

# **Doktori (PhD) értekezés tézisei**

## **A lucerna levélfehérje-koncentrátum előállítása, értéknövelési lehetősége szelén fortifikálással**

Kovács Zoltán

Témavezető:

Dr. Domokos-Szabolcsy Éva, PhD



**DEBRECENI EGYETEM**

**Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola**

**Debrecen**

**2023**

## 1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Doktori munkámban összefoglalom a zöld biofinomítás és az agronómiai szeléndúsítás összekapcsolásának lehetőségét vizsgáló kutatásunkat az évelő zöld fehérjenövény, a lucerna (*Medicago sativa* L.) példáján. Kísérleteink során három különböző szerves szelénformával (szelenát (Se(VI); szelenit (Se(IV) és vörös elemi szelén (Se(0)) végeztünk talajkezelést eltérő koncentrációkban, tenyészedényes és szabadföldi körülmények között. A szelénkezeléseket követően egymás után négy alkalommal takarítottuk be az újrachajtott friss lucernabiomasszát és a zöld biofinomításnak megfelelő technológiával feldolgoztuk, így présrost-, levélfehérje-koncentrátum- (LFK) és barnalé-frakciókat kaptunk. Vizsgáltuk a különböző szelénformák hatását és beépülését a biofinomítás során kinyert frakciókba.

### A doktori kutatás célkitűzései:

- Kémiai formától és dózistól függően, a szeléndúsítás milyen hatást gyakorol az évelő takarmánynövény, a lucerna növekedésére és a zöld biofinomítás lépéssorait követve befolyásolja-e a kinyert frakciók arányát és kihozatalát?
- Melyik szerves szelénforma és koncentráció az, amely optimális növénytermesztési szempontból és ezzel együtt felhasználási szempontból?
- A fortifikálás során, a lucernában milyen formákban halmozódik fel a talajból felvett szerves szelén, és ezek a *speciess*ek hogyan oszlanak meg a feldolgozott lucernafrakciókban?
- Hogyan befolyásolja az alkalmazott szelénforma és a koncentráció a szelén szerves módosulatokba épülését a lucernában?
- A szelén fortifikálás befolyásolja-e a lucernából előállított frakciók/termékjelöltek fehérjetartalmát, illetve fitokémiai összetételét?
- A tenyészedényes kísérletek eredményeit figyelembe véve, szabadföldi, kisparcellás körülmények között, milyen, gyakorlati szempontból relevánsabb eredményekre számíthatunk?

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1 Kísérleti beállítások és szelén kezelések

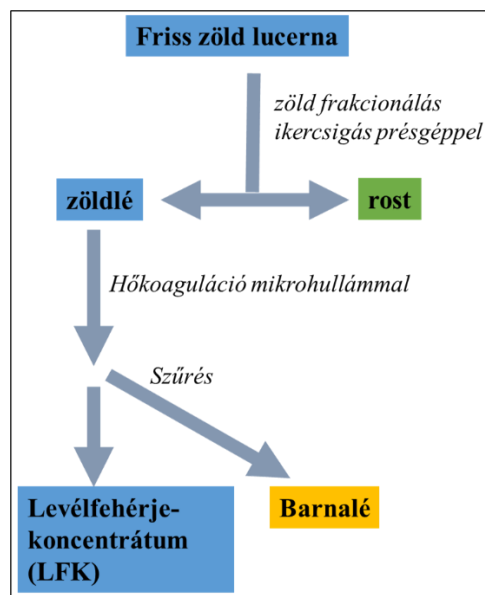
Tenyészedényes és szabadföldi lucernakísérleteket állítottunk be a szelénkezelések elvégzéséhez (1. táblázat). Mindkét esetben 5-10 leveles állapotban végeztük a talajkezelést, majd a tenyészedényes kísérletben 4, szabadföldi kísérletben 3 betakarítást végeztünk a megfelelő fejlettségi állapotú, betakarítható növényállományból. Tenyészedényes kísérlet során a teljes friss zöld biomasszát feldolgoztuk. Szabadföldi kisparcellás kísérletben háromszor 1 kg mintát gyűjtöttünk minden parcelláról és a biomasszát zöld biofinomítással feldolgoztuk.

1. táblázat: A lucernakísérletben vizsgált szelénformák és kijuttatott koncentrációk.

tenyészedényes kísérlet				
szelénforma	kontroll ∅	nátrium-szelenát Se(VI)	nátrium-szelenit Se(IV)	vörös elemiszelén-szol Se(0)
kijuttatott mennyiség (mg/kg)	0	1 10 50	1 10 50	- 10 50
szabadföldi kísérlet				
szelénforma	kontroll ∅	nátrium-szelenát Se(VI)	nátrium-szelenit Se(IV)	vörös elemiszelén-szol Se(0)
kijuttatott mennyiség (mg/m <sup>2</sup> )	0	5 50	5 50	50 100

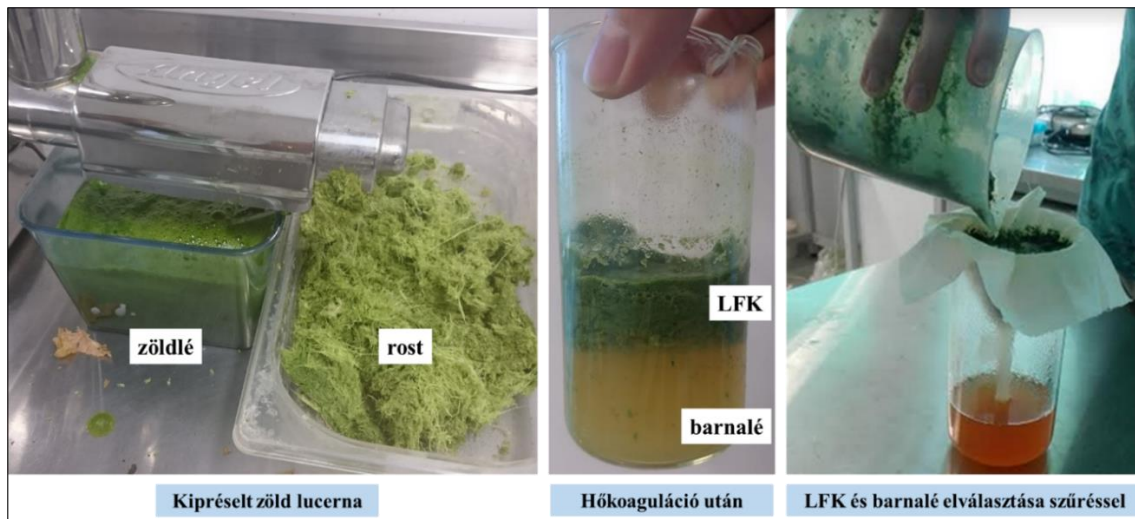
### 2.2 A Zöld biomassza betakarítás és feldolgozása tenyészedényes és kisparcellás kísérletből

A zöldbimbós állapotban lévő lucernát betakarítás után zöld biofinomításnak megfelelően feldolgoztuk, melynek lépéseit az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A zöld biofinomítás folyamatábrája.

A kipréselt lucernából keletkező zöldlevet szabadalmaztatott mikrohullámú hőközlésen alapuló technikával  $80\pm 2$  °C hőmérsékleten koaguláltuk (Fári & Domokos-Szabolcsy, 2018). A folyamat végére levélfehérje-koncentrátum és barnalé keletkezik, melyeket pamut textilen való szűrővel választottunk el egymástól (2. ábra).



2. ábra: A zöld biofinomítás folyamata képekben, a folyamat végén keletkező frakciókkal, rost, levélfehérje-koncentrátum (LFK) és barnalé.

### 2.3 Teljes szeléntartalom meghatározása

A komplex növényi minták teljes szeléntartalmának meghatározásához salétromsavas roncsolást végeztünk. A roncsolatok teljes szeléntartalmát hidridgeneráló-atomfluoreszcens spektrométerrel (HG-AFS) állapítottuk meg.

### 2.4 Szelénspeciáció mérések

A szeléndúsított lucernafrakciók speciációs analitikai vizsgálataihoz vizes és enzimes kivonatokat készítettünk Dernovics és munkatársai szerint (2002). A szelén-*species*-ek elválasztását és mérését anioncserélő, kapcsolt kromatográfiás rendszerben, nagynyomású folyadékkromatográf induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (HPLC-ICP-MS) végeztük, és a  $^{78}\text{Se}$  és  $^{80}\text{Se}$  tömegszámú szelén izotópokat detektáltuk.

### 2.5 Nyersfehérje- és aminosavtartalom meghatározása

A szeléndúsított lucernaminták nyersfehérje-tartalmát Kjeldahl szerinti módszerrel határoztuk meg. A mérések akkreditált körülmények között MSZ EN ISO 5983-2:2009 számú szabvány szerint történtek. A fehérjealkotó aminosavak mérése az MSZ EN ISO 13903:2005 számú szabvány szerint, sósavas hidrolízist követően ninhidrines származékképzéssel történt.

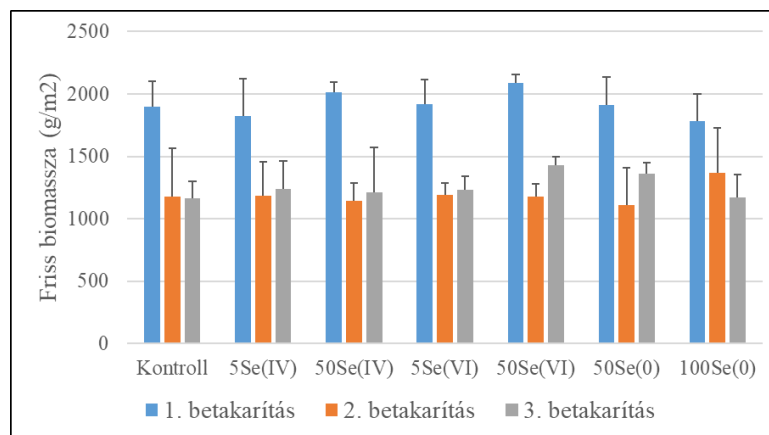
## 2.6 Fitonutriensek kvalitatív, kvantitatív meghatározása

A fitonutriense kvizsgálatához a liofilizált, porított mintákból és a folyadék barnalevekből metanolos kivonatokat (70 (V/V)%) készítettünk. A vizsgálatokat ultranagy-hatékonyságú folyadékkromatográf elektrospray ionizációs tömegspektrométer (UHPLC-ESI-MS) analitikai rendszeren végeztük. A retenciós idő és a fragmentációs mintázat alapján, szoftveresen elemeztük és azonosítottuk a komponenseket.

## 3. EREDMÉNYEK

### 3.1 Szabadföldi lucernakísérlet betakarítható biomassza eredményei

Az egy négyzetméterről betakarítható friss biomassza mennyiségét a 3. ábra szemlélteti. A kezelések utáni első betakarításkor találtuk a legtöbb biomasszát, a betakarítás átlaga  $1,9 \text{ kg/m}^2$  volt. Ezt követően a második  $1,2 \text{ kg/m}^2$ ; a harmadik  $1,3 \text{ kg/m}^2$  betakarítható friss lucernabiomasszát eredményezett. A szelénkezeléseket betakarításon belül vizsgálva, átlagosan a kis koncentrációjú szelenit- és szelenát- (5Se(IV) és 5Se(VI)) kezelés a kontroll lucernához hasonló biomassza eredményeket ért el mind a három vizsgált betakarítás alkalmával. Nagyobb koncentrációban ( $50 \text{ mg/m}^2$ ) azonban a kontrollnál átlagosan több friss biomasszát lehetett betakarítani négyzetméterenként mindkét ionos forma esetében. Ez a pozitív különbség az első betakarítás alkalmával bizonyult a legnagyobbnak, a kontroll érték  $1899 \text{ g/m}^2$ , az 50Se(IV)  $2015 \text{ g/m}^2$ , az 50Se(VI) pedig  $2086 \text{ g/m}^2$  volt.



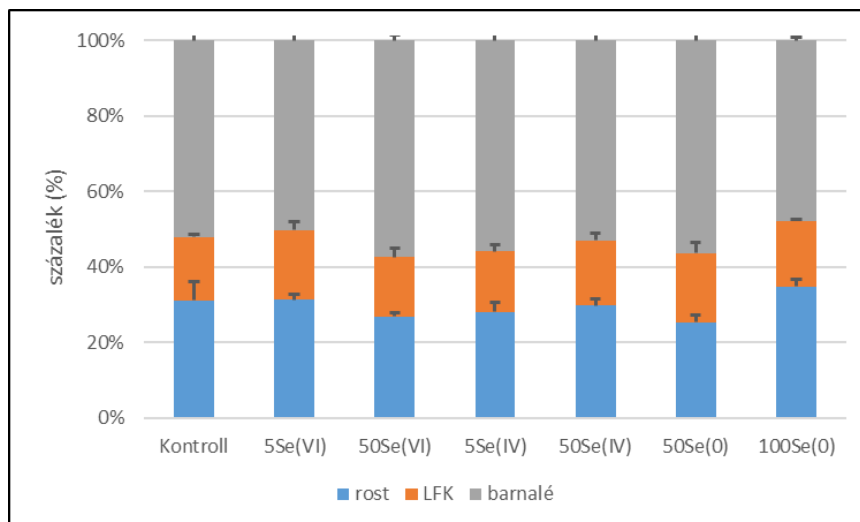
3. ábra: Parcellákról betakarítható friss zöld biomassza mennyisége  $\text{g/m}^2$ -ben kifejezve, három egymást követő betakarítás alkalmával.

### 3.2 Szelénkezelt lucerna frakcionálás eredményei

A tenyészedényes lucerna esetében a több koncentrációban és formában végzett szelénkezelés nem befolyásolta a rost- és zöldlé-frakciók kihozatali arányát. A továbbiakban a zöldlében lévő fehérjék mikrohullámú koagulálását követően elválasztott LFK- és barnalé-frakciók aránya sem változott tendenciózusan a szelénkezelések hatására. Átlagosan  $40 \pm 3,6\%$  rost,  $38 \pm 4,7\%$

barnalé és  $20 \pm 3,2\%$  LFK kihozattal értünk el a tenyészedényes kísérlet 4 vizsgált betakarításában. Ezek az arányok összhangban vannak korábban, több ismétlésben végzett frakcionálási adatokkal (Kaszás *et al.*, 2020a; Kaszás *et al.*, 2020b; Domokos-Szabolcsy *et al.*, 2020; Hansen *et al.*, 2022).

Szabadföldi, kisparcellás kísérletből származó lucernafrakciók egymáshoz viszonyított arányát a 4. ábra mutatja be. Nem tudunk összefüggést kimutatni a szelénkezelés és a frakciók mennyisége között még a nagy koncentrációjú kezelések (50, 100 g/m<sup>2</sup>) esetében sem. A kapott eredmények azonban összhangban vannak korábbi, szabadföldi lucerna fajtaösszehasonlító kísérlet feldolgozási adataival (Kovács *et al.*, 2022), vagyis a présrost 30 %-ban, az LFK 17%, a barnalé pedig 50 %-ban keletkezik a folyamat végére. A tenyészedényes kísérletben azonban a présrost 40%-os részt ért el szemben a szabadföldi kísérletben tapasztalt 30%-kal.



4. ábra: Szabadföldi lucernakísérletből származó frakciók százalékos megoszlása a szelénkezelést követő első betakarításkor.

### 3.3 Szárazanyag-tartalom a szeléndúsított lucernafrakciókban

Tenyészedényes kísérletben nevelt lucernából előállított LFK szárazanyag-tartalma a négy betakarítás során 16,5-31% között változott, átlagosan 25,4% volt. Az ionos Se-formák koncentrációjának növelése jelentősen csökkentette az LFK szárazanyag-tartalmát, arányokat tekintve a 10Se(VI) kezelt LFK szárazanyag-tartalma 80%-a volt a kontrollhoz viszonyítva, az 50Se(IV) pedig 83%-a. A rost szárazanyag-tartalma 35,2-51,5 % közötti volt a kezelt és a kontroll lucernafrakcióban. A szabadföldi kísérlet során a rost- és LFK-minták esetében is kisebb az értékek terjedelme a tenyészedényes kísérlethez viszonyítva, mely a kisebb dózisu szelénkezelések hatásának tudható be. A rost 41-50% szárazanyag-tartalommal rendelkezett,

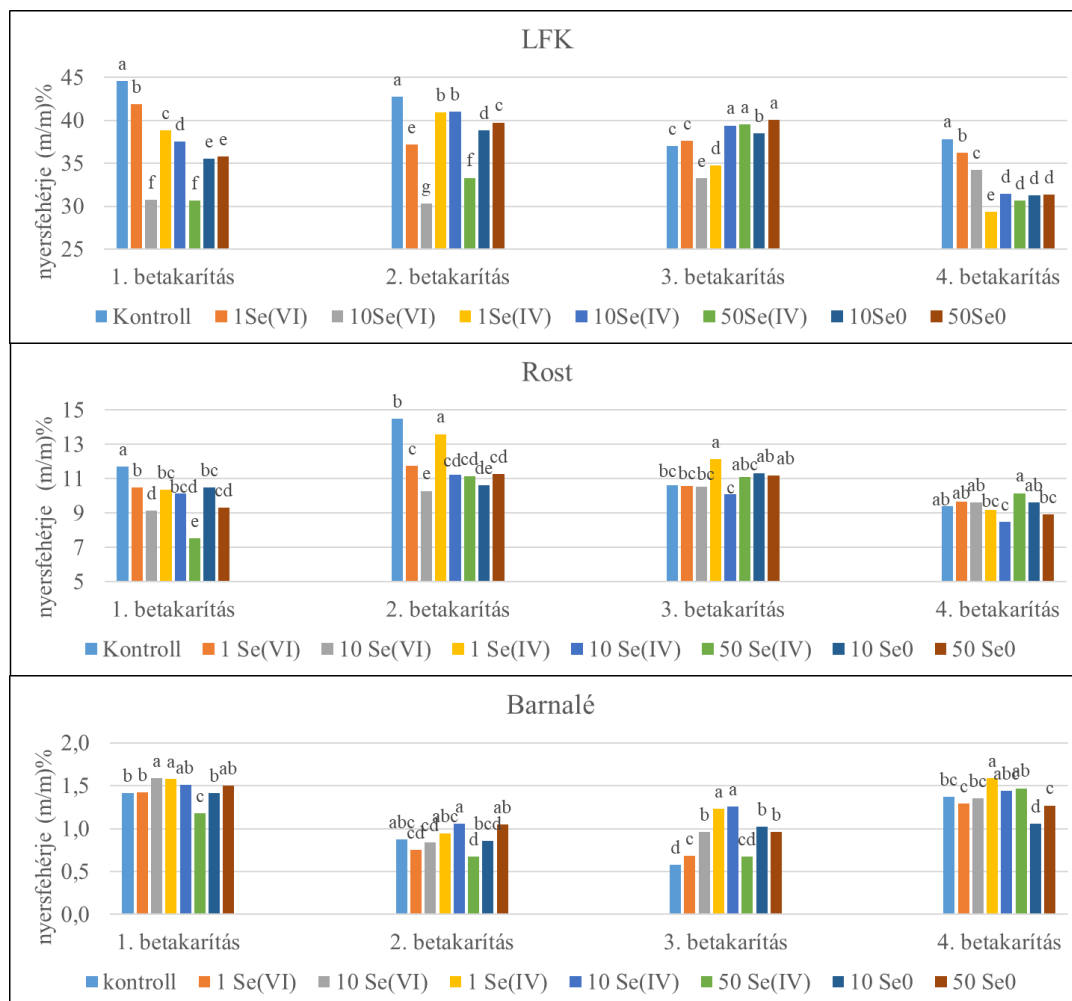
az LFK pedig 23-27%-kal (2. táblázat). A szelénkezeléseknek nincs egyértelmű negatív hatása a rost és LFK szárazanyag-tartalmára a szabadföldi körülmények között.

2. táblázat: Szárazanyag-tartalom eredmények a szabadföldi lucerna kísérletből, tömegszázalékban kifejezve ((m/m) %), a kezelések és a három vizsgált betakarítás átlaga (n=3).

rost	Betakarítás		
	1.	2.	3.
Kontroll	48,3±0,5	42,3±1,7	42,4±0,4
5Se(VI)	48,7±1,7	41,1±1,2	42,5±4,5
50Se(VI)	47,8±1,5	42,6±0,5	42,4±1,2
5Se(IV)	48,6±0,6	42,3±0,7	41,9±1,5
50Se(IV)	49,2±0,6	42,1±1,1	41,0±0,6
50Se(0)	47,9±0,8	41,5±1,5	42,3±1,9
100Se(0)	50,5±0,4	42,3±1,1	41,8±0,8
<b>LFK</b>			
Kontroll	26,1±1,0	25,0±1,0	25,2±0,4
5Se(VI)	26,1±2,6	25,3±0,6	24,8±0,6
50Se(VI)	26,4±2,8	23,6±0,9	25,1±0,5
5Se(IV)	26,3±0,9	24,4±0,4	26,5±1,3
50Se(IV)	27,2±0,4	25,5±1,8	24,0±2,1
50Se(0)	24,4±1,3	25,1±1,2	23,0±2,5
100Se(0)	27,3±1,0	24,8±2,0	25,5±1,6

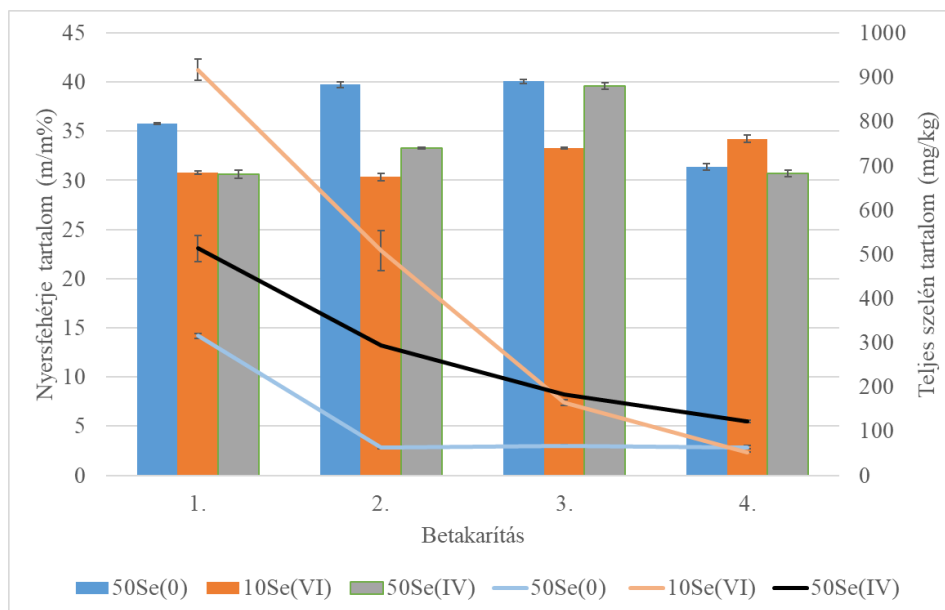
### 3.4 Nyersfehérje-tartalom és aminosavösszetétel a szelénkezelt lucernafrakciókban

A zöldsében lévő fehérjék koagulálásának eredményeképpen az LFK-frakciók nyersfehérje-tartalma volt a legmagasabb (36,3±4,1 m/m%) ezt követték a rost-frakciók (10,5±1,4 m/m%) és a barnalé (1,1±0,3 m/m%). A kezelések tekintetében a harmadik betakarítás kivételével a tenyészedényes kísérlet során a legnagyobb nyersfehérje-tartalmat a kontroll LFK-ban mértük. Az ionos formák, vagyis a 10Se(VI) és 50Se(IV) nagy koncentrációi az LFK nyersfehérje-tartalmának csökkenését okozták, mely a toxikus szelénszint jellemzője (Kolbert *et al.*, 2019). A préselt rost fehérjetartalma hasonló tendenciát mutatott mint az LFK. A legkisebb értékek a negyedik betakarításkor 8,47 és 10,16 (m/m)% voltak (5. ábra). A barnalé nitrogéntartalma 0,58 és 1,59 (m/m)% között változott (5. ábra). Az LFK- és a rostfrakciókkal összehasonlítva a barnalé kis szórása következtében, értékeiben nem olyan erősen kimutatható a szelénkezeléssel összefüggő tendencia.



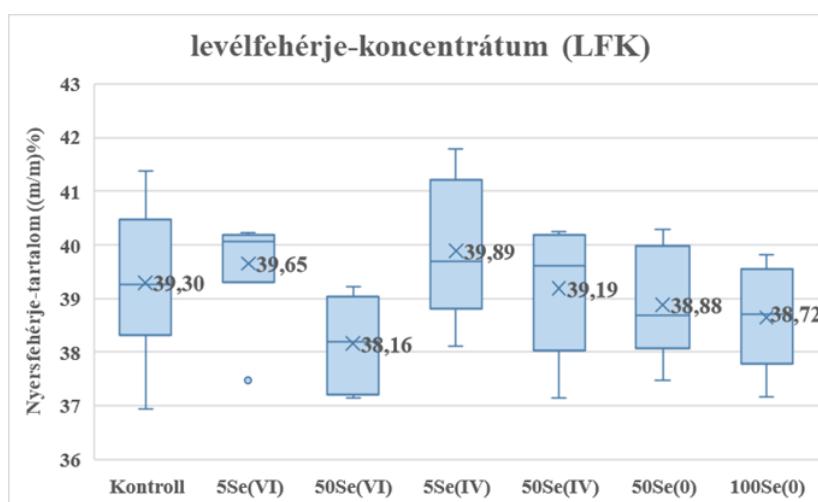
5. ábra: Tenyészedényes kísérlet LFK-, rost- és barnalé-frakcióinak nyersfehérje-tartalom eredményei a négy egymást követő betakarítás alkalmával. Az átlag értékek (n=3) közötti statisztikailag szignifikáns különbséget az oszlopok fölé írt eltérő betűk jelzik ( $p \leq 0,05$ ).

A szeléntartalom és a nyersfehérje-tartalom között negatív összefüggést tapasztaltunk a nagy koncentrációjú kezeléseknél (10Se(VI), 50Se(IV), 10Se0) a betakarítások során. Az első betakarítás alkalmával, mikor a szeléntartalomból a legnagyobb értékeket mértük, a nyersfehérje-tartalom alacsonynak bizonyult (6. ábra).



6. ábra: Levélfehérje-koncentrátum (LFK) nyersfehérje-tartalom és teljes szeléntartalom összefüggések a négy betakarítás során, csak a legnagyobb koncentrációjú, 50 mg/kg Se(0), 10 mg/kg szelenát és 50 mg/kg szelenit kezelések esetében.

A szabadföldi lucernakísérletben három egymást követő betakarítást végeztünk a szelénkezelések után. A mintatípusok átlagos értékeit figyelembe véve a szabadföldi és a tenyészedényes kísérletben hasonló eredményeket kaptunk. Az LFK nyersfehérje-tartalma volt a legmagasabb a szabadföldi kísérletben 38-39 % (7. ábra). A tenyészedényes kísérlettel szemben szabadföldi körülmények között kisebb dózisokat alkalmaztunk. Ezzel összefüggően nem tapasztaltunk nagymértékű különbséget a fehérjetartalom változásában a kezelések között.

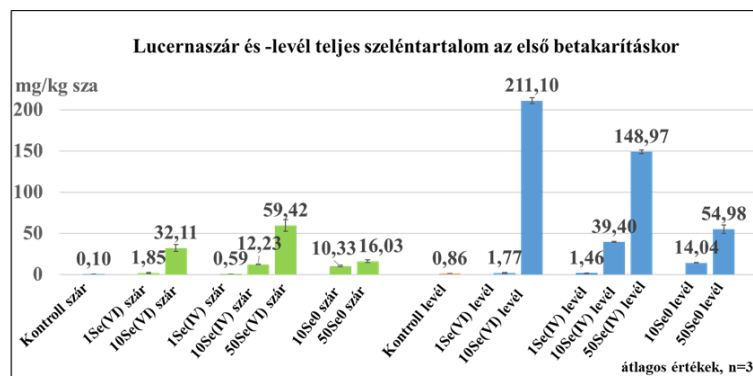


7. ábra: Nyersfehérje-tartalom eredmények a levélfehérje-koncentrátum (LFK) frakcióból, a három egymást követő betakarítás átlagában, a szabadföldi kisparcellás kísérletben.

A proteinogén aminosavak mennyiségét a tenyészedényes kísérlet esetében 1. és 4. betakarítás LFK- és rostfrakciókból határoztuk meg. Az aminosavak összegét tekintve csökkenés figyelhető meg azonban a 10Se(VI) és az 50Se(IV) kezeléseknél nőtt az aminosavak mennyisége a 4. betakarításra a rost- és LFK-mintákban. Azonban különböző mértékben a 10Se(VI) kezelés esetén az LFK-ban, 50Se(IV) kezelés esetén pedig a rost mintában volt nagyobb az aminosavak növekedése.

### 3.5 Szeléntartalom és szelénspeciáció mérések eredményei

A zöld biofinomítás során keletkező frakciók, LFK, rost és barnalé szeléntartalmát mind a négy betakarítás alkalmával meghatároztuk. Emellett a zöld frakcionálás alapanyagául szolgáló friss hajtások szeléntartalmát is megmértük levelekre és szárra bontva. A szelénkezelést egyszer végeztük a magvetést követően, így a vizsgált vegetációs periódus alatt a növények a talajból vették fel a kijuttatott különböző szelénformákat. A négy egymást követő betakarítás eredményei a 3 vizsgált szelénforma (Se(VI), Se(IV), Se0) felvételének dinamikáját mutatják. A friss hajtásokat vizsgálva a levelek tendenciózusan több szelént akkumuláltak minden szelénforma és koncentráció esetében, mint a szárak. Az első betakarítás során 10 mg/kg szelenát (Se(VI)) kezelés esetében 6,5-szer több szelén volt a levelekben ( $211,1 \pm 3,5$  mg/kg) mint a szárakban ( $32,1 \pm 4,1$  mg/kg). 50 mg/kg szelenit (Se(IV)) kezelés esetében is nagy volt a szeléntartalom mindkét frakcióban (levelekben  $148,9 \pm 2,4$ , szárban  $59,4 \pm 7,2$  mg/kg), de a különbség itt csak 2,5-szeres közöttük (8. ábra). A vörös elemi szelénnel (10Se(0), 50Se(0)) kezelt növények esetében jellemzően kisebb koncentrációkat tudtunk mérni. A két ionos formát vizsgálva, a kezeléseken belül, az eltelt idővel folyamatosan csökken a szeléntartalom a 4 betakarítás végére. Az vörös Se(0) alkalmazása csökkent Se-felvételt mutatott a Se(VI) és Se(IV) ionos formákhoz képest, azonban a négy betakarítás között a vörös elemi szelénnél kisebb ingadozást észleltünk.



8. ábra: A lucernaszár és -levél teljes szeléntartalma az első betakarítás alkalmával, 20 nappal a szelénkezelés után.

A feldolgozott lucernafrakciók szeléntartalmát összehasonlítva legnagyobb értékek az LFK-frakciókban voltak mérhetőek, ezt követte a rost- és a barnalé-frakció (3. táblázat). A rost szeléntartalma hozzávetőlegesen a negyede az LFK-ban mért koncentrációknak minden betakarításnál. A barnalevek szeléntartalma 0,33-120,5 mg/l között alakult a kezelés és betakarítások függvényében, jellemzően tizede az azonos feldolgozásból származó LFK-nak.

3. táblázat: A zöld frakcionálással keletkező szeléndúsított lucernatermékek teljes szeléntartalma. Az egy betakarításon és mintatípuson belül különböző betűkkel felső indexált értékek között szignifikáns ( $p \leq 0,05$ ) különbség mutatható ki (Tukey-teszt alapján).

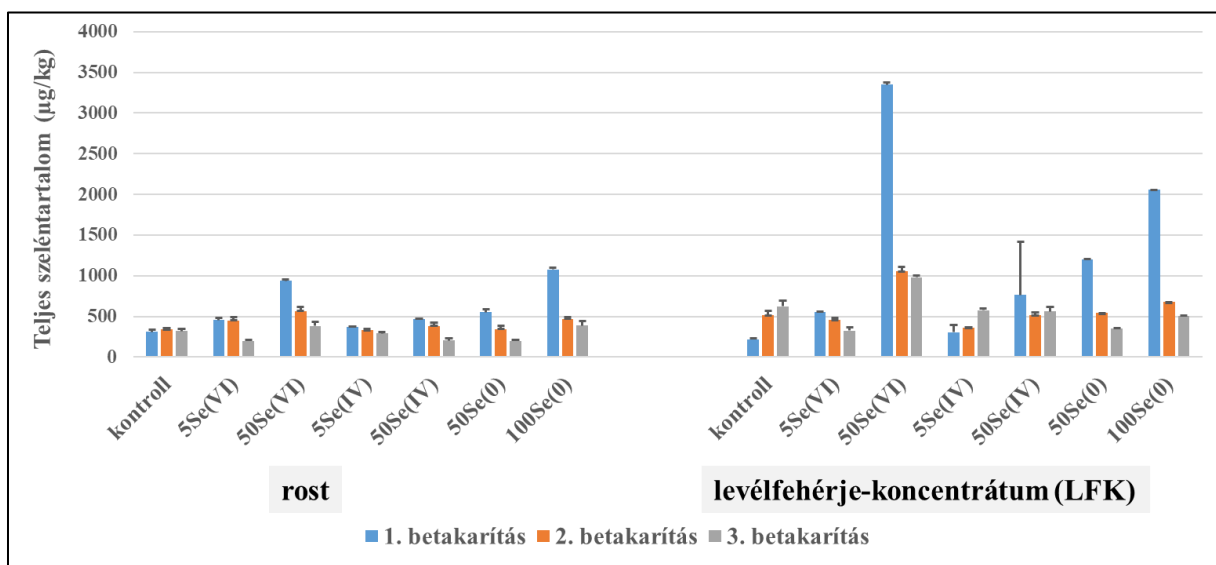
<b>Teljes szeléntartalom</b>				
<b>Levélfehérje-koncentrátum (LFK) [µg/g]</b>				
<b>Betakarítás</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>
0Se	0.7±0.04 <sup>g</sup>	1.1±0.13 <sup>h</sup>	0.8±0.02 <sup>g</sup>	0.7±0.01 <sup>h</sup>
1Se(VI)	93.0±1.95 <sup>d</sup>	46.7±0.45 <sup>e</sup>	11.4±0.18 <sup>f</sup>	6.6±0.01 <sup>g</sup>
10Se(VI)	916.7±24.66 <sup>a</sup>	507.4±31.79 <sup>a</sup>	165.1±6.66 <sup>b</sup>	52.7±0.41 <sup>c</sup>
1Se(IV)	18.6±0.33 <sup>f</sup>	12.6±0.79 <sup>g</sup>	4.0±0.05 <sup>g</sup>	9.3±0.18 <sup>f</sup>
10Se(IV)	92.3±3.58 <sup>d</sup>	64.9±0.20 <sup>c</sup>	29.0±0.04 <sup>e</sup>	34.4±0.40 <sup>e</sup>
50Se(IV)	512.7±29.06 <sup>b</sup>	294.1±0.36 <sup>b</sup>	183.3±0.06 <sup>a</sup>	122.1±2.46 <sup>a</sup>
10Se0	38.8±0.34 <sup>e</sup>	29.1±0.45 <sup>f</sup>	44.7±0.98 <sup>d</sup>	36.6±0.16 <sup>d</sup>
50Se0	126.3±5.26 <sup>c</sup>	62.1±1.67 <sup>d</sup>	66.6±2.20 <sup>c</sup>	63.8±3.20 <sup>b</sup>
<b>Rost [µg/g]</b>				
<b>Betakarítás</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>
0Se	0.9±0.04 <sup>h</sup>	1.0±0.27 <sup>h</sup>	0.9±0.10 <sup>h</sup>	0.8±0.03 <sup>h</sup>
1Se(VI)	41.6±4.55 <sup>d</sup>	8.7±0.01 <sup>e</sup>	5.2±0.55 <sup>f</sup>	2.0±0.37 <sup>g</sup>
10Se(VI)	343.4±4.80 <sup>a</sup>	147.1±0.43 <sup>a</sup>	37.8±0.07 <sup>b</sup>	13.7±0.02 <sup>c</sup>
1Se(IV)	7.2±0.13 <sup>g</sup>	3.3±0.19 <sup>g</sup>	1.7±0.05 <sup>g</sup>	3.2±0.09 <sup>f</sup>
10Se(IV)	52.7±1.69 <sup>c</sup>	14.0±0.21 <sup>d</sup>	13.3±0.29 <sup>d</sup>	7.9±0.02 <sup>e</sup>
50Se(IV)	171.0±1.86 <sup>b</sup>	89.4±0.59 <sup>b</sup>	45.1±0.05 <sup>a</sup>	32.3±0.27 <sup>a</sup>
10Se0	10.6±0.18 <sup>f</sup>	7.8±0.04 <sup>f</sup>	10.5±0.95 <sup>e</sup>	11.5±0.03 <sup>d</sup>
50Se0	34.4±0.14 <sup>e</sup>	19.4±0.19 <sup>c</sup>	17.0±0.15 <sup>c</sup>	20.3±2.44 <sup>b</sup>
<b>Barnalé [µg/ml]</b>				
<b>Betakarítás</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>
0Se	0.2±0.01 <sup>e</sup>	0.2±0.02 <sup>h</sup>	0.1±0.00 <sup>g</sup>	0.1±0.01 <sup>g</sup>
1Se(VI)	17.8±0.02 <sup>c</sup>	2.6±0.02 <sup>e</sup>	0.6±0.00 <sup>f</sup>	0.3±0.07 <sup>g</sup>
10Se(VI)	120.5±7.95 <sup>a</sup>	62.0±0.07 <sup>a</sup>	10.6±0.31 <sup>b</sup>	3.9±0.04 <sup>c</sup>
1Se(IV)	2.1±0.01 <sup>d</sup>	0.9±0.06 <sup>g</sup>	0.5±0.23 <sup>f</sup>	0.7±0.02 <sup>f</sup>
10Se(IV)	18.3±0.13 <sup>c</sup>	7.2±0.05 <sup>c</sup>	1.6±0.03 <sup>e</sup>	2.2±0.25 <sup>e</sup>
50Se(IV)	78.5±1.29 <sup>b</sup>	34.2±0.23 <sup>b</sup>	11.6±0.03 <sup>a</sup>	9.1±0.04 <sup>a</sup>
10Se0	2.7±0.01 <sup>d</sup>	2.1±0.02 <sup>f</sup>	3.1±0.00 <sup>d</sup>	2.5±0.25 <sup>d</sup>
50Se0	17.7±0.23 <sup>c</sup>	6.6±0.05 <sup>d</sup>	3.8±0.02 <sup>e</sup>	4.9±0.30 <sup>b</sup>

Átlag értékek ± szórás (n=3)

A kijuttatott kémiai forma erősen befolyásolta a frakciókba épült szelén mennyiségét. Az első betakarításkor a 10Se(VI) kezelés esetén 916,6 mg/kg volt az LFK szeléntartalma (a

legnagyobb érték az LFK-ban), ugyanakkor 10 mg/kg koncentrációban kezelve szelenittel (10Se(IV)) csak 92,3 mg/kg, vörös elemi szelénnel (10 mg/kg Se0) 38,7 mg/kg szeléntartalma volt az LFK-nak (3. táblázat). A legnagyobb mértékű, mintegy 17-ed részre történő csökkenést a 10Se(VI) kezelés esetén találtuk: 919,9 mg/kg az első betakarításkor, 507,4 mg/kg a második, 165,1 mg/kg a harmadik és 52,7 mg/kg az utolsó, negyedik betakarításkor (3. táblázat). Ezzel szemben a vörös Se(0) alkalmazása, függetlenül a kezelés koncentrációjától, kisebb mértékben csökkentette az LFK szeléntartalmát. Azonos koncentrációban alkalmazva a szelenátot (Se(VI)) a növények nagyobb mennyiségben vették fel, mint a szelenitet (Se(IV)).

A tenyészedényes kísérletben alkalmazott szelén dózisok mellett kapott nagy teljes szeléntartalmak figyelembevételével a szabadföldi körülmények között kisebb dózisokat használtunk a lucerna agronómiai dúsításának optimalizálásához. A biomasszahozam és a nyersfehérje eredmények arra mutattak rá, hogy ezek az alkalmazott kezelések a növénynek nem okoztak gátló, negatív stresszt vagy toxikus felhalmozódást.



9. ábra: Szabadföldi lucerna kísérlet rost- és LFK-mintáinak teljes szeléntartalom eredményei három egymást követő betakarítás alapján.

Szelénmennyiség szempontjából a tendencia hasonló a frakciók között, vagyis a barnalébe került a legkevesebb, melyet a rost követ, az LFK pedig a legtöbb szelént tartalmazza, ahogyan a tenyészedényes kísérletben is tapasztaltuk. Az 9. ábra szemlélteti a rost- és LFK-minták teljes szeléntartalmát, a három egymást követő betakarítás során látható a tendencia. A kezeléstől eltelt idővel arányosan csökken a felvett és beépült szelén mennyisége, ugyanakkor a legtöbb kezelésnél kiugró változásokat nem tapasztaltunk. Kivétel ez alól az 50 mg/m<sup>2</sup> Se(VI) és a 100 mg/m<sup>2</sup> Se(0) kezelés, rost- és LFK-minták esetében is ezeknél a mintáknál kaptuk a legnagyobb

szeléntartalom eredményeket az első betakarításkor. Az LFK esetében ezek az értékek jelentősen kiugrónak bizonyultak, az 50Se(VI) kezelésnél 3349 µg/kg, a 100Se(0) esetén pedig 254 µg/kg volt (9. ábra). Barnaléből is az 50Se(VI) és a 100Se(0) első betakarítás mintáinál találtak a legnagyobb értékeket, bár a szabadföldi kísérletből származó barnalevek szeléntartalma viszonylag alacsony volt. Az 50Se(VI) magas értékei az első betakarítás alkalmával a tenyészedényes kísérletnél megfigyelt hasonló trendekkel magyarázhatók.

Ahogy a szeléntartalomnál megfigyelhető volt, a speciációmérések alkalmával is a levelekben mértünk nagyobb értékeket a szárakhoz képest (4. táblázat). Általános tendencia, hogy a vizes kivonatokban a szerves szelenátforma volt a domináns, bár a vizes kivonatokban is találtak szelenometionint (SeMet), azonban ennek döntő mennyisége csak az enzimes feltárás után volt mérhető. Nagymértékű szelenáttartalom csökkenést találtak az első betakarítás és az utolsó betakarítás között, kifejezetten a 10Se(VI) kezelés esetében a teljes szeléntartalom eredményeivel korrelálva. Szár esetében 79,5-ről 4,3-ra, levélmintában pedig a vizes kivonatokban 901-ről 10,7 mg/kg-ra csökkent a szelenáttartalom. Érdekes eredmény, hogy a vizsgált mintákból még az 50 mg/kg Se(IV) koncentrációban kijuttatott szelenit esetében sem tudtuk a szelenitet kimutatni.

4. táblázat: Módosulatanalitikai vizsgálatok eredményei. A lucernaszárból és -levélből készült vizes és enzimes kivonatok SeMet és Se(VI) tartalma (Kovács *et al.*, 2021).

Szenometionin- (SeMet) és szelenát-tartalom (Se(VI)) lucernaszárban és -levélben													
Vizes kivonat												[mg/kg]	
szár						levél							
SeMet			Se (VI)			SeMet			Se (VI)				
Betakarítás	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	Betakarítás
10Se(VI)	2,2	0,9	0,5	79,5	32,3	4,3	8,2	1,5	1,2	901	141	10,7	10Se(VI)
50Se(IV)	1,7	1,4	1,1	89	22,4	5,2	2,3	1,9	4,2	336	65,8	20,5	50Se(IV)
50Se0	0,6	0,3	0,5	6,5	0,7	2,7	1,8	0,6	1,4	51,7	3,9	1,5	50Se0
Enzimes kivonat												[mg/kg]	
szár						levél							
SeMet			Se (VI)			SeMet			Se (VI)				
Betakarítás	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	Betakarítás
10Se(VI)	18,1	14,3	4,8	8,1	6	0,8	71,4	41	24,8	86,8	18,1	2,6	10Se(VI)
50Se(IV)	17,7	12,3	8,5	13	5,2	0,8	56,9	34,9	22,4	30,8	12,9	2,9	50Se(IV)
50Se0	7,1	4,1	11,9	1,1	*nd	nd	20,2	13,1	7,6	5,4	0,6	nd	50Se0

\*nem detektált (>LOD)

A két legnagyobb mennyiségben talált szelénforma a szerves szelenát ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) és a szerves formájú szenometionin (SeMet) volt minden vizsgált frakcióban (LFK, rost, barnalé) és kivonatban (vizes és enzimes kivonatok).

A SeMet mennyisége 0-246 mg/kg között változott az LFK-mintákban (5. táblázat). A szelenát legnagyobb mennyiségben az első betakarítás alkalmával 10Se(VI) kezelt LFK-mintában volt, 451 mg/kg száraztömegre vetítve. A szerves szelenát forma mennyisége minden vizsgált

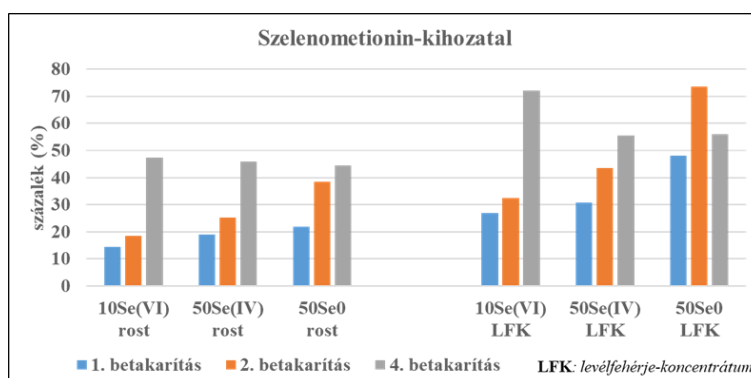
mintatípus esetén (LFK, rost, barnalé) követte azt a tendenciát, mely a teljes szeléntartalomnál megfigyelhető volt.

5. táblázat: Módosulatanalitikai vizsgálatok eredményei. Az LFK-, rost- és barnalé-mintákból készült vizes és enzimes kivonatok SeMet- és szelenát- (SeVI) tartalma (Kovács *et al.*, 2023).

<i>Szelenometionin- (SeMet) és szelenát-tartalom Se(VI) levélfehérje-koncentrátum- (LFK), rost- és barnalé-mintákban</i>																			
Betakarítás	LFK [mg/kg]						Rost [mg/kg]						Barnalé [µg/ml]						
	SeMet			Se(VI)			SeMet			Se(VI)			SeMet			Se(VI)			
	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.				
<b>Vizes kivonat</b>																			
10Se(VI)	1	nd*	nd	451	181	12	1,9	0,6	nd	237	68	2,6	0,3	0,1	0	111	52	2,5	10Se(VI)
50Se(IV)	nd	nd	nd	241	71	16	0,7	0,7	nd	98	34	3,6	0,1	0	0,2	74	16	5,5	50Se(IV)
50Se0	nd	nd	nd	41	3,9	6,2	nd	nd	nd	17	2,1	1,4	0,1	0	0	12	3,5	2,5	50Se0
<b>Enzimes kivonat</b>																			
10Se(VI)	246	164	38	30	14	0,7	48	27	6,5	29	13	nd	0,1	0,1	nd	3,5	0,7	0,1	10Se(VI)
50Se(IV)	158	128	68	13	4,6	1,9	32	22	15	18	6,9	1,2	0,1	0	0,1	2,4	0,5	0,2	50Se(IV)
50Se0	61	46	36	4,5	nd	nd	7,5	7,4	9	1,6	nd	nd	nd	nd	0,1	0,2	0,3	0,5	50Se0

\* nem detektált (<LOD)

A SeMet aránya fontos információ, mivel a dúsítással célunk, hogy szerves szelénben gazdag, magas hozzáadott értékű termékjelölteket/frakciókat tudjunk előállítani a lucernából. A SeMet mennyisége az enzimatikusan feltárt mintákban minden vizsgált esetben több volt, mely arra utal, hogy a szerves SeMet-forma proteinekbe beépülve található a lucernafrakciókban. A nagy fehérjetartalmú LFK és kisebb rostminták SeMet-tartalmát vizsgálva fordított arányt találtunk a SeMet megoszlásában. Bár a 4. betakarításra a vizsgált mintákban a teljes szeléntartalom és a szelenát forma mennyisége is lecsökkent, különösen az ionos formájú kezeléseknél (10Se(VI), 50Se(IV)), ugyanakkor a SeMet-aránya növekedést mutatott. Az első betakarításakor a minta szeléntartalmának 18%-a volt SeMet a rostban, és 35%-a az LFK-ban. A negyedik betakarításakor ez 45%-ra emelkedett a rostban és 60-70%-ra az LFK-ban (10. ábra).

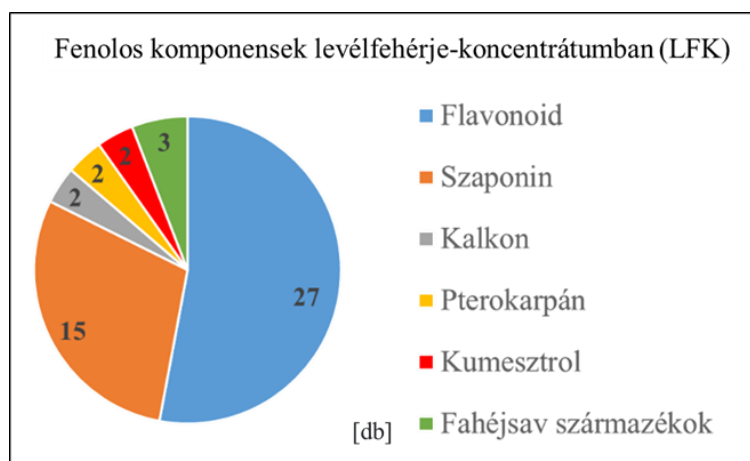


10. ábra: SeMet-kihozatal a teljes szeléntartalom százalékában. A két szelén és SeMet-tartalom szempontjából releváns LFK- és rostfrakciókban az első, második és negyedik betakarítás során.

### 3.6 Fitonutriensek és fenolos komponensek a szeléndúsított lucerna frakciókban

Összességében a fitokémiai komponensek profilja a vizsgált frakcióban hasonló volt. Az irodalmi forrásokkal összehangban (Stochmal *et al.*, 2001a; Stochmal *et al.*, 2001b), a fenolos komponensek közül a flavonoidok voltak a legnagyobb mennyiségben jelenlévő anyagok valamennyi hidroalkoholos extraktumban (11. ábra). A 37 azonosított flavonoidból aglikonokat és glikozil származékokat találtunk flavanon, flavonol, flavon, flavon, izoflavon és kalkon alapvázakkal. A legjellemzőbb alapvázak az apigenin, tricín, krizoeriol voltak. A flavonoidok cukorlánca nem kizárólag glükuronsav volt; az apigeninben, a naringeninben és a kvercetinben glükózt és xilózt is azonosítottunk. A másik nagy csoport a szaponinok voltak, melyek közül számos ismeretlen alapvázú vegyület került elő, de találtunk medikozid, medikagénsav, azukiszaponin és szójaszaponin alapvázú vegyületeket is, melyek korábban azonosításra kerültek (Rafińska *et al.*, 2017).

A pterokarpánok közül a medicarpin (3-hidroxi-9-metoxi-metoxi-terokarpan) ([M+H]<sup>+</sup> ion m/z 271,09704) és a metilnissolin (3-hidroxi-9,10-dimetoxi-terokarpan) ([M+H]<sup>+</sup> ion m/z 301,1076) valamennyi lucerna frakcióban detektálható volt.



11. ábra: Azonosított fitonutriensek vegyületsoprtokra bontva az LFK-mintákban.

A kvalitatív vizsgálati eredmények alapján, a hozzáférhető standardok ismeretében, néhány pozitív vagy negatív élettani szereppel bíró fitokomponens mennyiségét is meghatároztuk frakciónként a szelénkezelések függvényében. A hidroalkoholos kivonatok kvantitatív elemzése alapján a négy betakarításon belül az apigenin glükuronid és az apigenin (4'.5.7-trihidroxi-flavon) aglikonok voltak a legnagyobb mennyiségben előforduló flavonoidok. A rostfrakcióban volt a legnagyobb az apigenin-7-O-glükuronid koncentrációja, 90,82-170,85 µg/g között, míg az LFK-ban és a barnalében 33,31-68,10 µg/g és 376,13-1098,88 ng/ml közötti volt. Az apigenin volt a második legnagyobb mennyiségben előforduló flavonoid a mennyiségi

meghatározásra kiválasztott flavonoidok közül, 7,97-72,93 µg/g közötti értékekkel. Az apigenin-7-O-glükuroniddal ellentétben az apigenin az LFK- és a rostfrakciókban szűk, 13-24 µg/g tartomány között változott, kivéve a 4. betakarításkor, amikor a rost frakcióban átlagosan 67 µg/g mennyiséget mértünk, függetlenül a Se-kezeléstől.

A Se-kezelés formája és koncentrációja hatást gyakorolt az apigenin (4'.5.7-trihidroxi flavon) és az apigenin-7-O-glükuronid tartalomra a vizsgált frakciókban. Mindkét flavon koncentrációja emelkedett a Se(IV) és Se(VI) kezeléseknél, különösen az 1. betakarítás alkalmával, míg a vörös elemi szelén (Se(0)) koncentrációtól függetlenül kisebb értékeket mutatott a kontrollhoz képest. A többi hidroxiflavon, a luteolin (3'.4'.5.7-tetrahidroxiflavon) és származékai, illetve, luteolin-7-O-glükuronid, luteolin-di-O-glükuronid, luteolin-4'-O-glükuronid-7-O-[feruloil(1→2)-glükuronil(1→2)-glükuronid] a barnalében detektálhatóak voltak, ugyanakkor néhányuk hiányzott a rost- és LFK-frakciókból. A luteolin aglikon koncentrációja minden lucernafrakcióban jelentősen kisebb volt (0,71 - 5,10 µg/g), mint az apigeniné. A tricín (3',5'-Dimetoxi-4',5,7-trihidroxi flavon) átlagosan 14,5 µg/g koncentrációban volt jelen az LFK- és a rostmintákban és ~160 ng/ml koncentrációban a barnalében. Az izoflavonok közül négy vegyületet azonosítottunk, melyek közül a formononetin (7-hidroxi-4'-metoxi-izoflavon) koncentrációja 0,34-8,39 µg/g között változott az LFK- és a rost-frakciókban és 3,16-80,04 ng/ml között a barnalében. Az 1 mg/kg Se(IV) és a 10 mg/l vörös elemi Se(0) kezelés a kontrollhoz hasonló formononetin-tartalmat mutatott. Ezzel szemben a Se(VI), Se(IV) és a vörös elemi Se0 nagy koncentrációjú kezelése alacsonyabb formononetin-tartalmat eredményezett a három frakción belül. A Se-kezeléstől függetlenül a medikagénsav és annak rövid vagy hosszú mono-, bi- vagy tridezmozid cukorláncokkal alkotott kombinációi voltak a legnagyobb mennyiségben előforduló szaponinok valamennyi lucernafrakcióban. A lucerna négy egymást követő betakarítása során a medikagénsav koncentrációja az LFK- és a rostfrakciókban 0,11-1,86 µg/g között mozgott, míg a barnalében 0,72-32,72 ng/ml között alakult.

#### 4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. Eredményeink alapján a vörös elemi szelén szol sikeresen alkalmazható a többször újrasarjadó lucerna (*Medicago sativa* L.) szelénrel történő dúsítására.
2. Eredményeink alapján megállapítható, hogy zárt nevelési körülmények között a lucerna (*Medicago sativa* L.) zöld biofinomítással és mikrohullámú koagulálással frakcionált termékeinek (levélfehérje-koncentrátum (LFK), rost, barnalé) mennyiségi arányait nem befolyásolja a növény szelénrel való dúsítása. Ugyanakkor szárazanyagtartalom, nyersfehérje-tartalom tekintetében az emelt szeléndózis (10 mg/kg szelenát és 50 mg/kg szelenit) statisztikailag kimutatható módon csökkentette a levélfehérje-koncentrátum és rostfrakciók értékeit.
3. A zöld biofinomításban gyakran alkalmazott fehérjenövény, a lucerna (*Medicago sativa* L.) LFK-, rost- és barnalé-frakciói közül a szelén minden esetben az LFK-ban halmozódott fel legnagyobb arányban függetlenül az alkalmazott szelén formájától (szelenát, szelenit, vörös elemi szelén) és a kijuttatott koncentrációtól.
4. A vörös elemi szelénrel kezelt növények esetén találtuk a legnagyobb mértékű szerves szelén (szelenometionin formában) beépülését LFK- és rostfrakciókban. Nagy dózisú ionos formákkal (10 mg/kg szelenát és 50 mg/kg szelenit) történő kezelés esetén nem növelhető arányosan a beépült szerves formák, mint a szelenometionin mennyisége a lucerna (*Medicago sativa* L.) hajtásokban.
5. Az LFK, mint alternatív takarmányfehérje szelénrel való dúsítására a vörös elemi szelén kiegyenlítettebb szelénfelhalmozódást eredményez az ionos formákkal (szelenát, szelenit) szemben az egymást követő többszöri betakarítások alkalmával.
6. Fitonutriensek kvalitatív és kvantitatív vizsgálatával igazoltuk, hogy a szelén az alkalmazott koncentrációtartományban és kísérleti beállítások mellett nem okozott minőségi vagy számottevő mennyiségi változást a lucerna eredetű frakciók (LFK, rost, barnalé) szekundermetabolit-összetételében.

## 5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A zöld biofinomításban ismert alapvető frakcionálási lépéssorozat alkalmazható agronómiai szeléndúsítással együtt anélkül, hogy lényeges változások lennének a frakciók egymáshoz viszonyított arányaiban.
2. Kísérletesen igazoltuk, hogy a szelenit (1 - 50 mg/kg), a szelenát (1 - 10 mg/kg), és a vörös elemi szelén 10 – 50 mg/kg tartományban nem befolyásolja a lucernalevélfehérje-koncentrátum kihozatalát.
3. A feldolgozott lucerna frakcióit összehasonlítva, a levélfehérje-koncentrátumban (LFK) halmozódott fel a szelén legnagyobb mértékben. A takarmányfehérje-alternatíva LFK szeléndúsítására (*fortification*) a vörös elemiszelén-formát alkalmasabbnak találtuk, mert kiegyenlítettebb szelénfelhalmozódást eredményez, összehasonlítva az ionos szelénformákkal. Gyakorlati hasznosítás szempontjából jelentős, hogy az így koncentrált fehérje tehát nem csak takarmányfehérjeforrásként értékes, hanem biológiailag kedvezőbb szerves formájú szelénnel is gazdagítható.
4. A kémiai szintetizált vörös elemiszelén-szol technológiai továbbfejlesztés során alkalmassá tehető hosszúhatású szelénműtrágya előállítására, mely biztonságosabb szelénműtrágyázást jelenthet a természetben. A vörös elemi szelén lassú ionos formákká alakulása a talajban állandó és alacsony szelénellátást biztosíthat a toxikus felhalmozódás elkerülésével.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- Dernovics, M., Zs. Stefánka, és P. Fodor. 2002. „Improving Selenium Extraction by Sequential Enzymatic Processes for Se-Speciation of Selenium-Enriched *Agaricus Bisporus*”. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 372 (3): 473–80. <https://doi.org/10.1007/s00216-001-1215-5>.
- Domokos-Szabolcsy, Éva, Zoltán Kovács, László Kaszás, Judit Ágnes Koroknai, és Miklós Gábor Fári. 2020. „Évelő növényi zöld biomassza, mint értékes fehérje és fitonutrintes forrás”. In *VII. Nemzetközi Tudományos Napok : 17 th International Scientific Days : A tudományos napok publikációi*, szerkesztette Zoltán Bujdosó, László Dinya, és József Csernák, 298–305. Gyöngyös: Károly Róbert Nonprofit Kft.
- Fári, Miklós Gábor, és Éva Domokos-Szabolcsy. 2018. Növényifehérje-koagulum előállítására szolgáló eljárás. P1800041/40, issued 2018.
- Hansen, Mikkel, Christina Albers Andersen, Peter Ruhdal Jensen, és Timothy John Hobley. 2022. „Scale-Up of Alfalfa (*Medicago Sativa*) Protein Recovery Using Screw Presses”. *Foods* 11 (20): 3229. <https://doi.org/10.3390/foods11203229>.
- Kaszás, László, Tarek Alshaal, Hassan El-Ramady, Zoltán Kovács, Judit Koroknai, Nevien Elhawat, Éva Nagy, Zoltán Cziáky, Miklós Fári, és Éva Domokos-Szabolcsy. 2020a. „Identification of Bioactive Phytochemicals in Leaf Protein Concentrate of Jerusalem Artichoke (*Helianthus Tuberosus* L.)”. *Plants* 9 (7): 889. <https://doi.org/10.3390/plants9070889>.
- Kaszás, László, Tarek Alshaal, Zoltán Kovács, Judit Koroknai, Nevien Elhawat, Éva Nagy, Hassan El-Ramady, Miklós Fári, és Éva Domokos-Szabolcsy. 2020b. „Refining High-Quality Leaf Protein and Valuable Co-Products from Green Biomass of Jerusalem Artichoke (*Helianthus Tuberosus* L.) for Sustainable Protein Supply”. *Biomass Conversion and Biorefinery*, március. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00696-z>.
- Kolbert, Z., Á. Molnár, G. Feigl, és D. Van Hoewyk. 2019. „Plant Selenium Toxicity: Proteome in the Crosshairs”. *Journal of Plant Physiology* 232 (január): 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.11.003>.
- Kovács, Zoltán, Koroknai Judit Ágnes, Kaszás László, Fári Miklós Gábor, Domokos-Szabolcsy Éva, Elhawat Nevien, és Alshaal Tarek. 2022. „Alfalfa-based green biorefinery : experiences and challenges based on a five-year project”. *Biotechnology at the University of Debrecen - 2022 International Symposium : abstarct book*, 63.
- Kovács, Zoltán, Áron Soós, Béla Kovács, László Kaszás, Nevien Elhawat, Nóra Bákonyi, Mutasem Razem, és mtsai. 2021. „Uptake Dynamics of Ionic and Elemental Selenium

- Forms and Their Metabolism in Multiple-Harvested Alfalfa (*Medicago Sativa L.*)”. *Plants* 10 (7): 1277. <https://doi.org/10.3390/plants10071277>.
- Kovács, Zoltán, Áron Soós, Béla Kovács, László Kaszás, Nevien Elhawat, Mutasem Razem, Szilvia Veres, és mtsai. 2023. „Nutrichemical Alterations in Different Fractions of Multiple-Harvest Alfalfa (*Medicago Sativa L.*) Green Biomass Fortified with Various Selenium Forms”. *Plant and Soil*, <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05917-8>.
- Rafińska, Katarzyna, Paweł Pomastowski, Olga Wrona, Ryszard Górecki, és Bogusław Buszewski. 2017. „*Medicago Sativa* as a Source of Secondary Metabolites for Agriculture and Pharmaceutical Industry”. *Phytochemistry Letters* 20 (június): 520–39. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.12.006>.
- Stochmal, Anna, Sonia Piacente, Cosimo Pizza, Francesco De Riccardis, Rick Leitz, és Wieslaw Oleszek. 2001a. „Alfalfa (*Medicago sativa L.*) Flavonoids. 1. Apigenin and Luteolin Glycosides from Aerial Parts”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2): 753–58. <https://doi.org/10.1021/jf000876p>.
- Stochmal, Anna, Ana M. Simonet, Francisco A. Macias, és Wieslaw Oleszek. 2001b. „Alfalfa (*Medicago sativa L.*) Flavonoids. 2. Tricin and Chrysoeriol Glycosides from Aerial Parts”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (11): 5310–14. <https://doi.org/10.1021/jf010600x>.

## 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/86/2023.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kovács Zoltán  
Doktori Iskola: Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Élelmiszertudományi doktori program  
MTMT azonosító: 10066391

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Kovács, Z.**, Soós, Á., Kovács, B., Kaszás, L., Elhawat, N. A., Razem, M., Veres, S., Fári, M., Koroknai, J., Alshaal, T. A. A. I., Domokos-Szabolcsy, É.: Nutrichemical alterations in different fractions of multiple-harvest alfalfa (*Medicago sativa* L.) green biomass fortified with various selenium forms.  
*Plant Soil. [Epub ahead of print]*, 1-23, 2023. ISSN: 0032-079X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-023-05917-8>  
IF: 4.993 (2021)
2. **Kovács, Z.**, Soós, Á., Kovács, B., Kaszás, L., Elhawat, N. A., Bákonyi, N., Razem, M., Fári, M., Prokisch, J., Domokos-Szabolcsy, É., Alshaal, T. A. A. I.: 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: 4.658

### További közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (8)

3. Domokos-Szabolcsy, É., Yavuz, S. R., Picoli, E. A. d. T., Fári, M., **Kovács, Z.**, Tóth, C., Kaszás, L., Alshaal, T. A. A. I., Elhawat, N. A.: Green biomass-based protein for sustainable feed and food supply: An overview of current and future prospective.  
*Life (Basel). 13* (2), 1-37, 2023. ISSN: 0024-3019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/life13020307>  
IF: 3.251 (2021)





4. Domokos-Szabolcsy, É., Elhawat, N. A., Domingos, G. J., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Bodó, E., Fári, M., Alshaal, T. A. A. I., Bákonyi, N.: Comparison of Wet Fractionation Methods for Processing Broccoli Agricultural Wastes and Evaluation of the Nutri-Chemical Values of Obtained Products.  
*Foods*. 11 (16), 1-18, 2022. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/foods11162418>  
IF: 5.561 (2021)
5. 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>
6. Kaszás, L., Alshaal, T. A. A. I., El-Ramady, H., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Elhawat, 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-Basel*. 9 (7), 1-17, 2020. ISSN: 2223-7747.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9070889>  
IF: 3.935
7. Kaszás, L., Alshaal, T. A. A. I., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Elhawat, 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
8. Kaszás, L., Alshaal, T. A. A. I., El-Ramady, H., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Elhawat, N. A., Nagy, É., Cziáky, Z., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É.: Finding valuable bioactive components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) 2 leaf protein concentrate in a green biorefinery concept.  
*bioRxiv Plant Biology [Epub ahead of print]*, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1101/866178>
9. Omara, A. E. D., Elsakhawy, T., Alshaal, T. A. A. I., El-Ramady, H., **Kovács, Z.**, Fári, M.: Nanoparticles: a Novel Approach for Sustainable Agro-productivity.  
*Env. Biodiv. Soil Security*. 3, 29-62, 2019. ISSN: 2536-9415.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/jenvbs.2019.7478.1050>
10. Kaszás, L., **Kovács, Z.**, Nagy, É., Elhawat, 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 konferencia közlemények (1)

11. **Kovács, Z.**, Domokos-Szabolcsy, É., Fári, M.: Az Ereky process rekonstruálása: lucerna zöldlé és hordozó keverékek vizsgálata.  
In: Növénynevelés a 21. század elején: kihívások és válaszok : XXV. Növénynevelési Tudományos Nap 2019. Szerk.: Karsai Ildikó, Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Tudományos Bizottsága., Budapest, 359-362, 2019. ISBN: 9789638351456

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

12. Domokos-Szabolcsy, É., **Kovács, Z.**, Kaszás, L., Koroknai, J., Fári, M.: Élő növényi zöld biomassza, mint értékes fehérje és fitonutrin forrás = Green biomass of perennial crops as valuable source of protein and phytonutrients.  
In: VII. Nemzetközi Tudományos Napok : 17 th International Scientific Days : A tudományos napok publikációi. Szerk.: Bujdosó Zoltán, Dinya László, Csernák József, Károly Róbert Nonprofit Kft., Gyöngyös, 298-305, 2020. ISBN: I9786155969027
13. Bákonyi, N., **Kovács, Z.**, Tóth, I. O., Barna, D., Fári, M., Alshaal, T. A. A. I.: To study the secondary element contents (Ca, Mg, S) of deproteinized leaf juice of selected alfalfa varieties at different harvest time.  
In: Arcsall vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, tanulmánykötet. Szerk.: Pintér Gábor, Zsiborács Henrik, Csányi Szilvia, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 11-15, 2018.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (5)

14. **Kovács, Z.**, Domokos-Szabolcsy, É., Alshaal, T. A. A. I., Elhawat, N. A., Fári, M.: Lucerna (*Medicago sativa* L.) gyökérmikrobiális közösségének javítása hatékonyabb fehérje biofinomítás és stressztűrés érdekében.  
In: XXIV. Növénynevelési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Karsai Ildikó, Polgár Zsolt, Keszthelyi Burgonyáért Egyes, Keszthely, 98, 2018. ISBN: 9786150014692
15. Kaszás, L., **Kovács, Z.**, Nagy, É., Domokos-Szabolcsy, É.: Csicsóka genotípusok szelekciója fehérje-takarmányozási célból.  
In: XXIII. Növénynevelési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 110, 2017. ISBN: 9789638351449
16. Matus, G., **Kovács, Z.**, Kovásznai-Oláh, R., Béregi, B., Balogh, R., Hanyicska, M., Jámor, J., Novák, T., Antal, K., Budai, J., Papp, M.: Juh endozoochoria szerepe kis nyírsegi védett terület *Corynephorum*-ában.  
*Bot. közl.* 102 (2), 163-163, 2015. ISSN: 0006-8144.

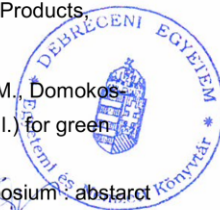




17. Matus, G., **Kovács, Z.**, Kovásznai-Oláh, R., Béregi, B., Balogh, R., Hanyicska, M., Jámbor, I.:  
Juh endozoochoria természetvédelmi szerepe nyírségi védett területen.  
In: IX. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia : "Tudományoktól a döntéshozatalig"  
: absztrakt-kötet. Szerk.: Lengyel Szabolcs, Magyar Biológiai Társaság : MTA Ökológiai  
Kutatóközpont ; Szeged : Szegedi Tudományegyetem Ökológiai Tanszék, Budapest, 84-85,  
2014.
18. Hanyicska, M., Matus, G., Antal, K., Lőkös, L., Budai, J., Balogh, R., Béregi, B., **Kovács, Z.**,  
Kovácsnai-Oláh, R., Papp, M.: Legelészkiadás hatása kelet-magyarországi szárazgyepekben  
= Impact of the extrusion of grazing at the dry-grassland on Eastern-Hungary.  
In: X. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében : nemzetközi konferencia =  
Recent Flora- and Vegetation Research in the Carpathian Basin X. : International  
Conference. Szerk.: Schmidt Dávid, Kovács Miklós, Bartha Dénes, Nyugat-magyarországi  
Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Növénytan és Természetvédelmi Intézet, Sopron, 157-158,  
2014. ISBN: 9789633341537

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (6)

19. **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Kaszás, L., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É., Elhawat, N. A., Alshaal,  
T. A. A. I.: Alfalfa-based green biorefinery: experiences and challenges based on a five-year  
project.  
In: Biotechnology at the University of Debrecen - 2022 International Symposium : abstract  
book, Faculty of Science and Technology, Department of Molecular Biotechnology and  
Microbiology, Institute of Biotechnology and Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Central Laboratory of Agricultural and Food Products,  
Debrecen, 63-63, 2022. ISBN: 9789634904687
20. Domokos-Szabolcsy, É., Veres, S., Kovács, S., Bákonyi, N., Makleit, P., Elhawat, N. A., **Kovács,**  
**Z.**, Kaszás, L., Alshaal, T. A. A. I., Fári, M.: From crops in field to space plants grown in  
ground bioregenerative life-support facilities: the potential of green biorefining with reflecting  
the environmental challenges.  
In: Biotechnology at the University of Debrecen - 2022 International Symposium : abstract  
book, Faculty of Science and Technology, Department of Molecular Biotechnology and  
Microbiology, Institute of Biotechnology and Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Central Laboratory of Agricultural and Food Products,  
Debrecen, 22-22, 2022. ISBN: 9789634904687
21. Kaszás, L., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Alshaal, T. A. A. I., Elhawat, N. A., Fári, M., Domokos-  
Szabolcsy, É.: Possible uses of jerusalem artichoke (*Heliathus Tuberosus* L.) for green  
biorefining.  
In: Biotechnology at the University of Debrecen - 2022 International Symposium : abstract  
book, Faculty of Science and Technology, Department of Molecular Biotechnology and  
Microbiology, Institute of Biotechnology and Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Central Laboratory of Agricultural and Food Products,  
Debrecen, 61-61, 2022. ISBN: 9789634904687





22. **Kovács, Z.**, Alshaal, T. A. A. I., 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
23. Kaszás, L., **Kovács, Z.**, Koroknai, J., Domokos-Szabolcsy, É.: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) green biomass as a potencial protein source.  
*New Biotech.* 44, S101, 2018. ISSN: 1871-6784.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.980>
24. **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>

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 27,385**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
9,651**

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

Debrecen, 2023.03.27.

