

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A CIROK BIOAKTÍV VEGYÜLETEINEK
VIZSGÁLATA TERMÉKFEJLESZTÉS CÉLJÁBÓL**

Készítette:
Nagy Róbert
doktorjelölt

Témavezetők:
Dr. Sipos Péter, PhD
egyetemi tanár

Gálné Dr. Remenyik Judit, PhD
tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM

Táplálkozás,- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Debrecen, 2024

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Napjaink egyik legnagyobb krízise az iparosodás által felgyorsult felmelegedés és az éghajlat folyamatos változása. A NASA adatai alapján a globális átlaghőmérséklet körülbelül 1 °C-kal emelkedett a 19. század vége óta, és a meteorológiai adatok alapján a 2015-2022-es időszak volt a legmelegebb időszak, amit globálisan mértek az elmúlt 100 évben. Ezen változások pedig alapvetően meghatározzák az intenzív természetst folytató modern agrárszektor lehetőségeit, költségeit, és közvetve a lakosság ételmezser ellátását is befolyásolják. Emiatt szükségessé vált a szélsőséges időjárás körülményeket kedvezőbben toleráló, ételmezseripari célokra is felhasználható haszonnövények intenzívebb termelésbe vonása. Az elmúlt évtizedben egyre több hazai és nemzetközi tudományos publikáció foglalkozik a kölesfélék (cirok, köles, teff) agronómiai, biokémiai, humán élettani jelentőségével és ételmezseripari hasznosíthatóságával, mivel az ide tartozó fajok és fajták – így a cirok is – kiváló szárazságtűrő és ellenálló képességgel rendelkeznek a szélsőséges környezeti tényezőkkel szemben. Hazai téren az elmúlt 70 évben jelentős előrelépések valósultak meg a cirok és köles nemesítés és agronómia területén (Assefa és mtsai., 2010; Hadebe és mtsai., 2017; Teuling, 2018; Orimoloye, 2022).

Mindemellett világviszonylatban egyre nagyobb szerepe van a különféle ételmezser eredetű intoleranciás és allergiás megbetegedéseknek, melyek a népesség jelentős hányadát (1-10%) érintik. Ezen megbetegedések között is kiemelt helyet foglal el a cöliákia és a gluténérzékenység egyéb típusai, melynek prevalenciája világszerte 1-2% közé tehető és továbbra is növekszik, emiatt pedig szükségessé vált ezen speciális fogyasztói réteg igényeit kielégítő ágazat kielégítő termékek fejlesztése, melyek előállítására gluténmentes, bioaktív vegyületekben gazdag és tápláló nyersanyagokat igényel, úgy mint például a cirok. A cirok már évszázadok óta fontos tápanyagforrás, napjainkban több mint 500 millió ember számára biztosít ételmezforrást, elsősorban a fejlődő régiókban. A modern fogyasztói körben valódi értéke, előnyös élettani tulajdonságai és felhasználási lehetőségei csupán az az utóbbi időszakban kerültek felfedezésre és ma már egyre szélesebb körben kerül felhasználásra. Számos irodalom beszámolt már ezekről a pozitív élettani hatásokról, melyek elsősorban a gyulladási folyamatok inhibíciójában, szabad gyökök semlegesítésében, valamint antibakteriális és daganat megelőző hatásokban nyilvánul meg. (Awika, 2011, 2017; Basli és mtsai., 2017; Duodu és Awika, 2019) Ezért a kutatásunk során célul tűztük ki, hogy megvizsgáljuk a

tápanyagutánpótlás és környezeti tényezők hatásait hazai termesztésben lévő vörös és fehér fajták bioaktív vegyületeinek a mennyiségére és antioxidáns tulajdonságaira, valamint, hogy meghatározzuk ezen bioaktív vegyületek pontos mennyiségét és extrakciós hatékonyságát eltérő oldószerek esetében humán és takarmányozási célzatú fajták esetében. További célunk volt magas hozzáadott rost tartalmú cirok alapú gluténmentes sütőipari termék fejlesztése és minőségének a vizsgálata.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. ANTIOXIDÁNS KAPACITÁS VIZSGÁLATÁRA ALKALMAZOTT *IN VITRO* MÓDSZEREK

2.1.1. Minta előkészítése és szárazanyag tartalom meghatározása

A doktori kutatás során 3 vörös (Zádor, Alföldi1, ES Foehn) és 3 fehér (Albita, Albanus, Farmsugro 180) szemszínű cirok fajtát vizsgáltunk, melyeket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Karcagi Kutatóintézete biztosított. A kísérlet beállítása 3 évjáratban történt 2019-2021 közötti időszakban. A kísérleti terület a Hortobágy és Nagykunság határán helyezkedik el, domborzatilag egyenletes sík terület, réti csernozjom talajtípushoz tartozik. A vizsgálatok alapján a termőterület savanyú kémhatású, agyagos-vályogos fizikai szerkezetű, magas humusz tartalmú (2,81-4 %) talajjal rendelkezik, ásványianyag ellátottsága a 2019 és 2020 években jó, míg 2021-ben közepesnek mondható volt. A 3 év során az időjárási adatok szélsőségesen alakultak. Az éves átlagos napsütötte órák száma 249, 230, és 244 óra volt évenként. A 2019. évi kísérletnél nagy mennyiségű tavaszi csapadék következtében a vetési idő júniusra tolódott, míg a nyári, növekedési időszak alatt a csapadék mennyiség az 50 éves átlag alá esett. A 2020 évben a növekedési periódus elején a csapadék mennyiség (17,8 mm, az 54 mm sokévi átlag ellenében) és a hőmérséklet (14,6 °C, a 16,3 °C éves átlag ellenében) is alacsonyabb volt a korábbi években mért évekhez képest. A 2021. évi időszak során a téli időszakban volt nagy mennyiségű csapadék tapasztalható, és a nyári időszak viszonylag száraz és forró volt. A vizsgált évjáratokat továbbá a Pálfai-féle aszályindexszel (PAI) is jellemeztük, a kísérleti terület aszálynak való kitettségének a vizsgálatához. A 2019 és 2020-as év PAI értéke ~5 és 3, míg a 2021 év esetében ~6 °C.100 mm⁻¹ értékeket mutatott, ami alapján a 2019 és 2021 év enyhén aszályos időszaknak (PAI=4-6 °C.100 mm⁻¹), míg a 2020-as év aszálymentesnek (PAI <4 °C.100 mm⁻¹) tekinthető. (Kovács és mtsai., 2022)

A beérkezett cirok szemek kézi tisztítási folyamat után hántolásra kerültek laboratóriumi SATAKE köves hántolóberendezéssel (SATAKE, TM05C, Thaiföld), maximum teljesítményen 50 másodpercig. A hántolást követően a korpa frakció el lett különítve a hántolt mag frakciótól és a további vizsgálatokig zárható műanyag tasakban tároltuk -20 °C-on. A hántolt magokat ezt követően laboratóriumi hengerszéken (Metefém FQC 109) liszté őröltük, majd ugyancsak zárható műanyag tasakokban tároltuk -20 °C-on. A mintákból 1-1 g került bemérésre szárazanyag tartalom meghatározáshoz, amit gravimetrikus úton, szárítószekrényben, 105 °C hőmérsékleten, 3 óra alatt a tömegállandóság eléréséig végeztem.

2.1.2. A cirok antioxidáns hatású vegyületeinek extrakciója

A hántolás után fagyasztva tárolt mintákat a későbbiekben alkalmazott mérési módszernek megfelelően extraháltuk. A labormunkálatok alatt a tápanyagutánpótlás és környezeti tényezők hatásának vizsgálatánál három féle extrakciót használtunk:

1. A mintákból 0,5 g került bemérésre analitikai mérlegen, 15 ml térfogatú centrifuga csövekbe, majd 5 ml metanol–desztillált víz 80:20 arányú elegye került hozzáadásra, vortexen 30 másodpercig homogenizáltuk, és 25 °C-on 20 percig ultrahangos vízfürdőben extraháltuk. Az így kapott kivonat lett a 80-20% metanol-vizes kivonat.
2. Mintánként 0,5 g-ot mértünk be 15 ml térfogatú centrifuga csövekbe, majd 5 ml metanolt adtunk hozzá, és 30 másodperces vortexelés után ezeket a mintákat is 20 percig, 25 °C-on ultrahangos vízfürdőben extraháltuk. Ez lett a metanosos kivonat.
3. A harmadik extrakciós módszernél ugyancsak 0,5 g korpához 5 ml desztillált vizet adtunk, majd vortexelés után 20 percig extraháltuk vízfürdőben. Ez a kivonat lett a vizes kivonat.

Mindhárom extrakció végén a mintákat centrifugáltuk (Frontier 5000 Series, Ohaus Europe, Nänikon, Svájc) maximum 3600 x g fordulaton, 10 percig, és centrifugálás után a felülúszót használtuk a további munkálatokhoz. A spektrofotometriás mérésekhez SpectroStar nano spectrophotometer (BMG Labtech, Ortenberg, Germany) típusú mikroplate olvasót használtunk.

Emellett a kötött formában jelenlevő antioxidánsok és polifenolok mennyiségét is meghatároztuk, melynek előkészítése során a korábban ismertett metanol-vizes extrakciót alkalmaztuk első lépésben. Ezt a lépést követően pedig a visszamaradt maradékot 40 °C-

on egy éjszakán át szárítottuk szárítószekrényben (Metefém). A kötött polifenolos vegyületek előkészítéséhez a korábban extrahált maradékot használtuk fel. Az extrakció Wang és társai (2019) módszere alapján történt kisebb mértékű módosításokkal (Wang és mtsai., 2019). Az előkészítést mintánként és extrakciónként háromszor ismételtük, és analízisig -20°C -on tároltuk.

A kutatás során külön vizsgáltuk a cirok flavonoid profilját és azok extrakciós hatékonyságát, mely során a mintaelőkészítés folyamata a következőképpen módosult.

A vizsgálatokhoz 1 vörös (Zádor), és 1 fehér (Albita) fajta lett felhasználva, a 2019. évi betakarításból. A mintaelőkészítéshez a már korábban hántolásnál elválasztott korpa frakciót használtuk. Az extrakcióhoz oldószernek szakirodalom alapján az acetont, mint univerzális oldószert választottuk, a hatékonyságvizsgálathoz a következő aceton - víz extrakciós elegyeket állítottuk össze: 50 - 50 (AC1), 60 - 40 (AC2), 70 - 30 (AC3), 80 - 20 (AC4), és 90 - 10 (AC5). A mintákból 2 g került bemérésre analitikai mérlegen, 3 ismétlésben, 50 ml-es centrifuga csövekbe, majd 20 ml extrahálószerrel adtuk hozzá, és az oldatot ultrahangos vízfürdő segítségével extraháltuk 30 percen keresztül, majd centrifugáltuk. Ezután a felülúszót dekantáltuk és az extrakciót még 3 alkalommal megismételtük. Az extrakciót követően a felülúszókat összemértük és homogenizáltuk, majd 20 ml mennyiséget 25 ml-es centrifuga csövekbe vittük át, és a HPLC MS/MS elemzésig -20°C -on tároltuk. A maradék mintát rotációs bepárlón szárazra pároltuk és ugyancsak -20°C -on tároltuk. A szárazra párolt extraktumok tömegét visszamértük és az értékek alapján kihozatal hatékonyságot is meghatároztunk az egyes aceton-víz oldószerekre vonatkozóan.

2.1.3. A cirok antioxidáns hatású vegyületeinek a meghatározása

Polifenol, flavonoid és kondenzált tartalom meghatározása

Az összes polifenol tartalom meghatározása Folin-Ciocalteu módszer révén történt, Singleton és Rossi leírása alapján, amit Nemes és munkatársai módosítottak. (Nemes és mtsai., 2018), míg a flavonoid tartalom mérése az általánosan használt alumínium-klorid módszer segítségével történt Zhisen és munkatársai módszere alapján kismértékű módosítással (Zhishen és mtsai., 1999). A kondenzált tannin tartalom meghatározáshoz a vanillin-sósav módszert alkalmaztuk Price és munkatársai módosított protokollja alapján (Price és mtsai., 1978). A méréshez a korábban előkészített metanolos-vizes (80:20 v/v%) és metanolos extraktumot használtuk fel.

Antioxidáns kapacitás meghatározása

A vizsgálatok során három antioxidáns-kapacitás mérésre alkalmas módszert használtunk: ABTS gyök semlegesítésén alapuló Trolox egyenértékre vonatkoztatott antioxidáns kapacitás (TEAC) mérési módszer, DPPH gyök semlegesítésén alapuló DPPH mérési módszer, valamint vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (FRAP) mérési módszer Zhu és munkatársai (2009), Blois és munkatársai (1958), és Benzie és munkatársai alapján, kismértékű módosításokkal (Blois, 1958; Benzie és Strain, 1996; Nemes és mtsai., 2018). A TEAC és DPPH módszerekhez a metanolos kivonatokat, míg a FRAP mérési módszerhez a vizes kivonatokat használtuk fel.

2.2. CIROK FLAVONOID PROFILJÁNAK MEGHATÁROZÁSA HPLC ÉS MS/MS RENDSZER SEGÍTSÉGÉVEL

2.2.1. A minták előkészítése és mérése HPLC-MS/MS rendszeren

A flavonoid profil vizsgálatához 1 vörös (Zádor) és 1 fehér (Albita) fajta került kiválasztásra és a meghatározáshoz a korábban előkészített acetonos extraktumokat használtuk fel. A mérés UHPLC-ESI-ORBITRAP tandem tömeg spektrométer segítségével történt meg. Az elválasztás során a mozgófázisok a következők voltak: savas metanol (A), és víz (B). Az elválasztás eluens gradienssel valósult meg. A kapott eredményeket Thermo Trace Finder 2.1 szoftver segítségével, illetve saját adatbázis révén kerültek kiértékelésre.

2.2.2. A minták előkészítése és mérése HPLC-PDA rendszerrel

A flavonoid profil mennyiségi meghatározásához HPLC-DAD rendszert használtunk. A mérés alapjául a korábban elvégzett MS/MS mérés eredményei szolgáltak. A procianidin típusú tanninok előkészítése a már korábban előkészített AC3 jelzéssel ellátott kivonatból történt. A mintákat Sephadex LH-20 dextrán oszlopon tisztítottuk. Az elválasztás PDA detektorral felszerelt RP-HPLC segítségével történt, a következő mozgófázisokkal: Solvent A metanol, Solvent B 3% hangyasav oldat. Az elválasztás gradiens révén valósult meg, 280, 340, 350 nm-es hullámhosszon történő detektálással.

A további flavonoid típusú vegyületek meghatározása friss mintaelőkészítésből történt sósavas–metanolos extrakció segítségével. A mintákat 100 ml HCl-metanollal extraháltuk 2 órán keresztül. A kapott extraktumot 5 percig 7500 x g fordulaton centrifugáltuk. Szárazra párlást követően, majd -20 °C-on tároltuk és mérés előtt 8 ml

HCl-metanolban feloldottuk. A minta egy részletét 2 órán át 80 °C-os vízfürdőben hidrolizáltuk. A mintákat RP-UHPLC-DAD rendszeren elemeztük, Hypersil ODS szilika oszlop állófázison, metanol (Solvent A) és 3%hangyasav (Solvent B) mozgófázis segítségével. A mintákból 10 µl került felinjektálásra eluens gradienssel, 1 ml.perc⁻¹ áramlási sebességgel. A komponensek detektálása PDA detektoron, 200-600 nm hullámhossz tartományban, azon belül 280, 340 és 350 nm hullámhosszon történt. A vegyületek pontos beazonosítása és mennyiségi meghatározása külső standardok (naringenin, apigenin, luteolin, Merck) segítségével retenció idő, spektrum és integrált terület alapján történt.

2.3. CIROK VITAMIN ÖSSZETÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA

2.3.1. E-vitamin előkészítése és meghatározása

A tokoferol eloszlás meghatározása és előkészítése RP-UPLC-PDA rendszeren valósult meg Bíró módszere alapján, kismértékű módosításokkal (Bíró és mtsai., 2015). A meghatározás során az állófázis Hypersil ODS szilika oszlop, míg a mozgófázis acetonitril-metanol-DKM 63:35:5 arányú elegye volt. A detektálás PDA detektor révén, 295 nm-en történt.

2.3.2. B vitaminok előkészítése és meghatározása

A HPLC-s vizsgálatok során 4 cirokra jellemző B-vitamin került meghatározásra, név szerint: tiamin (B₁), niacin (B₃), piridoxin (B₆), és riboflavin (B₂). A méréshez Nemes (2015) módszere került alkalmazásra, kismértékű módosításokkal. A B vitaminok meghatározása két csatornás UV/VIS detektorral (Waters, 2487) felszerelt HPLC rendszerrel (Waters 2695 Separation modul) valósult meg. Az elválasztott komponensek UV/VIS detektorral kerültek detektálásra 254 nm hullámhosszon.

2.4. CIROK ALAPÚ GLUTÉNMENTES TERMÉKEK FEJLESZTÉSE, REOLÓGIAI ÉS ORGANOLEPTIKUS TULAJDONSÁGAINAK A VIZSGÁLATA

2.4.1. Felhasznált anyagok és a cirok liszt fizikai kezelése

A termékfejlesztéshez kereskedelmi forgalomban kapható alapanyagok (cirok liszt, burgonyakeményítő, napraforgó lecitin, élesztő, útifűmaghéjliszt) kerültek felhasználásra. A termékfejlesztés keretében cirokalapú gluténmentes kenyerek

fejlesztése valósult meg, Emellett a búza, köles, és zabliszt is beszerzésre került a helyi szupermarketből (Debrecen) a későbbi vizsgálatokhoz referencia anyagként.

A cirokliszt fizikai tulajdonságainak módosításához termikus kezelést alkalmaztunk Marston és munkatársai munkája alapján, kismértékű módosításokkal (Marston és mtsai., 2016). A kezelt alapanyagok felhasználása 24 órán belül valósult meg a retrogradáció elkerülésének céljából.

2.4.2. A termékfejlesztés menete

A cirokalapú gluténmentes kenyerek fejlesztése a Debreceni Egyetem MÉK Élelmiszer Innovációs Központjában (Debrecen, Magyarország) valósultak meg. A fejlesztés során alkalmazott alaprecept a következő volt: cirok liszt (140 g), burgonyakeményítő (60 g), napraforgó lecitin (4 g), só (2 g), kristálycukor (2 g), zsírszegény tejpor (2 g), szárított élesztő (4 g) és ivóvíz. Ezt a receptet útifűmaghéjjal történő dúsítással változtattuk meg, 5, 7, és 10 %-os helyettesítéssel. A termékeket két ismétlésben készítettük el. A tésztakészítéshez konyhai robotgépet (KitchenAid Artisan Mixer, KitchenAid Hungary, Budapest, Hungary) használtunk, keverőfejes feltéttel, majd az összetételtől függően 330-400 ml víz került hozzáadásra. A víz adagolása egészen addig történt, ameddig formázható szerkezetet nem sikerült kialakítani. A tésztát 90 másodpercig dagasztottuk, majd kelesztés előtt a tésztát tömegarányosan megfeleztük és formáztuk. A kelesztés kelesztő kamrában (F-608, FM INDUSTRIAL Lucena, Spain) történt 30-40 percig 35 °C hőmérsékleten, 4,5 cm magasság eléréséig. A sütés konvekciós sütőben (RXB 610 SMART, FM INDUSTRIAL Lucena, Spain) történt a következő paraméterekkel: 220 °C, 95% páratartalom, 10 perc, 220 °C, 50% páratartalom 25 perc, és 180 °C 30% páratartalom, 20 perc. Sütést követően a kenyereket 1 órán keresztül hűtöttük szobahőmérséklet eléréséig, a további vizsgálatok elvégzése előtt.

2.5. CIROK LISZT FUNKCIÓS TULAJDONSÁGAINAK ÉS A KÉSZTERMÉKEK MINŐSÉGÉNEK A MEGHATÁROZÁSA

A kutatás során vizsgálatra került a kezelt és kezeletlen cirok liszt alapvető funkciós tulajdonságait, valamint a késztermék érzékszervi paramétereit és reológiai tulajdonságait.

A víz és olaj abszorpciós kapacitás (WAC,OAC) meghatározása Elkhalfa és Bernhardt módosított módszere alapján történt (Elkhalfa és Bernhardt, 2010). A WAC és OAC

értékeket a nedves tömeg és kiindulási tömeg százalékos arányaként kerültek megadásra. A duzzadó képesség meghatározása Singh módszere (2017) alapján történt. (Singh et al., 2017).

A kész termékek minőségi paramétereit 1 órás hűtési szakaszt követően vizsgáltuk. A kenyerek térfogat meghatározása repcemag kiszorításos, módszer segítségével történt, míg a kenyerek fajlagos térfogatát az előzésekben meghatározott térfogata és a kenyerek tömege hányadosaként határoztuk meg (MSZ 20501/3:1982). A próbacipók alaki hányadosát is meghatároztuk a kenyerek magasságának és szélességének a hányadosaként.

A kész termékek állományának a vizsgálata TA-XT2 (Stable Micro System, Godalming, United Kingdom) típusú állományvizsgáló segítségével valósult meg. A vizsgálatokhoz a kenyerekből egyenlő vastagságú szeleteket (25-30 mm) vágunk, és a középső kettő szelet került mérésre. A meghatározás során a kenyerek keménysége és rugalmassága került meghatározásra, amihez a következő beállítást használtuk: 10 mm átmérőjű hengeres fej, 5 kg tömegű erőmérő cellával felszerelve, vizsgálat előtti és utáni sebesség $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, és $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, a teszt sebessége $0,50 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, a maximum mélység 5 mm. A maximum mélység elérésekor a próbafejet 30 másodperces időtartamig helyzetben tartottuk.

A kész termékeket emellett organoleptikus vizsgálatnak is alávetettük, 20 kóstoló bevonásával. A kóstolásban résztvevők egy előzetes kérdőívet is kitöltöttek, a kor, nem megoszlás, élelmiszer allergiák, intoleranciák feltárása és étkezési szokások vizsgálata érdekében. A pontozáshoz 8 lépcsős hedonikus skálát használtunk, a kóstolás során a termékek íze, színe, illata, állománya, kinézete és átlagos benyomása került pontozásra.

2.6. STATISZTIKAI ANALÍZIS

A kutatás során 6 cirok fajta vizsgálata valósult meg. A tápanyagutánpótlás, környezeti tényezők, valamint a fajta bioaktív profilra gyakorolt hatásának a vizsgálatához teljesen randomizált elrendezést alkalmaztunk 4 ismétlésben. A kapott adatokat három-, és kéttényezős varianciaanalízis segítségével elemeztük, valamint korrelációs vizsgálatot is végeztünk az egyes tényezők között. Emellett két jellemző fajta (Zádor - vörös; Albita - fehér) flavonoid és vitamin összetételét, valamint cirok liszt, és cirok alapú termékek funkciós tulajdonságait is elemeztük, post-hoc tesztekkel kiegészített kétutas varianciaanalízis segítségével. Az extrakciós hatékonyságvizsgálat eredményeinek

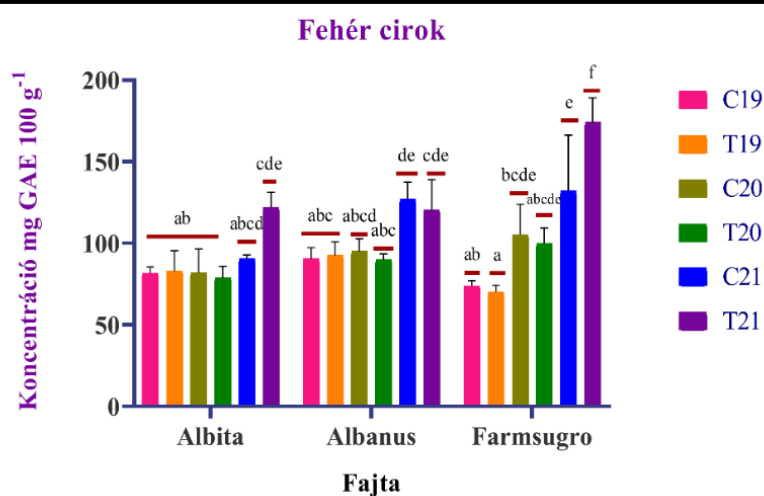
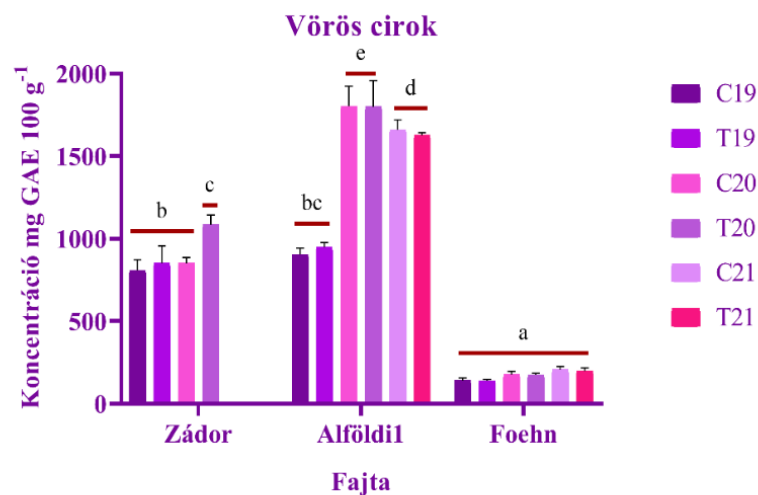
értékeléséhez páros t-próbát alkalmaztunk a kétféle extrakció összehasonlításához fajtánként. A statisztikai elemzéshez SPSS statisztikai programot (24. verzió) használtunk, míg az ábrák, táblázatok készítéséhez GraphPad Prism 8 és Microsoft Excel (Microsoft Office Professional Plus 2018) programokat használtuk.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A TÁPANYAGUTÁNPÓTLÁS KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK BIOAKTÍV PROFILRA GYAKOROLT HATÁSAIVAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

Vizsgálataink során 6 cirokfajta bioaktív profiljának tápanyagutánpótlás és változó környezeti tényezők hatására bekövetkező változásait vizsgáltuk meg, a fajták antioxidáns tulajdonságait figyelembe véve. A betakarítási év jelentősen ($p < 0,001$) meghatározta a fajták bioaktív tulajdonságait, míg a nitrogén utánpótlás csak az összes polifenol tartalom és FRAP antioxidáns érték esetében mutatott szignifikanciát (0,01). A fajta minden mért paraméter esetében szignifikáns hatással bírt, ami várható eredmény volt, mivel a mag színe alapvetően utal a jelenlevő bioaktív vegyületek mennyiségére, esetleg típusára.

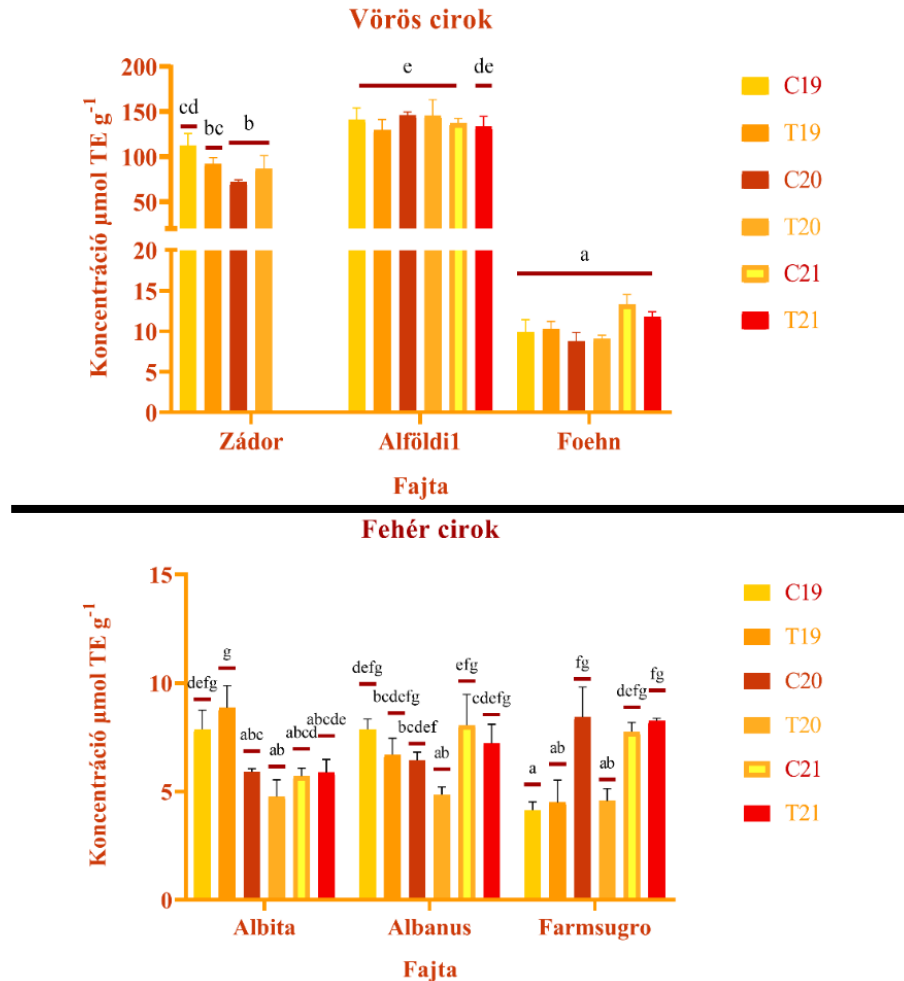
A fajták egymástól jelentős mértékben eltértek antioxidáns hatás és bioaktív profil tekintetében. Megvizsgáltuk a 6 fajta polifenol tartalmát, és a legmagasabb polifenol tartalmat az Alföldi1 vörös szemszínű fajta korpája mutatta a 3 évre vonatkozóan (945-1802 mg.100 g⁻¹ GAE), melynek egyúttal a kondenzált tannin tartalma is magasabb volt a többi fajtánál (7,9-47,4 mg.g⁻¹). A harmadik évben jelentős kiugrás (1800 mg.100 g⁻¹ GAE és 47,4 mg.g⁻¹) volt tapasztalható az extrém környezeti hatások következtében. Fajtákra lebontva a nitrogén utánpótlásnak csak egyes fajták (Zádor, Albita, Farmsugro 180) esetében volt kimutatható hatása a polifenol tartalomra vonatkozóan, míg tannin tartalom esetén a nitrogén utánpótlás hatása nem volt szignifikáns. Bebizonyosodott továbbá, hogy a szemszín nem minden esetben jelent magas polifenol tartalmat, vagy antioxidáns hatást. Az ES Foehn vörös szemű fajta a vizsgálataink során a fehér szemszínű fajtákhoz hasonló koncentrációban (139-200 mg.100 g⁻¹ GAE) tartalmazott polifenolos vegyületeket, valamint tannin tartalma is jelentősen alacsonyabb volt a többi vörös fajtánál.



1. ábra: A vizsgált 6 cirokfajta összes polifenol tartalma. *Jegyzet: T= Kezelt minták, C= Kontroll minták. Az azonos betűvel jelölt átlagok egymástól statisztikailag nem különböznek. Az értékek szárazanyagban értendők.*

Az antioxidáns kapacitás értékek hasonló tendenciákat mutattak az összes polifenol tartalommal. A három alkalmazott módszer közül a TEAC és DPPH módszerrel kaptunk kiemelten magas eredményeket, melyek az Alföldi fajta esetében voltak a legmagasabbak $45,6 \pm 17,7$ és $281,7 \pm 17,5 \mu\text{mol.TE g}^{-1}$ koncentrációval TEAC és DPPH esetében. A legmagasabb antioxidáns értéket a 2021. évi Alföldi1 minta mutatta ($281,7 \mu\text{mol.TE g}^{-1}$). Ez ugyancsak alátámasztotta a vizsgálat harmadik évében tapasztalt szélsőséges környezeti tényezők hatását. Ezzel szemben a vízdoldható antioxidánsok mérésére alkalmasabb FRAP módszerrel jelentősen alacsonyabb értékeket kaptunk ($5-20 \mu\text{mol.AAE g}^{-1}$), mely arra enged következtetni, hogy a vizsgált fajták esetében a vízdoldható vasredukáló hatású antioxidánsok mennyisége elenyésző. A tápanyagutánpótlás nem befolyásolta konzisztens mértékben az antioxidáns hatás

alakulását, jelentős eltérés ($p < 0,01$) az Albanus fajtánál volt csak tapasztalható. A különböző évjáratok között viszont volt tapasztalható különbség ($p < 0,01$) Zádor és Albita genotípusok kivételével minden fajtánál.



2. ábra: A vizsgált 6 cirok fajta antioxidáns kapacitás TEAC módszerrel mérve.

Jegyzet: T= Kezelt minták, C= Kontroll minták. Az azonos betűvel jelölt átlagok egymástól statisztikailag nem különböznek. Az értékek szárazanyagban értendők.

A polifenolok és tanninok mennyisége és kompozíciója kölcsönhatásban van a mérhető antioxidáns kapacitásokkal. Ennek vizsgálatára korrelációs analízist végeztünk. A mért TEAC és DPPH értékek közel azonos módon működnek, mindkettő gyök képes proton és elektronátmenet biztosítására egyaránt. A hasonlóságot a szórásgörbék és a korrelációs koefficiens (0,925) is alátámasztotta. A korrelációanalízis továbbá erős (0,798) kölcsönhatást mutatott ki az összes polifenol és kondenzált tannin tartalom és változásai között, tehát ezek a vegyületek a cirok polifenoljainak jelentős hányadát alkotják. Az összes polifenol tartalom továbbá erősen korrelált a TEAC és DPPH antioxidáns

kapacitás értékekkel, melyek közül a TEAC korrelációs koefficiense (0,963) kis mértékben magasabb volt a DPPH értékénél (0,947), ami a két módszernél használt eltérő szabad gyök szerkezeti tulajdonságainak a különbségeire vezethető vissza. Minden esetben jelentős eltérések voltak megfigyelhetők az egyes évjáratok értékei között. Míg az összes polifenol tartalom tekintetében a TEAC mutatott erősebb kölcsönhatást, addig, ha a kondenzált tannin tartalom alakulását tekintjük, akkor a DPPH módszer eredményei korreláltak erőteljesebben (0,916) a TEAC értékekkel (0,738) szemben. Tehát a DPPH módszerrel mért antioxidáns kapacitás jelentős hányada a cirok tannin tartalmából eredhet.

3.2. VÖRÖS CIROK FAJTÁK SZABAD ÉS KÖTÖTT POLIFENOL TARTALMA ÉS VÁLTOZÉKONYSÁGA EXTRAKCIÓS MÓDSZER HATÁSÁRA

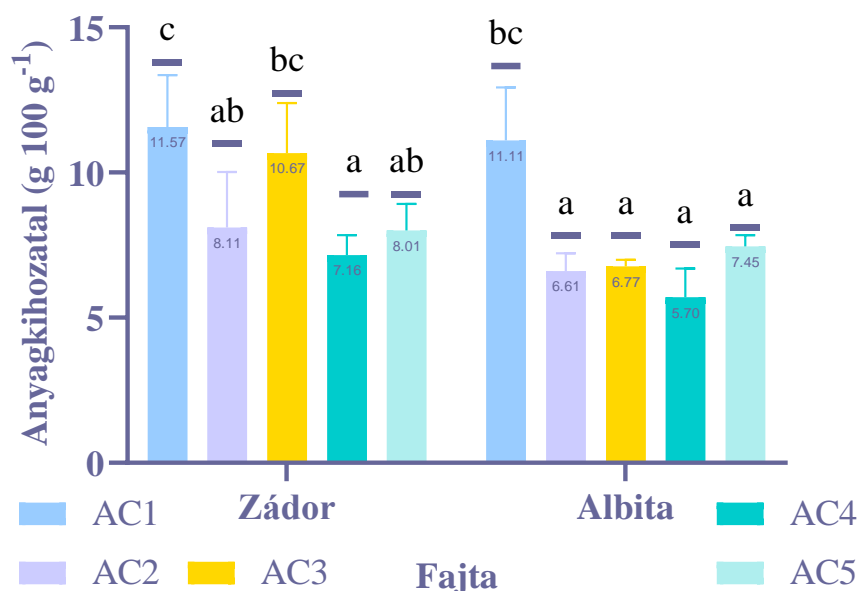
Kettő polifenolokban gazdag fajtát (Alföldi1, Zádor) vizsgáltunk a szabad illetve kötött formában jelenlevő polifenol és flavonoid tartalmát illetően. A vizsgálatok során két eltérő oldószerrel történő extrakció is összehasonlításra került. A korábbi eredményekhez hasonlóan az Alföldi1fajta rendelkezett a legmagasabb összes polifenol értékkel, $2667 \pm 42,9$ mg.GAE 100 g^{-1} szabadon kinyerhető összes polifenol tartalommal, míg a kötött formában jelenlevő polifenolok mennyisége $104,1 \pm 11,4$ mg.GAE 100 g^{-1} maximumot ért el 70% acetonnal történő kioldás esetén. Emellett a kinyert flavonoid tartalom is jelentős volt $1574,9 \pm 4,12$ mg. CE 100 g^{-1} maximum értékkel Alföldi1 fajta esetében. A kötött formában jelenlevő flavonoidok mennyisége mindkettő fajtánál alacsony volt. Az alkalmazott extrakciós módszer jelentősen meghatározta a kinyerhető vegyületek mennyiségét. A vizsgálatok során metanol (80:20 v/v%) és aceton (70:30 v/v%) vizes elegyét hasonlítottuk össze. Az eredmények azt mutatták, hogy a legtöbb esetben az acetonnal történt extrakció jelentősen magasabb ($p < 0,05$ és $0,01$) kihozatalt tett lehetővé mind összes polifenol és flavonoid tartalom tekintetében. Kötött formában jelenlevő komponensek esetén csak a polifenol tartalomban volt megfigyelhető eltérés a két extrakció során. Kondenzált tanninok csupán a szabad frakcióban voltak jelen és nem volt jelentős az eltérés a két féle extrakció eredményei között.

A kivonatok antioxidáns tulajdonságainak változásait is vizsgáltuk az eltérő extrakció hatására. A polifenolos vegyületek mennyiségbeli különbségei nem jelentek meg az antioxidáns kapacitás esetében. A két extrakció kivonatainak antioxidáns értékei között

nem volt kimutatható statisztikailag jelentős eltérés, ami összetételben megfigyelhető különbségekre utalhat. A legmagasabb antioxidáns értéket az Alföldi1 fajta mutatta TEAC módszerrel meghatározott antioxidáns potenciál esetében 241-269 $\mu\text{mol.TE g}^{-1}$ értékkel, szemben a DPPH 151-165 $\mu\text{mol.TE g}^{-1}$ értékével. Ez a korábbi mérésekkel ellentétes tendencia, mely során a DPPH értékei voltak jellemzően magasabbak. A kötött formában jelenlevő polifenolok és flavonoidok antioxidáns hatása rendkívül alacsony értékekkel rendelkező fajtától és extrakciótól függetlenül. DPPH módszer esetében volt statisztikailag szignifikáns ($p < 0,05$ és $0,01$) különbség a két extrakció között.

3.3. VÖRÖS ÉS FEHÉR CIROK FAJTA KONDENZÁLT TANNIN TARTALMÁNAK, KINYERHETŐSÉGÉNEK ÉS ANTIOXIDÁNS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

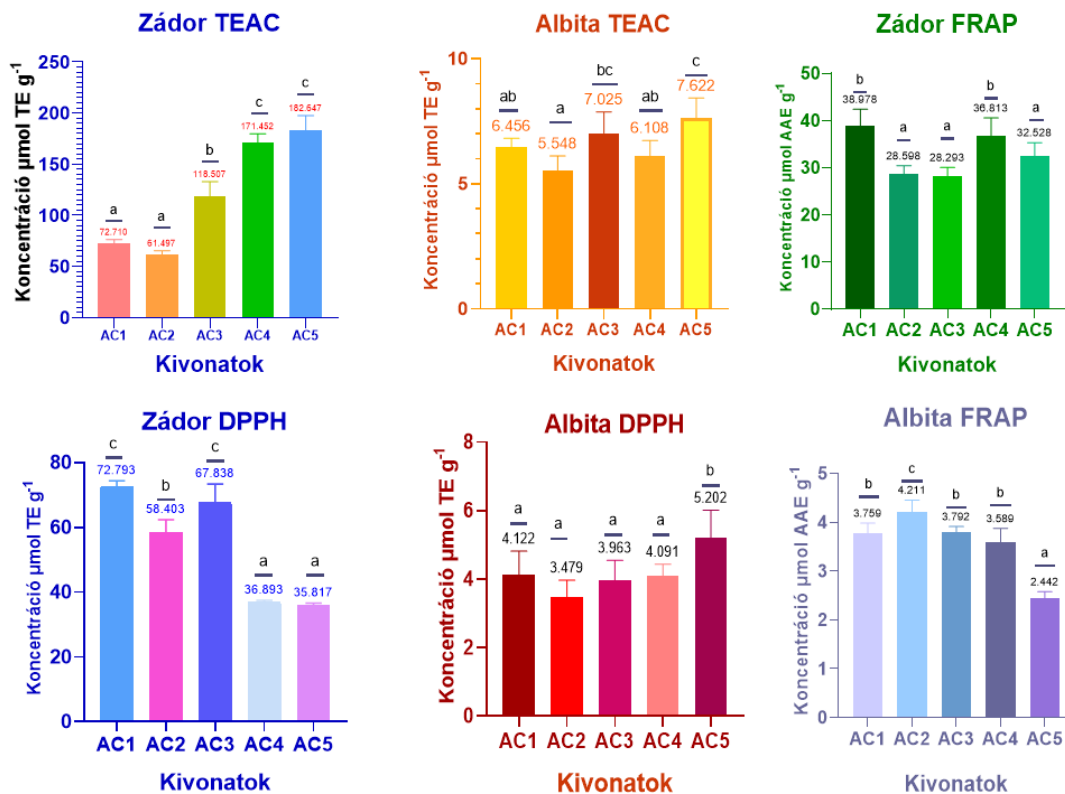
A tannin tartalom vizsgálatához acetone eltérő arányú vizes oldatait lettek felhasználva, előzetes irodalmi adatok alapján, majd az egyes kivonatok kihozatala és antioxidáns kapacitása került meghatározásra. Kihozatal tekintetében az AC3 (70:30 v/v%) extrakció bizonyult a leghatásosabbnak, ami a tannint tartalmazó vörös (Zádor) fajtánál elért kihozatalnál volt szembetűnő, míg a rendkívül alacsony tannin tartalommal rendelkező fehér (Albita) fajta esetében ez a kiugrás nem volt jelen.



3. ábra: Vörös és fehér cirok extrakciós kihozatala különböző oldószerarány esetén. Az azonos betűvel jelölt átlagok egymástól statisztikailag nem különböznek

Az egyes kivonatok antioxidáns tulajdonságait is vizsgáltuk DPPH, TEAC és FRAP módszer segítségével. A várakozásoknak megfelelően jelentős eltérés volt megfigyelhető a két vizsgált fajta antioxidáns tulajdonságai között, mivel a fehér fajta jellemzően rendkívül alacsony tannin tartalommal rendelkezik, melyek a cirok egyik fő antioxidánsai. A három módszer közül a TEAC bizonyult a legeredményesebb módszernek, ahol a mért maximum antioxidáns kapacitás értéke elérte a $182,6 \pm 14,9 \mu\text{mol.TE g}^{-1} \text{ DW}$ maximumot AC5 kivonat esetében. Ez feltehetőleg a tanninok többszörös antioxidáns kötő képességére vezethető vissza. Az AC3 extrakció ennél alacsonyabb koncentrációt mutatott $118,5 \pm 14,4 \mu\text{mol.TE g}^{-1} \text{ DW}$ értékkel, viszont DPPH módszer esetében az AC1 és AC3 extrakció mutatta a legmagasabb antioxidáns hatást $72,7 \pm 1,59$ és $67,8 \pm 5,52 \mu\text{mol. TE g}^{-1} \text{ DW}$ értékekkel. Itt összefüggés figyelhető meg a módszernél alkalmazott szabadgyök méret limitáló tulajdonsága és a kivonatban található tanninok polarizációs fokával és méretével kapcsolatosan. A TEAC és DPPH módszerek eredményei alapján az AC3 feltehetőleg rövidebb láncú, kisebb tannin oligomerekben gazdagabb, míg az AC5 kivonathoz a hosszabb polimerek a dominánsak. Ez viszont további vizsgálatokat igényelnek.

A harmadik FRAP módszer értékeinél nem volt tendencia megfigyelhető, az AC1 polárosabb kivonatok jellemzően magasabb értékeket mutattak, a legmagasabb vízoldható antioxidáns tartalmat a Zádor AC1 kivonat tartalmazta $38,9 \pm 3,49 \mu\text{mol.AAE g}^{-1} \text{ DW}$ értékkel.



4.ábra: Az egyes aceton-víz extraktumok antioxidáns tartalma TEAC, DPPH és FRAP módszerrel mérve. *Jegyzet: Az értékek szárazanyagra vonatkoztatva kerültek megadásra. Azonos betűvel jelölt értékek egymástól statisztikailag nem különböznek.*

A mért antioxidáns értékek azt indikálják, hogy a vörös fajta kifejezetten gazdag nagyméretű, erőteljes antioxidáns hatású tannin oligomerekben és polimerekben, valamint egyéb polifenolos jellegű antioxidánsokban, melyek kifejezetten fontosak mind humán, és haszonállat célzatú fogyasztás esetén, azok gyulladáscsökkentő, daganat megelőző hatásai, valamint antibakteriális tulajdonságai miatt.

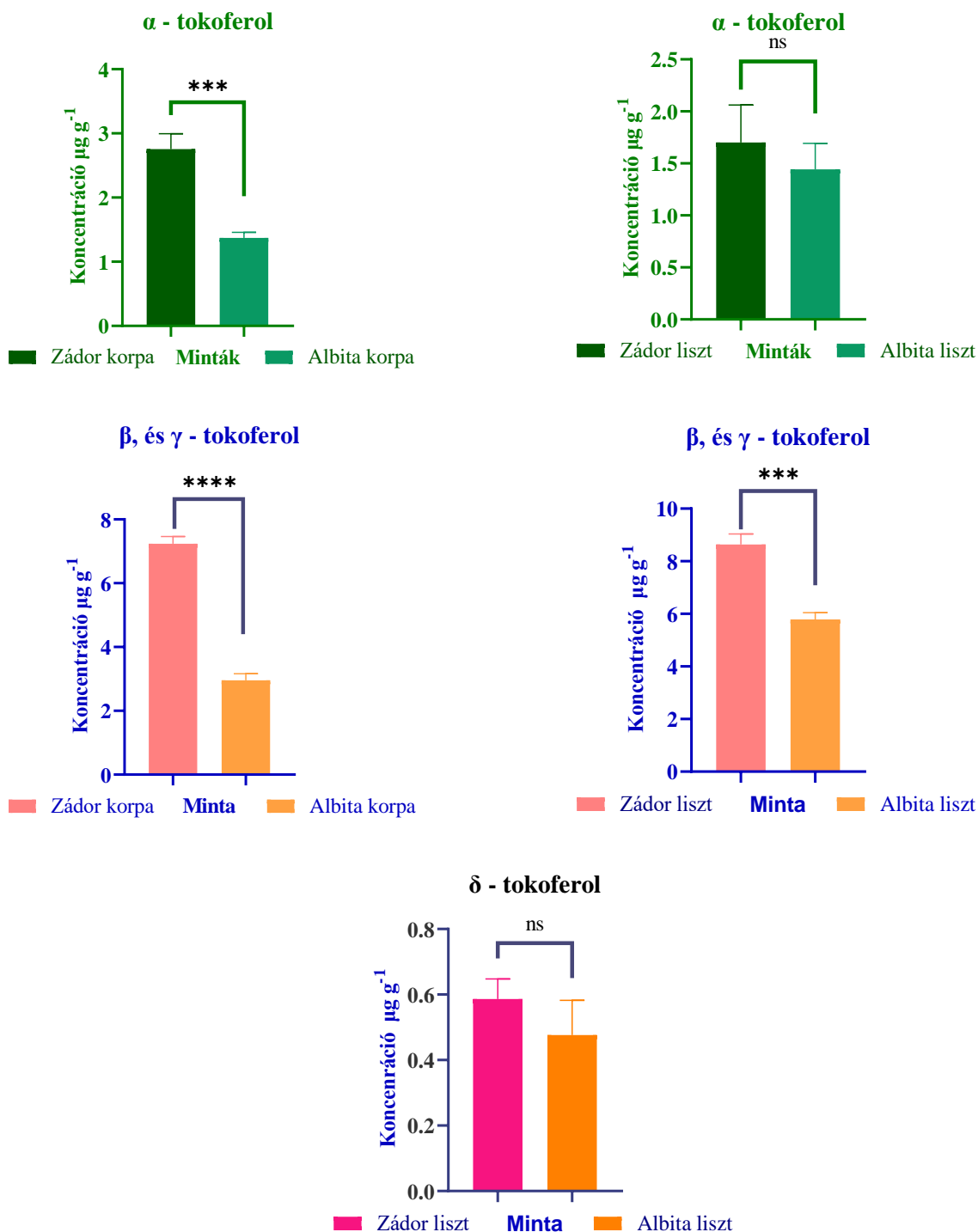
3.4. VÖRÖS ÉS FEHÉR CIROK FLAVONOID ÖSSZETÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Az egyes aceton-víz kivonatok összetételét HPLC MS/MS technikával elemeztük. A vizsgált fajták közül a vörös Zádor számos flavan, flavon, flavanon és proantocianidin vegyületet tartalmazott, melyek közül a különböző procianidin A, B és C dimer és trimer izomerek voltak döntő többségben, de számos eriodictiol és naringenin glükozid is jelen volt a korpa frakcióban. Ezzel szemben a fehér Albita fajta esetében a flavon alcsoport dominált, kimutatásra került apigenin, luteolin, valamint trihidroxi flavonok. A fehér fajta esetében procianidin típusú komponensek nem lettek kimutatva. Mindkettő fajta esetében

jelen voltak viszont a 3-deoxdiantocanidinek (apigeninidin, és luteolinidin), melyek a cirok egyedülálló flavonoidjai, ezidáig mindösszesen moszatokban és harasztokban, valamint lila kukorica hibridben kerültek kimutatásra, és fő jellemzőjük a rendkívüli stabilitásuk a normál antocianidinekhez képest. A beazonosított komponensek közül procianidin B1, naringenin, valamint apigenin és luteolin került mennyiségi meghatározásra HPLC rendszeren, melynek alapján a procianidin B1 tannin dimer volt a legjelentősebb flavonoid Zádor esetében $81 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ koncentrációval, míg Albita fajtánál naringenin volt kimutatható $2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ koncentrációval.

3.5. VÖRÖS ÉS FEHÉR CIROK VITAMIN ÖSSZETÉTEL EREDMÉNYEI

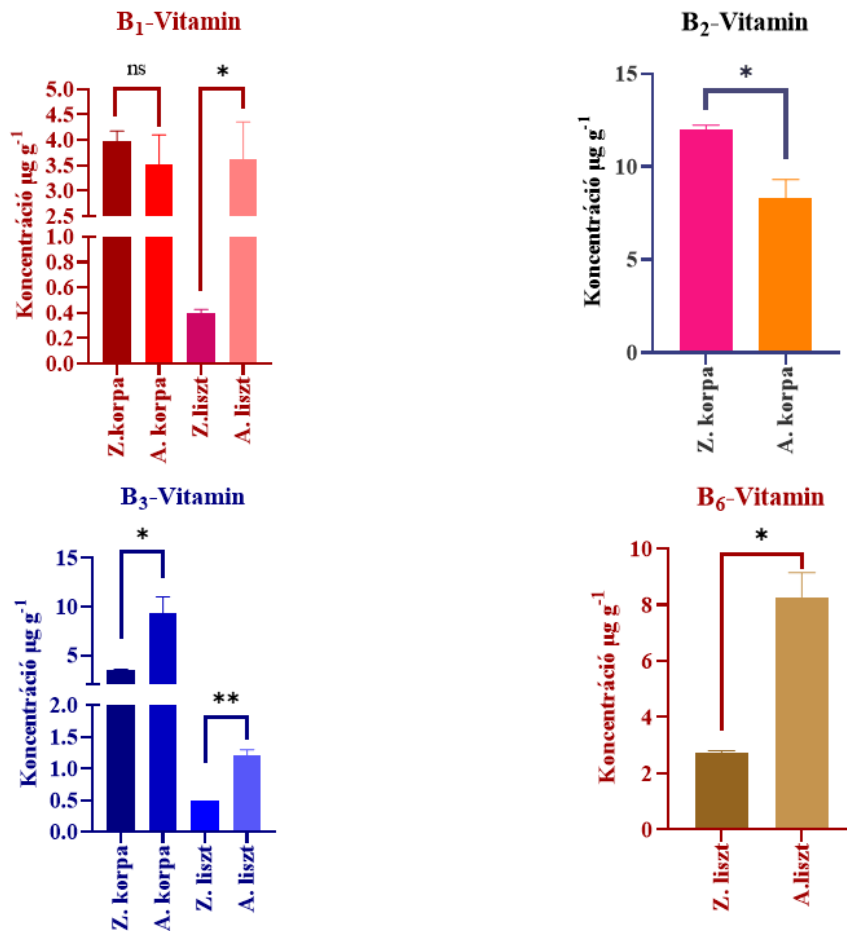
A gabonafélék alapvetően fontos E, és B vitamin források. A vizsgálataink során 1 vörös és 1 fehér fajta tokoferol izomer eloszlását és B-vitamin tartalmát elemeztük HPLC rendszeren. Az eredmények azt mutatták, hogy a 2 fajtánál mind a négy tokoferol izomer jelen volt, de a cirok alapvetően gamma-, és béta-tokoferol felhalmozó gabonának tekinthető. A mért gamma-, és béta-tokoferolok össz mennyisége $6,68$ és $7,75 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ szárazanyagra vonatkoztatott koncentráció volt Zádornál korpá és liszt frakciók esetében. Szerkezeti struktúrájukból adódóan a γ - és β -tokoferolok kromatográfiás sajátosságai rendkívül hasonlóak, emiatt nehezen választhatók el egymástól. Emiatt a vizsgálataink során ezen két tokoferol formát együttesen határoztuk meg. Emellett alfa-tokoferol is jelentős mennyiségben jelen volt mindkettő vizsgált frakcióban $2,75$ és $1,7 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ értékekkel. Delta-tokoferol csak liszt frakcióból volt kimutatható, $0,42$ és $0,53 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ koncentrációban Albita és Zádor fajtánál. A vizsgált két fajta közül a Zádor vörös fajta tartalmazott nagyobb mennyiségben gamma- és béta-tokoferolokat, míg alfa- és delta-tokoferol esetében kisebb mértékű volt ez a fajták közötti eltérés. Az irodalmi értékek és mérési eredményeink alapján tehát megállapítható, hogy a cirok alapvetően gamma- és béta-tokoferol felhalmozó, ezáltal leginkább a vastagbél egészségének fenntartásában lehet jelentős szerepe, de alfa-tokoferol tartalma is jelentős.



5.ábra: Vörös és fehér cirok fajta tokoferol tartalma. *Jegyzet:* *: $p < 0,05$, ***: $p < 0,001$, ****: $p < 0,0001$. Az értékek szárazanyagra vonatkoztatva vannak feltüntetve.

B-vitaminok közül a niacin, tiamin, piridoxin és riboflavin került meghatározásra korpa és liszt frakciókból Zádor és Albita fajtánál. A két vizsgált fajta közül az Albita tartalmazott jelentősebb mennyiségben piridoxint. Emellett az Albita korpa B₃ vitaminban is kifejezetten gazdag volt, $3,4 \pm 0,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ és $9,3 \pm 1,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ koncentrációval a

vörös és fehér fajta esetében. A B vitaminok alapvetően a héjban halmozódnak fel, ennek következtében a liszt frakciókban alacsonyabb mennyiségeket mutattunk ki. Kivételt képez ezalól a tiamin, amelynél Albita esetében a liszt frakcióban is a korpához hasonló értékeket mértünk, valamint riboflavin csupán a korpa, piridoxin pedig a liszt frakcióban került kimutatásra. Összevetve a korábbi tokoferol koncentrációkkal, megállapítható, hogy a fehér szemszínű cirok fajták jelentősebb B vitamin forrásnak tekinthetők a vörös fajtákhoz képest, míg a vörös fajták inkább E vitamin forrásnak tekinthetők.



6.ábra: Vörös és fehér cirok B vitamin tartalma. Jegyzet: Z.=Zádor, A.= Albita,

*:p<0,05, **:p<0,01, ***: p<0,001

3.6. CIROK LISZT FUNKCIÓS TULAJDONSÁGAI ÉS VÁLTOZÁSAI FIZIKAI KEZELÉSEK HATÁSÁRA

A sütőipari termékek készítéséhez felhasznált különböző lisztek funkciós tulajdonságai alapvetően meghatározzák az egyes lisztféleségek felhasználásai lehetőségeit. A cirok liszt esetében a víz- és olajabszorpció kapacitás, valamint a fehérjék duzzadó képessége került meghatározásra, melyek alapvetően meghatározzák a tészta állagát,

konzisztenciáját és szerkezetét. A kutatásunk során az említett paraméterek változását is vizsgáltuk fizikai termikus kezelések hatására. A magasabb rost tartalom következtében a cirok liszt vízkötő képessége magasabb volt a búzához viszonyítva 129% víz abszorbeáló képességgel, a búza finomliszt 76% értékéhez képest. Ez a vízfelvevő képesség tovább növelhető termikus kezelések illetve további rost adagolás révén. A termikus kezelés során a liszt részleges, vagy teljes nedvesség tartalmának az eltávolítása történik meg, valamint a keményítő szerkezete is változásokon esik át, részlegesen csirizesedik. Ennek köszönhetően a vízabszorpciós képesség is emelkedett a lisztek esetében. Az útifű maghéj tovább növelte a vízkötő képességet, a legmagasabb, 290%-os vízabszorpciót a 10% útifűmaghéj liszttel dúsított hőkezelt liszt mutatta. A rost dúsítás révén tehát nagymértékű szerkezetbeli javulás érhető el. Az olaj abszorbeáló kapacitás tekintetében jelentősen kisebb mértékű eltérések voltak tapasztalhatók. A legmagasabb értéket a száraz hővel kezelt cirok lisztnél mértük 86%-kal, és nem volt jelentős eltérés a kezelt és kezeletlen lisztek között. Mivel a gabonafélék alapvetően nem rendelkeznek magas zsírtartalommal, és a termék hozzáadott zsiradékot nem tartalmazott, a kapott OAC értékek a várakozásoknak megfelelően alakultak. A duzzadóképeség a szerkezeti fehérjék egyik fontos tulajdonsága, és hatással vannak a késztermék szerkezetére, minőségére egyaránt. A cirok fő szerkezeti fehérjéje a kafirin, melynek komplex szerkezete következtében emészthetősége meglehetősen alacsony, azonban funkciós tulajdonágaira is hatással lehet. A vizsgálataink során a cirok liszt esetében a mért duzzadó képesség szignifikánsan alacsonyabb volt a gluténmentes köles liszthez képest, illetve statisztikailag nem jelentősen, de látható mértékben alacsonyabb volt a rozs és a búzaliszthez képest, 5,90 6,37 6,60 és 6,43 g.g⁻¹ értékekkel. Száraz levegős hőkezelés, valamint fagyasztva szárítás hatására valószínűsíthetően fehérjedegradáció és kötések felbomlása révén a cirok liszt fehérjéinek duzzadóképesége látható növekedést mutatott.

3.7. CIROK ALAPÚ SÜTŐIPARI TERMÉK FEJLESZTÉSE ÉS MINŐSÉGI VIZSGÁLATÁNAK AZ EREDMÉNYEI

A doktori kutatásom során cirok alapú gluténmentes kenyér fejlesztése is megvalósult útifűmaghéj liszt hozzáadásával. Az útifű maghéj 5; 7,5; és 10% arányban kerültek hozzáadásra, valamint a fejlesztés során termikus előkezelés is alkalmazásra került. A rosttal dúsított kenyerek szemmel láthatóan nagyobb térfogattal rendelkeztek, de egyúttal sokkal sűrűbb bélzet alakult ki, apró pórusokkal. A kontrol kenyerekhez képest viszont a rosttal dúsított termékek színe jelentősen javult, világosabb, kevésbé égett hatású szín

alakult ki. Továbbá, a kontrol kenyerek bélzete porózusabb, erőteljesebben morzsálódó volt a dúsított termékekhez képest, tehát az útifű magháj liszt hozzáadása a várakozásoknak megfelelően javított a kenyerek szerkezeti tulajdonságain. A késztermék vizsgálatánál az állományvizsgálat mellett vizsgáltuk a termékek minőségi paramétereit, úgymint a térfogat, fajlagos térfogatát, illetve alaki hányadosát. A legkisebb mértékű (5%) útifűvel történő dúsítás hatására is jelentős térfogat növekedés volt tapasztalható, $420 \pm 14 \text{ cm}^3$, és $518 \pm 4 \text{ cm}^3$ térfogattal kontrol és 5% útifű maghéjliszttel dúsított kenyér esetén. A további útifű magháj liszt aránynövelés nem okozott számottevő növekedést a térfogatban.

Alaki hányados tekintetében a jelenleg érvényben lévő szabályozások búzakenyér esetében maximum 2,2 alaki hányadost határoz meg. (Codex Alimentarius Hungaricus, 1-3/16-1) Viszonyításképpen a cirok alapú, magas hozzáadott rost tartalmú cirok kenyerek alaki hányadosa 1,5-2 érték között mozgott, az útifű magháj liszt arányának növekedése pedig az alaki hányados csökkenését eredményezte 7,5% és 10% útifű magháj arány esetében. Itt viszont fontos megemlíteni, hogy ez a meghatározott érték búzából készült kenyerek minősítésére szolgál, így csupán viszonyítási alapként használható.

A késztermékek állományát a sütés napján és 2 nap normál körülmények között történő tárolást követően vizsgáltuk állományvizsgáló berendezéssel. A vizsgálatok során a kenyerek keménységét és rugalmasságát vizsgáltuk. A kontrol termékek instabil, morzsalékos, száraz szerkezettel rendelkeztek, mely alacsony erőhatásként mutatkozott meg (80,7 g). Útifű magháj liszt hozzáadásával ez a keménység a kiváló vízkötő képesség révén jelentősen emelkedett a kontrol kenyereknél, (209,9 g). A hőkezelés és útifű magháj együttes alkalmazása rugalmas, de mégis puha, nem morzsálódó tézst szerkezetet eredményezett friss termékek esetében. A kezelt kontrol terméknek volt a legalacsonyabb a rugalmassága 43%-os értékkel a sütés napján, de a magas rost tartalmú útifű magháj liszt hozzáadásával jelentős mértékű javulást tudtunk elérni 63-68%-os rugalmasságig. 48 órás tárolást követően viszont a keményítő retrogradációjából adódóan jelentős mértékű vízvesztés zajlott le, ami egyúttal a termékek keménységének a növekedését, valamint a rugalmasság csökkenését váltotta ki. Az útifű magháj liszt pozitív irányban befolyásolták a termékek szerkezetét, mivel a legnagyobb mértékű keménység növekedés a kezelt és kontrol kontroll kenyereknél jelentkezett, hatszoros, illetve négyszeres növekedéssel az első nap értékeihez képest. A hozzáadott rostot tartalmazó kenyerek esetében ez a

növekedés csupán kétszeres mértékű a kontrol eredményeihez képest, továbbá az alkalmazott hőkezelés hatására ez a növekedés kismértékben tovább mérséklődött. Összességében a termék prototípusok közül a 7,5% hozzáadott útifűmaghéjat tartalmazó kenyerek rendelkeztek a legelőnyösebb tulajdonságokkal és állománnyal, amely mellett a túlzottan magas rost tartalom negatív hatásai, úgymint a kemény állag, kellemetlen íz még nem bizonyult erőteljesnek.

Az új élelmiszerek esetében a fogyasztói igényeknek történő megfelelés az egyik legfontosabb kérdés, melynek mérésére szolgálnak az érzékszervi vizsgálatok. Az organoleptikus felmérésünk során öt paraméter került vizsgálatra: külső megjelenés, szerkezet, illat, íz és általános benyomás. A vizsgált kenyerek közül a 7,5 és 10% útifű maghéj liszttel dúsított kenyereket találták a kóstolók a legszimpatikusabbnak átlagosan 5-7 ponttal, míg a kontrol termékek kapták a legalacsonyabb pontszámokat. A minősítés során a külső megjelenés, illetve a szerkezet, textúra volt a sarkalatos pont, mely alapvetően meghatározta az egyes kenyerek pontozását. Külső megjelenés esetén a legalacsonyabb pont 3,64 és 4 volt kinézet és textúra kategóriában a kezelt kontrol termék esetében. A kóstolók véleménye szerint a 7,5 és 10%-ban dúsított termékek kinézete számukra megfelelő és kívánatos volt. A kóstolók a vizsgálatok során enyhén kellemetlen kesernyés utóízt tapasztaltak, legtöbbször ezt negatívan értékelték, míg néhány kóstoló ezt a tulajdonságot pozitív tulajdonságként jellemezték személyes preferencia alapján.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megvizsgáltuk 6 hazai termesztésbe bevont cirok fajta összes polifenol, és tannin tartalmának, valamint antioxidáns kapacitásának változását a környezeti tényezők és tápanyagutánpótlás hatására. Ezek közül az időjárási tényezők, valamint a vizsgált fajták hatása volt statisztikailag szignifikáns, míg a tápanyagutánpótlás csak elszigetelt különbségeket eredményezett. A fajták közül az Alföldi1 és Farmsugro 180 fajtánál volt a legszembetűnőbben megfigyelhető az egyes évjáratok hatása. Alföldi1 esetében a 3 évre vonatkozóan az összes polifenol koncentráció 945-1802 mg.100 g⁻¹ GAE intervallumban változott. Farmsugro 180 esetében ez az érték 73,9-174 mg.100 g⁻¹ GAE között volt.
2. A kondenzált tannin tartalom vizsgálatakor az összes polifenol tartalom esetében megfigyeltekhez hasonló tendenciákat tapasztaltunk az egyes évjáratok esetében. A vizsgált 3 év alatt a harmadik év esetében volt megfigyelhető növekedés tannin tartalomban, 47,4 mg.g⁻¹ koncentrációval Alföldi1 korpa esetében, míg Zádornál 8,81 mg.g⁻¹ volt a mért legmagasabb érték, mely korrelált az adott évben tapasztalható szélsőséges időjárási körülményekkel. Tehát megállapítható hogy a cirok polifenol tartalmát, a termesztés körülményei és a területre jellemző időjárás alapvetően meghatározza. Ennek a későbbi felhasználásban lehet fontos szerepe, mivel a kondenzált tanninok jelentős anti-nutritív hatással rendelkeznek, viszont ugyanakkor fontos antioxidánsok is.
3. Korábbi szakirodalom állításai alapján a cirok akár 50%-ban észteresen kötött, csak hidrolízis útján elérhető formában tartalmazhat fenolos vegyületeket, többek között tanninokat és más flavonoidokat. Az általunk vizsgált fajták esetében ez az arány szignifikánsan alacsonyabb volt, a vizsgált bizonyítottan magas polifenol értékkel rendelkező fajtáknál az általunk alkalmazott extrakciót követően maximum 100 mg.100 g⁻¹ GAE koncentrációt ért el. Továbbá az irodalom kötött formában jelenlevő kondenzált tannin tartalmát is leírt, míg az általunk vizsgált genotípusok nem tartalmaztak kötött tannin vegyületeket.
4. A mérések során vizsgáltuk az extrakció hatékonyságának oldószer és polaritás függését cirok polifenolos összetevőire vonatkozóan két oldószer: aceton és metanol vizsgálatával. A vizsgálatok során bizonyítottuk, hogy a cirok polifenolos komponenseit aceton segítségével hatékonyabban tudjuk extrahálni a metanolhoz képest. Különösen flavonoid típusú vegyületek esetében, ahol a metanollal és acetonnal kinyert flavonoidok

mennyisége Zádor esetében 620 és 980 mg.CE 100 g⁻¹, míg Alföldi1 esetében 1200 és 1500 mg.CE 100 g⁻¹ értéket érte el.

5. Méréseink során feltártuk 1-1 hazai termesztésben lévő vörös (Zádor) és fehér (Albita) cirok fajta flavonoid profilját és az egyes főbb komponensek kimutatható izomereit. A vizsgálataink alapján a Zádor fő flavonoidjai közé tartoznak a különböző procianidin A, B, és C izomerek, valamint apigeninidin, luteolinidin és ezek metiles származékai, melyek csak a cirokban fellelhető deoxiantocianidinek közé tartoznak.
6. Kutatásom során útifű magháj liszttel dúsított cirok sütőipari terméket fejlesztettem, melynek technológiáját termikus előkezeléssel (száraz hő) egészítettem ki, az alapanyag és késztermék szerkezeti tulajdonságainak és textúrájának a javítása érdekében. Az alkalmazott hőkezelés és magas rost tartalmú útifű magháj liszt együttesen jelentős mértékben javította a lisztek fizikai és mechanikai tulajdonságait. A cirok liszt a finomított búzaliszthez (76% WAC) képest hatékonyabban képes a víz felvételére (130% WAC), amit az útifű magháj liszt hozzáadása a több mint a kétszeresére növelt (290 % WAC, 10% úifű magháj). A hőkezelés kismértékben (150% WAC) javított a víz abszorpción, mely részben a kezelés során elpárolgott vízmennyiségből származott.
7. Az útifű magháj liszt adagolás és száraz hőkezelés alkalmazása együttesen pozitívan befolyásolta a cirok alapú kenyerek fizikai tulajdonságait, állagát, textúráját. A magas rost tartalmú kenyerek rugalmassága a kezelt és kezeletlen termékek esetében is 20%-os emelkedést mutatott a kontrol termékhez képest. A hőkezelt kontrol termékek keménysége a kezeletlen kontrol kenyérhez képest a négyszeresére emelkedett, míg a rosttal dúsított kenyerek esetében nem volt változás tapasztalható. Ennek révén a hőkezelt kontrol kenyér esetében a fogyasztók számára elfogadhatóbb érzékszervi tulajdonságokat alakítottunk ki. A termékekhez hozzáadott rost tartalom segített megőrizni a kenyerek kedvező érzékszervi tulajdonságait a tárolási kísérlet során: 48 órás tárolást követően a kenyerek keménysége kontrol esetében a négyszeresére, rosttal dúsított kenyereknél pedig a kétszeresére növekedett.

5. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. Vizsgálataink során igazoltuk, hogy a Zádor és Alföldi1 vörös cirok fajták megfelelő extrakciós technika alkalmazásával kiváló polifenol forrás és a rendelkezésre álló mennyiséget jelentősen meghatározza a növény vízellátottsága és a környezeti körülmények. Ennek ismeretében a gazdák képesek lehetnek befolyásolni a termés minőségét betakarításkor. Alföldi1 esetében a teljes polifenol tartalom a kétszeresére növekedett a kísérlet 2. és 3. évében az első kiegyensúlyozottabbnak tekinthető évhez képest.
2. Az aceton jelentősen hatékonyabb oldószer a flavonoidok extrakciójában, amit a későbbiekben más növényi mátrixok is esetében is felhasználhatunk az analitikai mérések során a polifenolok és flavonoidok hatékonyabb kinyerése érdekében.
3. Az általunk fejlesztett cirok alapú rosttal dúsított kenyerek kiváló alapja lehet egy új, elsősorban cöliákiában szenvedő egyéneknek szánt termékkörnek, mely nem csak gluténmentes, hanem bioaktív vegyületekben, rostban és ásványi anyagokban is egyaránt gazdag. A fejlesztett próbatermékek kielégítően teljesítettek a fogyasztói igények teljesítésében, mely során a 7,5 és 10% útifű maghéjjal dúsított termékek bizonyultak a legeredményesebbnek.

6. IRODALOM

1. Assefa, Y., S.A. Staggenborg, and V.P.V. Prasad. 2010. Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. *Crop Management* 9(1): 1–11. doi: 10.1094/CM-2010-1109-01-RV.
2. Awika, J. 2011. Sorghum Flavonoids: Unusual Compounds with Promising Implications for Health. *ACS Symposium Series*. p. 171–200
3. Awika, J.M. 2017. Chapter 3 - Sorghum: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In: Taylor, J.R.N. and Awika, J.M., editors, *Gluten-Free Ancient Grains*. Woodhead Publishing. p. 21–54
4. Basli, A., N. Belkacem, I. Amrani, A. Basli, N. Belkacem, et al. 2017. Health Benefits of Phenolic Compounds Against Cancers. *Phenolic Compounds - Biological Activity*. IntechOpen
5. Benzie, I.F., and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal Biochem* 239(1): 70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292.
6. Bíró, A., A. Nemes, and J. Remenyik. 2015. Sour cherry seed as an industrial gamma tocopherol source. *Acta Agraria Debreceniensis* (63): 27–33. doi: 10.34101/actaagrar/63/1831.
7. Blois, M.S. 1958. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature* 181(4617): 1199–1200. doi: 10.1038/1811199a0.
8. Duodu, G., and J. Awika. 2019. Phytochemical-Related Health-Promoting Attributes of Sorghum and Millets. p. 225–258
9. Elkhalfifa, A.E.O., and R. Bernhardt. 2010. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry* 121(2): 387–392. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.041.
10. Hadebe, S.T., A.T. Modi, and T. Mabhaudhi. 2017. Drought Tolerance and Water Use of Cereal Crops: A Focus on Sorghum as a Food Security Crop in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203(3): 177–191. doi: 10.1111/jac.12191.
11. Kovács, Gy.–Tuba, G.–Sinka, L.–Rivera-Garcia, A.–Zsembeli, J. 2022. Jász-Nagykun-Szolnok megye főbb növényeinek termésátlagai az aszály mértékének függvényében. *Növénytermelés*, 71, 63-78.
12. Marston, K., H. Houryieh, and F. Aramouni. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT - Food Science and Technology* 65: 637–644. doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.063.
13. Nemes, A., E. Szöllősi, L. Stündl, A. Biró, J.R. Homoki, et al. 2018. Determination of Flavonoid and Proanthocyanidin Profile of Hungarian Sour Cherry. *Molecules* 23(12): 3278. doi: 10.3390/molecules23123278.
14. Orimoloye, I.R. 2022. Agricultural Drought and Its Potential Impacts: Enabling Decision-Support for Food Security in Vulnerable Regions. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.838824> (accessed 19 June 2023).
15. Price, M.L., S. Van Scoyoc, and L.G. Butler. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 26(5): 1214–1218. doi: 10.1021/jf60219a031.
16. Singh, A., S. Sharma, and B. Singh. 2017. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science* 76: 131–139. doi: 10.1016/j.jcs.2017.06.003.

17. Teuling, A.J. 2018. A hot future for European droughts. *Nature Clim Change* 8(5): 364–365. doi: 10.1038/s41558-018-0154-5.
18. Wang, L., X. Lin, J. Zhang, W. Zhang, X. Hu, et al. 2019. Extraction methods for the releasing of bound phenolics from *Rubus idaeus* L. leaves and seeds. *Industrial Crops and Products* 135: 1–9. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.003.
19. Zhishen, J., T. Mengcheng, and W. Jianming. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64(4): 555–559. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00102-2.

7. PUBLIKÁCIÓK



Nyilvántartási szám: DEENK/443/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Nagy Róbert
Doktori Iskola: Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Élelmiszertudományi doktori program
MTMT azonosító: 10078220

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Nagy, R.**, Szöllősi, E., Bíróné Molnár, P., Murányi, E., Czibalmos, R., Sipos, P.: Condensed tannin content and antioxidant activity of Hungarian sorghum varieties grown at Research Institute in Karcag.
Agrártud. Közl. 1, 155-160, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8467>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

2. **Nagy, R.**, Kun-Nemes, A., Szöllősi, E., Bíróné Molnár, P., Cziáky, Z., Murányi, E., Sipos, P., Gálné Remenyik, J.: Physiological potential of different Sorghum bicolor varieties depending on their bioactive characteristics and antioxidant potential as well as different extraction methods.
Heliyon. 10 (16), 1-17, 2024. ISSN: 2405-8440.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35807>
IF: 3.4 (2023)
3. **Nagy, R.**, Murányi, E., Bíróné Molnár, P., Szepesi, J., Győri, Z., Veres, S., Gálné Remenyik, J., Sipos, P.: Assessment of Bioactive Profile of Sorghum Brans under the Effect of Growing Conditions and Nitrogen Fertilization.
Agriculture-Basel. 13 (4), 1-17, 2023. EISSN: 2077-0472.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13040760>
IF: 3.3
4. **Nagy, R.**, Neji, C., Gálné Remenyik, J., Sipos, P.: Evaluation of functional properties of physically treated Sorghum flours and development of gluten-free Sorghum breads.
J. Microbiol. Biotech. Food Sci. 13 (3), 1-6, 2023. ISSN: 1338-5178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.55251/jmbfs.9959>
IF: 0.6





5. **Nagy, R.**, Máthé, E., Csapó, J., Sipos, P.: Modifying Effects of Physical Processes on Starch and Dietary Fiber Content of Foodstuffs. *Processes*. 9 (1), 1-16, 2021. EISSN: 2227-9717.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pr9010017>
IF: 3.352

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

6. **Nagy, R.**, Gálné Remenyik, J., Sipos, P.: Rheological properties and nutritional value of sorghum flour and sorghum-based gluten-free bakery products.
In: Book of abstracts : VIII International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies - Inoptep 2023 and XXXV. Scientific-Professional Conference Processing and Energy in Agriculture - PTEP 2023. Eds.: Filip Kulić, Ivan Pavkov, National Society of Processing and Energy in Agriculture, Novi Sad, 85, 2023. ISBN: 9788675205814
7. **Nagy, R.**, Gálné Remenyik, J., Sipos, P.: Evaluation of factors influencing the bioactive compounds of red and white sorghum grains.
In: Wellmann International Scientific Conference : Book of Abstracts. Ed.: Orsolya Kiss, University of Szeged, Hódmezővásárhely, 65, 2022. ISBN: 9789633068601
8. **Nagy, R.**, Sipos, P.: Evaluation of starch gelatinization properties of sorghum and corn flours.
In: The International Conference of Food Physicists : Abstract Book, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Iasi, 60, 2020.

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

9. Törös, G., Prokisch, J., Peles, F., **Nagy, R.**, Nagy, J., Béni, Á.: The effect of sous-vide cooking on the antioxidant properties of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.).
Acta agrar. Debr. 2024 (1), 177-184, 2024. ISSN: 2416-1640.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/13483>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

10. Khalfalla, M., Zsombik, L., **Nagy, R.**, Győri, Z.: Promoting the elemental profile of sorghum grain: Driving factors affecting nutritional properties under nitrogen fertilizer conditions.
Heliyon. 10 (7), 1-21, 2024. ISSN: 2405-8440.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28759>
IF: 3.4 (2023)





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

11. Törös, G., Béni, Á., Nagy, J., **Nagy, R.**, Peles, F., Prokisch, J.: Impact of sous-vide cooking on the antioxidant properties and β -glucan content of oyster (*Pleurotus ostreatus* L.) mushroom. In: ISPEC 14th International conference on agriculture, animal science & rural development: Proceedings book (Abstracts & Full Texts) / eds Banu Yücel, Seyithan Seydoşođlu, IKSAD Publishing House, Golbasi, 54-55, 2024. ISBN: 9786257720991

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 14,052

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 10,652

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

Debrecen, 2024.08.27.

