.4. Az exopoliszacharidok és oligoszacharidok összefoglalása

Számos tejsavbaktérium képes exopoliszacharidok (EPS) termelésére, mely nyálka-termelő kultúrák alkalmazása a joghurtgyártásban javíthatja a termék szerkezetét, kedvezőbbé válhatnak a reológiai tulajdonságok és nőhet a viszkozitás. Az oligoszacharidok közül jelenleg az érdeklődés középpontjába kerültek azon 2–10 molekula glükózt és/vagy fruktózt és galaktózt tartalmazó vegyületek, melyeket galakto-oligoszacharidoknak hívnak (GalOS), melyek pozitívan hatnak a bélműködésre, elősegítik a hasznos bifidobaktériumok

szaporodását, csökkentik a pH-t és a rothadás során keletkező termékek mennyiségét a vastagbélben. Az EPS-ok és a GalOS-ok élelmiszeripari alkalmazása és élettani hatásainak vizsgálata érdekében szükség van olyan analitikai módszerekre, melyek segítségével a szénhidrátok mennyisége és összetétele meghatározható.

Az EPS-okat vizsgálatuk előtt ki kell vonni a közegből, mely során a hagyományos módszerek mellett preparatív kromatográfias tisztítást vagy a nemkívánatos anyagok enzimés bontását alkalmazták. Az EPS mennyiségét általában közvetlenül a mátrixból vagy a részlegesen tisztított fermentumból, ritkán a kinyert preparátum vizes oldatából határozták meg. Minőségi jellemzőinek vizsgálatai közé tartozik a molekulatömeg-meghatározás, a monoszacharid-összetétel vizsgálata, a monoszacharidok kapcsolódási helyeinek, izomériájának, láncszerkezetének és foszfortartalmának vizsgálata különféle eljárásokkal.

Az EPS-ok kvantitatív mérése során alkalmazták a tömegmérést, származékképzés után mérték az abszorbanciát, alkalmazták a preparatív ionkromatográfiát, és a legtöbb szerző a molekulatömeg-meghatározást gélkromatográfiás, vagy más néven méretkizárásos kromatográfias módszerekkel végezte. Az EPS-ok monoszacharid-összetételének meghatározását nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával vagy gázkromatográfiával, származékképzéssel vagy anélkül végezték. Származékképzés és hidrolízis után a különböző kötési formák mennyiségét és arányát is meg tudták határozni. Vizsgálták az EPS-okat alkotó cukrok konfigurációját, foszfortartalmát, és az EPS-ok szerkezetének vizsgálata, valamint fizikai és kémiai tulajdonságainak megfigyelése érdekében kémiailag módosításokat is végeztek. A magmágneses rezonanciaspektroszkópiával az EPS-ok atomcsoportjai finomszerkezetét is tanulmányozták, melynek során felderítették az ismétlődő egységek szerkezetét, az azokat alkotó monomereket, az anomer szénatomok izomériáját és egyes atomcsoportok előfordulásának gyakoriságát.

13.4. Fehérjével és lizinnel dúsított kenyér és keksz előállítása

13.4.1. Fehérjével dúsított kenyér előállítása

13.4.1.1. Bevezetés

A fejlődő világ több országában a kis fehérjetartalmú növényi táplálék túlsúlya miatt gyakori fehérjehiánnyal lehet számolni. A fehérjehiány a növekedésben való visszamaradás, ödémák képződéséhez, valamint vérszegénységhez vezethet; amennyiben a fehérjehiány energiahiánnyal is párosul, az alultápláltság sok csecsemő és kisgyermek halálát is okozhatja.

Az elmúlt évtizedek kutatásainak eredményeként ma már **nem általában fehérjeszükségletről, hanem a nélkülözhetetlen aminosavak meghatározott mennyiségi igényéről beszélünk**. A kutatók rájöttek arra is, hogy nemcsak a limitáló aminosavak hiányát kell pótolni, hanem törekedni kell az **esszenciális aminosavak harmonikus arányára** is, sőt figyelni kell arra, hogy az esszenciális és nem esszenciális aminosavak is optimális arányban forduljanak elő az élelmiszerekben.

Az aminosavak iparszerű termelésének beindulása után lehetőség volt a **limitáló aminosavak pótlására**, aminek következtében az optimálishoz közeli aminosav-összetétel érhető el, amely az egyik útja a magas biológiai értékű fehérje előállításának. Az aminosav-analitika széles körű alkalmazásával ma már közismert sok élelmiszer-alapanyag aminosav-összetétele, melyek kombinálásával az ember számára ugyancsak optimális összetételű élelmiszer, pl. kenyér állítható elő, amely a másik útja a magas biológiai értékű élelmiszer-termelésnek.

Az élelmiszer-összetevők okszerű megválogatásával lehetőség van olyan fehérjék alkalmazására, melyekkel az alapélelmiszer, pl. a liszt limitáló aminosavai pótolhatóak, ezért optimális összetételt biztosítanak a fejlődő szervezet számára. Újabban az aminosav-szükségleti adatok mellett az optimális és minimális fehérjeszinteket is megadják. Elegendő fehérje birtokában az energiatöbblet elősegíti az energiaigényes fehérjeszintézist, növeli a tömeggyarapodást és javítja a fehérjeértékesítést, valamint a fehérjehasznosítást.

13.4.1.2. A búzaliszt és búzalisztalapú készítmények tápértékének növelése

Egy felnőtt ember fehérjeszükséglete az életkortól és a fizikai megterheléstől függően napi 80–110 g. Vegyes étrend esetében ez a fehérjemennyiség elegendő esszenciális aminosavat tartalmaz, **egyoldalú étrend esetén** azonban, még a kellő fehérjefogyasztás mellett is, **esszenciális aminosav-hiány léphet fel**. Egy felnőtt ember számára esszenciális aminosavak az izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenil-alanin, hisztidin, triptofán, valin és a treonin.

Azokat a fehérjéket, amelyek az esszenciális aminosavakat kellő mennyiségben és megfelelő arányban tartalmazzák az ember számára, **teljes értékű fehérjéknek** nevezik, mint amilyenek pl. a hús, a tojás és a tej fehérjéi. A növényi eredetű fehérjékből azonban a lizin,

a metionin, a treonin és a triptofán a szükséglethez képest kisebb-nagyobb mértékben hiányzik. Mivel a kevés teljes értékű fehérjét fogyasztók életműködéseiben rendellenességek léphetnek fel, ezért a **túnyomóan növényi eredetű élelmiszereket** a hiányzó esszenciális aminosavakkal kiegészítik. A kiegészítésre leginkább a gabonaalapú élelmiszerek esetén lenne szükség, mert a búza és a rozs fehérjéi kevés lizint, metionint és treonint tartalmaznak.

Európában főként a **természetes fehérjeforrásokkal való kiegészítés terjedt el**. Erre a célra leginkább a különböző szójakészítmények alkalmasak, mert a **szójafehérje sok lizint és az átlagosnál több treonint tartalmaz**. Hátránya viszont, hogy viszonylag alacsony a metionin- és a cisztintartalma. Elsősorban a búzalisztból készült termékeket szokták feljavítani, mely fehérjekiegészítés eredményességét biológiai vagy kémiai módszerekkel lehet megítélni. Gyorsabb eredményeket kémiai módszerekkel kaphatunk, amelyek során meghatározhatjuk a fehérje aminosav-összetételét, és az aminosav-összetételt hasonlíthatjuk a teljes értékű fehérjéhez olyan kémiai indexeket számolva, amelyek számszerűen tájékoztatnak a vizsgált élelmiszer-fehérje táplálkozási értékéről.

A szója magas lizin- és treonintartalma kiválóan ki tudja egészíteni a búzaliszt aminosav-összetételét, azonban még jobb eredmény érhető el az okszerűen összeállított fehérjekiegészítéssel, ahol a szójafehérje mellett tojásfehérjepor, gluténizolátum és szárítottkovász-hozzáadásra is sor került. A fehérjekiegészítéssel a búzaliszt eredeti szénhidrát-tartalma csökken, ami kiválóan alkalmassá teszi az ilyen kenyeret a cukorbeteg és fogyni vágyók étrendjében.

13.4.1.3. A liszt magas biológiai értékű fehérjével és lizinnel való dúsítása

Az aminosavak mennyisége és aránya a búzában az emberi szervezet számára távol van az optimálistól, ezért a búzafehérje biológiai értéke a százaskálán 53 körüli. Mivel elsősorban a lizin aránya alacsony, a búzaliszt aminosav-dúsítására azok az anyagok alkalmasak, amelyekben a lizin aránya magas: burgonya (biológiai értéke 73) és szója (biológiai értéke 74–78). Mivel rendszeresen fogyasztunk gabonafélékből előállított élelmiszereket, már **régóta foglalkoznak a lisztek dúsításával, ill. feljavításával** nyomelemekkel (Se, Ca, Cu, Zn, Fe, P), vitaminokkal (B-vitamin-család, E-vitamin), valamint fehérjékkel és aminosavakkal (triptofán, lizin, treonin).

Az L-lizin klinikai és dietetikai alkalmazásának kutatása 30–40 éves múltra tekint vissza. 1976-ban szabadalmaztattak egy olyan kenyeret, amely a teljes értékű fehérjének megfelelő aminosav-összetétellel rendelkezett. Ebben a különböző **fehérjepótlás mellett a liszthez L-lizin-hidrokloridot adagoltak**, amely így 0,1–0,5% L-lizin-hidrokloridot tartalmazott. A lizin ϵ -aminoacil származékát is adagolták a búzaliszthez, melyből a szervezetben a deacilezés során lizin keletkezett. A kiegyenlített aminosav-összetétel elérése céljából az acil-lizin mellett még 0,1% körüli mennyiségben L-lizin-hidrokloridot is adtak a liszthez. A kenyér tápértékének növelésére kidolgoztak egy olyan eljárást is, melynek során egy lizint termelő tejsavbaktérium-törzs liofilizált mintáját adták a kovászhoz, ezzel javítva az aminosav-összetételt.

A lizint átlagosan 0,2–0,5%-ban adagolták a lisztekhez a fehérje- és a lizintartalom növelésének érdekében. 0,5%-kal való dúsítás esetén a gyerekek fejlődésében jótékony

hatást értek el, nők esetében a hemoglobinszint növekedett, míg férfiak esetében a transferrinszint emelkedését észlelték. A 0,5% lizinnel kiegészített kenyérből az ember napi lizinszükséglete 25%-ának kielégítéséhez 325 g/nap kenyér fogyasztása javasolt. **A lizinnel dúsított kenyér fogyasztása pozitívan hat az immunrendszerre;** a hemoglobinszint ugyan nem nő, de az IgA, IgB, IgE-re való hatása miatt a 0,3% lizin javítja az immunrendszer működését.

A vonatkozó szakirodalmat áttanulmányozva nem talákoztunk olyanal, hogy valaki az extrahált szójadarat, a tojásfehérjeport, a glutént vagy a szárított kovászt együtt alkalmazta volna alacsony szénhidrát tartalmú és magas fehérjetartalmú kenyér előállítására, melyben a fehérjén belül az esszenciális aminosavak aránya, az extrahált szójadarának köszönhetően – elsősorban a lizin mennyisége – kimagasló.

13.4.1.4. A kenyér magas lizintartalmának élettani hatása

Régóta ismert, hogy az **L-lizin**, a fehérjénket felépítő esszenciális aminosav **hiányában a táplálékkal bevitt kalcium nem tud beépülni a csontokba**, és számos fehérje szintézise is gátolt. Az L-lizinnek alapvető szerepe van a csontok és a bőr szerves állományát alkotó kollagén képzésében, és emellett immunrendszert erősítő és vírusellenes hatását is igazolták. A csontanyagcserével és az oszteoporózis megelőzésével kapcsolatban a szakirodalomban a táplálkozási tényezők közül hosszú időn keresztül a kalcium-, a foszfor- és a D-vitamin-fogyasztás kapta a legnagyobb figyelmet, bár a C-vitaminnak és **a lizinnak is alapvető szerepe van a csontok szerves állományát alkotó kollagén képzésében**. A C-vitamin egyrészt a D-vitamin aktiválásában vesz részt, másrészt a csont kollagénállományának felépítésében részt vevő lizint alakítja át a prokollagén létrehozására alkalmas formává. A kutatási eredmények alátámasztják, hogy a C-vitamin mellett az L-lizin is jelentősen hozzájárul az egészséges csontozat kialakulásához.

Beszámoltak a lizin és a C-vitamin érendszerre és a szívkoszorúér-betegségekre kifejtett jótékony hatásáról, és egy olyan készítményt is kidolgoztak, amely az extracelluláris mátrix károsodásával kapcsolatos betegségek (atherosclerosis, rák, fertőzés vagy más gyulladásos megbetegedések) kezelésére alkalmas. A készítmény lizint, prolint, aszkorbátot, ezek származékait és szintetikus analógjait, továbbá vitaminokat, provitaminokat és nyomelemeket tartalmazott. Az L-lizin és a különböző szénhidrátok reakcióit vizsgálva kimutatták, hogy a Maillard-reakcióban keletkező **reakciótermékek jelentős antioxidáns aktivitással rendelkeznek**.

A monoszacharidok, általában a redukáló szénhidrátok, szabad aminos csoporttal, megfelelő körülmények között, reagálnak egymással, mely reakció során aromakomponensek és barna színű pigmentek, melanoidinek keletkeznek. Ez a folyamat a Maillard-reakció. A lizintartalmú sütőipari termékek előállítása alkalmával, mivel a lizin ϵ -amino csoportja rendkívül érzékeny a Maillard-reakcióra, **a nem enzimes barnulási reakció következtében**, megfelelő hőmérsékletet alkalmazva **antioxidánsok, szín-, valamint ízanyagok keletkeznek**, melyek hozzájárulnak az egészségvédő hatáshoz.

Az alapanyagok összetételének tervezésénél azonban figyelemmel kell lenni arra is, hogy a magas lizintartalom következtében keletkező termékek ronthatják a termék élvezeti értékét, hisz a nagy mennyiségű Maillard-reakciótermék nem kívánt íz- és színhatással

is járhat. A kenyér szerencsés megoldásnak nevezhető, mert a kenyér belsejében a sütés alatti hőmérséklet sosem megy 100°C fölé, a kenyér héjában viszont arányaiban csak kevés lizin található. Összefoglalva elmondható, hogy **L-lizin bevitele** a szervezetbe, bármilyen formában is történjen, **javítja a lizinhiányos fehérjék biológiai értékét**, hozzájárul a fiatal szervezet optimális fejlődéséhez, és a sok terápiás hatása miatt **eredményesen alkalmazható az egészség megőrzéséért vívott küzdelemben**.

13.4.1.5. Az ember fehérje- és aminosav-szükséglete

Az ember fehérjeszükségletének megállapításakor figyelemmel kell lenni arra, hogy a szervezet megfelelő energiabevitel esetén, fehérjementes étrend esetén is veszít fehérjét. Ez az endogénfehérje-vesztés a vizeletben, a bélsárban és a verejtékben ürül, valamint növeli ennek mennyiségét a bőr kopása, a növekvő haj és a köröm is. Az endogénfehérje-vesztés testtömegkilogrammonként átlagosan mintegy 0,34 g fehérjének felel meg. A felnőtt fehérjeszükségletet testtömegkilogrammonként 0,75 g jó minőségű fehérjével lehet kielégíteni, a csecsemők, a gyerekek, a gyereket váró és a szoptató anyák esetében a fehérjeszükséglet azonban ennél nagyobb, hisz a fejlődésben lévő szervezet számára biztosítani kell a növekedéshez és a fejlődéshez szükséges fehérjemennyiséget, az utóbbi két esetben pedig a magzat és a tejtermelés fehérjeigényét is ki kell elégíteni. Az életkor függvényében a biztonságos fehérjebevitel tej vagy tojásfehérje fogyasztásakor, a WHO adatai szerint, az 13.3. táblázat tartalmazza.

13.3. táblázat. A gyermekkorban javasolt biztonságos fehérjebevitel-értékek (g/ttkg) a WHO ajánlása alapján

Életkor (év)	Fehérje (g/ttkg)	Életkor (év)	Fehérje (g/ttkg)
fiúk és lányok együtt		lányok	
0,25–0,5	1,86	10–11	1,00
0,50–0,75	1,65	11–12	0,98
0,75–1,00	1,48	12–13	0,96
1,00–1,50	1,26	13–14	0,94
1,50–2,00	1,17	14–15	0,90
2–3	1,13		
3–4	1,09	fiúk	
4–5	1,06	10–11	0,99
5–6	1,02	11–12	0,98
6–7	1,01	12–13	1,00
7–8	1,01	13–14	0,97
8–9	1,01	14–15	0,96
9–10	0,99		

ttkg = testtömegkilogramm

Az ember azonban természetesen nem a fehérjét, hanem a fehérjében lévő aminosavakat hasznosítja. Az ember számára esszenciális a hisztidin (az életkortól függően), izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenil-alanin, treonin, triptofán és a valin. Félig esszenciális a cisztin,

amit metioninból, valamint a tirozin, amit fenil-alaninból tud előállítani a szervezet. Az egészséges ember bélrendszerében élő mikroorganizmusok a hisztidint szintetizálni tudják, ezért ez az aminosav csak a csecsemő számára számít esszenciálisnak, mert a felnőtt ember szükségleteit a bélrendszerben szintetizálódott mennyiség tökéletesen kielégíti. A csecsemők, a kisgyermek, az iskolás gyerekek és a felnőttek számára becsült aminosav-szükségletet, a WHO ajánlásai szerint, a 13.4. táblázat tartalmazza

13.4. táblázat. Az esszenciális aminosavak becsült szükséglete (mg/ttkg/nap) a WHO ajánlása alapján

Aminosav	Csecsemő (3–4 hónapos)	Kisgyermek (2 éves)	Iskolás gyermek (10–12 éves)	Felnőtt
Hisztidin	28	–	–	–
Izoleucin	70	31	28–30	10,0
Leucin	161	73	44–45	14,0
Lizin	103	64	44–60	12,0
Metionin + cisztin	58	27	22–27	13,0
Fenil-alanin+tirozin	125	69	22–27	14,0
Treonin	87	37	28–35	7,0
Triptofán	17	12,5	3,3–4,0	3,5
Valin	93	38	25–33	10,0
Összesen	742	352	216–261	84,0

Az aminosavak optimális mennyiségét a bevitt fehérjében, összehasonlítva a búza, a szója és a tojásfehérjék aminosav-összetételével, a WHO ajánlásai alapján, a 13.5. táblázat tartalmazza. A táblázatban szereplő adatok azonban személyenként változhatnak az egyén adottságai, egészségi állapota és még sok más egyéb tényező következtében is. Általánosságban elmondható, hogy az átlagos fehérjeszükséglet 0,6 g/testtömegkilogramm, a legkisebb fehérjebevitelnek pedig naponta el kell érni a 0,45 g-ot testtömegkilogrammonként.

13.5. táblázat. A csecsemők, a gyerekek és a felnőttek számára optimális fehérje aminosav-összetétele, hasonlítva a búzaliszt, a szója és a tojásfehérje aminosav-összetételéhez, a WHO javaslata alapján

Aminosav	Aminosav						
	mg/g fehérje				mg/g fehérje		
	csecsemő átlag*	2–5 éves gyermek	10–12 éves gyermek	felnőtt	búza	szója	tojás
Hisztidin	26	19	19	16	23	32	22
Izoleucin	46	28	28	13	40	41	54
Leucin	93	66	44	19	71	77	86
Lizin	66	58	44	16	30	61	70
Metionin + cisztin	42	25	22	17	41	31	57
Fenil-alanin + tirozin	72	63	22	19	78	88	93

Aminosav	Aminosav						
	mg/g fehérje				mg/g fehérje		
	csecsemő átlag*	2–5 éves gyermek	10–12 éves gyermek	felnőtt	búza	szója	tojás
Valin	55	35	25	13	48	47	66
Összesen							
hisztidinnel	460	339	241	127	375	433	512
hisztidin nélkül	434	320	222	111	352	401	490

* Az anyatej aminosav-összetétele alapján becsült érték.

Hogyan tudnak a búzafehérje főbb komponensei ezeknek a kívánalmaknak megfelelni? A lizin szempontjából nehezen, mert a **gabonafehérjék relatíve kevés lizint tartalmaznak**. A búzafehérjék közül az albuminok csaknem valamennyi fehérjealkotó aminosavat tartalmaznak. Izoelektromos pontjuk pH = 4-5 körül van. A globulinok az albuminokkal általában együtt fordulnak elő, szétválasztásuk a molekulatömeg alapján lehetséges. A globulinok híg sóoldatokban, egyesek desztillált vízben is oldódnak. Ez utóbbiakat pszeudo (ál)-globulinoknak nevezték el, szemben az eredeti, híg sóoldatban oldódó eu (valódi)-globulinokkal.

A prolaminok aminosav-összetételére jellemző a **prolin és a glutaminsav nagy koncentrációja**, lizint nem tartalmaznak. A gliadin a gluteninrel együtt képezi a siker (glutén) komplex fehérjét, amely a búzátészta előállításának kulcsfehérjéje. A glutelinek jellegzetes növényi fehérjék, amelyek a magvakban fordulnak elő. **Aminosav-összetételükben dominál az arginin, a prolin és a glutaminsav**; legismertebb a búzában található glutenin. A **lizin** mennyisége a gabonafélékben alacsony (2–4%), és **több növényi eredetű fehérje biológiai értékének is limitáló faktora**. Normál táplálkozási körülmények között nem kell félni lizintúltáplálástól. Ha mégis a szükségletnél nagyobb mennyiségű lizin kerülne a szervezetbe, akkor a szervezet azt energiaként hasznosítja.

13.4.1.6. A magas lizintartalmú kenyér előállítása fehérjekiegészítéssel

Kutatásaink célja egy olyan funkcionális élelmiszer, a **lizinnel és más esszenciális aminosavakkal dúsított kenyér előállítása** volt, amely segít a szervezet optimális esszenciális aminosav-szükségletének kielégítésében, és előnyös hatása a csonttritkulás és a keringési rendszer betegségeinek kezelésében is. Elképzelésünk szerint a búzaliszthez megfelelő mennyiségben **extrahált szójadarat, tojásfehérjeport, glutént és szárított kovászt együtt adagolva** növelni tudjuk az esszenciális, a búzaliszt esetében pedig limitáló lizin mennyiségét, növeljük a búzafehérje biológiai értékét, és a biológiai érték növelésénél nagyobb mennyiségben adagolva olyan **funkcionális, egészségvédő, ill. egészségmegőrző terméket tudunk előállítani**, mellyel meg tudjuk előzni az esszenciális aminosav-hiánynak tulajdonított betegségeket, mint amilyenek a csontok gyengesége és a csonttritkulás.

Reméltük, hogy mivel a kenyér sütése során a kenyérbél hőmérséklete a 100°C-ot nem haladja meg, a kenyér belsejében a lizintartalom gyakorlatilag változatlanul megmarad, míg a kenyér héjában és közvetlenül az alatt jelentős mennyiségben átalakul

szín- és ízanyagokká (Maillard-reakció), valamint **antioxidánsokká**. Ugyancsak bízunk abban, hogy a tojásfehérjepor és a szárított kovász alkalmazásával azokat az esszenciális aminosavakat is be tudjuk vinni a kenyérbe, melyekből (metionin, cisztin) a szója relatíve kevesebbet tartalmaz. A glutén alkalmazásának egyetlen célja a fehérjetartalom növelése és a szénhidrát-tartalom csökkentése volt, és ugyancsak a keményítőtartalom csökkentését és a rosttartalom növelését szolgálta a hozzáadott bambuszrost is.

Összefoglalva az általunk alkalmazott megoldás lényege az, hogy teljes értékű aminosav-összetételű kenyeret állítsunk elő magas – a szükségletet még némiképp meg is haladó – esszenciális aminosav-tartalommal, megnövelt fehérje- és rosttartalommal, és csökkent keményítőtartalommal. E célunk elérése érdekében a 83,0%-os fehérjetartalmú tojásfehérjeport, a 79,4%-os fehérjetartalmú glutént, a 49,3%-os fehérjetartalmú extrahált szójalisztet, a 16,0% fehérjetartalmú szárított kovászt és a gyakorlatilag fehérjementes bambuszrostot összekevertük 12–13% fehérjetartalmú búzaliszttel úgy, hogy egy magas biológiai értékű, funkcionális élelmiszerek előállítására alkalmas lisztet kapjunk, amelynek egészségvédő, ill. egészségmegőrző hatása is van.

A kenyeralapanyagok összeállítása és a sütés

Az alapanyagok összetételének tervezésénél figyelembe kellett venni az alapanyagok és a késztermék esszenciális aminosav-tartalmát, az aminosavak egymáshoz viszonyított arányát, valamint az esszenciális aminosavak mellett a nem esszenciális aminosavak kiegyensúlyozott mennyiségét is. Ügyelnünk kellett arra is, hogy a megnövelt lizintartalom miatt a nagy mennyiségű Maillard-reakciótermék nem kívánt íz- és színhatással járhat, amit mindenképpen el kellett kerülni.

Az alapeveréket 12–13% fehérjetartalmú búzalisztből, 83,0%-os fehérjetartalmú tojásfehérjeporból, 79,4%-os fehérjetartalmú gluténból, 49,3%-os fehérjetartalmú extrahált szójalisztből, 16,0% fehérjetartalmú szárított kovászból és gyakorlatilag fehérjementes bambuszrostból állítottuk össze. A kenyér sütését követően, melynek során speciális hőmérséklet- és időkombinációkat alkalmaztunk, vizsgáltuk a kenyerek mindazon tulajdonságait, melyeket a kenyerek minősítése során a gyakorlatban alkalmaznak. A kísérleti gyártás során a tésztát a kenyér jellegétől függően kelesztettük, formáztuk, majd automata kenyérsütő berendezésben megsütöttük. Az előzetes eredmények birtokában szükség szerint változtattuk a sütési hőmérsékletet és időt annak megfelelően, hogy **nagyobb lizin- vagy nagyobb antioxidáns-tartalmú kenyeret akartunk előállítani**.

A kísérleti és a kontrollkenyér összetételének meghatározása

A minták fehérjetartalmát Kjeldahl-módszerrel, az aminosav-összetételt és a hidroximetil-furfurol tartalmat nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, oszlop előtti származékképzéssel határoztuk meg, a fehérje biológiai értékének számolását pedig a Morup- és Olesen-féle módszerrel végeztük. A kenyerek érzékszervi vizsgálata során értékeltük a **kenyér alakját** (a kenyértípusra jellemző, szabályos, arányosan domború, ne legyen torz alakú), a **hégját** (a kenyértípusra jellemző színű, fényes, sima vagy cserepes, esetleg szórt vagy vágott, ne legyen végig repedt, kormos, szennyezett, égett, ázott, sérült), a **bélzetet** (átstült, a héjtól nem elváló, a liszt jellegének megfelelő egyenletes színű, rugalmas, cso-

mómentes, ne legyen szalonnás, ragacsos, morzsálódó, széteső, ne tartalmazzon idegen anyagokat), valamint **ízét és illatát** (a kenyértípusra jellemző aromájú, ne legyen idegen ízű és szagú). Az érzékszervi vizsgálatok a Codex Alimentarius (2004) előírásai szerint történtek. Az adatok statisztikai értékelését a Microsoft Excel 2010 programcsomaggal, egytényezős varianciaanalízissel végeztük.

A kenyéralapanyagok fehérjetartalma és aminosav-összetétele

A gabonafélék aminosav-összetételére jellemző a kis lizin- és metionintartalom, és különösen kevés metionin van a búzában. 100 g búza (13,2% fehérjetartalommal) 0,73 g aszparaginsavat, 0,42% treonint, 0,69% szerint, 3,75% glutaminsavat, 1,36% prolint, 0,55% glicint, 0,53% alanint, 0,32% cisztint, 0,63% valint, 0,22% metionint, 0,53% izoleucint, 0,94% leucint, 0,42% tirozint, 0,61% fenil-alanint, 0,30% hisztidint, 0,40% lizint, 0,65% arginint és 0,16% triptofánt tartalmaz.

A búzaglutén (79,4% fehérjetartalommal) 4,4% aszparaginsavat, 2,8% treonint, 4,8% szerint, 31,9% glutaminsavat, 12,1% prolint, 3,5% glicint, 2,4% alanint, 1,8% cisztint, 4,6% valint, 1,7% metionint, 4,1% izoleucint, 7,2% leucint, 3,1% tirozint, 4,7% fenil-alanint, 2,3% lizint, 1,8% hisztidint, 3,9% arginint és 1,1% triptofánt tartalmaz. Aminosav-összetételében dominál a glutaminsav és a prolin, mely két nem esszenciális aminosav az összes fehérje 44,0%-át teszi ki.

A liszt másik fő összetevője az extrahált szójadara 49,3% fehérjetartalommal. 100 g érett, légszáraz szója 5,10 g aszparaginsavat, 1,77 g treonint, 2,36 g szerint, 7,87 g glutaminsavat, 2,38 g prolint, 1,88 g glicint, 1,93 g alanint, 0,66 g cisztint, 2,03 g valint, 0,55 g metionint, 1,97 g izoleucint, 3,31 g leucint, 1,54 g tirozint, 2,12 g fenil-alanint, 2,71 g lizint, 1,10 g hisztidint, 3,15 g arginint és 0,59 g triptofánt tartalmaz.

A liszt harmadik fő komponense a tojásfehérjépor. A **tojás** a roston kívül szinte **minden értékes tápanyagot tartalmaz**. Fehérjéjének biológiai értéke talán az összes élelmiszer-fehérje közül a legnagyobb, ezért aztán a biológiai érték meghatározásánál egy olyan fehérjének tekinthető, mely a többi fehérje értékelésének a viszonyítási alapja. 100 g tojásfehérje 6,0 g aszparaginsavat, 3,4 g treonint, 6,0 g szerint, 10,9 g glutaminsavat, 2,9 g prolint, 2,9 glicint, 5,5 g alanint, 1,9 g cisztint, 6,0 g valint, 3,0 g metionint, 5,0 g izoleucint, 6,8 g leucint, 3,2 g tirozint, 4,9 g fenil-alanint, 4,6 g lizint, 1,7 g hisztidint, 4,5 g arginint és 1,2 g triptofánt tartalmaz.

A kenyérsütéshez használt 16,0% fehérjetartalmú szárított kovász mennyisége az előzőekben felsorolt komponensekhez képest oly csekély, hogy a liszt, ill. a belőle készült kenyér aminosav-összetételére nincs hatással.

A mérési adatok alapján megállapítható, hogy **egy természetes alapanyagokból előállított, magas fehérje- és rosttartalmú, csökkentett szénhidrát-tartalmú speciális lisztkeveréket állítottunk elő**, amely önmagában alkalmas különböző csökkentett szénhidrát-tartalmú készítmények (pl. kenyerek, péksütemények, desszertek, édes sütemények, muffinok stb.) elkészítésére. Kényelmes megoldást jelenthet azoknak, akik nem szeretnének kísérletezni az arányokkal. Búzaafinomlisztet, zsírtalanított szójalisztet, búzaglutént, szárított kovászt, bambuszrostot és szójafehérje-izolátumot tartalmaz. A mérések szerint energiataralma 1364 kJ/100 g, zsírtartalma 1,4%, amelyből a telített zsírsav kevesebb,

mint 0,5%, szénhidrátartalma 35,4%, melyből cukor 2,8%, keményítő 32,6%, rost 14,4%, fehérje 35,0% és só 0,125%. A finomliszthez képest majd háromszoros fehérjetartalma és 50%-kal csökkentett szénhidráttartalmú természetes élelmiszer-alapanyag.

A kenyér összesfehérje-tartalma

A kontrollkenyér fehérjetartalma 12,4%, a magas fehérjetartalmú kenyéré pedig 35,3%. Az eredményből azonnal látszik, hogy a hozzáadott extrahált szójalisztnak, a tojásfehérjepornak és a gluténnek köszönhetően a **magas fehérjetartalmú kenyér fehérjetartalma 2,86-szorosára nőtt a kontrollkenyérhez viszonyítva**. A növekedés várható volt, hisz az adalékanyagok mind jóval nagyobb fehérjetartalommal rendelkeztek, mint a búzaliszt.

A kontroll- és a magas fehérjetartalmú kenyér esszenciálisaminosav-tartalma

A búzaliszt, az extrahált szójadara, a tojásfehérjepor, a glutén, a kontrollkenyér és a magas fehérjetartalmú kenyér esszenciálisaminosav-tartalmát és a fehérje biológiai értékét a 13.6. táblázat tartalmazza.

13.6. táblázat. A búzaliszt, az extrahált szójadara, a tojásfehérjepor, a glutén, a kontrollkenyér és a magas fehérjetartalmú (MF) kenyér esszenciálisaminosav-tartalma és a fehérje biológiai értéke

Aminosav	Aminosav, mg/g fehérje						
	Búzaliszt	Extrahált szójadara	Tojásfehérjepor	Glutén	Kontrollkenyér	MF-kenyér1	MF-kenyér2
Hisztidin	23	32	22	18	21	27	26
Izoleucin	40	41	54	41	40	44	43
Leucin	71	77	86	72	71	78	79
Lizin	30	61	70	23	26	46	47
Metionin + cisztin	41	31	57	35	38	41	41
Fenil-alanin + tirozin	78	88	93	78	77	87	86
Treonin	32	40	47	28	30	38	39
Triptofán	12	16	17	11	11	15	14
Valin	48	47	66	46	49	52	51
Összesen							
hisztidinnel	375	433	512	352	363	428	426
hisztidin nélkül	352	401	490	334	342	401	400
Biológiai érték*	53	75	98	47	61	74,8	74,7

* Morup és Olesen (1976) módszere szerint számolva!

A táblázat adataiból látható, hogy a felhasznált alapanyagok közül a búzaliszt és a glutén tartalmazza a legkisebb mennyiségben az esszenciális aminosavakat, melynek megfelelően a búzaliszt- (53) és a glutén- (47) fehérje biológiai értéke a legkisebb. Az extrahált szójadara magas lizin- és treonintartalma a várakozásnak megfelelő, kéntartalmú

aminosav-tartalma viszont szerény, ennek megfelelően a **fehérje biológiai értéke 75**. A **tojásfehérje** kimagasló esszenciálisaminosav-tartalmánál fogva a **legnagyobb biológiai értékkel rendelkezik (98)**, és magas metionin- és cisztintartalmánál fogva kiválóan tudja a szója- és a búzafehérje, valamint a glutén alacsony kéntartalmú aminosavait kiegészíteni. A tojásfehérje magas lizin-, de különösen treonintartalma is hozzájárul a vele kiegészített MF-kenyér magas biológiai értékéhez. A **glutén** alacsony lizin-, treonin-, valamint kéntartalmú aminosav-tartalma miatt a **legalacsonyabb biológiai értékű**.

A kontrollkenyér a tészta készítés során alkalmazott adalékanyagok aminosav-összetétele és a sütés során lejátszódó folyamatok (Maillard-reakció, a kéntartalmú aminosavak és a treonin minimális károsodása) miatt gyakorlatilag ugyanolyan aminosav-tartalmú, mint a búzaliszt. A minimális lizin-, metionin- és cisztinveszteség miatt biológiai értéke annál némileg kisebb.

A táblázat a két különböző sarzsból származó MF-kenyér adatait mutatja. Mivel az adatok gyakorlatilag egybeesnek, a két mérési eredményt együtt lehet értékelni. Az MF-kenyér fehérje hisztidintartalma (27 mg/g) kissé nagyobb, mint kontrollkenyéré, köszönhetően az extrahált szójadara magas hisztidintartalmának. Izoleucin-tartalma kissé nagyobb, ami a tojásfehérje nagyobb izoleucin-tartalmának következménye. Leucintartalma ugyancsak nagyobb, mert mind a szójafehérje, mind a tojásfehérje nagyobb leucintartalommal bír, mint a búzafehérje. **Lizintartalma mintegy 80%-kal nagyobb a kontrollkenyérénél a szója és a tojásfehérje magasabb lizintartalma miatt.** Kéntartalmú aminosav-tartalma (metionin, cisztin), a szója alacsony kéntartalmú aminosav-tartalma miatt a kiegészítés ellenére sem nagyobb a kontrollkenyérénél, amit viszont kompenzál a tojásfehérje szükségletnél jóval nagyobb kéntartalmú aminosav-tartalma. Összességében a kontroll- és az MF-kenyér fehérjéinek kéntartalmú aminosav-tartalma azonosnak tekinthető.

Az MF-kenyér fehérjéje több mint 10%-kal több aromás aminosavat (tirozin, fenilalanin) tartalmaz, és még nagyobb a különbség a **treonintartalomban, ahol a különbség majdnem eléri a 30%-ot. Triptofántartalomban is mutatkozik a 30%-os különbség**, a két fehérje valintartalmában viszont csak csekély a különbség az MF-fehérje javára. (Az értékelés minden aminosav esetében a fehérjére vonatkozik és nem az aminosavak mennyiségére. Mivel az MF-kenyér majd háromszor annyi fehérjét tartalmaz, mint a kontrollkenyér, ezért még a kéntartalmú aminosavak mennyisége is majd háromszor nagyobb koncentrációban van jelen az MF-kenyérben, a többi aminosavnál pedig elérheti a négy-ötösörös különbséget is.)

Az aminosav-összetételből számolva a glutén biológiai értéke 47, a búzaliszté 53, a szójadaráé 75, míg a tojásfehérjéporé 98. **A kontrollkenyér biológiai értékét 61-nek, az MF-kenyérét pedig 75-nek mértük.** Összességében tehát elmondható, hogy a **búzafehérje 53-as biológiai értékét** extraháltszójadara-, tojásfehérjépor- és gluténkiegészítéssel 75-re, azaz több mint **40%-kal növelni tudtuk.** (Az adatok minden esetben a fehérjére vonatkoznak.) Az MF-kenyér fehérjetartalmát, a fehérje aminosav-összetételét hasonlítva a napi fehérje és aminosav szükséglethez megállapítható, hogy három-négy szelet MF-kenyérrel egy felnőtt napi esszenciálisaminosav-szükségletének nagyobb része (60–70%-a) fedezhető.

A hidroximetil-furfurol mennyisége

A kontrollkenyér hidroximetil-furfurol (HMF-) tartalmát, öt mérés átlagában, $0,98 \pm 0,05$ mg/kg-nak, az MF-kenyérét pedig $4,56 \pm 0,34$ mg/kg-nak mértük. Egytényezős varianciaanalízissel elemezve az adatokat a különbségek szignifikánsak, tehát a szójafehérje és tojásfehérje hozzáadását követően **a hidroximetil-furfurol tartalom nőtt a kenyerekben, ami hozzájárulhat az MF-kenyér ízének kialakításához, az antioxidáns jellegű vegyület mennyiségének növeléséhez, de minimális, szinte elhanyagolható mértékben csökkentheti is a felhasználható lizin mennyiségét.**

Az érzékszervi vizsgálat eredményei

A Codex Alimentarius (2004) előírásai szerint elvégzett vizsgálatok alapján a kontroll- és az MF-kenyér **alakjában** (a kenyértípusra jellemző, szabályos, arányosan domború, ne legyen torz alakú), **a héj tulajdonságaiban** (a kenyértípusra jellemző színű, fényes, sima vagy cserepes, esetleg szórt vagy vágott, ne legyen végig repedt, kormos, szennyezett, égett, ázott, sérült), **a bélzetben** (átsült, a héjtől nem elváló, a liszt jellegének megfelelő egyenletes színű, rugalmas, csomómentes, ne legyen szalonnás, ragacos, morzsálódó, széteső, ne tartalmazzon idegen anyagokat) és **az ízben és illatban** (a kenyértípusra jellemző aromájú, ne legyen idegen ízű és szagú) **csak minimális különbséget tudtunk megállapítani.** A magasabb lizin- és magasabb egyéb aminosav-tartalomnak megfelelően az **MF-kenyér illata és íze eltér** ugyan a hagyományos alapanyagokból készített kenyérétől, de **az illat- és ízkülönbség nem zavaró**, pár nap alatt hozzá lehet szokni. A lényeges különbséget a héj és a bélzet színében tapasztaltuk, mely szerint **az MF-kenyér bélzetének színe sötétebb, a héj pedig egészen a sötétbarnaig változhat**, ami a magasabb lizintartalom és a sütés alatt lejátszódó Maillard-reakció következménye.

13.4.1.7. Értékelés, az eredmények összefoglalása

Az MF-kenyér előállításához használt alapanyagok összetételét meghatározva, azokat megfelelő arányban összekeverve egy olyan összetételű lisztet állítottunk elő, melynek energiataralma 1364 kJ/100 g, zsírtartalma $1,4\%$, amelyből a telített zsírsav kevesebb, mint $0,5\%$, szénhidrátartalma $35,4\%$, melyből cukor $2,8\%$, keményítő $32,6\%$, rost $14,4\%$, fehérje $35,0\%$ és só $0,125\%$. Ez a keverék a finomliszthez képest **majd háromszoros fehérjetartalmú és 50%-kal csökkentett szénhidrátartalmú természetes élelmiszer-alapanyag.**

A felhasznált alapanyagok közül a búzaliszt és glutén tartalmazta a legkisebb mennyiségben az esszenciális aminosavakat, melynek megfelelően a búzalisztfehérje (53) és a glutén (47) biológiai értéke a legkisebb. Az extrahált szójadara magas lizin- és treonintartalma a várakozásnak megfelelő, kéntartalmú aminosav-tartalma viszont szerény, ennek megfelelően a fehérje biológiai értéke 75. A tojásfehérje kimagasló esszenciális aminosav-tartalmánál fogva a legnagyobb biológiai értékkel rendelkezik (98), így magas metionin- és cisztintartalma miatt kiválóan tudja a szója és a búza, valamint a glutén alacsony kéntartalmú aminosav-tartalmát kiegészíteni.

A kontrollkenyér- és az MF-kenyér-fehérje aminosav-összetételét összehasonlítva megállapítottuk, hogy az MF fehérjéje a metionin és a cisztin kivételével lényegesen több esszenciális aminosavat tartalmaz, melynek következtében a **kontrollkenyér-fehérje biológiai értéke 61, az MF-kenyér-fehérjéé pedig 75**. Ha figyelembe vesszük még azt a tényt is, hogy az MF-kenyér majd háromszor annyi fehérjét, ezért a kéntartalmú aminosavakból háromszor, a többi esszenciális aminosavból pedig négyszer-öttször többet tartalmaz, akkor levonható az a következtetés, hogy két-három szelet MF-kenyérrel egy felnőtt napi esszenciális aminosav-igényének 60–70%-a kielégíthető.

Az érzékszervi vizsgálatok szerint a magasabb lizin- és magasabb egyéb aminosav-tartalomnak megfelelően az MF-kenyér illata és íze, a héj és a bélzet színe és állaga, az alkalmazott nagyobb fehérjetartalmú kiegészítők miatt, eltér a normál kenyéretől.

Összességében tehát elmondható, hogy az MF-kenyér jó ízű, magas fehérje- és esszenciális aminosav-tartalmú, a hagyományos kenyérnél majd háromszor több fehérjét és háromszor-öttször több esszenciális aminosavat tartalmazó, a kenyerek közül kimagasló biológiai értékű élelmiszer, mellyel az ember esszenciális aminosav-igényét jó hatásokkal ki lehet elégíteni.

13.4.2. Lizinnel dúsított kenyér előállítása

Az előző fejezetben különböző magas biológiai értékű fehérjék alkalmazásával előállított megnövelt fehérje- és rosttartalmú, alacsony keményítőtartalmú és magas biológiai értékű fehérjét tartalmazó kenyér előállítására végzett kísérleteink eredményeiről írtunk. Ebben a fejezetben egy olyan funkcionális élelmiszer, a **lizinnel dúsított kenyér** előállításáról írunk, amely segít a herpes simplex vírus által kiváltott tünetek kezelésében, és előnyös hatású a csontritkulás és egyéb keringési rendszeri betegségek kezelésében is. Elképzelésünk szerint a búzaliszt megfelelő mennyiségben, korábbi munkáink és előzetes becsléseink szerint 0,5–2%, L-lizint keverve egyrészt növelni tudjuk az esszenciális és a búzaliszt esetében a limitáló aminosav mennyiségét, növeljük a búzafehérje biológiai értékét, és a biológiai érték növelésénél nagyobb mennyiségben adagolva olyan funkcionális, egészségvédő, ill. egészségmegőrző terméket tudunk előállítani, mellyel fel tudjuk számolni a herpeszvírus okozta kártételeket az emberi szervezetben.

Hipotézisünk szerint a kenyérsütés során előállított vegyületek, az L-lizin maradékával együtt, a herpes simplex vírus szaporodását hatékonyan gátolják, és számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a kiemelkedően nagy lizin/arginin arány miatt, ami értékes funkcionális élelmiszerré teszi a megnövelt lizintartalmú lisztből készült kenyeret. Mivel a kenyér sütése során a kenyérbél hőmérséklete a 100°C-ot nem haladja meg, bízunk benne, hogy a kenyér belsejében a lizintartalom gyakorlatilag változatlanul megmarad, míg a kenyér héjában és közvetlenül az alatt jelentős mennyiségben átalakul színes ízanyagokká (Maillard-reakció), valamint antioxidánsokká.

Összefoglalva az általunk alkalmazott megoldás lényege az, hogy a teljes értékű aminosav-összetételhez képest jelentősen megváltoztatjuk a lizinarányt, ami által olyan terápiás hatást érünk el, mellyel gyógyítani, illetve megakadályozni tudjuk a herpeszt, és más egyéb hasznos tulajdonságok is kialakulnak. A lizin/arginin arány jelentős megváltoztatása miatt 0,5–2% mennyiségben terveztük adagolni a lizint a búzalisztbe, melynek során egy magas biológiai értékű funkcionális élelmiszert kapunk, amelynek egészségvédő, ill.

egészségmegőrző hatása is van. Ebben a fejezetben a lizines kenyérral kapcsolatos kutatásaink eredményeiről számolunk be.

13.4.2.1. A kenyéralapanyagok összeállítása és a sütés

Az alapanyagok összetételének tervezésénél figyelembe kell venni a késztermék lizintartalmát, ill. a Lys/Arg arányt a késztermékben. 0,5%-nál kevesebb lizint a terápiás hatás elmaradása miatt nem célszerű alkalmazni, míg a 2%-nál nagyobb mennyiségű L-lizin, előkísérleteink alapján, jelentősen ronthatja a termék élvezeti értékét, hisz a nagy mennyiségű Maillard-reakciótermék nem kívánt íz- és színhatással járhat.

Az alapkeverék összetétele megegyezik a lizint nem tartalmazó, hasonló termék összetételével, az L-lizint pedig L-lizin-hidroklorid formában, szilárd, porszerű állapotban kevertük a liszthez, majd ezt a kenyérsütési technológia előírásai szerint összedolgozzuk a többi összetevővel és a vízzel. **Az optimális lizinnennyiség megállapítása céljából a lizint 0,5, 1, 1,5 és 2% koncentrációban kevertük a búzaliszthez, és vizsgáltuk az így kapott kenyerek mindazon tulajdonságait, melyeket a kenyerek minősítése során a gyakorlatban alkalmaznak.**

A fehér kenyér sütése során az általános alapelveket követve a következő alapanyagokat használtuk fel: víz 205 ml, olaj 20 g, só 15 g, sovány tejpor 20 g, liszt 350 g, szárított élesztő 10 g. A tésztát a kívánt termék jellegétől függően kelesztettük, formáztuk, ízesítettük, majd a tanszékünkön működő automata kenyérsütő berendezésben $210 \pm 10^\circ\text{C}$ sütési hőmérsékleten megsütöttük. Az előzetes eredmények birtokában szükség szerint változtathatjuk a sütési hőmérsékletet és időt annak megfelelően, hogy **nagyobb lizin-, vagy nagyobb antioxidáns tartalmú kenyéret akarunk előállítani.**

13.4.2.2. A kenyér összesfehérje-tartalma

A kontroll kenyér fehérjetartalmát 8,86%-nak, a 0,5% lizin tartalmú lisztből készült kenyér fehérjetartalmát 9,20%-nak, az 1% lizin tartalmú lisztből készült kenyér fehérjetartalmát 9,24%-nak, az 1,5% lizin tartalmú lisztből készült kenyér fehérjetartalmát pedig 10,14%-nak mértük. Egytényezős variancia analízissel bizonyítottuk, hogy a hozzáadott lizinnek köszönhetően a kontroll kenyérnek összesfehérje tartalma szignifikánsan nő, de a növekedés nem olyan mértékű, mint ahogy a hozzáadott lizin mennyiségéből várni lehetne, amit a lizin némi bomlásával, és a megnövekedett Maillard-reakció termékek kialakulásával tudunk magyarázni.

13.4.2.3. A kenyér lizintartalma

A liszt lizintartalmát 0,32, a kontroll kenyéret 0,38, a 0,5% lizin tartalmú búzalisztből készült kenyéret 0,48, az 1% lizin tartalmú búzalisztből készült kenyér 0,67, az 1,5% lizin tartalmú búzalisztből készült kenyér 0,95, a 2% lizin tartalmú búzalisztből készült kenyéret pedig 1,11%-nak mértük. Egytényezős variancia analízissel elemezve a különbségek szignifikánsak.

Az adalékanyagok hatására liszt lizintartalma 0,32%-ról 0,38%-ra nőtt. A hozzáadott lizin hatására természetesen növekedett a kenyér lizin tartalma, bár bizonyos veszteség megfigyelhető. A lizinveszteség a kenyérsütés során a kenyér belében, de főként a héjában

lejátszódó lizin átalakulással (Maillard reakció) magyarázható. Ez a veszteség főként a 2% lizin tartalmú búzalisztból készült kenyér esetén nagyon szembetűnő, itt a vártnál jóval kevesebb lizint mértünk.

13.4.2.4. A hidroximetil-furfurol mennyisége

A kontroll kenyér HMF-tartalmát 2,01 mg/kg-nak, a 0,5% lizin tartalmú búzalisztból készült kenyérét 3,25 mg/kg-nak, az 1% lizin tartalmú búzalisztból készült kenyérét 4,82 mg/kg-nak, az 1,5% lizin tartalmú búzalisztból készült kenyér 5,30 mg/kg-nak, míg a 2% lizin tartalmú búzalisztból készült kenyérét 48,02 mg/kg-nak mértük. Egytényezős variancia analízissel elemezve az adatokat a különbségek ugyan szignifikánsak, tehát **a hozzáadott lizin hatására nőtt a hidroximetil-furfurol tartalom a kenyerekben**, de mennyisége csak a 2% lizintartalomnál lett igazán számottevő.

13.4.2.5. Az érzékszervi vizsgálat eredményei

Ami az alakot illeti, a kontroll kenyér és a 0,5–1,5% lizint tartalmazó kenyér között alig kaptunk különbséget, a pontszám egy ötös skálán 4,0 és 5,0 között változott. Meglepő volt, hogy az 1,5% lizintartalmú kenyér pontszáma 5,0-ról még plusz 0,5% lizinkiegészítés hatására 3,2-re csökkent. Hasonló volt a tendencia a héj esetében is, bár itt a különbségek jóval kisebbek voltak. Nem találtunk ilyen összefüggést a bélzet esetében, sőt úgy tűnik, hogy **a lizinkiegészítés még a 2% lizintartalmú lisztnél is javítja a bélzet állapotát a kontrollhoz képest**. Az illatra sem volt a lizinkiegészítésnek lényegesen rontó hatása, sőt a 0,5–1,5% lizinkiegészítésű kenyereknél lényegesen magasabb volt a pontszám a kontroll, vagy a 2,0% lizinkiegészítést kapott kenyerekhez képest.

A vizsgált tulajdonságok tekintetében az íz esetében kaptuk a legmeglepőbb eredményeket. Úgy tűnik, hogy **1,5%-os lizinkiegészítésig a kenyér íze gyakorlatilag nem változik**, sőt az 1,5%-os kiegészítésnél kaptuk a legnagyobb pontszámot, a **2,0%-os kiegészítés esetében** azonban az átlagosan 4,8-as pontszám 1,0-ra csökken, **a kenyér keserűvé**, ezért **élvezhetetlenné vált**.

A pontszámokat a súlyzófaktorokkal besorozva hasonló következtetésre jutottunk. 0,5% lizinkiegészítés hatására a kontroll kenyér 15,98-as pontszáma 16,46-ra, 1% lizinkiegészítés hatására 17,14-re, 1,5% lizinkiegészítés hatására 19,44-re nőtt, míg 2% lizinkiegészítés hatására, köszönhetően a nagyon alacsony íz pontszámnak, 12,68-ra csökkent. **A legmagasabb pontszámot az 1,5% lizin tartalmú lisztből készült kenyér érte el**, tehát levonhatjuk azt a következtetést, hogy ez a kenyér típus rendelkezik a legkedvezőbb érzékszervi tulajdonságokkal. **A 2% lizin tartalmú lisztből készült kenyér kapta a legalacsonyabb pontszámot**, mivel itt már erőteljes keserű íz volt észlelhető. Ennek a kenyérnek **a héja jóval sötétebb is volt**, mint a többi kenyéré, illetve az illata is csak 3,1 pontszámot kapott. Az érzékszervi vizsgálat eredményei szerint az 1,5%-ban hozzáadott lizin növeli a kenyér élvezeti tulajdonságait, vagyis ízét és színét, de a kenyér bélzetének kialakulására is jó hatással van.

13.4.2.6. Következtetések

Az érzékszervi vizsgálat elvégzése után arra a következtetésre jutottunk, hogy a búzalisztet 0,5–1,5%-ban lizinnel dúsítva az érzékszervi tulajdonságok vagy javultak, vagy nem

változtak a kontrollkenyérhez viszonyítva, 1,5%-nál nagyobb arányban viszont a kenyeret nem lehet lizinnel dúsítani, mivel a Maillard-reakciótermékek koncentrációja nő, és ez a kenyér ízét nagyobb koncentrációnál rossz irányba befolyásolja. Az íz túl a kenyér héja sokkal sötétebbé válik, ami nemkívánatos a vásárló számára. A 2% lizinnel dúsított lisztből készült kenyér hidroximetil-furfurol tartalma jóval magasabb az alacsonyabb lizintartalmú kenyerek hidroximetil-furfurol tartalmánál, így ennek tulajdonítjuk az erőteljes keserű íz megjelenését.

13.4.3. A lizinnel dúsított keksz előállítás terápiai célokra

13.4.3.1. Bevezetés

A fejlődő világ több országában a kis fehérjetartalmú növényi táplálék túlsúlya miatt gyakori lizinhiánnyal lehet számolni. A búzafehérje lizinnel történő kiegészítését a múlt század 50-es éveinek közepén kezdték alkalmazni, azonban az akkori törvényi szabályozások miatt csekély sikerrel. Állatok takarmányának lizinnel történő kiegészítése az 1970-es évek végétől napi gyakorlat Magyarországon is, amit az intenzív tartású állatfajok elterjedése tett szükségessé. A világon évente átlagosan 800 ezer tonna szintetikus lizint használnak fel a takarmányozás során, és manapság már az élelmiszerek kiegészítését is lehetővé teszik a jogszabályok.

Nagyon sok biológiai funkciója mellett kiemelendő, hogy a lizin hozzájárul a herpes simplex vírus (HSV) okozta tünetek kezeléséhez. E funkció kihasználására keksszel szerettünk volna jelentősebb mennyiségű lizint a szervezetbe bevinni, ezért kísérleteink során arra voltunk kíváncsiak, hogy a keksszel az emberi szervezetbe bevitt lizin hogyan hasznosul, hogyan szívódik fel, van-e terápiai értéke, ill. ha igen, sikerül-e vele meggátolni a herpesz kialakulását, ill. hatékony-e a már kialakult herpesz gyógyításában.

13.4.3.2. A lizin felszívódása és terápiai hatása a HSV elleni küzdelemben

Táplálkozási kísérletekben kimutatták, hogy a szintetikus lizin és a fehérjével bevitt lizin abszorpciója az emésztőrendszerből gyakorlatilag ugyanaz. Öt-hét órával a táplálék elfogyasztása után a lizin gyorsan eljut az izomszövetekbe, ahol koncentrációja a sejten belül és azon kívül is jóval nagyobb lesz, mint más szöveteknél.

A lizin antagonistája annak az argininnak, mely feltétlenül szükséges a HSV szaporodásához. A lizin gátolja az arginin felszívódását a vékonybélből, reabszorpcióját a vesében és transzportját a plazmamembránokon keresztül, in vivo kísérletekben pedig gátolta az arginin HSV növekedést elősegítő hatását. A lizin-arginin arány növekedése az, ami a HSV elleni küzdelemben döntő fontosságú.

Az L-lizin számos kísérlet által bizonyítottan hatásos a herpes simplex vírus által kiváltott tünetek kezelésében, és in vivo és in vitro kísérletekben is herpeszellenes hatású. Már 1974-ben az L-lizin-adagolással a herpeszvírus szaporodását vissza tudták szorítani, és a herpeszt eredményesen tudták kezelni. Embernél, akik egy éven keresztül napi 1000 mg L-lizint fogyasztottak, a szérum szabadlizin-szintje 165 nmol/ml-re nőtt, és amennyiben a folyamatos lizinadagok hatására ezen a szinten vagy e fölött maradt, a kontrollhoz képest jelentősen csökkent a herpeszelőfordulás gyakorisága. Megállapították, hogy a herpeszbetegségben szenvedő páciensek több mint felének életminősége jelentősen javult a lizintartalmú

készítmények folyamatos szedését követően. Tabletta-, krém- és oldatformában is alkalmazták az L-lizint, cinket, szelént, rezet és ciszteint tartalmazó készítményekkel együtt, amelyek alkalmasnak bizonyultak a HSV által kiváltott tünetek kezelésére.

Felmerülhet a kérdés, hogy lizintúlfogyasztás okozhat-e valamilyen problémát a szervezetben. Kutatások igazolták, hogy sem normál táplálkozási körülmények között, sem lizinkiegészítéskor **nem kell félni lizintúltáplálástól.** A kutatások alapján úgy tűnik, hogy a HSV megelőzésére 500–3000 mg lizinfogyasztás javasolt naponta, azonban a szinten tartáshoz elégnek tűnik 500–1000 mg, míg a 3000 mg csak súlyos esetekben, rövid ideig alkalmazható. Ha mégis a szükségletnél nagyobb mennyiségű lizin kerülne a szervezetbe, akkor a szervezet azt energiaként hasznosítja. A lizin lebomlása igen komplex, mivel hat szénatomjából négy acetoacetyl-CoA képzésében vesz részt (ketogén aminosav), míg kettő decarboxilálás következtében szén-dioxiddá alakul. Összefoglalva tehát elmondható, hogy **L-lizin bevitele a szervezetbe, bármilyen formában is történjen,** javítja a lizinhiányos fehérjék biológiai értékét, hozzájárul a fiatal szervezet optimális fejlődéséhez, és a sok egyéb terápia hatás mellett **eredményesen alkalmazható a herpeszvírus elleni küzdelemben.**

13.4.3.3. A lizinnel kiegészített keksz előállítás

Az előzőekben leírtak meggyőzőek abban a vonatkozásban, hogy a lizinkiegészítés hasznos lehet sokféle betegség megelőzésére, ill. ha kialakul a betegség, annak gyógyítására. Felmerül a kérdés, hogy milyen formában célszerű a lizint bevinni a szervezetbe? A gyógyszer vagy gyógyhatású készítmény formájában történő bevitel nehézkes, speciális engedélyekhez kötött, **a gyógyhatással rendelkező funkcionális élelmiszerek forgalmazásának** azonban **nincsenek korlátai.** A fentiek miatt határoztuk el, hogy a lizint kekszformában juttatjuk a szervezetbe, és vizsgáljuk, hogy a szervezetbe bejutó lizin hogyan szívódik fel az emberben, hogyan növeli meg a vérérum szabadlizin-tartalmát. Célunk volt vizsgálni azt is, hogy **a sütés ideje és hőmérséklete hogyan befolyásolja a lizin hasznosulását a szervezetben.**

A vizsgált termék

Vizsgálatainkhoz a lizinkiegészítéssel készített kekszet választottuk, melynek főbb jellemzői az alábbiak voltak: citromízű kalciumforrás, megnövelt lizintartalommal és bevizsgált antioxidáns aktivitással. A következő összetevőket tartalmazta: búzaliszt 63,4%, növényi zsír, cukor, izocukor, savópor, L-lizin-hidroklorid 3,8%, glutén, kalcium-karbonát 0,8%, aromák, térfogatnövelő szerek (ammónium-hidrogén-karbonát, nátrium-hidrogén-karbonát), antioxidáns, borkősav, emulgeálószerként szójalecitin, só, és nyomokban diófélek, földimogyoró és tojáspor. A vizsgálatokhoz használt keksz összetétele 100 g termékre vonatkoztatva az alábbi volt: energiatartalom: 1955 kJ, fehérje: 8,9 g, szénhidrát: 67,6 g, ebből cukor: 21,1 g, zsír: 17,5 g, ebből telített zsírsav: 8,2 g, élelmi rost: 0,2 g, nátrium: 17 mg, kalcium: 400 mg, L-lizin: 3000 mg, ebből szabad L-lizin: 2300 mg, antioxidáns aktivitás: 76,5 mg C-vitamin-egyenérték FRAP-módszerrel meghatározva.

A keksz sütésénél alkalmazott idő- és hőmérséklet-kombinációk

Mivel a kekszet átlagosan 30 percig sütik, ezért a sütési időt nem, csak a sütési hőmérsékletet változtattuk a keksz előállítás során. 120, 130, 140, 150, 160, 170 és 180°C-on

végeztük el a keksz sütését, majd mértük a különböző hőmérsékleten készült kekszek összetételét, ezen belül a szabadaminosav- és összesaminosav-tartalmat, különös tekintettel a szabad lizinre. Antioxidáns aktivitását FRAP-módszerrel határoztuk meg, és mg/kg C-vitamin-egységekben fejeztük ki.

A lizines keksz összes- és szabadaminosav-tartalma

A keksz összesaminosav-tartalma jellemző a búzára, ill. azon komponensekre, amelyeket a búzaliszthez adtak a keksz előállítás során azzal a különbséggel, hogy a hozzáadott lizin az arányokat kissé megváltoztatta. A lizines keksz lizintartalmát 2,98%-nak mértük, ami a fehérjére átszámolva 24,2%-ot tett ki. A lizinen kívül a komponensek arányából adódóan a fehérjében dominált a glutaminsav (26,3%) és a prolin (8,0%). A 2,98% lizin egy része a búza eredeti lizintartalma, a másik része pedig az általunk hozzáadott lizin. A lizines keksz arginintartalmát 0,37%-nak mértük, ami a fehérjében 3,0%-ot tesz ki, tehát a lizines keksz lizintartalma majd kilencszer több, mint az arginintartalma.

A szabadaminosav-tartalmat vizsgálva a 3000 mg hozzáadott lizinből csak 2300 mg-ot sikerült visszamérnünk, 700 mg elbomlott, ill. átalakult a sütés során. A lizin a Maillard-reakció egyik komponense, melynek során a fehérje és a szénhidrátok reakciójából különféle színes termékek (barna színyanyagok) és aromakomponensek keletkeznek. A reakciósor végtermékei a színes melanoidinek és a további reakciókra képes hidroximetilfurfuról (HMF), és kisebb mértékben antioxidáns hatású vegyületek is keletkeznek. Az átalakulások csökkentik a felhasználható lizin mennyiségét, hasznosak viszont a szín-, az íz- és aromaanyagok, valamint az antioxidánsok keletkezése miatt.

Vizsgálataink szerint az L-lizin a 130°C-on 30 percig történő sütés alatt mintegy 60–80%-ban változatlan formában a kekszben marad, így a késztermékben a lizin/arginin arány megfelelő lesz a terápiás célokra. Az átalakult lizinből antioxidánsok keletkeztek, amelyek növelték a készítmények terápiás és élvezeti értékét. Megállapítottuk, hogy a mono- és diszacharidok jelentősen befolyásolják a keletkező antioxidánsok mennyiségét, és azt is, hogy e célból a szacharóz mellett előnyös a fruktóz és a dextróz alkalmazása.

A lizines keksz, mint funkcionális élelmiszer, aminosav-összetétele is jelentősen eltért a kontrollkeksz aminosav-összetételétől. Lizinkiegészítés hatására a keksz szabadaminosav-tartalma a kontrollban mért 0,0034%-ról 2,19%-ra, az összeslizin-tartalom 0,13%-ról 2,82%-ra, a fehérjén belül pedig 1,6%-ról 25,8%-ra nőtt. A lizin/arginin arány a szabadaminosav-frakcióban 0,36-ról 55,58-ra, az összeslizin-tartalmat tekintve pedig 0,30-ról 4,78-ra nőtt. Ezek a megállapítások azért rendkívül fontosak, mert **az egy alatti lizin/arginin arány kedvez a herpeszvírus szaporodásának, míg a 2–4-nél nagyobb érték terápiás hatású.** Az 5 g-os kekszek 100 mg körüli szabadlizin-tartalma alkalmas arra, hogy a kívánt hatás eléréséhez szükséges 1–3 g/nap lizinbevitel biztosítható legyen, hiszen ez 10–30 keksz elfogyasztását jelenti. Az előállított termékek herpeszellenes hatását kettős vak klinikai kísérletekkel igazoltuk.

Megállapítottuk, hogy a **sütési hőmérséklet és a sütés időtartama jelentős hatással van a termékben maradó szabad lizin és a keletkezett antioxidánsok mennyiségére is.** 30 perces sütési időt alkalmazva 120°C-on a lizin 95%-a szabad marad, míg ez az arány 180°C-on 20% alá csökken. Az antioxidáns aktivitás ezzel ellentétesen változik, ugyanis C-vitamin-egyenértékben mérve ez 120°C-on alig nagyobb a nullánál, 180°C-on viszont

eléri a 600–700-at is, a kontrollkeksznél viszont ez az érték 0–150 között alakult. A sütési időt 15 percről 60 percre növelve az antioxidáns aktivitás az 1% lizint tartalmazó keksz esetében 20–25-ről 120–140 körülire nőtt, míg ez az érték a kontrollkeksznél 15–50 között alakult. A mérési adatok birtokában optimaltuk a technológia paramétereit (sütési idő, hőmérséklet) a nagy antioxidáns tartalom és alacsony lizinkonverzió céljából.

13.4.3.4. A lizinfelszívódás vizsgálata

A klinikai kísérletekhez kiválasztott önkéntesek a kísérletek megkezdésekor orvosi vizsgálaton mentek keresztül, melynek során felmérték egészségi állapotukat, testi kondíciójukat, kérdőíves kikérdezéssel felmérték táplálkozási szokásaikat, és elvégezték a szükséges vérvizsgálatokat. Ezt követően hat fő fogyasztott hat darab, azaz 100 g kekszet, mely egyenként 333 mg lizin-hidrokloridot tartalmazott, így az összes lizinfogyasztás a kísérlet megkezdésekor összesen 2000 mg volt. Ezzel párhuzamosan két fő ugyancsak hat darab, de hozzáadott lizint nem tartalmazó kekszet fogyasztott; ők alkották a kontrollcsoportot. Mindkét csoport tagjaitól a kekszek elfogyasztása előtt közvetlenül, majd ezt követően negyed, fél, egy, kettő, három és négy óra múlva vettek vért, majd határozták meg a vérminták összetételét. Centrifugálást követően a vérplazmát három részre osztották, majd meghatározták az antioxidáns-, a lizin- és a kalciumtartalmat.

A vérszérumminták lizintartalmának változása

Két kontrollegyed vérplazmájának szabadlizin-tartalma 2,80–3,00 mg/100 ml-ről fél óra alatt 2,95–3,13 mg/100 ml-re nőtt, majd 2,55–2,88 mg/100 ml közötti átlagos értékre csökkent. A kísérleti egyedek vérszérumának szabadlizin-tartalma a lizines keksz elfogyasztása előtt 2,77–2,98 mg/100 ml között alakult, mely fél óra alatt 3,62–5,11, egy óra alatt pedig 3,84–6,05 körüli értékre nőtt, melyet követően a negyedik óra végére mindegyik kísérleti egyednél jelentős mértékben csökkent. A fél-egy óra esetén mért értékek a kísérlet kezdetén mért értékekhez képest másfélszeresére nőttek, míg a kontrollegyedeknél gyakorlatilag nem változtak. Egytényezős varianciaanalízissel bizonyítottuk, hogy **a lizines kekszet fogyasztók esetében a vérszérum szabadlizin-szintjének növekedése szignifikáns**, míg a kontrollcsoport esetében szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni.

A vérszérumminták arginintartalmának és szabad lizin/szabad arginin arányának változása

A kontrollegyedeknél a vérszérum szabadarginin-tartalma 2,51–3,88 mg/100 ml, míg a kísérleti egyedeknél 1,88–4,39 mg/100 ml között változott, tehát nagy volt az egyedek közötti eltérés. A keksz elfogyasztása utáni idő függvényében **a szabadarginin-tartalom statisztikailag igazolható módon nem változott**, gyakorlatilag tehát állandó maradt a kísérlet folyamán. Hasonló megállapítást tehetünk az összes többi aminosavra, melyek koncentrációja kisebb-nagyobb mértékben változott a kísérlet folyamán, szignifikáns különbséget azonban a kísérleti és a kontrollcsoport között nem tudtunk kimutatni.

A szabad lizin/szabad arginin arány a vérplazmában a kísérlet kezdetén a kísérleti (0,91–1,29) és a kontrollegyedeknél (0,85–1,15) gyakorlatilag azonos volt. A kontroll-

egyedeknél ez az arány nem változott, míg a kísérleti egyedeknél fél óra alatt 1,38; egy óra alatt 1,35; 2 óra alatt 1,29; három óra alatt 1,19; míg négy óra alatt 1,14-szeresére nőtt. Varianciaanalízissel megállapítottuk, hogy a **lizines keksz fogyasztók vérszérumának szabad lizin/szabad arginin aránya szignifikánsan megnőtt** az eredeti értékhez és a kontrollcsoporthoz viszonyítva. A kontrollcsoportnál ez az arány nem változott szignifikánsan az idő függvényében.

A vérszérumminták antioxidáns szintjének változása

A kontrollegyedek vérszérumának antioxidáns szintje az egyik esetben 31,2 és 37,7, a másik esetben 59,5 és 68,3 mg C-vitamin-egyenérték/1000 ml között változott. Nagy eltérés volt a kísérleti egyedek között is az antioxidáns szintben (36,0–117,7), ezért a két csoport között szignifikáns különbséget e tekintetben nem tudtunk kimutatni. Ha nem pusztán az antioxidáns szintet, hanem a kiindulási értékhez viszonyított antioxidáns szintet vizsgáltuk, akkor megállapítottuk, hogy **az antioxidáns szint szignifikánsan nőtt a lizines keksz fogyasztók esetében.**

13.4.3.5. Következtetések

A lizines keksz előállítása során a keksz sütési hőmérsékletét (130°C) úgy választottuk meg, hogy a lizin nagyobb része maradjon meg szabad formában, és csak kisebb része (20–25%-a) alakuljon át a Maillard-reakció során. **A sütési hőmérséklet 120–180°C közötti változtatásával a szabadlizin-, ill. a Maillard-reakciótermékek koncentrációját és arányát tudtuk változtatni**, de mivel célunk a vérszérum lizinszintjének megnövelése volt, ezért a 130°C-os hőmérsékletnél maradtunk. A keksz szabadlizin-tartalmát 3,0%-ra állítottuk be úgy, hogy az 5 g-os keksz mintegy 100 mg lizint tartalmazzon, így a kívánt terápiás hatás eléréséhez szükséges lizintartalom-bevitel 10–30 keksz napi elfogyasztásával megoldható.

2000 mg szabad lizin elfogyasztása után fél-egy órával **a kísérleti csoport vérszérumának szabadlizin-tartalma 41–46%-kal szignifikánsan nőtt** a kiindulási értékhez képest, és még a keksz fogyasztás utáni három óra elteltével is 20%-kal nagyobb volt a kiindulási koncentrációnál. A kontrollcsoport egyedeinél a kontrollkeksz-fogyasztás után kismértékben nőtt a szérum szabadlizin-koncentrációja, de ez a növekedés nem volt szignifikáns.

A vérszérum szabadarginin-tartalma sem a kontroll-, sem a kísérleti egyedeknél nem változott a kontroll-, ill. a lizines keksz fogyasztása után. **Ezért a lizint fogyasztó egyedek vérszérumának szabad lizin/szabad arginin aránya szignifikánsan megnőtt** a kiindulási értékhez és a kontrollcsoportéhoz képest.

A kontrollegyedek vérszérumának antioxidáns szintje gyakorlatilag változatlan maradt a kontrollkeksz-fogyasztás hatására, míg a lizines keksz fogyasztóknál mintegy 40–45 százalékkal nőtt a kiindulási értékhez viszonyítva.

Összefoglalóan megállapítható, hogy 2000 mg szabad lizint tartalmazó kekszek elfogyasztása után szignifikáns mértékben nőtt a vérszérum szabadlizin-koncentrációja, annak szabad lizin/szabad arginin aránya és a vérszérum antioxidáns szintje. Vizsgálataink egyértelműen bizonyították, hogy a keksz hatóanyagai bekerültek a véráramba, így a megnövelt koncentrációjú lizin minden ismert területen ki tudja fejteni jótékony hatását.

Felhasznált és ajánlott irodalom

- Albert Cs.–Gombos S.–Salamon R. V.–Prokisch J.–Csapó J.: Production of highly nutritious functional food with the supplementation of wheat flour with lysine. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 10. 2017. 5–20.
- Aredes-Fernández, P. A.–Vaquero, M. J. R.–Apud, G. R.–Stivala, M. G.: Bioactive compounds in wine. Recent advances and perspectives. Nova Science Publishers, 2016. 1–133.
- Baghci, D.–Preuss, H. G.–Swaroop, A.: Nutraceuticals and functional foods in human health and disease. CRC Press, Taylor & Francis Group. 2016. 1–729.
- Buglass, A. J.: Handbook of alcoholic beverages. Technical, analytical and nutritional aspects. John Wiley & Sons. 2011. 1–1167.
- Chandan, R. C.–Kilara, A.: Manufacturing yogurt and fermented milk. Wiley-Blackwell. 2006. 1–479.
- Cox, J.: From vines to wines. The complete guide to growing grapes and making your own wine. Versa Press. United States. 1999. 1–235.
- Csapó J.–Csapóné Kiss Zs. (szerk.): Élelmiszer- és takarmányfehérjék minősítése. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2006. (Társszerzők: Babinszky L.–Györi Z.–Simonné Sarkadi L.–Schmidt J.) 1–451.
- Csapó J.–Csapóné Kiss Zs.: A tehéntej táplálkozástudományi szempontból legfontosabb összetevői. I. Fehérjetartalom és aminosav-összetétel, zsírtartalom és zsírsav-összetétel. In A tej szerepe a humán táplálkozásban. (Szerk.: Kukovics S.) Melánia Kiadó, Budapest, 2009. 147–165.
- Csapó J.–Csapóné Kiss Zs.: A tehéntej táplálkozástudományi szempontból legfontosabb összetevői. II. Laktóz-, ásványianyag- és vitamintartalom. In A tej szerepe a humán táplálkozásban. (Szerk.: Kukovics S.) Melánia Kiadó, Budapest, 2009. 167–186.
- Csapó J.–Csapóné Kiss Zs.: A tej és tejtermékek szerepe a táplálkozásban. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2002. 1–464.
- Csapó J.–Csapóné Kiss Zs.: Élelmiszerkémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2004. 1–492.
- Csapó J.–Holló I.–Holló G.–Salamon R. V.–Salamon Sz.–Vargáné Visi É.–Csapóné Kiss Zs.: Szelénnel dúsított tej és tejtermékek előállítása (Production of milk and dairy foods enriched with selenium). *Tejgazdaság*, 2014. 74. 35–45.
- Csapó J.–Salamon R. V.: Tejipari technológia és minőségellenőrzés. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2006. 1–164.
- Csapó J.–Schäffer B.: A tej tulajdonságai. In *Tejgazdaságtan*. Szerk.: Szakály S. Dinasztia Kiadó, Budapest, 2001. 64–82.
- Csapó J.–Schobert N.: Production of a high nutritional value functional food, the Update1 bread, with supplementation of the wheat flour with high-protein-content raw food materials. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 10. 2017. 36–60.
- Csapó J.–Vargáné Visi É.–Salamon R. V.–Salamon Sz.–Csapóné Kiss Zs.: Tejsavbak-

- tériumok által termelt exopoliszacharidok és oligoszacharidok szerkezeti és mennyiségi analízise (Structural and quantitative analysis of exopolysaccharides and oligosaccharides produced by lactic acid bacteria). *Tejgazdaság*. 2014. 74. 3–17.
- Csapó J.–Vargáné Visi É.: Fermented foods and health. 4 Conjugated linoleic acid (CLA) production in fermented foods. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2014. 75–105.
 - Csapó J. (szerk.): Tejipari technológia. Tej és tejtermékek a táplálkozásban. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2014. (Társszerzők: Fenyvessy J.–Csanádi J.–Csapóné Kiss Zs.) 1–424.
 - Csapó J.: Élelmiszereink. Alapvető élelmiszerek. Tej és tejtermékek. In A táplálkozás egészségkönyve. Szerk.: Hajós Gy.–Zajkás G. Kossuth Kiadó, Budapest, 2000. 131–143.
 - Csapó J.–Albert Cs.–Prokisch J.: The role of vitamins in the diet of the elderly. I. Fat-soluble vitamins. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 10. 2017. 127–145.
 - Csapó J.–Albert Cs.–Prokisch J.: The role of vitamins in the diet of the elderly. II. Water-soluble vitamins. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 10. 2017. 146–166.
 - Csapóné Kiss Zs.–Kukovics S.–Csapó J.: A juh- és kecsketej táplálkozástudományi szempontból legfontosabb összetevői. In A tej szerepe a humán táplálkozásban. (Szerk.: Kukovics S.) Melánia Kiadó, Budapest, 2009. 187–206.
 - Ghosh, D.–Das, S.–Baghchi, D.–Smarta, R. B.: Innovation in healthy and functional foods. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. 1–598.
 - Kanekanian, A.: Milk and dairy products as functional foods. Wiley Blackwell, 2014. 1–406.
 - Kristbergsson, K.–Ötles, S.: Functional properties of traditional foods. Springer Science+Business Media, New York, 2016. 1–369.
 - Kristinsson, H.: Antioxidants and functional compounds in aquatic foods. Wiley Blackwell, 2014. 1–341.
 - Law, B. A.–Tamime, A. Y.: Technology of cheesemaking. Wiley-Blackwell. 2010. 1–515.
 - Moreno-Arribas, M. V.–Sualdea, B. B.: Wine safety, consumer preference, and human health. Springer, 2016. 1–329.
 - Noorhorm, A.–Ahmad, I.–Anal, A. K.: Functional foods and dietary supplements. Processing, effect and health benefits. Wiley Blackwell, 2014. 1–527.
 - Ottaway, P. B.: Food fortification and supplementation. Technology, safety and regulatory aspects. Woodhead Publishing Limited, 2008. 1–297.
 - Prokisch J.–Csiki Z.–Albert Cs.–Csapó J.: Production of high-lysine-content biscuit and examination of the absorption of lysine in humans. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 10. 2017. 21–35.
 - Prokisch, J.: Funkcionális élelmiszerek hatóanyagai. I. Vitaminok. Center Print Kft., Debrecen, 2010. 1–59.
 - Salter, A.–Wiseman, H.–Tucker, G.: Phytonutrients. Wiley Blackwell, 2012. 1–316.
 - Shi, J.–Mazza, G.–Le Maguer, M.: Functional foods. Biochemical and processing aspects. CRC Press, 2002. 1–542.
 - Shi, J.: Functional food ingredients and nutraceuticals: Processing technologies. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. 1–681.

- Skinner, M.–Hunter, D.: Bioactives in fruit. Health benefits and functional foods. Wiley Blackwell, 2013. 1–530.
- Skinner, M.–Hunter, D.: Bioactives in fruit. Health benefits and functional foods. John Wiley & Sons. 2013. 1–529.
- Smith, J.–Charter, E.: Functional food products development. Wiley Blackwell, 2010. 1–537.
- Wallace, T.–Guisti, M. M.: Antocyanins in health and disease. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. 1–362.
- Wilson, T.–Temple, N. J.: Beverage impacts in health and nutrition. Human Press, 2016. 1–378.

