

DEBRECENI EGYETEM

Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Doktori Iskola vezető:

Dr. Holb Imre János

egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Hodossi Sándor, DSc

Társtémavezető:

Dr. Domokos-Szabolcsy Éva, PhD

**Csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) fajták és ökotípusok vizsgálata zöld
biomassza hasznosítás céljából**

készítette:

Kaszás László

doktorjelölt

Debrecen

2022

**Csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) fajták és ökotípusok vizsgálata zöld
biomassza hasznosítás céljából**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében a növénytermesztési és kertészeti
tudományok tudományágban

Írta: Kaszás László okleveles kertészmérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája Növénytermesztési és
kertészeti tudományok doktori programja kertében

Témavezető: Dr. Hodossi Sándor
Társtémavezető: Dr. Domokos-Szabolcsy Éva

A doktori szigorlati bizottság:

elnök:	Dr. Dobránszki Judit DSc
tagok:	Dr. Kakuszi-Széles Adrienn PhD
	Dr. Lisztes-Szabó Zsuzsa PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2021.03.11.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
_____	_____	_____
_____	_____	_____

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:	_____	_____	_____
tagok:	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
titkár	_____	_____	_____

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉS JEGYZÉK	5
1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1 A csicsóka botanikai leírása és fejlődésmenete	8
2.2 A csicsóka termesztési körülményei.....	9
2.3 A csicsóka szaporításának módjai	10
2.4 A csicsókatermesztés technológiája	12
2.5 A csicsóka gumó beltartalmi értéke és hasznosítási lehetőségei	15
2.6 Föld feletti biomassa beltartalmi értéke és hasznosítási lehetőségei	18
2.7 Fehérjék és aminosavak forrása és szerepe a táplálékláncban.....	22
2.7.1 Állati eredetű fehérjeforrások	24
2.7.2 Alga- és rovarfehérje.....	24
2.7.3 Egysejt fehérje/Single Cell Protein (SCP)	25
2.7.4 Növényi alapú fehérje források.....	25
2.7.5 Magalapú fehérjeforrások	26
2.7.6 Zöld biomassa alapú fehérjeforrások	27
2.8 Biofinomítás	28
2.8.1 Zöld biofinomítás.....	30
2.9. Levélfehérje-koncentrátum előállítása.....	31
2.9.1 Nedves frakcionálás	32
2.9.2. Fehérje koncentráció növényi zöldléből.....	33
2.9.2.1 Termális koagulálás.....	34
2.9.2.2 Savas precipitáció.....	35
2.9.2.3 Fehérjék flokkulálása	36
2.9.2.4 Fermentáció	37
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	38
3.1 A csicsóka fajták/ökotípusok kisparcellás kísérleti beállítása	38
3.2 Zöld biomassa feldolgozás technológiai lépései.....	41
3.3 Zöld biomassa eredetű frakciók nyersfehérje és aminosav tartalom meghatározása ...	43
3.4 Aminosav összetétel/szabad aminosav tartalom meghatározás UHPLC módszerrel.....	44
3.5. A különböző zöld biomassa eredetű frakciók fehérje expressziós mintázatának vizsgálata 1D SDS-PAGE módszerrel	45

3.6 Zöld biomassza eredetű frakciók összes fenolos komponens tartalmának meghatározása	46
3.7 Zöld biomassza eredetű frakciók fitonutriens összetételének kvalitatív meghatározása UHPLC-ESI-ORBITRAP-MS/MS kapcsolt analitikai rendszerrel.....	47
3.8 Zöld biomassza eredetű frakciók fitonutriens összetételének kvantitatív elemzése UHPLC –MS módszerrel.....	48
3.9 Fotoszintetikus pigment tartalom meghatározás	48
3.10 Statisztikai kiértékelés	49
4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	50
4.1 Csicsóka fajták/ökotípusok szántóföldi összehasonlító jellemzése.....	50
4.2 A csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza produkciójának összehasonlító értékelése	55
4.3. A csicsóka zöld biomassza frakcionálás eredményei	61
4.3.1 Mennyiségi paraméterek összehasonlító vizsgálati eredményei.....	61
4.3.2 Minőségi paraméterek összehasonlító vizsgálatának eredményei	62
4.4 A fajta összehasonlító vizsgálatok eredményei	68
4.4.1 A fajták/ökotípusok mennyiségi összehasonlító vizsgálatának eredményei.....	68
4.4.2 Zöld biomassza frakciók nyersfehérje eredményei.....	76
4.4.3 A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók aminosav összetételének eredményei 80	
4.4.4 A csicsóka zöld biomassza frakciók fenolos komponenseinek minőségi és mennyiségi meghatározásának eredménye	86
4.4.4.1 Összes fenolos komponens mennyisége	86
4.4.4.2 Csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók fitokémiai összetétele	90
4.5 A csicsóka zöld biomassza frakciók fotoszintetikus pigmenttartalmának eredményei..	99
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	102
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	108
7. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK	109
8. ÖSSZEFOGLALÁS	110
9. SUMMARY.....	112
10. IRODALOM JEGYZÉK.....	114
KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	134
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	135
12. NYILATKOZATOK.....	139

RÖVIDÍTÉS JEGYZÉK

APS – ammónium perszulfát

BSA – szarvasmarhaszérum albumin

CHAPS – 3-[(3-klóramidopropil) dimetilammonium] -1-propánszulfonát

DDT – diklór-difenil-triklóretán

LFK – levélfehérje koncentrátum

PVP – polivinil-pirrolidon

SDS – nátrium dodecil szulfát

TEMED – N,N,N',N'-Tetrametiletiléndiamin

TRIS – tris(hidroximetil)aminometán

1. BEVEZETÉS

A csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) egy Észak-Amerikából származó szárgumós, mezőgazdasági szempontból egyéves, botanikai szempontból évelő növény. Felfedezése és termesztésbe vonásának több mint 400 éve alatt sokszor került a figyelem középpontjába, majd esett onnan ki.

A csicsóka szakirodalmi leírásait összevetve gyakorlati alkalmazásával ellentmondások láthatóak. A hazai és nemzetközi szakirodalom egyaránt dicséri a növényt és vetésforgóba illesztését határozottan javasolja, ennek ellenére termesztése nem terjedt el. Ez sokszor összefüggésbe hozható a növény hátrányainak kevésbé hangsúlyos kommunikációjával (pl. tárolási problémák). Főként az értékes komponensekben (pl. inulin) gazdag és nagy termőképességű gumójáért termesztik. A szakirodalom kettős hasznosíthatóságát elsősorban a tenyészidőszak végi elszáradt hajtásainak hőenergia nyerési célra történő égetésével, valamint a korábban említett nagy termőképességű gumóival magyarázza. Mindezekkel együtt a vegetációs időszak során fejlődő zöld leveles szár eddig kevésbé került az érdeklődés középpontjába, pedig ez jelentős biomasszát jelent.

Figyelembe véve korunk kihívásait, többek között a korlátozott erőforrásokat, növekvő hulladék mennyiséget és éghajlatunkban tapasztalt változásokat a megújítható energiaforrások szerepe mind az energiagazdálkodásban, mind a különböző ipari termékek előállításában felértékelődni látszik.

A biofinomításon belül a zöld biofinomítás a friss növényi biomasszára alapoz. A rendszer integráló szemléleten alapulva épít a biológiai, kémiai, műszaki és fizikai ismeretekre, szem előtt tartva a gazdaságosság, a környezettudatos- és körforgásos gazdálkodás irányelveit. Előnye, hogy technológiai lépései többirányúak lehetnek, a kívánt termék előállítás függvényében. A zöld biomasszában található anyagok izolálásához első lépésként (elsődleges finomítás) gondos nedves frakcionálási technológiát alkalmaznak. Így a zöld biomasszát (vagy nedves szerves hulladékot) rostokban gazdag présfogácsára és tápanyagokban gazdag zöldlére választják szét. A présfogácsa a cellulóz mellett értékes színanyagokat, különböző növényi hatóanyagokat és egyéb szerves anyagokat tartalmaz. A zöldlé fehérjéket, szabad aminosavakat, szerves savakat, színezékeket, enzimeket, hormonokat, egyéb szerves anyagokat és ásványi sókat tartalmaz. Különösen a biotechnológiai felhasználása predesztinálja a további feldolgozásokat, mert a frakciók egyidejűleg további „finomítás”-ra is felhasználhatók. A zöld levek feldolgozása az olyan termékekre irányul, mint a tejsav, aminosavak, etanol és fehérjék.

A présfogácsa felhasználható zöldtakarmány-pelletek előállítására, továbbá alkalmasak biogáz előállítására, hő- és villamosenergia-termelésre.

Ezen gondolaton tovább haladva kutatásom és dolgozatom a csicsóka, mint ipari növény, zöld biofinomítás koncepciójába való beillesztését, mint lehetséges fehérjeforrást veti fel lehetőségként. Munkám során hét, különböző földrajzi helyről származó csicsóka fajtát/ökotípust vizsgáltam extenzív körülmények között. A zöld biomassa betakarítását a tenyésztidőszak alatt két alkalommal végeztük el. A csicsóka kettős hasznosíthatóságából adódóan vizsgáltuk a tenyésztidőszak végén a gumóhozamokat is. Az értékelhetőség miatt a zöld biofinomítás hazai dedikált növényfajával, a lucernával (*Medicago sativa* L.) vetettem össze. Meghatározott technológiai sort követve a friss zöld biomasszából kapott különböző frakciókat (rost, zöldlé, barnalé és levélfehérje koncentrátum) vizsgáltunk.

Jelen munka célja a csicsóka zöld leveles szár értéknövelési lehetőségét vizsgálni a zöld biofinomítás biotechnológiai lépéssorainak felhasználásával extenzív termesztési mód mellett. Ehhez vizsgáltuk a csicsóka fajták/ökotípusok szántóföldi teljesítményét (kelés, növekedés, betakarítható zöld biomassa mennyiség, regenerációs képesség, gumóhozam). A csicsóka zöld biomassa meghatározott feldolgozás technológiai sort követően a különböző frakciókat (rost, zöldlé, barnalé és levélfehérje koncentrátum) vizsgáltunk. Az így kapott közvetlen (rost, zöldlé) vagy közvetett termékjelöltek (barnalé és levélfehérje koncentrátum) a célzott ipari felhasználással összhangban, egészségügyi, takarmányozási és táplálkozásbiológiai szempontból fontosabb értékmérő tulajdonságokat (pl. fehérjetartalom, aminosav összetétel) tártunk fel fizikai/biokémiai és analitikai (pl. UPLC-ESI-MS) módszerekkel.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A csicsóka botanikai leírása és fejlődésmenete

A csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) rendszertanilag a zárvatermők törzsébe (*Angiospermatophyta*), kétszikűek osztályába (*Dicotyledonopsida*), a fészkesvirágúak rendjébe (*Asterales*), a fészkesek családjába (*Asteraceae*), a csövesvirágúak alcsaládjába (*Asteroideae*) és a *Helianthus* nemzetségbe tartozik. A nemzetségbe többnyire magas termetű, lágyszárú egyévesek (*Terofiton*), gyakrabban félig rejtve telelő (*Hemikriptofiton*) vagy talajban telelő (*Geofiton*) évelők tartoznak (BALOGH, 2006).

Sok botanikai leírásban a csicsókát évelő növényként tartják számon, amit VERBUNG et al. (1996), CRAWLEY (1997) és KONČENKOVÁ (1998) helyesbít a következőképpen; szerintük ugyanis a csicsóka inkább *pseudoannual* növény. Ez azt jelenti, hogy a vegetációs periódus végén a növény föld feletti része és a gyökérzet elpusztul, csak a szárgumók (szaporítóképlet) maradnak a talajban, melyből a következő évben genetikailag azonos növények fejlődnek. A gumó csúcsrügyéből fejlődik ki a hajtás, mely a felszín felé törekszik, közben járulékos gyökérzetet fejleszt. Általában horizontálisan, a talajjal párhuzamosan növekszik a gyökérzet, de homoktalajon gyakran előfordul, hogy a mélyebb rétegekbe is lehatol. A szár érdesszőrös, általában 1- 3,5 m magas, jellemzően egyenes felálló. PAS'KO (1973) három méretkategóriát különböztet meg a hajtásokat illetően; (1) magas (> 3 m), (2) közepes (2-3 m magas) és (3) alacsony (<2 m). SWANTON (1986) szerint a különböző típusok átlag magassága 102 és 186 cm között mozog, HAY és OFFER (1992) szerint 119 és 164 cm közötti az átlagos magasság, míg KIEHN és CHUBEY (1993) szerint 115 és 275 cm közötti a növények vegetatív növekménye. Ezeket az adatokat nagyban befolyásolják a termesztési körülmények, a klimatikus viszonyok. Csapadékos területeken, valamint szélvédett helyeken a vegetatív növekmény elérheti akár a 4 métert is. A gumóból fejlődő hajtások száma is fontos értékmérő tulajdonság. PAS'KO (1973) itt is három kategóriát állított fel, melyek a következők: (1) több mint 3 db, (2) 2-3 db, (3) 1 db hajtás. Itt is el kell mondani, hogy a termesztési feltételek, körülmények nagyban befolyásolják a hajtások számát, valamint az alkalmazott fajta is.

A szárgumóból fejlődő hajtások átmérője átlagosan 1,6 és 2,4 cm között változik. Az elágazási és ezzel együtt az oldalhajtási képességben azonban vannak eltérések. TSVETOUKHINE (1960), valamint SWANTON (1986) megfigyelései alapján átlagosan 35-50 oldalhajtás fejlődik ki, de ezt a képességet nagyban befolyásolja a növények sűrűsége is. PAS'KO (1973) 4 elágazási kategóriát ismertet: (1) az oldalhajtások a főszáron mindenhol

képződnek, (2) a főszár alsóbb részén, (3) csak a főszár felső részén, (4) a főszár felső és alsó részén, a közepén nem.

Maga a dudvaszár -3 - -5°C hőmérsékleten már megbarnul, majd a száron maradó levelekkel együtt elszárad, vagyis nem áttelelő. A dudvaszárat a nóduszok szártagokra (ízetre) osztják, ahonnan a levelek erednek, a levél hónaljából pedig az oldalhajtások. A szár zöld színű, de lehet lilás, antociános elszíneződésű is fajtától függően. KIRÁLY (2009) szerint a virágzatok külső fészekpikkelyei elálló és egyenlő hosszúak. A sztolók és rajta a gumók fejlődése általában az ültetéstől számított harmadik hónapban indul meg, így a korai fajtákon már júniusban találhatunk gumót. A sztolók hossza, száma és a rajtuk fejlődő gumók mennyisége fajon belül elkülönítő bélyeg. A gumók felületét a burgonyától eltérően nem pararéteg, hanem parabőr (*pariderma*) fedi. Ebből adódik a nehezebb tárolhatósága, illetve a sztolóról való leválasztás után viszonylag nagy méretű köldöksebképződik. Megjelenését tekintve gumók változatosságok. Alakjuk alapján alapvetően négyféle gumótípust különböztethetünk meg: körte, tojásdad, orsó és szabálytalan (elágazó, „babásodó”) alakú. A színét tekintve lehet fehér, sárga, lila esetleg kék (KEYS és NOTTHINGHAM 2008; BALOGH, 2008). Általánosságban elmondható, hogy a fajták gumóinak és hajtásainak színe között nincs semmilyen összefüggés (PAS’KO 1973; TSVETOUKHINE, 1960).

A dudvaszáron a levelek közvetlenül vagy közvetve (oldalhajtásokon) helyezkednek el. A levél – szár arányát tekintve a fajták között eltérés tapasztalható. A levélzet 7-18 cm széles, szíves vagy széles tojásdad, nyélben kihegyesedő, fűrészes szélű. A levelek elhelyezkedése a száron és az oldalhajtásokon általában változó. Kezdetben a keresztben átellenes levélállás a jellemző, mely a tenyészidőszak előrehaladtával változik és a szórt levélállás lesz a meghatározó. Vannak változatok, ahol a hármasan örvös levélállással is találkozhatunk. A levelek alakja a vegetációs periódus alatt, a tenyészőcsúcs irányába haladva, igen változatos. A fő és az oldalhajtásokon való elhelyezkedése tekintetében még nagyobb az eltérés. Virága fészekvirágzat. A fészkek száma igen változatos 3-100 db, átmérőjük 4-12 cm, bennük csöves és nyelvs virágok egyaránt előfordulnak. A csöves virágok minden esetben sárgák. A nyelvs virágok pártája 25-45 mm, a kaszat 5-7 mm hosszú.

2.2 A csicsóka termesztési körülményei

I’SÓ (1955) szerint hazai elterjedését az éghajlati tényezők alig befolyásolják. A hőmérséklet a csicsóka termesztésében nem számottevő tényező. LAPIN (1947) idevágó elemzése szerint gumója még a -30 - -40°C-os fagyokat is kibírja, akár hótakaró nélkül is. Ebből adódik, hogy hazai viszonyok között az akár -15 - -20°C-os teleket is kibírják a talajban.

I'SÓ (1955) adatai szerint a hajtások és a szár fagytűrő képessége is hasonló. Kísérleteiben rávilágít, hogy sem a tavaszi, sem az őszi fagyok nem károsítják a csicsóka hajtásrendszerét oly módon, mint ahogy pl. a burgonyát.

A csicsóka termesztési körülményei közül inkább a csapadék a jelentősen befolyásoló tényező, valamint a fény mennyisége. A növény kissé nyirkos, üde talajokon fejlődik a legjobban. A hosszan tartó vízborítás (belvizes területek) nem kedvez a gumók fejlődésének, az időszaki vízborítást viszont kibírja. Ezen kívül a magas talajvízszint is korlátozó tényező. Ugyanakkor a csicsóka jól tolerálja a szárazságot, mivel a talaj vízkészletét kiválóan hasznosítja hatalmas gyökérzetével. A kritikus időszak az augusztus-október hónapok, a gumóképződés fő periódusa (I'SÓ, 1955). Ezeken a területeken az úgynevezett évelő vagy extenzív termesztésről nem beszélhetünk. SZENTANNAY (1936) tapasztalati szerint a szikessedésre hajlamos talajokat is kerülni kell, azonban I'SÓ (1955) megemlíti saját sikeres tapasztalatait. Az optimálistól eltérő talajokon (homoktalajok) is végeztek eredményes kísérleteket. A csicsóka alkalmas lehet a futóhomok megkötésére, olyan gyenge homoktalajokon is sikeresen termesztették, ahol a burgonyát már nem (PETHE 1805; SZÜTS 1883). KALLÓS (1927) munkájában egy 12 éves csicsókatermesztési kísérletről számol be, ahol futóhomokon történt a termesztés. Szerinte kockázat nélkül termesztethető itt a csicsóka. Továbbá azt is megállapította, hogy a csicsókának talajjavító hatása is van. Ezen túlmenően előnyként említhető meg, hogy a betakarított gumók tiszták, így azonnal ipari vagy takarmányozási célra felhasználhatóak. IZSÁK (2005) szerint a csicsóka természetföldrajzi igényeit leginkább a Duna-Tisza köze, a Tolna és Fejér megyei dombság, valamint a Duna és a Tisza völgye biztosítja a legjobban.

A fényigénye nagy, az árnyékhatásokra és a nappalhosszúságra (hosszúnappalos) élénken reagál. A hazai fényviszonyok a gumó- és leveles szártermésre egyaránt kedvezőek.

2.3 A csicsóka szaporításának módjai

A csicsókát gumóival, rizómaival, palántákkal, szövettenyészetekkel és magról is lehet szaporítani (KEYS és NOTTHINGAM, 2008).

A mezőgazdasági gyakorlatban leginkább a gumóról történő vegetatív szaporítás terjedt el. A csicsókát általában 45-60 g-os vetőgumókkal szaporítják. A nagyobb gumókat fel lehet darabolni, melyek ugyanúgy képesek a kihajtásra, mint az ép gumók (BAILLARGE 1942; I'SÓ 1955; MILORD 1987). A 40 g-nál kisebb gumók már nem képesek a jó eredésre, ezáltal a hozam is csökkenhet (BELBETZ, 1867; BOSWEL, 1959; KOVAC et al., 1983; MORENHOF és BUS, 1990). Vagyis a vetőgumó mérete és a későbbi termés mennyisége között pozitív korreláció tapasztalható.

A gumók kihajtása az ültéstől számított kb. 3-5 héten belül várható, amennyiben a gumók dormanciája (nyugalmi állapota) elmúlt (BAILLARGE, 1942; ZUBR, 1988). A gumók dormanciája termesztéstechnológiai szempontból fontos tényező. Ezen a ponton minden fiziológiai fázis szünetel, annak ellenére, hogy a környezeti feltételek adottak lennének a kihajtásra. KAYS és PAULL (2004) szerint ilyenkor a növények szinkronizálni tudják magukat az ideális környezeti feltételekhez. A dormancia hosszában a fajták/klónok között eltérés mutatkozik. LANG (1987) összefoglaló munkájából kiderül, hogy a csicsóka endodromancián esik át. Ez azt jelenti, hogy fiziológiai gátlás alá esik a gumók kihajtása. Ezt az élettani jelenséget általában a hosszan tartó alacsony hőmérséklet (jellemzően már a 0°C is) megtöri. Az első hajtások megjelenése nem csak a dormanciától, hanem a környezet és ezzel együtt a talaj hőmérsékletétől is függ, amely 2-5°C-nál már optimálisnak tekinthető (BARLOY, 1984; KOSARIC, 1984). SPRITTERS és MORRENHOF (1987), valamint MORRENHOF és BUS (1990) munkájuk szerint a gumók előhajtása felgyorsíthatja a kelés idejét és pozitívan befolyásolja a későbbi hozamot, de a friss hajtások igen sérülékenyek, könnyen lepattanhatnak a gumókról.

A rizómáról (földalatti szármódosulat) történő vegetatív szaporítást elsősorban a vad típusoknál alkalmazzák, mint lehetséges nemesítési alapot. SWANTON (1986) szerint az anyától akár 50 cm-es távolságra is képesek eljutni, majd ott egy intakt növényt létrehozni. A rizómák hossza függ az adott fajtától/klóntól, a talaj adottságaitól. Nagyobb növényesűrűség esetén a rizómák megjelenése elhúzódik, számuk, hosszuk, valamint az elágazások is redukálódnak (KOROVKIN, 1985). A csicsóka rizómákkal történő szaporítása lényegesen kisebb volumenű, mint a gumóról történő, azonban KONVALINKOVA (2003) szerint hasonló eredési eredmények érhetők el ezen módszerrel. Összefoglalva a szakirodalom eredményeit a csicsóka gumóról történő szaporítása két-háromszor több és nagyobb hajtásokat eredményez, mint a rizómák felhasználása, ezzel együtt egy lehetséges alternatíva.

A palántanevelést inkább akkor alkalmazzák, ha kevés számú gumó áll rendelkezésre egy adott fajtából/klónból. Ekkor a gumókat üvegházi körülmények között nagyobb növénynevelő konténerekben meghajtatják, majd a gyökeres hajtásokat 20-30 cm-es magasságot elérve vagy négy lombleveles állapotban óvatosan leválasztják a gumóról. Ezt a folyamatot 4-6 naponta ismétlik és kb. 4-5 hétig tart míg maximalizálni lehet a palánták számát, ami függ a gumók méretétől is. A palántákat közvetlenül szabadföldre nem lehet kiültetni, előzetesen edzetni kell őket. Ez a folyamat kb. 10-12 napot vesz igénybe. Az így kapott palánták száma továbbá függ a vetőgumó méretétől. Amennyiben a növényállomány és ezzel együtt a vetőgumó felszaporítása a cél, akkor ez a módszer sikerrel alkalmazható. Mindezekkel együtt korlátja,

hogy a módszer nagy kézimunkaerőt igényel, továbbá költséges is és csak a következő évben várható a tömeges ültetés.

A *Helianthus* fajokat sokféle anyagból sikeresen neveltek már *in vitro* körülmények között. A csicsóka esetében a tenyészetek túlnyomórészt a gumószövetek explantátumaiból voltak sikeresek (DUDITS és HESZKY, 2003). YEOMAN (1973) indirekt organogenezissel történő regenerációhoz dormancián még át nem esett gumó szeletekből indult ki. Hasonlóképpen CAPLIN (1963) is, csak kisebb explantátumot használt. A dormanciában lévő gumó explantátumokhoz növekedésszabályzó hormont, jellemzően auxint adnak. A különböző összetételű táptalajok más és más szövetek/szervek növekedését indukálják (MINOCHA és HALPERIN, 1974; ROCHE és CASSELLS, 1996). Szomatikus embriogenezissel is sikeresen regeneráltak csicsóka növényeket (PUGLIESI et al. 1993). Jellemzően 0,1 mg/l naftilecetsavval kiegészített táptalaj bizonyult legalkalmasabbnak az embriogén kallusz indukcióhoz.

A bakteriális fertőzések igen nagy gondot okozhatnak, így ennek elkerülése érdekében javasolt valamilyen antibiotikum használata is (PHILIPS et al., 1981; CASSELLS és COLLINS, 2000). ABDALLA et al. (2021) munkájában kanamicin és cefotaxim antibiotikum készítményeket használt különböző koncentrációkban. Eredményei alapján a cefotaxim kezelés 62,5 mg/l, valamint a 100 mg/l kanamicin bizonyult a legjobb kezeléseknek.

A csicsóka magról történő generatív szaporítása a gyakorlatban nem terjedt el. Főként azért, mert a csicsóka virágzatai hímsterilek, nagyfokú inkompatibilitást mutatnak, ebből adódik, hogy a magvak léhák lesznek (van de SADE BAKHUYZEN és WITTENROD, 1950). Ez a szaporítási módszer leginkább a nemesítés eszköze. A növényenkénti maghozam nagymértékben genotípus- és éghajlatfüggő. A vad típusok általában több magot képesek nevelni és jobb is a csírázási képességük, mint a termesztésbe vont fajtáké. I'SÓ (1955) kísérletes munkája alapján egy korai francia fajtáról ('*Blank commun D.19.*') azonban sikeresen gyűjtött életképes magokat. A magvak esetében is tapasztalhatunk dormanciát, KAMAR és SASTRY (1974) eredményei szerint a 20 napos magvak jobban csíráztak, mint a 30-40 naposak, ami alátámaszthatja a magvak egyfajta nyugalmi mechanizmusát az idő előre haladtával.

2.4 A csicsókatermesztés technológiája

Világviszonylatban a csicsóka nem számít jelentős gazdasági növénynek, 2006 és 2010 között 130 ezer hektár volt a termőterülete, melyből 78 ezer hektár Európában volt. A legnagyobb európai termelők Olaszország (50 ezer ha), Spanyolország (16 ezer ha) és

Franciaország (9 ezer ha) a maradék 3 ezer hektár pedig a többi ország között oszlik meg. Ezen időszakban az átlagos termésmennyiség 11 t/ha volt, Európában 10 t/ha (IZSÁKI, 2013).

A csicsókáról pontos, részletes és rendszeres hazai statisztikai adatok nincsenek, még 1950-ben végzett (az akkori Földművelésügyi Minisztérium által) hivatalos, becsléses adatgyűjtéséből nagyjából 400 kataszteri holdat (230 ha) állapítottak meg. Az 1951. év végén a kötelező beszolgáltatással kapcsolatosan végzett hivatalos összeírásnál, az 1950-es évi becslésnél is kevesebb, mintegy 200 kataszteri hold (115 ha) körüli termőterületet állapítottak meg. Azonban Téri Tihamér kezdeményezésének köszönhetően a kiadott politikai intézkedések következtében a ~300 hektár csicsóka termőterület az 1953-as adatok alapján már 1500-1700 hektárra emelkedett (I'SÓ, 1955).

IZSÁKI (2005) szerint az 1960-as években újabb visszaesés mutatkozott a termesztés volumenére nézve, melyet a következő képpen indokol: „...*nem ismerik a növényt és hasznosítási lehetőségeit, hiányzik a feldolgozás ipari háttere, gumója nehezen tárolható, a betakarítás kézi- és gépi erővel végezhető...*”.

A csicsóka termesztésének módja a múltban úgy jellemezhető, hogy végsőkéig kihasználták „igénytelenségét” és extenzíven termesztették, általában egy adott szántóterület kevésbé értékesnek tartott részén. I'SÓ (1955) a következőkben foglalja össze a csicsóka termesztést különböző intenzitás mellett: *évelő extenzív termesztés forgón kívül (5-10 évig), évelő intenzív termesztés forgón kívül (3-5 évig), kétéves intenzív termesztés vetésforgóban és egyéves intenzív termesztés vetésforgóban.*

A csicsóka nem igényel különleges előveteményt és a talajuntság sem jellemző a kultúrára. Ugyanakkor erőteljesen gyomosít (árvakelés), így az utóvetemény választásánál ezt szem előtt kell tartani. Az őszi ültetés esetén a talajt már augusztusban elő kell készíteni középmedély lazítással (35-40 cm), majd ezt egy középmedély szántás követ (20-25 cm).

Tápanyagellátás tekintetében a csicsóka 10 tonna gumó és leveles szár terméshez 40-45 kg N-t, 13-15 kg P₂O₅-ot és 80-85 kg K₂O-t igényel. A csicsóka az istállótrágyát (40-50 t/ha) meghálálja, de egyéb szerves trágyákat is jól hasznosít.

A növényvédelemnél és -ápolásnál meg kell említeni, hogy egy-két gyomszabályozó mechanikai vagy vegyszeres (napraforgóban használt megfelelő) kezelésre szükség van, amíg az állomány lombozata nem záródik. Mivel a csicsókának nincs specifikus kórokozója, így ezzel nem kell számolni, azonban elmondható, hogy a polifág fehérpenészes rothadás (*Sclerotinia sclerotiorum*) jelen lehet az állományban. Ez azért jelentős, mert a skleróciumok akár éveken át képesek fertőzni az állományban. A gumókra nézve inkább a szürkepenészes rothadás

(*Botrytis cinerea*) okoz nagyobb termés kiesést. Állati kártevője gyakorlatilag nincs. Néha a mezei pocok (*Microtus arvalis*) és az erdei vadak okozhatnak nagyobb károkat.

A betakarítás időpontja és menete attól függ, hogy milyen céllal került termesztésbe a csicsóka. A gumó betakarítása előtt a leveles szárát el kell távolítani. A szecskázott leveles szár silózható és takarmányként felhasználható, azonban takarmányértéke ilyenkor már gyenge. A gumók betakarítása burgonyabetakarító géppel elvégezhető. Amennyiben a gumók betakarítására ősszel kerül sor akkor számolni kell kézi munkaigényre is, mivel a sztólókról ekkor még nehezebben választható le a gumó. Tavasszal ez a probléma már nem áll fenn, így elegendő a gépi erő is.

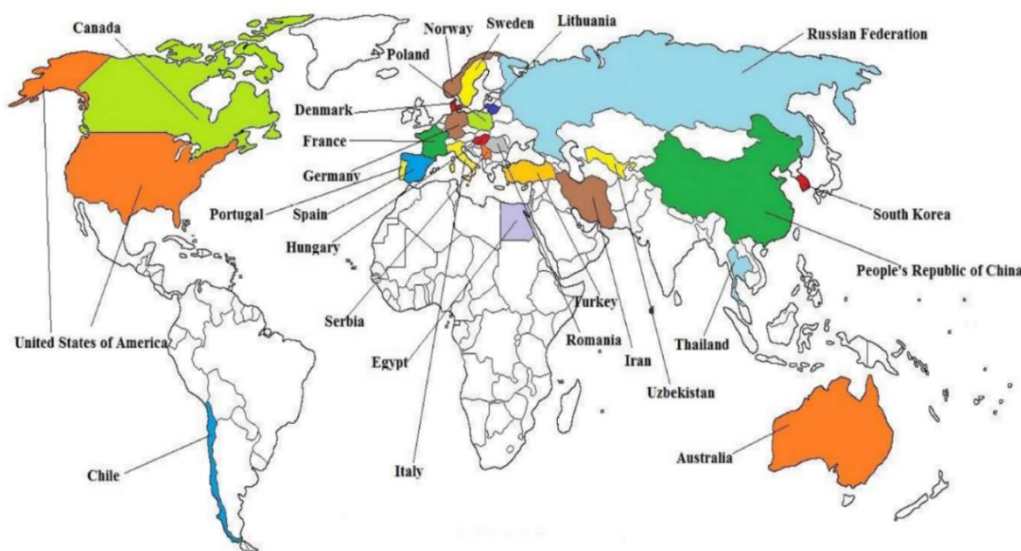
A csicsóka leveles szárát lehet zölden etetni, szilázsnak vagy szenázsnak felhasználni. Kedvező agronómiai feltételek mellett már július első felében elvégezhető az első kaszálás, nagyjából a növények 150-160 cm-es magasságánál. Ebben az esetben egy kb. 20%-os gumóhozam csökkenésre kell számítani.

A csicsóka tárolhatósága nehézkes, a vékony gumóhéjnak (parabőr) köszönhető. Ebből adódik, hogy a feldolgozását minél előbb el kell végezni. Azonban talajban hagyva jól tárolható és a téli fagyok sem károsítják.

2.5 A csicsóka gumó beltartalmi értéke és hasznosítási lehetőségei

Gumóit a legváltozatosabb módon használták fel a történelem során. Jelenleg a világon a csicsókát az **1. ábrán** szemléltetett országokban termesztik nagyobb mennyiségben.

Észak-amerikai származásából adódóan az itt élő őslakosok voltak az elsők, akik



1. ábra. Országok, melyben a csicsókát termesztik Forrás: Liava et al. (2021).

termesztésbe vonták. 1607-ben került először Európába, ahol gyors térhódítást követően elterjedt és a mindennapi táplálkozás részévé vált, amíg a burgonya (*Solanum tuberosus* L.) a 18. század közepén ki nem szorította a köztermesztésből. Ezután nem, vagy csak alig volt termesztésben. A II. világháborút követően azonban újra alapélelmiszerként termesztették, különösen Franciaországban és Németországban. Mára ismét visszaszorult fogyasztása. A **1. táblázat** mutatja be a csicsóka gumóhozamait különböző országokban, ahol a termesztés jelentősebb.

1. táblázat. Országok, ahol a csicsókát jelentősebb mennyiségben termesztik és az éves átlaghozam (Saját szerkesztés).

Termesztési hely	Gumóhozam (t/ha sz.a.)	Referencia
Kína	2,87-11,2	GAO et al. (2016)
Németország	8,4-12,9	SCHITTENHELM (1999)
Lengyelország	7,57-16,6	BOGUCA et al. (2021)
Spanyolország	6,1-15,8	MATÍAS et al. (2013)
Thaiföld	3,24-5,09	PUANGBUT et al. (2015)

A csicsóka gumói átlagosan 80% vizet, 15% szénhidrátot és 1-2% fehérjét tartalmaznak. Az gumók összetételére vonatkozó adatok viszonylag ritkák a többi zöldségnövényhez képest, és bizonyos paramétereknél jelentős eltérés tapasztalható (NOTHINGAM és KEYS, 2008).

Az alkalmazott fajta, a betakarítás ideje, a termesztés körülményei, a post harvest kezelések közötti különbségek valószínűleg megmagyarázzák ezeket az eltéréseket.

A csicsóka gumók alig vagy egyáltalán nem tartalmaznak keményítőt, nyomokban tartalmaz lipideket és igen kicsi a kalóriaértéke. A lipidek közül egyszeresen és többszörösen telítetlen zsírsavak a jellemzőek, telített zsírsavak pedig egyáltalán nincsenek benne (WHITNEY és ROLFES, 1999). FINELI (2004) szerint a többszörösen telítetlen linolsav (18:2, ω -6) és α -linolénsav (18:3, ω -3) 24 mg és 36 mg/100g van jelen a nyers gumóban. A gumóiban raktározott szénhidrát forrást nem keményítőként halmozza fel, ahogy a legtöbb növény teszi, hanem inulin formában. Az inulin molekulák sokkal kisebbek, mint a keményítő molekulák, a polimerizációs fokuk (pf), azaz az egyes monoszacharid alegységek (fruktóz és glükóz) száma, 2-től egészen 70-ig terjed. A fruktóz alegységek számát nagyban befolyásolja az alkalmazott fajta, annak fiziológiai állapota, a termesztés körülménye és az adott terület éghajlata (DE LEENHEER 1996). A nagyobb pf értékű inulinokat fel lehet használni nagy fruktóz tartalmú szirupok gyártásához (a hosszabb fruktóz láncok csökkentik a glükóz relatív mennyiségét a termékben).

Számos növényfajban kimutatták az inulint, de csak a csicsóka, a cikória és a dália halmozza fel tartalék tápanyagként. Közülük a csicsóka és a cikória tartalmaz akkora mennyiségben inulint, amely az ipari felhasználást indokolja.

Az inulinnak nem csak tartalék tápanyagként van jelentős szerepe, hanem a száraz, csapadékmentes időszakok alkalmával védelmet biztosít a dehidratáltság ellen (VEREYKEN et al. 2003). A gumók inulin tartalmát a legtöbb kísérletes mérés 21%-ban maximalizálja: VAN LOO et al. (1995) számításaiból kiderül, hogy a friss gumók inulin tartalma 7-30%, a szárított gumók esetében az 50%-ot is elérheti. Más vizsgálatok szerint a betakarított gumók inulin tartalma 13,8 és 20,7% között mozgott friss tömegre vonatkoztatva (STAUFFER et al. 1981; ZUBR és PETERSEN 1993).

SOMDA et al. (1999) adatai alapján a gumóban az inulin mennyisége kb. 93 mg/g friss gumóra vonatkoztatva. A tanulmányok rávilágítottak arra, hogy a betakarítást követő időszakban a fruktóz szintje csökken, míg a glükózé növekedett. ZUBR és PETERSEN (1993) 11 csicsóka fajta bevonásával vizsgálták a fruktóz alegységek polimerizációs fok (pf) változását. Ebből kiderül, hogy a vizsgált fajták között 4-es pf értékkel több mint 65%

rendelkezett, 13% volt a triszacharidok (pf 3) aránya és 13% volt a diszacharidok (pf 2) mennyisége. BORNET (2001) szerint a csicsóka gumókban a pf értéke általában 40.

A csicsóka gumók 100 g friss tömegre vetítve 1,6-2,4 g fehérjét tartalmaznak, ami jellemzően konstans a tenyészidőszak során (NOTHINGAM és KEYS 2008; KOSARIC et al. 1984). STOLZENBURG (2004) mérései azonban 5,9 m/m% nyers fehérjét mutattak ki. A fehérjéket felépítő aminosavak és ezen belül az esszenciális aminosavak kedvező arányban vannak jelen a gumókban. Más gyökérzöldségekkel összehasonlítva kedvező a lizin és metionin összetétele, ezért értékes alapanyag lehet az élelmiszer- és takarmányipar számára (CIE'SLICK, 1998a; RAKHIMOV et al. 2003; STAUFFER et al. 1981).

WON és CHU (1998) munkájában az inulin és az aminosav kapcsolatát vizsgálta. Megállapították, hogy a kettő között létre jövő kovalens kötés lehetővé teszi, hogy további polimereket állíthassunk elő akár orvosi célokra, peptidek szintéziséhez vagy fémionokkal való kelátképzéshez. Ezen túlmenően a terminális primer aminosav reakcióképesebb lehet az acilező ágensekkel szemben és lehetővé teheti a kívánt molekulákkal szemben a keresztkötéseket. Az ilyen vegyületek közkedveltek lehetnek, mivel sem az aminosavak, sem pedig az inulin nem mérgező, biokompatibilisek és biológiailag lebonthatók.

A csicsóka gumók jelentős ásványi anyag tartalommal rendelkeznek. A vas- (0,4-3,7 mg/100 g), a kalcium- (14-37 mg/100 g) és kálium tartalom (420-657 mg/100 g) között változik. CIE'SLICK (1998b) szerint a vas mennyisége akár a háromszorosa is lehet a burgonyához képest. ANTANAITIS et al. (2004) és BÄRWALD, (1999) viszonylag nagy szeléntartalmat is megállapítottak (50 µg/100 g), bár a legtöbb forrás kisebb koncentrációról számol be.

A gumók vitamin tartalma közül a C-vitamin 2-6 mg/100 g koncentráció között ingadozva kisebb, mint a föld feletti szövetekben (VAN LOO et al., 1995; EIHE, 1976). Emellett a β-karotin (9-29 µg/100 g) és a B-vitamin komplexek érdemelnek említést. A B-vitaminok közül a B₉-vitamin (folsav) mennyiségét 13-22 µg/100 g között találták.

Itt kell azonban megjegyezni, hogy a vitamin tartalomban jelentős eltérések mutatkoznak az irodalomban, ugyanis mennyiségük függ például a fajtától és annak fiziológiai állapotától, az alkalmazott agronómiai gyakorlattól és egyebektől.

Táplálkozásbiológiai szempontból a gumókban található inulin ételmi rostként is funkcionál. Dietetikusok javasolják az elhízottak diétájába való beépítésüket, mivel a tápcsatorna enzimjei nem képesek bontani az inulint és az oligofruktoszacharidokat, így nem tud közvetlenül felszívódni (RUMESSEN et al., 1990).

Az emberi és állati táplálkozásban a csicsóka gumóknak tulajdonított számos egészségügyi előny összefüggésben áll a vastagbél mikroorganizmusok prebiotikus aktivitást elősegítő

szerepével (FULLER, 1992). A belekben élő baktériumok túlélésében és szaporodásában nagy szerepet játszik a meg nem emésztett szénhidrátok mennyisége és hozzáférhetősége. Kimutatták, hogy számos nem emészthető oligoszacharid stimulálja a belekben élő baktériumokat (FULLER, 1997). Az olyan nem emészthető élelmiszer összetevőket (ilyen az inulin is), melyek több az egészségre jótékony hatást gyakorló, a belekben lévő hasznos baktériumok szaporodását vagy aktivitását szelektíven befolyásolja prebiotikumoknak neveztük. (GIBSON és ROBERFROID, 1995; GIBSON et al., 2005, TUOHY et al., 2005).

Mivel a csicsóka nagy mennyiségben tartalmaz inulint és fruktooligoszacharidokat, így potenciális probiotikumnak tekinthetjük, mivel nem emésztődnek és szívódnak fel a vékonybélben. A jellegzetes β 2-1 kötéseket a monogasztrikus állatok, így az ember emésztőenzimjei sem képes bontani, ezért ép molekulaként jutnak a vastagbélbe (OKU et al., 1984). A bevitt inulin kb. 85% jut a vastagbélbe, ahol a bélbaktériumok szubsztrátjaként funkcionál. Az inulinok és a fruktooligoszacharidok szelektíven stimulálják a baktériumok növekedését, ezt más szénhidrát forrásokkal pl. keményítő, pektin nem lehet elérni (MITSUOKA, 1987; WANG és GIBSON, 1993; GIBSON et al., 2005).

GIBSON és WANG (1994), valamint ALI et al. (2016) szerint a bifidobaktériumok inulin jelenlétében antibiotikus anyagokat is előállítanak. Továbbá a patogén baktériumok jelenléte is csökkent a vizsgált székletmintákban.

2.6 Föld feletti biomassa beltartalmi értéke és hasznosítási lehetőségei

A csicsókában rejlő értéket nem csak a nagy hozammal rendelkező gumók, hanem a föld feletti leveles hajtások biomasszája is biztosítják. Az agrotechnikától függően ez a nagy mennyiségű biomassa több célúan is hasznosítható. A növények a napfényből származó energiát tárolják különféle szerveikben, melyhez különböző technológiák segítségével hozzáférhetünk. A növényi biomassa égethető hő- vagy villamosenergia nyerés céljából, átalakítható folyékony és könnyen mobilizálható üzemanyaggá (pl. bioetanol, biometán) vagy felhasználható különböző vegyszerek előállításához. Komposztként és zöldtrágyaként is felhasználhatók, továbbá építőanyagként, takarmányként is (WHITE és PLASKETT, 1981; JOHANSSON et al., 2015).

A tenyészidőszak végén a csicsókából származó föld feletti biomassa alkalmas lehet a biofinomítók ellátására, a nagy mennyiségű száraz biomassa produkciója és viszonylagos igénytelensége miatt (**2. táblázat**).

2. táblázat. A csicsóka biomassza hozama különböző országokban.

Betakarítás helye	Biomassza hozam (t/ha sz.a.)	Referencia
Kína	9,4-30,7	LIU et al. (2015)
Németország	3,05-5,84	SCHITTENHELM (1999)
Lengyelország	18,15-28,65	BOGUCKA et al., (2021)
Spanyolország	10,0-22,1	MATÍAS et al., (2013)
Thaiföld	6,25-9,77	PUANGBUT et al., (2015)

Kedvező körülmények között jóval meghaladja a 30 t/ha-t (NOTHINGHAM és KAYS 2008). LIU et al., (2011) adatai alapján a csicsóka Kína észak-nyugati részén 25-35 t/ha biomassza produkcióra képes. IZSÁKI (2013) adatai alapján akár a 38-80 t/ha is lehet a biomassza hozam fajtától és agrotechnikától függően. TŰTEI (2020) kísérlete szerint a csicsóka a tenyészidőszak végére mindössze 10,5 t/ha-os biomassza hozammal rendelkezik, ugyan a kísérletben használt talajtípust és agrotechnikát nem említi.

A csicsóka szárazanyagra számított cellulóz tartalmát GUNNARSSON et al., (2014) 8,8 t/ha-ra a hemicellulóztartalmát pedig 4,6 t/ha-ra teszi kísérletei alapján a teljes tenyészidőszak végén. Ez összevethető egyéb, cellulózban gazdag növényvel pl. rizs-, gabona szalma, kipréselt cukornád vagy kenderszár, amelyekben átlagosan a cellulóz 6,8 t/ha, a hemicellulóz pedig 3 t/ha. Hangsúlyozza, hogy a csicsóka föld feletti szára nem tartalmaz több cellulózt vagy hemicellulózt az összehasonlításnál használt növényeknél, csupán a csicsóka biomassza hozama hektáronként több.

A cellulóz alapú száraz biomassza használható üzemanyaggyártásra. R.F.A. (2019) szerint az Amerikai Egyesült Államok és Brazília a világ legnagyobb bioüzemanyag előállító országai ($61 \cdot 10^9$ és $30 \cdot 10^9$ liter), 84%-nyi részesedése van a világ teljes bioüzemanyag előállításából. Az USA és Európa leginkább a kukoricából származó keményítőt, míg Brazília cukornádat használja fel a gyártás során. Az előbbi a mérsékelt égövön jellemző, mivel a cukornád a trópusi és szubtrópusi klímán termesztethető (MARRIS, 2004). E fő bioetanol forrásokkal összevetve az **3. táblázat** szemlélteti a csicsókából előállítható etanol mennyiségét.

3. táblázat. Etanol előállítása különböző növényekből.

Növény neve	Növényi anyag	Etanol (liter/ha)	Referencia
Csicsóka	Gumó	1.500-11.000	NOTHINGHAM és KAYS 2008; CURT et al 2006
	Leveles szár	2.835-11.230	
Cukornád	Teljes növény	2.800-8764	MENDOZA, 2008; GOLDENBERG és GUARDABASSI, 2010
Kukorica	Szemtermés	2.000-6.698	MENDOZA, 2008; TUMBALAM et al. 2016.
	Leveles szár	1.258-1.767	
Cukorrépa	Répatest	5.000-6.000	ALMODARES és HADI, 2009.
Cukorcirok	Lé	532-7.619	BARCELOS et al, 2016; KHALIL et al, 2015.
	Szemtermés	2.370	
	Prés maradvány	5.333-10.365	

A csicsóka földfeletti és földalatti vegetatív szerveiben képes felhalmozni szerves szennyező anyagokat, így fitoremediációs célokra történő alkalmazása is elképzelhető. Kutatások igazolták, hogy a csicsóka képes kadmium, cink, nikkel, réz, higany és ólom elemeket felvenni a talajból, akkumulálni szerveiben (ANTONKIEWICZ és JASIEWICZ, 2002; 2003; ANTONKIEWICZ et al. 2004; YANG et al., 2018).

A csicsóka föld feletti, zsege, zöld, leveles szárát takarmányozási célra is fel lehet használni frissen vagy szilázsként. GUNNARSSON et al., (1985) szerint 500-700 t/ha friss biomassza hozamra képes a növény. Ezt a vigorózus sarjadzással és többszöri betakaríthatóságával hozza összefüggésbe. A takarmánykeverékbe a teljes növényi szár feldolgozásra kerülhet, habár a szakirodalom szerint a levelekben és a szárban a tápanyagok és fehérjék megoszlása nem egyforma. HAY és OFFER (1992) szerint a levelek több fehérjét tartalmaznak, mint a szár, ahol viszont a szénhidrátok vannak nagyobb mennyiségben. RAWATE és HILL (1985) mérési adatai magas, akár a 20%-ot is meghaladó a nyersfehérje-tartalmat mutattak. Az aminosav összetételt tekintve a hisztidin 1,8%, arginin 5,2%, aszparaginsav 9,1%, treonin 4,4%, szerin 4,0%, glutaminsav 10,5%, lizin 5-6%, prolin 4,1%, glicin 5,1%, alanin 6,3%, metionin 1,4%, izoleucin 4,6%, leucin 8,3%, tirozin 2,8%, és fenilalanin 5% volt szárazanyagra vetítve. STAUFFER et al. (1981) szerint azonban a levelek nyersfehérje-tartalma 9,5-17,3% között mozog. A tenyésztési időszak vége felé csökken a szintjük, erre takarmánykészítésnél érdemes figyelni. Ezzel együtt általánosan jellemző, hogy gumófejlődés megkezdésével a növényben értékes biomolekulák/elemek mennyisége csökken.

Ez különösen a floémmobilis elemek (nitrogén, foszfor stb.) esetében tapasztalható, a kevésbé mozgékony elemek aránya (kalcium, magnézium stb.) mérsékeltebben (SOMDA et al, 1999).

Két tanulmány a csicsóka levélfehérje proteomikai vizsgálatára is kiterjedt, mely során megállapították, hogy egyéb C3 növényekhez hasonlóan a RUBISCO enzim igen nagy mennyiségben van jelen a levelekben (RAVEN, 2013). A RUBISCO nagyméretű, összetett fehérje, biológiai értéke vetekszik a tojásfehérjével vagy az állati hússal. Spenótból nyert tiszta RUBISCO-nál alacsony gélesedési hőmérsékletet (75-85°C) tapasztaltak és viszonylag alacsony gélesedési koncentrációval (4%), a tejsavófehérje esetén ez 10%, jó habképződéssel, ami felveti használatát a tej alapú habok egyik alternatívájaként (ZHANG et al, 2013; CHEN et al. 2011; VAN de VELDE et al, 2011).

A leveles szár számos karotinoidot is tartalmaz köztük α -, β -, γ -karotint, luteint, likopint és zeaxantint (BUGOCKA és JANKOWSKI, 2020; ERSAHINCE és KARA, 2017). ERSAHINCE és KARA (2017) szerint a teljes virágzásban volt mérhető a legnagyobb koncentrációban a lutein (120,14 mg/kg sz.a.) ezt követte csökkenő sorrendben a β -karotin, zeaxantin, α -karotin és likopin.

A leveles szár továbbá kisebb mennyiségben tartalmaz illóolajokat is (RADULOVIC és ĐORĐEVIĆ, 2014; HELMI et al., 2014). RADULOVIC és ĐORĐEVIĆ (2014) munkájuk során 192 illóolaj komponenszt sikeresen azonosítottak. A fő komponensek a β -bizabolén, α -pinén, kaunán-16-ol, fenilfurfurán voltak. A β -bizabolént találták a leggyakoribb anyagnak (22,9-30,5%). BACH et al. (2012) szerint a β -bizabolén után az α -pinén monoterpén a leginkább gyakori összetevő.

PAN et al. (2009) munkájában a csicsóka leveleiben jellemzően a kumarinokat, telítetlen zsírsavakat, fenolos vegyületeket és szeszkviterpéneket említett, mint fő komponenseket. YUAN et al. (2012) megállapításai szerint a farmakológiai szempontból jelentős klorogénsav nagyobb mennyiségben van jelen, mint fenolsav. Munkájában azt is kiemeli, hogy a csicsóka gumókban több komponenszt azonosítottak, azonban a leveles szárról kevés információ van. Első sorban a klorogénsavat és izomerjét az izoklorogénsavat azonosították és minőségileg értékelték. CHEN et al. (2014) a csicsóka leveles szárából azonosított 3,5-dikaffeoil-kínasavat, mely a legdominánsabban jelen lévő vegyület volt. Továbbá azonosították még a 3,4-; 1,5-; valamint a 4,5-dikaffeoil-kínasavat. Ezen kívül találtak még p-kumaril-kínasavat, ferulasavat, továbbá elsőként találtak a csicsóka leveleiben kaffeoil glukopiranózt. Azonosítottak még kaempferol és quercetin glikozidokat is.

2.7 Fehérjék és aminosavak forrása és szerepe a táplálékláncban

A fehérjék számos funkciót töltenek be szervezeti szinten. A fehérjéket először Gerardeus Johannes Mulder holland kémikus írta le 1838-ban és svéd kollégája Jöns Jacob Berzelius nevezte el (HAROLD, 1955). Mulder elvégezte a fehérjék elemzését, azonban téves következtetést tett miszerint a fehérjék egyetlen típusú órásmolekulákból állnak. Carl von Voit német tudós volt, aki először úgy gondolta, hogy a fehérjék nélkülözhetetlenek táplálkozási szempontból (BISCHOFF és VOIT, 1860). A Connecticuti Mezőgazdasági Kísérleti Állomáson Thomas Burr Osborne növények teljes fehérjeprofili elemzését végezte el, majd Lafayette Mendellel együttműködve, és a Liebig-féle minimum törvény alkalmazásával, patkányok segítségével meghatározták a táplálkozás szempontjából esszenciális aminosavakat (SUMNER, 1926).

A fehérjék nagy makromolekulák, amelyek egy vagy több, hosszú aminosavmaradékláncból állnak. A genetikai kód általában 20 standard L- α -aminosavat határozhat meg (**4. táblázat**), de bizonyos organizmusokban ez a kód tartalmazhat szelenociszteint és – bizonyos archeákban – pirrolizint, így lényegében 20+2 proteinogén aminosavat ismerünk (CSAPÓ et al., 2011; ROTHER és KRZYCKI, 2010).

Az emberi táplálékláncban a fehérjék és aminosavak forrása részben közvetlen növényi eredetű, részben az állatok által transzformált fehérjék jelentik. Kisebb arányban gombák is szerepet játszanak, mint fehérje források.

Globálisan tekintve az állattenyésztési ágazat jelentősen hozzájárul az élelmiszerellátáshoz, és ennek eredményeként az állati takarmányok az integrált élelmiszerlánc egyre kritikusabb elemévé váltak. A hús, tej, tojás és egyéb állati eredetű termékek iránti kereslet folyamatos növekedésének kielégítése érdekében szükséges a megfelelő minőségű, mennyiségű, biztonságosan és költséghatékonyan előállítható állati takarmányok rendszeres biztosítása (FAO, 2004).

4. táblázat. A 20+2 proteinogén aminosav, Saját szerkesztés.

Aminosav neve	Fehérjeépítő	Genetikailag kódolt	Ember és magasabb rendű állatok számára esszenciális
alanin	+	+	
arginin	+	+	
aszparagin	+	+	
aszparaginsav	+	+	
cisztein	+	+	
fenil-alanin	+	+	+
glicin	+	+	
glutamin	+	+	
glutaminsav	+	+	
hisztidin	+	+	+
izoleucin	+	+	+
leucin	+	+	+
lizin	+	+	+
metionin	+	+	+
pirrolizin	+		
prolin	+	+	
szelenocisztein	+		
szerin	+	+	
tirozin	+	+	
treonin	+	+	+
triptofán	+	+	+
valin	+	+	+

Kevés kérdés váltott ki akkora aggodalmat az utóbbi időben, mint az állattenyésztéshez használt takarmányok fehérje ellátása. A nem megfelelő fehérje takarmányozása a genetikailag determinált tulajdonságok érvényesülését gátolhatja, így a nagy szellemi és anyagi befektetést igénylő nemesítési munka nem érvényesül kellőképpen. Ezzel szemben a túlzott fehérjebevitel a gazdaságosságot kérdőjelezi meg ezzel együtt a káros anyagcsere melléktermékei terhelhetik az állatok szervezetét és a környezetet (GARCIA-LUNAY et al., 2014; SCHMIDT, 2015).

MILLER (2002) összefoglaló munkája alapján különböző fehérjeszükségletet figyeltek meg a különböző állatfajoknál, valamint ezek életkorának és növekedési szakaszának összefüggésében. Ilyen például a halak étlendjének nagyobb fehérjeszükséglete az emlősök takarmányához képest, és az életkorral csökkenő fehérjeszükséglet. Az állatok megnövekedett energiafelhasználása, például testmozgás vagy a „hőstressz” hatása, szintén csökkenti az étlend

fehérjeszükségletét. Kiemelte a különbséget az „esszenciális”, a „félleg esszenciális” és a „feltételesen esszenciális” aminosavak között az étrenddel történő fehérjebevitel vonatkozásában. A fehérjetáplálkozás hatásai mellett hangsúlyozta a fehérjék immunrendszerre gyakorolt jelentőségét. Leírták a különböző fehérjetakarmány-összetevők aminosav erősségeit és gyengeségeit, például a kukorica lizin-, valamint a szójabab metionin- és cisztein-korlátjait. Ezek kulcsfontosságú kérdések a megfelelő fehérjehasználat és a takarmánykészítés szempontjából.

A fentiekkel összhangban az **5. táblázat** összefoglalja két gazdaságilag fontos állat fejlődését leginkább limitáló aminosavakat.

5. táblázat. A sertés és a baromfi takarmányozást limitáló aminosavak (Forrás: Karau és Grayson 2014).

Gazdasági állat	1. limitáló aminosav	2. limitáló aminosav	3. limitáló aminosav	4. limitáló aminosav
Sertés	Lizin	Treonin	Metionin	Triptofán
Baromfi	Metionin	Lizin	Treonin	Valin

2.7.1 Állati eredetű fehérjeforrások

Az állati eredetű fehérjék jobb minőségűek, mint a növényi eredetűek, köszönhető ez a jobb emészthetőségüknek és vízzoldhatóságuknak. Azonban nagy hátrányt jelent, hogy a szükséges állati eredetű fehérjék előállításuk jelentős terhelést jelent a környezetre, ezzel együtt fenntarthatósága is nehézkes, továbbá a patogén kórokozók esetleges kontaminációja is gondot jelent (TILMAN és CLARK, 2014).

További hátrányt jelent az állati eredetű fehérjék etetésének törvényi szabályozása. Hazánkban két rendelet (71/2003. (VI. 27.) FVM rendelet és 69/2003. (VI. 25.) FVM rendelet) is szabályozta az ilyen eredetű takarmányok használatát. Azonban 2021 szeptember 7-én hatályba lépett az Európai Unió Bizottságának *2021/1372 rendelete a 999/2001/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet IV. mellékletének módosításáról* szóló rendelete, mely alapján bizonyos esetekben lehet állati eredetű takarmányokat használni. A rendelet a nem kérődző állatok takarmányozását szabályozza.

2.7.2 Alga- és rovarfehérje

Kutatások bizonyítják az algák használhatóságát a takarmányozásban. Előnyként jelentkezik, hogy fajlagos előállítási költsége kedvező, termesztésük fenntartható módon valósulhat meg a biotechnológia eszközeivel. Területigénye kisebb a szántóföldi növényekhez

képest, azonban egységnyi területen nagyobb a biomassa hozama, mint pl a kukoricának, szójának, búzának. Sikeresen termesztethők szennyvizekben is. Elterjedésüket inkább a társadalmi elfogadottság korlátozza (van der SPIEGEL, 2013).

A rovarok felhasználása élelmezési vagy takarmányozási szempontból egy újszerű megközelítés a fehérjehiány csökkentésére, annak ellenére, hogy a nyugati kultúrában ez idegen. Az EU-ban élelmiszerekben alkalmazható rovar fehérje a következő fajok felhasználásával engedélyezett: *Gryllodes sigillatus* (indiai házi tücsök), *Acheta domesticus* (házi tücsök), *Alphitobius diaperinus* és a *Tenbrio molitor* (közönséges lisztbogár). Takarmányozásban felhasználható rovarok lárvái a következők: *Hermetia illucens* (fekete katonalégy), *Musca domestica* (közönséges házilégy) és a *Tenebrio molitor* (közönséges lisztbogár). Érdekeség, hogy a világ más részein több mint 1300 rovarfajt alkalmaznak élelmezési célra (van der SPIEGEL, 2013).

2.7.3 Egysejt fehérje/Single Cell Protein (SCP)

Az egysejt fehérje alatt a mikroorganizmusokból nyert fehérjék összességét értjük. (SHARIF et al. 2021). Ebben az értelemben az algák is ebbe a csoportba tartoznának, azonban ezek a mikroorganizmusok a klasszikus bioreaktorokban nem szaporíthatók, mivel fotoszintetizáló autotróf szervezetek.

Az egysejt fehérje ígéretes alternatívaként jelentkezik a növényi eredetű fehérjeforrások mellett, mivel előállításához nem szükséges nagy szántóterület, vagy nagy víztározók kialakítása (MEKONNEN és HOEKSTRA 2014).

A mikroorganizmusok szaporodása gyors, összehasonlítva pl. a növényekkel. Ebből fakad előnyük, algák 3-6 óra, baktériumok 30 perc, élesztő 40 perc-3 óra multiplikációs idővel rendelkeznek (NASSERI et al. 2011). A fehérjetartalom algák esetében akár 70% is lehet, emellett más táplálkozás biológiai szempontból fontos anyagokat pl. omega-3 zsírsavakat is tartalmaznak. Gombák esetében 30-50%-os fehérjetartalommal is számolhatunk, és a FAO által előírt ideális aminosavösszetételt is részben teljesítik (SHARIF, et al. 2021). Ezzel együtt hátrányai/korlátai, hogy nagy mennyiségű nukleinsavat tartalmaz, melyek a vérben nagy mennyiségű urea felhalmozódását okozza. Ezen túlmenően hangsúlyozza a sejtfalak emészthetőségének korlátait a monogasztrikus állatoknál.

2.7.4 Növényi alapú fehérje források

A 21. században a növényi alapú táplálkozásnak és állati takarmányozásnak kiemelt jelentősége van. A növények a fotoszintézis folyamatának köszönhetően szervesen anyagokból és a nitrogén asszimiláció során képesek aminosavak előállítására. Ezt követően különböző

transzaminálási folyamatok során fehérjéket felépíteni. Az aminosav szintézis első sorban a zöld levelek mezofillum sejtjeiben zajlanak. Itt található a föld feletti hajtások fehérjéinek mintegy 75%-a. Sejtszinten tekintve a kloroplasztiszok sztrómájában koncentrálódik a fehérjék mintegy 80%-a. A vegetatív szervek mellett jelentős fehérje raktározása a magvakban is zajlik (sziklevelek, endospermium) (DUBLECZ, 2011).

2.7.5 Magalapú fehérjeforrások

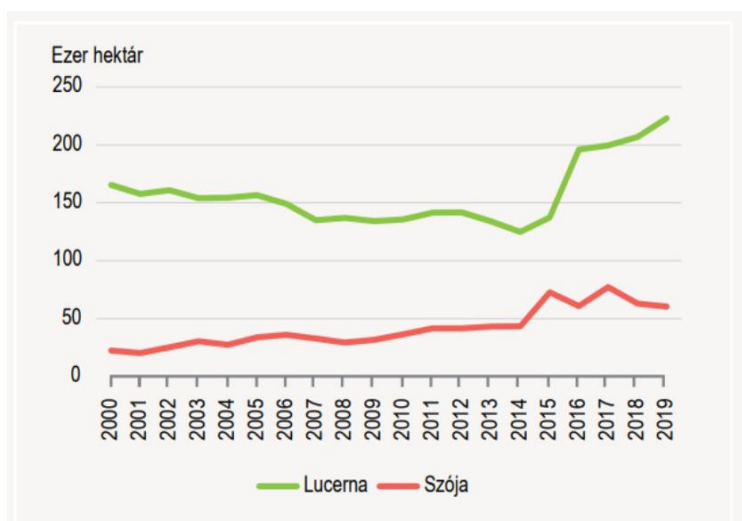
A növényi alapú takarmányfehérjék fő forrása az elmúlt évtizedekben alig változott; a magvakban lévő tartalékfehérjékre alapoz. A magban felhalmozódó tartalékfehérjék oldhatóságukat tekintve négy frakcióba sorolhatóak. Emiatt extrahálhatóságuk viszonylag könnyű, 1-2 lépésben a fehérjék nagy hányada kinyerhető, ami gazdasági szempontból is előnyös.

A legfontosabb a szója (*Glycine max* L.), emellett jelentős fehérjetartalommal rendelkezik a búza (*Triticum aestivum* L.), kukorica (*Zea mays* L.) és az árpa (*Hordeum vulgare* L.) is, azonban az utóbbiakban a lizin mennyisége kisebb. Ezen túlmenően a hüvelyesek (bab, borsó) is jelentős mennyiségben tartalmaznak tartalékfehérjéket (legumin, vivilin stb.) (DERBYSHIRE et al. 1976; SHEWRY 2007).

Kontinensünkön nagyjából 1 millió ha-on történik fehérjenövények termelése, melyek túlnyomó részben takarmányborsó (*Pisum sativum* subs. *arvense*) és lóbab (*Vicia faba* L.) (UDVARDY 2010). Ezekkel együtt a korábban említett olajos magvú növények, úgy, mint szója, repce (*Brassica napus* L.), napraforgó (*Helianthus annuus* L.), földimogyoró (*Arachis hypogaea* L.) kipréselt és visszamaradt présfogácsája igen jó takarmány kiegészítőként használhatók fel. POPP et al. (2015) szerint általános tendencia Európában, hogy az olajos maglisztek adják a takarmányozás fehérjebázisának döntő mennyiségét. Továbbá kifejti, hogy a magyarországi állattenyésztés 2000 és 2010 között fél millió tonna szójadarát, valamint 100 ezer tonna szójababot használt fel évente, melyből mindössze 13% származott a hazai forrásokból. A KSH (2019) adatai alapján a szója vetésterülete növekvő tendenciát mutat (**2. ábra**) ezzel együtt sem fedezi a hazai szükségletet. A szójahiányt importból fedezzük, ez azért jelent problémát, mert az Európai Unió és ezzel együtt Magyarország is elutasítja a GMO termesztésből származó termények behozatalát. Ugyanakkor a legnagyobb szója exportőr országokban (Brazília, Amerikai Egyesült Államok és Argentína), a termesztett szója nagy százalékban transzgénikus. Argentínában törvényi szabályozás sincs arra vonatkozóan, hogy megkülönböztessék a GM-termesztésből és a nem GM-termesztésből származó terményt (PENGUE, 2005).

További probléma az import szójával, hogy a világpiaci áringadozásoknak és az ebből fakadó áremelkedésnek az állattenyésztési ágazat nagyfokú függőséget mutat, így felmerül a gazdaságosság kérdése is (POPP et al. 2015).

2013-ban jött létre egy szövetség, mely 6 Duna menti ország együttműködésén alapul. Ebben szigorú nemzetközi szabványok rögzítik a termelés milyenségét, mellyel lehetőség nyílik az európai GM-mentes szójatermesztésre (DONAUSOJA 2017). FÖLDI (2013) szerint a hazai időjárási adottságok lehetővé teszik a szója termesztését, igaz kijelenti, hogy Magyarország a gazdaságos szója termesztés északi határán fekszik. Továbbá elemzése rávilágít arra, hogy akár a szójaszükségletünk felét lennénk képesek megtermelni. Ezzel együtt kifejti, hogy az állattenyésztési ágazat igen törékeny (baromfi, sertés), melyek igen kis haszonkulccsal dolgoznak és nem képesek megfizetni a hazai szóját.



2. ábra. A szója és lucerna vetésterülete Magyarországon 2000-2019.
Forrás: KSH, 2019.

REICOSKY et al. (2007) a szójatermesztéssel kapcsolatosan aggodalmukat fejezték ki, mivel a szója egy egyéves kultúra és ez számos globális környezetvédelmi problémát vet fel, mert pl. a talajművelést, a növényvédelmet, egyéb agrotechnikai beavatkozásokat minden évben el kell végezni, mely hozzájárul a CO₂ kibocsátás növekedéséhez.

2.7.6 Zöld biomassza alapú fehérjeforrások

A zöld biomassza takarmányként történő felhasználása nem újkeletű, mivel a kaszálók, rétek levágott zöld tömegét régóta használják állatok etetésére frissen vagy szárítva. Igen gyakori a silókukorica felhasználása is. Az így előállított silótakarmányt fermentálják, általában tejsavas erjesztés segítségével. A folyamat nemcsak tartósító tulajdonságát használják ki, hanem számos értékes anyagok is felhalmozódnak a szilázsban, mint pl. probiotikus baktériumtörzsek (CASTENADA et al. 2003).

A hazai klimatikus viszonyok kedveznek a pillangós virágúak családjába tartozó fajok ezen irányú termesztésének, ebben az esetben a kétéves vagy inkább évelő kultúrák jöhetnek szóba. A legnagyobb területen termesztett szálas fehérjetakarmány növény a lucerna (*Medicago sativa* L.), de említést érdemel még a fehér- és vöröshere (*Trifolium repens* L. és *T. pratense* L.), valamint a szarvaskerep (*Lotus corniculatus* L.) is. Ezek közül a legnagyobb jelentőséggel a lucerna bír, melynek 2016 és 2021 között a vetésterülete kb. 200 ezer hektár körül mozgott. Az országos termésátlag 4,9 t/ha volt száraz szénát tekintve a vizsgált időszakban. Ez jelenleg gyenge csökkenést mutat (KSH, 2022). A lucernából készített friss takarmány közvetlen, vagy erjesztett formában (szilázs/szenázs) adható az állatnak. Ezen túlmenően készíthető belőle liszt, vagy szárítva széna. Emellett a gyepnövények is értékes fehérjeforrások. FOG et al. (2017) munkájából kiderül, hogy a fűfélék meghaladják a hektáronkénti fehérje kihozatalt (2,95 t fehérje/ha) a lucernával szemben (2,53 t fehérje/ha).

2.8 Biofinomítás

A biofinomító olyan létesítmény vagy létesítmények hálózata, ahol a biomasszát, beleértve a hulladékot is, valamilyen hasznos anyaggá (jellemzően energiává) alakítják át. A folyamat során fő szempont, hogy a biomassza értékeit maximálisan ki lehessen használni, miközben a keletkező hulladékok szintjét a lehető leginkább minimalizálja. Ez a szemlélet az elmúlt évtizedekben jelentős figyelmet kapott mind a kutatási, mind pedig az ipari oldalról. Ahogy a **6. táblázatban** is látható, ezek a gyárak lényegében analóg módon működnek, mint a hagyományos finomítók pl. kőolajfinomító. Ahogy a fosszilis nyersanyagokat felhasználó finomítók pl. a kőolajat felhasználva üzemanyagot, energiát állít elő, úgy a biofinomítók is képesek erre a konverzióra a biomasszát alapul véve. (JOHANSSON et al. 2015; BOZELL, 2008; HALASZ et al, 2005; REALF és ABBAS, 2004).

6. táblázat. A különböző alapanyagra építő finomítók működésének bemutatása. Forrás: Saját szerkesztés.

Nyersanyag	Létesítmény	Termék
- kőolaj - földgáz	Finomító	- energia (üzemanyag, elektromosság stb.) - vegyi anyagok (háztartási és ipari) - anyagok (pl. műanyag)
- fa, gabonanövények - fűfélék - hulladék - stb.	Biofinomító	- energia (biodízel, bioetanol, elektromosság stb.) - vegyi anyagok (háztartási és ipari) - anyagok (pl. műanyag) - élelmiszer, takarmány

A biofinomítók ellátása megfelelő alapanyaggal fontos tényező. Számos szakirodalom szerint a fás szárú növények, a különböző algák, az élelmiszeripari hulladékok, valamint a marginális területen termesztett növények a leginkább megfelelőek. Továbbá az erre alkalmas növényfajok száma is csekély az irodalom szerint. TUCK et al. (2006) szerint a klímaváltozás a 21. században befolyásolja az energianövények elterjedését az Európai Unióban. SRINIVASAV (2009) és RATHMANN et al. (2010) szerint ezek érdekes vitákat szülhetnek a későbbiekben, ugyanis azokon a területeken, ahol eddig élelmiszert termeltek ezután lehetséges, hogy az autók tankolásához szükséges üzemanyag alapanyagot kell majd, miközben még mindig igen nagy probléma az éhezés.

A Joint European Birefinery Vision for 2030 jelentése szerint Európa energia felhasználásának több mint 30%-át biofinomítók fogják kielégíteni alig 10 éven belül. Jelenleg a biofinomítók fő fejlesztési iránya az energia ipar szükségleteinek kielégítése, idővel és kellő ipari ráfordítással a mindennapi életünkhöz szükséges anyagokat is ilyen üzemekben fogják előállítani (CHERUBINI, 2010).

WELLISCH et al, (2010) nyomán a biofinomítóknak három típusa ismert:

- I-es típusú (egyféle input, egyféle feldolgozási lépésből, egyféle végtermék)
- II-es típusú (egyféle input, többféle feldolgozási technológia, többféle végtermék)
- III-as típusú (többféle input, többféle feldolgozási mód, többféle végtermék)

Az I-es típusú biofinomítók Európa szerte működnek és üzemanyagot (biodízel) állítanak elő. Növényi olajat (repceolaj) használnak fel, mint alapanyagot, amiből fix mennyiségű üzemanyagot és glicerint képes előállítani transzészterifikációval (WELLISCH et al., 2010). Magyarországon a Rossi Biofuel Zrt. a legnagyobb ilyen üzem.

A II-es típusú biofinomító egyik példája az olaszországi Novamont üzem, amely kukoricakeményítőt használ számos vegyi termék előállítására, beleértve a biológiailag lebomló poliésztereket (Orig-Bi) és a keményítőből származó hőre lágyuló műanyagokat (Mater-Bi). Az ilyen típusú biofinomítás másik példája a franciaországi Lestrem Roquette

telephelye, amely számos terméket állít elő, beleértve poliolokat, natív és módosított keményítőket, fehérjéket, ciklodextrineket, szerves savakat és gyantákat (REALF és ABBAS, 2004).

A III-as típusú biofinomítók technológiailag a legfejlettebb típusú létesítmények. Nem csak energiát és vegyipari termékeket állít elő, hanem különféle alapanyagokból és ezek változatos feldolgozási technológiáiból számos ipari terméket hoz létre. A termékek sokfélesége nagyfokú rugalmasságot biztosít a változó piaci igényekhez, a jelenlegi melléktermékek a jövőben kulcsfontosságú főtermékké válhatnak. Jelenleg öt fő területen folyik a III-as típusú biofinomítók kutatása: lignocellulóz-, teljes növényt felhasználó-, két platformos-, mikro-, makro alga- és zöld biofinomítók (TAYLOR, 2008; CLARK és DESWARTE, 2015; TAKKELLAPATI et al., 2018).

2.8.1 Zöld biofinomítás

Alapja az évente újra keletkező és nagy mennyiségű zöld biomassa. A rendszer integrálja a biológiai, kémiai és fizikai alapismereteket, szem előtt tartva a gazdaságosság és környezettudatos szemléletet (KAMM et al., 2016). A zöld biofinomítás koncepciójának hátterében több tényező húzódik. Ezek között ismert, hogy az EU-ban a 16,4 millió hektár gyepterületek mintegy 10-20%-a kihasználatlan és a legeltetés mellett szükséges valamilyen alternatív hasznosítási megoldás (MANDL, 2010). Másrészt alternatívát jelent pl. a fűfélékből előállított pelletek készítésére, a jelenlegi elég költséges technológiák mellett (KAMM et al., 2009). Továbbá a takarmánypiac számára kínál alternatívát a szója mellett (TERMANSEN, 2016). Ezekre alapozva, számos európai országban már kísérleti biofinomítókban használnak fel különböző zöld biomasszát (BALS et al., 2012; KAMM et al., 2009; KROMUS et al., 2004; MANDL, 2010; O'KEEFFE et al., 2011).

A zöld biofinomítás gondolatának eredete magyarországi szálakhoz is vezet. Ereky Károly gépészmérnök, a biotechnológia névadó atyja az 1900-as évek elején felismerte, hogy a zöld biomasszából nedves frakcionálás segítségével gazdaságos és hosszan eltartható produktum állítható elő („*lucerna plazma*”). Módszerének lényege, hogy a zöld leveles hajtásokban lévő értékes, és gyorsan emészthető anyagokat fizikai módszerrel (pépesítés) elkülöníthetők egymástól (*Ereky-process*). Ennek eredményeként, módszerével a fiatal zöldlevelekből a nem kérődző állatok számára is egy könnyen emészthető, rostoktól mentes fehérjékben, aminosavakban, vitaminokban és ásványi anyagokban gazdag takarmány készíthető. Szárazhordozókra való felvitellel hosszútávon tartósítható is volt. Ezzel együtt a rost frakciót is hasznosította (FÁRI és POPP, 2016).

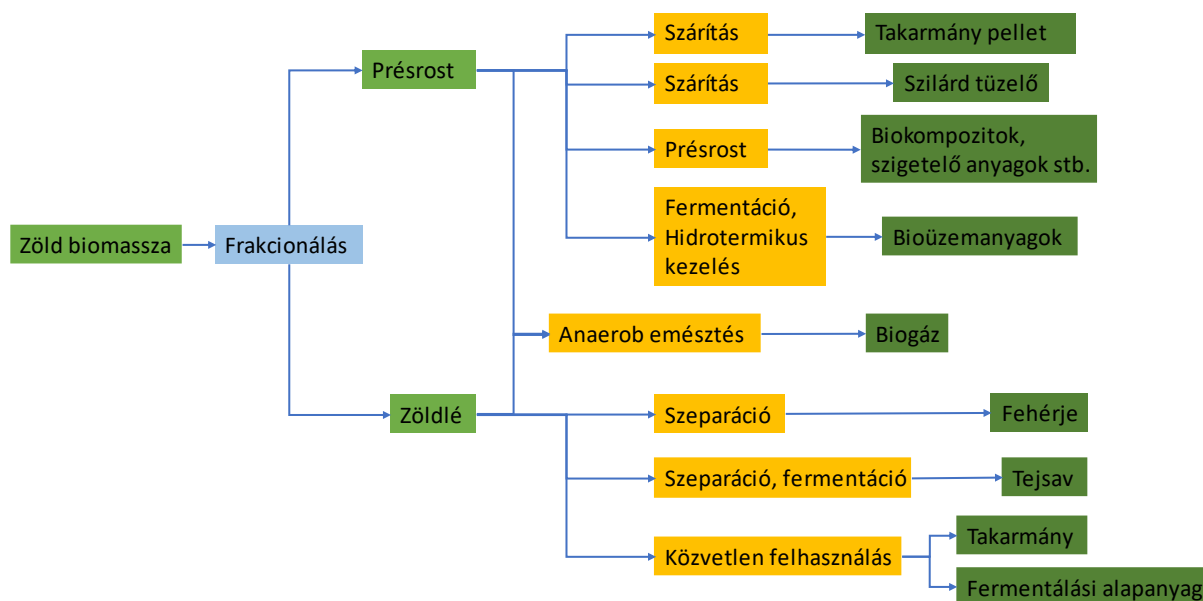
A II. világháború idején és utána Norman W. Pirie angol kutató tanulmányozta és továbbfejlesztette az Ereky-process-t, új eszközöket és berendezéseket hozott létre, ezzel egy új feldolgozási technológiát alkotott meg. Ennek eredményeként a zöld növényekből sikeresen vont ki klorofillt, karotint és fehérjét. Ezzel értékes produktumokat tudott előállítani takarmányozási és humán táplálási célra. Az eljárás során a friss növényi biomasszát frakcionálták (Ereky-process) majd a kapott zöld léből termális koagulálási módszerrel fehérjét vontak ki. A fehérje koncentrátumon, mint főterméken kívül keletkezett melléktermék is, mely tápanyagban gazdagnak bizonyult. Ezt a mellékterméket később növényi kondicionálónak próbálták felhasználni (CHIESA és GNANSOUNOU, 2011).

Kísérletekre alapozva az 1960-as években a világ számos pontján üzemi szintű zöld biomassza feldolgozók épültek. Az USA-ban Kohler nevéhez fűződik, Franciaországban a Franze Luzerne céghez, hazánkban pedig a VEPEX vállalathoz, melynek vezető kutatói Holló János és Koch Lehel voltak. A hazai törekvéseknek a 70-es években bekövetkező olajár robbanás szabott gátat (FÁRI, 2011).

2.9. Levélfehérje-koncentrátum előállítása

A levélfehérje koncentrátum (LFK), vagy ahogy a nemzetközi szakirodalomban olvasható *leaf protein concentrate (LPC)*, közvetlen felhasználása elsősorban takarmánycélokra irányul fehérje alternatívaként. A lucerna LFK a szójababbal összehasonlítva nagyobb lizin, metionin és treonin tartalmú, mely CSAPÓ et al. (2008) munkájából kiderül, hogy a hazai állattenyésztés három fontos limitáló aminosavja. A vitamin és az ásványi anyag tartalma is kedvező.

A zöld biofinomítás vagy zöld malom technológia lépései többirányúak lehetnek a termékelőállítástól függően (**3. ábra**). Ezzel együtt az alaplépések közösek a zöld biomassza nedves frakcionálásával kezdődően.



3. ábra. Növényi eredetű zöld biomassza feldolgozása a "Zöld malom"-ban. Forrás: Saját szerkesztés.

2.9.1 Nedves frakcionálás

A folyamat célja, hogy a növényi rostok mennyiségét csökkentésük valamilyen fizikai/mechanikai feldolgozás során. A sejtek feltárásának mértéke kritikus a lé kinyerése és ezáltal a fehérje visszanyerése szempontjából.

Hagyományosan a friss leveleket először különböző malmokkal vagy hengerekkel pépesítették a sejtek feltárása és a sejtkomponensek, köztük az oldható kloroplasztisz és citoplazma fehérjék feltárása érdekében; majd a rostos pépből préseléssel nyerték ki a zöldlevet (BALS et al., 2012).

Korábban a technológiai korlátok miatt a pépesítés és a préselés nem volt végezhető egyetlen egységben, ezért a kalapácsmalom alternatívájaként szolgáló pépesítőgépet fejlesztettek ki a növények folyamatos pépesítésére (PIRIE, 1971; 1987).

A PRO-XAN eljárás során ikercsigás présgépet használtak a lucerna egy menetben történő pépesítésére és préselésére (KNUCKLES et al., 1972). Az ikercsigás prés két ellentétesen forgó csigából állt, és a felaprított lucerna friss tömegének 65%-át tudta kipréselni a lébe, 40%-os fehérje-visszanyerés mellett (KNUCKLES et al., 1972). Napjainkban a mechanikus préselést általában csigapréssel végzik, amely a növényi részekre gyakorolt nyomás alkalmazása mellett a sejtfaalak további macerálását kombinálja, aminek eredményeként a friss kb. 55-60%-os zöldlé mennyiség érhető el egységnyi zöld tömegre vetítve (ARLABOSSE et al., 2011). A lucerna ikercsigás préselése is hatékonynak bizonyult, egységnyi zöld tömegre vetítve, több mint 50%-os fehérje-visszanyerését eredményezett (COLAS et al., 2013a, 2013b).

A mechanikus préselés után azonban a fehérjéknek egy része megmarad a présfogácsában. Ezzel kapcsolatos közleményekben többen is javasolták víz hozzáadását a présfogácsához és az újrapréselést a visszamaradt fehérjék egy részének kivonása érdekében (BYERS és STURROCK, 1965; KNUCKLES et al., 1972; MORRISON és PIRIE, 1961).

MORRISON és PIRIE (1961) arról számolt be, hogy a présfogácsában maradt fehérjék felét víz hozzáadásával végzett második pepesítéssel és préseléssel ki lehetett vonni. A PRO-XAN-eljárásban a présfogácsához víz hozzáadása és az újrapréselés a zöldlé fehérje kinyerését 40%-ról 53%-ra növelte (KNUCKLES et al., 1972).

COLAS et al., (2013a) munkájában a legnagyobb fehérje extrakciót aprított lucernából a legnagyobb folyadék-rost arányok mellett érte el. Ezért a víz hozzáadása valószínűleg kedvez további fehérjék visszanyerésének a zöldlébe, ugyanakkor a fehérjék koncentrációja a zöldlében így felhígul.

2.9.2. Fehérje koncentráció növényi zöldléből

A precipitálás (kicsapás, denaturálás) célja a fehérjék szilárd frakcióba történő koncentrációja, amely így tovább szeparálható és szárítható, tárolható és végleges terméké fejleszthető (BALS et al., 2012). A fehérjék kicsapását általában termikus koagulációval vagy különböző savak hozzáadásával végzik, de más módszereket is vizsgáltak, beleértve flokkulánsok hozzáadását vagy bakteriális fermentációt. A zöldlé a növényi sejtek kloroplasztisz és citoplazma fehérjeit tartalmazza (FIORENTINI és GALOPPINI, 1983). A kloroplasztisz fehérjék, részben a tilakoid membránokban található membránokhoz, pigmentekhez kötött proteineket jelent. Ezek a fehérjék könnyen destabilizálódnak és alacsonyabb hőmérsékleten gyorsabban koagulálódnak, ami sötétzöld, erősen fűző koncentrátumot eredményez (EDWARDS et al., 1975; FIORENTINI és GALOPPINI, 1983; HERNADEZ et al., 1988).

A citoplazma fehérjék (fehér fehérjék) a sejtek citoplazmájában vagy a plasztisz sztrómában oldott állapotban vannak és viszonylag stabilak. A fehér fehérje frakció kicsapása íztelen, szagtalan fehér/krémes csapadékot eredményez (FIORENTINI és GALOPPINI, 1983). A fehérjék kicsapására két különböző módszer terjedt el: frakcionálatlan, zöld és fehér fehérjéket egyaránt tartalmazó levélfehérje koncentrátum (LFK), illetve alternatívaként a frakcionált eljárás; először a zöld fehérje frakciót kicsapják állati takarmányozásra alkalmas LFK-má, majd a fehér fehérje frakciót emberi táplálkozásra alkalmas LFK-má alakítják (CHIESA és GNANSOUNOU, 2011).

2.9.2.1 Termális koagulálás

A melegítés a fehérjék hidrofób részeinek felnyílását és ezáltal a fehérjék denaturációját idézi elő (BALS et al., 2012). MORRISON és PIRIE (1961) szerint a 75 - 80°C-on történő hőkoaguláció a zöldlé közvetlen gőzbefecskendezésével a legegyszerűbb módszer a levélfehérje-koncentrátumok nagyüzemi előállítására (PIRIE, 1971). A PRO-XAN-eljárásban a frissen aprított lucernából előállított zöldlevet 2-3,5 percig 90 °C körüli hőmérsékleten gőzzel hőkoagulálták, hogy fehérjében (49,0-53,2% száraz tömeg) és xantofillban gazdag, nem kérődzők takarmányozására szánt "koagulumot" állítsanak elő (LAZAR et al., 1971; SPENCER et al., 1971). A RUBISCO denaturációja 76,2°C-on megy végbe (LAMSAL et al., 2007).

A hőkoagulációt a zöld és fehér fehérjék frakcionált kicsapására is alkalmazták. A PRO-XAN II eljárás során a zöldlevet először 60°C-on 20 másodpercig melegítették a zöld fehérjefrakció aggregálása érdekében (PRO-XAN II); majd a felülúszót 80°C-on gőzzel hőkoagulálták a fehér fehérjefrakció kinyerése érdekében (WELPRO) (de FREMERY et al., 1973; EDWARDS et al., 1975). A fehérjetartalom a zöldfehérje-koncentrátumban 47,2% sz.a. míg a fehér fehérjekoncentrátumban 88,7% sz.a. volt.

A hőkoaguláció hatékony módszernek mondható a fehérjék kicsapására. Mindazonáltal a hőkoagulációval előállított levélfehérje-koncentrátumok fehérje oldhatósága jelentősen csökken a fehérjék szerkezetében okozott irreverzibilis változások miatt, ami más funkcionális tulajdonságokat is befolyásolhat (BETSCHART és KINSELLA, 1973; BRAY és HUMPHRIES, 1978; LAMSAL et al., 2007).

A közvetlen hőközlésen alapuló fehérje koagulálás mellett hatékony módszernek bizonyul a mikrohullámokkal történő közvetett kicsapás is. A mikrohullámmal támogatott extrakció új, zöld módszerként ismert a biológiailag aktív vegyületek kivonására a különböző zöld biomasszákból (KADAM et al., 2013). A mikrohullámot előállítani képes berendezések használata az iparban nem újkeletű felfedezés (DELAZAR et al., 2012; TSUBAKI et al., 2018; BRACHET et al., 2002; KRATCHANOVA et al., 2004; NKHILI et al., 2009; YOSHIDA et al., 2010; WANG et al., 2006, WANG et al., 2007).

A módszer lényege, hogy a növényi sejtekbe lévő víz és más poláris molekulákat a mikrohullámok rezgésbe hozzák, ami a sejten belüli folyadék felmelegedését okozza. Ez a felmelegedés a víz párolgását idézi elő, ami nyomást gyakorol a sejtfalakra, majd felszakítja azokat (HAHN et al., 2012). Ezenkívül az mikrohullámok megbontják a hidrogénkötéseket és elindítják az oldott ionok vándorlását, elősegítve az oldószer fokozott behatolását a mintába (KADAM et al., 2013). A hagyományos melegítéssel ellentétben a mikrohullámmal történő felmelegítést nem korlátozzák a hővezetési vagy konvekciós áramlatok, ezáltal gyorsabb

hőmérsékletnövekedést tesz lehetővé. A közelmúltban az oldószermentes mikrohullámú hidrodesszillációt alkalmazták laboratóriumi léptékben különböző növényekből és gyümölcsökből származó illóolajok kivonására, mint környezetbarát és fenntartható alternatívát (CHEMAT et al., 2017).

2.9.2.2 Savas precipitáció

A savak alkalmazása megváltoztatja a fehérjék oldhatóságát a zöldlében, és azok kicsapódásához vezethet. BETSCHART és KINSELLA (1973) szójabab leveleiből származó teljes N és fehérje-N oldhatóságát vizsgálva azt találták, hogy a savas kicsapás jó módszer lehet a fehérjék koagulálására, mivel a fehérje-N kevesebb mint 5%-a oldódott az izoelektromos ponton (pH 3,7).

Az izoelektromos pont (IEP) azt a pH-értéket jelöli, amelynél a fehérjék össztöltése 0 (egyenlő a pozitív és negatív töltések mennyisége), és így minimális az oldhatóságuk, vagyis könnyebben koaguláltathatók és denaturáltathatók; a legtöbb fehérje IEP-ja pH 4,5-6,5 között van (COLDEBELLA et al., 2013).

A maniókalevélben a legkisebb fehérje oldékonyságot és a legnagyobb fehérje kicsapódást 4,0-5,0 közötti pH-értékeknél érték el (COLDEBELLA et al., 2013). A dohány, spenót, gyapot és kukorica levelekből kivont és tisztított RUBISCO (azaz a zöldfehérje frakció fehérjéje) IEP-ja pH 4,4-4,7 közötti volt (BAHR et al., 1977). MERODIO et al. (1983) vizsgálták a pH hatását a spenótlevélből származó fehérjék és klorofill oldhatóságára. A fehérjék minimális oldhatóságát pH 4,0-nál érték el, ahol a fehérjék mintegy 75%-a kicsapódott, míg a klorofill minimális oldhatósága pH 3,7-4,0 között volt.

Savas kicsapást végeztek már frakcionálatlan LFK előállítására (MORRISON és PIRIE, 1961; BARANIAK, 1990; COLDEBELLA et al., 2013; DAMBORG et al., 2020), de más kicsapási módszerekkel is kombinálták, hogy külön-külön zöld és fehér fehérje koncentrátumot állítsanak elő (LAMSAL et al., 2007; MILLER et al., 1975). MILLER et al. (1975) a lucerna zöld levének 60 °C-ra történő gyorsfűtését használták 20 s-ig a zöld kloroplasztisz fehérjék eltávolítására, majd az oldható fehér fehérjék sósavval történő savas kicsapását. A fehérje koncentrátum fehérjehozama (azaz a fehérje koncentrátumban kivont fehérjék mennyisége a zöldlében lévő fehérje mennyiségéhez viszonyítva) 63%-ról 87%-ra nőtt, ahogy a zöldlé pH-ját 4,5-ről 3,5-re csökkentették. DAMBORG et al. (2020) a fehérjék kicsapódását vizsgálta 3,0-5,0 közötti pH-tartományban sósav hozzáadásával különböző zöldlevelekhez. A legtöbb esetben a kicsapás hatékonysága (azaz a fehérje koncentrátumban lévő fehérjék hozama) nem volt pH-függő, kivéve a vöröshere zöld levét, ahol a legjobb kicsapási hatékonyságot 4,0 pH esetén

érték el. Továbbá a sav folyamatos hozzáadása tendenciaszerűen jobb kicsapási hatékonyságot mutatott a hőkoagulációhoz képest (DAMBORG et al., 2020).

LAMSAL et al. (2007) a lucerna zöldlevében 55 °C-os hőkoaguláció és sósavas kicsapás kombinációját végezték el 3,5 pH-értékre történő savas kicsapással zöld és fehér fehérje koncentrátumok előállítására.

A sósavval történő savanyítást (pH 3,3) hőkezeléssel (100°C vagy 140°C) és/vagy kémiai kezeléssel (cink-klorid) kombinálták a fehérje degradáció csökkentése érdekében a csomós ebírből (*Dactylis glomerata* L.) és a vesszős kölesből (*Panicum virgatum* L.) származó LFK előállítása során. Az így kapott LFK kevesebb, mint 40% fehérjét tartalmazott száraz tömegre vetítve (KAMMES et al., 2011).

2.9.2.3 Fehérjék flokkulálása

A flokkulánsok hatása abból ered, hogy képesek a részecskéket - ebben az esetben a fehérjéket - aggregálni, nagy komplexeket képezve, amelyek könnyen leülepednek és elválaszthatók az adott keverékből. Flokkulánsok hozzáadása a zöldléhez és ezzel az oldott fehérjék kicsapása az LFK előállítás egyik lehetséges módszere (BARANIAK, 1990; la COUR et al., 2019). ANELLI et al. (1977) flokkuláló szert adtak az előzőleg sósavval pH 4,5-re savanyított lucerna zöldléhez, a fehérjék azonnali flokkulációját és koagulációját idézve elő, amelyeket később szűrővel választottak el. Az eljárással 100 kg friss növényből 7,5 kg nedves fehérje koncentrátumot nyertek, és az LFK nyersfehérje-tartalma 56,2% sz.a. volt. BARANIAK (1990) anionos és kationos flokkulánsok felhasználását vizsgálta a fehérjék kicsapására lucerna zöldlevéből szobahőmérsékleten, hogy a hőkoagulációhoz és a savas kicsapáshoz képest gazdaságosabb eljárást dolgozzon ki. A lucernából előállított LFK fehérjetartalma a különböző fehérjecsapadék-leválasztási módszerekkel kis mértékben változott, azaz 42,7% sz.a. kationos flokkulánsokkal, 42,9% sz.a. savasítással (pH 3,5), 45,0% sz.a. anionos flokkulánsokkal és 53% sz.a. hőkoagulációval (85 °C).

BRAY és HUMPHRIES (1978) számos flokkulálószerrel vizsgáltak lucerna, magas csenkesz és perje zöld levében a kloroplasztisz fehérjefrakció kicsapására, mielőtt fehér fehérje koncentrátumot nyertek volna sósavas kicsapással pH 4,0 érték mellett. Emellett a kationos flokkulánsok használata a lucerna zöldlevéből a kloroplasztisz fehérjefrakció jobb elválasztását eredményezte anélkül, hogy melegítésre lett volna szükség (KNUCKLES et al., 1980).

Szulfít-pépesítési folyamat melléktermékeként keletkező lignoszulfonátok is potenciálisan felhasználhatóak fehérjék aggregációjára és kicsapására flokkulálószerként. A fehérjék hatékony kicsapásához a lignoszulfonát optimális dózisa 0,6-0,7 g volt g-nyi fehérjére

vetítve, ami 25,7% sz.a. fehérjetartalmú LFK-t eredményezett a perje és 39,0% sz.a. fehérjetartalmút vöröshere esetében. Az LFK lignoszulfonát-tartalma viszonylag magas volt, és körülbelül 25% sz.a. tett ki (la COUR et al., 2019).

2.9.2.4 Fermentáció

A szerves savak előállítása a zöldlében bakteriális erjesztéssel egy alternatívája a pH-érték csökkentésére és a fehérjék kicsapására szolgáló savak hozzáadásának. A zöldlé fermentációja során kezdeti lag-fázist figyeltek meg állandó pH-val, amelyet egy folyamatos pH-csökkenési fázis követett, amíg a gátlás bekövetkezett (AJIBOLA, 1984). Az erjesztett lé pH-ja és tejsavkoncentrációja közötti egyértelmű összefüggés azt jelezte, hogy a pH-csökkenésért a tejsavas erjedés a felelős. Mélyzöld színű csapadékot figyeltek meg az erjesztett lében, amikor a pH 4,5 körül volt, és a további pH 3,6 körüli értékig egy vékony, világossárga színű csapadékréteget eredményezett (AJIBOLA, 1984). Következésképpen a zöldlé tejsavas erjesztése felhasználható a fehérjék kicsapására. Ezen kívül AJIBOLA (1984) összehasonlította a zöldlé önerjesztését tejsavbaktériumtörzsek (*Lactobacillus plantarum* és *Pediococcus cereviseae*) beoltásával. Az eredmények azt mutatták, hogy a tejsavbaktériumok beoltása jelentős mértékben csökkentette a lag-fázist és alacsonyabb pH-értéket ért el az erjesztés végén.

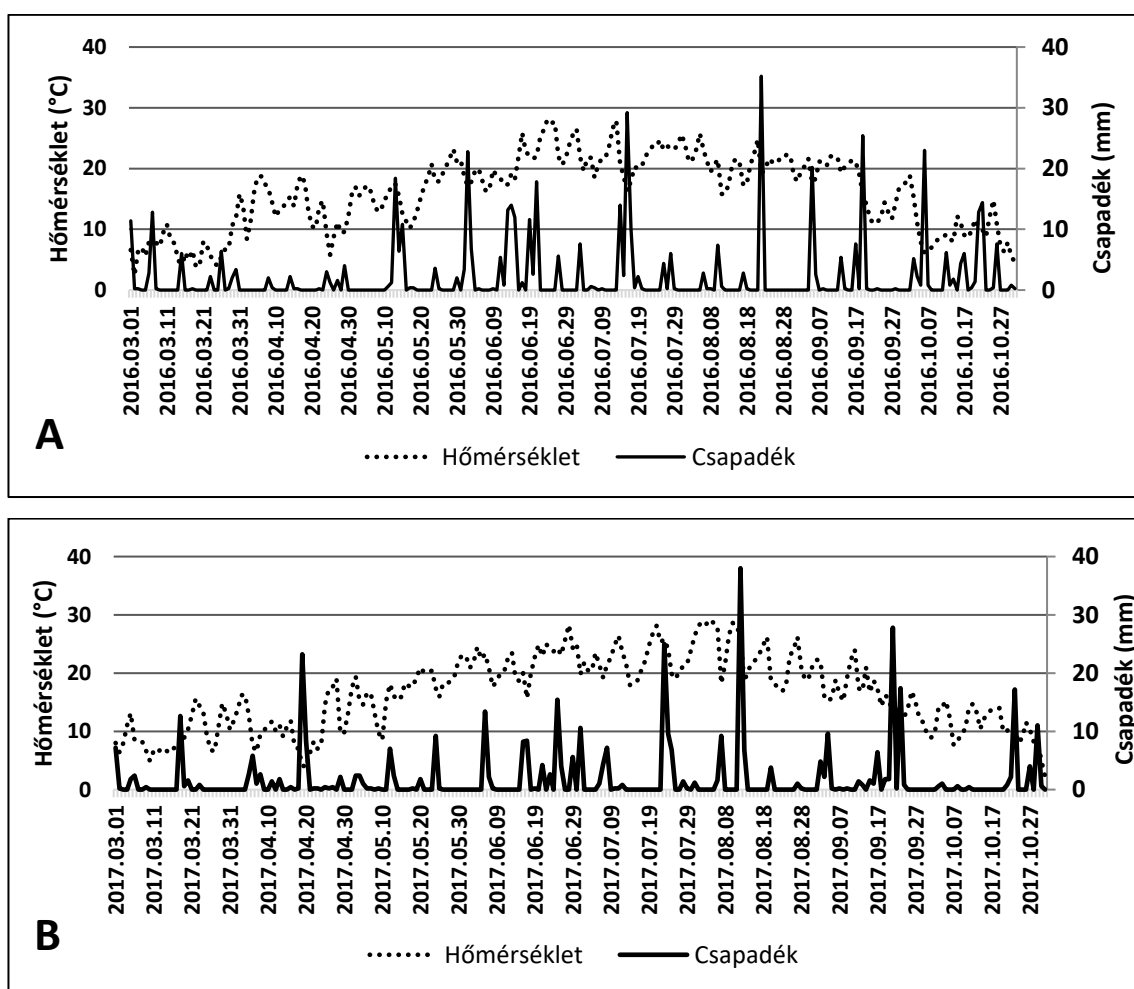
A korábban füléből izolált *Lactobacillus salivarius* BC 1001 a pH gyors csökkentéséhez legígéretesebb törzsnek bizonyult, mivel rövid lag-fázisa és a többi *Lactobacillus*-törzshöz képest magas tejsav termelődési sebessége miatt (THOMSEN és KIEL, 2008). Később KIEL et al. (2015) szabadalmaztattak egy *L. salivarius* BC 1001-at felhasználó eljárást a zöldlé tejsavas fermentációjára, melynek során a pH csökkentése és a fehérjék kicsapása egy funkcionális, nem denaturált fehérjéket tartalmazó LFK-t eredményezett. A zöldlé tejsavas fermentációját *L. salivarius* beoltott kultúrával összehasonlították a természetes fermentációval és kénsavval történő savanyítással (SANTAMARÍA-FERNÁNDEZ, 2015). A fehérje koncentrátumokban a különböző kicsapási módszerek esetében hasonló fehérje visszanyerési hozamot kaptak. A vöröshereből, fehérheréből, lucernából és olajretekéből előállított zöld leveket *L. salivarius*-szal 4,0-4,7 közötti végső pH-értékre fermentálták, ami 39-46% sz.a. közötti fehérjetartalmú LFK-t eredményezett (SANTAMARÍA-FERNÁNDEZ et al., 2017). A zöldlé tejsavas fermentációjának előnye, hogy kevesebb energiát igényel, mint a hőokoaguláció, és kevésbé károsíthatják a fehérjéket. A fermentációs módszert üzemi szintre emelve a SEGES, Európa egyik vezető agrárinnovációs vállalata, élen jár ezen a területen.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A csicsóka fajták/ökotípusok kisparcellás kísérleti beállítása

A kisparcellás kísérlet a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, bemutató kertjében került beállításra 2016-ban és 2017-ben, extenzív körülmények között, tápanyag-utánpótlást és öntözést nem végeztünk. A terület előzőleg középmező (25 cm) lazítást kapott, majd elmunkálták azt. Az ültetéstől számítva három alkalommal (3 hetes periódusban) mechanikai gyomirtást alkalmaztunk, amíg a csicsóka állomány lombozata nem záródott ezzel megakadályozva a gyomnövények fejlődését.

A vizsgált két évben a meteorológiai adatokat a **4. ábra** szemlélteti. Az adatokat a Debreceni Egyetem, AKIT DTTI – Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központja biztosította számunkra.



4. ábra. A kísérlet két éve alatt rögzített meteorológiai adatok. (A) 2016 és (B) 2017.

Mindkét vetés előtt 5 helyről pontmintát vettünk a kísérleti helyen lévő talaj felső 25 cm-es rétegéből. A talajminták összes nitrogén- (MSZ-08-0458-80), ammónia nitrogén- (MSZ 20135:1999 5.4.4. szakasz), nitrát nitrogén- (MSZ 20135:1999 5.4.4. szakasz), összes foszfor-

(MSZ-08-1744-2:1988), összes kálium- (MSZ-08-1744-2:1988) és humusz tartalmát (MSZ-08-0210:1977 2.1. szakasz) az Agrár Műszerközpontban határozták meg. Ennek eredményét a **7. táblázat** szemlélteti.

7. táblázat. A kisparcellás kísérlet vetés előtti talajvizsgálati eredménye.

Paraméter	2016	2017
Összes nitrogén	555 mg/kg	598 mg/kg
Szerves nitrogén	549 mg/kg	579 mg/kg
Ammónia nitrogén	3,9 mg/kg	8,7 mg/kg
Nitrát nitrogén	1,9 mg/kg	5,73 mg/kg
Összes foszfor	6793 mg/kg	6863 mg/kg
Összes kálium	1298 mg/kg	1386 mg/kg
Humusz	1,89 m/m%	2,24 m/m%

A teljes kisparcellás kísérleti terület 10×20 m (200 m^2) volt. A parcellák területe $5,6 \times 4$ méter, a szegélyek mérete $1,6 \times 4$ méter volt. A művelő út szélessége 2 méter.

Egy növény tenyészterülete 60×80 cm ($0,48 \text{ m}^2$) volt, 60 cm a tőtáv és 80 cm a sortáv.

A vetőgumók átlagos tömege 50-60 g volt, a vetésmélységet 10 cm-ben állapítottuk meg. Vetés előtt minden gumót átvizsgáltuk az esetleges sérüléseket, tárolási betegségeket kiszűrve.

A kísérletbe különböző földrajzi területekről származó, összesen hét csicsóka fajtát/ökotípust vontunk be, melyek eredetükkel együtt a **8. táblázatban** találhatók. A kísérletbe összehasonlító kontrollként egy hazai nemesítésű lucerna fajtát alkalmaztunk ('*Hunor 40*').

8. táblázat. A kísérletbe bevont csicsóka fajták/ökotípusok neve és származási helye.

Fajta/ökotípus neve	Származás hely
Alba (ökotípus)	Magyarország, de feltehetően lengyel eredet
Fuseau (fajta)	Egyiptom, de francia nemesítés
Kalevala (ökotípus)	Finnország, Helsinki
Kercaszomori (fajta)	Magyarország, NÖDIK
Piri (ökotípus)	Magyarország, Téglás
Rubik (fajta)	Magyarország, NÖDIK, de feltehetően lengyel eredet
Tápiói sima (fajta)	Magyarország, NÖDIK

Jelmagyarázat: NÖDIK – Növényi Diverzitás Központ

A szabadföldi kísérlet alatt vizsgáltuk a fajták eredését, melyből **Kihajtási** %-ot számoltunk, az alábbi képlet alapján:

$$\text{Kihajtási \%} = \frac{\text{Kihajtott gumó}}{\text{Összesen elvetett gumó}} * 100$$

Ezzel együtt minden héten nyomon követtük a fajták/ökotípusok földfeletti fő hajtásának növekedési ütemét mérőszalaggal, melyből **Növekedésdinamikát** számoltunk. A mérést mindig ugyanazon a 20 egyeden végeztük el a talajfelszíntől a főszár végéig. Az egyedek tömeges virágzása után csak a virágzati tengely eredéséig mértük a magasságot.

A zöld biomassza betakarítását egy tenyészidőszakban három alkalommal végeztük el, akkor kezdtük meg, amikor a növények elérték a 150 cm-es magasságot. Az első zöld biomassza betakarítás a vetéstől számított második hónapban volt, a második betakarítás pedig ettől számítva szintén két hónappal később. A harmadik betakarításra még két hónappal később került sor, de az egyenetlen és jelentősen kevesebb biomassza hozam miatt ezt a betakarítást nem vettük figyelembe.

A zöld biomassza betakarítást kézzel végeztük metszőolló segítségével a talajtól számított 15 cm-es magasságban. Összesen 10 növényt vágunk vissza fajtánként (5. ábra). A visszavágás alkalmával nem csak a zöld biomassza tömegét, hanem a hajtások számát is felvételeztük.

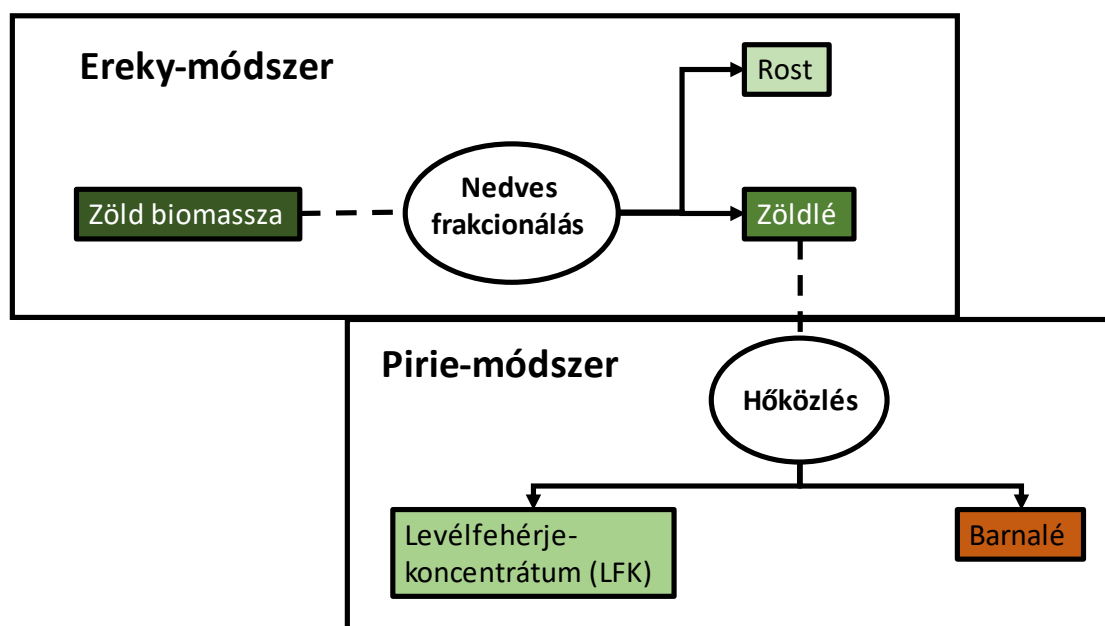


5. ábra. Egy visszavágott csicsóka tő, Debrecen 2016.

Visszavágást követően vizsgáltuk a fajták regenerálódási képességét. Megszámoltuk az újra képződő hajtások számát. Amikor ezek elérték a kb. 150 cm-es magasságot ismét visszavágtuk azokat, és a fent említett módon elvégeztük a betakarítást.

3.2 Zöld biomassza feldolgozás technológiai lépései

A betakarítást követően azonnal a frakcionálás helyszínére (laboratórium) szállítottuk a zöld biomasszát. A **6. ábra** szemlélteti a frakcionálás lépéseit, melynek alapját az Ereky – Pirie-féle módszer szolgáltatta, továbbfejlesztett fehérje koagulálási módosításokkal.



6. ábra. A zöld biomassza általunk végzett feldolgozásának sematikus ábrája. Forrás: Saját szerkesztés

A betakarítást követően random módon 3×1 kg-ot kimértünk a betakarított zöld biomasszából, melyből elvégeztük a feldolgozást.

Minden fajta/ökotípus esetében a frakcionálás a zöld biomassza préseléssel kezdődött az oldható és a rostos frakció elválasztása érdekében, melyet Angel Juicer 7500 típusú ikercsigás zöldség- és gyümölcspréssel végeztük (**7/A ábra**). A kapott rost frakció (**7/B ábra**) tömegét megmértük, rögzítettük és további felhasználásig -20°C -on tároltuk.



7. ábra. A csicsóka zöld biomassza ikercsigás frakcionálása (A) és a csicsóka rost frakciója a préselést követően (B).

Ezt követően a zöldlé frakcióban oldottan található fehérjék koagulálását mikrohullámmal végeztük labor körülmények között egy 450 watt teljesítményre beállított szakaszos működésű mikrohullámú készülékkel (Samsung, M1712N/XEH) egy lépésben $80 \pm 2^\circ\text{C}$ eléréséig, Fári és Domokos-Szabolcsy (2022) szabadalma alapján. Az így kapott zöld túró frakcióban a kipréselt zöldlé fehérjéi irreverzibilisen kicsapódtak és a továbbiakban szűréssel két frakciót nyertünk: barnalé (8. ábra) és a levélfehérje-koncentrátum (LFK) (9. ábra).



8. ábra. A barnalé és az LFK frakciók szétválasztása.



9. ábra. LFK frakció szűrés közben.

A levélfehérje-koncentrátum és barnalé frakciókat gravitációs elválasztás (szűrés) segítségével választottuk szét egymástól, sűrű szövésű vászon anyagon keresztül.

Ezt követően -20°C-on fagyasztoóban tároltuk további felhasználásra. Az LFK frakciót is szobahőmérsékletűre hűtöttük, továbbá megmértük a tömegét, majd -20°C-on fagyasztoóban tároltuk a későbbi mérésekhez.

Elvégeztük a zöld biomasszából nyert frakciók szárazanyag tartalom meghatározását, melyhez liofilizáltuk (Alpha 1-4 LSC basic lyophilizer) a mintákat. Az így kapott liofilizált mintákat porítottuk/homogenizáltuk daráló segítségével, majd további felhasználásra hűtőben 4°C-on tároltuk a beltartalmi paraméterek esetleges degradációját elkerülve.

3.3 Zöld biomassza eredetű frakciók nyersfehérje és aminosav tartalom meghatározása

A fajtánként és betakarításonként gyűjtött csicsóka LFK, rost és barnalé minták nyersfehérje- és aminosav tartalom meghatározása a Debreceni Egyetem, Agrár Műszerközpontban valósult meg. A nyersfehérje tartalom a MSZ EN ISO 5983-2:2009 szabvány, míg az aminosav tartalom a MSZ EN ISO 13903:2005 szabvány szerint.

Nyersfehérje tartalomhoz minta előkészítés, mérés menete:

A csicsóka és lucerna frakciók teljes fehérjetartalmát a Kjeldahl-módszerrel mértük, mint teljes N-tartalom. Röviden, 3×1 g liofilizált minta 250 ml-es Kjeldahl roncsoló csőbe mértünk, majd 15 ml tömény kénsavat (99%, VWR Kft., Debrecen, Magyarország) és két katalizátor tablettát adtunk hozzá. A Kjeldahl roncsolócsövek Tecator roncsolóblokkba (VELT, VWR Ltd, Debrecen, Magyarország) helyeztük 420°C-ra 1,5 órára. A feltárt minták teljes N-tartalmát titrálással határoztuk meg. A minta teljes fehérjetartalmát a következő egyenlet segítségével számoltuk ki:

$$\text{Összes nyers fehérje \%} = \text{teljes nitrogén tartalom} * 6,25$$

Aminosav összetétel meghatározáshoz minta előkészítése, mérés menete:

Az zöld biomassza alapú frakciók aminosav összetételének meghatározásához a liofilizált és homogenizált mintákat 6 M-os sósavval 110°C-on 23 órán keresztül emésztettük. Mivel az emésztett mintának legalább 25 mg nitrogént kellett tartalmaznia, a minták bemért tömege változó volt. A levegő eltávolítására váltakozóan inert gázt és vákuumot alkalmaztunk egy háromutas szelep segítségével. A hidrolízist követően a mintákat bepárló lombikokba szűrtük lettek szűrve, és a szűrletek 60°C-on bepároltuk, hogy szirupszerű állaguk legyen. Ezt követően desztillált vizet adtunk a mintához, és még kétszer ugyanilyen körülmények között bepároltuk. A bepárolt mintákat citrátpufferrel, (pH 2,2) mostuk. Az aminosav-összetétel elemzéséhez

INGOS AAA500 (Ingos Ltd., Prága, Cseh Köztársaság) aminosav-analizátort használtunk. Az elválasztás ioncserés kromatográfián alapult, oszlop utáni ninhidrin derivatizálással, UV/VIS detektort segítségével, 440/570 nm-en.

3.4 Aminosav összetétel/szabad aminosav tartalom meghatározás UHPLC módszerrel

Csicsóka zöld biofinomítási lépéseit követve a frakciók általános jellemzéséhez vizsgáltuk a teljes aminosav összetételt és a szabad aminosav tartalmát.

Minta előkészítés teljes aminosav összetétel meghatározáshoz:

Minden típusú mintából (zöld levél, rost, zöldlé, LFK és barnalé) 3×20 mg porított, liofilizált minta került bemérésre Sartorius AX224 típusú analitikai mérlegen. A mintákat 10 ml 6 M-os sósav oldattal teflon roncsolócsőbe belemostuk, majd az oxigén eltávolítása érdekében inert nitrogén gázzal átöblítettük. Ezt követően légmentesen lezártuk a csöveket és egy CEM Mars One (Matthews, USA) típusú mikrohullámú roncsolóba helyeztük 150°C-ra egy órára 650 Watt teljesítmény mellett. Az így kapott hidrolizátumot azonos mennyiségű 6 M-os nátrium-hidroxiddal semlegesítettük. A nem hidrolizált mintákhoz 500 µl borát puffert adtunk.

A szabad aminosav tartalom meghatározáshoz a mintákat hidrolizálás nélkül, közvetlenül használtuk. Minkét típusú mintát 3kDa-os Nanosep Omega típusú membrán szűrőn szűrtük át.

Hidrolizált és nem hidrolizált minták derivatizálása:

Az UHPLC elválasztás előtt a mintákat a gyártó utasításainak megfelelően az AccQ-Tag Ultra derivatizáló reagenssel derivatizáltuk. E szerint 10 µl átszűrt mintához 70 µl AccQ Tag Ultra borát puffert és 20 µl AccQ Tag Ultra reagenst adtunk és vortex segítségével összekevertük. Az így kapott elegyet 55 °C-on 10 percig inkubáltuk.

Mérés menete:

A zöld biomassa eredetű frakciók aminosav összetétele és szabad aminosav tartalmát ultranagy-hatékonyságú/nyomású kromatográfiás (UHPLC, Waters, Milford, MA, USA) rendszerben, kolonna előtti származékképzési módszerrel végeztük el.

A mozgó fázisok a következők voltak: A – 100% AccQ Tag Ultra Eluent A concentrate (Waters, Milford, MA, USA), B – 90:10 HPLC víz:AccQ Tag Ultra Eluent B, C – 100% HPLC víz (Sigma-Aldrich, Németország), D – 100% AccQ Tag Ultra Eluent B (Waters, Milford, MA, USA).

A derivatizált aminosavak elválasztását AccQ-tag Ultra C18 oszlopon (1,7 µm; 2,1 × 100 mm, Waters, Milford, MA, USA) végeztük, amelyet Acquity in-line szűrő (0,2 µm; 2,1 mm, Waters,

Milford, MA, USA) védett. Az áramlási sebesség 0,600 ml/perc volt, az oszlophőmérséklet 43°C. Az elválasztáshoz kidolgozott gradiens program teljes időtartama 11 perc volt, az alábbiak szerint:

0-0,29 perc A 10% C 90%;
0,30-5,49 perc A 9%, B 80%, C 11%;
5,5-7,10 perc A 8%, B 15,6% C 57,9%, D 18,5%;
7,69-7,98 perc A 7,8%, C 70,9%, D 21,3%;
7,99-8,67 perc A 4%, C 36,3%, D 59,7%;
8,68-10,8 perc A 10%, C 90%.

A kapott eredmények kiértékelését (processzálast) Waters Empower 3 szoftver (Waters, Milford, MA, USA) segítségével végeztük el. A processzálo fájlban pikomolban kapott eredmények értendők. További számítások segítségével meghatároztuk a minták aminosavtartalmát.

3.5. A különböző zöld biomassza eredetű frakciók fehérje expressziós mintázatának vizsgálata 1D SDS-PAGE módszerrel

Minta előkészítés:

A liofilizált és porított minták 40-40 mg bemérését Sartorius AX224 típusú analitikai mérlegen végeztük. Ezt követően minden mintához 800 µl általunk fejlesztett lízis puffert adtunk (8,5 M urea, 2 M thiourea, 4 % CHAPS, 60 mM DDT, 250 µl ampholite, 2 v/v% PVP 10). Ezt követően 1,5 órára ultrahangos vízfürdőbe inkubáltuk a mintákat. Az inkubációt követően Eppendorf Centrifuge 5415 R típusú centrifuga segítségével 30 percig 13000 rpm-en centrifugáltuk a mintákat.

Fehérjék elválasztása vertikális akrilamid gélen

A frakcionált csicsóka zöld biomassza eredetű minták elválasztásához diszkontinuos gél készítettünk az alábbiak szerint: a szeparálógél elkészítéséhez 2,3 ml desztillált vízbe 2,8 ml 30%-os akrilamidot, 1,75 ml 1,5 M-os (pH 8) TRIS puffert, 70 µl 10%-os SDS oldatot, 70 µl 10%-os APS oldatot és 8 µl TEMED-et adtunk. Ezt követően két üveglap közé pipettáztuk és megvártuk míg megszilárdul.

A gyűjtőgél elkészítéséhez 2 ml desztillált vízbe 550 µl 30%-os akrilamidot, 875 µl 0,5 M-os (pH 6,5) TRIS puffert, 35 µl 10 %-os SDS oldatot, 40 µl 10 %-os APS oldatot és 6 µl TEMED-et adtunk. Ezt követően a már megszilárdult szeparáló gélre pipettáztuk és egy 12 zsebes fésűt helyeztünk bele.

Futtatás körülményei, gélkép kiértékelés:

A futtatást Bio-Rad Mini-PROTEAN Tetra Vertical Electrophoresis típusú berendezésben végeztük. A futtatását egy erre a célra használatos kádban végeztük, melyet előzőleg feltöltöttünk 1x Tris-Glicin SDS pufferrel. Molekulatömeg azonosításhoz PageRuler (Prestained Protein Ladder 10-180 kDa) típusú fehérje markert használtunk. valamint 10 µl minta és 10 µl Laemli puffer keverékét vittünk fel a zsebekbe. Futtatást 90 V-on elindítottuk, a minták koncentrálásához (~15 percig), majd a fehérjék szeparálásához a feszültséget 160 V-ra állítottuk (45 – 50 perc). A futtatás végén a géleket kétszer átöblítettük desztillált vízben, majd Comassie G250 szuszpenzióban ~24 órát festettük. Festést követően a fölösleges festék kimosása érdekében ismét desztillált vízbe helyeztük a gél. A gélről készült fotót Bio-Rad Gel Doc XR+ berendezés segítségével készítettük el.

3.6 Zöld biomassza eredetű frakciók összes fenolos komponens tartalmának meghatározása

Az összes fenolos komponens tartalom meghatározást SINGLETON és ROSSI (1965) alapján végeztük spektrofotometriás módszerrel.

A mérés menete:

Az alábbi reagenseket használtuk: metanol-víz (80:20 arányú) elegye, Folin-Ciocalteu reagens-víz (1:10 arányú) elegye, 0,7M-os Na_2CO_3 oldat, 0,3M-os galluszsav oldat (80:20-as metanol-vízbe oldva). Ezt követően galluszsav standard sort készítettünk 0; 1; 2; 3; 4; 5 µg/ml koncentrációban.

Ismeretlen koncentrációjú minta előkészítése és mérése:

Szilárd mintákból (rost és LFK) 20 mg minta került bemérésre Sartorius típusú analitikai mérlegre, a barnalé esetében 100 µl minta. Ehhez 1 ml metanol-víz (80:20 arányú) oldatot adtunk. Ezt követően a szilárd mintákra pipettáztunk. Az így előkészített mintákat 1 órán át inkubáltuk ultrahangos vízfürdőben szobahőmérsékleten. Az inkubációt követően a mintákat 13.000 rpm-en centrifugáltuk 3 percig Eppendorf Centrifuge 5415 R típusú centrifuga segítségével. A felülúszót összegyűjtöttük a méréshez.

A mérés alkalmával a minták felülúszóiból 50 µl adtunk 1250 µl Folin-C. reagens és 200 µl metanol-víz (80:20) elegyéhez. Egy perc várakozás után további 1000 µl 0,7M-os Na_2CO_3 -ot adtunk. Ezt követően 5 percig 50°C-os vízfürdőben inkubáltuk a mintákat. Inkubációt követően $\lambda=760$ nm Ultrospec 2100 pro típusú spektrofotométer (Holliston, USA) segítségével lemértük a minták abszorbanciáját.

A minták koncentrációjának kiszámítását a kalibrációs egyenesből számított egyenlet ($y=0,164x+0,0001$; $R^2=0,9991$) segítségével végeztük el és galluszsav egyenértékben (GAE) értendők.

3.7 Zöld biomassza eredetű frakciók fitonutriens összetételének kvalitatív meghatározása UHPLC-ESI-ORBITRAP-MS/MS kapcsolt analitikai rendszerrel

Minta előkészítés:

A vizsgált csicsóka frakciókból (rost, barnalé, LFK) 0,5 g mennyiségű liofilizált, őrölt mintát mértünk be. Ezt követően 25 ml metanol-víz (80:20) elegyét adtuk hozzá. Az elegyet 150 fordulat/perc fordulatszámon 2 órán át kevertük szobahőmérsékleten. A hidroalkoholos kivonatot 0,22 m-es PTFE fecskendőszűrővel szűrtük.

Az UPLC beállításai:

A fitokémiai elemzéseket UHPLC-ESI-ORBITRAP-MS/MS alkalmazásával végeztük egy Dionex Ultimate 3000RS UHPLC rendszerrel (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA), amelyhez egy Thermo Q Exactive Orbitrap hibrid tömegspektrométert kapcsoltunk. Az elválasztáshoz Thermo Accucore C18 analitikai oszlopot (2,1 mm × 100 mm, 2,6 µm részecskeméret) használtunk. Az áramlási sebesség 0,2 ml/perc érték volt, és az oszlop hőmérséklet $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. A mozgófázis 100 % metanolból (A) (Sigma-Aldrich, Németország) és vízből (B) (Sigma-Aldrich, Németország) állt (mindkettő 0,1% hangyasavval savanyítva). Az injektálás térfogata 2 µl volt. A gradiens program a következő volt:

0-3 perc, 95% B;

3-43 perc, 0% B;

43-61 perc, 0% B;

61-62 perc, 95% B; és

62-70 perc, 95% B.

A tömegspektrométer beállítása:

A Thermo Q Exactive Orbitrap hibrid tömegspektrométer (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) ESI-forrással kapcsolt. A minták pozitív és negatív ionizációs módban külön-külön lettek mérve. A kapilláris hőmérséklete 320°C volt, a permetfeszültség pedig 4,0 kV pozitív ionizációs módban, illetve 3,8 kV negatív ionizációs módban. A felbontás 35 000 volt az MS1 szkenneléseknél és 17 500 az MS2 szkenneléseknél. A letapogatott tömegintervallum 100-1500 m/z volt. A tandem MS (MS/MS) szkenneléseknél az ütközési energiát 30 névleges ütközési energiaegységre lett állítva. A mért és a számított molekulaion tömegek közötti különbség minden esetben kevesebb, mint 5 ppm volt. Az adatok Thermo Trace Finder 2.1 szoftverrel kerültek feldolgozásra, saját és internetes adatbázisok (Metlin, Mass Bank of North America,

m/z Cloud) alapján. A feldolgozás után az eredmények manuális ellenőrzése a Thermo Xcalibur 4.0 szoftver (ThermoFisher, Waltham, MA, USA) segítségével történt.

3.8 Zöld biomassza eredetű frakciók fitonutriens összetételének kvantitatív elemzése UHPLC –MS módszerrel

A minta előkészítés a fitonutriens összetételének kvalitatív meghatározása során leírtakkal megegyezően történt.

Kvantitatív meghatározás a kvalitatív mérések alapján beazonosított vegyületekből történt standard vegyületek figyelembevételével, melyek az alábbiak voltak: **nikotinamid** ($\geq 98\%$ (HPLC), powder, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **nikotinsav** (analytical standard, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **biotin** ($\geq 99\%$ (HPLC), lyophilized powder, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **riboflavin** (analytical standard, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **liquiritigenin** ($\geq 97.0\%$ (HPLC) powder, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **klorogénsav** (analytical standard, powder, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **szkopoletin** (analytical standard, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország), **kumarin** ($\geq 99\%$ (HPLC), Sigma-Aldrich, Darmstadt, Németország).

A mérés menete:

A kvantitatív meghatározáshoz a kvalitatív mérésekhez beállított gradiens profilt alkalmaztuk a tömegspektrométeres detektálással negatív és pozitív ionizációs módban is. Az áramlási sebesség 0,2 ml/perc volt. Az injektálási térfogat 2 μ l volt.

3.9 Fotoszintetikus pigment tartalom meghatározás

A fotoszintetikus pigmenttartalom méréshez DUMA et al. (2014) módszerét vettük alapul, némi módosítással.

Minden típusú mintából (levél, zöldlé és rost) 100 mg liofilizált mintát mértünk be Sartorius típusú analitikai mérlegen. Ezt követően 5 ml 96%-os ethanolban 1 órán keresztül ultrahangos vízfürdőben inkubáltuk sötétben. Inkubációt követően 13.000 rpm-en centrifugáltuk 3 percig. A felül úszókat Eppendorf csövekbe pipettáztuk, majd Ultrospec 2100 pro típusú spektrofotométer (Holliston, USA) segítségével lemértük $\lambda = 665, 649, 495, 480$ és 440 nm hullámhosszon a mintákat, és a következő egyenletek segítségével meghatároztuk a minták fotoszintetikus pigmenttartalmát mg/g-ban.

$$\text{Klorofill a (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{13.7 \cdot A_{665} - 5.76 A_{649}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Klorofill b (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{25.8 \cdot A_{649} - 7.6 A_{665}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Karotinoidok (mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{4.7 \cdot A_{480} - 0.263 c_{\text{chla} - \text{chlb}}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

$$\text{Xantofilok (lutein) (mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{11.51 \cdot A_{480} - 20.61 A_{495}}{\text{tömeg} \cdot 200}$$

A kapott eredményeket a szárazanyag-tartalommal korrigálva közöltem.

3.10 Statisztikai kiértékelés

A statisztikai kiértékelést az R programcsomag segítségével végeztem el. Kiszámoltam az adatok normalitását, homogenitását és függetlenség vizsgálatot végeztem, ezt követően ANOVA elemzést készítettem, ezután Duncan Posthoc analízist csináltam $p < 0,05\%$ mellett. A kapott eredményeket MS Excel táblázatkezelő szoftver használatával ábrázoltam.

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

4.1 Csicsóka fajták/ökotípusok szántóföldi összehasonlító jellemzése

A csicsóka növények általános morfológiai paraméterei hatással lehetnek azok termőképességére. A növekedési erélye (a hajtásrendszer és lombozat kialakulása) szabadföldön, extenzív körülmények között döntően befolyásolja különösen a kompetitív tulajdonságait; pl. a gyomnövényekkel szembeni versenyképességét. PAS'KO, (1973) szerint ezen paraméterek genetikailag determináltak és az egyes fajták, ökotípusok, klónok között igen nagy eltérések tapasztalhatóak. Mindezekkel együtt a fajtán/ökotípuson belül is gyakori a nagyfokú plaszticitás, akár az egyes fenofázisokban is. Ezen túlmenően az évjárathatás is befolyásolja a csicsóka növények megjelenését és termőképességét is (KAYS és NOTTHINGHAM, 2008).

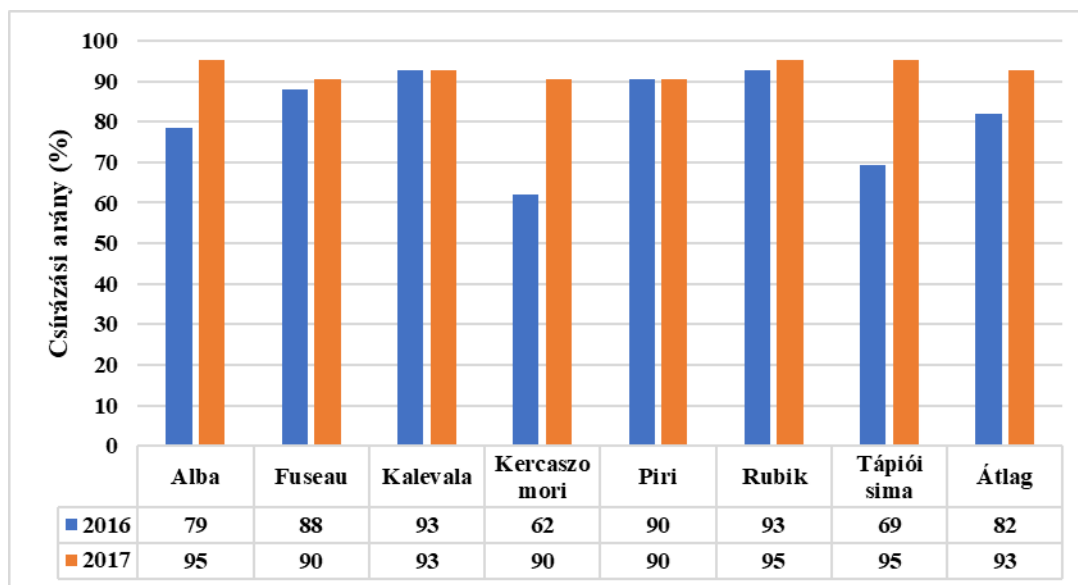
A **10. ábrán** láthatóak a kísérletbe vont csicsóka fajták/ökotípusok fiatalkori hajtásai. Az ábrán látható, hogy a kísérletben azonos korú fajták/ökotípusok habitusa, levél és szár morfológiailag jelentős eltéréseket mutat.

A fent leírtakkal összhangban elvégeztük a kísérletünkbe bevont hét csicsóka fajta/ökotípus morfológiai-, és termőképességi méréseit, melyet a **11-16. ábrák** foglalnak össze. A fajták/ökotípusok növekedésdinamikai felvételezését a csírázástól az őszi fagyokig végeztük. Minden tenyészidőszak végén a gumókat betakarítottuk kontrollként a nem visszavágott növények szolgáltak. A **11. ábrán** a két év csicsóka gumók csírázási arányait tüntettem fel.

			
ALBA	FUSEAU	KALEVALA	KERCASZOMORI

		
PIRI	RUBIK	TÁPIÓI SIMA

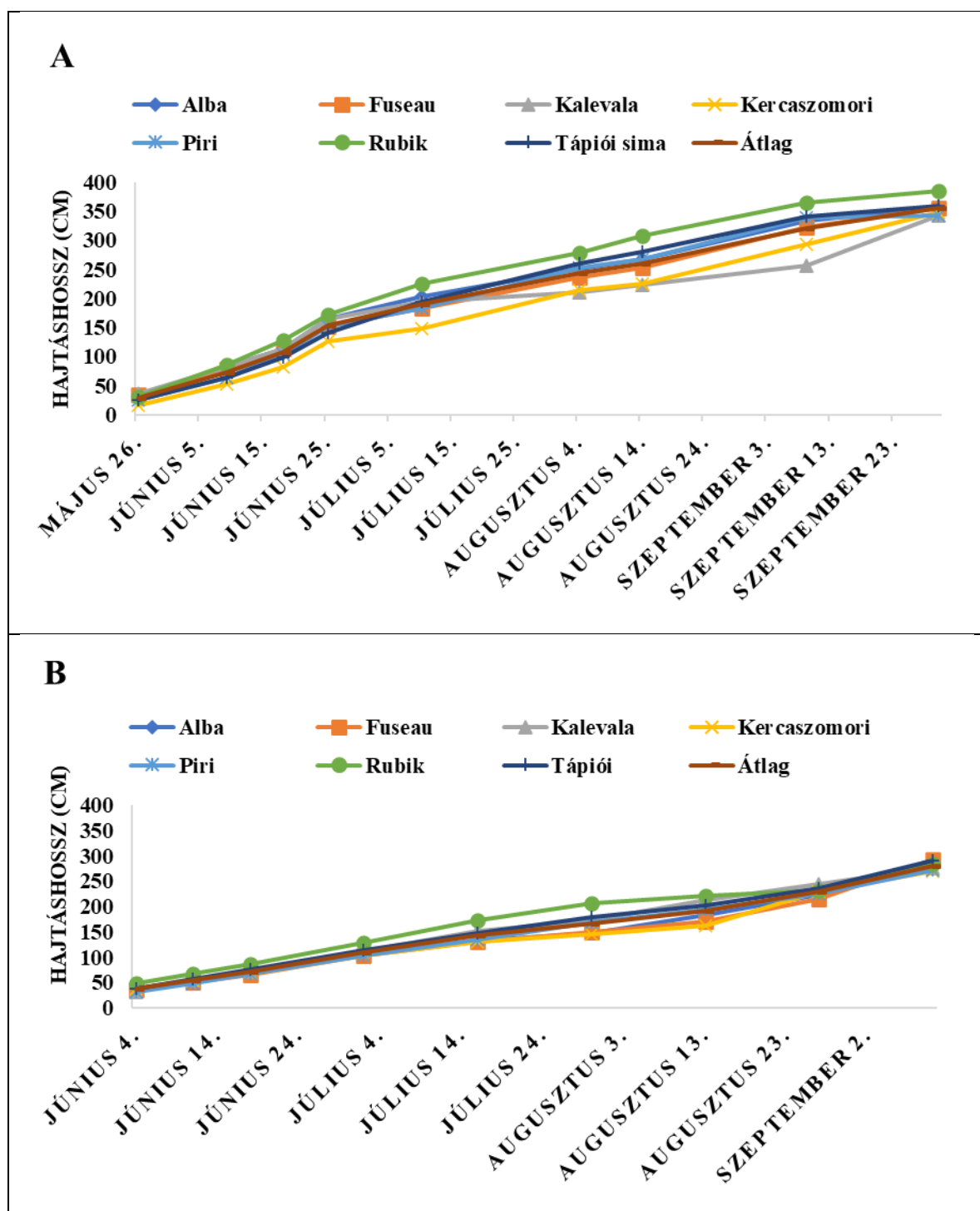
10. ábra. A kísérletbe részt vevő fajták/ökotípusok. Forrás: Saját szerkesztés.



11. ábra. A csicsóka gumók csírázási aránya a vizsgált időszakokban.

2016-ban a csírázás nem volt kiegyensúlyozott a fajták tekintetében, a legrosszabbul a magyar '*Kercaszomori*' fajta hajtott ki, 62%, valamint a magyar nemesítésű '*Tápiói sima*' (69%), melyek az adott év átlagától (82%) jóval elmaradnak. Ez a kapott vetőgumókon található tárolási betegségnek (szürkepenészes rothadás) is köszönhető volt, annak ellenére, hogy minden fertőzött gumót eltávolítottunk és az ültetésre kijelölteket előtte 5%-os nátrium-hipoklorit oldattal kezeltünk. A legjobban a finn '*Kalevala*' ökotípus (93%), a lengyel '*Rubik*' fajta (93%) és a magyar '*Piri*' ökotípus (90%) keltek. Ezzel szemben a 2017-es évben már sokkal kiegyensúlyozottabbak voltak az eredmények. Minden fajta/ökotípus az adott év átlagához (93%) közel vagy azt meghaladva ('*Alba*', '*Rubik*', '*Tápiói sima*') teljesített. Ez összefüggésben áll azzal is, hogy a 2017-es vetés közvetlenül a gumók tavaszi felszedését követően történt, a saját szaporításból.

A csírázást követően a fajták/ökotípusok növekedésdinamikáját monitoroztuk a tenyészidőszak során (**12. ábra**).



12. ábra. A 2016-ban (A) és 2017-ben (B) vizsgált csicsóka fajták/ökotípusok főszárának növekedés dinamikai eredményei a teljes vizsgált tenyésztidőszakban.

Az ábrán látható, hogy az fajták/ökotípusok mindkét tenyésztidőszak alatt dinamikusán fejlődtek. 2016-ban (12/A ábra) az első betakarítás időpontjáig (június 27.) minden csicsóka fajta/ökotípus intenzív növekedést mutatott. Ezt követően augusztus közepéig, illetve végéig, egy mérsékeltebb növekedésdinamikát tapasztalhatunk. Az ezt követő időszakban ismét egy

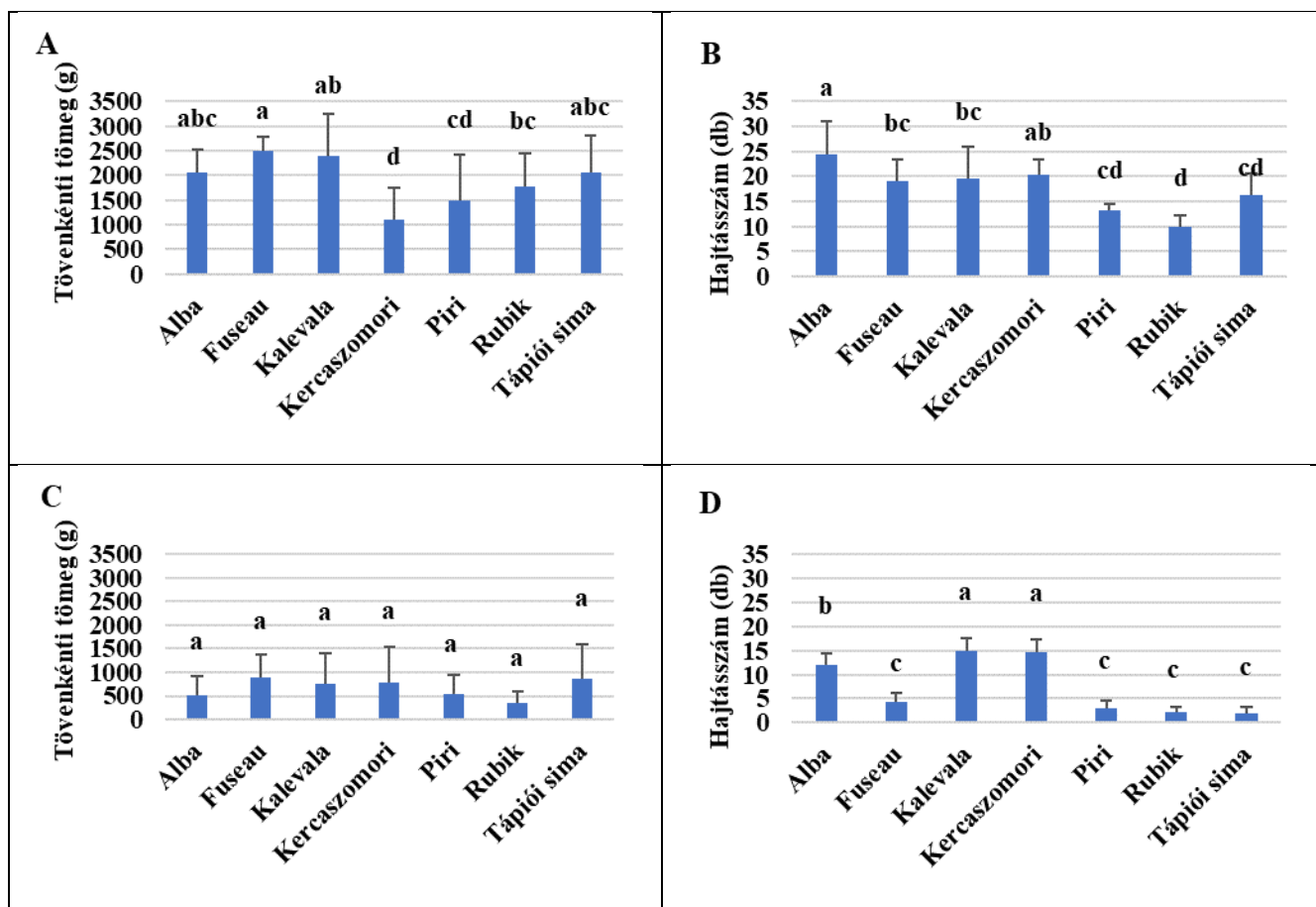
intenzívebb fejlődést figyelhetünk meg. Az ökotípusokat összehasonlítva a '*Rubik*' mutatta a legnagyobb napi vegetatív növekedési ütemet a vizsgált időszakban, ami átlagosan 3,1 cm/nap volt. A többi fajta/ökotípus ezen értéke 2,8-2,9 cm között alakult. A fajták/ökotípusok átlagos növekedése 350 cm körül magasságnál fejeződött be szeptember végére, kivéve a '*Rubik*' esetében, ahol 380 cm körüli értékeket mértünk.

A 2017. évben (**12/B ábra**), a vizsgált tenyészidőszakban összességében a csicsóka ökotípusok növekedésdinamikája laposabb görbét, de egyenletesebb eloszlást mutatott 2016-hoz képest. Összehasonlítva az ökotípusokat (hasonlóan az előző évhez) a '*Rubik*' fajta főszára mutatta a legintenzívebb növekedést a vizsgált időszakban.

A két év növekedésdinamikai diagramját összehasonlítva látható, hogy a teljes tenyészidőszak alatt két intenzív növekedési fázist lehet elkülöníteni. A kezdeti hajtásfejlődés, mely a keléstől egészen a csicsóka növény sztolóinak kezdeti fejlődéséig tart (június vége, július eleje), a második időszak pedig főként a tömeges virágzás és a gumók kezdeti fejlődésig tart (augusztus közepe-vége). A vizsgált paramétereket tapasztalataink szerint az időjárási viszonyok befolyásolják.

4.2 A csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza produkciójának összehasonlító értékelése

Figyelembe véve a csicsóka fajták/ökotípusok leveles szárának regenerálódási képességét két alkalommal végeztünk betakarítást az adott tenyészidőszakban. Az első betakarítás a talajtól számított kb. 150-160 cm-es növénymagasságnál történt (június hónap során), a második pedig akkor, amikor a regenerálódott növények hajtásai ismét elérték az említett magasságot (augusztus hónap során). Ezt követően, harmadik alkalommal is megindult a növények fejlődése, de annyira egyenetlen és kis mértékű volt a növekedés, hogy érdemi betakarításra már nem volt alkalmas. A 2016-ban, betakarításonként és egyedenként kapott zöld leveles szár tömegének eredményeit a **13. ábra** szemlélteti.



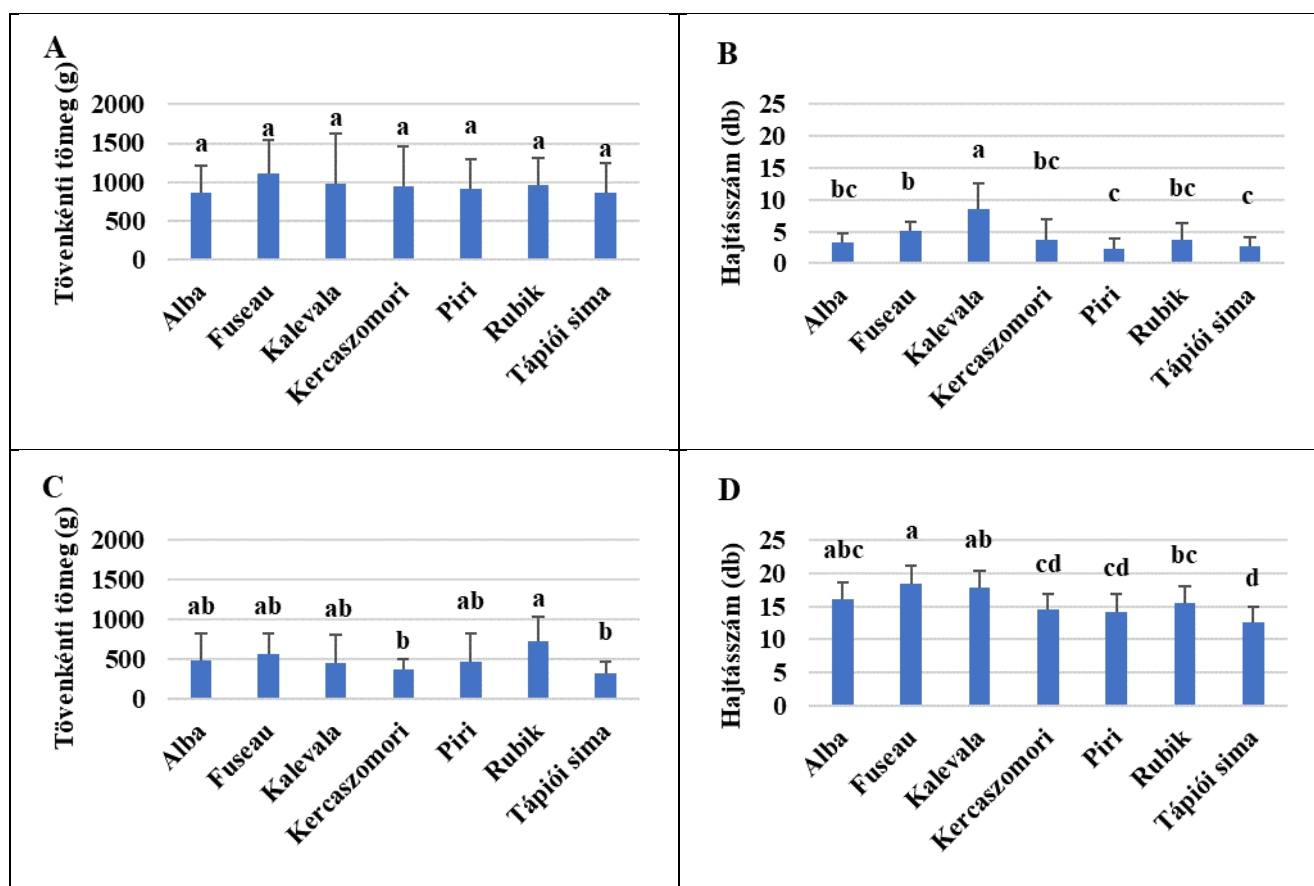
13. ábra. A csicsóka ökotípusok 2016-os két betakarítás alkalmával kapott zöldbiomassza hozama tömegben (g) (A) nyári és (C) őszi, valamint hajtásszámban (db) kifejezve (B) nyári és (D) őszi. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

2016-ban az első betakarítás (**13/A ábra**) alkalmával a 'Fuseau' fajta adta a legnagyobb biomasszát, átlagosan 2500 g-ot tővenként. Ezzel szemben a legkisebb mennyiséget a 'Kercaszomori' fajta esetében mértük, átlagosan 1100 g. Ezeknél a fajtáknál statisztikailag

igazolható különbséget tudtunk kimutatni. Ezzel szemben a második betakarítás (13/C ábra) alkalmával látható, hogy kevesebb biomassa volt betakarítható, és itt statisztikai különbséget már nem tudtunk kimutatni. Ezzel együtt a 'Fuseau' és a 'Tápiói sima' fajták érték el a legnagyobb biomassa hozamot, 898 és 853 g.

Az egyedenkénti töből fejlődött hajtásszámokat megvizsgálva az első betakarításkor (13/B ábra) az 'Alba' fajtánál kaptuk a legtöbb hajtást, átlagosan 24 darabot. A legkevesebbet a 'Rubik' fajtánál, átlagosan 10 darabot. A második betakarítás alkalmával (13/D ábra) már élesebb különbségek mutatkoztak a vizsgált fajták esetében, és egyértelműbb különbségeket tudtunk kimutatni. A 'Kercaszomori' és a 'Kalevala' fajtáknál 14 darab hajtást számoltunk, míg 2-4 darab hajtással a 'Fuseau', 'Piri', 'Rubik' és 'Tápiói sima' fajták voltak a gyengébbek.

A 2017-es zöld biomassa betakarítás eredményeit a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra. A csicsóka ökotípusok 2017-es két betakarítás alkalmával kapott zöld biomassa hozama tömegben (g) (A) nyári és (C) őszi, valamint hajtásszámban (db) kifejezve (B) nyári és (D) őszi. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

2017-ben az első betakarítás (14/A ábra) alkalmával a 'Fuseau' fajtánál mértük a legnagyobb zöld biomassa átlag tömeget (1100 g/tő). A többi fajta esetében 800-900 g/tő volt az átlagos tömeg. A vizsgált fajták között statisztikailag igazolható különbséget azonban nem

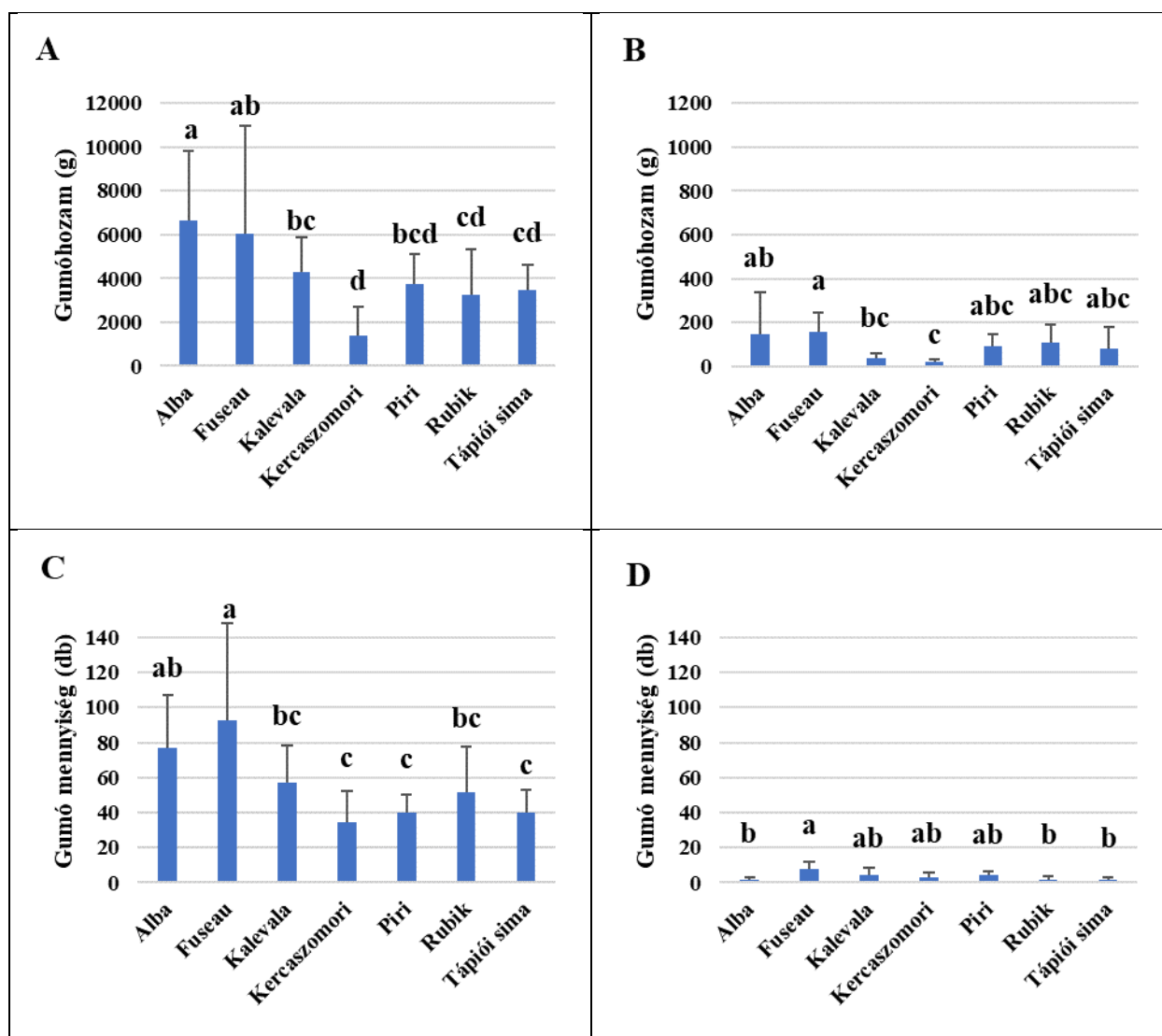
tudtunk kimutatni. Az első betakarítás hajtásszámainak (14/B ábra) megvizsgálva látható, hogy a 'Kalevala' ökotípus az, amelyik a legtöbb hajtást produkálta (8 db), míg a legkevesebbet a 'Piri' ökotípus (2 db) és 'Tápiói sima' fajták (2 db) mutatták a vizsgált időszakban. Ebben az esetben statisztikailag igazolható, szignifikáns különbséget tudtunk mérni. A második betakarítás alkalmával (14/C ábra) a fajták zöld biomassza hozama tekintetében a 'Rubik' fajta teljesített a legjobban, a tövenként átlagos 740 g-mal, amely szignifikánsan eltért a többi fajtától/ökotípustól. A legkevesebb betakarítható zöld biomasszát két fajta, a 'Kercaszomori' és a 'Tápiói sima' (~350 g/tő) adta, itt is szignifikáns eltérést tapasztaltunk. A többi fajta/ökotípus közel azonos mennyiségű (400-500 g) biomassza produkciót ért el a vizsgált időszakban. A legnagyobb mennyiségű hajtást (14/D ábra) a 'Fuseau' (18 darab), míg a legkisebb mennyiségűt a 'Tápiói sima' fajta (12 darab) adta ebben az esetben is statisztikailag kimutatható különbséget tapasztaltunk.

Összességében a 2017-ben a vizsgált fajták/ökotípusok zöld biomassza produkciója alacsonyabb értékeket mutatott összehasonlítva a 2016-ban mért eredményekkel. Ezek főként az eltérő időjárási körülményekkel (hosszabb aszályos periódusok) magyarázhatóak (Anyag és módszer – meteorológiai adatok), figyelembe véve, hogy a talaj tápanyag összetételében nem tapasztaltunk negatív eltéréseket a két vizsgált évben (7. táblázat).

GUNNARSSON et al. (2014) munkájában 11 csicsóka fajtát vizsgált biomassza hasznosítás szempontjából. Kísérletében 3,3 növény/m² szerepelt, ahol 6,3 kg/m²-es hozamot ért el (1,9 kg/növény), intenzív termesztés mellett egyszeri tenyészidőszak végi betakarítással. A mi esetünkben 2 db növény/m² sűrűséggel dolgoztunk tenyészidőszakonként két betakarítással és láthatjuk, hogy extenzív termesztési körülmények és kétszeri visszavágás után is jól teljesítenek a fajták/ökotípusok, átlagosan 1,91 kg/m².

STAROVOYTOV et al. (2017) orosz kutató munkájában leírta, hogy a csicsóka extenzív körülmények között tíz év átlagában is kb. 2,9 kg/m²-es produkcióra képes, igaz nem tesz említést a termesztési körülményekről.

Mivel a csicsókát leginkább a gumójáért termesztik, így a tenyészidőszak végén elvégeztük a gumók betakarítását is. Ezzel képet kapva nem csak a hajtások kétszeri visszavágásának gumófejlődésre gyakorolt hatásáról, de a következő évi vetőgumó mennyiségéről is, kontrollként a nem visszavágott egyedek szolgáltak. Az adatokat az 15-16. ábra szemlélteti.



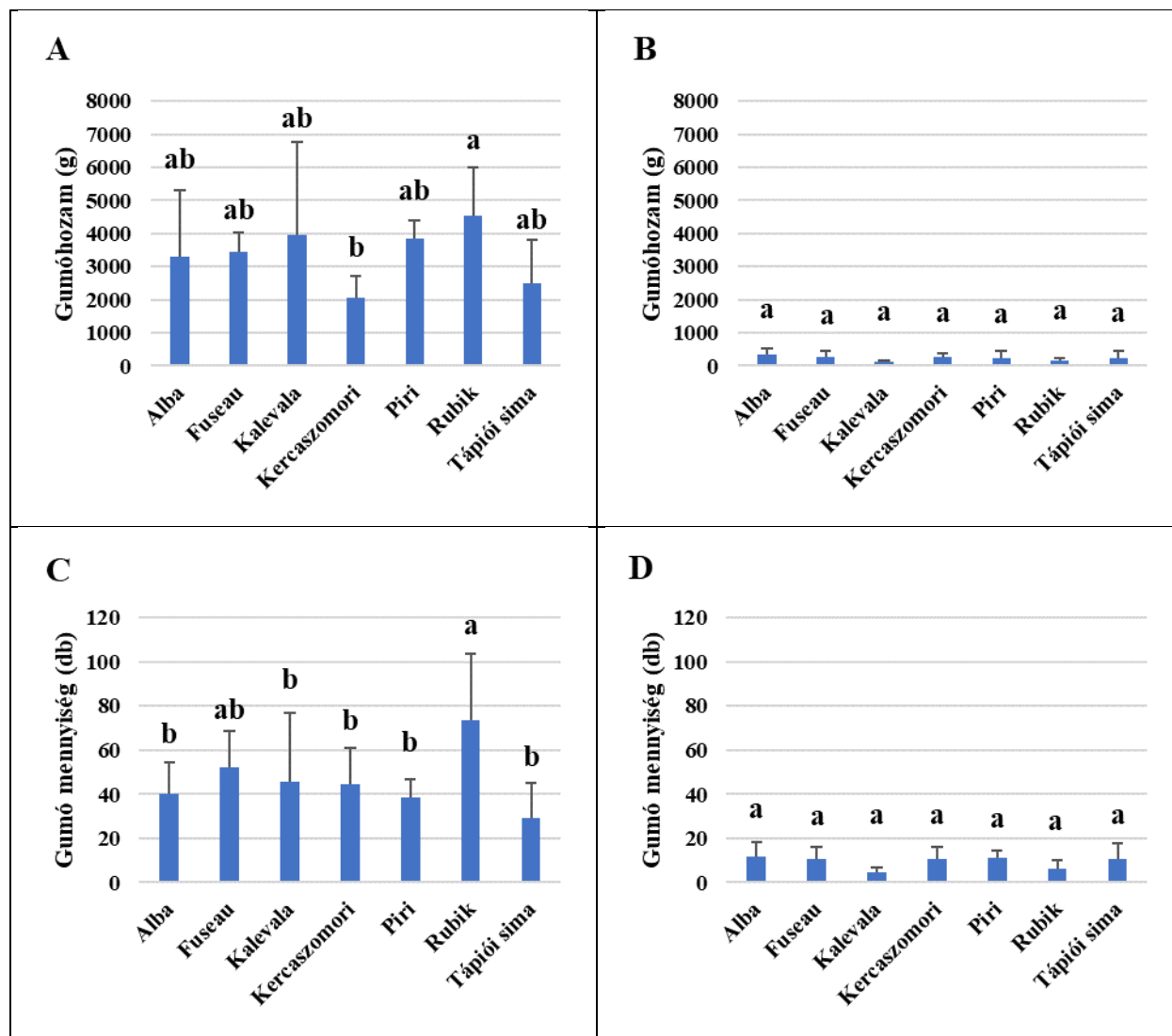
15. ábra. A 2016-ban betakarított csicsóka fajták/ökotípusok egyedenkénti gumó hozama (g) és növény egyedenkénti gumó darabszám (db) megoszlása a kontroll (A és C) és visszavágott (B és D) egyedek esetében. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

A 2016-ban elvégzett betakarítás alkalmával láthatjuk, hogy a kontroll növények alatt az összes gumóhozam 1400 - 6600 g/tő között alakult fajtánként/ökotípusonként. A visszavágott egyedek esetében 21 - 150 g/gumó közötti értékeket kaptunk. A kontroll egyedek alól betakarított gumók darabszáma 34 - 90 db/tő között alakult, míg visszavágottak esetében 2 - 8 db közötti volt.

A visszavágott egyedek esetében a legnagyobb gumóhozamot (**15/B ábra**) a 'Fuseau' fajta adta átlagosan 157 g/gumó. A legkisebb mennyiséget a 'Kercaszomori' fajta produkálta, 21 g/gumó. A két fajta között szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni. A visszavágott egyedek gumóinak darabszámát megvizsgálva láthatjuk, hogy a legnagyobb mennyiséget a 'Fuseau' fajta adta 8 darabbal, mely statisztikailag igazolhatóan különbözött az összes többi

fajtától/ökotípustól. A legkevesebbet az 'Alba' ökotípus és két fajta, a 'Rubik' és a 'Tápiói sima' produkálta, átlagosan 2 darab gumót tudtunk betakarítani az egyedek alól.

Összességében elmondható, hogy jelen körülmények között a kétszeri visszavágás következtében a csicsóka hozamok jelentősen csökkentek, de összevetve a gumók mennyiségét és egyedi tömegét láthatjuk, hogy a kis gumóhozam nem egyenesen arányos a gumók egyedi tömegével. A 'Tápiói sima' fajta esetében a gumók nagy méretűek voltak, a fajtára jellemző tulajdonságot mutatta (Anyag és módszer). Továbbá az is elmondható, hogy a 'Rubik' fajta gumói nem közvetlenül a törvek alatt fejlődtek, hanem a hosszúra megnyúlt szőlők végén, így a gumók inkább a sorok között voltak megtalálhatók. KOSARIC et al. (1983) is hasonló megállapításra jutott a 'Rubik' fajta esetében. A 2017-es tenyészidőszak végi betakarítás eredményeit a **16. ábra** szemlélteti.



16. ábra. A 2017-ben betakarított csicsóka fajták/ökotípusok gumóinak tömeg (g) és - mennyiség (db) megoszlása a kontroll (A és C) és visszavágott (B és D) egyedek esetében. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

A kontroll (**16/A ábra**) esetében 2000 - 4500 g közötti gumótömeget tudtunk betakarítani. A gumók mennyisége a kontroll (**16/C ábra**) esetében tövenként 73 és 38 darab között változott. A visszavágott tövek gumóhozama (**16/B ábra**) esetében 340 és 112 g közötti értéket kaptunk, a gumók mennyisége 11 és 4 darab között alakult. A gumóhozamra nézve (**16/A és 16/B ábrák**) a kontroll egyedek esetében statisztikailag igazolható különbséget tudtunk kimutatni a fajták/ökotípusok között, azonban a visszavágott egyedek esetében már nem volt szignifikáns különbség. Ugyan ez a jelenség figyelhető meg a gumók mennyiségi (**16/C és 16/D ábrák**) megoszlása esetében is.

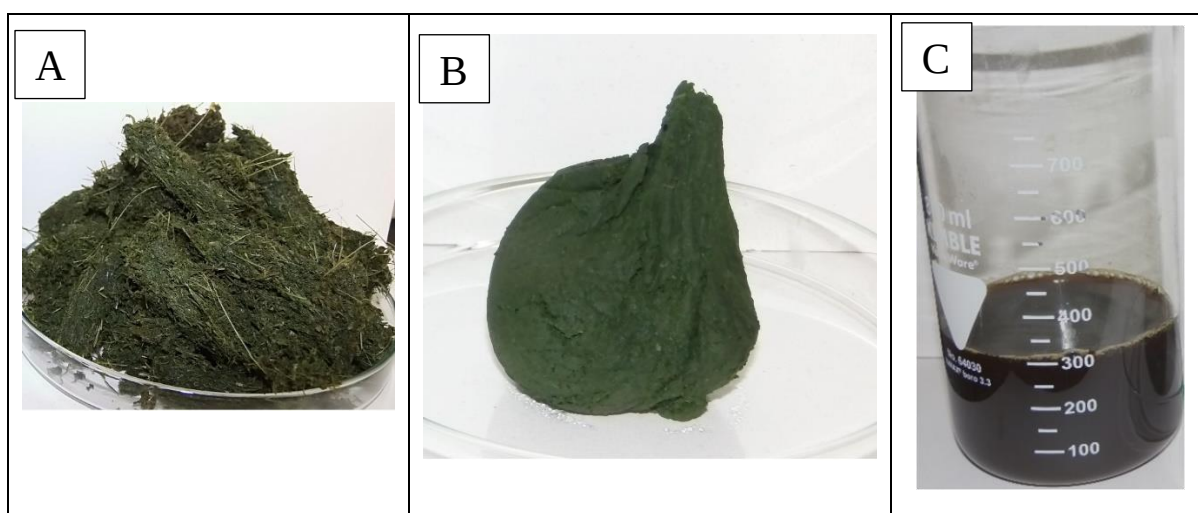
A visszavágott egyedek gumóhozam adatait (**16/B ábra**) értékelve láthatjuk, hogy a legnagyobb hozammal a '*Alba*' ökotípus rendelkezett (340 g), a legkisebb mennyiséggel a '*Kalevala*' ökotípus (112 g), azonban szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. A kétszer visszavágott egyedek gumóinak mennyiségi adatait (**16/D ábra**) megvizsgálva láthatjuk, hogy minden fajta/ökotípus átlagosan 10 darab gumót tudod fejleszteni. Tapasztalataink alapján a kétszeri visszavágás jelentős mértékben csökkentette a csicsóka gumóhozamát extenzív körülmények között.

Két évet összevetve látható, hogy a 2016-ban betakarított gumók tömege és darabszáma (**15/A és 15/C ábrák**) jóval több, mint a 2017-ben betakarítottak azonos paraméterekre nézve (**16/A és 16/C ábrák**). Ezt főként az időjárási viszonyokkal magyarázható (Anyag és módszer időjárási adatok). A hosszabb csapadékmentes időszak, ami magas hőmérséklettel párosult, a csicsóka növények sztolóinak képződési periódusára volt tehető. Ezt alátámasztja ROSSINI et al. (2019) összefoglaló munkája, mely szerint a csicsóka fejlődése 6-26°C között optimális. Ezzel együtt TUCK et al (2006) leírja, hogy évente minimum 500 mm csapadék szükséges a csicsóka fejlődéséhez.

4.3. A csicsóka zöld biomassza frakcionálás eredményei

4.3.1 Mennyiségi paraméterek összehasonlító vizsgálati eredményei

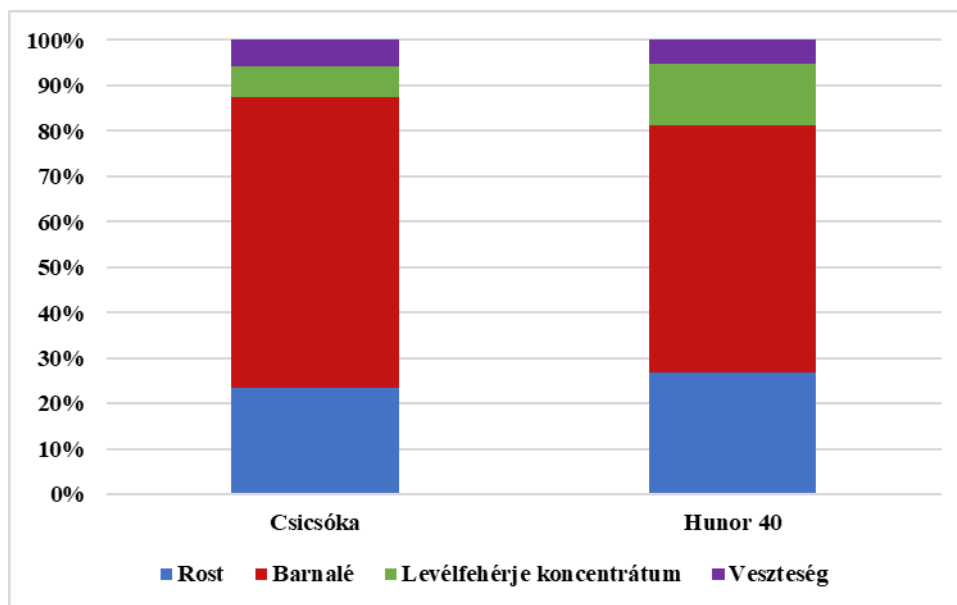
Jelen kutatási munka célkitűzéséhez igazodva egyik fontos kérdés volt, hogy a feldolgozott csicsóka zöld biomassza potenciálisan beilleszthető lehet-e a zöld biofinomítás elgondolásába. Ezért követve a „Zöld futószalag” lépéseit először a szerzett frakciók/potenciális termékjelöltek (beleértve zöldlé, présrost, levélfehérje koncentrátum, barnalé) (17. ábra) biológiai/kémiai értékeit vizsgáltuk általánosságban. Ehhez a csicsóka növények egyedfejlődése során 130 – 150 cm magasságot elérve takarítottuk be a zöld biomasszát, melyet a lehető legrövidebb időn belül megkezdtünk feldolgozni.



17. ábra. A módosított Ereky-Pirie féle módszer zöld futószalag frakciói rost (A) levélfehérje-koncentrátum (B) és barnalé (C).

A kísérletbe kontrollként bevontunk egy lucerna fajtát is, a 'Hunor 40'-et, mivel a lucerna a hazai integrált szántóföldi növénytermesztés egyik legfontosabb takarmánynövénye. Értékét nagy zöld biomassza hozamán (4,9 t/ha, KSH, 2022) és többszöri betakaríthatóságán (évi kár 4 alkalom), valamint a gyökereivel szimbiózisban élő *Rhizobium* baktérium törzsek légköri nitrogén fixálásán túl, kiváló fehérjetartalma (friss lucerna esetében 19-20 m/m%) és aminosav összetétele adja. Főként ezek miatt a tulajdonságai miatt választottuk kontrollként a lucernát.

A 18. ábra foglalja össze a két év és négy betakarítás átlagában a csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók relatív tömegére vonatkozó eredményeket.



18. ábra. A két év és négy betakarítás átlagában a csicsóka fajták/ökotípusok és a lucerna zöld biomassza frakciók relatív tömegére vonatkozó eredmények.

Az ábrán látható, hogy a csicsóka zöld biomasszákból kapott frakciók közül a rost esetében 23,3% kaptunk, míg a lucerna esetében ez 26,7% volt a rost aránya. A legnagyobb mennyiségben képződő frakció mindkét növényfaj esetében a barnalé volt. Csicsókánál 64% lucernánál 54%. A levélfehérje koncentrátum (LFK) esetében a két év és az összes fajta/ökotípus átlagát figyelembe véve a csicsóka esetében 6,9%, lucerna esetében 13,6% volt a relatív tömeg 1 kg friss zöld biomasszára vetítve. A fajták/ökotípusok laboratóriumi körülmények közötti frakcionálása közben a présgép szétszerelése és takarítása közben számolni kell némi veszteséggel is, amivel folyamatos üzemi körülmények között nem kell számolni. Ebben a tekintetben a csicsóka esetében 5,7%-os, míg a lucerna esetében egy 5,1%-os akkumulált veszteséget tudunk megállapítani.

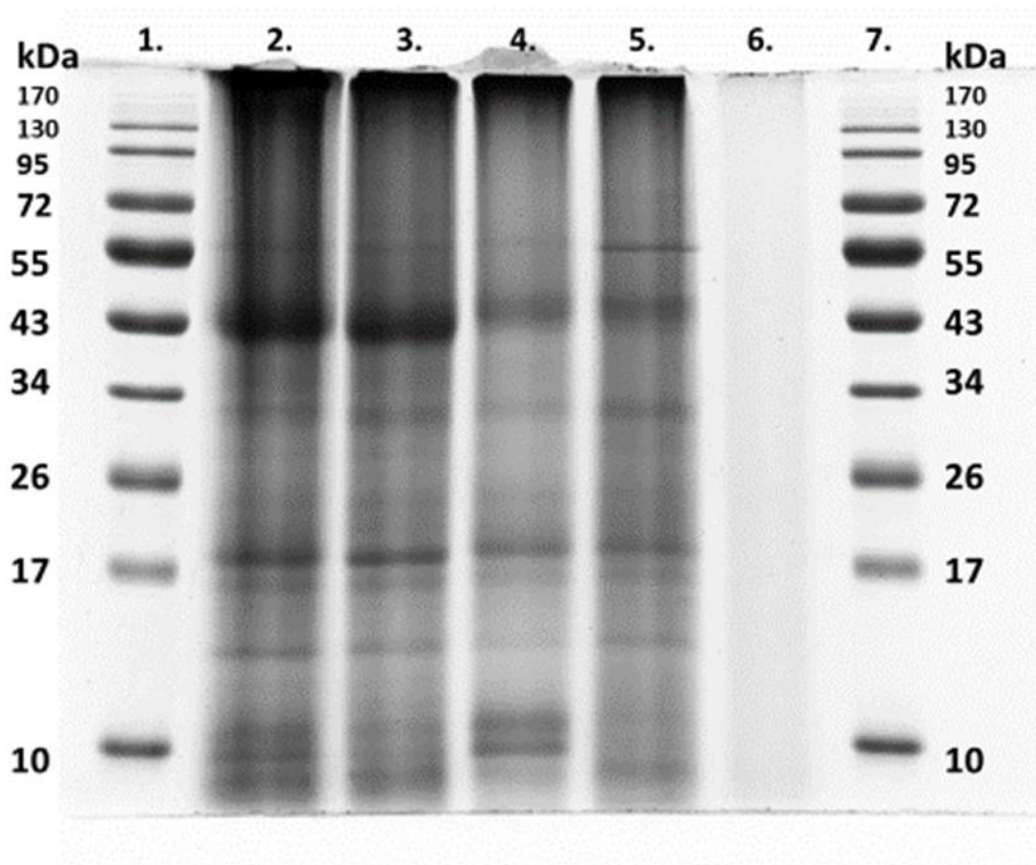
4.3.2 Minőségi paraméterek összehasonlító vizsgálatának eredményei

A **9. táblázat** foglalja össze a két év négy betakarításából származó csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók kivonatából készült átlag nyersfehérje eredményeit, melyet Kjeldahl-módszer alapján határoztunk meg.

9. táblázat A két év és négy betakarítás átlagából kapott nyersfehérje tartalom (m/m%) Kjeldahl módszer szerint.

Növényfaj / növényi rész	Levél	Rost	Zöldlé	Barnalé	LFK
Csicsóka átlagolt minta	22,0	11,9	15,3	0,72	29,66
Lucerna átlagolt minta	25,0	12,5	21,9	1,66	41,25

A táblázatban látható, hogy a csicsóka levelek esetében 22 m/m% nyersfehérje tartalmat tudtunk kimutatni. Nedves frakcionálás után a rost frakcióban átlagosan 12 m/m% nyersfehérje tartalmat tudtunk mérni, hasonlóan lucerna esetében ez 12,5 m/m% volt. A rost frakció fehérje tartalma nagy mértékben függ a préselés módjától. Az általunk is használt ikercsigás préseléssel kapott 12 m/m % körüli fehérje tartalmú présrost szárítva alkalmazható a takarmányozásban rostpótlóként. A zöldlé fehérje tartalma főként a citoplazmában és a kloroplasztisban található oldható fehérjékből adódik, ami csicsóka esetében átlagosan 15,3 m/m%. Ezzel szemben a lucerna azonos frakciójában ~22 m/m% nyersfehérjét kaptunk. A hőkoagulálást követően kapott további két frakció esetében a barnalénál átlagosan 0,72 m/m%-ot tudtunk kimutatni csicsókánál, a lucerna barnalé frakcióban további 1,66 m/m%-ot. A barnalé fehérje tartalma összefüggésben áll a szűrési technika minőségével. A mikrohullámmal aggregálódott fehérjék jellemzően az LFK frakcióban maradnak, nehezen vagy egyáltalán nem szolubilizálhatóak. A szűrő filter (textil vagy membrán) pórusméretétől függően a barnalébe jellemzően az 5 kDa alatti oligopeptid fragmentumok, szabad aminosavak, biogén aminok kerülnek át. Ezekből adódik össze a Kjeldahl szerinti nitrogén tartalom. Takarmányfehérje forrás alternatív lehetőségeként dedikált levélfehérje koncentrátum frakció (LFK) a lucerna esetében 41 m/m%-os nyersfehérjét tartalmazott, míg csicsóka esetében ~30 m/m% átlag értéket realizáltunk a két év átlagát figyelembe véve.



19. ábra. Csicsóka zöld biomassza eredetű frakcióiról készült reprezentatív fehérje expressziós mintázat 1D SDS-PAGE módszerrel.

Jelmagyarázat: 1-Fehérje marker (Prestained Protein Ladder 10-180 kDa), 2-levél, 3-zöldlé, 4-rost, 5-LFK, 6-barnalé, 7-Fehérje marker (Prestained Protein Ladder 10-180 kDa)

A frakciók fehérje minőségét vizsgálva a molekulatömeg alapján szétválasztható fehérje mintázatot szemlélteti összehasonlítva az intakt levéllel (**19. ábra**). A második oszlopban a csicsóka intakt levelének fehérje profilja látható, mely nagyon hasonló mintázatot mutat a zöldlével összehasonlítva (harmadik oszlop). További érdekesség, hogy minden frakcióban láthatunk ~10 és ~18 kDa méretű fehérjéket. Ezen túlmenően a levélben és a zöldlé frakcióban ~50 kDa körül szintén találunk egy markáns fehérjét, ami a többi frakcióban már nem volt észlelhető. Az ötödik oszlopban láthatjuk a levélfehérje-koncentrátum fehérje profilját. Látható, hogy ebben a frakcióban kisebb méretű fehérjék már nem látszanak, csak a nagyobb tartományban figyelhetünk meg fehérjéket. Ennek két oka lehet; a termális koagulálás alatt a fehérjék nagy méretű aggregátumokká állnak össze, valamint a hődenaturált fehérjéket már nem lehet újra oldatba szolubilizálni. A barnalé frakció (hatodik oszlop) profilját megvizsgálva láthatjuk, hogy ott gyakorlatilag semmilyen méretű fehérjét nem tudtunk kimutatni. Ez a

korábban említett kis fehérjetartalommal, valamint a termális koagulálást követő szűréssel is magyarázható.

A különböző csicsóka zöld biomasszából származó frakciók átlagos, teljes aminosav összetételét, valamint a frakciók szabad aminosav tartalmát kolonna előtti származék képzési módszerrel határoztuk meg UHPLC-n (**10. táblázat**).

10. táblázat A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók aminosav és szabad aminosav tartalmának eredménye UHPLC-PDA méréssel.

Aminosav	Aminosavtartalom hidrolizált frakció					Szabad aminosavtartalom				
	Levél	Zöldlé	Rost	LFK	Barnalé	Levél	Zöldlé	Rost	LFK	Barnalé
	aa mg/g minta				aa mg/ml	aa mg/g minta				aa mg/ml
Alanin	14,95	10,57	9,84	14,80	0,62	0,061	0,852	0,123	0,009	0,031
Arginin	14,79	13,44	11,01	16,68	0,34	0,006	0,101	0,080	0,026	0,004
Aszparagin	0,86	1,18	LOQ	LOQ	LOQ	0,006	0,315	0,049	0,006	0,027
Aszparaginsav	22,14	16,53	16,67	25,72	2,86	0,083	1,679	0,310	0,067	0,307
Cisztein	0,54	0,55	0,65	0,93	LOQ	LOQ	LOQ	LOQ	LOQ	0,001
Fenil-alanin	13,95	7,92	8,98	14,25	0,48	0,033	0,066	0,068	0,006	0,017
Glicin	13,81	8,68	8,57	13,38	0,57	0,116	0,095	0,042	0,002	0,002
Glutamin	LOQ	LOQ	LOQ	LOQ	LOQ	0,006	1,671	0,091	0,022	0,136
Glutaminsav	22,70	19,39	16,38	25,34	4,05	0,001	3,796	0,263	0,067	0,342
Hisztidin	4,09	3,20	3,43	5,16	0,19	0,005	LOQ	LOQ	LOQ	0,003
Izoleucin	9,52	6,41	7,46	10,99	0,37	0,011	0,077	0,048	0,005	0,014
Leucin	22,44	13,23	14,58	22,54	0,55	0,009	0,087	0,083	0,006	0,015
Lizin	16,53	10,17	10,04	14,95	0,65	0,003	0,097	0,096	0,007	0,016
Metionin	3,50	0,66	1,06	2,76	LOQ	0,007	LOQ	0,029	LOQ	0,002
Prolin	12,00	8,37	8,11	12,68	0,56	0,013	0,135	0,045	0,004	0,010
Szerin	15,68	7,56	7,29	11,87	0,46	0,025	0,355	0,041	0,005	0,018
Tirozin	10,39	9,53	6,49	11,23	0,34	0,031	0,062	0,052	0,005	0,011
Treonin	11,54	7,72	8,10	13,03	0,57	0,009	0,167	0,065	0,007	0,027
Triptofán	-	-	-	-	-	0,005	0,074	LOQ	0,006	0,006
Valin	12,79	8,53	9,54	14,38	0,59	0,011	0,144	0,057	0,008	0,024
Szum	222,21	153,63	148,21	230,68	13,20	0,44	9,77	1,54	0,26	1,01

Jelmagyarázat:

Piros számok – kalibráción kívül eső extrapolált eredmények

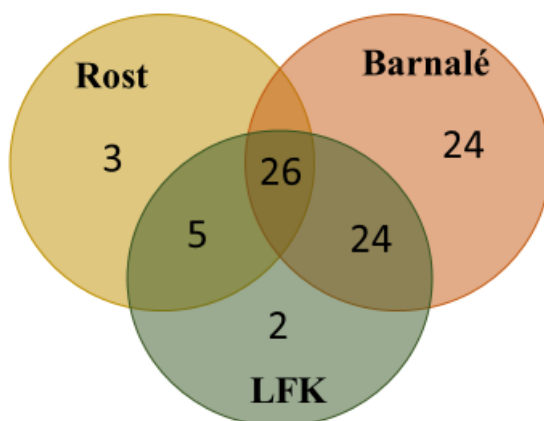
LOQ – nem detektált aminosavak

A vizsgált csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók teljes aminosav (aa) tartalma azonos tendenciát mutatott a nyers fehérje tartalommal. Ezek szerint az LFK frakció teljes aminosav tartalma (ami a valódi fehérje tartalmat is jelenti egyben) a legmagasabb 230,68 aa mg/g mintára vonatkoztatva. Takarmányozási szempontból lényeges limitáló/esszenciális aminosavak közül a lizin 14,95, valamint a treonin 13,03 mg/g koncentrációja kiemelendő. Az LFK frakció jellemzően aggregálódott fehérjéket tartalmaz, ezt igazolja a szabad aminosav tartalom eredmény is (0,26 mg/g), ami arányaiban elhanyagolhatóan kicsi a teljes aminosavtartalomhoz viszonyítva. A rost frakció eredményeit nézve láthatjuk, hogy a teljes aminosavtartalom ~15 aa mg/g, a szabad aminosavtartalom esetében 9,77 aa mg/g mennyiséget tudunk kimérni. Az esszenciális aminosavak közül a legnagyobb mennyiségben a leucin (14,58

aa mg/g) és a lizin (10,04 aa mg/g) volt jelen a teljes aminosav tartalmat tekintve. A barnalében mértük a legkisebb mennyiséget mindkét aminosav tartalom esetében. Ezzel is alá tudtuk támasztani azt, hogy ugyan a barnalé nyersfehérje tartalma esetében ~1-1,5 m/m% mértünk, de ahogy a **19. ábrán** is látható volt, hogy ezek nem tényleges fehérjék.

A frakcionált csicsóka zöld biomasszában a fehérje mellett egyéb elsődleges és másodlagos anyagcsere termékek is értékesek lehetnek humán/állategészségügyi szempontból. Emiatt vizsgáltuk az egyes frakciók fitonutriens összetételét UPLC-ESI-MS/MS kapcsolt analitikai technikával (**20. ábra**).

Összesen nyolcvannégy fitokémiai anyagot sikerült azonosítani a csicsóka zöld biomasszából kapott frakcióiban. Az egyes komponensek azonosítása a specifikus retenció idő, a pontos molekula tömeg, és a fragmentációs mintázat alapján került összevetésre Metlin, mzCloud, MoNA-MassBank of North America adatbázisokkal. A vizsgálatba bevont csicsóka fajták/ökotípusok frakcióinak fitokémiai profilja között elhanyagolható különbséget tapasztaltunk.



20. ábra. A csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza eredetű frakciókból beazonosítható fitokémiai komponensek száma, meghatározás UPLC-ESI-MS/MS kapcsolt analitikai módszerrel.

A beazonosított vegyületek jelentős része mindhárom frakcióban megtalálható volt (**20. ábra**). Összesen 26 darab, különböző kémiai sajátosságú fitokémiai komponens volt jelen mind a három frakcióban, mint például, *Epiatzelechin trimethyl ether*, *Vanillin*, *Azelaic acid*, γ -*Aminobutyric acid* (GABA). Ezek a növényvilágban igen általánosan előforduló másodlagos anyagcsere termékek. Voltak azonban olyan komponensek is, melyeket csak az egyik vagy esetleg két frakcióban sikerült megtalálni. A barnalé és az LFK frakciókban 24 darab közös komponenst is találtunk, szemben a rost és az LFK 5 darab közös vegyületével. Olyan anyagcsere terméket azonban nem tudtunk azonosítani, amik csak a barnalé és a rost frakciókban közösen lettek volna jelen.

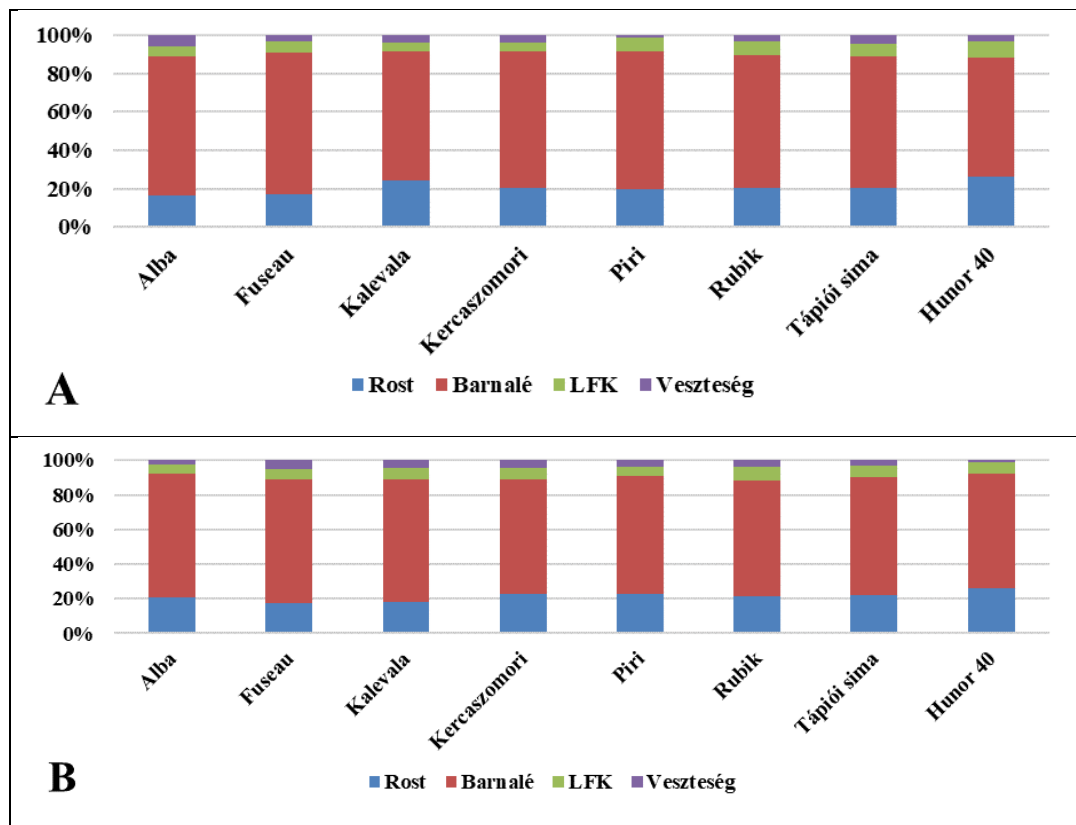
Ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy nem is volt jelen. Előfordulhatott, hogy a retenciós időhöz tartozó csúcsot meg lehetett találni, de olyan alacsony koncentrációban volt jelen az adott komponens, hogy a második ütközési celláig nem sikerült ionizálni így fragmentációs mintázatot nem kaptunk. Ez esetben nem tekintettük elfogadottnak a találatot. Összesen 24 darab vízdékony vegyület volt kizárólag a barnalében megtalálható. A LFK frakcióban 2 darab olyan fitokémiai komponens volt, ami csak ebben a frakcióban volt megtalálható (*quercetin* és az *isoquercetin*). A rost frakcióban azonban 3 darab olyan vegyület volt, ami csak erre a frakcióra volt jellemző (*coumarin*, *2-Hydroxyhexadecanoic acid*, *4-Hydroxy-3-methoxycinnamaldehyde*).

Az azonosított vegyületek közül kiemelném, hogy a fenolsavakon (különösen a kinasavak mono- és di-hidroxifahéjsav-észterek) kívül a frakcionált csicsóka zöld biomasszában először mutattunk ki a flavonoidokon belül több, egészségügyi szempontból igazoltan pozitív hatású hidroxilált metoxiflavont, úgymint dimetoxi-tetrahidroxiflavont, dihidroximetoxiflavont, ezen kívül még himenoxint és nevadenzint is. A frakciókból kimértük a liquiritigenint, egy ösztrogénhatású flavanont, valamint a buteint és a kukulkanin B-t, mint kalkanokat.

4.4 A fajta összehasonlító vizsgálatok eredményei

4.4.1 A fajták/ökotípusok mennyiségi összehasonlító vizsgálatának eredményei

Az évenkénti és betakarításonkénti csicsóka és lucerna frakciók egymáshoz viszonyított relatív tömegeire vonatkozó eredmények az alábbi két összefoglaló ábrán láthatók (21-22. ábra).



21. ábra. A 2016-ban betakarított csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók %-os megoszlása 1000 g zöld biomasszára vetítve, (A) nyár és (B) ős.

Az első betakarításból származó csicsóka és lucerna zöld biomassza eredetű frakciók megoszlása közel azonos (21/A ábra). A rost frakció minden fajta esetében 17-20%, azonban a lucerna rost frakció 27%-a volt a teljes betakarított zöld biomasszának.

A présrost frakció arányát nagyban befolyásolja az alkalmazott présgép, ami jelen esetben egy nagy hatékonyságú ikercsigás présgép volt. Legnagyobb arányban a barnalé frakció keletkezett fajtól/fajtától függetlenül. A barnalé a kipréselt zöldléből mikrohullámú koagulálással és szűréssel létrehozott heterodiszperz frakció. Lucerna esetében átlagosan 62%-ot mutatott, míg a csicsóka fajtáknál 64-74%-os eredményt kaptunk. A levélfehérjekoncentrátum (LFK) arányait tekintve a legkisebb frakciót adta, lucerna esetében átlagosan 8% volt, míg a csicsóka fajták 4-7% közötti értéket mutattak. Laboratóriumi körülmények között, az egymás után vizsgált fajták/ökotípusok között a présgépet szétszedtük, illetve a levélfehérjekoncentrátum szűrése során elcsorgások voltak ezért mérhető akkumulált veszteséget

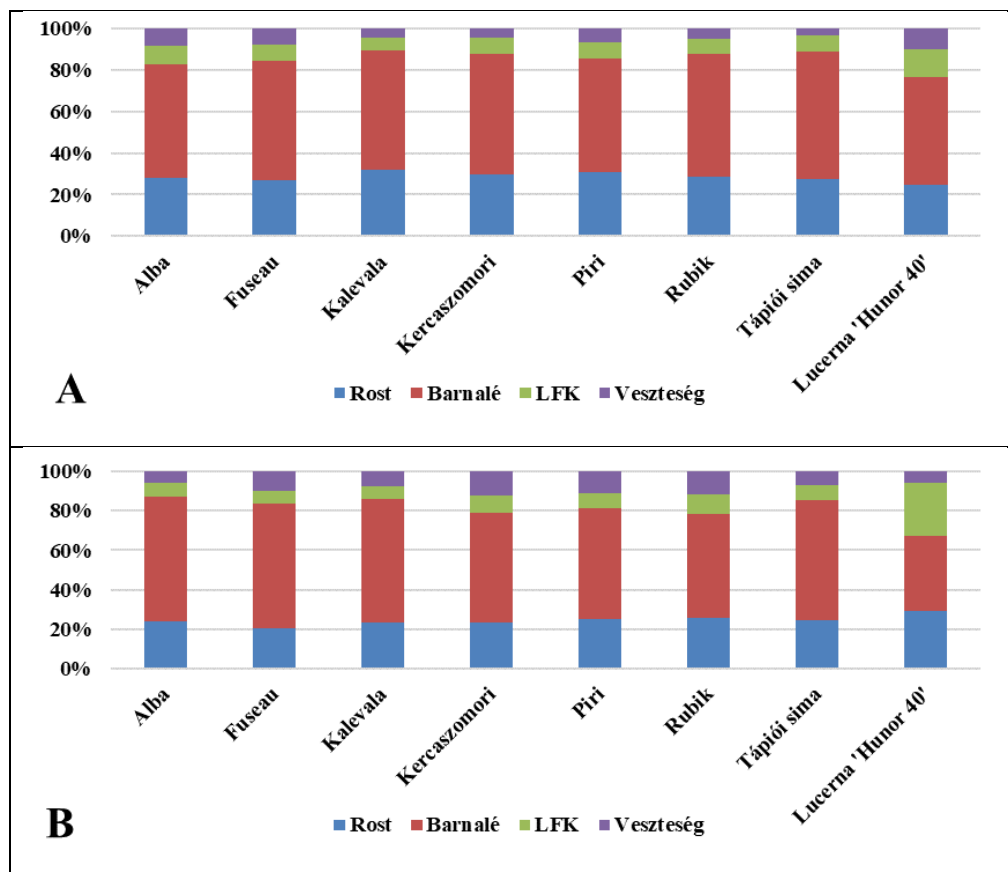
tapasztaltunk, mely a lucerna estében átlagosan 4% körüli volt, a csicsóka fajták estében 2-6% volt (**21. ábra**). A 2016 második betakarításánál (**21/B ábra**) mért rost frakciók megoszlását tekintve a csicsóka fajtáknál átlagosan 18-23%-ot mértünk, míg a lucerna esetében 26% volt. A csicsóka fajták barnalé frakciójának megoszlása 66-71% között alakult, ezzel szemben a lucernánál átlagosan 66%-ot mértünk. A levélfehérje-koncentrátum (LFK) esetében a csicsóka fajtáknál 5-8%, míg a lucernánál 7%-ot mértünk. A frakcionálás alkalmával tapasztalt veszteségek a csicsóka fajták esetében átlagosan 2-5%, a lucernánál 1% volt.

Az első betakarítás alkalmával (**21/A ábra**) a Rost frakciót figyelembe véve a csicsóka fajták/ökotípusok közül a '*Kalevala*' ökotípusnál kaptuk a legnagyobb mennyiséget (24%). A lucernától ez mindössze 2%-kal kevesebb. Az első betakarítás barnalé frakcióját megvizsgálva, láthatjuk, hogy a '*Fuseau*' fajtánál kaptuk a legnagyobb mennyiséget (73%). A lucerna barnalé frakcióhoz képest ez 12%-kal több. A levélfehérje koncentrátum esetében a legnagyobb mennyiséget a '*Piri*' ökotípusnál tapasztaltuk (7%). Összehasonlítva a lucernánál mértekkel (7%), nem találunk különbséget.

A második betakarítást megvizsgálva láthatjuk, hogy rost frakció esetében a csicsóka fajták/ökotípusok között a legkisebb mennyiséget a '*Fuseau*' fajtánál és a '*Kalevala*' ökotípusnál kaptuk (17-18%). Ez a lucernához képest közel 10%-kal kevesebb. A barnalé frakció esetében a csicsóka fajták/ökotípusok közül a legnagyobb arányt a '*Alba*' ökotípus és a '*Fuseau*' fajta esetében mértük (71%). Ez a lucernához képest 5%-kal több. A levélfehérje-koncentrátum frakciónál a csicsóka fajtáknál/ökotípusoknál a '*Rubik*' fajta esetében mértük a legnagyobb arányt, 7%. A lucernával összehasonlítva, ami 6,5% volt, többet kaptunk.

A 2017-ben végzett csicsóka és lucerna zöld biomassza betakarítást követően a feldolgozás alkalmával keletkezett frakciók egymáshoz viszonyított arányát a **22. ábra** szemlélteti.

Az első betakarítás alkalmával a csicsóka fajták rost frakcióinak aránya átlagosan 28-31% volt (**22/A ábra**), a lucerna esetében 25% volt realizálható. A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakció a csicsókák esetében 7-8% közötti értéket mutatott, míg a lucernánál ez az arány már 13% volt. A feldolgozás alkalmával a teljes veszteség a csicsókák eseténben 3-8%, míg a lucernánál közel 10% volt.



22. ábra. A 2017-ben betakarított csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók %-os megoszlása 1000g zöld biomasszára vetítve, (A) nyári és (B) őszi betakarítás.

A második betakarításnál (**22/B ábra**) a csicsóka rost frakciók megoszlása a többi frakcióhoz képest 20-25% volt, szemben a lucerna 30%-os arányával. A levélfehérje koncentrációját a csicsóka fajták esetében 7-10% volt, míg a lucernánál már 26%. Arányaiban tehát több LFK frakciót kaptunk a csicsóka és a lucerna esetében is az első betakarításhoz képest.

A csicsóka fajták/ökotípusok közül az első betakarítás alkalmával (**22/A ábra**) a rost frakciót figyelembe véve a 'Kalevala' ökotípus esetében kaptuk a legnagyobb arányban (31%) a préselést követően, a lucernához képest 6%-kal nagyobb mennyiségben. A barnalé frakciónál a 'Tápiói síma' fajta esetében kaptuk a legnagyobb mennyiséget 1 kg biomasszára vetítve (61%), amely a lucernához képest 10%-kal volt nagyobb. Az első betakarítás levélfehérje koncentrációját megvizsgálva az egyes csicsóka fajták/ökotípusok tekintetében, láthatjuk, hogy az 'Alba' és a 'Piri' ökotípusok 8%-ot értek el, mely azonban kevesebb, mint a lucernánál mért (13%). A veszteség aránya a lucernához viszonyítva a csicsóka fajtákat/ökotípusokat, 1-5%-kal kevesebb volt, mint a lucerna esetében (~10%).

A második betakarítás alkalmával (**22/B ábra**) a csicsóka fajták/ökotípusok rost frakcióinak aránya az első betakarításhoz képest csökken, 3-8%-kal. A legnagyobb

mennyiséget a '*Piri*' ökotípus és a '*Rubik*' fajta esetében kaptuk (25%). A lucernához viszonyítva azonban 4%-kal kevesebb. A barnalé frakció esetében az első betakarításhoz képest minden csicsóka fajta/ökotípus tekintetében 4-8%-os emelkedést tapasztaltunk. A legnagyobb mennyiségben az '*Alba*', '*Kalevala*' ökotípusok és a '*Fuseau*' fajta esetében tapasztaltuk, 62%-os aránnyal. A lucerna esetében a második betakarítás alkalmával 30%-kal kevesebb barnalevet tudtunk kimutatni a csicsókákhoz képest. A levélfehérje koncentrátum frakció az első betakarításhoz képest számottevően nem változott. A legnagyobb arányban a '*Rubik*' fajtánál kaptuk (10%). A lucernával összevetve láthatjuk, hogy kisebb mennyiséget kaptunk ~10%-kal.

A két vizsgált év csicsóka fajtákból/ökotípusokból és lucernából származó zöld biomassa eredetű frakciók abszolút értékeit az **11-12. táblázat** foglalja össze.

A 2016-os év első betakarításának (**11. táblázat**) rost frakcióit megvizsgálva látható, hogy a lucerna adta a legnagyobb rost mennyiségét (265 g). A legkisebb mennyiséget az '*Alba*' ökotípus és a '*Fuseau*' fajta adták (166 g és 171 g). Statisztikailag kimutatható különbség volt a lucerna és a csicsóka fajták/ökotípusok között. A szárazanyag tartalmat megvizsgálva az adott frakciónál láthatjuk, hogy csicsóka fajták közül a '*Rubik*' fajta esetében 46%-os szárazanyag-tartalmat mértünk. A legkisebb mennyiséget a '*Piri*' fajta produkálta 34,2%-kal.

A barnalevek esetében a '*Fuseau*' fajtánál mértük a legtöbbet, 738 g, míg a legkevesebbet a lucerna esetében kaptuk, 619 g. Adott frakciónál a '*Fuseau*', a '*Kalevala*' és a lucerna között tudtunk statisztikailag igazolható különbséget kimutatni.

A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakció esetében a legnagyobb mennyiséget a lucerna (79 g), míg a legkevesebbet a '*Kalevala*' és a '*Fuseau*' adta (44 és 54 g). A többi fajta esetében nem tudtunk szignifikáns különbséget kimutatni. A szárazanyag tartalom 27 és 36% között változott. A legnagyobb mennyiséget a '*Hunor 40*' fajtánál (36 %), míg a legkisebbet a '*Piri*' és '*Kercaszomori*' (27%) fajtáknál mértünk.

11. táblázat. A csicsóka fajták/ökotípusok 2016. 1. betakarítás zöld biomassza frakcionálás eredményei. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2016. 1. betakarítás				
	Rost		Barnalé	LFK	
	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)	Tömeg (g)	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)
Alba	166 ±1,52 ^d	36,71	720 ±5 ^{ab}	56 ±10,4 ^{cd}	31,51
Fuseau	171 ±1 ^d	43,89	738 ±10,44 ^a	54 ±1,73 ^d	28,38
Kalevala	242 ±14,57 ^b	40,09	674 ±10,14 ^d	44 ±3,05 ^e	34,76
Kercaszomori	203 ±11,26 ^c	36,97	708 ±34,21 ^{abc}	51 ±2,64 ^{de}	27,48
Piri	200 ±5,5 ^c	34,27	713 ±16,01 ^{abc}	70 ±1,52 ^b	27,32
Rubik	205 ±11,01 ^c	46,11	691 ±6,55 ^{bcd}	66 ±1,52 ^b	32,40
Tápiói sima	201 ±8,18 ^c	40,0	687 ±15,62 ^{cd}	63 ±2,51 ^{bc}	29,89
Hunor 40	265 ±1,52 ^a	44,74	619 ±16,82 ^e	79 ± 4,5 ^a	36,73

A 2016-os második betakarítás esetében (**12. táblázat**) a rost frakciók kihozatalában egyértelmű emelkedést figyelhetünk meg. A legkevesebb mennyiséget ismét a 'Fuseau' fajta adta (177 g), míg a legtöbb rostot a lucerna (261 g) adta. A 'Tápiói sima' és a 'Kercaszomori' fajták esetében 210 és 224 g rostot mértünk. A többi fajta/ökotípus között nem tudtunk statisztikailag igazolható különbséget kimutatni.

12. táblázat. A csicsóka fajták/ökotípusok 2016. 2. betakarítás zöld biomassza frakcionálás eredményei. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2016. 2. betakarítás				
	Rost		Barnalé	LFK	
	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)	Tömeg (g)	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)
Alba	210 ±13,05 ^{bcd}	32,22	710 ±20 ^a	57 ±1 ^{bc}	26,79
Fuseau	177 ±21,22 ^d	46,38	710 ±45,82 ^a	64 ±11,53 ^{abc}	28,85
Kalevala	182 ±22,74 ^{cd}	44,97	705 ±38,79 ^a	65 ±8,62 ^{abc}	28,13
Kercaszomori	224 ±15,37 ^b	42,39	664 ±13,61 ^a	68 ±5,19 ^{ab}	30,77
Piri	230 ±11,53 ^{ab}	42,40	680 ±18,02 ^a	51 ±9,29 ^c	25,81
Rubik	213 ±16,77 ^{bc}	45,04	671 ±19,67 ^a	77 ±7,5 ^a	30,77
Tápiói sima	219 ±28 ^b	32,85	681 ±30,13 ^a	66 ±7,93 ^{abc}	28,57
Hunor 40	261 ±17,38 ^a	40,76	660 ±26,1 ^a	65 ±5 ^{abc}	32,12

A második betakarítás barnalevei esetében 710-664 g közötti tömegeket mértünk, melyek között statisztikai különbség nem volt kimutatható, még a lucerna esetében sem.

A LFK frakciónál a '*Rubik*' fajta adta a legnagyobb mennyiségű koncentrátumot, mely statisztikailag igazolhatóan különbözött a többi fajtától/ökotípustól. A lucerna LFK frakció is csak 65 g volt.

A második betakarítás szárazanyagtartalma rost frakció esetében 32 és 46% között változott. A legkisebb mennyiséget az '*Alba*' ökotípusnál és a '*Tápiói sima*' fajtánál mértük 32%. A legnagyobbat a '*Fuseau*' fajta mutatta 46,3%. A lucerna rostban 40,7%-ot mértünk. A levélfehérje-koncentrátum (LFK) frakció szárazanyag tartalma 25-32% között alakult, a lucerna esetében 32%-ot mértünk. A csicsóka fajták/ökotípusok közül a legnagyobb mennyiségben a '*Kercaszomori*' és a '*Rubik*' fajták esetében kaptuk (30%). A legkisebbet pedig a '*Piri*' ökotípusnál mértük (25%).

A 2017-ben elvégzett két betakarítás zöld biomassza frakcionálás eredményeit a **13-14. táblázat** szemlélteti.

13. táblázat. A csicsóka fajták/ökotípusok 2017. 1. betakarítás zöldbiomassza frakcionálás eredményei. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2017. 1. betakarítás				
	Rost		Barnalé	LFK	
	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)	Tömeg (g)	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)
Alba	279±13,23 ^{bcd}	34,79	549±25,72 ^{bcd}	84,3±4,94 ^b	31,43
Fuseau	266±32,09 ^{cd}	29,05	578±16,07 ^{abc}	77,2±18,89 ^b	32,70
Kalevala	318±2,89 ^a	33,24	576±15,28 ^{abc}	60,4±3,14 ^c	32,56
Kercaszomori	298±20,55 ^{abc}	31,41	580±28,00 ^{abc}	74,8±5,72 ^{bc}	35,51
Piri	306±23,09 ^{ab}	35,13	546±23,09 ^{cd}	81,2±7,11 ^b	31,68
Rubik	285±22,03 ^{bc}	35,94	590±30,00 ^{ab}	75,6±6,14 ^{bc}	31,81
Tápiói sima	276±15,28 ^{bcd}	32,36	613±20,21 ^a	74,0±8,06 ^{bc}	31,47
Hunor 40	249±1,53 ^d	38,76	516±5,77 ^d	135,0±0,03 ^a	26,92

A 2017-ben elvégzett első betakarításnál (**13. táblázat**) a betakarított zöldbiomassza frakcionálás alkalmával a csicsóka rost frakciókat megvizsgálva láthatjuk, hogy 266-318 g között változott a tömegük. A lucerna esetében kevesebbet, 249 g-ot mértünk. A legnagyobb mennyiséget a '*Kalevala*' fajta adta (318 g), mely statisztikailag igazoltan különbözött a többi csicsóka fajtától. Szárazanyag tartalmukat tekintve 29-35% között alakult a csicsóka fajtáknál, míg a lucernánál 38%-ot mértünk. Összehasonlítva az előző év azonos időszakában betakarított eredményekkel (32-46%), ~10%-os csökkenés tapasztalható, minden, kísérletbe bevont fajta esetében a szárazanyag tartalmat tekintve. A csicsóka barnalé frakciók tömege 613 és 546 g között változott a lucernánál 516 g-ot mértünk átlagosan. A csicsóka fajták között a '*Tápiói sima*' esetében szignifikáns különbséget mutattunk ki a többihez, illetve a lucernához képest. A szárazanyag tartalom 7-11% között változott a csicsóka fajták/ökotípusok esetében, míg a lucerna 7,6% volt. Az előző évhez képest (**11. táblázat**) emelkedést tapasztalhatunk. A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakcióknál a csicsóka fajták esetében 74-84 g között változott a tömeg, míg a lucerna jelentősen nagyobb tömeget produkált (135 g). A csicsóka fajták esetében a legnagyobb mennyiséget az '*Alba*' és a '*Piri*' fajták adták (84 és 81 g), melyek szignifikáns különbséget mutattak a többi csicsóka LFK-hoz képest. A szárazanyag tartalmat vizsgálva, láthatjuk, hogy 31-35% között változott a csicsóka, míg a 26% volt a lucerna esetében. Az előző év (**11. táblázat**) ezen időszakához képest emelkedést tapasztalhatunk

minden csicsóka fajtánál, azonban a lucerna szárazanyag tartalmánál 10%-os csökkenést tapasztaltunk.

14. táblázat. A csicsóka fajták/ökotípusok 2017. 2. betakarítás zöldbiomassza frakcionálás eredményei. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2017. 2. betakarítás				
	Rost		Barnalé	LFK	
	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)	Tömeg (g)	Tömeg (g)	Szárazanyag (%)
Alba	240±19,01 ^b	39,62	628±14,42 ^a	73,1±5,17 ^c	31,94
Fuseau	206±9,07 ^c	46,36	627±2,08 ^a	64,4±7,01 ^c	26,43
Kalevala	234±9,85 ^{bc}	49,62	625±14,19 ^a	67,1±14,03 ^c	30,14
Kercaszomori	231±14,5 ^{bc}	37,1	560±30,75 ^b	82,9±26,34 ^{bc}	26,60
Piri	253±18,33 ^b	36,83	558±28,04 ^b	80,2±12,17 ^{bc}	24,03
Rubik	257±27,02 ^b	41,64	525±19,00 ^c	103,1±3,38 ^b	34,47
Tápiói sima	246±19,00 ^b	35,6	610±11,93 ^a	74,6±4,35 ^c	28,42
Hunor 40	293±16,37 ^a	40,3	381±16,07 ^d	267,3±13,00 ^a	27,84

A 2017. év második betakarításának zöldbiomassza frakcionálás eredményeit a **14. táblázat** tartalmazza, mely szerint a csicsóka rost frakcióknál 200-260 g közötti értékeket kaptunk. A 'Kalevala' és a 'Kercaszomori' fajtáknál nem tudunk statisztikailag igazolható különbséget kimutatni. A csicsóka barnalé frakcióit megvizsgálva láthatjuk, hogy három fajta: 'Alba', 'Fuseau' és a 'Kalevala' adták a legnagyobb barnalé tömeget, mely statisztikailag igazolhatóan különbözött a többi fajtától és a lucernától. A legkevesebbet a 'Hunor 40' lucerna fajta mutatta, mindössze 381 g volt. A frakció szárazanyag-tartalma a csicsókák esetében 5-10% közötti, míg a lucerna közel 17%-os. Az első betakarításhoz képest számottevő változást nem tapasztaltunk a szárazanyag tartalomban. A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakciónál a csicsókák esetében a 'Rubik' fajtánál mértünk 100 g fölötti értéket, a többi esetében 64-82 g közötti értékeket kaptunk. A lucerna LFK frakciója volt a legnagyobb tömegű, 267 g.

A szakirodalom alapján ismert, hogy a csicsóka zöld biomassza értékes komponenseket tartalmaz (LIAVA et al., 2021). Ezzel együtt a zöld leveles részek friss fogyasztása kevés kivételtől eltekintve nem preferált a háziállatok körében, ami főként a levelek morfológiai felépítésének köszönhető. A durva, trichómákkal fedett szárát és levelet az állatok elkerülik. Ugyanakkor a frakcionálásnak köszönhetően ezen kedvezőtlen tulajdonságai kiküszöbölhetőek. A kipréselt zöldlébe, az eddig a sejtekbe zárt, oldható komponensek kikerülnek és a nehezen vagy egyáltalán nem emészthető rost frakciótól szeparálódik. Ezzel

együtt a rost frakcióba maradhatnak nem feltárt vagy félig feltárt sejtek, amikbe az értéket képviselő fitonutriensek átkerülnek. Ennek okán a levélfehérje koncentrátum mellett a rost frakció, valamint barnalé is értéket képviselhet.

Ezen gondolatot követve a továbbiakban az egyes csicsóka zöld biomassza eredetű frakciókat szeretném jellemezni a bennük található kémiai összetevők, beleértve fehérjék/aminosavak; fitonutriensek; fotoszintetikus pigmentek minőségi és/vagy mennyiségi értékelésével. A frakciók értékelésével együtt vizsgálom, hogy a fajták/ökotípusok, illetve az évjárat/betakarítás milyen befolyásoló szereppel bír a beltartalmi értékek változásában.

4.4.2 Zöld biomassza frakciók nyersfehérje eredményei

Az Európai Unió és ezzel együtt Magyarország fehérjetakarmány önellátása az elmúlt évek összesítéseiből láthatóan nem fedezi a szükségletet (Irodalmi áttekintés). A hiányt java részt importból fedezzük. A zöld biofinomítás és ezen belül a levélfehérje koncentrátum (LFK) előállítás az egyik lehetséges megoldás lehet a takarmányfehérje deficit csökkentésre. Ennek érdekében számos nagy zöld biomassza hozammal rendelkező növényfajt is meg kell vizsgálni, mint potenciális fehérjenövényt.

A szakirodalomból tudjuk, hogy a levelekben található fehérjéket oldhatóságuk alapján két csoportra, oldható és oldhatatlan fehérjékre oszthatjuk. Ennek megfelelően a zöld biomassza feltárást követően a kapott zöldlevekbe főként a sejten belüli oldható fehérjék kerülnek át. A koagulálást követően ezek a fehérjék alkotják a levélfehérje koncentrátumot, illetve a rost frakcióban maradnak a sejtfalhoz kötött oldhatatlan fehérjék, valamint membrán „törmelékek” (FIORENTINI et al., 1983).

Éppen ezért a csicsóka fajtákat/ökotípusokat ezen paraméter tekintetében is megvizsgáltuk. Összehasonlításként ismét a lucerna szolgált, mint az LFK előállítás magyarországi legperspektivikusabb zöldbiomassza növénye.

A vizsgált két év két betakarításának nyersfehérje meghatározását Kjeldahl-módszer segítségével végeztük el. A módszert általánosan alkalmazzák az élelmiszerek és takarmányok nyersfehérje meghatározásban. A 2016-ban betakarított zöld biomassza alapú frakciók nyersfehérje tartalomra vonatkozó eredményeit az **15. táblázat** tartalmazza.

15. táblázat. A 2016-ban betakarított csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók nyersfehérje tartalma m/m%-ban (g/100 g minta), Kjeldahl-módszer alapján. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2016					
	1.betakarítás			2.betakarítás		
	Rost (m/m%)	Barnalé (m/m%)	LFK (m/m%)	Rost (m/m%)	Barnalé (m/m%)	LFK (m/m%)
Alba	11,67 $\pm$ 1,09 ^c	1,01 $\pm$ 0,01 ^d	35,26 $\pm$ 0,15 ^a	7,19 $\pm$ 0,07 ^f	1,36 $\pm$ 0,03 ^a	31,9 $\pm$ 0,44 ^d
Fuseau	10,36 $\pm$ 0,04 ^d	0,30 $\pm$ 0,04 ^g	33,27 $\pm$ 0,53 ^c	10,86 $\pm$ 0,28 ^{cd}	0,55 $\pm$ 0,03 ^e	35,44 $\pm$ 0,5 ^b
Kalevala	13,12 $\pm$ 0,44 ^b	0,94 $\pm$ 0,02 ^e	33,78 $\pm$ 0,36 ^c	11,5 $\pm$ 0,10 ^b	1,35 $\pm$ 0,03 ^a	33,55 $\pm$ 0,36 ^c
Kercaszomori	14,12 $\pm$ 0,42 ^a	0,53 $\pm$ 0,02 ^f	33,63 $\pm$ 0,39 ^c	9,58 $\pm$ 0,47 ^e	0,44 $\pm$ 0,02 ^f	27,64 $\pm$ 0,34 ^f
Piri	11,81 $\pm$ 0,29 ^c	0,96 $\pm$ 0,01 ^e	34,5 $\pm$ 0,34 ^b	13,86 $\pm$ 0,29 ^a	1,03 $\pm$ 0,05 ^b	32,38 $\pm$ 0,24 ^d
Rubik	12,54 $\pm$ 0,28 ^{bc}	1,49 $\pm$ 0,03 ^a	30,94 $\pm$ 0,05 ^d	11,37 $\pm$ 0,13 ^{bc}	1,07 $\pm$ 0,03 ^b	26,46 $\pm$ 0,37 ^g
Tápiói sima	14,75 $\pm$ 0,15 ^a	1,08 $\pm$ 0,02 ^c	30,77 $\pm$ 0,43 ^d	10,67 $\pm$ 0,67 ^d	0,76 $\pm$ 0,03 ^d	30,8 $\pm$ 0,26 ^e
Hunor 40	12,49 $\pm$ 0,14 ^{bc}	1,25 $\pm$ 0,01 ^b	34,53 $\pm$ 0,12 ^b	11,81 $\pm$ 0,21 ^b	0,87 $\pm$ 0,05 ^c	36,32 $\pm$ 0,3 ^a

A 2016-ban végzett első betakarítás alkalmával kapott csicsóka rost frakciókat megvizsgálva láthatjuk, hogy a nyersfehérjetartalom 10-14 m/m% volt. A lucerna esetében ez 12 m/m%. A csicsóka fajták között statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltunk. A lucerna rost frakciója nem mutatott különbséget a csicsókával szemben. A csicsóka barnalé frakciónál 0,3-1,5 m/m% nyersfehérje tartalmat tudtunk kimutatni, a fajták/ökotípusok között szignifikáns különbséget tapasztaltunk. Feltételezéseink szerint ezek olyan oligopeptidek, melyek méretüknél fogva a kísérletben alkalmazott szűrés során átkerültek ezen frakcióba.

A levélfehérje koncentrátnum (LFK) frakciónál a csicsókák között szignifikáns különbséget tapasztaltunk. A legnagyobb mennyiségben az 'Alba' ökotípus tartalmazta (35,3 m/m%), a legkevesebb pedig a 'Rubik' és a 'Tápiói sima' fajták esetében volt mérhető (~31 m/m%). Összehasonlítva a lucerna LFK frakciót (34%) a csicsókákkal, láthatjuk, hogy az 'Alba' ökotípusban 1%-kal többet kaptunk, mely statisztikailag igazoltan több volt.

A második betakarítás alkalmával a rost frakciók nyersfehérje tartalma 7,19 - 13,8 m/m% között változott, a legmagasabb értéket a 'Piri' ökotípus, míg a legalacsonyabbat az 'Alba' ökotípus mutatta (15. táblázat). A barnalé frakció esetében a legtöbb csicsóka fajta/ökotípus 1 m/m% fölötti értéket mutatott, azonban elmondható, hogy az első betakarításhoz képest kevesebbet tudtunk kimutatni. Összehasonlítva a lucernával a csicsóka fajtákat szignifikáns

különbséget találtunk a nyersfehérje tartalomra nézve a barnalé frakcióban. A LFK frakciót megvizsgálva láthatjuk, hogy a lucerna érte el a legnagyobb nyersfehérje tartalmat, (36 m/m%), azonban a 'Fuseau' és a 'Kalevala' fajták közelítették ezt az értéket (35,4 és 33,5 m/m%). TELEK (1983) összefoglaló munkájában potenciális fehérjenövény fajokat vizsgált, számszerűen 500 fajt. A levélfehérje előállítás hődenaturációval történt, több lépcsőben. Munkájából kiderül, hogy az általunk vizsgált csicsóka nagyobb nyersfehérje kihozattal rendelkezett, mint pl. a disznóparéjfélék (*Amaranthaceae*) 26,6 m/m%, egyes káposztafélék (*Brassicaceae*) 17-30 m/m%, mályvafélék (*Malvaceae*) 14 m/m% vagy a napraforgó (*Helianthus annuus*) 25,4 m/m%, zöld préslevének 82°C-on történő denaturációjával. Ezen túlmenően az általa vizsgált hüvelyesek többségétől is nagyobb nyersfehérje tartalmat tudtunk kimutatni; lepényfafélék (*Caesalpinioideae*) ~15 m/m%, pillangósvirágúak (*Fabaceae*) ~18 m/m%. A csicsóka fajták között sikerült statisztikailag igazolható különbséget kimutatni.

16. táblázat. A 2017-ben betakarított csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók nyersfehérje tartalma m/m%-ban (g/100 g minta), Kjeldahl-módszer alapján. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Fajta/ökotípus	2017					
	1.betakarítás			2.betakarítás		
	Rost (m/m%)	Barnalé (m/m%)	LFK (m/m%)	Rost (m/m%)	Barnalé (m/m%)	LFK (m/m%)
Alba	11,35 ±0,06 ^e	0,58 ±0,01 ^c	26,54 ±0,07 ^e	12,12 ±0,04 ^f	0,48 ±0,02 ^c	29,29 ±0,05 ^c
Fuseau	14,19 ±0,06 ^a	0,77 ±0,02 ^b	30,50 ±0,06 ^b	13,18 ±0,02 ^c	0,48 ±0,03 ^c	32,86 ±0,10 ^b
Kalevala	10,36 ±0,05 ^f	0,47 ±0,03 ^d	24,77 ±0,04 ^f	13,35 ±0,04 ^b	0,46 ±0,02 ^c	28,89 ±0,03 ^d
Kercaszomori	12,58 ±0,05 ^c	0,47 ±0,03 ^d	28,93 ±0,07 ^c	14,71 ±0,03 ^a	0,35 ±0,02 ^d	27,48 ±0,03 ^e
Piri	12,28 ±0,06 ^d	0,50 ±0,02 ^d	27,44 ±0,08 ^d	12,45 ±0,04 ^e	0,47 ±0,02 ^b	27,59 ±0,62 ^e
Rubik	10,15 ±0,04 ^g	0,55 ±0,03 ^c	23,52 ±0,06 ^g	13,33 ±0,04 ^b	0,56 ±0,03 ^b	26,06 ±0,06 ^f
Tápiói sima	9,27 ±0,06 ^h	0,50 ±0,03 ^d	20,49 ±0,03 ^h	11,2 ±0,04 ^g	0,58 ±0,03 ^b	27,45 ±0,07 ^e
Hunor 40	12,99 ±0,12 ^b	1,29 ±0,05 ^a	49,58 ±0,03 ^a	12,84 ±0,04 ^d	1,65 ±0,03 ^a	44,8 ±0,04 ^a

A 2017-ben elvégzett zöld biomassza frakcionálást követő nyersfehérje tartalom meghatározás eredményei a **16. táblázatban** összefoglalva azt mutatják, hogy az első betakarításnál a csicsóka fajtákból származó rost frakciók nyersfehérje-tartalma 9-14 m/m% között változott. A csicsóka fajták/ökotípusok között szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni. A lucernával összehasonlítva egy csicsóka fajtánál ('Fuseau') tapasztaltunk magasabb nyersfehérje tartalmat (14 m/m%). A csicsóka barnalé frakciókat elemezve szintén

sikerült statisztikailag igazolható különbséget kimutatni, azonban egyik sem tudta felül múlni a lucerna (1,2 m/m%) nyersfehérje tartalmát. A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakció esetében lucernánál jelentősen magasabb értékeket (49,5 m/m%) kaptunk összehasonlítva a csicsóka LFK (20-30 m/m%) értékekkel. A fajtákat/ökotípusokat egymással összehasonlítva a 'Fuseau' emelhető ki (30,5 m/m%). A többi csicsóka fajta ezt az értéket közelíti vagy jócskán alatta maradt. Összehasonlítva az előző év azonos időszakával (15. táblázat) láthatjuk, hogy a rost frakciók esetében közel azonos mennyiségeket tudtunk kimutatni a csicsóka fajtákra/ökotípusokra nézve. A barnalevek esetében már némi csökkenést tapasztalhatunk 2016-os eredményekhez képest. A levélfehérjekoncentrátumnál a 2016-os évhez képest egy kb. 10 m/m%-os csökkentést figyelhetünk meg. Ez összefüggésbe hozható a csicsóka növények fejlődése közben fellépő csapadékmentes periódusokkal. FATHI és TARI (2016) munkája igazolja, hogy a szárazság stressz jelentősen befolyásolja a növények élettani folyamatait, a legfontosabb biokémiai útvonalakat, ezzel együtt a fehérjeszintézis is zavart szenved.

A második betakarítás alkalmával a csicsóka rost frakcióinak nyersfehérje-tartalma 11-14 m/m% között változott. A lucernáé pedig 12 m/m% volt. A csicsóka fajták közül a 'Fuseau', 'Kalevala' és a 'Kercaszomori' fajták felülmúlták a lucernát és ez statisztikailag igazolható is volt. A barnalé frakció esetében a lucerna (1,6 m/m%) nyersfehérje tartalma volt a legnagyobb. A csicsóka fajták közel azonos mennyiséget mutattak (0,3-0,5 m/m%). A levélfehérje koncentrátum frakciónál a lucernában mértük a legnagyobb nyersfehérje-tartalmat (44,8 m/m%). A csicsóka fajták ettől elmaradtak, közülük a legtöbb nyersfehérjét a 'Fuseau' fajta produkálta, 32,8 m/m%. A többi fajta 26-29 m/m%-ot mutatott nyersfehérje tekintetében.

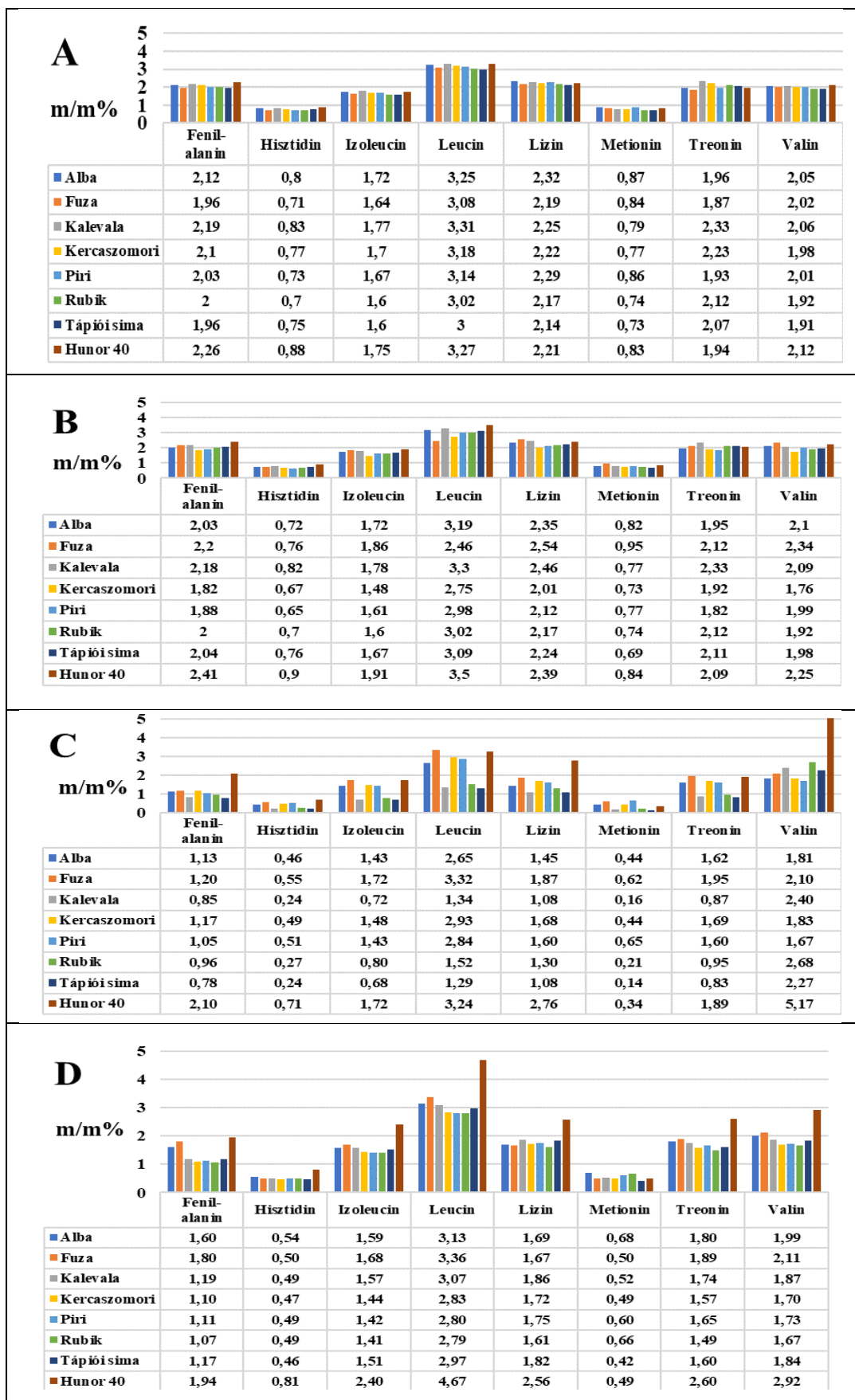
4.4.3 A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók aminosav összetételének eredményei

A fehérjék a természetben előforduló 20 féle proteinogén α -aminosavból épülnek fel, és mind állati, mind az emberi táplálkozás alapvető összetevői. Bár a kiegyensúlyozott és változatos étrend elegendő aminosavat biztosíthat a szervezet megfelelő működéséhez, gyakran az állati takarmányok nem tartalmazzák kielégítő mennyiségben ezeket az aminosavakat. Éppen ezért szükséges azok pótlása takarmány kiegészítők használatával. Ezenkívül az aminosavakat használják még az emberi táplálék kiegészítésére, annak dúsítására, ízesítésére (pl. mononátrium-glutamát, MSG). A megnövekedett igény kielégítése érdekében 1950-ben megkezdődött az aminosavak üzemszerű mesterséges előállítása fermentálási technológia alkalmazásával (KRAU és GRAYSON, 2014).

A zöld biofinomítás és ezen belül a levélfehérje koncentrátum lehetőséget jelenthet megfelelő mennyiségű és minőségű fehérje forrás fedezésére fenntartható módon, igazodva a körforgásos gazdálkodás szemléletéhez. Fontos szempont a fehérjék abszolút koncentrációja mellett azok biológiai értéke, melyet elsősorban az esszenciális/limitáló aminosavak aránya határoz meg. Emellett előnyös a választott növényeknél az évente többszöri betakaríthatóság is, ami folyamatos nyersanyagutánpótlást biztosít egy-egy üzemegységnek.

Az élő szervezet fehérjeszükséglete lényegében aminosav szükségletet jelent. A felszívódott aminosavakat az élő szervezetek saját fehérjéik felépítésére fordítják. Ezen túlmenően bizonyos aminosavak képesek belépni energia termelő folyamatokba is. Az élő szervezetekben az aminosavak ilyen jellegű redisztribúcióját számos tényező befolyásolhatja (KISBENEDEK és SZABÓ, 2015).

Ilyen szemlélet mentén elvégeztük a vizsgált két év első és második betakarítása alkalmával kapott szilárd frakciók (LFK és Rost) aminosav összetételének vizsgálatát, melyet a **23-24. ábrák** foglalják össze. A könnyebb áttekinthetőség érdekében csak a fehérjék biológiai értékét jelentő esszenciális aminosavakat ábrázoltam. A kapott értékek 100 g száraz homogenizált mintára vonatkoztatva értendők.



23. ábra. 2016. első (A) és második (B), valamint a 2017. első (C) és második (D) betakarításból származó LFK frakciók esszenciális aminosav-összetétele 100 g száraz mintára vonatkoztatva.

A levélfehérje koncentrátum frakcióban vizsgált esszenciális aminosavak egymáshoz viszonyított aránya hasonló volt a vizsgált két betakarításait figyelembe véve (**23/A - D ábra**). Ezzel szemben az egyes aminosavak abszolút mennyiségét vizsgálva jelentős eltéréseket lehet tapasztalni.

A levélfehérje koncentrátum frakcióban az egyes esszenciális aminosavak mennyiségi megoszlása fajtánként/ökotípusonként kis eltérést mutatott a 2016. évi betakarításoknál (**23/A és B ábra**). Ezzel szemben 2017-ben több aminosav esetében (pl. leucin, treonin) kiugró értékeket realizáltunk, ami összefüggést mutat a nyersfehérje tartalommal (**23/C és D ábra**). Ez vonatkozik a lucernára is, melynek csicsókához viszonyított kiemelkedő, szárazanyag tömegére vonatkoztatott aminosav értékei szignifikánsan nagyobbak voltak, mint csicsóka esetében, fajtától/ökotípustól függetlenül. Az extenzív termesztési körülmények, az abiotikus tényezők (lsd. Anyag és módszer meteorológiai adatok), illetve a talaj heterogenitása együttesen befolyásolja a fehérjetartalmat és ezzel együtt az aminosavak mennyiségi előfordulását.

Az egyes aminosavak esetében elmondható, hogy mindkét év első betakarításában a leucin aminosav volt jelen a legnagyobb mennyiségben (~ 3 m/m%, valamint 1,2-2,9 m/m%) a LFK frakcióban, mely aminosavról ismert, hogy kb. 9 %-ban alkotja a fehérjét NYITRAI és PÁL (2013). Arányaiban a legkevesebb mennyiségben a hisztidin és a metionin volt kimutatható. Ez a két aminosav legkevésbé abundáns a többi proteinogén esszenciális aminosavhoz képest a fehérjékben. Ezt támasztja alá KISBENEDEK és SZABÓ (2015) munkája is, szerintük a metionin 1-2%-ban, míg a hisztidin 2-3%-ban fordul elő a növényi fehérjékben.

Az ábrán látható, hogy a második betakarítások (**23/ B és D ábra**) között nincs olyan éles különbség, mint az első betakarítások (**23/A és C ábra**) között volt tapasztalható a csicsóka fajtákra/ökotípusokra nézve. Ez összefüggésbe hozható a növények tenyészidőszak végi fiziológiai állapotával. A tenyészidőszak végén a csicsóka már a gumónövekedésre fordítja energiáit, nem pedig a zöld leveles hajtások fejlesztésére. Azonban elmondható itt is, hogy a legnagyobb mennyiségben a leucin aminosav volt kimutatható (~ 3 m/m%). A legkevesebb mennyiségben pedig a hisztidin (0,4-0,7 m/m%) és a metionin (0,6-0,8 m/m%) aminosavak. Továbbá a 2017-es második betakarítás (**23/D ábra**) alkalmával a lucerna esetében majdnem minden esszenciális aminosavból többet tudtunk kimutatni a csicsóka fajtákhoz/ökotípusokhoz képest.

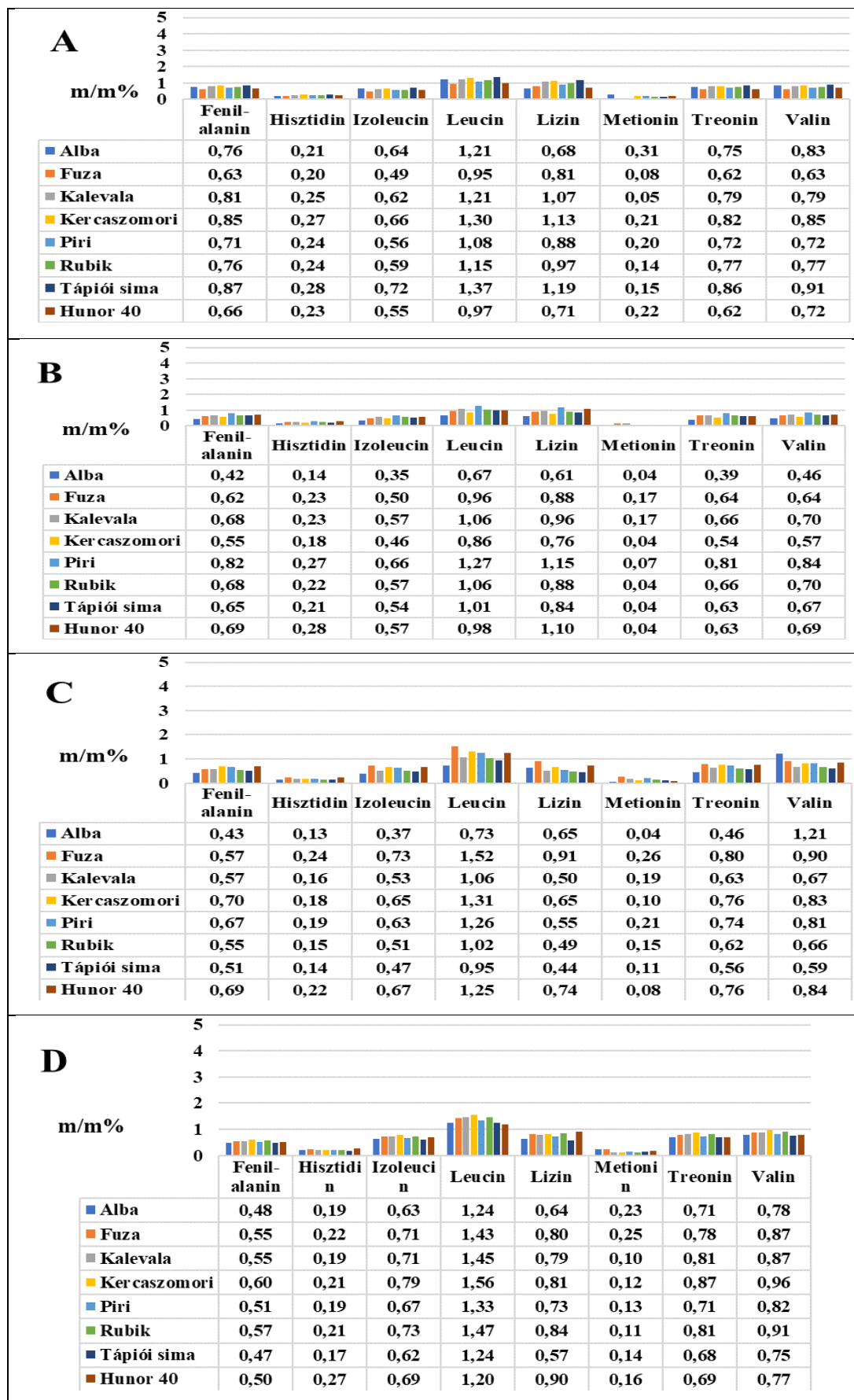
A lizin, treonin és valin aminosavak is nagyobb mennyiségben voltak jelen a LFK frakcióban. A 2016-os betakarítások esetében 2 m/m%-ot vagy azt meghaladó mennyiséget

mértünk ki. A 2017-es betakarítások tekintetében is a három aminosav esetében közel azonos mennyiséget tudtunk kimutatni, de a 2016-os évhez képest kevesebbet. Ez egyértelműen összefüggésben áll a fehérje tartalommal **(15-16. táblázat)**.

A zöld biofinomítás és ezen belül a levélfehérje koncentrátum előállítás egyik mellékterméke a rost frakció. Ez a frakció is tartalmaz értékes komponenseket. Emiatt a zöld biofinomítás gyakorlatában a rost frakció több irányú termékfejlesztés alapját jelenti, pl. rostpótló készítmények állítható elő belőle takarmánycélú alkalmazásra.

A rost frakcióban még jelentős mennyiségű 10-14% fehérjét ki tudtunk mérni a csicsóka fajták/ökotípusok esetében **(15-16. táblázat)**.

Ilyen megközelítésből volt érdekes vizsgálni a két év betakarításának csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza eredetű rost frakcióinak aminosav összetételét, melyet a **24. ábra** szemléltet.



24. ábra. 2016. első (A) és második (B), valamint a 2017-es első (C) és második (D) betakarításaiból származó Rost frakciók esszenciális aminosav-összetétele.

Hasonlóan a LFK frakcióban tapasztalt eredményekhez a rost frakcióban a leucin aminosav volt a legabundánsabb (átlagosan 1,2 m/m%), a legkevesebb mennyiségben a hisztidin (~0,2 m/m%) és metionin (~0,1 m/m%) aminosavakat tudtuk kimutatni. Ezek a korábban említett fehérjékben előforduló aminosav gyakorisággal magyarázható.

Továbbá elmondható az is, hogy a csicsóka fajták/ökotípusok rostjaiban a lizin, treonin és valin aminosavak arányaiban hasonlóan voltak jelen, mint az LFK frakcióban, de kevesebb mennyiségben tudtuk őket kimutatni.

A kontrollként szereplő 'Hunor 40' lucerna fajta rost frakcióiban az aminosavak kevesebb mennyiségben voltak kimutathatók, mint a csicsókákban. Ezek az arányok minden vizsgált év mindegyik betakarítására igazak.

A 2016-os betakarításokat megfigyelve láthatjuk, hogy közel azonos mennyiségben voltak jelen az esszenciális aminosavak. A metionin esetében azonban kevesebbet tudtunk kimutatni a második betakarítás (**24/B ábra**) alkalmával (0,04 m/m%), mint az első (**24/A ábra**) esetében (~0,15 m/m%) a csicsókákra és a lucernára is nézve. Kis mennyisége a fehérjékben való előfordulási gyakoriságával, továbbá kémiai szerkezetének érzékenységeivel magyarázható a savas hidrolízis okozta minta előkészítésnél. TROVATO et al. (2021) és CSAPÓ et al. (2008) munkája alátámasztja a fehérjetartalom és az aminosavak egymáshoz viszonyított arányai között nincs kapcsolat. Vagyis hiába kisebb a fehérjetartalom a rost frakcióban a LFK frakcióhoz képest, az aminosavak aránya nem változik a két frakcióban. A 2017-es betakarításoknál a metionin esetében már nem tapasztaltunk ilyen jellegű csökkenést.

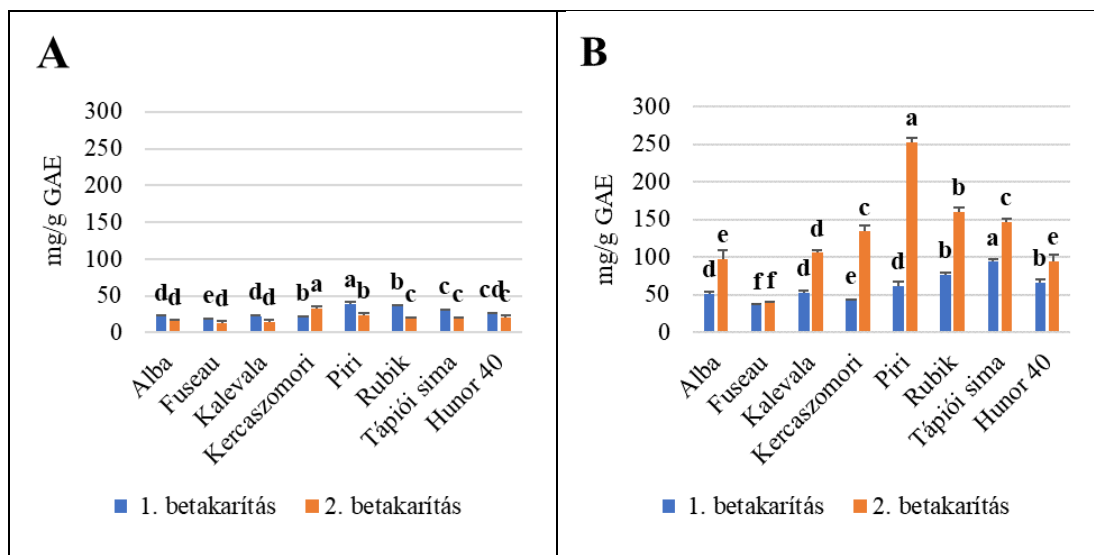
A 2017-es évet (**24/C és D ábra**) megvizsgálva, láthatjuk, hogy a két betakarítás között számottevő különbség nincs a fajtákat/ökotípusok között a teljes aminosav profilt tekintve.

4.4.4 A csicsóka zöld biomassza frakciók fenolos komponenseinek minőségi és mennyiségi meghatározásának eredménye

4.4.4.1 Összes fenolos komponens mennyisége

A növények számos fitonutrientet tartalmaznak, amelyek közül soknak antioxidáns tulajdonságaik vannak. Ezek közé a vegyületek közé tartoznak a vitaminok, fenolos komponensek, karotinoidok és flavonoidok (NAIR et al., 2013). A növényi antioxidánsok szinglet-, triplet oxigén- és szabadgyök fogóként, peroxidbontóként és enzimgátlóként működnek (SHAO et al. 2008). JIN et al. (2013) szerint e biológiai védőmechanizmusok közül sok a növényi fenolos komponenseknek tulajdonítható. Szervek szintjén a csicsókának számos farmakológiai felhasználási lehetősége van pl. has-, epe-, vizelethajtó hatás, gyomorerősítés, különböző felületi hámsérülések kezelése. Ezek mellett PAN et al. (2009) egyéb fitokémiai anyagokat izolált a csicsóka levelekből, úgy mint, különböző kumarinok, poliacetilén származékok, szeszkviterpének. Emiatt javasolja a csicsóka felhasználást antifungális, antimikrobiális készítményekhez.

A fehérjék mellett ezért vizsgáltuk a zöld biomassza eredetű csicsóka frakciók fitokémiai komponenseinek összetételét többféle módszert alkalmazva. Az összes fenolos komponens vizsgálatát spektrofotometriás módszerrel értékeltük. A kapott eredményeket galluszsav egyenértékben (GAE) határoztuk meg és a **25-27. ábrák** szemléltetik. Kontrollként ismét a lucerna 'Hunor 40' fajtáját használtuk.



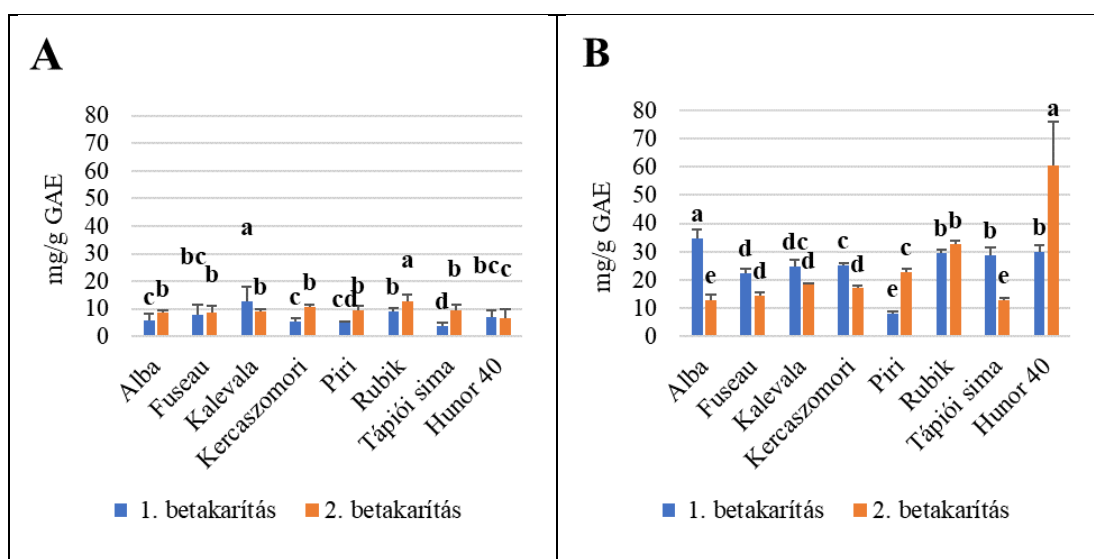
25. ábra. A 2016-ban (A) és 2017-ben (B) betakarított csicsóka és lucerna zöldbiomasszából nyert LFK frakciók összes fenolos komponens mennyisége galluszsav egyenértékben (GAE).

Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

A 2016-os első betakarítás alkalmával kapott levélfehérje koncentrátum (LFK) frakció esetében **(25/A ábra)** a ‘*Piri*’ fajtánál mértük a legnagyobb mennyiséget (38,8 mg/g GAE), míg a legkisebb mennyiséget a ‘*Fuseau*’ fajta mutatta 18,3 mg/g GAE értékkel. A csicsóka fajták között statisztikailag igazolható különbséget tudtunk kimutatni. Az azonos év második betakarítása alkalmával a ‘*Kercaszomori*’ fajtánál kaptuk a legnagyobb mennyiséget (32,5 mg/g GAE), míg a legkevesebbet a ‘*Fuseau*’ fajta mutatta 13 mg/g GAE értékkel. CHEN et al. (2014) hasonló értékeket (23.5 – 30.159 mg/g sz.a.) mutatott ki csicsóka leveleken.

A 2017-es első betakarítás levélfehérje koncentrátum (LFK) frakciójában **(25/B ábra)** a legnagyobb mennyiségben ‘*Tápiói sima*’ fajtában volt kimutatható (94,02 mg/g GAE), míg a legkisebb ‘*Fuseau*’ fajtában volt (35,6 mg/g GAE). A második betakarítást megvizsgálva látható, hogy a ‘*Piri*’ fajta igazán kimagasló eredményt mutatott, 252 mg/g GAE értékkel. A többi fajtából ettől jóval kevesebb mennyiségben tudtuk kimutatni, 159,8 és 40,4 mg/g GAE volt.

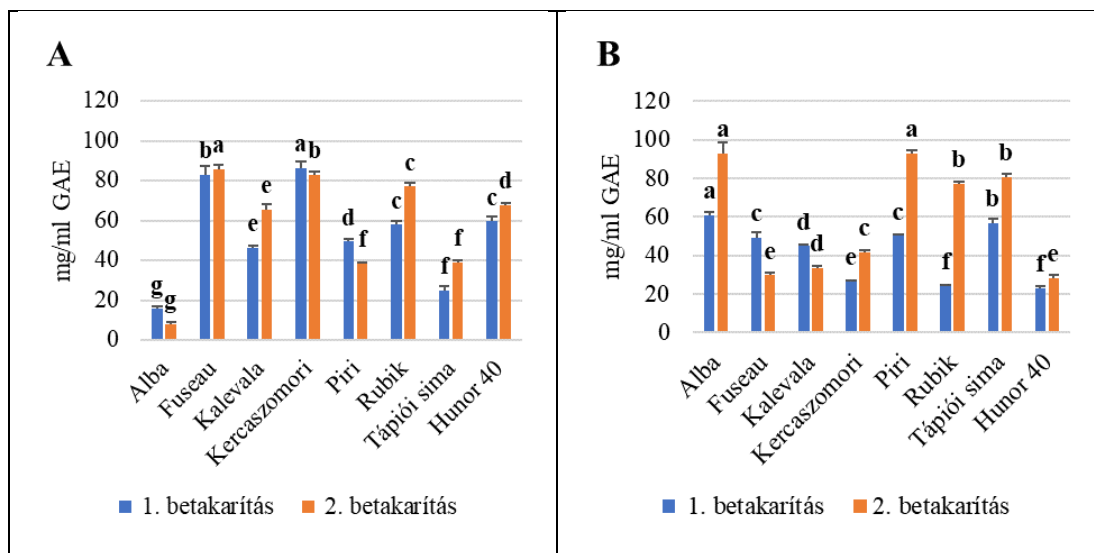
A két betakarítást összehasonlítva láthatjuk, hogy a 2017-es **(25/B ábra)** év 2. betakarításban az összes fenolos komponensek közel tízszer nagyobb mennyiségben voltak kimutathatók. NOURAEI et al. (2018) munkája is alátámasztja, szerinte a növények növekedését és fejlődését jelentősen befolyásolja szárazság stressz. Továbbá JIANG et al. (2010) és RADWAN et al. (2017) munkájukban kifejtik, hogy a szárazság, illetve a hosszabb csapadékmennyiség időszak erősen befolyásolja a másodlagos metabolitok mintázatát, ezzel együtt mennyiségét is. Ezzel összefüggésben GHARIBI et al. (2016) kutatásaiból kiderül, hogy a reaktív oxigénformák túltermelődése jelentkezik stressz hatására a növényekben. Az oxidatív stresszel szembeni védekezés lehetséges módja a másodlagos metabolitok túltermelése.



26. ábra. A 2016-ban (A) és 2017-ben (B) betakarított csicsóka és lucerna zöld biomasszából nyert rost frakciók összes fenolos komponens mennyisége galluszsav egyenértékben (GAE), Debrecen, 2018. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

Általánosságban tekintve a LFK frakcióhoz hasonlóan a rost mintákban is magasabb összes fenolos komponens tartalom értékeket mértünk 2017-ben, mint 2016. évi betakarításokban **26. ábra.** A fajtákat/ökotípusokat egymással összevetve tendenciózus változásokat nem tudtunk kimutatni: a 2016-ban elvégzett első betakarítás alkalmával a rost frakcióban (**26/A ábra**) a 'Kalevala' ökotípus esetében kaptuk szignifikánsan a legnagyobb értéket (12,7 mg/g GAE), a legkevesebbet a 'Tápiói sima' fajta esetében mértünk (3,8 mg/g GAE). A többi fajta/ökotípus esetében közel azonos értékeket mutattak. A második betakarítás alkalmával azonban a 'Rubik' fajta esetében kaptuk a legnagyobb mennyiséget (12,8 mg/g GAE), a legkevesebbet pedig a lucernánál mértük (6,5 mg/g GAE).

2017-ben a rost frakció összes fenolos komponenseinek mennyisége 8-35 mg/g GAE között változott (**26/B ábra**). Tendenciát tekintve a 'Rubik' fajta mutatott mindkét betakarításnál magas értékeket. Ezzel együtt az első betakarítás rost frakciójában (**26/A ábra**) statisztikailag kimutathatóan legnagyobb értéket az 'Alba' fajta érte el (34,6 mg/g GAE), míg legkevesebbet a 'Piri' fajta (8,06 mg/g GAE). A többi csicsóka esetében közel azonos mennyiségeket mértünk. A második betakarítás tekintetében a legnagyobb mennyiséget a 'Rubik' fajta mutatta (32,5 mg/g GAE), a legkisebbet pedig az 'Alba' érte el, mindössze 12,83 mg/g GAE. Érdekes megfigyelés volt a lucerna 60,39 mg/g GAE kiugró értéke.



27. ábra. 2016-ban (A) és 2017-ben (B) betakarított csicsóka és lucerna zöldbiomassza frakcionálását követően nyert barnalevek összes fenolos komponensének eredményei. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

A zöldlé hőkoagulálását követően nyert nedves frakció (barnalé) összes fenolos komponens értékei jelentős különbségeket (~15 – 86 mg/ml) mutatnak a csicsóka fajták/ökotípusok között a két év betakarításainak tekintetében, de az eltérések nem követnek tendenciát (27. ábra). Így a 2016-os (27/A ábra) első betakarítás alkalmával a legnagyobb mennyiségben a ‘Kercaszomori’ fajtánál (86,4 mg/ml GAE), míg a legkisebb mennyiségben az ‘Alba’ fajtánál (15,6 mg/ml GAE) mértük ki az összes fenolos komponensét. A lucernában mértekhez (59,4 mg/ml GAE) képest két csicsóka fajtában is többet tudtunk kimutatni. Azonos év második betakarítása alkalmával a legnagyobb mennyiségben a ‘Fuseau’ fajtában (85,8 mg/ml GAE), a legkevesebbet ismét az ‘Alba’ fajtában (7,9 mg/ml GAE) tudtuk kimutatni az összes fenolos komponens mennyiségét. A ‘Kercaszomori’ és a ‘Rubik’ fajták mindkét betakarítás alkalmával 82-77 mg/ml GAE értéket mutattak. A 2017-es első betakarításnál a legnagyobb mennyiséget viszont az ‘Alba’ fajta mutatta, 61 mg/ml GAE értékkel. A legkevesebbet a ‘Rubik’-nál mértük 24,4 mg/ml GAE. A lucerna (23,1 mg/ml GAE) nem különbözött a ‘Rubik’-tól. A második betakarítás alkalmával ismét az ‘Alba’ fajtánál tapasztaltuk a legnagyobb mennyiséget 92,6 mg/ml GAE, míg a legkevesebbet a ‘Fuseau’ mutatta, 29,6 mg/ml GAE, ettől kevesebb volt a lucernában mérték értéke (28,02 mg/ml GAE), de statisztikailag nem különbözött tőle.

Összeségében elmondható, hogy a LFK frakcióban magasabb mennyiségben tudtunk fenolos komponenseket meghatározni, bár a fajták/ökotípusok és a betakarítások között jelentős eltérések voltak. A fenolos komponensek jelentős része a citoplazma endoplazmatikus

retikulumjának hálózatában szintetizálódik és onnan szállítódik a különböző szervekbe, úgymint a vakuólumba, a kloroplasztiszbba, valamint a sejtfalba, ott oldható és oldhatatlan (kötött) fenolok képződését elősegítve (SHAHIDI és YEO, 2016). A csicsóka biomassza zöld futószalag műveleti lépéseit követve a LFK frakció fenolos komponensei főként a préselés során feltáródó vakuólumok, a citoplazma és a kloroplasztiszok oldható részéből származnak. Kiszabadulva ezek a fenolos vegyületek és fehérjék között nagy affinitású kötések jönnek létre (PAPADOPOULOU és FRAIZER, 2004). A fehérjék és a fenolos komponensek kölcsönhatása a keletkező konjugátumok hőstabilitásának megváltozásához vezethet. A globuláris fehérjék hőstabilitásának javítása fenolos komponensekkel való konjugálással érhető el (OZDAL et al. 2013). OJHA et al. (2012) dokumentálták, hogy a natív szarvasmarhaszérum albumin (BSA) olvadási hőmérséklete megemelkedett, miután ferulasavval kölcsönhatásba léptek pH 7,4 mellett. Ez azt jelezte, hogy a ferulasav megkötése növelte a BSA termikus stabilitását. Továbbá a zein-EGCG (*epigallocatechin gallate*) konjugátum denaturációs hőmérséklete érezhetően nagyobb volt, mint a kontroll zeiné, ami azt jelzi, hogy az EGCG konjugálása a zeinhez növelte a hőstabilitását (LIU, et al, 2017). A fentiek alapján arra következtethetünk, hogy a mikrohullámú koagulálással nyert LFK frakcióban lévő fehérjék a denaturálás elkerülése érdekében igyekeznek magukhoz kötni a fenolos komponenseket, védve magukat az irreverzibilis denaturációtól, ezzel együtt akumulálva azokat.

4.4.4.2 Csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók fitokémiai összetétele

A csicsóka zöld biomassza frakciók összes fenolos komponenseinek mennyiségi vizsgálata mellett részleteiben is vizsgáltuk a fitokémiai összetételt ultranagy teljesítményű folyadékkromatográfiás elektropray ionizációs-Orbitrap/tömegspektrometriai elemzéssel (UHPLC ESI-ORBITRAP-MS/MS). A **17-19. táblázatok** foglalják össze a mérések eredményeit.

Összesen 84 db fitokémiai komponenst sikerült azonosítani a csicsóka zöld biomassza frakcióiban, ahogy korábban a frakciók általános jellemzésénél már bemutatásra került. Mivel a vizsgálatba bevont csicsóka fajták/ökotípusok frakcióinak fitokémiai profilja között elhanyagolható különbséget tapasztaltunk, ezért csak frakciókra bontva foglaltuk össze táblázatosan, fajtánként külön-külön nem.

A könnyebb áttekinthetőség érdekében az azonosított vegyületeket szerkezetük alapján csoportosítottuk *Flavonoid*-, *Nem-flavonoid-típusú* vegyületekre, *Aminosavakra*, *Terpénekre*, *Vitaminokra* és *Egyéb metabolitokra*. A **17. táblázat** szemlélteti a csicsóka zöld biomassza frakciók *Flavonoid* típusú vegyületeit révén fitokémiai komponensek közül az egyik

legnagyobb csoportot a flavonoidok alkották. A flavonoidok szerepéről, felépítéséről és fiziológiai hatásukról az elmúlt négy évtizedben számos összefoglaló munka jelent meg, de az élő szervezetre gyakorolt hatásukról és fontosságukról még ma is folynak tudományos viták (BRAVO, 1998; HARBORNE, 1986; HERRMAN, 1976; RENGASAMY, 2019).

17. táblázat A csicsóka zöld biomassza frakciók fitokémiai összetétele a *Flavonoid* típusú vegyületek alapján.

Flavonoid típusú vegyületek	Vegyület angol neve	Képlet	Rt	[M + H] ⁺	[M - H] ⁻	Rost	Barnalé	LFK
Flavanol	Isorhamnetin-di-O-glucoside	C28H32O17	19,35		639,15613		+	+
	Quercetin-3-O-malonylglucoside-7-O-glucoside	C30H32O20	20,98		711,14087		+	
	Isoquercitrin (Hirsutrin, Quercetin-3-O-glucoside)	C21H20O12	23,45		463,08765			+
Flavanon	Liquiritigenin (4',7-Dihydroxyflavanone)	C15H12O4	30,58		255,06574		+	+
Flavon	Apigenin-O-malonylglucoside	C24H22O13	25,21		517,09822		+	+
	Dimethoxy-tetrahydroxyflavone	C17H14O8	28,39		345,06105		+	+
	Dihydroxy-methoxyflavone	C16H12O5	29,91		283,06065		+	+
	Dimethoxy-trihydroxyflavone isomer 1	C17H14O7	30,09		329,06613		+	+
	Trihydroxy-trimethoxyflavone	C18H16O8	30,37		359,07670		+	+
	Dimethoxy-trihydroxyflavone isomer 2	C17H14O7	30,38		329,06613		+	+
	Hymenoxin (5,7-Dihydroxy-3',4',6,8-tetramethoxyflavone)	C19H18O8	32,11	375,10800			+	+
	Nevadensin (5,7-Dihydroxy-4',6,8-trimethoxyflavone)	C18H16O7	33,91	345,09743			+	+
Flavonol	Quercetin-3,4'-di-O-glucoside	C27H30O17	17,56		625,14048		+	
	Kaempferol-3,7-di-O-glucoside	C27H30O16	19,02		609,14556		+	
	Quercetin-3-O-glucuronide	C21H18O13	23,23		477,06692			+
	Kaempferol-3-O-glucuronide	C21H18O12	25,16		461,07200	+		+
	Astragalin (Kaempferol-3-O-glucoside)	C21H20O11	25,25		447,09274	+		+
Kalkon	Epiafzelechin trimethyl ether	C18H20O5	33,33	317,13890		+	+	+
	Butein (2',3,4,4'-Tetrahydroxychalcone)	C15H12O5	23	273,0763			+	+
	Kukulkanin B (3'-Methoxy-2',4,4'-methoxychalcone)	C16H14O5	25,49	287,09195			+	+

A flavonoidok széles körben elterjedt másodlagos anyagcseretermékek a növényvilágban. Főként a sejtek vakuólumaiban oldott állapotban találhatóak. A **17. táblázatban** látható, hogy a flavonoid aglikonok és glikozil oldalláncú vegyületek közül *flavanolokat*, *flavonokat*, *flavanolokat* és *kalkonokat* is sikerült azonosítani. Ezek a fitokémiai anyagok leginkább a barnalé és a LFK frakciókban voltak jelen. A rost frakcióban mindösszesen három *flavonol* típusú vegyületet tudtunk azonosítani.

A *flavanolok* közül a kaempferol-3-glükoronidot (*kaempferol 3-O-β-d-glükopiranosziduronsav*), és az asztragalin (*kaempferol 3-O-β-d-glükopiranozid*) is azonosítottuk a frakciókban. CHEN et al. (2014) munkájában már említést tesz a csicsóka leveles hajtásaiban talált vegyületekről, ahol a kaempferol-glükoronid vegyületekről megállapítja, hogy igen gyakran fordulnak elő. A flavonoid-glükoronidok jelentősége egészségvédő hatásukkal van összefüggésben, pl. a quercetin-3-O-glükoronid gyulladáscsökkentő és neuroprotektív hatással rendelkezik (HO et al. 2013).

Tudomásunk szerint azonban ez az első alkalom, hogy az izorhamnetin (*izorhamnetin-3-O-glükuronid*) és az izokvercetin (*kvercetin 3-O- β -D-glükopiranozid*) flavanolok glükoronid származékát azonosítottuk a csicsókában.

Flavonoidokon belül a flavonvegyületek mindegyike, egy kivétellel hidroxilált metoxiflavon volt, így a dimetoxi-trihidroxiflavon két izomerje, dimetoxi-tetrahidroxiflavon, dihidroximethoxiflavon és trihidroxitrimetoxiflavon. Ennek igen nagy jelentősége van. A flavon hidroxil csoportoknak szabadgyökfogó képessége ismert, biológiai hozzáférhetőségük azonban a hidroxiflavonoknak kisebb, gyors enzimes szulfurikáláson és glükoronáláson esnek át a vékonybélben és a májban ezáltal hatásukat gyorsan elveszítik. Ha a hidroxil csoportokhoz metoxil csoportok is kapcsolódnak, akkor stabilabbá válnak és funkciójukat tovább megőrzik (LAI et al. 2015).

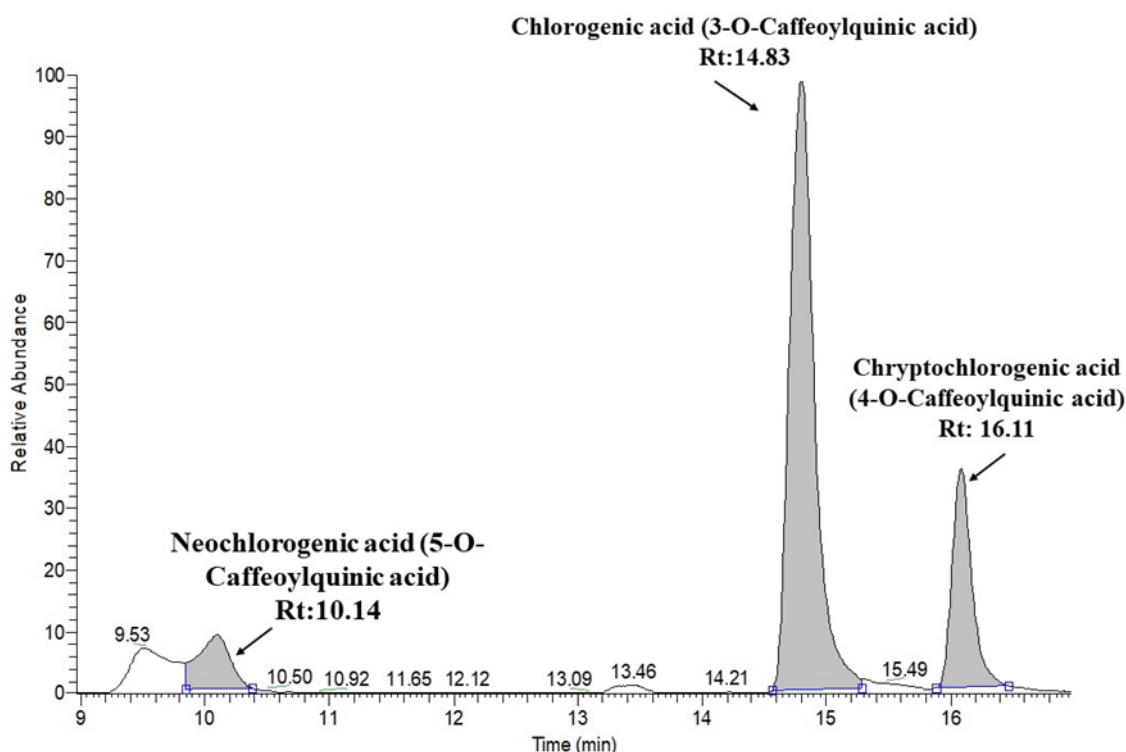
Pozitív ionizációs módban azonosítottuk a himenoxint (*5,7-dihidrox-3',4',6,8-trimetoxiflavon*) és a nevadenzint (*5,7-hidrox-4,6,8-trimetoxiflavon*). A flavonoidokon belül a kalkonok alcsoportjához tartozó buteint (*2',3,4,4'-tetrahidroxikalkon*) és kukulkanin B-t (*3'-metoxi-2',4,4'-metoxikalkon*). Végül flavanonok közül a liquiritigenint (*4',7-dihidroxiflavanon*), amely MERSEREAU et al. (2008) szerint ösztrogén hatású vegyület.

A butein ismert kalkonvázas vegyület a növényvilágban, a csicsóka leveles szárára vonatkozóan azonban nem találtam irodalmi feljegyzést. Humánegészségügyi szempontból élettani hatásokat tulajdonítanak a buteinnek, ezért érdekes beazonosítása. YANG et al. (2015) butein felhasználásával sikeresen elő tudta idézni a degeneratív sejtek pusztulását *in vitro* és *in vivo*. JOHANSSON et al. (2015) munkája során a csicsóka virágokból kimért liquiritigenint, leveles hajtásból azonban nem. MERSEREAU et al. (2008) munkájában kifejti, hogy a liquiritigenin olyan ösztrogén hatású másodlagos növényi anyagcseretermék, amely szelektív β -ösztrogénreceptor antagonist, és segíthet a menopauza tünetekben szenvedő nők számára.

18. táblázat. A csicsóka zöld biomassza frakciók fitokémiai összetétele a *Nem-flavonoid* típusú vegyületek alapján.

Nem falvonoid típusú vegyületek	Vegyület angol neve	Képlet	Rt	[M + H] ⁺	[M - H] ⁻	Rost	Barnalé	LFK
Benozésav	Salicylic acid-2-O-glucoside	C13H16O8	13,53		299,0767		+	+
	Vanillin	C8H8O3	16,24	153,05517		+	+	+
	Caffeoylshikimic acid isomer 1	C16H16O8	17,67		335,0767		+	
	Caffeoylshikimic acid isomer 2	C16H16O8	17,9		335,0767		+	
	Caffeoylshikimic acid isomer 3	C16H16O8	18,49		335,0767		+	
	Coumaroylshikimic acid isomer 1	C16H16O7	19,04		319,08178		+	
	Coumaroylshikimic acid isomer 2	C16H16O7	19,89		319,08178		+	
	Coumaroylshikimic acid isomer 3	C16H16O7	20,37		319,08178		+	
	Coumaroylshikimic acid isomer 4	C16H16O7	20,93		319,08178		+	
	Coumaroylshikimic acid isomer 5	C16H16O7	22,85		319,08178		+	
Fahéjsav származék	Quinic acid	C7H12O6	1,28		191,05557	+		+
	Neochlorogenic acid (5-O-Caffeoylquinic acid)	C16H18O9	10,07		353,08726		+	+
	3-O-(4-Coumaroyl)quinic acid cis isomer	C16H18O8	12,56		337,09235		+	
	3-O-(4-Coumaroyl)quinic acid	C16H18O8	13,21		337,09235		+	
	Chlorogenic acid (3-O-Caffeoylquinic acid)	C16H18O9	14,76		353,08726	+	+	+
	3-O-Feruloylquinic acid	C17H20O9	15,04		367,10291		+	
	Chryptochlorogenic acid (4-O-Caffeoylquinic acid)	C16H18O9	16,04		353,08726	+	+	+
	4-O-(4-Coumaroyl)quinic acid	C16H18O8	16,13		337,09235	+	+	+
	5-O-(4-Coumaroyl)quinic acid	C16H18O8	17,35		337,09235	+	+	+
	4-O-(4-Coumaroyl)quinic acid cis isomer	C16H18O8	18,03		337,09235		+	+
	5-O-Feruloylquinic acid	C17H20O9	18,42		367,10291		+	+
	4-O-Feruloylquinic acid	C17H20O9	18,95		367,10291		+	
	5-O-(4-Coumaroyl)quinic acid cis isomer	C16H18O8	19,63		337,09235	+	+	+
	4-Hydroxy-3-methoxycinnamaldehyde (Coniferyl aldehyde)	C10H10O3	20,63	179,07082		+		
	Di-O-caffeoylquinic acid isomer 1	C25H24O12	22,62		515,11896	+	+	+
	Di-O-caffeoylquinic acid isomer 2	C25H24O12	22,78		515,11896	+	+	+
	Salvianolic acid derivative isomer 1	C27H22O12	22,79		537,10331		+	+
	Salvianolic acid derivative isomer 2	C27H22O12	24,57		537,10331		+	+
	Di-O-caffeoylquinic acid isomer 3	C25H24O12	24,59		515,11896	+	+	+
Kumarinok	Esculin (Esculetin-6-O-glucoside)	C15H16O9	12,82		341,08726		+	
	Fraxidin or Isofraxidin	C11H10O5	18,30		221,04500		+	+
	Isoscoupetin (6-Hydroxy-7-methoxycoumarin)	C10H8O4	18,35	193,05009			+	+
	Scopoletin (7-Hydroxy-6-methoxycoumarin)	C10H8O4	19,08	193,05009			+	+
	6-Methylcoumarin	C10H8O2	19,45	161,06026			+	+
	Coumarin	C9H6O2	20,40		147,04461	+		

A fenolos vegyületek és a közéjük tartozó fenolsavak fontos alcsoportot alkotnak, jelenlétük az *Asteraceae* családra jellemző (18. táblázat). A leginkább vizsgált fenolsavak a csicsóka gumóiban és hajtásaiban található kinasavak mono-, di-, és tri-hidroxi-ciromsav-észterei (p-kumársav, kávéssav és ferulasav) (YUAN et al., 2012; OLESZEK et al., 2019; SHOWKAT et al., 2019). Méréseink 13 db különböző fenolsavat igazoltak a csicsóka zöld biomasszából származó frakciókban. A koffeoil-kinasav három szerkezeti izomerjét azonosítottuk, eltérő retenciós idő mellett. A klorogénsav (3-O-kaffeoilkinasav), neoklorogénsav (5-O-kaffeoilkinasav), illetve kriptoklorogénsav (4-O-kaffeoilkinasav) volt azonosítható. Neoklorogénsav és kriptoklorogénsav sztenderdek hiányában csak az egymáshoz viszonyított relatív arányokat tudtuk összehasonlítani azonos molekula tömegük és ionizációjuk révén. Az izomerek extrahált ionkromatogramjának területe összehasonlítható, és ez alapján a 3-O-koffeoilkinasav tűnt a dominánsnak (28. ábra).



28. ábra. A klorogénsav (koffeoilkínasav) három izomerjének egymáshoz viszonyított aránya UPLC-ESI-MS rendszer ionkromatogramja alapján.

A neoklorogénsav (*5-O-koffeoilkínasav*) a legalacsonyabb arányt mutatta. Hasonlóan a mi eredményeinkhez a klorogénsav (*3-O-koffeoilkínasav*) más növényekben is a legnagyobb mennyiségben előforduló izomerként írják le, míg a kriptoklorogénsav (*4-O-koffeoilkínasav*) és a neoklorogénsav sokkal kisebb koncentrációban van jelen (RAWATE, 1985). YUAN et al. (2012) a 3-O-koffeoilkínasavat és az 1,5-dikaffeoilkínasavat magas koncentrációban említik a csicsóka levelekben. Kvantitatív méréseink közül a klorogénsav legnagyobb mennyiségben fordult elő (általában 1000 µg/g sz.a. felett, egyes esetekben a 6000 µg/g sz.a.-t is meghaladta) a LFK frakcióban (**20. táblázat**).

LIANG és KITTS (2016) szerint azonban a gyümölcsökben és zöldségekben az 5-o-koffeoilkínasav az uralkodó izomer. Ezeknek a fenolsavaknak a jelenléte mind az ember, mind az állatok szempontjából érdekes, mivel a koffeinizál-kínasav izomereknek számos biológiai szerepet tulajdonítanak, többek között antioxidáns és antibakteriális hatást, máj- és szívvédő, gyulladáscsökkentő és lázcsillapító, neuroprotektív, elhízás elleni, vírusellenes és magas vérnyomás elleni hatást, valamint a központi idegrendszer stimulációját (YUAN et al. 2012; ZHANG et al. 2011).

Négy különböző kumarin típusú vegyületet is találtunk. A kumarinok széles körben elterjedt, nem flavonoid típusú fenolos komponensek a növényvilágban. Az „egyszerű kumarinok”, mint kumarin alcsoport főként az *Asteraceae* családban van jelen. Ezért a

kemotaxonómiai megközelítéshez is az egyes kumarin alosztályokhoz tartozó vegyületeket használják. A szkopoletint és az ayapint már leírták a csicsóka gumóiban, és feltételezték jelenlétüket a napraforgóhoz hasonlóan a föld feletti részekben is (CABELLO-HURTADO et al. 1998). Méréseink megerősítették a szkopoletin jelenlétét az izoszkopoletinnel, a 6-metil-kumarinnal és a fraxidinnel együtt a csicsóka zöld biomasszából származó frakciókban. Az egyszerű kumarinok némelyike fitoalexinként ismert. Ugyanakkor a fraxidin és a szkopoletin erős antiadipogén aktivitást mutatott a preadipocita sejtvonalakkal szemben *in vitro* vizsgálati rendszerekben (VENUGOPALA et al. 2013). A nem flavonoid típusú fenolokon belül két szalvianolsav-származék és egy szalicilsav-2-O-glükozid szintén kimutatható mennyiségben voltak jelen.

19. táblázat. A csicsóka zöld biomassza frakciók fitokémiai összetétele a *Nem-flavonoid* típusú vegyületek alapján.

Egyéb azonosított vegyületek	Vegyület angol neve	Képlet	Rt	[M + H] ⁺	[M - H] ⁻	Rost	Barnalé	LFK
Alkaloidok	Kynurenic acid	C10H7NO3	13,75	190,05042			+	
Aminoasavak	Lysine	C6H14N2O2	1,14	147,11336		+	+	+
	Threonine	C4H9NO3	1,26	120,06607		+		+
	Arginine	C6H14N4O2	1,36	175,11951			+	
	γ -Aminobutyric acid	C4H9NO2	1,36	104,07116		+	+	+
	Betaine (Trimethylglycine)	C5H11NO2	1,39	118,08681		+	+	+
	Proline	C5H9NO2	1,39	116,07116		+	+	+
	Glutamine	C5H10N2O3	1,41	147,07697			+	+
	Glutamic acid	C5H9NO4	1,42	148,06099		+	+	+
	Leucine or Isoleucine	C6H13NO2	1,90	132,10246		+	+	+
	Tyrosine	C9H11NO3	1,92	182,08172			+	+
	Phenylalanine	C9H11NO2	3,61	166,08681		+	+	+
	Tryptophan	C11H12N2O2	9,28	205,09771		+	+	+
	N-Acetyltryptophan	C13H14N2O3	20,22	247,10827			+	
Egyéb metabolitok	Malic acid	C4H6O5	1,46		133,0137		+	
	Citric acid	C6H8O7	1,76		191,0192	+	+	+
	3-(Benzyloxy)-2-hydroxypropylglucuronic acid	C16H20O10	18,2		371,0978		+	
	Azelaic acid (9-Amino-9-oxononanoic acid)	C9H17NO3	19,2		186,113	+	+	+
	Indole-4-carbaldehyde	C9H7NO	19,7	146,0606		+	+	+
	Azelaic acid	C9H16O4	25,1		187,097	+	+	+
	Jasmonic acid	C12H18O3	28,3		209,1178		+	
	2-Hydroxyhexadecanoic acid	C16H32O3	45,2		271,2273	+		
Terpenoidok	Loliolide	C11H16O3	20,06	197,11777		+	+	+
	7-Deoxyloganic acid isomer	C16H24O9	22,39		359,13421	+	+	+
	Dihydroactinidiolide	C11H16O2	27,18	181,12286		+		+
Vitaminok	Nicotinic acid (Niacin)	C6H5NO2	1,57	124,03986		+	+	+
	Pyridoxine	C8H11NO3	1,60	170,08172			+	
	Nicotinamide	C6H6N2O	1,65	123,05584			+	
	Biotin	C10H16N2O3	16,92	245,09599			+	
	Riboflavin	C17H20N4O6	19,06	377,14611		+	+	+

Három terpenoid típusú vegyület következetesen jelen volt az összes csicsókából származó vizsgált frakciókban (**19. táblázat**). A loliolidot a karotinoidok fotooxidatív vagy termikusan lebomló termékének tartják. Hasonlóképpen azonosítottunk dihidroaktinidiolidot, egy illékony monoterpenoidot, amely számos növény, például a dohány és a tea ízalkotó

összetevője (SEILER, 1988). YUN et al. (2012) szerint a hőkezelés a β -karotinból dihidroaktinidiolid képződését idézi elő. Vizsgálatok igazolták, hogy a loliolid gátolja a növekedést és a csírázást, ugyanakkor fitotoxikus, elriasztja a levélvágó hangyákat, valamint tumorellenes és antimikrobiális hatással rendelkezik állatokban és mikroorganizmusokban egyaránt (MURATA et al., 2019; YUN et al., 2012). A 7-dezoxilogánsav izomer a harmadik terpén, amelyről ismert, hogy a szekoiridoid útvonal köztes terméke a növényekben. Egy zsírsavat is azonosítottunk *2-Hydroxyhexadecanoic sav* formájában negatív ionizációs módban. A csicsóka gumóinak zsírsav- és lipidtartalmáról több szerző is beszámolt (KAYS és NOTTINGHAM 2008; ISLAM et al., 2017); a föld feletti hajtások zsírsav összetételéről azonban kevés információ áll rendelkezésre (CHERNENKO et al., 2008). Több proteinogén és nem proteinogén aminosavat is azonosítottunk (**19. táblázat**).

A **19. táblázatban** továbbá látható, hogy vitaminok tekintetében B-vitamin-molekulákat, például nikotinsavat és riboflavint találtunk, ezen túlmenően a frakciókban szerves savakat, almasavat és citromsavat, valamint növényi hormonokat, például indol-3-ecetsavat is azonosítottunk.

A beazonosított vegyületek mellett érdemes megemlíteni olyan vegyületcsoportot, amit viszont nem lehetett kimutatni egyik csicsóka frakcióból sem. Ilyenek a szaponinok. A szaponinok egy része hemolizáló tulajdonsága miatt kedvezőtlen élettani hatású. Ilyenek közül többet találtunk lucerna frakciókban (nem közölt adat), csicsókában azonban teljesen hiányoznak.

Kvalitatív vizsgálatok mellett egyes fitokémiai komponensek mennyiségét is vizsgáltuk a levélfehérje koncentrátum (LFK) frakciókból (**20. táblázat**).

20. táblázat. A csicsóka zöld biomasszából nyert LFK frakciók egyes fitonutriensének kvantitatív eredményei az adatok µg/g LFK sz.a.-ban értendők.

LFK	Vitamin (µg/g)				Flavanon (µg/g)	Fahájsav (µg/g)	Kumarin (µg/g)	
	Nikotinamid (B3-vit. amid)	Nikotinsav (B3-vit.)	Biotin (B7-vit.)	Riboflavin (B2-vit.)	Liquiritigenin	Klorogénsav	Szkopoletin	Kumarin
Alba 2016	0,5	2,2	0,7	23,4	1,7	1134,3	1,6	0,6
Fuseau 2016	2,3	1,4	0,7	24,2	1,8	1886	1,7	0,6
Kalev. 2016	2,6	1,3	0,8	31,9	1,5	1149,3	1,6	0,9
Kerca. 2016	1	2,5	0,7	28,4	2,0	1401,1	2	0,8
Piri 2016	2,7	1,6	0,8	24,3	2,7	3714,4	1,6	0,5
Rubik 2016	1,6	2,2	6	28,7	3,2	11941,4	2,4	0,7
Tápiói s. 2016	3,1	2,1	0,6	26,3	1,9	6279,3	1,5	0,5
Átlag	1,97	1,90	1,47	26,74	2,11	3929,40	1,77	0,66
Alba 2017	1,1	0,8	0,8	28	1,0	1748,2	2,2	0,6
Fuseau 2017	1,4	0,6	0,9	34,4	0,9	1065,5	1,8	0,6
Kalev. 2017	1,2	0,2	0,7	23,2	1,1	1093,8	2	0,6
Kerca. 2017	1,2	0,3	0,7	26,6	0,9	1031,6	1,8	0,5
Piri 2017	1	0,3	0,8	26,5	2,0	1218,3	1,6	0,6
Rubik 2017	1	0,8	0,7	35,5	2,2	2163,6	2,3	0,5
Tápiói s. 2017	1,4	0,4	0,7	25,4	1,6	1301,8	1,9	0,6
Átlag	1,19	0,49	0,76	28,51	1,39	1374,69	1,94	0,57

A táblázatból látható, hogy az öt azonosított vitamin közül négyet sikerült megmérnünk. Ezek közül a riboflavin volt legnagyobb koncentrációban megtalálható 23,4 – 35,5 µg/g között változó mennyiségben, fajtától és betakarítástól függően. Emellett a 2016-os LFK frakciókban átlagosan 1,97 µg/g nikotinamidot, 1,9 µg/g nikotinsavat, 1,47 µg/g biotint mértünk. A 2017-ben betakarított csicsóka zöld biomasszából nyert LFK frakcióban minden mért paraméternél kevesebb mennyiséget mértünk, kivéve a riboflavint, amiből átlagosan 28,51 µg/g-ot kaptunk.

WITTEN és AULRICH (2019) munkájában felhívják a figyelmet a B-vitaminok fontosságára a takarmányokban. Hangsúlyozzák, hogy leginkább mesterséges úton (fermentáció) állítják elő ezeket a vitaminokat és keverik a takarmányokhoz. Vizsgálataik során gabonafélék és hüvelyesek terméseinek B₂-vitamin (riboflavin) tartalmát vizsgálták. Megállapították, hogy az őszi búza esetében 0,75 µg/g, zabnál 1,12 µg/g, takarmányborsó esetében 1,64 µg/g, csillagfűrtnél 2,49 µg/g mennyiségben fordul elő. Összehasonlítva az általunk kapott eredményekkel, látható, hogy a csicsóka LFK frakció esetében minden fajtánál/ökotípusnál tízszer többet tudtunk kimutatni.

A fenolos komponensek közül egy flavanont, egy fahéjsavszármazékot és két kumarint mértünk meg. Látható, hogy 2016-hoz képest 2017-ben kevesebbet kaptunk minden vegyület esetében. Azonban szem előtt tartandó tény, hogy a LFK frakció lényegében egy prémium takarmány jelölt, kiváló fehérje és ezzel együtt aminosav tartalma mellett ezeknek az vegyületeknek is szerepe van az egészséges állatállományok fenntartásában.

A 20. táblázatból látható, hogy a klorogénsav igen nagy mennyiségben volt jelen a csicsóka zöld biomasszából kapott LFK frakcióban (1-11 mg/g). Összehasonlítva BACH et al. (2013) eredményeivel (0,11-0,2 mg/g) és MATTLA (2007) adataival (0,76 mg/g), láthatjuk, hogy tízszer többet tudunk kimutatni a vegyületből az említett frakcióban az általunk alkalmazott analitikai módszer segítségével.

A klorogénsav (szin. *3-O-Caffeoylquinic acid*) a fenolos komponensek egyik jelentős tagja. Az utóbbi időben főként farmakológiai és orvosi szempontból vizsgálták. A klorogénsav táplálkozásbiológiai szempontból fontos, mivel kísérletek bizonyítják antibakteriális, kardio-, neuroprotektív, gyulladáscsökkentő, lázcsillapító és egyéb hatását (NAVEED et al. 2019). Egyes kutatások szerint vérnyomáscsökkentő hatással is rendelkezik (ZHAO 2011). MEMON et al. (2010) szerint a klorogénsav prekursora lehet a HIV vírus elleni gyógyszerkészítmény egyik hatóanyagának.

4.5 A csicsóka zöld biomassza frakciók fotoszintetikus pigmenttartalmának eredményei

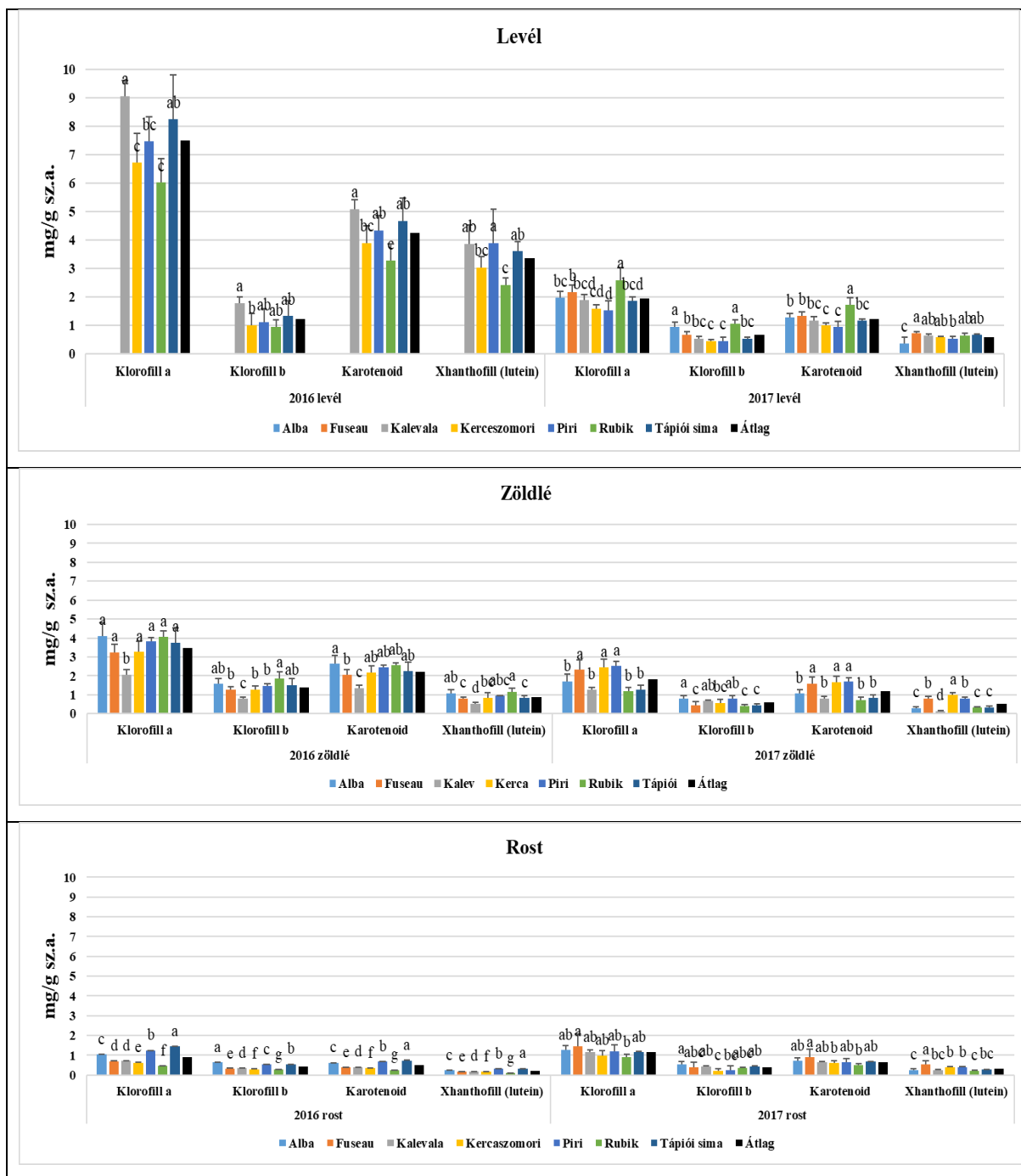
Tanulmányok bizonyították, hogy a zöld növényi részek fogyasztása jótékonyan hat az állati és emberi szervezetre egyaránt. Ezekben a növényi részekben a fitonutriensek mellett nem elhanyagolható mennyiségben vannak jelen a fotoszintetikus pigmentek is, azonban ezek növényfajtól függő értékek. Ezen pigmentek két fő csoportja a klorofillek és a karotinoidok (KOSPELL et al., 2005; WANG és WINK 2016).

A klorofillok és származékaik jótékony táplálkozás biológiai hatását széles körben vizsgálták. Többek között gyulladáscsökkentő-, antioxidáns hatás és különböző hám sérülések kezelésében értek el sikereket (FERRUZZIA és BLAKESLEE 2007). Továbbá kísérletek bizonyították a kalcium-oxalát kristályok képződésének megakadályozását (TAWASHI et al. 1980).

A karotenoidok, mint fotoszintetikus segéd pigmentek, elsődleges feladata a fény energia továbbítása a klorofill molekulákra, illetve azok védelme az intenzív fényenergiától. Ezen túlmenően konjugált kettős kötéseik révén képesek antioxidánsként is viselkedni, továbbá egyes vitaminok prekursorai is. Két csoportját különböztethetjük meg: az oxigénnel rendelkezők a karotinok és az oxigénnel nem rendelkezők a xantofillok (LICHENTHALER, 1987; RAO és HONGLEI 2002; RAO és RAO, 2007).

Az 1910-es években már kísérletek folytak karotinoidokkal, mint takarmány kiegészítőkkel a szarvasmarha- és baromfitenyésztésben. PALMER (1915) tojótyúkók és szarvasmarhák takarmányába karotint és xantofillt kevert és arról számolt be, hogy a tojások sárgája, valamint a tehenek teje sokkal sárgábbá vált.

A fentiekkel összhangban elvégeztük a csicsóka zöld biomasszából nyert egyes frakciók (rost, zöldlé) valamint intakt levelek fotoszintetikus pigment tartalmának elemzését spektrofotometriás módszerrel, melyről a **29. ábra** ad felvilágosítást. A LFK és barnalé frakciókból nem végeztünk méréseket, mivel a mikrohullámú hőközlés hatására a fotoszintetikus pigmentek egy része átalakul egyéb származékokká pl. feofitinekké (ezek jelenlétét kapcsolt analitikai kvalitatív mérésekkel igazoltuk is, nem közölt adatok). Így a spektrofotometriás mérési módszer nem alkalmas ezeknél a frakcióknál.



29. ábra. A csicsóka zöld biomassza frakciók fotoszintetikus pigmenttartalmának eredményei, Debrecen, 2016 és 2017. Az eltérő betűkkel jelölt átlagértékek szignifikáns különbségek a Duncan-teszt alapján, $p < 0,05$ mellett.

A 29. ábrán látható, hogy a három frakció közül a levelek esetében mértük a legnagyobb fotoszintetikus pigment tartalmat, míg a legkevesebbet a rost frakcióban minden vizsgált paraméter esetében. Az intakt levél frakción belül a 2016-os évet figyelembe véve látható, hogy ebben az időszakban mértük a legnagyobb mennyiséget minden pigment esetében. Ennek ellenére adott évben a fajták/ökotípusok között nem minden esetben sikerült statisztikailag igazolható különbséget kimutatni. A levelek fotoszintetikus pigment tartalma három

fajta/ökotípus esetében következetesen az átlag (*fekete oszlop*) alatti értéket mutatta ('*Kercaszomori*', '*Piri*' és '*Rubik*').

A 2017-es évben a levél frakciónál '*klorofill a*' esetében a legnagyobb mennyiséget a '*Rubik*' fajtában tudtuk kimutatni, mely statisztikailag igazoltan eltért a többi fajtától/ökotípustól. Ez a tendencia a '*klorofill b*' és a '*karotin*' esetében is kimutatható volt és statisztikailag igazolhatóan különbözött a többi fajtától/ökotípustól.

A zöldlé frakcióban alacsonyabb értékeket kaptunk (a levelekhez képest). A zöldlevek esetében is látható a két év közötti különbség, 2016-ban nagyobb mennyiségben voltak kimutathatók a pigmentek, mint 2017-ben.

A rost frakcióban lehetett a legkevesebb mennyiségben kimutatni a pigmenteket. Azonban a másik két frakcióhoz képest (levelek, zöldlé) a rost frakcióban a két év között nincs számottevő különbség.

Összehasonlítva DUMA et al. (2014) munkájával a két betakarítás átlagait láthatjuk, hogy ők a saláta (*Lactuca sativa*) leveleiben 0,144 mg/g mennyiségben mértek *klorofill a*-t, míg a csicsóka esetében még a rost frakcióban is többet tudtunk kimutatni, átlagosan 0,885 mg/g. A spenót (*Spinacia oleracea*) esetében 1,043 mg/g-ot tudtak kimutatni, ami az általunk kapott rost frakciónál nagyobb érték, de a csicsóka 2016-os zöldlé frakcióban 3,47 mg/g, 2017-ben 1,80 mg/g volt átlagosan a *klorofill a* pigmentek mennyisége.

A karotin és a xanthofill mennyiség is nagyobb volt az általunk mért frakciókban, mint, amit DUMA et al (2014) mért a levélzöldségek esetében. Karotin a salátánál 0,072 mg/g, bazsalikom és mustár esetében is 0,2-0,3 mg/g közötti értéket kaptak. Ezzel szemben a csicsóka levelekben 2,5 mg/g, zöldlében 1,5 mg/g és rostokban 0,5 mg/g volt a karotin mennyisége. Xanthofillek esetében a növényfajoknál 0,03-0,39 mg/g közötti értéket kaptak. Ezzel szemben a csicsóka levelekben átlagosan 1,9 mg/g-ot, a zöldlé frakcióban 0,65 mg/g-ot, míg a rostokban 0,26 mg/g-ot mértünk.

Ennek jelentősége, hogy a kérődzők takarmányai nem mindig tartalmaznak megfelelő mennyiségben karotinoidokat. Ennek oka, hogy legtöbb esetben ezek a keverékek átesnek egy hőkezelésen, ahol a nagy részük elbomlik. Ezzel együtt a karotinoidok prekursorai a retinolnak (A-vitamin). Tanulmányok azt is bizonyították, hogy a karotinoidok fogyasztása javítja pl. a termékenységet (NOZIÉRE et al. 2006).

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Munkánk során hét, különböző földrajzi tájegységekről származó csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) fajtát/ökotípust vizsgáltunk extenzív termesztési körülmények között. Kutatásunk elsősorban a zöld biofinomítás lépéseit követte, illetve a „zöld futószalag” koncepcióját és választ keresett a csicsóka ezen irányú felhasználására.

A csicsóka fajták/ökotípusok szántóföldi fejlődése során az első évben a gumók ültetését követően a kelésben egyenetlenség volt megfigyelhető, azonban ez a második évben már nem volt tapasztalható. A kísérlet első évében a vetőgumókat nem közvetlenül a tavaszi felszedést követően vetettük el a talajban ez okozhatta ezt a problémát. A második évben a tavaszi felszedést követően azonnal visszavetésre kerültek a megfelelő méretű gumók, így az előző évben tapasztalt kelési problémát már nem tapasztaltuk.

A fajták/ökotípusok növekedés dinamikájában két intenzív növekedési fázist tudtunk megkülönböztetni. Az első intenzív fázis a keléstől kb. június végéig tartott, majd a második növekedési ütem lelassult és nagyjából szeptember végéig tartott. A 'Kalevala' ökotípusnál tapasztaltuk az első évben a tömeges virágzást követően (augusztus vége), hogy bár lelassult intenzitással, de folytatódott a vegetatív növekedés. A többi fajta/ökotípus virágzása későbbi időpontban történt, de hasonlóak a tapasztalatok. A szakirodalom szerint a csicsóka abiotikus stresszekhez (főleg szárazság) rendkívül jól adaptálódó növény. Kísérleti munkánkat emiatt állítottuk be extenzív módon, öntözés és tápanyag utánpótlás alkalmazása nélkül. Eredményeink igazolták, hogy a leveles szár növekedésének dinamikáját és intenzitását a növények fenntartották a kedvezőtlenebb csapadék eloszlású 2017. évben, de zöld biomassza hozamban jelentősen alulmaradtak a 2016. évhez viszonyítva.

A zöld biofinomítás koncepciójában az évente megújuló, az adott évben akár többször is betakarítható, jól regenerálódó és nagy zöld biomasszát adó növények a preferáltak. Eredményeink arra mutatnak, hogy a zöld biomassza nedves frakcionálási és feldolgozási célokra az extenzív körülmények mellett növekedett csicsóka leveles szár legalább két alkalommal betakarítható. A rendelkezésre álló fajtákat/ökotípusokat összehasonlítva nem volt következetesen kiugró értékkel bíró, de összességében (figyelembe véve vizuális megfigyeléseinket is) a 'Fuseau', 'Kalevala' és 'Alba' fajta/ökotípus emelhető ki a tövenkénti zöld biomassza produkció és a regenerálódó képesség alapján. Figyelembe véve szakirodalmi hivatkozásokat, valamint saját nem közölt adatainkat, terveink között szerepel további ökotípusok kísérletbe vonása, illetve a *Helianthus* nemzetségbe tartozó *H. strumosus* faj és *H. tuberosus* x *H. strumosus* hibridek vizsgálata.

Az extenzív körülmények között termesztett csicsóka egyedek gumóhozama eltérést mutatott egymáshoz képest, azonban mindkét évben a fajták következetesen azonos tendenciákat mutattak önmagukhoz képest. A visszavágott egyedek esetében jelentős gumóhozam csökkenést tapasztaltunk a kontrollhoz viszonyítva. Ennek okán üzemi szintű termesztés esetén szükséges lehet egy olyan állomány fenntartására, mely a következő évre biztosítja a megfelelő vetőgumó mennyiséget.

A friss zöld biomassza további felhasználását elsősorban a végcél határozza meg. Jelen munka a csicsóka zöld biomassza hasznosítási lehetőségét vizsgálja egy újszerű, kevésbé ismert technológiai lépéssor alkalmazásával. Lucerna és egyéb dedikált zöld biomassza növényfajok esetében hasonló feldolgozás eredményeként keletkező frakciók közvetlen termékként és/vagy köztes termékeként történő előállítására már ismertek példák üzemi méretben. Csicsókára vonatkozóan azonban kevés információ van. A két év adatai arra mutatnak, hogy a technológiai lépéssor eredményeként nyert csicsóka levélfehérje koncentrátum (LFK), rost és barnalé frakciók relatív arányában különbség van a kísérletben kontrollként szereplő lucernához viszonyítva. A legnagyobb mennyiségben a barnalé frakció keletkezett. Csicsóka esetében 64%, míg a lucerna esetében ez 54% volt 1 kg friss zöld biomasszára tekintve. A rost frakció mindkét növényfaj esetében 20-25% között változott. Arányait tekintve a legkisebb mennyiségben az LFK frakció képződött mind a csicsóka (~7%), mind pedig a lucerna esetében (~13%). Szárazanyag beépülés mértéke közel azonos volt a két növényfajt összehasonlítva, sőt az egyes csicsóka fajták/ökotípusok felül is múlták a lucernát.

A csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza frakcionálás alkalmával kapott mennyiségi eredmények között számottevő különbség nem mutatkozott az egyes években azonos betakarítási időt tekintve. Azonban az adott évben az első és a második betakarítás között már különbséget tapasztaltunk a fajtákra/ökotípusokra nézve. Ez összefüggésbe hozható a növények regenerálódási képességével.

A frakciók szárazanyag tartalma a vizsgált két évben eltérést mutatott, ezt főként a vizsgált két év különböző időjárási körülményei okozták, mivel adott éven belül ezen paraméterek a csicsóka fajták/ökotípusok esetében közel azonosak voltak, a betakarítás függvényében, azonban a lucerna értékeit nem tudták felülmúlni. Ezzel együtt a levélfehérje koncentrátum szárazanyag tartalmát nagy mértékben befolyásolja a koagulálást követő szűrési módszer, azaz barnalé és a LFK elválasztása.

A csicsóka LFK frakció nyersfehérje tartalma a kontroll lucerna azonos frakciójához képest ~27%-kal alacsonyabb értéket mutattak, amennyiben a két év négy betakarításának átlagát vesszük alapul. Elmondható az is, hogy az extrapolált számításaink bizonyították, hogy

átlagosan a csicsókából nyerhető levélfehérje koncentrátumból száraztömegre vetítve 133,18 kg/ha/betakarítás mennyiséget lehet előállítani, míg lucerna esetében száraztömegre vetítve 180,29 kg/ha/betakarítás LFK állítható elő.

A rost frakciók közel azonos fehérje tartalmat mutattak (~ 1 m/m% különbség) a csicsókát és a lucernát összehasonlítva, ez inkább a nedves frakcionálás hatékonyságával áll összefüggésbe.

A csicsóka fajták/ökotípusok frakciói nem csak a lucernától, hanem egymástól is különböztek statisztikailag igazolhatóan. A csicsóka esetében a rost frakciók mindkét vizsgált évben ~ 10 - 15 m/m% közötti nyersfehérje tartalmat mutattak, függetlenül a betakarítás idejétől. A barnalé frakciók $\sim 1,5$ m/m%-os nyersfehérje tartalommal rendelkeztek, azonban itt a két betakarítás (nyár, ősz) között már tapasztaltunk némi eltérést. A levélfehérje koncentrátum nyersfehérje tartalmát az évjárat jelentősebben befolyásolta, mint egy vegetációs időszakon belül a betakarítási időpontok.

A fehérjék biológiai értékét és hasznosulását a szervezetben nem csak a mennyiségük, hanem összetételük, azaz aminosav tartalmuk határozza meg. Ilyen szempontból az esszenciális aminosavaknak különös jelentőségük van. Mivel a zöld biofinomítás egyik lehetséges kimenetele lehet a fehérje takarmányok előállítása, így az általunk kapott szilárd frakciók aminosav összetételének vizsgálatát is elvégeztük. A csicsóka ökotípusok rost frakcióinak esszenciális aminosav összetétele, aránya nagy hasonlóságot mutatott. A lucerna rost frakció esszenciális aminosav tartalom abszolút mennyiségeit figyelembe véve alacsonyabb értékeket mutatott egyes csicsóka fajtákkal/ökotípusokkal összehasonlítva.

A levélfehérje koncentrátum (LFK) esetében 2016-ban végzett első és második betakarítások között mennyiségi különbséget nem tapasztaltunk az egyes csicsóka fajták/ökotípusok között, a lucerna esetében is néhol kevesebbet mértünk a csicsókához képest. 2017-ben azonban jelentős különbségeket mértünk. A lucernához képest kisebb mennyiségben tudtuk kimutatni az egyes esszenciális aminosavakat a csicsóka LFK frakcióban. Az eredmények szoros korrelációt mutatnak a nyersfehérjére vonatkozó eredményekkel. Aminosav összetétel tekintetében nem volt kiemelkedő a csicsóka fajta/ökotípus hatása.

Nagy számú növényi másodlagos anyagcsereterméknek az állati és emberi szervezetre gyakorolt egészségügyi hatását igazolták. Továbbá ezek az anyagok a biofinomítás egyik lehetséges platform anyagai lehetnek, melyek további termékek előállítását biztosíthatják. Ezen gondolat mentén elvégeztük a csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók összes fenolos komponensének mennyiségi meghatározását, illetve a komponensek kvalitatív és kvantitatív mérését.

Az összes fenolos komponensek tekintetében a csicsóka rost frakciókban kevesebbet tudtunk kimutatni mindkét év vonatkozásában. A lucerna ezen frakciója statisztikailag igazolhatóan nem különbözött a csicsókáétól. Ezen túlmenően az első és második betakarítások között azonos évben és azonos fajták/ökotípusok között számottevő különbségek nem voltak.

A csicsóka különböző zöld biomassza eredetű frakcióinak minőségi elemzése után összesen 84 darab fitokémiai komponenst sikerült azonosítani. A frakciók közötti megoszlása, a rost frakcióban 3 db, a levélfehérje koncentrátumban 2 db, míg a barnalé frakcióban 24 db, csak erre a frakcióra jellemző fitokémiai anyagot találtunk. Továbbá összesen 26 db olyan vegyületet azonosítottunk, amelyek egyszerre mind a három frakcióban jelen voltak.

Ezen túlmenően, tudomásunk szerint elsőként, sikerült azonosítanunk a csicsókában az izokvercetin (*kvercetin 3-O- β -D-glükopiranozid*), valamint az izorhamnetin (*izorhamnetin-3-O-glükuronid*) glükuronid-származékát.

A flavonoidokon belül nagy számban azonosítottuk metoxi-hidroxiflavonokat, úgymint *dimetoxi-trihidroxiflavon*, *dimetoxi-tetrahidroxiflavon*, *dihidroximethoxiflavon*, *trihidroxitrimetoxiflavon*, melyeket korábban nem írtak még le csicsóka zöld biomassza eredetű frakciókból. A szakirodalom szerint ezen vegyületek biológiai hasznosulásuk szempontjából előnyösebbnek bizonyultak, mint a hidroxiflavonok.

Flavanonok közül csak a liquiritigenint (*4',7-Dihydroxyflavanone*) találtuk meg, ami egyes források szerint β -ösztrogénreceptor antagonistája és pl. fogyasztása segíthet a menopauza tüneteinek csökkentésében.

A nem flavonoid típusú vegyületek közül a fahéjsav származékok voltak dominánsak méréseink alapján. Legnagyobb mennyiségben a fahéjsavakon belül a klorogénsav és izomerjeinek jelenlétét mutattuk ki. Ezek a fitokémiai vegyületek a szakirodalom szerint antikarcinogén és egészségvédő hatással bírnak. Ennek tükrében tervezzük az említett komponensek, izomerek mennyiségi meghatározását is.

Sikerült négy kumarin típusú vegyületet is azonosítani, melyek közül az ayapint és a szkopoletint már leírták a csicsóka gumóiban és feltételezték jelenlétüket a zöld leveles szárban is. Ezt a feltevést méréseinkkel igazoltuk. Továbbá a szakirodalom a kumarinokat fitoalexinként is ismerteti, így ezek további vizsgálata is javasolt. Ugyanakkor a szintén izolált fraxidin antiadipogén hatásáról is ismert, segíthet az elhízásban szenvedőknek. Ezen vegyületek mennyiségi meghatározása szintén javasolható. Lucerna fitokémiai komponensei között jelentős számban vannak hemolizáló szaponinok, amelyeket a csicsóka egyik frakciójában sem tudtunk kimutatni.

A fitokémiai anyagok mennyiségi meghatározásánál 4 db vitamint mértünk meg a levélfehérje koncentrátum frakcióból. Ezek alapján B₃-vitaminból (nikotinsav) átlagosan 1,3 µg/g, nikotinamidból 1,58 µg/g, B₇-vitaminból 1,1 µg/g, míg B₂-vitaminból 2,7 µg/g-ot tudtunk kimutatni a két év átlagát tekintve szárazanyagra nézve. A szakirodalom említést tesz a B-vitaminok szerepéről a takarmányokban. Főként a szárnyasok esetében fontos pótlásuk. Ezeket elsősorban mesterséges úton állítják elő és később keverik a takarmányokhoz.

Liquiritigenin esetében 1,75 µg/g, a klorogénsavból 2600 µg/g volt mérhető. Ezen anyagok első sorban a farmakológia területén jelentősek, így a biofinomítás egyik lehetséges platform anyagai lehetnek, melyek természetes növényi forrásból származnak.

Egészségvédő szerepük miatt a fotoszintetikus pigmenteknek nagy jelentőségük van. Jótékony hatásukat elsősorban gyulladás csökkentő és antioxidáns hatásukkal hozzák összefüggésbe. Mindkét évben elvégeztük a csicsóka levél, zöldlé és rost frakciók fotoszintetikus pigment tartalmának vizsgálatát spektrofotometriás módszerrel. Ezek alapján megállapítottuk, hogy az intakt levelekben kaptuk a legnagyobb mennyiségben ezen anyagokat. A legkisebb mennyiségben a rost frakcióban voltak jelen.

További érdekesség, hogy a két év között számottevő különbség figyelhető meg a levelek tekintetében, fajtától/ökotípustól függetlenül. Ez a 2017-es év időjárási körülményeivel magyarázható. A többi frakcióban ezt a nagy eltérést már nem tapasztaltuk. Ebből következik, hogy a nedves frakcionálást követően a frakciók a két évben következetesen azonos mennyiségben tartalmazták az említett pigmenteket. A szakirodalommal és ezzel együtt más növényfajokkal összehasonlítva az általunk mért eredményeket, megállapítottuk, hogy minden frakció esetében többet tudtunk kimutatni. Takarmányozási szempontból is jelentősége van, különösen a karotinoidok mennyiségének, mert baromfik esetében ismert a tojás színét befolyásoló szerepük.

A kétéves kísérlet alapján a vizsgált csicsóka fajtát/ökotípusok között bizonyos mennyiségi paramétereket figyelembe véve a '*Fuseau*', '*Kalevala*' és '*Alba*' bizonyultak ígéretesebbnek, de összességében a frakcionált minták minőségi és mennyiségi méréseiben nem találtunk kiemelkedőt. Ezzel együtt nyitott a kérdés más fajták/ökotípusok gazdasági tulajdonságainak tekintetében. A frakcionált zöld biomassa értékmérő paraméterei közül a fehérje teljes mennyisége és egyes aminosavak mennyiségi eredményei alacsonyabb értékeket mutattak a lucernával (mint a hazai klíma legnagyobb potenciállal bíró zöldfehérje növénye) összehasonlítva. Fitokémiai összetétele alapján azonban a frakcionált csicsóka értékes vegyületek tárháza. Így, figyelembe véve, hogy a növény öntözetlen körülmények között is

legalább kétszer betakarítható mindenképpen érdeklődésre tarthat számot a zöld biofinomítás szempontjából.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Csicsóka zöld biomassza zöld biofinomításban történő hasznosítása kapcsán a munkák alapján megkapott szabadalommal (P1800041/40) elsőként alkalmaztunk mikrohullámú koagulálást, a termális koagulálás lehetőségeként, levélfehérje koncentrátum és barnalé előállítása céljából.
2. Fajtaösszehasonlító kísérletes munkánk alapján megállapítottuk, hogy a zöld biomassza frakcionálás szempontjából a fajták/ökotípusok, mint befolyásoló tényezők, kevésbé bírnak jelentőséggel, mint a betakarítási időpontok a vegetációs időszak során.
3. A zöld futószalag lépéseit követve megállapítottuk, hogy az extenzíven termesztett csicsóka zöld biomasszából legalább 7,19 m/m% és legfeljebb 14,75 m/m% nyersfehérje tartalmú rost frakciót lehet előállítani ikercsigás prés gép segítségével, a vizsgált fajták/ökotípusok figyelembevételével. A zöld biomassza feldolgozását követően a termális koaguláció és gravitációs elválasztás után legfeljebb 0,30 m/m%-os és legalább 1,46 m/m%-os nyersfehérje tartalmú barnalé frakciót kaptunk. Továbbá legalább 20,49 m/m% és legfeljebb 35,26 m/m% nyersfehérje tartalmú levélfehérje koncentrátumot (LFK) állítottunk elő a vizsgált fajták/ökotípusok figyelembevételével.
4. Az extenzíven termesztett csicsóka zöld biomassza eredetű zöldléből mikrohullámú koagulálás segítségével kapott levélfehérje koncentrátum frakció aminosav összetétele alapján limitáló aminosavak közül a metionin fajtától/ökotípustól függően elérte és meg is haladta (0,44-0,95 m/m%) a lucernából azonos módon előállított LFK frakció metionin tartalmát (0,34-0,84 m/m%) ('Hunor 40' fajtát vizsgálva).
5. Összesen 84 db fitokémiai komponenst azonosítottunk a csicsóka zöld biomassza frakcióiban. A vizsgálatba bevont csicsóka fajták/ökotípusok rost, levélfehérje koncentrátum és barnalé frakcióinak fitokémiai összetétel minőségében elhanyagolható különbséget tapasztaltunk a fajtákra/ökotípusokra nézve.
6. Elsőként mutattunk ki a falvonoidekon belül nagy számban metoxi-hidroxi flavonokat, úgymint *dimetoxi-trihidroxi flavon*, *dimetoxi-tetrahidroxiflavon*, *dihidroxi-methoxiflavon*, *trihidroxi-trimetoxiflavon*, valamint a kalkonokhoz tartozó *buteint*, továbbá az izorhamnetin (*izorhamnetin-3-O-glükuronid*) és az izokvercetin (*kvercetin 3-O-β-d-glükopiranozid*) glükuronid-származékot frakcionált csicsóka zöld biomasszából, melyeket korábban még nem írtak le csicsóka zöld biomassza eredetű frakciókból.

7. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. A csicsóka zöld biomassza zöld biofinomításban történő hasznosítása kapcsán a 80×60 cm-es térállás alkalmazható, megfelelő mennyiségű és minőségű zöld biomassza nyerhető.
2. Megállapítottuk, hogy hazai extenzív körülmények között, öntözés nélkül, a csicsóka regenerációs képességét figyelembe véve, két alkalommal biztonsággal lehet zöld biomasszát betakarítani frakcionálási célokra.
3. Megállapítottuk, hogy a csicsóka extenzív termesztése és kétszeri visszavágása során nem biztosítható a következő évre a megfelelő mennyiségű és minőségű vetőgumó, így szükséges egy erre a célra létrehozott állomány fenntartása.
4. Takarmányozási szempontból közvetlen fehérjeforrásként a csicsóka levélfehérje koncentrátum frakció fehérjetartalma ugyan alacsonyabb a lucernához viszonyítva, de a maximálisan 35 m/m% jelentős értéknek tekinthető különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az olyan limitáló aminosav, mint a metionin több ökotípus/fajta esetében ('Alba', 'Fuseau') legalább akkora, vagy még magasabb értéket mutat, mint a lucerna. A zöld biofinomítás megvalósítási lehetőségeként felmerülő decentralizált üzemek folyamatos működésében a betakarítások helyes ütemezésével, a lucerna mellett beilleszthető a csicsóka feldolgozás is.
5. A levélfehérje koncentrátum és présrost frakciók fitokémiai összetételét figyelembe véve látható nagy számú, pozitív élettani hatással rendelkező flavonoid és nem-flavonoid típusú fenolos komponens jelenléte. Továbbá a lucernában jellemzően megtalálható antinutritív hatású szaponinok egyáltalán nem mutathatók ki. Ezek az eredmények megerősítik a levélfehérje koncentrátum (LFK) és a présrost frakciók, mint termékjelöltek, takarmányozásban betöltött szerepét. Ezen túlmenően akár humán táplálkozásba is előnyösen beilleszthetők lehetnek táplálék kiegészítők formájában.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen munkánk során hét különböző csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) fajta/ökotípus zöld biomasszájának hasznosítási lehetőségeit vizsgáltuk összehasonlítva egy lucerna (*Medicago sativa* L.) fajtával ('*Hunor 40*') a zöld biofinomítás koncepciójában. A csicsóka iránti érdeklődés többször fellángolt már, úgy tudományos, mint gazdasági szempontból. A kutatók és a gazdák felismerték a csicsókában rejlő lehetőségeket.

Manapság a csicsóka iránti érdeklődés újabb hulláma elsősorban a biofinomítás koncepciójával hozható összefüggésbe. A biofinomítás a kőolaj finomításra épülő módszer, azzal analóg módon értelmezhető, kivéve, hogy a fosszilis energia hordozók helyett a megújuló – évente akár többször is betakarítható – biomasszát veszi alapul. A csicsókát a szakirodalom a koncepcióba teljesen beleilleszthető növényfajnak javasolja. Elsősorban a nagy szénhidrát (inulin) tartalmú gumói miatt.

Kísérleteink leginkább a levélfehérje koncentrátum (LFK) előállítására, annak értékelésére fókuszál, valamint a meghatározott technológiai folyamatok során keletkező melléktermékek esetleges hasznosítására.

A kísérletben extenzív szántóföldi körülmények között vizsgáltuk a csicsóka föld feletti leveles szár és gumó termőképességét. Ezzel együtt a zöld biofinomítás koncepcióját követve adott években több betakarítást is végeztünk. A kétéves kísérletünk alapján a vizsgált csicsóka fajtát/ökotípusok között, bizonyos mennyiségi paramétereket figyelembe véve, a '*Fuseau*', '*Kalevala*' és '*Alba*' fajták/ökotípusok bizonyultak ígéretesebbnek.

A nedves frakcionálás során a kísérletekben szereplő fajták/ökotípusok között eltérést nem tapasztalunk, a kontroll lucernához képest azonban voltak olyan fajták/ökotípusok melyek jobban teljesítettek a frakció kihozatalokat tekintve. A frakcionálást követően egy új fehérje hőkoagulálási módszert alkalmaztunk (mikrohullámú kezelés). Az alkalmazott fajták/ökotípusok között nem tapasztaltunk számottevő eltérést, azonban a kontrollhoz (lucerna) képest már igen.

A frakcionált zöld biomassza értékmérő paraméterei közül a fehérje teljes mennyisége és egyes aminosavak mennyisége alacsonyabb értéket mutatott a lucernával (mint a hazai klíma legnagyobb potenciállal bíró zöldfehérje növénye) összehasonlítva. Fitokémiai összetétele alapján azonban a frakcionált csicsóka értékes vegyületek tárháza. Vizsgálataink során voltak olyan fitokémiai vegyületek (pl. metoxi-hidroxiflavonokat, izorhamnetin és izokvercetin glükuronid-származékot) melyeket elsőként tudtunk kimutatni a csicsóka zöld biomasszából. Így, figyelembe véve, hogy a növény öntözetlen körülmények között is legalább kétszer

biztonságosan betakarítható, mindenképpen érdeklődésre adhat számot a zöld biofinomítás szempontjából. Azonban a csicsóka fajták és ökotípusok között ezen paraméterek esetében nem találtunk különbséget, melyet statisztikailag igazoltunk is függetlenül az adott évtől vagy a betakarítási időtől.

Vizsgáltuk továbbá a csicsóka frakciók beltartalmi paraméterei közül a fenolos komponenseket, valamint fotoszintetikus pigment tartalmukat is, melyekről köztudott egészségvédő hatásuk. Ezen paraméterek tekintetében sem találtunk eltérést az egyes csicsóka fajták/ökotípusok között.

9. SUMMARY

The potential of green biomass utilisation of seven different varieties/ecotypes of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) compared to an alfalfa (*Medicago sativa* L.) variety ('Hunor 40') was discussed in this thesis. Interest in Jerusalem artichoke has been repeatedly encouraged, both from a scientific and an economic point of view. The potential of biomass from Jerusalem artichoke plants has been recognised by researchers and farmers.

Today, the new wave of interest in Jerusalem artichoke is mainly linked to the concept of bio-refining. Bio-refining is a method based on an analogue process compared to petroleum refining, except that it is based on renewable biomass, which can be harvested several times a vegetative season, rather than fossil fuels. Jerusalem artichoke is proposed in the literature as a crop that can be fully integrated into this concept. First and foremost, because of its high special carbohydrate (*inulin*) content.

The experiments focused mainly on the production of leaf protein concentrate, its qualitative and quantitative evaluation, and the possible utilisation of by-products from the bio-refining process.

In the experiment, the productivity of above-ground leaf stalk and tubers of Jerusalem artichoke plants was investigated under extensive field conditions. In parallel, several harvests were carried out following the concept of green bio-refinery. Based on our two-year experiment, 'Fuseau', 'Kalevala' and 'Alba' varieties/ecotypes proved to be the most promising among the tested ones, considering certain quantitative parameters.

In the wet fractionation, no differences were observed between the varieties/ecotypes included in the experiment, but there were some varieties/ecotypes that performed better in terms of yield compared to the control alfalfa plants. After fractionation, a new protein thermocoagulation method was applied (microwave treatment). No significant differences were observed between the varieties/ecotypes used, but compared to the control, they were.

Among the parameters measured in the value of fractionated green biomass, the total protein and some specific amino acid quantification results showed lower values compared to alfalfa (as the green protein crop with the highest potential in Hungarian climate conditions). However, based on its phytochemical composition, fractionated Jerusalem artichoke plants are a valuable source of different compounds. Our studies revealed phytochemical compounds (e.g. methoxy-hydroxyflavones, isorhamnetin and isocvercetin glucuronide derivatives) that were the first to be detected in the green biomass of Jerusalem artichokes. Thus, considering that the plants can be safely harvested at least twice under non-irrigated conditions, it is certainly of

interest for green bio-refining. However, no differences in these parameters were found between varieties and ecotypes of Jerusalem artichoke, which were statistically verified regardless of the year or harvesting time.

Furthermore, we also investigated the phenolic components and photosynthetic pigment content of the Jerusalem artichoke biomass fractions, which are known to have health protective effects. No differences in these parameters were found between the different Jerusalem artichoke varieties/ecotypes.

10. IRODALOM JEGYZÉK

- Ajibola, O.O.: 1984. Physical, chemical and microbiological changes during green plant juice fermentation. *Food Chem.* 13, 181–192
- Ali, M. S., Elnaz, M., & Ladan, N.: 2016. Prebiotic effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) fructans on the growth performance of *Bifidobacterium bifidum* and *Escherichia coli*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 6(5), 385–389.
- Almodares, A.; Hadi, M.R.: 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *Afr. J. Agric. Res.* 2009, 4, 772–780.
- Anelli, G., Fiorentini, R., Massignan, L., Galoppini, C.: 1977. The poly-protein process: a new method for obtaining leaf protein concentrates. *J. Food Sci.* 42,1401–1403.
- Antanaitis, A., Lubyte, J., Antanaitis, S., Staugaitis, G., and Viskelis, P.: 2004. Selenium in some kinds of Lithuanian agricultural crops and medicinal herbs, *Sodinikyste ir Darzininkyste*, 23, 37–45.
- Antonkiewicz, J. and Jasiewicz, C.: 2003. Assessment of Jerusalem artichoke usability for phytoremediation of soils contaminated with Cd, Pb, Ni, Cu, and Zn, *Pol. Archiwum Ochrony Srodowiska*, 29, 81–87.
- Antonkiewicz, J., Jasiewicz, Cz., and Ryant, P.: 2004. The use of heavy metal accumulating plants for detoxication of chemically polluted soils, *Acta Univ. Agric. Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 52, 113–120.2004.
- Arlabosse, P., Blanc, M., Kerfai, S., Fernandez, A.: 2011. Production of green juice with an intensive thermo-mechanical fractionation process. Part I: effects of processing conditions on the dewatering kinetics. *Chem. Eng. J.* 168, 586–592.
- Bach, V., Jensen, S., Clausen, M.R., Bertram, H.C., Edelenbos, M.: 2013. Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Food Chem.* 141, 1445–1450.
- Bach, V.; Kidmose, U.; Kjeldsen Bjørn, G.; Edelenbos, M.: 2012. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Food Chem.* 133, 82–89.
- Bahr, J. T., Bourque, D. P., Smith, H. J.: 1977. Solubility properties of fraction I proteins of maize, cotton, spinach, and tobacco. *J. Agric. Food Chem.* 25, 783–789.
- Ballargié, E.: 1942. Le topinambur, ses usages multiples, sa culture (Monographie). Flammarion, Paris.

- Balogh L.: 2006. Napraforgófajok, In: Botta-Dukát, Z. és Mihály B. szerk., *Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények II.*, Budapest, 412 pp.
- Balogh L.: 2008. Sunflower species (*Helianthus* spp.) In book: *The most important invasive plants in Hungary* (pp.227–255) Chapter: 21 Publisher: Hungarian Academy of Sciences, Institute of Ecology and Botany, Vácrátót Editors: Zoltán Botta-Dukát, Lajos Balogh
- Bals, B. D., Dale, B. E., Balan, V.: 2012. Recovery of leaf protein for animal feed and high-value uses. In: Bergeron, C., Carrier, D.J., Ramaswamy, S. (Eds.), *Biorefinery Co-Products: Phytochemicals, Primary Metabolites and Value-Added Biomass Processing*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 179–197.
- Baraniak, B.: 1990. The effect of flocculant applied in the process of fractionating alfalfa juice on the chemical composition of the obtained protein concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.* 31, 305–311.
- Barcelos, C.A.; Maeda, R.N.; Maria, L.; Anna, M.S.; Pereira, N.: 2016. Biomass and Bioenergy Sweet sorghum as a whole-crop feedstock for ethanol production. *Biomass Bioenergy* 2016, 94, 46–56.
- Bärwald, G.: 1999. *Gesund abnehmen mit Topinambur*, TRIAS Verlag, Stuttgart.
- Betschart, A., Kinsella, J. E.: 1973. Extractability and solubility of leaf protein. *J. Agric. Food Chem.* 21, 60–65.
- Bischoff, T. L., Voit, C.: 1860. *Die Gesetze der Ernaehrung des Pflanzenfressers durch neue Untersuchungen festgestellt* (in German). Leipzig, Heidelberg.
- Bogucka, B.; Jankowski, K.: 2020. Jerusalem artichoke: Quality response to potassium fertilization and irrigation in Poland. *Agronomy* 10, 1518.
- Bogucka, B.; Pszczółkowska, A.; Okorski, A.; Jankowski, K.: 2021. The Effects of potassium fertilization and irrigation on the yield and health status of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Agronomy* 2021, 11, 234.
- Bornet, F. R. J.: 2001. Fructo-oligosaccharides and other fructans: chemistry, structure and nutritional effects, in *Advanced Dietary Fibre Technology*, McCleary, B.V. and Prosky, L., Eds., Blackwell Science, Oxford, pp. 480–493.
- Boswell: 1936. Studies of the culture and certain varieties of the Jerusalem artichoke. U.S. Dept. Agr., Techn. Bull. 514.
- Bozell, J.J.: 2008. Feedstocks for the future – biorefinery production of chemicals from renewable carbon. *CLEAN – Soil, Air, Water. Special Issue: Feedstocks for the Future: Renewables in Green Chemistry*, 36, 641–647.

- Brachet, A.; Christen, P.; Veuthey, J. L.: 2002. Focused microwave-assisted extraction of cocaine and benzoylecgonine from coca leaves. *Phytochem. Anal.*, 13 (3), pp. 162-169
- Bravo, L.: 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance *Nutr. Rev.*, 56. 317-333. DOI: 10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x
- Bray, W.J., Humphries, C.: 1978. Solvent fractionation of leaf juice to prepare green and white protein products. *J. Sci. Food Agric.* 29, 839–846.
- Byers, M., Sturrock, J. W.: 1965. The yields of leaf protein extracted by large-scale processing of various crops. *J. Sci. Food Agric.* 16, 341–355.
- Cabello-Hurtado, F.; Durst, F.; Jorin, J. V.; Werck-Reichhard, D.: 1998. Coumarins in *Helianthus tuberosus*: Characterization, induced accumulation and biosynthesis. *Phytochemistry* 49, 1029–1036.
- Cammack, R.: 2009. "Newsletter 2009". Biochemical Nomenclature Committee of IUPAC and NC-IUBMB. Pyrrolysine. Archived from the original Rother, Michael; Krzycki, Joseph A. (2010-01-01). "Selenocysteine, Pyrrolysine, and the Unique Energy Metabolism of Methanogenic Archaea". *Archaea*. 2010: 1–14. doi:10.1155/2010/453642
- Caplin, S. M.: 1963. Effect of initial size on growth of tissue cultures, *Am. J. Bot.*, 50, 91–94.
- Cassells, A. C. and Collins, I. M.: 2000. Characterization and comparison of agars and other gelling agents for plant tissue culture use, *Acta Hort.*, 530, 203–210.
- Castenada C., Birch C. J., Dryden G.: 2003. Preparation, Maintenance and Utilisation of Maize Silage: A Review. in: Birch C. J., Wilson S. R., Versatile Maize -- Golden Opportunities - 5th Australian Maize Conference Proceedings, City Golf Club, Toowoomba, (67-75). 18 - 20 February, 2003
- Chemat, F.; Rombaut, N.; Meullemiestre, A.; Turk, M.; Perino, S.; Fabiano-Tixier, A.-S.; Abert-Vian, M.: 2017. Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 41, 357–377.
- Chen, F.; Long, X.; Liu, Z.; Shao, H. and Ling Liu, L.: 2014. Analysis of Phenolic Acids of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Responding to Salt-Stress by Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry. *The Scientific World Journal*. doi:10.1155/2014/568043.
- Chen, Q.; Zhang, M.-D.; Shen, S.-H.: 2011. Comparison of protein extraction methods suitable for proteomics analysis in seedling roots of Jerusalem artichoke under salt (NaCl) stress. *Afr. J. Biotechnol.* 10, 7650–7657.

- Chernenko, T.V.; Glushenkova, A.I.; Rakhimov, D.A.: 2008. Lipids of *Helianthus tuberosus* tubers. *Chem. Nat. Compd.* 44, 1–2.
- Cherubini, F.: 2010. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51, 1412–1421.
- Chiesa, S. and Gnansounou, E.: 2011. Protein extraction from biomass in a bioethanol refinery—Possible dietary applications: Use as animal feed and potential extension to human consumption. *Bioresource Technology* 102, 427–436.
- Cie'slik, E.: 1998a. Amino acid content of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers before and after storage, in *Proceedings of the 7th Seminar on Inulin*, Leuven, Belgium, pp. 86–87.
- Cies'lik, E.: 1998b. Mineral content of Jerusalem artichoke new tubers, *Zesk. Nauk. AR Krak.*, 342, 10, 23–30.
- Clark, J. and Deswarte, F.: 2015. The biorefinery concept: An integrated approach. *Introduction to Chemicals from Biomass*, Second Edition. Edited by James Clark and Fabien Deswarte. 2015 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2015 by John Wiley & Sons, Ltd.
- Colas, D., Doumeng, C., Pontalier, P.Y., Rigal, L.: 2013a. Green crop fractionation by twin-screw extrusion: influence of the screw profile on alfalfa (*Medicago sativa*) dehydration and protein extraction. *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 72, 1–9.
- Colas, D., Doumeng, C., Pontalier, P.Y., Rigal, L.: 2013b. Twin-screw extrusion technology, an original solution for the extraction of proteins from alfalfa (*Medicago sativa*). *Food Bioprod. Process.* 91, 175–182.
- Coldebella, P. F., Gomes, S. D., Evarini, J. A., Cereda, M. P., Coelho, S. R. M., Coldebella, A.: 2013. Evaluation of protein extraction methods to obtain protein concentrate from cassava leaf. *Eng. Agricola.* 33, 1223–1233.
- Crawley: 1997. *Plant ecology*. Second edition. Blackwell Science Ltd. Oxford.
- Curt, M.D.; Aguado, P.; Sanz, M.; Sánchez, G.; Fernández, J.: 2006. Clone precocity and the use of *Helianthus tuberosus* L. stems for bioethanol. *Ind. Crops Prod.* 24, 314–320.
- Csapó J., Vargáné Visi É.: 2011. *Élelmiszerkémia*. Kaposvári Egyetem, Kaposvár
- Csapó, J.; Győri, Z.; Csapónék Kiss, Zs.; Borosné Győri, A.: 2008. Növényi eredetű élelmiszer- és takarmány-apalanyagok aminosav-összetételének alakulása a nyersfehérje-tartalom függvényében. *Acta Agraria Kaposváriensis* Vol 12 No 3, 73-82. University of Kaposvár, Faculty of Animal Science, Kaposvár

- Damborg, V. K., Stødkilde, L., Jensen, S. K., Weisbjerg, M. R.: 2018. Protein value and degradation characteristics of pulp fibre fractions from screw pressed grass, clover, and Lucerne. *Anim. Feed Sci. Tech.* 244, 93–103.
- de Fremery, D., Miller, R.E., Edwards, R.H., Knuckles, B.E., Bickoff, E.M., Kohler, G.O.: 1973. Centrifugal separation of white and green protein fractions from alfalfa juice following controlled heating. *J. Agric. Food Chem.* 21, 886–889.
- de Leenheer, L., van Bekkum, H., Röper, H., and Voragen, A. L .J., Eds., Weinheim: 1996. Production and use of inulin: industrial reality with a promising future, in *Carbohydrates as Organic Raw Materials III*, Cambridge, U.K., pp. 67–92.
- Delazar, A.; Nahar, L.; Hamedeyazdan, S.; Sarker, S.D. 2012.: Microwave-assisted extraction in natural products isolation. *Natural Products Isolation*, Springer, pp. 89-115
- Derbyshire E., Wright D. J., Boulter D.: 1976. Legumin and vicilin, storage proteins of legume seeds. *Phytochemistry*, 15: 3-24.
- Donausoja: 2017. <http://www.donausoja.org>
- Dublecz, K.: 2011. Takarmányozástan. 91pp.
- Duma, M.; Alsina, I.; Zeipina, S.; Lepse, L.; Dubova, L.: 2014. Leaf vegetables as source of phytochemicals. Conference: *FOODBALT 2014 : 9th Baltic conference on food science and technology "Food for consumer well-being"*
- Edwards, R. H., Miller, R. E., de Fremery, D., Knuckles, B. E., Bickoff, E. M., Kohler, G. O.: 1975. Pilot plant production of an edible white fraction leaf protein concentrate from alfalfa. *J. Agric. Food Chem.* 23, 620–626.
- Eihe, E. P.: 1976. Problems of the chemistry and biochemistry of the Jerusalem artichoke, *Lativijas PSR Zinatmi Akademijas Vestis*, 344, 77.
- Ersahince, A.C.; Kara, K.: 2017. Nutrient composition and in vitro digestion parameters of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) herbage at different maturity stages in horse and ruminant. *J. Anim. Feed Sci.* 26, 213–225.
- FAO: 2004. Protein sources for the animal feed industry. Expert consultation and workshop, Bangkok, 29 April - 3 May 2002, FAO, Rome. 2004. ISBN 92-5-105012-0
- Fári M. és Popp J.: 2016. Ereky Károly kampánya a takarmányozás és a humán élelmezés javítására In: *Biotechnológia – Anno 1920-1938 és ma Ereky Károly programja a fehérjeprobléma megoldásáról és napjaink feladatai.* p. 46-50. Szaktudás Kiadóház, Budapest. ISBN 978-615-5224-67-6

- Fári, M.*: 2011. A zöld-biomassza értéknövelő hasznosítási lehetősége: a levélfehérje előállítás (Gondolatok a levélfehérje előállításról). MAG Arany Évkönyv. p. 74-78. ISSN 1588-4864.
- Fati, A.; Tari, D.*: 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. Int. Jour. of Life Sci. 10 (1):1-6. ISSN:2091-0525
- Ferruzzia, M. and Blakeslee, J.*: 2007. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. Nutrition Research 27, 1 – 12
- Fineli*: 2004. Food Composition Database, National Public Health Institute of Finland, Helsinki
- Fiorentini, R., Galoppini, C.*: 1983. The proteins from leaves. Plant Foods Hum. Nutr. 32, 335–350.
- Fog, E.; Ytting, N.; Lübeck, M.*: 2017. Biorefining of proteins from grass as an innovative solution to a truly sustainable organic production. Scientific Conference “Innovative Research for Organic Agriculture 3.0” 19th Organic World Congress, New Delhi, India, November 9-11, 2017 Organized by ISO FAR, NCOF and TIPI
- Földi Zs.*: 2013. A szójatermesztés értékelése és fejlesztési lehetőségei a Kutas 95' Zrt.-nél. Debreceni Egyetem elektronikus Archívum, Hallgatói szakdolgozatok
- Fuller, R.*: 1997. Introduction, in *Probiotics 2: Applications and Practical Aspects*, Fuller, R., Ed., Chapman & Hall, London, pp. 1–9.
- Gao, K.; Zhu, T.; Wang, Q.*: 2016. Nitrogen fertilization, irrigation, and harvest times affect biomass and energy value of *Helianthus tuberosus* L. J. Plant Nutr., 39, 1906–1914
- Garcia-Launay, F., van der Werf, H., Nguyen, T. T. H., Le Tutour, L., Dourmad, J. Y.*: 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using life cycle assessment. Livest Sci 161:158–175. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.027>
- Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G., Goli, S. A. H.*: 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. Appl. Biochem. Biotechnol. 178 (4), 796–809.
- Gibson, G.R. and Roberfroid, M.B.*: 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics, *J. Nutr.*, 125, 1401–1412.
- Gibson, G.R. and Wang, X.*: 1994. Regulatory effects of bifidobacteria on other colonic bacteria, *J. Appl. Bacteriol.*, 77, 412–420.

- Gibson, G.R., Probert, H.M., Van Loo, J., Rastall, R.A., and Roberfroid, M.B.: 2005. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics, *Nutr. Res. Rev.*, 17, 259–275.
- Goldenberg, J.; Guardabassi, P.: 2010. The potential for first-generation ethanol production from sugarcane. *BiofuelsBioprod. Biorefining* 4, 17–24. [CrossRef]
- Gunnarsson, I. B., Svensson, S. E., Johansson, E., Karakashev, D., Angelidaki, I.: 2014. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. *Industrial Crops and Products*, 56, 231-240.
- Hahn, T.; Lang, S.; Ulber, R.; Muffler, K.: 2012. Novel procedures for the extraction of fucoidan from brown algae. *Process Biochem.* 47, 1691–1698.
- Halasz, L., Povoden, G. and Narodoslawsky, M.: 2005. Sustainable process synthesis for renewable resources. *Resources, Conservation and Recycling*, 44, 293–307.
- Harborne, J. B.: 1986. Nature, distribution and function of plant flavonoids *Prog. Clin. Biol. Res.*, 213. 15-24.
- Harold, H.: 1951. "Origin of the Word 'Protein.'". *Nature*. 168 (4267): 244. Bibcode:1951Natur.168..244H. doi:10.1038/168244a0. PMID 14875059. S2CID 4271525
- Hay and Offer: 1992. *Helianthus tuberosus* as an alternative forage crop for cool maritime regions — a preliminary study of the yield and nutritional quality of shoot tissues from perennial stands, *J. Sci. Food Agric.*, 60, 213–221, 1992.
- Helmi, Z.; Azzam, A.K.M.; Tsymbalista, Y.; Ghazleh, A.R.; Shaibah, H.; Aboul-Enein, H.: 2014. Analysis of essential oil in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves and tubers by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Adv. Pharm. Bull.* 2014, 4, 521–526.
- Hernandez, A., Martinez, C., Gonzalez, G.: 1988. Effects of freezing and pH of alfalfa leaf juice upon the recovery of chloroplastic protein concentrates. *J. Agric. Food Chem.* 46, 139–143.
- Herrmann, K.: 1976. Flavonols and flavones in food plants: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 11(5), 433-448.
- Ho, L.; Ferruzzi, M.G.; Janle, E.M.; Wang, J.; Gong, B.; Chen, T.Y.; Lobo, J.; Cooper, B.; Wu, Q.L.; Talcott, S.T.: 2013. Identification of brain-targeted bioactive dietary quercetin-3-O-glucuronide as a novel intervention for Alzheimer's disease. *FASEB J.* 27, 769–781.
- I'Só, I.: 1955. A csicsóka termesztése és nemesítése, Akadémia Kiadó, Budapest, 216 pp.

- I1:<https://web.archive.org/web/20170404225132/https://www.britannica.com/science/protein/Conformation-of-proteins-in-interfaces#ref593795> 2021.05.25.
- Islam, M.S.; Iwasaki, A.; Suenaga, K.; Kato-Noguchi, H.: 2017. Isolation and identification of two potential phytotoxic substances from the aquatic fern *Marsilea crenata*. *J. Plant Biol.* 60, 75–81
- Izsák, Z.: 2005. Gyökér- és gumós növények. In: *Növénytermesztástan 2.* Szerk.: Antal József. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 595. ISBN 963 286 206 9
- Izsáki, Z., Kádi, G. N.: 2013. Biomass accumulation and nutrient uptake of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) *American Journal of Plant Science* 4, 1629-1640 <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.48197>
- Jasiewicz, C. and Antonkiewicz, J.: 2002. Heavy metal extraction by Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) from soils contaminated with heavy metals, *Pol. Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 9, 379–386.
- Jiang, Y., Watkins, E., Liu, S., Yu, X., Luo, N.: 2010. Antioxidative responses and candidate gene expression in prairie Junegrass under drought stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 135 (4), 303–309.
- Johansson, E.; Prade, T.; Angelidaki, I.; Svensson, S.-E.; Newson, W.R.; Gunnarsson, I.B.; Hovmalm, H.P.: 2015. Economically Viable Components from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a Biorefinery Concept. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 8997-9016. <https://doi.org/10.3390/ijms16048997>
- Kadam S.U.; Tiwari B.K.; O'Donnell C.P.: 2013. Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae, *J. Agric. Food Chem.*, 61, 4667–4675.
- Kallós, N.: 1927. Csicsóka termesztése futóhomokon, *Köztelek*, 102
- Kamar, M.U. and Sastry, K. S. K.: 1974. Effect of exogenous application of growth regulators on germinating ability of developing sunflower seeds, *Indian J. Exp. Biol.*, 12, 543–545.
- Kamm, B., Schönicke, P., Kamm, M.: 2009. Biorefining of Green Biomass - Technical and Energetic Considerations. *CLEAN - Soil, Air, Water* 37, 27–30. [doi:10.1002/clen.200800122](https://doi.org/10.1002/clen.200800122)
- Kamm, B.; Schönicke, P.; Hille C.: 2016. Green biorefinery – Industrial implementation. *Food Chemistry*. 197. p.1341-1345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.088>
- Kammes, K.L., Bals, B.D., Dale, B.E., Allen, M.S.: 2011. Grass leaf protein, a coproduct of cellulosic ethanol production, as a source of protein for livestock. *Anim. Feed Sci. Technol.* 164, 79–88.

- Karau, A. and Grayson, I.: 2014. Amino acids in human and animal nutrition. Adv. Biochem. Eng. Biotexhnol. DOI: 10.1007/10_2014_269
- Kays, S. J., Nottingham, S. F.: 2008. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke *Helianthus tuberosus* L. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA. FL. 498 pp.
- Khalil, S. R. A.; Abdelhafez, A. A.; Amer, E. A. M.: 2015. Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. Ann. Agric. Sci. 60, 317–324.
- Kiehn and Chubey: 1993. Variability in agronomic and compositional characteristics of Jerusalem artichoke. In *Inulin and Inulin-containing Crops*, Fuchs, A., Ed., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1–9.
- Kiel, P., Andersen, M., Lubeck, M.: 2015. A Method of Providing Functional Proteins From a Plant Material. PCT DK2015 050185. WO2015197078.
- Király: 2009. Új magyar fõvészkönyv Magyarország hajtásos növényei, Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, 616 pp.
- Kisbenedek, A és Szabó, Z.: 2015. Élelmiszertudományi Ismeretek. Medicina Könyvkiadó Zrt. Budapest, 2015. pp.347
- Knuckles, B.E., Bickoff, E.M., Kohler, G.O.: 1972. Pro-Xan process: methods for increasing protein recovery from alfalfa. J. Agric. Food Chem. 20, 1055–1057.
- Knuckles, B.E., Eards, R.H., Kohler, G., Whitney, L.F.: 1980. Flocculants in the separation of green and soluble white protein fractions from alfalfa. J. Agric. Food Chem. 28, 32–36.
- Končenková: 1998. Štruktúra veľkosti podzemkových hl'úz v inváznych populáciach *Helianthus tuberosus* L. In: Elias P. (ed.): Plant population biology. V. Sekos, Bratislava-Nitra, pp. 109-116.
- Konvalinková, P.: 2003. Generative and vegetative reproduction of *Helianthus tuberosus*, an invasive plant in central Europe, In *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions*, Child, L.E., Brock, J.H., Brundu, G., Prach, K., Pyšek, P., Wade, P.M., and Williamson, M., Eds., Backhuys, Leiden, pp. 289–299.
- Korovkin, O.A.: 1985. Development, rhythm and morphological index for *Helianthus tuberosus* L. for various planting densities, *Izv. Timiryazersk. S-Kh. Akad.*, 2, 29–35.
- Kosaric, N.; Cosentino, G. P.; Wiezorek, A.; Duvnjak, Z.: 1983. The Jerusalem artichoke as an Agricultural Crop, *Bimass* 5:1-36.

- Kospell D.A., Kospell D.E. and Curran-Celentano J.: 2005. Carotenoid and chlorophyll pigment in sweet basil grown in the field and greenhouse. *Hort Science*, 40 (5), 1230-1233.
- Kratchanova, M.; Pavlova, E.; Panchev, I.: 2004. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydr. Polym.*, 56 (2), pp. 181-185
- Krau, A. and Grayson, I.: 2014. *Amino Acids in Human and Animal Nutrition*. Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. DOI:10.1007/10_2014_269. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kromus, S., Wachter, B., Koschuh, W., Mandl, M., Krotscheck, C., Narodoslawsky, M.: 2004. The Green Biorefinery Austria – Development of an Integrated System for Green Biomass Utilization. *Chem. Biochem. Eng. Q.* 18, 7–12.
- KSH: 2019. Statisztikai tükör. Fontosabb növények vetésterülete, 2019. június 1.
- KSH: 2022. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0083.html
- la Cour, R., Schjoerring, J.K., Jørgensen, H.: 2019. Enhancing protein recovery in green biorefineries by liginosulfonate-assisted precipitation. *Front. Sustain. Food Syst.* 3.
- Lai, C.S.; Wu, J.C.; Ho, C.T.; Pan, M.H.: 2015. Disease chemopreventive effects and molecular mechanisms of hydroxylated polymethoxyflavones. *BioFactors*, 41, 301–313.
- Lamsal, B.P., Koegel, R.G., Gunasekaran, S.: 2007. Some physicochemical and functional properties of alfalfa soluble leaf proteins. *LWT - Food Sci. Technol.* 40, 1520–1526.
- Lang G.A., Early J.D., Martin G.C., Darnell R.L.: 1987. Endo-,para- and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *Hort Sci.* 22: 371-377.
- Lapin, M. M.: 1947. Растениеводство. Сельзогиз. Москва.
- Lazar, M.E., Spencer, R.R., Knuckles, B.E., Bickoff, E.M.: 1971. Pro-Xan process. Pilot plant for separation of heat-precipitated leaf protein from residual alfalfa Juice. *J. Agric. Food Chem.* 19, 944–946.
- Liang, N.; Kitts, D.D.: 2016. Role of chlorogenic acids in controlling oxidative and inflammatory stress conditions. *Nutrients*, 8, 16.
- Liava, V.; Karkanis, A.; Danalatos, N.; Tsiropoulos, N.: 2021. Cultivation Practices, Adaptability and Phytochemical Composition of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Weed with Economic Value. *Agronomy*, 11, 914. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050914>

- Lichtenthaler, H.K.*: 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Liu, F., Ma, C., McClements, D. J., & Gao, Y.*: 2017. A comparative study of covalent and non-covalent interactions between zein and polyphenols in ethanol-water solution. *Food Hydrocolloids*, 63, 625–634.
- Liu, Z.; Steinberger, Y.; Chen, X.; Wang, J.; Xie, G.*: 2015. Chemical composition and potential ethanol yield of Jerusalem artichoke in a semi-arid region of China. *Ital. J. Agron.* 10, 34–43.
- Liu, Z.X., Han, L.P., Yosef, S., Xie, G.H.*: 2011. Genetic variation and yield performance of Jerusalem artichoke germplasm collected in China. *Agricultural Sciences in China*, 10, 668-678.
- Mandl, M.G.*: 2010. Status of green biorefining in Europe. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 4, 268–274. doi:10.1002/bbb.219
- Marris, E.*: 2006. Drink the best and drive the rest. *Nature*, 444, 670–672.
- Matías, J.; González, J.; Cabanillas, J.; Royano, L.*: 2013: Influence of NPK fertilisation and harvest date on agronomic performance of Jerusalem artichoke crop in the Guadiana Basin (Southwestern Spain). *Ind. Crops Prod.*, 48, 191–197.
- Mattila, P., Hellström, J.*: 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J. Food Comp. Anal.* 20, 152–160.
- McDonald P.*: 1966. *Animal nutrition*. Pearson, London
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y.*: 2014. Water footprint benchmarks for crop production: a first global assessment. *Ecol. Indic.* 46, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>.
- Memon, A. A., Memon, N., & Bhanger, M. I.*: 2010. Micelle-mediated extraction of chlorogenic acid from *Morus laevigata* leaves. *Separation and Purification Technology*, 76(2), 179–183.
- Mendoza, T.C.*: 2008. Agronomic features, ethanol yields & resource use of four feedstocks for ethanol production in the Philippines. *Phillipine J. Crop Sci.* 33, 21–36.
- Merodio, C., Martin, M., Sabater, B.*: 1983. Improved separation of green and soluble leaf proteins by pH shift. *J. Agric. Food Chem.* 31, 957–959.
- Mersereau, J.E.; Levy, N.; Staub, R.E.; Baggett, S.; Zogovic, T.; Chow, S.; Ricke, W.A.; Tagliaferri, M.; Cohen, I.; Bjeldanes, L.F.*: 2008. Liquiritigenin is a plant-derived highly selective estrogen receptor beta agonist. *Mol. Cell. Endocrinol.* 283, 49–57.

- Miller, E. L.: 2004. Protein nutrition requirements of farmed livestock and dietary subbly. In Protein sources for the animal feed industry. ISBN 92-5-105012-0
- Miller, R.E., de Fremery, D., Bickoff, E.M., Kohler, G.O.: 1975. Soluble protein concentrate from alfalfa by low-temperature acid precipitation. *J. Agric. Food Chem.* 23, 1177–1179.
- Minocha, S.C. and Halperin, W.: 1974. Hormones and metabolites which control tracheid differentiation, with or without concomitant effects on growth, in cultured tuber tissue of *Helianthus tuberosus* L., *Planta*, 116, 319–331.
- Mitsuoka, T., Hidaka, H., and Eida, T.: 1987. Effect of fructooligosaccharides on intestinal microflora, *Die Nahrung*, 31, 426–436.
- Morrenhof, H. and Bus, C.B.: 1990. Aardper, een potentieel nieuw gewas-teeltonderzoek 1986–1989, in *Verslag 99, Research Station for Arable Farming and Field Production of Vegetable (PAGV)*, Lelystad, p. 66.
- Morrison, J.E., Pirie, N.W.: 1961. The large-scale production of protein from leaf extracts. *J. Sci. Food Agric.* 12, 1–5.
- Murata, M.; Nakai, Y.; Kawazu, K.; Ishizaka, M.; Kajiwarra, H.; Abe, H.; Takeuchi, K.; Ichiro, M.; Mochizuki, A.; Seo, S.: 2019. Loliolide, a carotenoid metabolite, is a potential endogenous inducer of herbivore resistance. *Plant Physiol.* 179, 1822–1833.
- Nasseri, A.T., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M.H., Ghasemi, Y.: 2011. Single cell protein: production and process. *Am. J. Food Technol.* 6, 103–116.
- Naveed, M; Hejazi, V; Abbas, M; Kamboh, AA; Khan, GJ; Shumzaid, M; Ahmad, F; Babazadeh, D; FangFang, X; Modarresi-Ghazani, F; WenHua, L; XiaoHui, Z: 2018. Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. **97**: 67–74. doi:10.1016/j.biopha.2017.10.064. PMID 29080460.
- Nkhili, E.; Tomao, V.; El Hajji, H.; El Boustani, E. S.; Chemat, F.; Dangles, O.: 2009. Microwave-assisted water extraction of green tea polyphenols. *Phytochem. Anal.*, 20 (5), pp. 408-415
- Nouraei, S., Rahimmalek, M., Saeidi, G.: 2018. Variation in polyphenolic composition, antioxidants and physiological characteristics of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* Hayek L.) as affected by drought stress. *Sci. Hortic.* 233, 378–385.
- Nozière, P.; Graulet, B.; Lucasa, A; Martina, B.; Grolier, P.; Doreau, M: 2006. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 131 Is. 3-4, Pages 418-450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.018>

- Nyitrai L. és Pál G.: 2013. A biokémia és molekuláris biológia alapjai. Eötvös Lóránt Tudományegyetem. Budapest. 543 pp.
- O’Keeffe, S., Schulte, R.P.O., Lalor, S.T.J., O’Kiely, P., Struik, P.C.: 2011. Green biorefinery (GBR) scenarios for a two-cut silage system: Investigating the impacts of sward botanical composition, N fertilisation rate and biomass availability on GBR profitability and price offered to farmers. *Biomass and Bioenergy* 35, 4699–4711.
- Ojha, H., Mishra, K., Hassan, M. I., & Chaudhury, N. K.: 2012. Spectroscopic and isothermal titration calorimetry studies of binding interaction of ferulic acid with bovine serum albumin *Thermochimica Acta*, 548, 56–64.
- Oku, T., Tokunaga, T., and Hosoya, N.: 1984. Non-digestibility of a new sweetener “Neosugar” in the rat, *J. Nutr.*, 114, 1574–1581.
- Oleszek, M.; Kowalska, I.; Oleszek, W.: 2019. Phytochemicals in bioenergy crops. *Phytochem. Rev.* 18, 893–927
- Ozdal, T., Capanoglu, E., & Altay, F.: 2013. A review on protein–phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*, 51(2), 954–970.
- Pan L.; Sinden M. R.; Kennedy, A. H.: 2009. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke), *Phytochemistry Letters*, vol. 2, no. 1, pp. 15–18.
- Papadopoulou, A. and Frazier, R. A.: 2004. Characterization of protein-polyphenol interactions. *Trends in Food Science&Technology* (15) 186-190pp.
- Pas’ko: 1973. [Basic morphological features for distinguishing varieties of Jerusalem artichoke], *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii.*, 50(2), 91–101.
- Pengue W. A.: 2005. Transgenic Crops in Argentina: The Ecological and Social Debt. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25: 314-322.
- Pethe, F.: 1805. Pallérozott mezei gazdaság, Sopron.
- Philips, R., Arnott, S.M., and Kaplan, S.E.: 1981. Antibiotics in plant tissue culture: rifampicin effectively controls bacterial contamination without affecting the growth of short-term explants of *Helianthus tuberosus*, *Plant Sci. Lett.*, 21, 235–240.
- Pirie, N.W.: 1971. Leaf protein: its agronomy, preparation, quality and use. IBP Handbook no. 20, International Biological Programme, London, UK.
- Pirie, N.W.: 1987. An economical unit for pressing juice from fibrous pulps. *J. Agric. Eng. Res.* 38, 217–222.
- Popp J., Fári M., Antal G., Harangi-Rákos M.: 2015. A fehérjetakarmány-piac kilátásai az EU-ban, különös tekintettel Magyarország fehérjeigényének kielégítésére. *Gazdálkodás: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 59: 401-421.

- Puangbut, D.; Jogloy, S.; Vorasoot, N.; Patanothai, A.: 2015. Responses of growth, physiological traits and tuber yield in *Helianthus tuberosus* to seasonal variations under tropical area. *Sci. Hortic.* 195, 108–115.
- Pugliesi, C., Megale, P., Cecconi, F., and Baroncelli, S.: 1993. Organogenesis and embryogenesis in *Helianthus tuberosus* and in interspecific hybrid *Helianthus annuus* × *Helianthus tuberosus*, *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 33, 187–193.
- R. F. A.: 2019. Renewable Fuel Association AnnualWorld Fuel Ethanol Production. Available online: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/> (accessed on 24 July 2019).
- Radulovic', N.; DordŽevic', M.: 2014. Chemical composition of the tuber essential oil from *Helianthus tuberosus* L. (Asteraceae). *Chem. Biodivers.* 11, 427–437.
- Radwan, A., Kleinwächter, M., Selmar, D.: 2017. Impact of drought stress on specialised metabolism: biosynthesis and the expression of monoterpene synthases in sage (*Salvia officinalis*). *Phytochemistry* 141, 20–26.
- Rakhimov, D.A., Arifkhodzhaev, A.O., Mezhlumyan, L.G., Yuldashev, O.M., Rozikova, U.A., Aikhodzhaeva, N., and Vakil, M.M.: 2003. Carbohydrate and proteins from *Helianthus tuberosus*, *Chemistry of Natural Compounds*, 39, 312–313.
- Rao, A.V. and Honglei, S.: 2002. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. *Nutr. Res.*, 22, 1125–1131.
- Rao, A.V. and Rao, L.G.: 2007. Carotenoids in human health. *Pharmacological Research* 55, 207–216.
- Rathmann, R.; Szklo, A.; Schaeffer, R.: 2010. Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate. *Renew. Energy*, 35, 14–22.
- Raven, J.A.: 2013. Rubisco: Still the most abundant protein of Earth? *New Phytol.* 198, 1–3.
- Rawate, P.D.; Hill, R.M.: 1985. Extraction of a high-protein isolate from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tops and evaluation of its nutrition potential. *J. Agric. Food Chem.* 33, 29–31.
- Realf, M.J. and Abbas, C.: 2004. Industrial symbiosis – refining the biorefinery. *Journal of Industrial Ecology*, 7, 5–9.
- Reicosky D. C , Archer D.W.: 2007. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 94: 109–121.

- Rengasamy, K. R., Khan, H., Gowrishankar, S., Lagoa, R. J., Mahomoodally, F. M., Khan, Z., Pandian, S. K.: 2019. The role of flavonoids in autoimmune diseases: Therapeutic updates. *Pharmacology & therapeutics*, 194, 107-131.
- Roche, T.D. and Cassells, A.C.: 1996. Gaseous and media-related factors influencing *in vitro* morphogenesis of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) ‘Nahodka’ node cultures, *Acta Hort.*, 440, 588–593.
- Rossini, F.; Provenzano, M.E.; Kuzmanović, L.; Ruggeri, R.: 2019. Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) A Versatile and Sustainable Crop for Renewable Energy Production in Europe. *Agronomy* 9, 528. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090528>
- Rumessen, J.J., Bode, S., Hamberg, O., and Gudmand-Høyer, E.: 1990. Fructans of Jerusalem artichokes: intestinal transport, absorption, fermentation, and influence on blood glucose, insulin and C-peptide responses in healthy subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, 52, 675–681.
- Santamaria-Fernandez, M., Molinuevo-Salces, B., Kiel, P., Steinfeldt, S., Uellendahl, H., Lubeck, M.: 2017. Lactic acid fermentation for refining proteins from green crops and obtaining a high quality feed product for monogastric animals. *J. Clean. Prod.* 162, 875–881.
- Santamaria-Fernandez, M.: 2015. Protein Recovery and Biogas Production From Organically Grown Biomass: a Green Biorefinery Concept. Unpublished Master’s Thesis. Aarhus University, Aarhus, Denmark.
- Schittenhelm, S.: 1999. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke, and sugarbeet in stress and nonstress environments. *Crop Sci.*, 39, 1815–1823.
- Schmidt, J.: 2015. Takarmányozás. Mezőgazda Kiadó. 452pp. ISBN: 9789632867151
- Seiler, G.J.: 1988. Nitrogen and mineral content of selected wild and cultivated genotypes of Jerusalem artichoke. *Agron. J.* 80, 681–687.
- Shadidi, F. and Yeo, J. D.: 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*. 2016 Sep; 21(9): 1216. Published online 2016 Sep 10. doi: 10.3390/molecules21091216 PMCID: PMC6274541 PMID: 27626402
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Lu, Z.H., Kang, C.M.: 2008. Primary antioxidant free radical. Scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. *Int. J. Biol. Sci.* 4,8–14.
- Sharif, M.; Zafar, M. H.; Aqip, A. I.; Saeed, M.; Farag, M. R.; Alagawany, M.: 2021. Single cell protein: Sources, mechanism of production nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture* 531 735885

- Shewry P. R.: 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science* <http://www.sciencedirect.com/science/journal/07335210/46/3> 46: 239–250.
- Showkat, M.M.; Falck-Ytter, A.B.; Strætkvern, K.O.: 2019. Phenolic Acids in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant Organ Dependent Antioxidant Activity and Optimized Extraction from Leaves. *Molecules* 24, 3296.
- Singleton, V.L. and Rossi, J. A.: 1965. Clorometry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* Vol. 16:144-158.
- Somda, Z.C., McLaurin, W.J., and S.J. Kays, S.J.: 1999. Jerusalem artichoke growth, development, and field storage. II. Carbon and nutrient element allocation and redistribution, *J. Plant Nutr.*, 22, 1315–1334.
- Spencer, R.R., Mottola, A.C., Bickoff, E.M., Clark, J.P., Kohler, G.O.: 1971. The PRO-XAN process: the design and evaluation of a pilot plant system for the coagulation and separation of the leaf protein from alfalfa Juice. *J. Agric. Food Chem.* 19, 504–507.
- Spitters, C.J.T. and Morrenhof, H.K.: 1987. *Growth Analysis of Cultivars of Helianthus tuberosus L.*, EEC Contract Report EN3B-0040-NL
- Srinivasan, S.: 2009. The food v. fuel debate: A nuanced view of incentive structure. *Renew. Energy*, 34, 950–954.
- Star-COLIBRI: 2011. Joint European Biorefinery Vision for 2030. Available at <http://www.star-colibri.eu/files/files/vision-web.pdf>
- Starovoytov, V., Starovoytova, O., Aldoshin, N., & Manohina, A.: 2017. Jerusalem artichoke as a means of fields conservation. *Acta technologica agriculturae*, 20(1), 7-10.
- Stauffer, M.D., Chubey, B.B., and Dorrell, D.G.: 1981. Growth, yield and compositional characteristics of Jerusalem artichoke as they relate to biomass production, in *Fuels from Biomass and Wastes*, Klass, D.L. and Emert, G.H., Eds., Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, pp. 79–97.
- Stolzenburg, K.: 2004. Rohproteingehalt und Aminosäuremuster von Topinambur, LAP Forchheim, Germany, <http://www.landwirtschaft-bw.info>.
- Sumner J. B.: 1926. The isolation and crystallization of theenzymeurease. Preliminarypaper. *Journal of Biological Chemistry*. 69 (2): 435–41. doi:10.1016/S0021-9258(18)84560-4. Archived
- Swanton: 1986. Ecological aspects of growth and development of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Ph.D. thesis, Univ. Western Ontario, London, Ontario, 181p.
- Szüts, M.: 1883. A mezei gazdaság alapvonalai, Debrecen.

- Takkellapati S., Li T., Gonzalez M. A.: 2018. An Overview of Biorefinery Derived Platform Chemicals from a Cellulose and Hemicellulose Biorefinery. *Clean Technol Environ Policy*. 20(7):1615-1630. doi:10.1007/s10098-018-1568-5
- Tawashi, R, Cousineau, M. and Sharkawi, M.: 1980. Effect of sodium copper chlorophyllin on the formation of calcium oxalate crystals in rat kidney. *Invest Urol* 18, 90 – 2
- Taylor, G.: 2008. Biofuels and the biorefinery concept. *Energy Policy*, 36, 4406–4409.
- Telek, L.: 1983. Leaf protein extraction from tropical plants. *Plants: The Potentials for Extracting Protein, Medicines, and Other Useful Chemicals—Workshop Proceedings*
- Termansen, M., Gylling, M., Jørgensen, U., Hermansen, J., Han-, L.B., Knudsen, M.T., Adamsen, A.P.S., Ambye-jensen, M., Jensen, V., Jensen, S.K., Andersen, H.E., Gyldenkerne, S.: 2016. Green biomass. DCA - Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus, Denmark.
- Thomsen, M.H., Kiel, P.: 2008. Selection of lactic acid bacteria for acidification of brown juice (grass juice), with the aim of making a durable substrate for L-lysine fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 88, 976–983.
- Tilman, D., Clark, M.: 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515, 518.
- Țîrtei, V.: 2020. The biochemical composition and the feed value of green mass and silage from *Cynara cardunculus* and *Helianthus tuberosus* in the Republic of Moldova, Scientific Papers. Series D. Animal Science. Vol. LXIII, No. 1, ISSN 2285-5750; ISSN CD-ROM 2285-5769; ISSN Online 2393-2260; ISSN-L 2285-5750
- Tőzsér J, Emri T, Csősz É.: 2011. Fehérjebiotechnológia. Debreceni Egyetem, Debrecen
- Trovato, M.; Funck, D.; Forlani, G.; Okumoto, S and Mir, R.: 2021. Amino Acids in Plants: Regulation and Functions in Development and Stress Defense. *Frontiers in Plant Science* Vol. 12. doi: 10.3389/fpls.2021.772810
- Tsubaki, S.; Onda, A.; Hiraoka, M.; Fujii, S.; Azuma, J.-I.; Y. Wada, Y.: 2018. Microwave-assisted water extraction of carbohydrates from unutilized biomass. *Water Extraction of Bioactive Compounds*, Elsevier (2018), pp. 199-219
- Tsvetoukine: 1960. Contribution a l'étude des variété de topinambour (*Helianthus tuberosus* L.), *Annal. Amelior. Plant.*, 10, 275–308,
- Tuck, G.; Glendining, M.J.; Smith, P.; House, J.I.; Wattenbach, M.: 2006. The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. *Biomass Bioenergy*, 30, 183–197.

- Tumbalam, P.; Thelen, K.D.; Adkins, A.; Dale, B.; Balan, V.; Gunawan, C.; Gao, J.: 2016. Corn stover ethanol yield as affected by grain yield, Bt trait, and environment. *Biomass Bioenergy* 2016, 85, 119–125.
- Tuohy, K.M., Rouzaud, G.C.M., Brueck, W.M., and Gibson, G.R.: 2005. Modulation of the human gut microflora towards improved health using prebiotics: assessment of efficacy, *Curr. Pharm. Design*, 11, 75–90.
- Udvardy P.: 2010. Növény- és állattani ismeretek 3.: Fehérjenövények termesztése, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Vadakkemuriyil Divya Nair, Rajaram Panneerselvam, Ragupathi Gopi, Shao, H.B.: 2013. Elicitation of pharmacologically active phenolic compounds from *Rauvolfia serpentina* Benth. Ex. Kurtz. *Ind. Crop Prod.* 45, 406–415.
- van de Sande Bakhuyzen, H.L. and Wittenrood, W.G.: 1950. Het tot bloei en zaadvorming brengen van topinambourrassen (project 143), *Verslag C.I.L.O.*, over 1949, 137–144.
- van de Velde, F.; Alting, A.C.; Pouvreau, L.: 2011. Process for Isolating a Dechlorophyllized Rubisco Preparation from a Plant Material. Patent number: WO2011078671, 30 June 2011
- van der Spiegel, M.; Noordam, M. Y. and van der Fels-Klerx, H. J.: 2013. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 12 662-678. doi: 10.1111/1541-4337.12032
- Van Loo, J.P., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H., and Smits, G.: 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 35, 525–552.
- Venugopala, K.N.; Rashmi, V.; Odhav, B.: 2013. Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed Res. Int.* 963248.
- Verbung, R.W.; Kwanz, R.; Werger, M. J. A.: 1996. The effect of plant size on vegetative reproduction in pseudo-annual. *Vegetatio*. 125: 185-192.
- Vereyken, I.J., van Kuik, J.A., Evers, T.H., Rijken, P.J., and de Kruijff, B.: 2003. Structural requirements of the fructan-lipid interaction, *Biophys. J.*, 84, 3147–3154.
- Wang and Wink: 2016. Chlorophyll enhances oxidative stress tolerance in *Caenorhabditis elegans* and extends its lifespan. *Peer J* 4, e1879; DOI 10.7717/peerj.1879
- Wang, S.; Chen, F.; Wu, J.; Wang, Z.; Liao, X.; Hu, X.: 2007. Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. *J. Food Eng.*, 78 (2), pp. 693-700

- Wang, X. and Gibson, G.R.: 1993. Effects of *in vitro* fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine, *J. Appl. Bacteriol.*, 75, 373–380.
- Wang, L.; Weller, C. L.: 2006. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends Food Sci. Technol.*, 17 (6), pp. 300-312
- Wellisch, G., Jungmeier, A., Karbowski, M.K.P. and Rogulska, M.: 2010. Biorefinery systems – potential contributors to sustainable innovation. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4, 275–286.
- White, L.P. and Plaskett, L.G.: 1981. Biomass as Fuel, Academic Press, London, 1981.
- Whitney, E.N. and Rolfes, S.R.: 1999. Understanding Nutrition, 8th ed., West/Wadsworth, Belmont, CA,
- Witten, S. and Aulrich, K.: 2019. Exemplary calculations of thiamine (vitamin B1) and riboflavin (vitamin B2) contents in common cereal-based diets for monogastric animals. *Org. Agr.* 9:155-164. doi.org/10.1007/s13165-018-0219-9
- Won, C.-Y. and Chu, C.-C.: 1998. Inulin polysaccharide having pendant amino acids: synthesis and characterization, *J. Appl. Polym. Sci.*, 70, 953–963.
- Yang, P.Y.; Hu, D.N.; Lin, I.C.; Liu, F.S.: 2015. Butein Shows Cytotoxic Effects and Induces Apoptosis in Human Ovarian Cancer Cells. *Am. J. Chin. Med.* 43, 769–782.
- Yeoman, M.M.: 1973. Tissue (callus) cultures: techniques, in *Plant Tissue and Cell Culture*, Botanical Monograph 11, Street, H.E., Ed., Blackwell, Oxford, pp. 31–58.
- Yoshida, T.; Tsubaki, S.; Teramoto, Y.; Azuma, J. I.: 2010. Optimization of microwave-assisted extraction of carbohydrates from industrial waste of corn starch production using response surface methodology. *Bioresour. Technol.*, 101 (20), pp. 7820-7826
- Yuan, X.; Gao, M.; Xiao, H.; Tan, C.; Du, Y.: 2012. Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Food Chem.* 133, 10–14.
- Yun, N.; Kang, J.W.; Lee, S.M.: 2012. Protective effects of chlorogenic acid against ischemia/reperfusion injury in rat liver: Molecular evidence of its antioxidant and anti-inflammatory properties. *J. Nutr. Biochem.* 23, 1249–1255.
- Zhang, L.T.; Chang, C.Q.; Liu, Y.; Chen, Z.M.: 2011. Effect of chlorogenic acid on disordered glucose and lipid metabolism in db/db mice and its mechanism. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao Acta Acad. Med. Sin.* 33, 281–286
- Zhang, M.; Shen, S.: 2013. Effective protein extraction protocol for proteomics studies of Jerusalem artichoke leaves. *J. Sep. Sci.* 36, 2203–2209.

- Zhao, Y.; Wang, J.; Ballevre, O.; Luo, H.; Zhang, W.: 2011. "Antihypertensive effects and mechanisms of chlorogenic acids". *Hypertension Research*. **35** (4): 370 - 374. doi:10.1038/hr.2011.195. PMID 22072103.
- Zubr, J. and Pedersen, H.S.: 1993. Characteristics of growth and development of different Jerusalem artichoke cultivars, in *Inulin and Inulin-Containing Crops*, Fuchs, A., Ed., Elsevier Science, Amsterdam, pp. 11–19.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki a témavezetőimnek, Prof. Dr. Hodossi Sándornak, aki megismertette velem a csicsóka növényt, továbbá szakmai tanácsaival ellátott. Külön köszönöm és hálával tartozok Dr. Domokos-Szabolcsy Éva docens asszonynak, aki segítette és irányította doktori munkám elvégzését, valamint új laboratóriumi technikákat, módszereket és méréseket tanított, továbbá mérhetetlen segítséget nyújtott az eredményeim értelmezésében, megfogalmazásában és publikálásában.

Hálás vagyok Prof. Dr. Fári Miklósnak, aki biztosította kutatásom anyagi háttérét. Továbbá köszönöm a Dr. Tarek Alshaal és Dr. Nevien Elhawwat önzetlen segítségét.

Köszönöm hallgató társaim segítségét, de külön köszönöm Kovács Zoltán önzetlen és kitartó segítség nyújtását, biztató szavait.

Köszönettel tartozok a DE MÉK Alkalmazott Növénybiológiai Tanszék minden munkatársának, akik doktori munkám során segítettek. Külön köszönöm Koroknai Juditnak a laboratóriumi és szántóföldi mérések alkalmával nyújtott segítségét.

Megköszönöm családomnak, hogy támogattak, biztattak és kitartottak mellett, hiszen anyagi és erkölcsi támogatásuk alapot teremtettek tanulmányaim elvégzésére.

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/227/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kaszás László
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10056746

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Kaszás, L.**, Domokos-Szabolcsy, É., Hodossi, S.: A csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) napjaink sokoldalúan hasznosítható növénye.
In: Hangsúlyok a térfejlesztésben. Szerk.: Nagy János, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 201-212, 2018. ISBN: 9786150020723

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

2. **Kaszás, L.**: A csicsóka hasznosítási lehetőségei.
Magy. Mezőgazd. 73 (45), 12-13, 2018. ISSN: 0025-018X.
3. **Kaszás, L.**: Sokoldalúan hasznosítható zöldségkülönlegesség a csicsóka.
Agroforum. 29 (3), 168-170, 2018. ISSN: 1788-5884.
4. **Kaszás, L.**, Fári, M., Hodossi, S., Domokos-Szabolcsy, É.: Levélfehérje-vizsgálatok a csicsóka leveles hajtásának hasznosítása érdekében.
Agrártud. közl. 67, 43-47, 2016. ISSN: 1587-1282.
5. Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N., El-Ramady, H., **Kaszás, L.**, Hodossi, S.: A csicsókában (*Helianthus tuberosus* L.) rejlő lehetőségek a biofinomító ipar korszakában.
Kertgazdaság. 47 (3), 3-10, 2015. ISSN: 1419-2713.

Idegén nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

6. Abdalla, N., Ragab, M. I., El, M. S., Arafa, N., **Kaszás, L.**, Kovács, Z., Domokos-Szabolcsy, É., Taha, H. S.: Biochemical Assessments of some Important Components in Tubers, Leaves and Calli Cultures of Three Jerusalem Artichoke Cultivars.
Env. Biodiv. Soil Security. 4, 267-275, 2020. EISSN: 2536-9423.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/jenvbs.2020.42184.1106>





7. **Kaszás, L.**, Alshaal, T., El-Ramady, H., Kovács, Z., Koroknai, J., Elhawati, N. A., Nagy, É., Cziáky, Z., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É.: Identification of Bioactive Phytochemicals in Leaf Protein Concentrate of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.).
Plants. 9 (7), 1-17, 2020. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9070889>
IF: 3.935
8. **Kaszás, L.**, Alshaal, T., Kovács, Z., Koroknai, J., Elhawati, N. A., Nagy, É., El-Ramady, H., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É.: Refining high-quality leaf protein and valuable co-products from green biomass of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for sustainable protein supply.
Biomass Conv. Bioref. 10, 1-16, 2020. ISSN: 2190-6815.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-020-00696-z>
IF: 4.987
9. **Kaszás, L.**, Kovács, Z., Nagy, É., Elhawati, N. A., Abdalla, N., Domokos-Szabolcsy, É.: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a potential chlorophyll source for humans and animals nutrition.
Env. Biodiv. Soil Security. 2 (1), 1-9, 2018. ISSN: 2536-9415.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/JENVBS.2018.2942.1022>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

10. **Kaszás, L.**, Kovács, Z., Nagy, É., Domokos-Szabolcsy, É.: Csicsóka genotípusok szelekciója fehérje-takarmányozási célból.
In: XXIII. Növénytermesztési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 110, 2017. ISBN: 9789638351449
11. **Kaszás, L.**, Kovács, Z., Domokos-Szabolcsy, É., Molnar, M., Kurucz, E., Fári, M.: Zöldlé versus LFK: Lehetőségek a növényi fehérjehordozó probléma megoldásában.
In: XXII. Növénytermesztési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Polgár Zsolt, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 90, 2016. ISBN: 9789633960851

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

12. **Kaszás, L.**, Kovács, Z., Koroknai, J., Domokos-Szabolcsy, É.: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) green biomass as a potential protein source.
New Biotech. 44, S101, 2018. ISSN: 1871-6784.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.980>
13. **Kaszás, L.**, Csatári, G., Nagy, B. L., Antal, G., Kovács, S.: Phenotypical and phylogenetic comparison of different Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) varieties/ecotypes.
In: Arcra vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely, 76, 2018. ISBN: 9789639639911





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

14. **Kaszás, L.:** A vöröshagyma-termesztés múltja, jelene és jövője.
Agroforum. 31, 172-174, 2020. ISSN: 1788-5884.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

15. Antal, G., Kurucz, E., Koncz, K., **Kaszás, L.**, Fári, M.: Effect of hydroponic and peat-free media in transplant production of Rudbeckia hirta varieties under different photoperiodic lighting and their photosynthetic parameters.
Int. J. Hortic. Sci. 27, 110-117, 2021. ISSN: 1585-0404.
DOI: <https://doi.org/10.31421/ijhs/27/2021/9865>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

16. Kovács, Z., Soós, Á., Kovács, B., **Kaszás, L.**, Elhawat, N. A., Bákonny, N., Razem, M., Fári, M., Prokisch, J., Domokos-Szabolcsy, É., Alshaal, T.: Uptake Dynamics of Ionic and Elemental Selenium Forms and Their Metabolism in Multiple-Harvested Alfalfa (*Medicago sativa* L.).
Plants-Basel. 10 (7), 1-24, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10071277>
IF: 3.935 (2020)
17. Szarka, V., Jókai, Z., El-Ramady, H., Abdalla, N., **Kaszás, L.**, Domokos-Szabolcsy, É.: Biofortification of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Plant with Selenium.
Env. Biodiv. Soil Security. 4, 19-31, 2020. ISSN: 2536-9415.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/jenvbs.2020.25902.1085>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

18. Balla, Z., Csíhón, Á., **Kaszás, L.**, Puskás, A., Zsembeli, J.: Néhány termesztett kultúrnövényünk érzékenysége vizsgálat és biológiai alapjainak fejlesztése a kedvezőtlen ökológiai körülményekhez való alkalmazkodás vonatkozásában.
In: Az ismeretszerzéstől az ismeretátadásig : a Kerpely Kálmán Szakollégium gyakorlatorientált kutatási projektjeinek bemutatása az agrártudományok területéről. Szerk.: Balla Zoltán, Juhász Csaba, Zsembeli József, Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Kerpely Kálmán Szakollégium, Debrecen, 41-53, 2012.
ISBN: 9786155183201





Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

19. Domokos-Szabolcsy, É., Kovács, Z., **Kaszás, L.**, Koroknai, J., Fári, M.: Évelő növényi zöld biomassza, mint értékes fehérje és fitonutrintes forrás = Green biomass of perennial crops as valuable source of protein and phytonutrients.
In: VII. Nemzetközi Tudományos Napok : 17 th International Scientific Days : A tudományos napok publikációi. Szerk.: Bujdosó Zoltán, Dinya László, Csernák József, Károly Róbert Nonprofit Kft., Gyöngyös, 298-305, 2020. ISBN: I9786155969027

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

20. Kovács, Z., Alshaal, T., Elhawwat, N. A., **Kaszás, L.**, Koroknai, J., Prokisch, J., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É.: Agronomic fortification to enhance the organic selenium content of alfalfa green biomass.
In: 4th National Conference of Young Biotechnologists "FIBOK 2020" online conference : abstract book. Ed.: by Tünde Pusztahelyi, Levente Czeglédi, Éva Domokos-Szabolcsy, Tamás Emri, Debreceni Egyetem, Debrecen, 29, 2020. ISBN: 9789634902720
21. Kovács, Z., Fári, M., **Kaszás, L.**, Koroknai, J., Csatári, G., Domokos-Szabolcsy, É.: Obtention of functional leaf protein concentrate (F-LPC) based on Ereky-process: historical survey and preliminary results.
New Biotech. 44, S100-S101, 2018. ISSN: 1871-6784.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.978>

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (1)

22. **Kaszás, L.**: Újra fölfedezték a csicsókát.
Kertész. szőlész. 26, 11-12, 2017. ISSN: 0023-0677.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 12,857

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 8,922

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.04.28.



12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem doktori (Ph. D.) fokozat elnyerése céljából.

Debrecen, 2022.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Kaszás László** doktorjelölt 2015-2022. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez önálló alkotó tevékenységével maghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

.....

Témavezető:

Dr. Hodossi Sándor, DSc

.....

Társtémavezető:

Dr. Domokos-Szabolcsy Éva, PhD