

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

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

Kaszás László

Témavezető(k):
Dr. Hodossi Sándor, DSc,
Dr. Domokos-Szabolcsy Éva, PhD



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola
Debrecen, 2022

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

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 hazai és nemzetközi szakirodalom a csicsókát jelentős biológiai értékkel rendelkező növénynek tartja, kettős hasznosításban is alkalmazhatónak, mely magában foglalja a gumók és tenyészidőszak végére elszáradó szár felhasználást. Vetésforgóba illesztése javasolt. Előnyös tulajdonságai ellenére jelenlegi hazai és nemzetközi mezőgazdasági gyakorlatban alulértékelt növény, termesztési volumene elhanyagolható. Mindezekkel együtt figyelembe kell venni a friss zöld leveles szár értékeit és hasznosíthatóságának lehetőségét is.

A gumó mellett lényegesen kevesebbet tudunk a csicsóka zöld leveles szár értékeiről és hasznosíthatóságának lehetőségeiről. Jelen munkám a III. generációs biofinomítás egyik aspektusával, a zöld biofinomítás lehetőségével foglalkozik, ami a friss növényi biomasszára alapoz. A szemlélet integrálja a biológiai, kémiai, fizikai és műszaki ismereteket, szem előtt tartva a gazdaságosság, a környezettudatos- és körforgásos gazdálkodás szemléletét. A zöld biofinomítás technológiai lépései többirányúak lehetnek, a termék előállítás függvényében. Jellemzően első lépésként (elsődleges finomítás) nedves frakcionálással választják szét a zöld biomasszát rostokban gazdag présfogácsára és tápanyagokban gazdag zöldlére. A présfogácsa a rost komponensek mellett értékes színanyagokat, fehérjéket, különböző fitokémiai vegyületeket tartalmaz. Ezek révén felhasználható zöldtakarmány-pelletek, rostpótló takarmánykiegészítések előállítására. További feldolgozással biogáz előállítására szolgálhatnak.

A zöldlé fehérjéket, szerves savakat, színanyagokat, fitokémiai komponenseket, mikro-, makroelemeket tartalmaz. Nedvességtartalma és romlandósága miatt további feldolgozása javasolt. Fizikai/kémiai módszerekkel fehérjét koncentráltan tartalmazó termék nyerhető, ami hosszútávon eltartható. Emellett a képződő melléktermékek hasznosíthatósága is figyelmet érdemel.

Ezen gondolaton tovább haladva kutatásom és dolgozatom a csicsóka, mint ipari növény, nagy biomasszát képező, zöld leveles hajtásának hasznosítási lehetőségét veti fel a zöld biofinomítás módszertani lehetőségeit alkalmazva. Munkám során hét, különböző földrajzi helyről származó csicsóka fajtát/ökotípust vizsgáltam extenzív körülmények között. A zöld biomassza betakarítását a tenyészidőszak során két alkalommal végeztük el a növények növekedési erélyét figyelembe véve. A csicsóka kettős hasznosíthatóságából adódóan

vizsgáltuk a tenyésztidőszak végén a gumóhozamokat is. Az értékelhetőség miatt a zöld biofinomítás egyik hazai dedikált növényfajával, a lucernával (*Medicago sativa* L. 'Hunor 40') vetettük össze.

Jelen munka célja a csicsóka zöld leveles szár értéknövelési lehetőségét vizsgálni a zöld biofinomítás egy lehetséges lépéssorának felhasználásával. Ehhez vizsgáltuk a csicsóka fajták/ökotípusok szántóföldi teljesítményét (kelés, növekedés, betakarítható zöld biomassa mennyiség, regenerációs képesség, gumóhozam). A zöld biomassa feldolgozása meghatározott 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. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. 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.

A kísérleti terület 200 m² volt. Egy növény tenyészterületét 60 x 80 cm-re (0,48 m²) választottuk, ahol 60 cm a tőtáv és 80 cm a sortáv. A kísérletbe különböző földrajzi területekről származó, hét csicsóka fajtát/ökotípust vontunk be (**1. táblázat**). A kísérletbe kontrollként egy hazai nemesítésű lucerna fajtát alkalmaztunk ('*Hunor 40*').

A csicsóka növények betakarítását egy tenyészidőszakban két alkalommal végeztük el. Összesen 10 növényt vágunk vissza fajtánként.

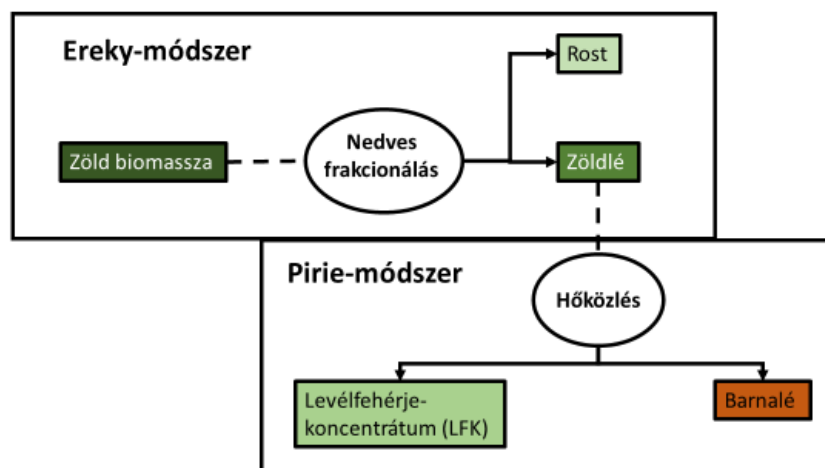
1. táblázat A kísérletbe bevont csicsóka fajták/ökotípusok neve és származási helye.

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

2.2. Zöld biomassza feldolgozás technológiai lépései

A **1. ábra** szemlélteti a frakcionálás lépéseit, melynek alapját az Ereky – Pirie-féle módszer szolgáltatta a mi általunk alkalmazott fehérje koagulálási módosításokkal.



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

A betakarítást követően random módon 3 x 1 kg-ot kimértünk a betakarított zöld biomasszából, melyből a feldolgozást végeztük. A frakcionálást Angel Juicer 7500 típusú ikercsigás présgéppel végeztük. A fehérje koagulálását szakaszos működésű mikrohullámú készülékkel (Samsung, M1712N/XEH) végeztük egy lépésben $80 \pm 2^\circ\text{C}$ eléréséig 450 watt teljesítménye mellett. A levélfehérje-koncentrátum (LFK) és barnalé frakciókat gravitációs elválasztás segítségével választottuk szét egymástól sűrű szövésű vászon anyagon.

2.3. Zöld biomassza eredetű frakciók nyersfehérje és aminosav tartalom meghatározása

A frakciók nyersfehérje- és aminosavtartalom meghatározása a Debreceni Egyetem, Agrár Műszerközpontban valósult meg. A nyersfehérje-tartalom a MSZ EN ISO 5983-2:2009 szabvány, míg az aminosavtartalom a MSZ EN ISO 13903:2005 szabvány szerint.

2.4. Aminosav összetétel/szabad aminosav tartalom meghatározás UHPLC módszerrel

Minta előkészítés teljes aminosav összetétel meghatározáshoz:

Minden típusú mintából (zöld levél, rost, zöldlé, LFK és barnalé) 20-20 mg porított, liofilizált minta került bemérésre. A mintákat 10 ml 6 M-os sósav oldattal teflon roncsolócsőbe belemostuk és egy CEM Mars One (Matthews, USA) típusú mikrohullámú roncsolóba helyeztük 150°C -ra egy órára 650 Watt teljesítmény mellett. A szabad aminosav tartalom meghatározáshoz a mintákat hidrolizálás nélkül, közvetlenül használtuk. Minkét típusú mintát 3kDa-os Nanosep Omega típusú membrán szűrőn szűrtük át.

Az UHPLC elválasztás előtt a mintákat a gyártó utasításainak megfelelően az AccQ-Tag Ultra derivatizáló reagenssel derivatizáltuk. A derivatizált aminosavak elválasztását AccQ-tag Ultra C18 végeztük. Az áramlási sebesség 0,600 ml/perc volt, az oszlophőmérséklet 43°C . A kapott eredmények kiértékelését (processzálást) Waters Empower 3 szoftver (Waters, Milford, MA, USA) segítségével végeztük el.

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

A futtatást Bio-Rad Mini-PROTEAN Tetra Veritcal Electrophoresis típusú berendezésben végeztük.

A liofilizált és porított minták 40-40 mg bemérését Sartorius 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) és 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.

A futtatást Bio-Rad Mini-PROTEAN Tetra Veritcal Electrophoresis típusú berendezésben végeztük. Molekulatömeg azonosításhoz PageRuler (Prestained Protein Ladder 10-180 kDa) típusú fehérje markert használtunk. Futtatást 90 V-on elindítottuk, a minták koncentráálásához (~15 percig), majd a fehérjék szeparálásához a feszültséget 160 V-ra állítottuk (45 – 50 perc). Festést követően a gélről készült fotót Bio-Rad Gel Doc XR+ berendezés segítségével készítettük el.

2.6. Zöld biomassza eredetű frakciók összes fenolos komponens tartalmának meghatározása

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

Szilárd mintákból (rost és LFK) 20 mg minta került bemérésre Sartorius típusú analitikai mérlegen, 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 Na₂CO₃-ot adtunk. Ezt követően 5 percig 50°C-os vízfürdőben inkubáltuk a mintákat. Inkubációt követően λ=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.

2.7. 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 örölt mintát mértünk be. Ezt követően 25 ml metanol- desztillál 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 kapcsolunk, amely Thermo

Accucore C18 analitikai oszlopot (2,1 mm × 100 mm, 2,6 µm részecskeméret) tartalmazott. Az áramlási sebességet 0,2 ml/perc értéken tartottuk, és az oszlop hőmérsékletét 25°C ± 1°C-ra állítottuk be.

A tömegspektrométer beállítása:

A Thermo Q Exactive Orbitrap hibrid tömegspektrométert (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) ESI-forrással szereltük fel. A mintákat pozitív és negatív ionizációs módban külön-külön mértük. 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 állítottuk be.

2.8. Zöld biomassza eredetű frakciók fitonutriens összetételének kvantitatív elemzése

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

Minta előkészítés:

A minta előkészítés megegyezett a 2.6. fejezetben leírtakkal.

Mérés menete:

A mozgófázis metanolból (A) és vízből (B) állt (mindkettő 0,1% hangyasavval savanyítva). Az áramlási sebesség 0,2 ml/perc volt. Az injektálási térfogat 2 µl volt.

2.9. 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.

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

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

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

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

A kapott eredményeket a szárazanyag-tartalommal korrigálva közöltem.

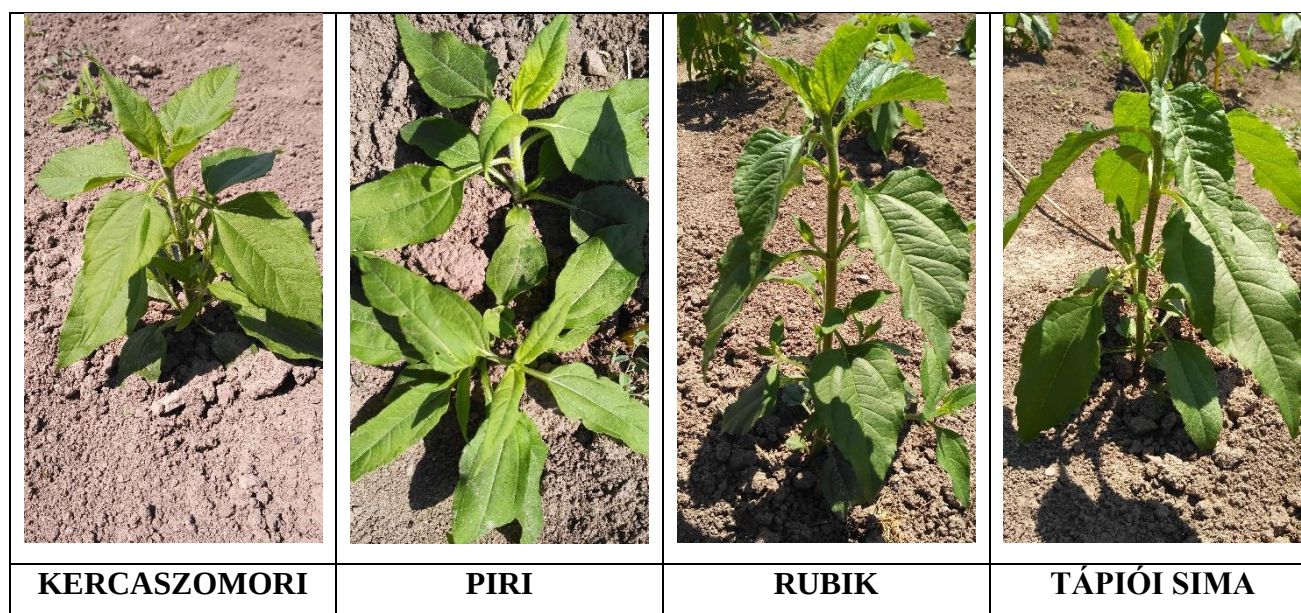
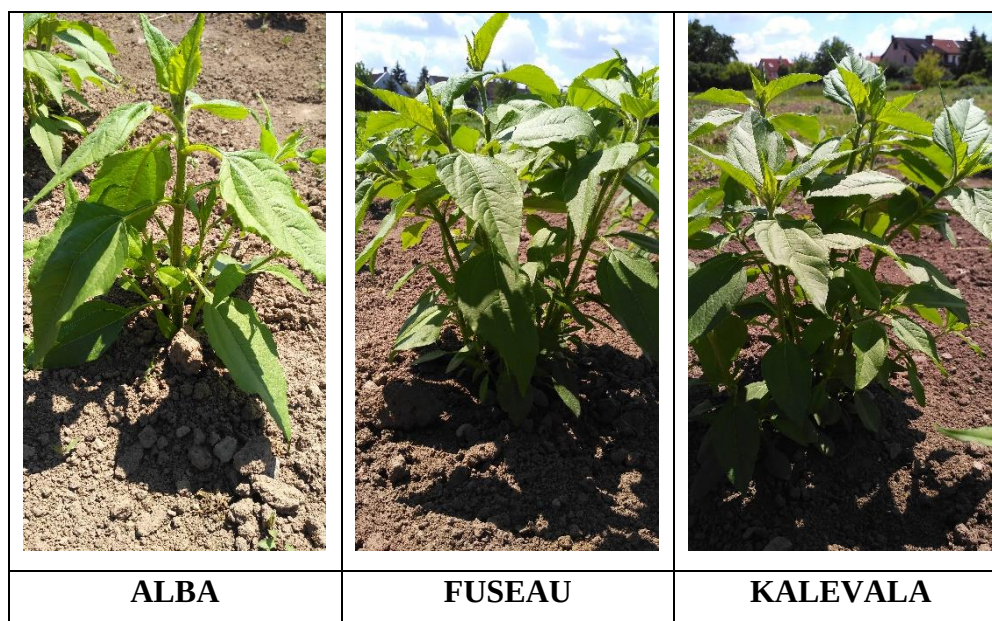
2.10. Statisztikai kiértékelés

A statisztikai kiértékelést az R programcsomag segítségével végeztük el. Kiszámoltuk az adatok normalitását, homogenitását és függetlenség vizsgálatot végeztem, ezt követően ANOVA elemzést készítettünk, ezután Duncan Posthoc analízist csináltunk $p < 0,05\%$ mellett. A kapott eredményeket MS Excel ábrákra ábrázoltuk.

3.EREDMÉNYEK

3.1. 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 (2. ábra).



2. ábra A kísérletbe részt vevő fajták/ökotípusok.

Az általunk elvégzett hét csicsóka fajta/ökotípus morfológiai-, és termőképességi mérései alapján, melyek a szántóföldi mérésekre alapoznak, a következőket lehet elmondani.

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 kiegyenlítettebbek 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. 2016-ban 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 láttunk. 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 átlag értékeket mértünk. 2017-ben összességében a csicsóka ökotípusok növekedésdinamikája laposabb görbét, de egyenletesebb eloszlást mutatott 2016-hoz képest.

3.2. 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).

2016-ban az első betakarítás alkalmával a '*Fuseau*' fajta adta a legnagyobb biomasszát, átlagosan 2500 g/tő. Ezzel szemben a legkisebb mennyiséget a '*Kercaszomori*' fajta esetében mértük, átlagosan 1100 g/tő. Ezeknél a fajtáknál statisztikailag igazolható különbséget tudunk

kimutatni. A második betakarítás alkalmával kevesebb biomassa volt betakarítható, és statisztikai különbséget már nem tudtunk kimutatni, de a *'Fuseau'* és a *'Tápiói sima'* fajták érték el a legnagyobb biomassa hozamot, 898 és 853 g/tő. A hajtásszámokat megvizsgálva az első betakarításkor az *'Alba'* fajtánál számoltuk a legtöbbet, átlagosan 24 db. A legkevesebbet a *'Rubik'* fajtánál, átlagosan 10 db. A második betakarítás alkalmával már nagyobb különbségek mutatkoztak és egyértelműbb különbségeket tudtunk kimutatni. A *'Kercaszomori'* és a *'Kalevala'* fajtáknál 14 db hajtást mértünk, míg a többi fajta esetében 2-4 db hajtást.

2017-ben az első betakarítás 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 hajtásszámait tekintve a *'Kalevala'* ökotípus 8 db, míg a többi fajta/ökotípus 2-2 db hajtást fejlesztett. Itt szignifikáns különbséget tudtunk megállapítani. A második betakarítás alkalmával a fajták zöld biomassa hozama tekintetében a *'Rubik'* fajta teljesített a legjobban (740 g/tő), ami szignifikánsan eltért a többi fajtától/ökotípustól. A legkevesebb betakarítható zöld biomasszáat két fajta, a *'Kercaszomori'* és a *'Tápiói sima'* (~350 g/tő) adta. A többi fajta/ökotípus közel azonos mennyiségű (400-500 g) biomassa produkciót ért el. A legnagyobb mennyiségű hajtást a *'Fuseau'* (18 darab), míg a legkisebb mennyiségűt a *'Tápiói sima'* fajta (12 darab) adta ebben az esetben is statisztikailag kimutatható különbséget tapasztalnunk.

Mivel a csicsókát leginkább a gumójáért termesztik, így a tenyésztidőszak végén elvégeztük a gumók betakarítását is. Ezzel informálódva nem csak a hajtások kétszeri visszavágásának gumófejlődésre gyakorolt hatásáról, de a következő évi vetőgumó mennyiségéről is, kontrollként a nem visszavágott egyedek szolgáltak.

A 2016-ban a kontroll növények alatt az összes gumóhozam 1400-6600 g/tő között alakult, a gumók számát tekintve 34 - 90 db/tő között változott fajtánként/ökotípusonként. 2017-ben a kontroll egyedek esetében 2000 - 4500 g közötti gumótömeget tudtunk betakarítani. A gumók mennyisége a kontroll esetében tövenként 73 és 38 darab között változott.

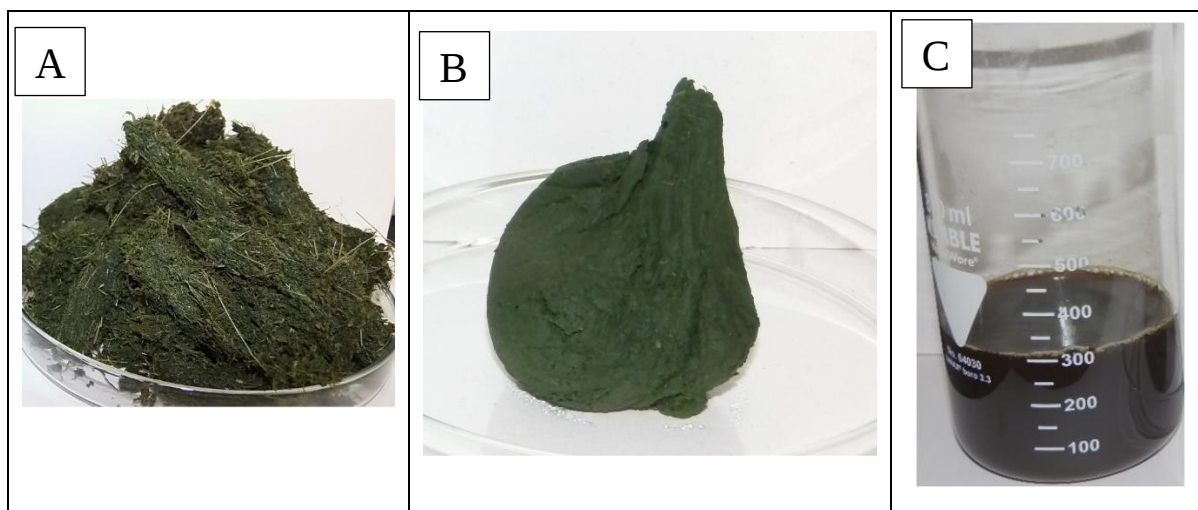
2016-ban a visszavágott egyedek esetében 21 - 150 g/gumó közötti értékeket kaptunk, darabszámot tekintve 2 - 8 közötti volt. A visszavágott egyedek esetében a legnagyobb gumóhozamot a *'Fuseau'* fajta adta átlagosan 157 g/gumó. A legkisebb mennyiséget a *'Kercaszomori'* fajta produkálta, 21 g/gumó. 2017-ben a visszavágott tövek gumóhozama esetében 340 és 112 g közötti értéket kaptunk, a gumók mennyisége 11 és 4 darab között alakult. A gumóhozamra nézve 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 megoszlása esetében is.

Összességében elmondható, hogy jelen körülmények között a kétszeri visszavágás következtében a csicsóka hozamok jelentősen csökkentek, de összevetve a gumók mennyiségét és egyedi tömegét azt tapasztaltuk, hogy a kis gumószám nem egyenesen arányos a gumók egyedi tömegével.

3.3. A csicsóka zöld biomassza frakcionálás eredményei

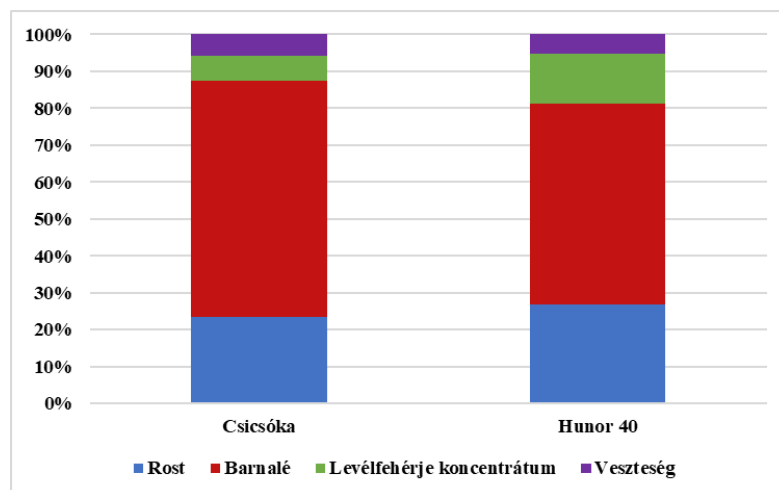
Jelen kutatási munka célkitűzéséhez igazodva, a zöld biofinomítás egyik lehetséges technológiai folyamatát követve dolgoztuk fel a csicsóka zöld biomasszát. Majd a „Zöld futószalag” lépései mentén kapott frakciók/potenciális termékjelöltek (beleértve zöldlé, présrost, levélfehérje koncentrátum, barnalé) (3. ábra) fontosabb értékmérő biológiai/kémiai jellemzőit vizsgáltuk.



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

A csicsóka esetében kapott eredmények értékelhetősége miatt összehasonlítást végeztünk egy lucerna fajtával ('Hunor40'), mivel ez a növény a hazai integrált szántóföldi növénytermesztés egyik legfontosabb takarmánynövény, egyúttal a zöld biofinomítás egyik dedikált cél növényfaja. Értékét nagy zöld biomassza hozamán (4,5 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 aminosavösszetétele adja.

Az 4. ábra foglalja össze a két év és négy betakarítás átlagában a csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók relatív tömegire vonatkozó eredményeket.



4. ábra A két év és négy betakarítás átlagában a csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók relatív tömegire vonatkozó eredmények

Az ábrán látható, hogy a csicsóka zöld biomasszából kapott frakciók közül a rost esetében 23,3% kaptunk, míg a lucerna esetében ez 26,7%. A legnagyobb mennyiségben képződő frakció mindkét növényfaj esetében a barnalé frakció volt. Csicsókánál 64% lucernánál 54%. A levélfehérje koncentrátum (LFK) alakulása 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 laboratóriumi körülmények közötti frakcionálás közben a prés gép szétszerelése és takarítása közben számolni kell némi veszteséggel is, amivel folyamatos üzemi körülmények között már nem. Ebben a tekintetben a csicsóka esetében 5,7%-os, míg a lucerna esetében egy 5,1%-os akkumulált veszteséget tudtunk megállapítani.

3.4. Feldolgozott csicsóka zöld biomassza beltartalmi értékeinek eredménye

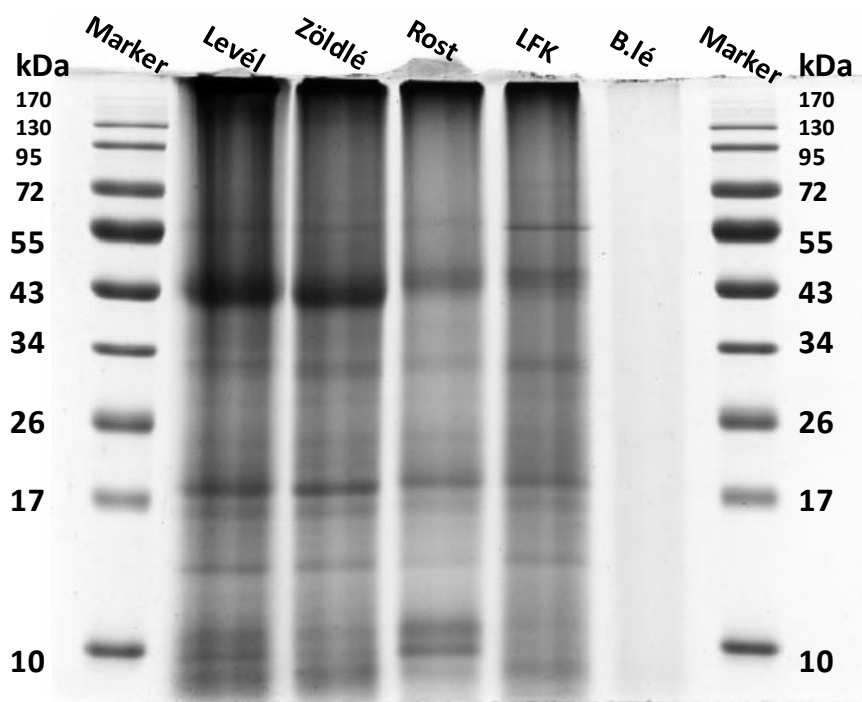
A **2. táblázat** foglalja össze a két év négy betakarításából származó csicsóka és lucerna zöld biomassza frakciók átlagos nyersfehérje tartalom eredményeit, melyet Kjeldahl-módszer alapján határoztunk meg.

2. táblázat A két év és négy betakarítás átlagából kapott nyersfehérje eredmények Kjeldahl módszer szerint

Nyersfehérje-tartalom (m/m%)	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, a csicsóka levelek esetében 22 m/m%-ot 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. A zöldlé fehérje tartalma 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 barnalénél átlagosan 0,72 m/m%-ot tudtunk kimutatni csicsókánál, a lucerna barnalé frakcióban további 1,66 m/m%-ot. 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 (5. ábra), 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 kaptunk a két év átlagát figyelembe véve.



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

A csicsóka frakciók fehérje minőségét tovább vizsgálva a molekulatömeg alapján szétválasztható fehérje expressziós mintázatot szemlélteti a **5. ábra** összehasonlítva az intakt levéllel. A második oszlopban a csicsóka intakt levelének fehérje profilja látható, mely nagyon hasonló mintázatot mutat a zöldlével összehasonlítva. A negyedik oszlop szemlélteti a rost frakciót. Összevetve a zöldlével és az intakt levéllel láthatjuk, hogy ~17 kDa körül a levélben és a zöldlében is hasonló a mintázat. Ez a sáv a rostban már nem látható. ~10 és 17 kDa közötti régióban a zöldlében megfigyelhető egy sáv, ami a rost frakcióban viszont nincs jelen. A rost

frakcióban ~11-12 kDa-nál egy erősebb mintázat látható, mely a zöldléből azonban hiányzik. Az ötödik oszlopban láthatjuk a levélfehérje-koncentrátum fehérje profilját. Ennél a frakciónál a felső, nagyobb tartományban várhatóak a fehérjék, de az expressziós mintázaton láthatjuk, hogy a termális koagulálás nem volt tökéletes, mert az kisebb méret tartományban is előfordulnak fehérjék. A barnalé frakció mintázatát 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 származékképzési módszerrel határoztuk meg UPLC-n (**3. táblázat**).

3. táblázat A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók aminosav és szabad aminosavtartalmának eredménye UPLC-PDA méréssel.

Jelmagyarázat: Piros számok – kalibráción kívül eső extrapolált eredmények, LOQ – nem detektált aminosavak

Aminosav	Aminosavtartalom hidrolizált frakció					Szabad aminosavtartalom				
	Levél	Zöldlé	Rost	LFK	Barnalé	Levél	Zöldlé	Rost	LFK	Barnalé
	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

A vizsgált csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók teljes aminosav 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 száraz mintára vonatkoztatva. Takarmányozási szempontból lényeges limitáló/esszenciális aminosavak közül a lizin 14,95, valamint a treonin 13,03 aa mg/g koncentrációja kiemelendő. Az LFK frakció jellemzően aggregálódott fehérjéket tartalmaz, ezt igazolja a szabad aminosav

tartalom eredmény is (0,26 aa mg/g), ami arányaiban elhanyagolhatóan kicsi a teljes aminosavhoz viszonyítva. A rost frakció eredményeit tekintve a teljes aminosavtartalom ~15 aa mg/g, a szabad aminosavtartalom esetében 9,77 aa mg/g mennyiséget tudtunk 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 aminosavtartalmat 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 **5. 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 (**6. ábra**), valamint meghatároztuk az összes fenolos komponens mennyiségét.

A 2016-os első betakarítás alkalmával kapott levélfehérje koncentrátum (LFK) frakció esetében a '*Piri*' fajtánál mértük a legnagyobb összes fenolos komponens 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.

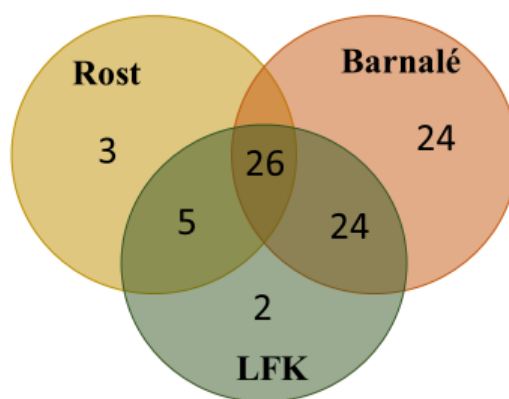
A 2017-es első betakarítás levélfehérje koncentrátum (LFK) frakciójában a legnagyobb mennyiségben '*Tápiói sima*' fajtában volt kimutatható (94,02 mg/g GAE), míg a legkisebb '*Fuseau*' fajtában volt (35,6 mg/g GAE). A második betakarítást alkalmával a '*Piri*' fajta igazán kimagasló eredményt mutatott,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

Általánosságban tekintve a LFK frakcióhoz hasonlóan a rost mintákban is magasabb összes fenolos komponens tartalom értékeket mértünk 2017-ben, mint 2016. évi betakarításokban. A fajtákat/ökotípusokat egymással összevetve tendenciózus változásokat nem tudtunk kimutatni: a 2016-ban elvégzett első betakarítás alkalmával a rost frakcióban a '*Kalevala*' ökotípus estében 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. Tendenciát tekintve a '*Rubik*' fajta mutatott mindkét betakarításnál magas értékeket. Ezzel együtt az első betakarítás rost frakciójában 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.

A zöldlé mikrohullámú 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 itt sem követnek tendenciát. A 2016-os 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 legkevesebb mennyiségben 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 mértek értéke (28,02 mg/ml GAE), de statisztikailag nem különbözött tőle.

Az UPLC-ESI-MS/MS mérésünk alkalmával összesen nyolcvannégy fitokémiai komponens sikerült azonosítani a csicsóka zöld biomassza különböző frakcióiban (**6. ábra**). 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.



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

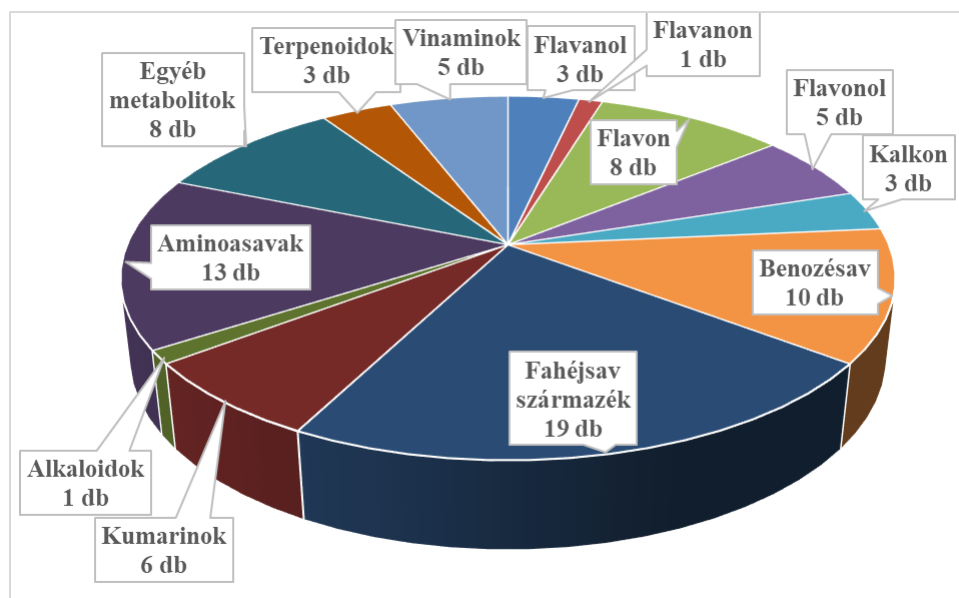
A beazonosított vegyületek jelentős része mindhárom frakcióban megtalálható volt (**6. ábra**). Összesen 26 darab, különböző kémiai sajátosságú fitokémiai komponens volt jelen mind a három frakcióban, mint például, *Epiafzelechin trimethyl ether*, *Vanillin*, *Azaleasav*, γ -*Aminovajsav* (GABA). Ezek a növényvilágban igen általánosan előforduló másodlagos anyagcseretermékek. Voltak azonban olyan komponensek is, melyeket csak az egyik vagy esetleg két frakcióban sikerült megtalálni. Ez nem feltétlenül jelentette azt, hogy adott frakcióban valóban nincs jelen az a komponens. Előfordulhat, hogy bár nagyon kis mennyiségben jelen volt, de ha fragmentációs mintázatot nem tudtunk a molekulatömeghez hozzárendelni, akkor nem fogadtuk el találatnak. Így a barnalé és az LFK frakciókban 24 darab közös komponenst is találtunk, szemben a rost és az LFK 5 darab közös vegyületével. Olyan anyagcsereterméket azonban nem tudtunk azonosítani, ami csak a barnalé és a rost frakciókban közösen lettek volna jelen.

Összesen 24 darab vízdékony vegyület volt csak a barnalében beazonosítható. A LFK frakcióban 2 darab olyan fitokémiai komponens volt, ami csak ebben a frakcióban volt megtalálható (*kvercetin* és az *isokvercetin*). A rost frakcióban azonban 3 darab olyan vegyület volt, ami csak erre a frakcióra volt jellemző (*kumarin*, *2-Hidroxihexadecanoi sav*, *4-Hidrox-3-methoxifahéjaldehyd*).

A könnyebb áttekinthetőség érdekében az azonosított vegyületeket szerkezetük alapján csoportosítottuk *Flavonoid*-, *Nem-flavonoid-típusú* vegyületekre, *Aminosavakra*, *Terpenoidokra*, *Vitaminokra* és *Egyéb metabolitokra* (**7. ábra**).

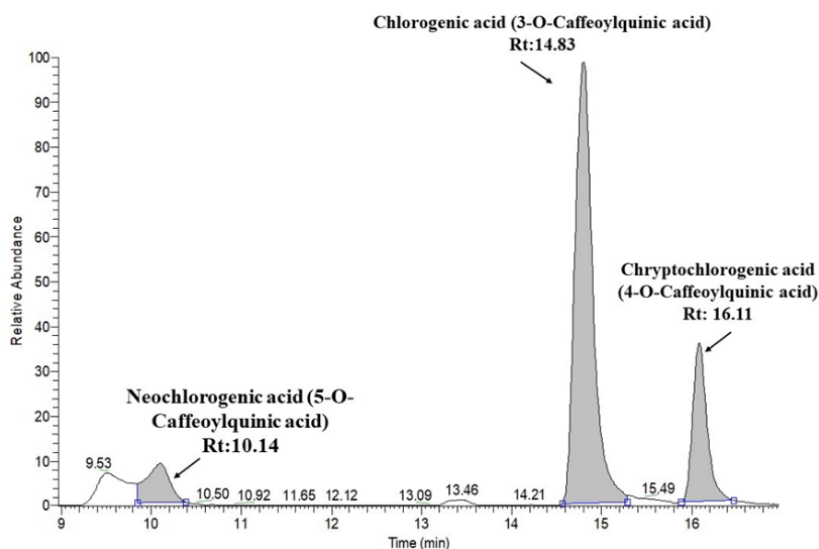
A frakcionált csicsóka zöld biomasszában először mutattunk ki a flavonoidokon belül több, egészségügyi szempontból igazoltan pozitív hatású hidroxilált metoxiflavont, úgymint dimetoxi-tetrahidroxiflavont, dihidrox-metoxiflavont, ezen kívül még himenoxint (5,7,-

Dihidroxi-3',4',6,8,-tetrametoxiflavon) és nevadenzint (*5,7-Dihidroxi-4',6,8-trimetoxiflavon*) is. Továbbá kimutattuk a liquiritigenint, mely egy ösztrogénhatású flavanon, valamint a buteint és a kukulkanin B-t, mint kalkonokat. Tudomásunk szerint azonban ez az első alkalom, hogy az izorhamnetin (*izorhamnetin-3-O-glükuronid*) és az izokvercetin (*kvercetin 3-O- β -D-glükopiranozid*) flavanolok glükuronid-származéka azonosításra kerültek csicsókában.



7. ábra A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciókból UPLC-ESI-MS-sel azonosított vegyületek mennyisége.

A fenolos vegyületek és a köztük tartozó fenolsavak az *Asteraceae* családra jellemző fontos vegyületcsoport. 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 különböző fenolsavat igazoltak a csicsóka zöld biomasszából származó frakciókban. A koffeoilkinasav három szerkezeti izomerjét azonosítottuk, eltérő retenciós idő mellett. A klorogénsav (*3-O-koffeoilkinasav*), neoklorogénsav (*5-O-koffeoilkinasav*), illetve kriptoklorogénsav (*4-O-koffeoilkinasav*) volt azonosítható. Neoklorogénsav és kriptoklorogénsav standardok 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 (**8. ábra**).



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

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. Kvantitatív méréseink alapján a klorogénsav a csicsóka LFK frakcióban 1374,6 és 3929,4 $\mu\text{g/g}$ között változott a két év és hét fajta/ökotípus tekintetében.

Négy különböző kumarin típusú vegyületet is találtunk. A szkopoletint (*7-Hydroxy-6-methoxycoumarin*) 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. Kvantitatív méréseink alapján a szkopoletin 1,77 és 1,94 $\mu\text{g/g}$ között alakult a csicsóka LFK frakcióban. 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).

Három terpenoid típusú vegyület következetesen jelen volt az összes csicsókából származó vizsgált frakciókban (*loliolid, dihidroaktinidiolidot, 7-Deoxyloganic acid isomer*). 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).

A vitaminok tekintetében B-vitamin-molekulákat, nikotinsavat (B₃-vit.) és nikotin amidot (B₃-vit. amidja), riboflavint (B₂-vit.) és biotint (B₇-vit.) találtunk. Kvantitatív méréseink alapján a csicsóka LFK frakcióban a B-vitaminok mennyisége a következőképpen alakultak: legnagyobb mennyiségben a B₂-vitamint (23,4-35,5 µg/g) mértük, a két B₃-vitamin esetében 1,9 µg/g-ot, míg a B₇-vitaminból 1,45 µg/g-ot tudtunk kimutatni.

Ezen túlmenően a frakciókban szerves savakat, almasavat és citromsavat, valamint növényi hormonokat, például indol-ecetsavat is azonosítottunk.

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

3.5. Zöld biomassza frakciók nyersfehérje eredményei

A vizsgált két év két betakarításának nyersfehérje meghatározását Kjeldahl-módszer segítségével végeztük el. A módszert általánosan alkalmazzák az élelmiszerek és takarmányok nyersfehérje meghatározásban.

4. 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	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 ±1,09 ^c	1,01 ±0,01 ^d	35,26 ±0,15 ^a	7,19 ±0,07 ^f	1,36 ±0,03 ^a	31,9 ±0,44 ^d
Fuseau	10,36 ±0,04 ^d	0,30 ±0,04 ^g	33,27 ±0,53 ^c	10,86 ±0,28 ^{cd}	0,55 ±0,03 ^e	35,44 ±0,5 ^b
Kalevala	13,12 ±0,44 ^b	0,94 ±0,02 ^e	33,78 ±0,36 ^c	11,5 ±0,10 ^b	1,35 ±0,03 ^a	33,55 ±0,36 ^c
Kercaszomori	14,12 ±0,42 ^a	0,53 ±0,02 ^f	33,63 ±0,39 ^c	9,58 ±0,47 ^e	0,44 ±0,02 ^f	27,64 ±0,34 ^f
Piri	11,81 ±0,29 ^c	0,96 ±0,01 ^e	34,5 ±0,34 ^b	13,86 ±0,29 ^a	1,03 ±0,05 ^b	32,38 ±0,24 ^d
Rubik	12,54 ±0,28 ^{bc}	1,49 ±0,03 ^a	30,94 ±0,05 ^d	11,37 ±0,13 ^{bc}	1,07 ±0,03 ^b	26,46 ±0,37 ^g
Tápiói sima	14,75 ±0,15 ^a	1,08 ±0,02 ^c	30,77 ±0,43 ^d	10,67 ±0,67 ^d	0,76 ±0,03 ^d	30,8 ±0,26 ^e
Hunor 40	12,49 ±0,14 ^{bc}	1,25 ±0,01 ^b	34,53 ±0,12 ^b	11,81 ±0,21 ^b	0,87 ±0,05 ^c	36,32 ±0,3 ^a

A 2016-ban végzett első betakarítás (4. táblázat) alkalmával kapott csicsóka rost frakciók nyersfehérjetartalma 10-14 m/m% volt. A lucerna esetében ez 12 m/m%. 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 levélfehérje-koncentrátum (LFK)

frakció 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%) nyersfehérje vonatkozásában. Összehasonlítva a lucerna LFK frakciót (34%) a csicsókákkal, láthatjuk, hogy az *'Alba'* ökotípusban 1%-kal többet kaptunk, mely statisztikailag igazoltan több volt.

2016 második betakarítása alkalmával a rost frakciók nyers fehérje tartalma 7,19 - 13,8 m/m% között változott. A barnalé frakció esetében a legtöbb csicsóka fajta/ökotípus 1 m/m% fölötti értéket mutatott. A LFK frakciót tekintve a lucerna érte el a legnagyobb nyersfehérjetartalmat, (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 kaposztafélék (*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 2017-ben elvégzett első betakarításnál (5. táblázat) a csicsóka fajtákból származó rost frakciók nyersfehérje-tartalma 9-14 m/m% között változott. A lucernával összehasonlítva egy csicsóka fajtánál (*'Fuseau'*) tapasztaltunk magasabb nyersfehérje-tartalmat (14 m/m%). A csicsóka barnalé frakciók nem tudták 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.

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.

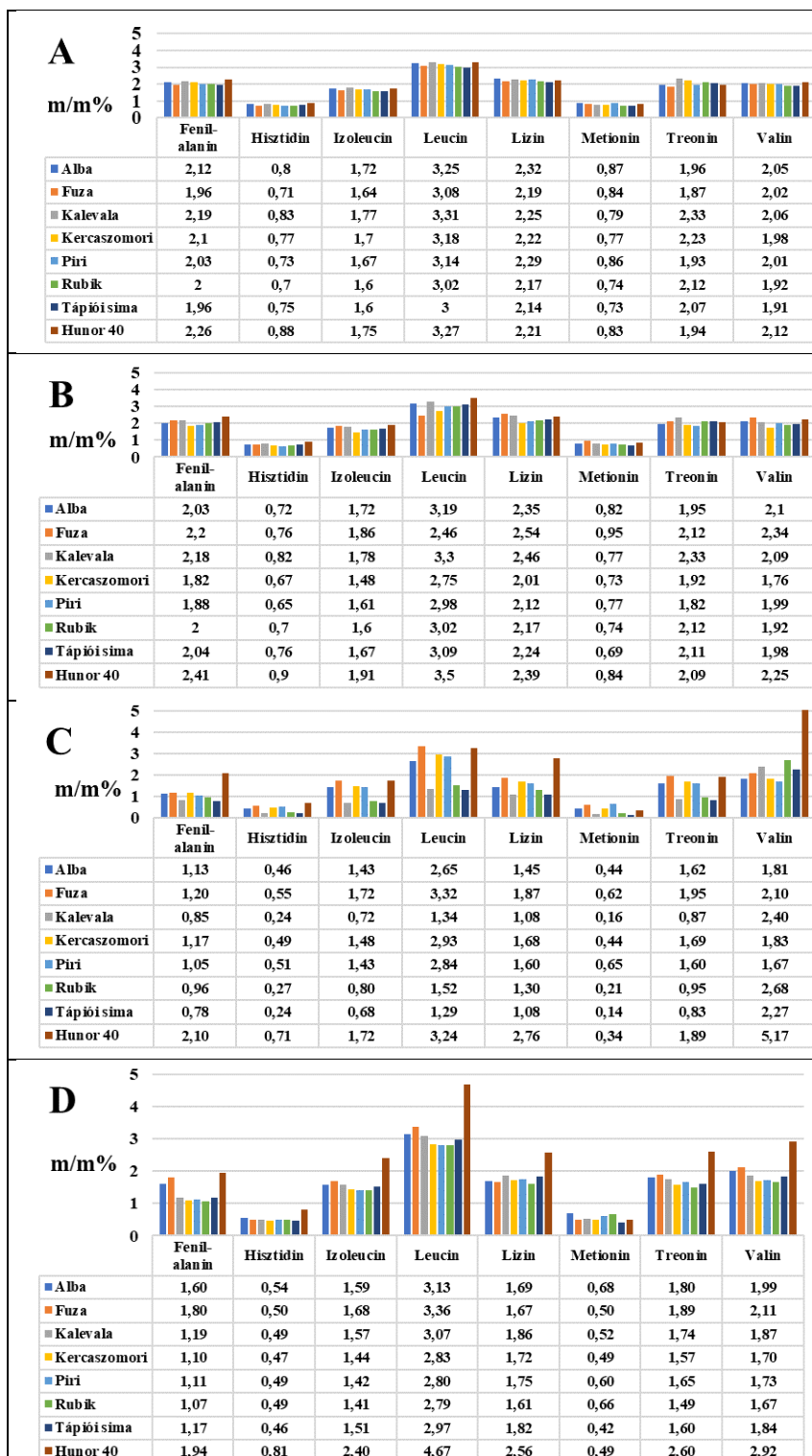
A második betakarítás alkalmával a csicsóka rost frakcióinak nyersfehérje-tartalma 11-14 m/m% között változott. A lucernáé pedig 12 m/m% volt. A csicsóka fajták közül a *'Fuseau'*, *'Kalevala'* és a *'Kercaszomori'* fajták/ökotípusok felülmúlták a lucernát és ez statisztikailag igazolható is volt. A 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.

5. 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	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

3.6. A csicsóka zöld biomassza eredetű frakciók aminosavösszetételének eredményei

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 betakaríthatóságot, ami folyamatos nyersanyagutánpótlást biztosít egy-egy üzemegységnek. Ilyen szemlélet mentén elvégeztük a vizsgált két év első és második betakarítása alkalmával kapott szilárd frakciók (LFK és rost) aminosav összetételének vizsgálatát, melyet a **9-10. ábrák** foglalják össze. A kapott értékek 100 g száraz homogenizált mintára vonatkoztatva értendők.



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

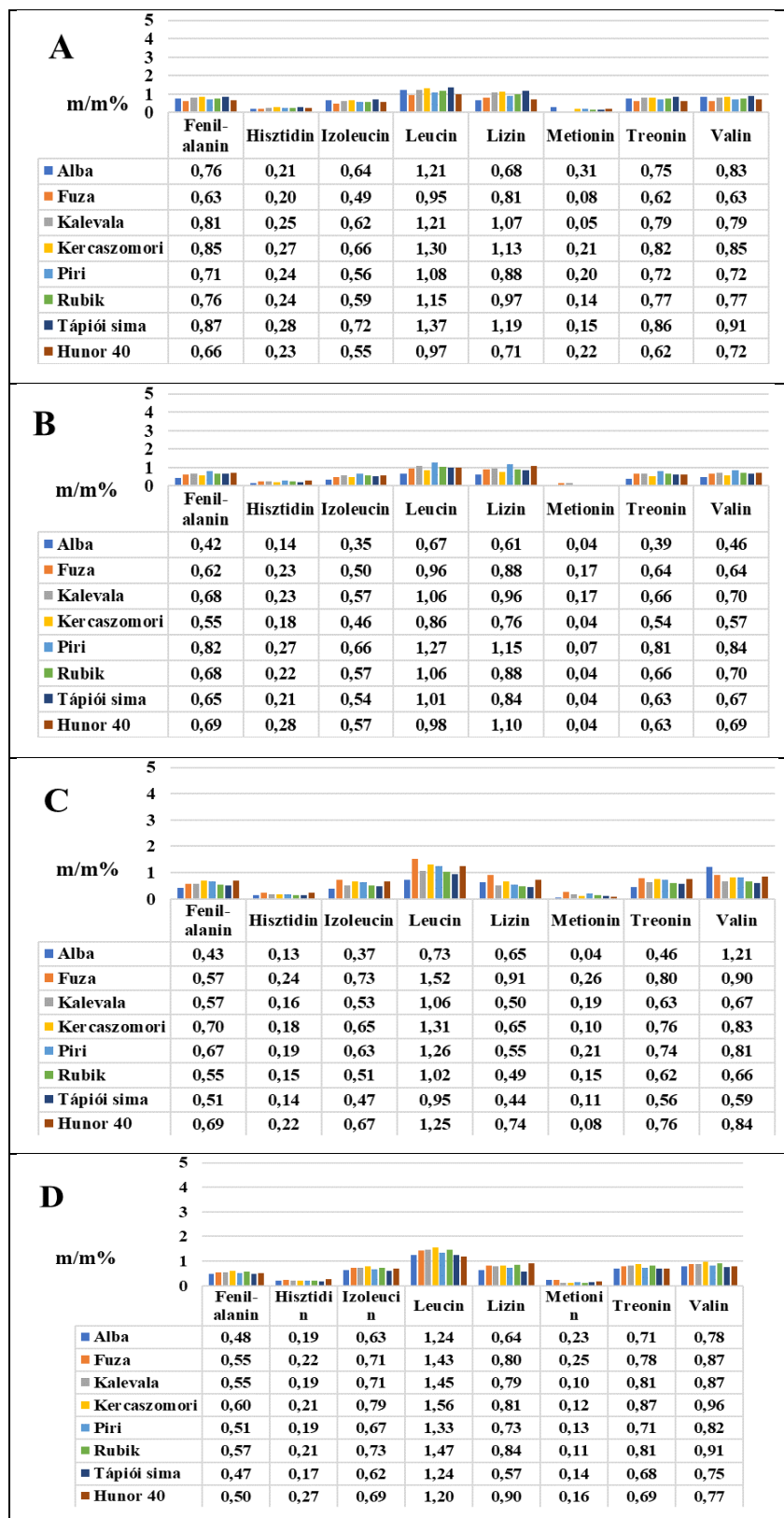
A levélfehérje koncentrátum (LFK) frakcióban vizsgált esszenciális aminosavak egymáshoz viszonyított aránya hasonló volt a vizsgált két betakarításait figyelembe véve (9/A - D ábra). Ezzel szemben az egyes aminosavak abszolút mennyiségét vizsgálva jelentős eltéréseket lehet tapasztalni.

A LFK frakcióban az egyes esszenciális aminosavak mennyiségi megoszlása fajtánként/ökotípusonként kis eltéréseket mutattak a 2016. évi betakarításoknál (**9/A és B ábra**). Ezzel szemben 2017-ben több aminosav esetében (pl. leucin, treonin) kiugró értékeket kaptunk, ami összefüggést mutat a nyersfehérje tartalommal (**9/C és D ábra**). Ez vonatkozik a lucernára is, melynek csicsókához viszonyított kiemelkedő, száraz tömegére vonatkoztatott aminosav értékei szignifikánsan nagyobbak voltak, mint csicsóka esetében, fajtától/ökotípustól függetlenül. Az extenzív termesztési körülmények, az abiotikus tényezők, illetve a talaj heterogenitása együttesen befolyásolja a fehérje tartalmát 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%) az 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. 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 esetén is a három aminosav esetében közel azonos mennyiséget tudtunk kimutatni, de a 2016-os évhez képest kevesebbet. Ez egyértelműen összefüggésben áll a fehérjetartalommal (**3-4. 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 csicsóka fajták/ökotípusok esetében (**3-4. táblázat**). Ilyen megközelítésből volt érdekes vizsgálni a két év betakarításának csicsóka fajták/ökotípusok zöld biomassza eredetű rost frakcióinak aminosav összetételét, melyet a **10. ábra** szemléltet.



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

Hasonlóan az 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 voltak kimutathatók.

A kontrollként szereplő 'Hunor 40' lucerna fajta rost frakcióiban az aminosavak kevesebb mennyiségben voltak kimutathatók, mint a csicsókákban. Ezek az arányok minden vizsgált év minden 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 (**10/B ábra**) alkalmával (0,04 m/m%), mint az első (**10/A ábra**) esetében (~0,15 m/m%) a csicsókákra és a lucernára is nézve. Kis mennyisége a fehérjékben való előfordulási gyakoriságával, és ezzel együtt kémiai szerkezete miatt érzékeny a savas hidrolízis okozta mintaelőkészítésre (TROVATO et al. 2021). 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 az LFK frakcióhoz képest, az aminosavak aránya nem változik a két frakcióban.

3.7. 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.

A fentiekkel összhangban elvégeztük a csicsóka zöld biomasszából nyert egyes frakciók (rost, zöldlé) valamint intakt levelek fotoszintetikus pigment tartalmának elemzését

spektrofotometriás módszerrel. 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.

A három frakció közül a levelek esetében mértük a legnagyobb fotoszintetikus pigment tartalmat, míg a legkevesebbet a rost frakcióban minden vizsgált paraméter esetében. 2016-ban az intakt levél frakción belül 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 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 különbséget tapasztaltunk a két év között, 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 különbséget nem tudtunk kimutatni.

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 mennyiségé.

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 mennyiségé. 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 (NOZIÈRE et al. 2006).

4. Az értekezés új tudományos eredményei

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 1,49 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 fahavonoidokon belül nagy számban metoxi-hidroxiflavonokat, úgymint *dimetoxi-trihidroxiflavon*, *dimetoxi-tetrahidroxiflavon*, *dihidroximethoxiflavon*, *trihidroxitrimetoxiflavon*, 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.

5. Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

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 beilleszthetőek lehetnek táplálék kiegészítők formájában.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- 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.
- 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
- 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"*
- 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
- Kisbenedek, A és Szabó, Z.*: 2015. Élelmiszertudományi Ismeretek. Medicina Könyvkiadó Zrt. Budapest, 2015. pp.347
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- Oleszek, M.; Kowalska, I.; Oleszek, W.: 2019. Phytochemicals in bioenergy crops. *Phytochem. Rev.* 18, 893–927
- Pas'ko: 1973. [Basic morphological features for distinguishing varieties of Jerusalem artichoke], *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii.*, 50(2), 91–101.
- Seiler, G.J.: 1988. Nitrogen and mineral content of selected wild and cultivated genotypes of Jerusalem artichoke. *Agron. J.* 80, 681–687.
- 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.
- 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
- Telek, L.: 1983. Leaf protein extraction from tropical plants. *Plants: The Potentials for Extracting Protein, Medicines, and Other Useful Chemicals—Workshop Proceedings*
- 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
- Venugopala, K.N.; Rashmi, V.; Odhav, B.: 2013. Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed Res. Int.* 963248.
- 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
- 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.
- 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.

7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK



**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.

Idegen 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: Arcokkal 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., Bákonyi, 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., Csihon, Á., **Kaszás, L.**, Puskás, A., Zsembeli, J.: Néhány termesztett kultúrnövényünk érzékenységeinek vizsgálata és biológiai alapjainak fejlesztése a kedvezőtlen ökológiai körülményekhez való alkalmazkodás vonatkozásában.
In: Az ismeretszerzéstől az ismeretátadásig : a Kerpely Kálmán Szakollégium gyakorlatorientált kutatási projekteinek 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: 19786155969027

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

20. Kovács, Z., Alshaal, T., Elhawat, 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 tudánymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.04.28.



