

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

TAMÁS MELINDA

Debrecen

2015

DEBRECENI EGYETEM

**HANKÓCZY JENŐ NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

A Doktori Iskola vezetője

Dr. Hodossi Sándor

egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

DR. CSAPÓ JÁNOS

MTA doktora

**ELTÉRŐ TÍPUSÚ TALAJOKON TERMESZTETT BÚZA
SZELÉNTARTALMÁNAK ÉS SZELÉNFORMÁINAK VIZSGÁLATA ROMÁNIA
KÜLÖNBÖZŐ TÁJEGYSÉGEIN**

Készítette:

Tamás Melinda
doktorjelölt

Debrecen
2015

Eltérő típusú talajokon termesztett búza szeléntartalmának és szelénformáinak vizsgálata Románia különböző tájegységein

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
az élelmiszer-tudományágban

Írta: Tamás Melinda

Készült a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és
Élelmiszertudományok doktori iskolája keretében

Témavezető:
Dr. Csapó János
MTA doktora

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Kovács Béla	PhD
tagok:	Borbélyné Dr. Varga Mária	CSc
	Soósné dr. Gazdag Mária,	PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2012. július 2

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....		
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja: 2015...

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	4
1. BEVEZETÉS	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
2.1. A szelén kutatás történeti háttere	8
2.2. A szelén kémiai tulajdonságai.....	10
2.3. A szelén előfordulása	11
2.4. A szelén szerepe az emberi táplálkozásban – a szelénhiány következményei	13
2.5. A szelén, mint antioxidáns	16
2.6. A szelén szükséges és toxikus mennyisége, szelénhiány, szelénpótlás	18
2.7. Szelénformák	20
2.7.1. Szelénformák a talajokban.....	25
2.7.2. A szelén megkötődése a talajban	27
2.7.3. Szelénformák a növényekben	28
2.7.4. A szelén a talaj-növény rendszerben	30
2.8. A búza szeléntartalma és a szeléntartalom hasznosulása.....	33
2.8.1. A gabonafélék hozzájárulása az ember szelénszükségletéhez.....	33
2.8.2. A különféle talajokon termesztett búza szeléntartalma	34
2.8.3. A technológia (örlés) hatása a liszt szeléntartalmára.....	37
2.8.4. Az élelmiszerekben – búzában – előforduló szelénformák	37
2.8.5. A búza szeléntartalmának hasznosulása	38
2.8.6. A szelén hatása a búza enzimeinek aktivitására	39
2.8.7. A talaj szeléntartalmának hasznosulása a növényekben.....	40
2.8.8. Élelmiszerek szeléntartalmának növelési lehetőségei a talaj szeléntartalmának növelésével.....	41
2.8.9. A szelén beépülése a búzába.....	49
2.9. A talaj, a talajok osztályozása	50
2.10. Irodalmi adatok összefoglalása	56
3. CÉLKITŰZÉSEK	62
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	63
4.1. A begyűjtött minták helye.....	63

4.2. A Dobrogea-Bărăgan és a Csíki-medencében begyűjtött talajok típusai, jellemzői	68
4.3. A búza típusa, jellemzői.....	72
4.4. A mintavétel, a minták tárolása az analízisek megkezdéséig	72
4.5. A minták analízisének alkalmazott analitikai módszerek.....	73
4.5.1. A minták szárazanyag-tartalmának meghatározása	73
4.5.2. Talajminták pH-jának meghatározása	73
4.5.3. A talaj szervesanyag-tartalmának mennyiségi meghatározása	73
4.5.4. Szeléntartalom meghatározása fluorometriás módszerrel	74
4.5.5. A piazzselenol-komplex kialakítása és a mérés.....	75
4.5.6. A szelenoaminosavak folyadékkromatográfiás elválasztása	76
4.6. Az adatok statisztikai értékelése	79
5. EREDMÉNYEK	80
5.1. A földrajzi elhelyezkedés, éghajlat és a szeléntartalom.....	80
5.2. A talajminták vizsgálata.....	81
5.2.1. A talajminták szeléntartalmának értékelése.....	81
5.2.2. A talajminták pH-jának értékelése.....	83
5.2.3. A talajminták szervesanyag-tartalmának értékelése	86
5.3. A búzafű minták vizsgálata.....	88
5.3.1. A búzafű minták szárazanyag-tartalma.....	88
5.3.2. A búzafű minták szeléntartalma	88
5.3.3. A búzafű minták szeleno-metionin-tartalma.....	96
5.4. A búzamag minták vizsgálata	99
5.4.1. A búzamag minták szárazanyag-tartalma	99
5.4.2. A búzamag minták összesszelén-tartalma	100
5.4.3. A búzamag minták szeleno-metionin-tartalma	107
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	111
6.1. A talajminták szeléntartalmának, pH-jának és szervesanyag-tartalmának alakulása...111	
6.2. A búzafű minták szeléntartalmának és SeMet-tartalmának alakulása	113
6.3. A búzamag minták szeléntartalmának és SeMet-tartalmának alakulása	114
6.4. A talaj, a búzafű és a búzamag szeléntartalma közti összefüggés	115
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	117

8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	118
9. ÖSSZEFOGLALÓ (MAGYAR).....	119
10. ÖSSZEFOGLALÓ (ANGOL).....	121
11. IRODALOM	123
12. PUBLIKÁCIÓ AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN (Saját irodalom)	144
13. NYILATKOZATOK	146
14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	147

1. BEVEZETÉS

A felnőtt szervezet napi szelén szükséglete 0,12 mg. Ezt a mennyiséget a táplálékkal abban az esetben lehet biztosítani, ha a növények képesek a talajból megfelelő mennyiségű szelént felvenni. A savas esők hatására a talajban lévő szelénvegyületek olyan formába alakulnak át, amelyekből a növények csak kis mennyiséget képesek felvenni azt. A szelén az emberi táplálékban főként szelenit, szeleno-metionin (SeMet) és szeleno-cisztein (SeCys) formájában van jelen.

Az ember számára legnagyobb veszélyt a szelén szervetlen formában való fogyasztása jelenti, hisz az akut toxicitás itt könnyen és gyorsan kialakulhat. Kevésbé veszélyes, ha a szelént szerves formában, például szeleno-metioninként vesszük be a szervezetbe, ekkor azonban a szelén felhalmozódása jelent veszélyforrást, hisz a SeMet-t a szervezet képes hosszabb távon tárolni. Jobb megoldásnak mutatkozik, ha az ember szelénrel dúsított növényi tápanyagokat fogyaszt, de talán még jobb az a megoldás, ha a szükséges szelénmennyiséget szelénben dúsított állati termékekkel vesszük be a szervezetbe, hisz akkor az állat egy olyan konverziót hajt végre, amelyet követően az állati eredetű élelmiszer – normális táplálkozási szokásokat feltételezve – semmiféle veszélyt nem jelent az emberi szervezet számára.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szelént az 1800-as évek elején fedezték fel, de az elmúlt 50 évben lett fontos szerepe a mikroelem kutatásokban mivel bizonyossá vált, hogy számos olyan fehérje és enzim aktív centrumában jelen van, amelyeknek fontos szerepük van az emberi szervezetben.

A szelén esszenciális mikroelem, de élettani hatása ambivalens. Hiánya több betegség kialakulásához vezethet, ugyanakkor egy másik egészségügyi kockázatot jelenthet a szelénszennyezés, mivel a szelén egyike azoknak az elemeknek, amely nagyon szűk tolerancia tartománnyal jellemezhető.

Paracelsus (1493-1541) bölcs megállapítása a szelénre is érvényes: „Minden anyag mérgező: nincs olyan anyag, ami ne lenne méreg. A gyógyszert a méregtől csak dózisének nagysága különbözteti meg” (*Sherman és Black*, 1993). Tehát a szelén esszenciális, illetve potenciálisan toxikus volta függ a koncentrációjától és kémiai formájától.

A szelén szerves, illetve szervetlen formája is előfordul úgy a környezetünkben, és a különböző biológiai szervezetekben. Módosulatainak analitikai vizsgálata elengedhetetlen, mivel az elem biológiai hasznosulását, illetve toxicitását a kötési formája nagymértékben befolyásolja.

2.1. A szelén kutatás történeti háttere

Arnold of Villanova, olasz tudós feljegyzéseiben már a XIII. században szerepel a “vörös kén” nevet viselő anyag, az akkori analitikai módszerek azonban még nem tették lehetővé az elem azonosítását (*Reilly*, 1996).

A szelént 1817-ben azonosították és izolálták, ami a svéd kémikusok, *Jöns Jacob Berzelius* és *Johan Gottlieb Gahn* érdeme. Berzeliust kérték fel, hogy vizsgálja ki egy svédországi kénsavgyár dolgozói rosszullétének okát, és közben fedezte fel az új elemet, amelyet Szelénéről, a Hold görög istennőjéről, szelénnek (Se) nevezett el (*McKenzie és mtsai.*, 1998).

Így szelén esetében először csak a toxikus hatása vált ismertté, majd később igazolódott be, hogy jelenléte a megfelelő életműködéshez nélkülözhetetlen. *Clayton és mtsai* (1949) patkánykísérletekben vizsgálták az étrendi szelénpótlás kémiai úton kiváltott megbetegedésekre gyakorolt hatását. A kísérletek azt mutatták, hogy a szelénkiegészítés

jelentősen lecsökkentette a mesterséges úton előidézett daganat megjelenését, ezért 1949-ben jelent meg feljegyzés a Se daganatos megbetegedést-csökkentő hatásáról.

Schwarz és Foltz 1957-ben rávilágított, hogy a szelén esszenciális mikroelem. E-vitaminhiányos patkányon végzett kísérleteik során megállapították, hogy az állatok étrendjéhez adott szelén a máj-elhalás (nekrózis) megelőzésében játszik fontos szerepet.

Shamberger és Rudolph (1966) a szelén antikarcinogén hatására mutattak rá, de ekkor még a táplálék összesszelén-tartalmáról tettek említést, és nem annak módosulatairól.

A 1970-es években Kína Keshan nevű tartományában megjelenő furcsa betegség, amely szívizomgyengeséggel járt, és nagyon sok esetben halálhoz vezetett, a szelén fontosságát erősítette meg. A betegséget vizsgáló tudósok többek között elemezték a helyiek táplálkozásához használt élelmiszereket, melyek során arra a következtetésre jutottak, hogy a betegség által sújtott területeken élők tápláléka az átlagosnál jóval kevesebb szelént tartalmaz. A kutatók tanácsára a lakosság táplálékát nátrium-szelenittel egészítették ki, és ezzel megállították a halálos betegséget (Chen és mtsai., 1980). Évekkel később derült ki, hogy a betegség kialakulását nem közvetlenül a szelénhiány okozta, hanem egy különleges kórokozó, az egyébként jóindulatú Coxsackie-vírus, amelyet a szelén hiánya képes patogéné tenni (Levander és Beck, 1997).

1973-ban a szeléndependens enzimfehérjék katalitikus aktivitását vizsgálták, amelyek közül a glicin-reduktáz az anaerob baktériumokban, a glutation-peroxidáz pedig az emlősökben játszik jelentős szerepet (Rotruck és mtsai., 1973; Turner és Stadtman, 1973). 1976-ban felfedezték a glicin-reduktázt és a szeleno-ciszteint, a kéntartalmú cisztein aminosav szelénanalógját (Cone és mtsai., 1976).

A 90-es években több szeléntartalmú enzimet fedeztek fel: Berry és mtsai., (1991) tisztították és jellemezték először a pajzsmirigy egyes-típusú deiodáz (D1) enzimét, majd 1993-ban Vendeland és mtsai. a szelenoprotein W-t tisztították és jellemezték első alkalommal patkányizomból. 1997-ben öt állatfaj párhuzamos vizsgálatával részletesen is jellemezték a fehérjét kódoló gént (Whanger és mtsai., 1997; Burk és Hill, 1994).

A tioredoxin-reduktáz szeléntartalmú enzimet először a humán adenokarcinóma sejtekben írták le (Gladyshev és mtsai., 1996; Tamura és Stadtman, 1996). Behne és mtsai. (1998) két különböző szelenoproteint fedeztek fel a spermatid sejtmagban és a prosztatá-

mirigy hámsejtjeiben. Később egy 15 kDa molekulatömegű szelenoproteint is találtak, mely emlősökben fordult elő.

2.2. A szelén kémiai tulajdonságai

A szelén a periódusos rendszer 4. periódusában és 6. főcsoportjában helyezkedik el, a kén (S) alatt és a tellúr (Te) felett. Vegyjele Se, rendszáma 34, relatív atomtömege 78,96 g. A természetben a hat főbb stabil izotópjából (74, 76, 77, 78, 80 és 82) a ^{80}Se -izotóp (49,6%) és a ^{78}Se -izotóp (23,8%) található meg a leggyakrabban. A stabil izotópoknak fontos szerepet tulajdonítanak a szelén biológiai rendszerekben betöltött szerepének tanulmányozása kapcsán (Fairweather-Tait, 1997). A szelén biológiai aktivitását nagymértékben befolyásolja a szelén kémiai alakja.

Természetben a szelén szervetlen formákban a kénhez hasonlóan négyféle oxidációs állapotban, szelenátokként (Se(VI)), szelenitekként (Se(IV)), elemi szelénként (Se^0) és szelenidekként (Se^{2-}) fordulhat elő. A szelén megjelenési formája oxidációs állapotának eredménye, melyet elsősorban a környezeti hatások, a pH és a mikrobiális tevékenység befolyásolnak (Skinner, 1999).

A szelén számos tulajdonságában kémiailag a periódusos rendszerben a felette elhelyezkedő kénhez hasonlít. Minden kéntartalmú molekulának létezik szelén analógja, így a kén és a szelén egymással versengve szerepelhet egyes biokémiai reakciókban (Combs és Combs, 1986).

A két elemnek hasonló a külső vegyértékhéj elektronszerkezete és atommérete, a kötési energiáik, ionizációs potenciáljuk és elektronaffinitásuk is hasonlóak. Közös sajátosságuk a diszulfid (-S-S-), ill. a diszelenid (-Se-Se-) hidak kialakítása szerves vegyületekben.

A szelén és a kén számos kémiai tulajdonságának hasonlósága ellenére biokémiájuk eltér egymástól, ami a biológiai rendszerekben megkülönbözteti őket. Az egyik különbség, hogy a biológiai rendszerek anyagcsere folyamatai során a szelénformák redukálódnak, a kén vegyületek pedig oxidálódnak (Brody, 1994).

A szelénvegyületek közül a szelenátok a szulfátokhoz, a szelenitek a szulfitekhez, míg a szelenidek a szulfidokhoz hasonlítanak. A szelenátok (SeO_4^{2-}) - hasonlóan a szulfátokhoz - valamint szelenitek (SeO_3^{2-}) vízben viszonylag jól oldódnak, így a biológiai

rendszerekben már alacsony koncentrációban is toxikusak. A fémes szelén vízben nem oldódó forma, míg a szelenid (Se^{2-}) erősen toxikus, reaktív, de könnyen oxidálódik fém szeléné (Skinner, 1999). A nehézfémek szelenid vegyületei szintén oldhatatlanok (Kádár, 1998).

A szelenit enyhe, a szelenát erős oxidálószer, míg a szulfit (SO_3^{2-}) redukál, addig a szulfát (SO_4^{2-}) nem vesz részt a redoxi-folyamatokban. A másik igen fontos eltérés a hidridjeik savas jellegéből adódik. A H_2Se sokkal savasabb karakterű, mint a H_2S . A savfokbeli eltérést a szeleno-cisztein szeleno-hidril- és a cisztein szulfhidril csoportjának disszociációs tulajdonságai okozzák. Ebből adódóan, míg a tiolok (cisztein) fiziológiai pH-érték mellett főleg protonált formában vannak jelen, addig a szelenolok szelenohidril csoportjai (SeCys) ugyanilyen körülmények között inkább disszociációra hajlamosabbak. Ezekre az eltérésekre vezethető vissza, hogy a szelénkomponensek átlagosan hatszázszorosan aktívabbak a daganatos megbetegedések ellen, mint kén analógjaik (Ip és Ganther, 1992; Kápolna és mtsai., 2006).

2.3. A szelén előfordulása

A szelén környezetünkben, a talajban, a talajvízben és egyéb felszíni és felszín alatti vizeinkben, és az összes élő szervezetben is megtalálható.

A geoszférában nincs az elemi szelénnek olyan természetes rétege, melyet közvetlenül ki lehetne bányászni. Gyakrabban fordul elő olyan kénes ércekben, mint például a pirit. A talajokban főként a piritek kilúgozásakor marad vissza és dúsul fel. A szelén még vulkanikus eredetű kőzetekben, talajokban fordul elő nagyobb mennyiségben, emellett ismert néhány szelénben gazdag szénréteg is, ahol leginkább szerves szelén vegyületek, illetve kelátos formájuk fordul elő (Kádár, 1998).

A Föld különböző részein a szelén bőséges mennyiségben van jelen, de eloszlása a talajokban a természetes szubsztrátoknak, a klimatikus viszonyoknak, illetve az ott élő növényközösségnek megfelelően erősen változik. Így nagy különbségek alakulnak ki akár egy országon belül is az egyes területek szelénellátottsága között (Hartil, 2004).

Szelénben leggazdagabb területek az USA középső része, és Kolumbiában és Venezuelában is találtak kimagasló szelénértékeket a talajban (Haug és mtsai., 2007). Kína

egyes tartományaiban, India Harayana régiójában (*Dhillon és Dhillon*, 1991), Európában Wales és Írország egyes részein mértek toxikus szelénszinteket (*Fleming*, 1962).

Szelénhiányt több mint 40 országban, illetve régióban mutattak ki. Ezek közül is kiemelkedik Európában Oroszország, Görögország, Lengyelország és Bulgária, az USA keleti és nyugati partjai, Kanada egyes részei, Ausztrália déli és nyugati részei, valamint Új-Zéland (*Cuwardic*, 2003; *Aro és mtsai.*,1994; *Bombik és mtsai.*, 2010; *Bratakos és Ioannou*, 1989; *Hartil*, 2004; *Duffield és mtsai.*,1999; *Welsh és mtsai.*,1981). Ázsia több területén, Kína egyes északkeleti és délnyugati tartományaiban és Afrika több országában (Kongó, Zambia és Dél-Afrika) küzdenek komoly szelénhiánnyal (*Haug és mtsai.*, 2007; *Ryssen*, 2001).

Elmondható, hogy a szelén Földünk talajaiban rendkívül egyenlőtlenül, 0,1 µg/g-tól 10 µg/g-ig, oszlik el, amelynek alapján gyakoriságát tekintve az 54. elem.

A természetben közel negyven ritka szelénásvány fordul elő. Ezek közül a clausthalit (PbSe), a zorgit ((PbCu)Se), a nanmannit (Ag₂Se) és a berzalianit (Cu₂Se) a legismertebbek. Mindezek ellenére a forgalomban lévő mintegy 1500 t/év mennyiségű szelén szinte kizárólag szulfidos rézércек feldolgozása során képződő melléktermék (*Anke és mtsai.*, 2003). Előfordulnak szelénben gazdag, ún. szelenofer talajok, amelyekben több száz mg/kg Se-koncentrációt is mértek. Mindezt természetesen befolyásolja a szelén módosulata, a talaj textúrája, a talaj nedvességtartalma, szervesanyag-tartalma, hőmérséklete és más elemek előfordulása (*Molnárová és Fargasová*, 2009).

A szelént a talajvízben és a felszíni vizekben 0,06-400 µg/l mennyiségben mutatták ki (*Smith és Westfall*, 1937; *Scott és Voegeli*, 1961; *Lindberg*, 1968; *Skinner*, 1999). Egyes területeken a szelén szintje a felszín alatti vizekben megközelítheti 6000 µg/l mennyiséget (*Cannon*, 1964), mely oldódásának mértékét a vizes közeg pH-ja nagyban befolyásolja

A talajerózió nagyban segíti a Se tengervízbe történő bejutását, főként szelenit (Se(IV)) és szelenát (Se(VI)) formájában. Szerves szelén vegyületekként beépülnek a fitoplanktonokon és zooplanktonokon keresztül az alacsonyabb és magasabb rendű gerinces szervezetekbe, vagy újra hasznosulnak mikroorganizmusokon keresztül Se(IV), Se(VI), H₂Se-formában, vagy elemi szelénként Se(0) (*Combs és Gray*, 1998). A kémiai és biokémiai transzformációk megismerése tette szükségessé a szelén módosulatok mennyiségi és minőségi meghatározását a lehető legérzékenyebb módszerekkel.

Átlagos szeléntartalmú talajokon élő, illetve ott termesztett növények 0,1-2 mg/kg koncentrációban tartalmazzák a szelént (Schrauzer, 2003). Vannak szelenofer talajokon élő, ún. szelén-indikátor növények (például az *Astragalus*, *Conopsis*, *Xylorhiza*, *Oonopsis*, *Stanleya* fajok), melyek nagy mennyiségben (akár 1000-15000 mg/kg szárazanyag koncentrációban) képesek a szelént a talajból felvenni és akkumulálni azáltal, hogy - a többi növényvel ellentétben - döntően olyan fehérjékbe nem beépülő (ún. nem proteinogén) aminosavakat szintetizálnak (pl. Se-metil-SeCys, Se-cisztationin, γ -glutamil-Se-metil-Cys), amelyek megkötik a szelént, így csökkentve annak fitotoxikus hatását (Bañuelos és Meek, 1989; Bañuelos és Pflaum, 1990; Whanger, 1994; Schrauzer, 2003). Bakteriális helyreállítási módszereket jelenleg is dolgoznak ki a *Bacillus subtilis* Se bioakkumulátor alkalmazásával (Garbisu és mtsai.,1995).

2.4. A szelén szerepe az emberi táplálkozásban – a szelénhiány következményei

Embernél két betegséget hoztak kapcsolatba a szelénhiánnyal. Ilyen a szívizom megbetegedés, a Keshan-kór (endémiás cardiomyopathia) és a súlyos ízületi megbetegedés, a Kashin-Beck-betegség (krónikus osteochondropatia). A Keshan-kór a gyerekeknél és a fogamzóképes nőknél fordul elő, amely Kína észak-keleti és dél-nyugati tartományai között, a talajviszonyoknak megfelelően, különböző mértékben mutatkozik. Azokra a tartományokra, ahol a betegség előfordul, a talaj alacsony felvehető szeléntartalma a jellemző, melynek következtében az ott termesztett élelmiszer alapanyagok szelénkoncentrációja rendkívüli mértékben alacsony (Combs, 2001; FAO, WHO, 2001; Tan és Huang, 1991).

Boldery és mtsai. (2006) szerint a vitaminok és ásványi anyagok hiányát már a múlt század 30-as éveiben kapcsolatba hozták a kardiomiopátiás megbetegedésekkel. (A kardiomiopátia (CMP) a szív pumpafunkciójának gyengüléséhez vezető szívbetegségek összefoglaló neve, amely az izom saját betegségére vezethető vissza.)

A szelénhiány okozott dilatatív kardiomiopátiás megbetegedésekről először 1935-ben számoltak be Kína Keshan tartományából, melynek kialakulását szelénpótlással megtudták akadályozni. A szelén szerepet játszik a szív-érrendszeri betegségek megelőzésében, de ez a megállapítás nem nyert egyértelmű bizonyítást (Rayman, 2000, Stranges és mtsai, 2006).

A szelénhiánytól eltekintve ez a betegség összefüggésbe hozható még az élelmiszerek mikotoxin-tartalmával, illetve az ivóvízben levő huminsavakkal. Nyilvánvalónak tűnik, hogy még a kismértékű szelénhiány is többféle módon lehet hatással az ember egészségére, mert hatással van az immunfunkciókra, a vírusos fertőzésekre, a férfiak termékenységére, a pajzsmirigy funkciójára, az asztmára és a gyulladásos betegségekre (Rayman, 2000, 2002).

A szelénről egyre többen rákellenes hatást is kimutattak (Combs, 2005; Combs, 2001; Whanger, 2004). Az Amerikai Egyesült Államokban a táplálkozásban használt magok szeléntartalma és a halálos rákmegbetegedések között negatív összefüggés figyelhető meg (Clark és mtsai, 1991). Egy kísérletben, melyben a páciensek napi dózisként 200 µg szelént kaptak szelénben dúsított élesztő formájában kimutatták, hogy a szelén-kiegészítésnek nem volt szignifikáns hatása a nem melanomás bőrrákra, de szignifikánsan csökkentette az összes rákos megbetegedések és a rákban elhunytak számát olyan esetben, mint a prosztatata-, a tüdő- és a bélrák (Clark és mtsai., 1996, 1998). Ezek a klinikai kísérletek jó egyezést mutatnak azokkal a kísérlettel végzett tanulmányokkal, ahol szinte minden kísérletben kimutatták a szelénről a tumorelles hatást (Whanger, 2004).

Hartikainen (2005) a szelén bio-geo-kémiájának hatását vizsgálva az élelmiszerek minőségére és az ember egészségére megállapította, hogy azokon a területeken, ahol a talaj szeléntartalmának hasznosulása alacsony, a potenciális szelénhiány egészségügyi kockázatot jelent az emberekre. A magasabb rendű növényekről azt tartják, hogy növekedésükhöz nincs szükség szelénre, de a Finnországban alacsony szeléntartalmú talajon végzett kísérletek kimutatták, hogy a közönséges trágyázás Na-szelenáttal történő kiegészítése nemcsak az egész élelmiszerlánc táplálkozási értékét növelte a növény, az állat és az ember vonatkozásában, de pozitív hatással volt a termék mennyiségére is. Vizsgálatai során a szelén-kiegészítést optimálisnak találta, és nem fordult elő abnormálisan magas koncentráció a növényekben vagy az állati eredetű élelmiszerekben. A szérum illetve az anyatej szeléntartalma azt mutatta, hogy a szelén-kiegészítés megfelelő.

A növény növekedését a magas szeléntartalom csökkenti. Amennyiben nagy mennyiségben adják a szelént a talajhoz, az illékony komponensekké történő átalakulás csökkenti a szelénkoncentrációt. Másik oldalról viszont az alacsony koncentrációban adott

szelén, különböző mechanizmusokon keresztül, kedvező hatással van a növény növekedésére. Amint az emberekben és állatokban, a szelén erősíti a növényekben is az oxigéntartalmú gyökök megkötését, ami az oxidatív stressz kialakulásáért felelős, és ugyancsak segíti a rövid hullámhosszú fény hasznosulását a növényekben.

Nagy koncentrációban a prooxidatív reakciók hatékonyságának fokozásával toxikus, ezért a nagy mennyiségű szelén-kiegészítés mindenképpen megfontolandó. Az emberek szelénfelvétele nagyon tág határok között változik a különböző szeléntartalmú élelmiszer fogyasztása miatt. Európában a felnőttek szelén fogyasztása 30–100 µg-ra tehető naponta (ami Észak Amerikában 60–220 µg/nap között mozog), aminek fő oka az, hogy csökkent a kenyérgabona importja Észak-Amerikából, amely általánosságban sokkal több szelént tartalmaz, mint az Európában termesztett búza.

Úgy tűnik nem alakult ki általános egyetértés a tekintetben, hogy mi a szükséges szelénbevitel az embereknel (*Thomson, 2004a*). A minimális szelénbevitt a Keshan-betegség megelőzése céljából 17 µg/napban jelölték meg (*Yang és Xia, 1995*), ugyanakkor a maximális glutation-peroxidáz (GPx) plazma aktivitás eléréséhez a becsült szelénbevitel 45 µg/nap körül van (*Thomson, 2004b*).

Az Egyesült Államokban és Kanadában a javasolt napi szelénbevitel 55 µg/nap, Európában pedig az 50 µg/nap bevitt tekintik optimálisnak. Ausztráliában és Új-Zélandon a férfiaknak 70, a nőknek 60 µg szelénbevitt javasolnak naponta. Az Egyesült Királyságban a napi bevitt a férfiaknál 75 µg, a nőknél pedig 60 µg-ban szabták meg. Ellentétben ezzel, a WHO és a FAO normatívája 40 µg szelénbevitt szab meg a férfiak számára és 30 µg-ot a nők számára, azonban a WHO és a FAO normatívák alapján a maximális plazma GPx aktivitást nem lehet elérni ezért *Rayman (2002)* további szelénbevitt javasolt például a rák megelőzésére. *Combs (2001)* szerint nyilvánvaló, hogy a plazma szelénszintjének 120 µg/l fölé emelése hasznos lehet a rák megelőzése céljából. E célból a szelénbevittnek legalább 1,5 µg/testtömeg-kg-nak kellene lenni, ami egy 60–80 kg-os személy esetében egyenértékű 90–120 µg/nap szelénbevittel. További kísérleteket kell végezni annak meghatározására, hogy mi az a minimális bevitel, ami a védőhatást még biztosítja. A vérérum szelénkoncentrációjából *Combs (2001)* arra a következtetésre jutott, hogy az emberiségből világszerte fél-egy milliárd szelénhiánnyal küzd. Sok európai

országban a szérumban a szelénszintje alacsonyabb annál a kívánatosnál, ami a maximális GPx aktivitást kiváltja.

Rasmussen és mtsai. (2009) Dániában vizsgálták a szérumban a szelén- és szelenometionin-tartalmának változását nyolc év alatt, különös tekintettel azokra a hatásokra, amelyek a szelénstátusszal kapcsolatba hozhatók. 817 véletlenszerűen kiválasztott egyéntől vettek vérmintát, és egy kérdőívvel információt szereztek a dohányzási szokásokról, az alkoholfogyasztásról és a sportolásról. A férfiaknál az átlagos szérumban a szelén szint 98,7 µg/l, a szeleno-protein szint pedig 2,72 mg/l volt. Mind a szérumban a szelén szintje, mind a szeleno-protein szintje a kor előrehaladásával nőtt, és a szeleno-protein szint magasabb volt a férfiaknál, mint a nőknél. A szérumban a szelén szintje 1997–2005 között mintegy 5%-kal csökkent, ezzel szemben a szeleno-protein szint szignifikánsan növekedett. A dohányzás csak nagyon csekély mértékben volt hatással a szelén szintre, és egyáltalán nem befolyásolta a szeleno-protein szintet. A dohányzás, az alkoholfogyasztás, a testgyakorlás vagy a gyógyszerfogyasztás nem befolyásolta a szervezet szelénstátuszát. Megállapították, hogy a dán populáció szelénstátusza megfelelő szintű. A kor, a nem és az életstílus szerint nem tudtak olyan csoportokat kiemelni, amelyeknél különös figyelmet kellene fordítani a szelénhiányra.

2.5. A szelén, mint antioxidáns

Az élő szervezetekben az evolúció során a környezeti ingerek és az endogén folyamatokban keletkező egyes vegyületek káros hatásai ellen számos védekező mechanizmus alakult ki. Az aerob élethez való alkalmazkodás során az oxidatív hatások ellen kialakult az antioxidáns védelmi rendszer, amely az oxigéngyökök okozta sejtszintű, szöveti és szervi károsodásoktól véd.

Azokat az anyagokat, vegyületeket, amelyek védik a szervezetet az oxidációs folyamatok következtében keletkezett szabad gyökök vagy egyéb oxidáló anyagok káros hatásától, antioxidánsoknak nevezzük. A szervezet antioxidáns kapacitása a káros oxidációs hatásokkal szembeni védekező képességet jelenti. Az antioxidáns kapacitás a rendelkezésre álló antioxidáns vegyületek mennyiségének, másrészt a szervezetet ért oxidatív terhelés mértékének a függvénye (*Hornsby és Crivello, 1983*).

Az utóbbi évtizedekben egyre többet foglalkoznak mind a humán, mind az állatorvosi kutatómunkában a szabad gyökök károsító hatásaival, valamint a szervezet antioxidáns védelmi rendszerének vizsgálatával. Számos betegség (érelmeszesedés, idegrendszeri betegségek, daganatos betegségek, autoimmun betegségek stb.) kialakulásának az oka az oxidatív stressz (*Lapenna és mtsai.*, 1998; *Lachance és mtsai.*, 2001).

Többkomponensű rendszerekben az antioxidáns vegyületek egymás szinergistáiként működnek. A szelén (Se), az E-vitamin és a β -karotin olyan antioxidáns vegyületek, amelyek egymással kölcsönhatásban vesznek részt a szervezet élettani és detoxikáló folyamataiban (*Frankel*, 1998). Táplálkozás-élettani és takarmányozás-élettani vonatkozásban különösen nagy ezen molekulák antioxidáns szerepe. Ez a hatás akkor is megnyilvánul, ha szintetikus formában állnak rendelkezésre, de akkor is, ha természetes mátrixban veszi fel a szervezet ezeket az anyagokat (*Surai*, 2002).

A szelén is antioxidáns hatású mikroelem, amelynek számos hatása ismert. A szervezet biológiai antioxidáns védőrendszerében lényeges glutation-peroxidáz enzim alkotórésze, de emellett az állati szervezetben számos szeléntartalmú fehérje ismert, amelyek száma ma már közel 70 (*Gladyshev és Kryukov*, 2001). *Schwartz és Foltz* (1957) bizonyította, hogy a szelén nélkülözhetetlen takarmány-alkotórész. A szelén védelmet nyújt a sejtmembránok oxidatív károsodása ellen, vagy kölcsönhatásba lép a toxikus nehézfémekkel.

A normál egészséges életműködéshez szüksége van szervezetünknek néhány létfontosságú szeléntartalmú fehérjére, illetve enzimre. A legismertebb ezek közül az antioxidáns hatású glutation-peroxidáz enzim (GPx), amely elbontja a hidrogén-peroxidot, a károsító hatású lipid és foszfolipid hidroperoxidokat, eliminálja az azokból képződött káros szabadgyököket és egyéb reaktív oxigénvegyületeket, és ezzel védi a membránok szerkezetét és funkcióképességét, illetve meggátolja a DNS károsodást, valamint a metabolikusan aktív karcinogének kialakulását (*Karag és mtsai.*, 1998; *Al-Kunania és mtsai.*, 2001). A GPx minden szövetünkben jelen van. Az enzim működését részben a redukált glutation mennyisége (szubsztrát), részben pedig a szervezet aktuális szelén ellátottsága (aktív centrum) határozza meg (*Meister és Anderson*, 1983).

A szelén SeCys-ként épül be az enzimbe, és mint ciszteinanalog a kén helyét foglalja el. Ez a biokémiai tulajdonság magyarázza a szelén fontos szerepét a szervezetünk oxidáció elleni védekező rendszerében, mert könnyebben redukálódik, mint a kén (Cser és Sziklai-László, 1998). Ez idáig négy szeléntartalmú glutation-peroxidázt (GPx) azonosítottak: sejti vagy a klasszikus GPx, plazma vagy extracelluláris GPx, foszfolipid hidroperoxid GPx és a gasztrointesztinális GPx. Bár mindegyik egy-egy különálló szelenoprotein, mégis mindegyik enzim antioxidáns hatású; redukálják a veszélyt jelentő reaktív oxigéngyököket (Holben és Smith, 1999).

Az antioxidáns hatású glutation-peroxidáz (GPx) szelén-függő enzimet elsőként Mills izolálta szarvasmarha vörösvérsejtekből (1957), majd Awasthi és mtsai. emberi vörösvérsejtekből 1975-ben. Egészen addig a szelénről, mint tápanyagról csak azt tudták, hogy a már E-vitamin hiányban szenvedő állatok nem képesek egyidejűleg elviselni a szelén hiányát is (Burk, 2002).

A szelén összetett antioxidáns hatásának köszönhetően megelőz olyan betegségeket (daganatos elváltozások, szív- és érrendszeri megbetegedések, stroke, szürkehályog, öregedési folyamatok), amelyek a szabad gyökök felhalmozódása következtében alakulnak ki a szervezetben (Mark, 1998; Arthur, 1990). A szelén csökkentheti a stroke és az infarktus kockázatát, mivel gátolja az erekben a vérrögzződési hajlamot, növeli a HDL (High Density Lipoprotein) arányát a vérben az LDL (Low Density Lipoprotein) rovására (Mark, 1998). A szelén az immunrendszer egészséges működéséhez is szükséges, mivel a szervezet általános ellenállóképességét is növeli. Ez a hatása az immunrendszer működőképességének javításában és különböző vírusok leküzdésében is megnyilvánul. A HIV-vírus elleni hatékonyságát jelenleg kutatják (Baum, 1997; Beck, 1998). A szelén E-vitaminnal együtt gyulladáscsökkentésre, a reumás ízületi gyulladás, a pikkelysömör, a bőrfarkas (*Lupus erythematosus*) és az ekcéma tüneteinek enyhítésére is alkalmas (Forceville, 1998).

2.6. A szelén szükséges és toxikus mennyisége, szelénhiány, szelénpótlás

A szelén esetében a szervezet számára szükséges és toxikus Se mennyiség nagyon közel esik egymáshoz (Michalke, 1995). Közvetlen vagy közvetett módon a szelénhiány nagyon sok betegség kialakulásában játszhat szerepet (Navarro-Alarcón és López-Martínez, 2000).

Az élő szervezetek működésében úgy a szelénhiány, mint a szeléntöbblet egyaránt valamilyen következménnyel jár. A szelénhiány betegségei közé tartozik az első ízben felfedezett, igen súlyos hiánybetegség, a Keshan-szindróma. Ehhez a betegséghez hasonló, és szintén Kínában és környékén (Észak-Kína, Észak-Korea és Kelet-Szibéria) jelentkezett az ún. Kashin-Beck elnevezésű betegség.

A szakirodalomban egyre több, szelénhiánnyal összefüggésbe hozható betegséggel találkozhatunk. Ilyen betegségek, pl. a fehérje-hiányos étrend során fellépő Kwashiorkór, a szívrendszeri megbetegedések széles skálája, a leukémia, a daganatos megbetegedések, a fiatalkori krónikus ízületi gyulladás, a mongol idiotizmus (Down-szindróma), az inzulinfüggő, valamint a gyermekkori cukorbetegség, a búskomorság, a vérszegénység, a bőschohalál, a terhesség alatti depresszió, az Alzheimer-kór, sőt még az AIDS is. A szelén az agyi funkciókban nagyon fontos szerepet tölt be, mivel metabolikus folyamatai az agyban nagymértékben eltérnek más szervekben történő metabolizmusától (Whanger, 2001). Szelénhiányos táplálkozás esetén az agyi szövetek szelénellátása elsőbbséget élvez más szövetek, mint pl. vese vagy a máj kárára (Finley és Penland, 1998; Buckman és mtsai., 1993; Dworkin, 1994; Romero-Alvira és Roche, 1998). A szelénhiány klinikai tünetei között szerepel még a vázizomzat gyengesége és elfajulása, a csont- és az ízületi rendszer rendellenessége, a bőr fehér foltosodása, a hajritkulás és a hajhullás.

Mivel egyik tünet sem specifikus, így a szervezet szelén ellátottságának meghatározása nélkül nem lehet egyértelműen megállapítani, hogy szelénhiány okozza-e a tüneteket. A szervezet Se ellátottságát a teljes vér, a plazma, a vörösvértestek, a haj, a köröm, illetve a vizelet Se koncentrációjának meghatározásával lehet megállapítani (Cser és Sziklai-László, 1998).

A szelén alapvetően esszenciális nyomelem, de túl nagy mennyiségben toxikussá válik. Az ajánlott napi bevitel 3-4-szeresét meghaladó fogyasztás esetén először gyengébb, majd később rendkívül erőteljes mérgezési tünetek jelennek meg (Arthur, 1991). A túlzott szelénbevitel tehát krónikus toxicitáshoz vezet (szelenózis), ami olyan egészségkárosodással jár, mint a haj és a körmök elvesztése, bőrbetegségek, májnagyobbodás, idegrendszeri és emésztőszervi zavarok. Krónikus szelenózisról Közép-Kína Enshi tartományából számoltak be, ahol a talaj, amelyen a helyi termékeket termesztik, és a víz rendkívüli módon magas szeléntartalmú (Combs, 2001; Yang és Xia,

1995). Ebből a tartományból a tanulmányok egy speciális szelenózis szimptómáról számolnak be, amikor a körmök váltása 1600 µg/nap szelénbevitelnél bekövetkezett. A szelénbevitelt 819 µg/napra csökkentve, a szelenózisos páciensek közül néhányan felépültek ebből a betegségből. Ezekre a tanulmányokra alapozva *Yang és Xia* (1995) azt javasolták, hogy a napi bevitt szeléntartalom a 400 µg/napot ne haladja meg, bár egyes embereknél a 600 µg/nap is biztonságos lehet.

2.7. Szelénformák

Természetes körülmények között a biológiailag nem hozzáférhető elemi szelén csak ritkán fordul elő, de a talajban stabilis formában megtalálható.

Az elemi szelén szelén-dioxiddá oxidálódhat, mely leginkább a talaj felszínén fordulhat elő. Levegőtől elzárt, anaerob körülmények között, a talajokban a szelén elemi formája van jelen (*Craig*, 1986).

A környezetünkben előforduló főbb szelénvegyületek:

- a talajban: Se(IV), Se(VI), dimetil-szelenid (dMeSe), dimetil-diszelenid (dMedSe) ((CH₃)₂Se₂), dimetil-szelenon ((CH₃)₂SeO₂),
- biológiai mintákban: szeleno-cisztin (SeC), szeleno-cisztein, szeleno-metionin, szeleno-etionin (SeE), szeleno-urea (SeU) (*McSheehy és mtsai.*, 2000, *Michalke és mtsai.*, 2001).

A hidrogén-szelenid vizes közegben gyenge savként viselkedik, de gázállapotban kellemetlen szagú, színtelen, mérgező vegyület. Enyhe redukálószer hatására, mint pl. az aszkorbinsav, a szelenit könnyen elemi szelénre redukálódik. A szelenátok és a szelenitek vízzoldékony vegyületek, így a vizekben a szelén leginkább ezekben a formákban fordul elő (*Gómez-Ariza és mtsai.*, 1998).

A szerves módosulatok szeleno-aminosavak, vagy azok származékai, amelyek tulajdonképpen olyan aminosavak, amelyekben a kén helyét a szelén foglalja el. A szelén legfontosabb szerves formáinak tekintik a növényi eredetű SeMet-t, illetve az állati fehérjékből származó SeCys-t. A magasabb rendű állatok sem képesek SeMet szintézisére, így a szervezetükbe a SeMet kizárólag a felvett takarmánnyal kerülhet be. Ugyanakkor az állatok és az emberek egyaránt képesek a SeMet-t SeCys-sé alakítani. A SeMet állati szövetbe való befecskendezése után egy nappal a szöveti SeMet mennyisége körülbelül

háromszorosa a SeCys-nek. Öt nap elteltével azonban a szövetekben lévő szelén döntő többsége SeCys-ként van jelen (*Beilstein és Whanger, 1986*).

A szerves módosulatok közül fontos megemlíteni a szeleno-metil-szeleno-cisztein (MeSeCys) szeleno-aminosav származékot, illetve annak glutamil származékát, a γ -MeSeCys-t. Ezek olyan nem fehérjében kötött, metilezett szeléntartalmú komponensek, amelyek megnövelt szeléntartalmú táptalajon termesztett növényekben elsődleges formaként vannak jelen.

Az elemi szelénnek három fő formája ismert a természetben. A szürke elemi szelén kristályos szerkezetű, hexagonális kristályrácsban elhelyezkedő szelénatomokból épül fel, biológiai rendszerekben inert. A vörös elemi változat amorf szerkezetű vagy monoklin kristályrácsú, nem rendelkezik fémes tulajdonsággal. A harmadik forma a szürke, amorf szerkezetű szelén (*Gattow és Heinrich, 1964, Kessi és mtsai., 1999*).

A szelenit kémiai redukciójával szürke, üvegszerű, az elemi szelén allotróp módosulata képződik széles nanoméret-tartományban (10 nm-50 μ m) (*Oremland és mtsai., 2004*). Ugyanakkor vörös nanoszelén (5-100 nm tartomány) előállítható szelenitből is, kémiai redukcióval, marhaszérum albumin (BSA) hozzáadásával. A BSA a szelén atomok összetapadásához szükséges, és szabályozza a keletkező aggregátumok méretét: nagyobb BSA koncentráció mellett kisebb nanoszelén részecskék várhatóak (*Huang és mtsai., 2003*).

Az amorf elemi szelén létrehozható paprikából (*Capsicum annuum L.*) készült extraktum segítségével szelenitből is (*Li és mtsai., 2007*). Az extraktumban lévő 30 kDa molekulatömegű α -Se/protein képes szobahőmérsékleten a szelenit oldatot elemi szelénre redukálni, és szabályozza annak gócképződését, növekedését is.

Az utóbbi időkben több közlemény jelent meg, melyekben a nanoszelén előnyeiről számolnak be más szelén módosulatokkal összehasonlítva. Előnyös tulajdonságait valószínűleg méretének köszönheti, ismert ugyanis, hogy a részecskék nanoméret-tartományban új tulajdonságokkal rendelkeznek. Ilyen a megnövekedett felület, a kvantum effektus, a magas reaktivitás (*Huang és mtsai., 2003*).

In vitro körülmények között vizsgálva a nanoszelén szabadgyökökkel szembeni védő hatását azt tapasztalták, hogy a kisebb mérettartományba eső (5-15 nm) nanoszelén hatékonyabban véd a szabadgyökökkel szemben, mint a nagyobb (80-200 nm) méretűek, a

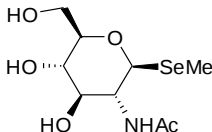
funkcionális fehérjékhez kapcsolódva pedig gátolhatja azok működését (*Huang és mtsai.*, 2003). Patkányokkal végzett vizsgálatok azt igazolták, hogy a nanoszelén biológiai hozzáférhetősége és antioxidáns hatása hasonló a szelenithez, viszont akut körülmények között sokkal kevésbé toxikus (*Zhang és mtsai.*, 2001).

SeMet-t nanoszelénnel állatkísérletekben összehasonlítva az eredmények azt bizonyították, hogy a nanoszelén sokkal kevésbé toxikus, mint a szeleno-metionin. Ugyanakkor megnövekedett az antioxidáns enzimek (GPx) aktivitása, a szelén akkumuláció pedig magasabb a szeleno-metioninnal kezelt egerekben, mint nanoszelénnel kezeltékben, különösen azoknál, ahol toxikus koncentrációt alkalmaztak (*Wang és mtsai.*, 2007). Nanoszelén hatásáról magasabb rendű növényekben nem található információ a szakirodalomban.

Mivel minden kéntartalmú molekulának létezik szelént hordozó analóg vegyülete, a tömeghatás alapján a szelén és a kén egymással versengve szerepelhet számos biokémiai reakcióban. Az 1. és a 2. táblázatban a leggyakrabban vizsgált szelénmódosultok találhatók.

	Megnevezés	Rövidítés	Képlet	Előfordulás
Szervetlen Se- vegyületek	Szelénsav és sói, a szelenátok	Se(VI)	SeO_4^{2-}	Talaj, talajvíz, üledékek, tenger
	Szelénsav és sói, a szelenitek	Se(IV)	SeO_3^{2-}	
Metilezett Se- vegyületek	Trimetil-szelenonium-ion	$TMSe^+$	$(CH_3)_3Se^+$	Se-kiürítés metabolitja
	Dimetil-szelenid	DMS _e	$(CH_3)_2Se$	
Szeleno aminosavak és származékaik	Szeleno-cisztein	SeCys	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - SeH$	Se-fehérjék funkcionális csoportja
	Szeleno-cisztin	SeCys ₂	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - Se - Se - CH_2 - CH(COOH) - NH_2$	
	Szeleno-metionin	SeMet	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - Se - CH_3$	Se-tartalmú fehérjék nem funkcionális építőeleme
	Se-metilszeleno-cisztein	MeSeCys	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - Se - CH_3$	A kénanyagcsere kéntartalmú vegyületeinek analóg, szeléntartalmú megfelelői.
	γ-glutamil-Se- metil- szeleno-cisztein	-	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - CO - NH - CH(COOH) - CH_2 - Se - CH_3$	
	Szeleno-cisztationin	-	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - Se - CH_2 - CH(COOH) - NH_2$	
	Szeleno-homo-cisztein	SeHoCys	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - SeH$	
	Szeleno-cisztamin	-	$H_2N - CH_2 - CH_2 - Se - Se - CH_2 - CH_2 - NH_2$	

1. táblázat: Szelenoaminosavak és származékaik (1) (Kotrebai, 2000.; Lobinski, 2000.; Kobayashi, 2002; McSheehy, 2000)

	Megnevezés	Rövidítés	Képlet	Előfordulás
	Se-adenozil-szeleno-homocisztein	AdoSeHoCys	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - Se - CH_2 - C_4H_5O_3C_5N_4NH_2$	A kénanyagcsere kéntartalmú vegyületeinek analóg, szeléntartalmú megfelelői
	Se-lantionin	-	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - Se - CH_2 - CH(COOH) - NH_2$	
Szeleno aminosavak és származékaik	Szeleno-etionin	SeEt	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - Se - CH_2 - CH_3$	Valószínűleg csak mesterségesen előállított aminosav
	Dimetil-szelenonium-propionát	DMSep	$(CH_3)_2Se^+CH_2 - CH_2 - COO^-$	Se-kiürítés metabolítja
	1β-metilszeleno-N-acetil-D-galaktózamin (Se-metil-N-acetilszeleno-hexózamin)	Szeleno-cukor MSeAcG		
	Se-adenozil-metionin	AdoSeMet	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - CH_2 - Se^+(CH_3) - CH_2 - C_4H_5O_3C_5N_4NH_2$	A kénanyagcsere kéntartalmú vegyületének analóg, szeléntartalmú megfelelője
	Se-allil-szeleno-cisztein	AllSeCys	$H_2N - CH(COOH) - CH_2 - Se - CH_2 - CH = CH_2$	
	Szeleno-karbamid	SeU	$H_2H - C(Se) - NH_2$	Valószínűleg csak mesterségesen állították elő

2. táblázat: Szelenoaminosavak és származékaik (2) (Kotrebai, 2000.; Lobinski, 2000.; Kobayashi, 2002; McSheehy, 2000)

A bemutatott szelén módosulatokban (1. táblázat, 2. táblázat) szinte a teljes kénanyagcsere analóg molekuláris eszköztárát megtalálhatjuk a szervesetlen szelenáttól kezdve a SeCys-ig, amely *Kotrebai, 2000.*, *Lobinski, 2000.*, *Kobayashi, 2002* és *McSheehy, 2000* munkái alapján van összeállítva.

2.7.1. Szelénformák a talajokban

A szelén koncentrációja és kémiai formája, előfordulása a talajban, illetve a talajvizekben és a kapillárisvízben számos kémiai és fizikai paramétertől függ, mint pl. a pH-tól, a kémiai és ásványi összetevőktől, az adszorbeáló felülettől és az oxidációs-redukciós állapottól (*Dhillon és Dhillon, 1999*).

A megfelelően műtrágyázott mezőgazdasági talaj általában 400 mg/tonna szelént tartalmaz, mivel a szelén kis mennyiségben alkotója a foszfát műtrágyáknak. A szelén mobilitását a talajban több tényező befolyásolja. Ilyen a talaj hőmérséklete, víztartalma, szervesanyag-tartalma, az évszaki jellemzők, illetve a talajban lejátszódó mikrobiális tevékenységek (*Skinner, 1999*).

Savas, redukáló és szerves anyagban gazdag talajra a nem mobilis és felvehetetlen szelenid és az elemi szelén jelenléte a jellemző, míg lúgos, oxidatív, jól szellőző talajokban a mobilis szelenit és a szelenát formák találhatók meg (*Kádár, 1998*).

A szelenidet a növények és az állatok nem képesek felvenni. Lúgos, oxidatív, szellőző talajban a szelenit (Se(IV)) és a szelenát (Se(VI)) dominál. A szelenát egyike a legmobilisabb szelénformáknak. Ez a tulajdonsága a komponens nagy oldékonyságán és a talaj szemcséin való gyenge adszorpcióján alapszik (*Zayed és mtsai., 1998*; *Mayland, 1986*; *Xiao-Zhang és Ji-Dong, 2008*). Semleges pH-jú, jól szellőző talaj a szelenit jelenlétének kedvező, ami sokkal erősebben adszorbeálódik a talajok felszínéhez, mint a szelenát, és mindkettő adszorpciója jelentős mértékben csökken, ha nő a pH (*Barrow és Whelan, 1989*). Amennyiben a talaj nagy koncentrációban szelenittel szennyeződik, a magas szeléntartalom évekkal később is jól mérhető, de jó része szelenáttá oxidálódik (*Széles és mtsai., 2007*).

A szelén oxidációs állapottól függő módosulatait a talajban erősen befolyásolják a pH, a talaj szerkeze, környezeti állapota, a vas-oxid és a vas-hidroxid aránya, valamint a szervesanyagok, a talaj mikrobiális tevékenységek, illetve más faktorok (*Girling, 1984*).

A szelenát csak gyengén adszorbeálódik elektrosztatikus erők segítségével egy nem specifikus mechanizmus során, hasonlóan a szulfát adszorpciójához, míg a szelenit a talaj felületén komplex formájában kötődik meg, hasonlóan a foszfát adszorpciójához (*Barrow és Whelan*, 1989; *Neal és mtsai*, 1987a). *Neal és Sposito* (1989) alluviális, 5,5–9,0 pH-jú talajokon nem tudott kimutatni szelenát adszorpciót Kaliforniában. Ez azt jelenti, hogy a szulfát jobban oldódik talajokban, mint a szelenit, ezért a növények is jobban hasznosítják, de ezért jobban hajlamos a kimosódásra is.

Az üledékes kőzetekben, redukált, anaerob körülmények között főként elemi formában van jelen a szelén. Nagyon kis mértékben oldékony és mobilis, így az emberi szervezet számára nem jelenthet komolyabb mérgezési forrást (*Bañuelos és Lin*, 2005). A kolloidális elemi szelén a növények számára szinte felvehetetlen, nem képesek hasznosítani (*Hurd-Karrer*, 1935; *White és mtsai.*, 2004). A nagy vastartalmú talajokban az elemi szelén szorosan kötődik a vashoz, ami még inkább megnehezíti a növények szelén felvételét (*Reilly*, 1996). Ha az üledék oxidálódni kezd, akkor a szelén jó része átalakul szelenáttá vagy szelenitté.

Talajokban leggyakrabban az elemi szelén szürke és vörös amorf, allotróp módosulatai fordulnak elő. 30 °C hőmérséklet felett a vörös elemi szelén fokozatosan átalakul szürke formává, idővel pedig stabil, hexagonális szürke módosulattá alakul tovább (*Gattow és Heinrich*, 1964; *Geering és mtsai.*, 1968, *Domokosné Szabolcsy*, 2011).

Nanoméretű vörös elemi szelén előállítására több különböző baktérium törzs is képes a természetben (*Garbisu és mtsai.*, 1995; *Tomei és mtsai.*, 1995). Valószínűleg a baktérium védekezési mechanizmusának része az, hogy elemi szelén partikulumokat állít elő. A természetben a baktériumok átlagosan 300 nm nagyságú nanorészecskéket produkálnak.

Érdekes, hogy filogenetikailag az egyes baktériumfajok által létrehozott elemi szemcsékben a szelénatomok elrendeződése eltér (*Oremland és mtsai.*, 2004). A talajlakó baktériumok e képessége ígéretesnek tűnik ott, ahol extrém magas a talaj szelenit vagy szelenát szintje, mivel ily módon átalakulhat sokkal kevésbé toxikus vörös elemi szeléné.

A természetben előforduló talajbaktériumok mellett az iparban alkalmazott baktérium fajok is képesek a szelenitet elemi nanoszelénre redukálni. Többek között ilyen a joghurtgyártásban is használt *Lactobacillus acidophilus* baktérium törzs, melyről

bebizonyították, hogy nagy hatékonysággal képes egy lépésben redukálni a szelenitet 200 ± 20 nm átmérőjű vörös elemi nanoszelénné (*Prokisch és Zommara, 2008*). A baktérium sejtekből a nanorészecskék savas roncsolással feltárhatóak, s az így kapott szuszpenziót már forgalomba is hozták (*Domokosné Szabolcsy, 2011*).

2.7.2. A szelén megkötődése a talajban

A szelén esszenciális vagy toxikus tulajdonsága a talajban, a vizekben és az élelmiszerekben nem csak koncentrációjától, hanem attól is függ, milyen formában van jelen. A különböző szelénformák közvetlenül hatással vannak az adszorpciós folyamatokra, valamint a biológiai felvehetőségre is (*Mikkelsen és mtsai., 1989*).

Wang és mtsai. (1995) egy Finnországban folytatott szelénnel kiegészített trágyázási kísérletet vizsgáltak, összefüggésben a kísérlet idejével, a trágyázás során kijuttatott szelénformákkal, a kijuttatott dózisok nagyságával, valamint a szelén bioakkumulációjával és szedimentációjával a környező vízi ökológiai rendszerekben. Vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy a múlt században az 1990-es évekig, a vízi üledékekben jelentősen megnőtt a szelén koncentrációja, amit az erőteljes mezőgazdasági tevékenységnek valamint a légköri szennyezésnek tulajdonítottak.

Díaz és mtsai. (1996) az ivóvizek, az öntözővizek és a szennyvizek szeléntartalmát vizsgálták egy spanyol ipari terület körzetének 62 pontján. Kutatásaik szerint a vizekben alacsony volt a szelén koncentrációja, ami az ottani talajok eredetileg is alacsony szelénkoncentrációjára utal.

Wang és Gao (2001) arra a következtetésre jutottak, hogy a szelén biológiai felvehetősége főleg a talaj szervesanyag-tartalmától, valamint a kimosódási és hidrológiai transzportfolyamatoktól függ. Az alacsony Se-tartalmú talajok szintén alacsony szeléntartalmú alapkőzetből származnak, így a növények és a talaj között igen kis mennyiségű szelén áramlik, azaz kevés lesz a növények által felvehető szelén mennyisége.

A talajban előforduló, egyéb oxidok minőségét és mennyiségét is ismernünk kell, amelyekhez a szelén nagymértékben kötődhet. A talajban lévő vasoxidok és hidroxidok, valamint a szerves szénvegyületek és a humusztartalom mennyisége is befolyásolja a szelén megkötődését (*Geering és mtsai., 1968; Dhillon és Dhillon, 1999; Wang és Chen, 2003*).

Nagyon fontos tényező a pH, ugyanis szelenit savas talajokon igen nagymértékben kötődik, míg semleges és lúgos talajokon az adszorpció gyenge; nagy az esélye a kimosódásnak (*Neal és mtsai.*, 1987a). A szelenit igen erősen adszorbeálódik a talajban, biológiai felvehetősége kicsi, a növények számára nem elérhető. Ezzel szemben a szelenát sokkal mozgékonyabb forma; a talajban csak gyengén kötődik, így nagyobb a felvehetősége és a kimosódás veszélye is fennáll (*Neal és mtsai.*, 1987a, 1987b, *Neal és Sposito*, 1989). A szelenát egyike a legmobilisabb szelénformáknak, ami a komponens nagy oldékonyságán és a talaj szemcséin való gyenge adszorpcióján alapszik (*Zayed és mtsai.*, 1998).

Hamdy és Gissel-Nielsen (1997) azt találták, hogy az 1:1 rétegtípusú agyagásványok (kaolinit) jóval nagyobb megkötési kapacitással rendelkeznek a szelenitre nézve, mint a 2:1 agyagásványok (vermikulit és montmorillonit) (*Balogh*, 2006).

2.7.3. Szelénformák a növényekben

A szelén esszenciális voltát a magasabb rendű növények számára a mai napig még nem bizonyították, de igazolták, hogy a kénhez való kémiai hasonlósága miatt könnyen felveszik és asszimilálják (*Läuchli*, 1993). A növények szeléntartalma gyakran csak kis mértékben korrelál a talaj összesszelén-tartalmával, számottevőbb a szelén komplexkémiai viselkedése az adott talajon, vagyis a komplexekben kötött szelén mennyisége a meghatározó tényező a szelén felvételénél (*McLaughlin és mtsai.*, 1999). Általánosságban elmondható, hogy a talaj szelénellátottsága szabja meg az azon termesztett növény szeléntartalmát (*Terry és mtsai.*, 2000).

A növények a szelént szelenát, vagy szelenit ionként veszik fel. A növényi szárazanyag átlagos szeléntartalma 0,01 és 1,0 µg/g között változik. A szelén a keresztesvirágúakra már kis koncentrációban kedvezően hat. A szelént akkumuláló növények közül az *Astragalus* (ázsiai növény, mely gumyszerű váladékot termel) kapott legnagyobb figyelmet.

Megállapították, hogy a toxikus foszfátkoncentrációnak kitett növények szelén jelenlétében kevesebb foszfátot vettek fel, ezért növekedésük gyorsult. Nagyobb koncentrációban a szelén növekedési zavart, klorózist okozhat. A méregtelenítő mechanizmusuk különbözősége miatt a növények jelentősen különböznek egymástól.

A szelenát-ionok nem csak a felvételben versengenek a szulfát-ionokkal, hanem abban is, hogy a kénasszimiláció különböző enzimeivel is reakcióba léphetnek. Ennek következtében egyes aminosavakból szelén származékok képződhetnek: SeCys, abból pedig SeMet. Ezek a szelént nem akkumuláló növényekben fehérjékbe épülhetnek be, amelyek vagy nem, vagy sokkal kevésbé funkcióképesek, mint a kéntartalmú megfelelőik (Széles, 2007).

A szelén felvételének csökkentése, illetve kizárása a nem akkumuláló növények számára igen fontos. A szelén-felhalmozó növények másként védekeznek. Nem képződik bennük szeleno-metionin, hanem fehérjékbe be nem épülő származékot, szeleno-metil-ciszteint képeznek SeCys-ből. Végül pedig a szeleno-metioninból képződhet a dimetil-szelenid is, amely illékony, és a gázcsere nyílásokon át távozhat (Láng, 2002).

1987-ben *Abuereish és Lahram* a Jordán folyó völgyének vidékén a talaj és növények szeléntartalmát határozták meg. A legnagyobb szelén mennyiséget a hüvelyesek, a fűfélék és a keresztesvirágú növények tartalmazták.

Gupta és Watkinson (1985) a szelén mezőgazdasági jelentőségéről írt összefoglaló cikkben megállapították, hogy ugyanazon a talajtípuson a szelényűjtő növények (például keresztesvirágúak) lényegesen magasabb szeléntartalmat mutattak, mint a szelént nem gyűjtő növények. Az előbbieken néha 2%-ot is elérhet a szeléntartalom anélkül, hogy toxikus hatás jelentkezne, viszont az ilyen szeléntartalom már veszélyes lehet az állatokra és az emberekre.

Gissel-Nielsen és mtsai. (1984) a szelén szerepét tanulmányozták a talajokban és a növényekben, illetőleg annak hatását az állati és emberi táplálkozásban. Mintegy 300 közleményről készítettek áttekintést, és az alábbi következtetésekre jutottak: a szelénhiány lényegesen gyakoribb a Földön, mint a szelénfelesleg; a gabonafélék és a takarmányok kívánatos szeléntartalma a szárazanyagra számítva 0,05-2,0 mg/kg. A szelénhiányt akár a talajba juttatott, akár lombtrágyaként alkalmazott, akár a magok kezelésére használt szelénvegyületekkel korrigálni lehet. Fontos és egyben nyitott kérdésnek tekintik a szelén felvételét a különböző formákból, továbbá azt, hogy más tápelemek hogyan hatnak a szelén felvehetőségére.

Sima és Gissel-Nielsen (1985) arról írnak, hogy árpánál és burgonyánál a szelenit-, illetve szelenát-oldatokkal végzett lombtrágyázás nem javította a termés-mennyiséget, de a

szelenát-forma - más mikroelemekkel (Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co, Mg) együtt adagolva - javította a növények, illetőleg a termés szeléntartalmát. A szelén alkalmazás felső korlátjának az 50 mg Se/kg talaj Se értéket tartják.

Lengyelország fogyasztható gombáinak szeléntartalmát vizsgálta *Borowska és Koper* (1986). Huszonhat eltérő fajtából 252 mintát vizsgáltak és a *Boletus edulis* (ízletes vargánya) fajtában találtak magas, 16,6 µg/g szelénértéket. A Finnországból és Svájcban származó minták szeléntartalmát is összehasonlították az azonos fajtájú, lengyel gombamintákkal, és átlagosan két-háromszor nagyobb szeléntartalmat találtak a lengyel gombákban.

Chortyk és mtsai. (1984) szelénrel dúsított talajon vizsgálták a dohánynövény növekedését. Tapasztalataik szerint a lombtrágyázás sokszorosan eredményesebb, mint a talajhoz adagolt szelénvegyület. Cigarettafüst elemzésével bizonyították, hogy a felvett szelénnek közel 50%-a megtalálható a dohányfüstben. Úgy gondolják, hogy a magasabb szeléntartalom csökkenti a dohányzás okozta egészségkárosítást.

Yokota és mtsai. (1988) megállapították, hogy a *Chlamydomonas reinhardtii* nevű zöld alga kultúrában a nátrium-szelenit hatására megszűnik az aszkorbát-peroxidáz enzim, és megnő a glutation-peroxidáz aktivitása. Arra a végkövetkeztetésre jutottak, hogy az alga zavartalan életműködéséhez szelénre van szükség.

Yasumoto és mtsai. (1988) az átlagos szeléntartalmú szójabab fehérjéinek összetételét vizsgálták proteolitikus enzim hidrolízis után. Ennek során dializálható szelén vált szabaddá, amely a vizsgálatok szerint szeleno-metioninnak bizonyult.

Fraústo da Silva és Williams (1993) SeCys-t mutattak ki a kukorica és búzamazag hidrolizátumban, szeleno-cisztin-etanol pedig a vöröshere és a hagyma extraktumban. Dimetil-szelenidet találtak az *Astragalus* növényben és magjában, amely köztudottan szelénfelhalmozó.

2.7.4. A szelén a talaj-növény rendszerben

A talaj pH-ja, a talaj szerkezete, a vas-oxid és a vas-hidroxid aránya, valamint a szervesanyagok szignifikáns hatással vannak a növények szelénfelvételére (*Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984; *Mikkelsen és mtsai.*, 1989).

A talajlazítás és az öntözés is befolyásolja a növények szelénkoncentrációját. Az öntözés tízszer kevesebb szelénkoncentrációt eredményezett (az öntözés előtti szelénkoncentrációhoz hasonlítva), ami a megnövekedett kimosódott szelénveszteséggel magyarázható. Ez az öntözővíz kéntartalmának antagonista voltával is magyarázható, valamint azzal, hogy az öntözővíz hatására megnőtt termés csökkentette a szelén mennyiségét (*Zhao és mtsai.*, 2007). A talaj tömörödöttsége ugyancsak a növények szelénkoncentrációjának csökkenéséhez vezet.

A növények a szelént szelenát, szelenit és szerves formában egyaránt képesek felvenni. *Zayed és mtsai.* (1998) vizsgálatai szerint a növények levelei akkor akkumulálják a legnagyobb mennyiségű szelént, ha az szelenát formában van jelen a talajban.

A nem Se-indikátor növények a felvett szelént nagyrészt SeMet formába alakítják át, majd fehérjéikbe építik be a metionin helyére. Ezekben a növényekben a SeMet akár a növény Se-tartalmának 50%-át is meghaladhatja, míg a SeCys, a metil-Se-Cys és a γ -glutamil-Se-metil-Cys, függetlenül a talajok Se-tartalmától, nem fordul elő jelentős mennyiségben a növényi fehérjékben, (*Tapiero és mtsai.*, 2003). A növényekben a SeMet bioszintézise, a Met analógiájára, SeCys-en és szeleno-cisztationon keresztül történik.

A SeMet növényi fehérjékbe történő nem specifikus beépülését az teszi lehetővé, hogy a szeleno-metionin-transzfer-RNS nem tesz különbséget a Met és a SeMet között. A SeMet beépülése a polipeptid láncba általában nem idéz elő lényeges változást az adott fehérje szerkezetében, ezzel szemben, ha a Cys helyére SeCys épül be, az megváltoztatja az adott fehérje szerkezetét. Ezért a növények SeCys tartalma a SeMet-nal ellentétben még szelénben gazdag talajon termesztett növények esetében is csak mérsékelten emelkedik, majd tetőzik (*Schrauzer*, 2003). A növények, hogy a szelén toxikózist megakadályozzák, a szelént metilszelenidek (pl. az illékony dimetil-szelenid), trimetilszelenónium ion és különböző szeleno-aminosavak formájában távolítják el a szervezetükből (*Pyrzynska*, 2002).

A talaj szerves anyagaihoz kötött szelén nem mobilis, csak egyes indikátor növényfajok képesek felvenni azt. Ezek a növényfajok viszont egyúttal Se-transzformátoroknak is tekinthetők, mivel pusztulásuk és a talajban való lebomlásuk után kiváló Se-forrásul szolgálnak más növények számára. A talajtulajdonságok megváltozásával (pl. elsavanyodás) a talajban az egyes szelénformák átalakulhatnak

egymásba (Kádár, 1998), a talajok elsavanyodása során ugyanis a talajban levő magasabb oxidációs fokú szelénformák nem vízzoldékonyak, így a növények számára felvehetetlen elemi szelénre és szelenidre redukálódnak. Az anaerob baktériumok által végzett biológiai metiláció következtében az illékony vegyületekké (pl. dimetil-szelenidre) átalakult szelén el is távozhat a talajból, jellegzetes fokhagyma szagot árasztva (Pyrzynska, 2002). A légkörből kimosódó szelén viszont 1-2 g/ha/év mennyiségben akár növelheti is a talajok Se-tartalmát (Kádár, 1998).

A szelenátok kevésbé kötődnek meg a döntően negatív töltésű talajkolloidokon, ezért könnyen kimosódhatnak. Így például a vulkáni talajok kilúgozása következtében az ilyen termőhelyen élő növények Se-tartalma is rendkívül alacsony.

Magyarországon Patócs (1990) és Gondi (1991) vizsgálatai szerint a szelénhiányos területek a savanyú talajokhoz köthetők, ahol mind a talajok mobilis Se készlete, mind pedig a növények Se-tartalma alacsony. Mivel itt a talajok nagy része a szántott rétegben savanyú, és az elsavanyodás az elmúlt évtizedekben előrehaladt, a közeljövőben a Se-hiány növekedésével kell számolni.

A talaj- és növényvizsgálati eredmények együttes értékelése szerint Magyarország termőhelyeinek 20%-a esett az alacsony ellátottsági tartományba, míg 80%-a többé-kevésbé megfelelőnek minősült. A megfelelő vagy „kielégítő” ellátottság a nemzetközi átlaghoz való relatív viszonyt takart, nem élettani optimumokat. A magyarországi növényminták Se-tartalma valójában a nemzetközi középmezőny alsó harmadában, míg a talajok mobilis Se-készlete a középmezőnyben helyezkedett el (Sillanpää és Jansson, 1992; Kádár, 1995, 2012).

A magyarországi Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) keretében 1000 mintavételi helyet elemeztek az ország minden körzetére kiterjedően. Az NH₄-acetát + EDTA-oldható „mobilis” Se-tartalom átlagosan 0,39 µg/kg volt a 0-30 cm-es, 0,51 µg/kg a 30-60 cm-es és 0,66 µg/kg a 60-90 cm-es talajrétegekben. A minták 32%-ában 0,1 µg/kg alatti, míg 11%-ában 1,0 µg/kg feletti volt a Se-koncentráció. A talajtulajdonságok közül a humusztartalom és a kötöttség érdemben nem módosította az átlagos Se-tartalmakat, míg a pH és a CaCO₃ % növekedésével párhuzamosan a szelén készlet néhány-szorosára emelkedett (Patócs, 1990).

Összefoglalóan megállapítható, hogy Se-hiányos területek Magyarországon a savanyú talajokhoz kötődnek, ahol mind a talajok mobilis Se-készlete, mind a növények szeléntartalma alacsony, melyet a FAO vizsgálatok is igazoltak. Mivel Magyarország talajaink fele a szántott rétegben savanyú, és az elsavanyodás előrehaladt az elmúlt évtizedekben, a Se-hiány növekedésével lehet számolnia a jövőben (Kádár, 2012).

Lăcătușu és mtsai (2012) szoloncsék és szolonyec talajok szeléntartalmát vizsgálták, Románia dél-keleti részén található Buzăuban a Călămatui folyómentén. Vizsgálataik során a talaj összesszelén-tartalma 480 és 1140 $\mu\text{g/kg}$ között változott átlagos értéke 800 $\mu\text{g/kg}$ volt. Ez az érték 2,1-szer nagyobb, mint a talajok átlagos szeléntartalma és a Dobrogeai talajokhoz viszonyítva 3-4-szer nagyobb. Ezeket az értékeket a folyó mellett található talajok fizikai és kémiai tulajdonságaival magyarázták.

Luguanu és mtsai (2013) vizsgálták Románia a talajban található kioldható szelén arányát az összesszelén-tartalomhoz viszonyítva, amely 3,57 és 8,15% között mozgott. Ezeket az értékeket a talaj szennyezettségével, kálium, nitrogén, foszfor, humusztartalmával magyarázták.

Lăcătușu és mtsai (2013) Románia déli részén található Olténiában, hat helyszínen vizsgálták a talajok, fizikai-, kémiai tulajdonságait és szeléntartalmát. Az összesszelén-tartalom ezeken a talajokon 0,20 $\mu\text{g/kg}$ és 190 $\mu\text{g/kg}$ között változott, az átlag érték 97 $\mu\text{g/kg}$, volt.

2.8. A búza szeléntartalma és a szeléntartalom hasznosulása

2.8.1. A gabonafélék hozzájárulása az ember szelénszükségletéhez

A gabonafélék, a hús és a hal a szelén fő forrása az emberi táplálékban (Combs, 2001). A gabonafélék és az abból készült termékek mintegy 70%-ban járulnak hozzá az összesszelén-tartalom bevitelhez Kína szelénhiányos vidékein, és 40–50%-ban az alacsony jövedelmű népességnél Indiában. Az Egyesült Királyságban az 1995-ös becslések alapján a gabonafélék és az azokból készült termékek 18–24%-ban járultak hozzá az összesszelén bevitelhez. Oroszország 27 tartományában végzett vizsgálat szerint igen szoros összefüggést állapítottak meg a vérérum szeléntartalma és a búzaliszt szeléntartalma

között, ami azt jelzi, hogy a búza fontos szelénforrás az orosz népesség számára (*Golubkina és Alfthan*, 1999).

2.8.2. A különféle talajokon termesztett búza szeléntartalma

A gabonák és gabonákból készült termékek eltérő mértékben tartalmaznak szelént. Szeléntartalmuk az eredeti anyagban 10–550 µg/kg között változik (*FAO, WHO*, 2001). Egészen extrém értékekről is beszámoltak, így pl. Kína Keshan tartományából származó gabona magvak 3–7 µg/kg szelént tartalmaztak, míg az Egyesült Államokbeli Észak- és Dél-Dakotában a szelénkoncentráció 2000 µg/kg-nál is több volt. Az étkezési minimum mind az ember, mind az állat számára 50–100 µg Se/kg szárazanyag, amely bevitel alatt szelénhiány fordul elő (*Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984).

Tan (1989) Kínában a következő tartományokat állapította meg a búzamaz szeléntartalmával kapcsolatban: 25 µg/kg-nál kisebb szeléntartalom jelenti a szelénhiányos tartományt, 25–40 µg/kg határérték jelenti az elfogadható, 40–1000 µg/kg az elfogadhatótól a magasig, míg az 1000 µg/kg-nál nagyobb már a kifejezetten mérgező tartományt képviseli. Általánosságban elmondható, hogy Európában a búza lényegesen alacsonyabb szeléntartalmú, mint Észak-Amerikában. Alacsony szelénkoncentrációról számoltak be a skandináv országokból, ahol a búza szeléntartalma 7–18 µg/kg között alakult (*Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984).

Murphy és Cashman (2001) az Írországból fogyasztott élelmiszerek szeléntartalmát vizsgálták. Az elmúlt 20 évben az Egyesült Királyságban és mindenhol Európában a szelénbevitel csökkent, mert csökkent az Észak-Amerikából és Kanadából behozott magas szelén- és fehérjetartalmú búza importja. Nincsenek eredmények az ír liszt, a kenyér és más egyéb élelmiszer szeléntartalmáról, ezért nehéz megbecsülni azt is, hogy mennyi a napi szelénbevitel Írországból. Ezért meghatározták különböző ír élelmiszerek, különösen a kenyér és a liszt szeléntartalmát, savas feltárás után, hidridgenerátoros atomabszorpciós spektrofotométerrel. A kevésbé finomított búzaliszt magasabb szeléntartalmú volt (7,7–9,9 µg/100 g), mint a legfinomabb búzaliszt, melynek szeléntartalma 6,0–6,9 µg/100 g között változott. Az ír barna kenyér szeléntartalma (8,6–12,9 µg/100 g) nagyobb, mint a fehérkenyéré (6,6 µg/100 g). Megállapították, hogy az ír lisztek és a kenyerek nem

tartalmaznak annyi szelént, mint az észak-amerikaiak vagy a kanadaiak, és csak kevésbé tartalmaznak többet, mint amelyeket az Egyesült Királyságban jelenleg fogyasztanak.

A Nagy-Britanniából származó búzának szintén alacsony a szeléntartalma (*Barclay és Macpherson*, 1986). *Adams és mtsai.* (2002) a kenyérbúza és liszt szeléntartalmát vizsgálva az 1982–1998-as évek között alacsony szeléntartalomról számoltak be. A minták 91%-a kevesebb, mint 50 µg/kg szelént tartalmazott. Ezekkel ellentétben *Wolnik és mtsai.* (1983) az Egyesült Államok fő búzatermő területéről származó minták esetében 10–5300 µg/kg szeléntartalomról számoltak be, ahol a mediánok 160–370 µg/kg között voltak. A kanadai Manitoba tartományban termelt búza átlagos szeléntartalma 760 µg/kg (*Boila és mtsai.*, 1993). Ezek a tanulmányok mind azt jelentik, hogy Észak-Amerikában termelt kenyérgabonák több mint 10%-kal több szelént tartalmaznak, mint a brit szigeteken termeltek. Ehhez hasonlóan az Új-Zélandon termelt búza lényegesen alacsonyabb szeléntartalmú, mint az ausztráliai, és az Ausztráliából importált búza nagyon hasznosnak bizonyult az Új-Zéland Hamilton tartományában élő lakosok vérérszék szelénstátuszának javítására (*Watkinson*, 1981). A legújabb kísérletek szerint a Dél-Amerikában termelt búza szeléntartalma 5–720 µg/kg között van, 155 µg/kg átlagos értékkel (*Lyons és mtsai.*, 2005b).

Lyons és mtsai. (2005c) a búza szelénstátuszát vizsgálva Ausztráliában megállapították, hogy a búza (*Triticum aestivum* L.) a legnagyobb mértékben járul hozzá, hogy a plazma szelénkoncentrációja átlagosan 103 µg/l legyen. Hat kísérletben 834 vérplazma szeléntartalmát elemezve azt kapták, hogy a szeléntartalom magasabb a férfiaknál, és a kor előrehaladtával nő. Tanulmányukban kimutatták, hogy Dél-Ausztrália lakossága nem fogyaszt kellő mennyiségű szelént, ami szükséges lenne a szeleno-enzimek kialakulásához, illetve a rákelleni védekezéshez, és jelezték azt is, hogy a székum szeléntartalma az 1970-es évek óta 20%-kal csökkent. Nem találtak szignifikáns genotípusos eltérést a magok szeléntartalma között a manapság termesztett modern búzáknál, de a diploid búza szeléntartalma magasabb volt. A búzmagok szeléntartalma 5–720 µg/kg között változott, és nyilvánvaló volt, hogy ez az eltérés főként a talaj hasznosítható szeléntartalmától függ. Mind üvegházban, mind a termőföldön végzett kísérletek során a 4–120 g/ha mennyiségben adagolt szelén a mag szelénkoncentrációját 133-szorosára növelte a talajra permetezve, és 20-szorosára, amikor virágzás után

levéltrágyaként alkalmazták. A fiatal növényeknél toxikus hatást akkor észleltek, amikor a levelek szeléntartalma elérte a 325 µg/kg szintet, amit azonban a normálisan adagolt szeléntrágyázáskor soha nem lehet elérni. A 30 kg/ha szeléntartalmú levéltrágya adagolás 16%-kal csökkentette a mag szelénkoncentrációját. Megállapították, hogy az élelmiszertermelő cégeknél a szeléntartalmú levéltrágyázás egy költséghatékony módszer lehet a magas szeléntartalmú búza előállítására, ugyanis ez a szelént a kívánatos szelenometionin formában tartalmazza. További kísérleteket tartanak szükségesnek, hogy a magas szeléntartalmú búzáról klinikai kísérletekkel információt kapjanak a genom stabilitásával, a lipid-peroxidációval és az immun összeférhetőséggel kapcsolatban. A búza szeléntartalmú levéltrágyával való szeléntartalmának növelését egy olyan élelmiszer-stratégia részének tartják, ami képes növelni a szelénbevitelt az egész populációban.

Lyons és mtsai. (2005c) a különböző mexikói és ausztráliai búzafajta populációk és kereskedelmi forgalomban kapható magvak szeléntartalmát elemezték. A növényeket olyan körülmények között termesztették, hogy becsülni tudják a genotípus hatását a szeléntartalomra. A kísérletek során a csírák szeléntartalma 5–720 µg/kg között változott, mely eltérések a talaj szeléntartalmával voltak kapcsolatba hozhatók. Azonos talajokon nem találtak szignifikáns genotípusos különbséget a kereskedelemben található búza, a durumbúza, valamint a tritikálé és az árpafajták között. Mégis a diploid búza és a rizs 35–42%-kal több szelént tartalmazott, mint a más egyéb kísérletekből származó, a hidropóniás kísérletben pedig a rizs 40%-kal több szelént tartalmazott, mint a búza. Ugyan a különböző modern búzafajták között jelentős genotípusos különbségek vannak, ezek azonban Ausztráliában és Mexikóban sokkal kisebbek, mint a háttérül szolgáló talajkülönbségek.

A FAO kezdeményezésére 1970-es évek közepén egységes talaj- és növény-mintavételre került sor 30 ország részvételével. A szigorúan előírt egységes mintavételi eljárás és módszertan lehetővé tette az eredmények nemzetközi szintű összevetését, és a termőhelyek, régiók tápelem-ellátottságának megítélését. A minták elemzését a finn talajtani intézet laboratóriuma végezte. Magyarországon 250 termőhelyet, 106 kukorica- és 144 búzatáblát mintáztak az ország egész területére terjedően (*Kádár, 2012*).

A sokoldalú vizsgálatok szerint a magyar termőtalajok a nemzetközi átlaggal egyező mobilis, azaz NH₄-acetát + EDTA-oldható Se-koncentrációval rendelkeztek. A búzák fiatal hajtása és a kukoricalevelek közelálló, és átlagosan 38±21 µg/kg Se-tartalmat jeleztek. A

minimális érték 12, a maximális érték 195 $\mu\text{g/kg}$ Se volt. A nemzetközi átlag $n = 3600$ mintaszám mellett 1-5112 $\mu\text{g/kg}$ Se-tartományban változott.

Lăcătușu és mtsai. (2010) búznövényeket és búzamagvakat szeléntartalmát elemezték Romániában dél-kelet-Alföld és Közép- és Dél-Dobrudzsa talajain. A vizsgálataik során nagyon eltérő szeléntartalmat találtak. A búzaszemek, búzanövények szeléntartalma a román Alföldön megközelítette a normális (75-150 $\mu\text{g/kg}$) értéket, míg Közép- és Dél-Dobrogeában 0,5 mg/kg körüli értéket is kaptak. Az eredmények alapján javasolták a liszt szeléndúsítását, vagy más szelénrel gazdagabb búzából származó liszttel való keverését.

2.8.3. A technológia (örlés) hatása a liszt szeléntartalmára

A búza örlése csak nagyon csekély hatással van a liszt szeléntartalmára. *Eurola és mtsai.* (1991) kimutatták, hogy a búzakorpa és a búzaliszt némileg magasabb szeléntartalmúak, mind a többi liszt, bár a kenyér szeléntartalma alacsonyabb volt, mint a liszt, amiből sütötték. Ehhez hasonlóan *Lyons és mtsai.* (2005a) úgy találták, hogy a szelén viszonylag homogénen oszlik meg a búzamagban, a csírák kivéve, ami nagyobb koncentrációban tartalmazza, mint a többi lisztfrakció. Megállapították, hogy a feldolgozás a továbbiakban már nincs hatással a búzából készült termékek szeléntartalmára.

2.8.4. Az élelmiszerekben – búzában – előforduló szelénformák

Az élelmiszerekben a szelén különböző formában létezik. *Guo és Wu* (1998) a növényi szövetekben vizsgálták a szabad szeleno-aminosavakat, és azok megoszlását szelénben dús talajokon. A specifikus szeleno-aminosav csoport akkumulációja a növényi szövetekben nemcsak azok szelénrel szembeni toleranciájára mutat rá, de az állatok szelénrel kapcsolatos mérgezésére is felhívja a figyelmet. A szelén-toleráns növények szeleno-aminosav-tartalmát nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával és hozzákapcsolt tömeg spektrométerrel vizsgálták. Öt szeleno-aminosavat (szeleno-cisztint, SeMet-t, SeCys-t, Se-metil-szeleno-ciszteint és γ -glutamil-Se-metil-szeleno-ciszteint) azonosítottak a növényi szövetkoncentrátumokból. A Se-metil-szeleno-cisztein mennyisége az alacsony szeléntartalmú talajon termesztett növényeknél 15,3 $\mu\text{mol/kg}$, míg a magas szeléntartalmú talajokon termesztetté 109,8 $\mu\text{mol/kg}$ volt. A növényekből γ -glutamil-Se-metil-szeleno-

ciszteint is kimutattak, bár ennek koncentrációját nagyon alacsonynak találták. A szelén akkumulációjára végzett kísérletek azt mutatták, hogy a SeCys koncentrációja ötszörösére nőtt a növényi szövetekben, míg a szelén összes mennyisége 5,07 és 22,02 mg/kg között változott, de nem találtak további növekedést a SeCys koncentrációjában, amikor a szelénkoncentráció 22,0 mg/kg-ról 117,5 mg/kg-ra tovább nőtt. Megállapították, hogy a szeleno-metionin a növényekben több mint 50%-át teszi ki az összesszelén mennyiségének. Véleményük szerint további vizsgálatok szükségesek, hogy milyen mechanizmus befolyásolja a SeCys mennyiség akkumulálódását a növényekben.

Whanger (2002) a növényekben az alábbi szelénformákat azonosította: szelenát, szelenit, SeCys-t, Se-Met-t, szeleno-homocisztein, szeleno-metil-szeleno-cisztein (MeSeCys), γ -MeSeCys, szeleno-cisztein-szelénsav, Se-propionil-szeleno-cisztein-szelénoxid, Se-metil-szeleno-metionin (SeMM), szeleno-cisztationin, dimetil-diszelenid, szeleno-szinigrin, szeleno-peptid és szeleno-viasz. A Se-Met a fő formája a búza szeléntartalmának (56–83%), míg a többi szeléntartalmú vegyületek kisebb mennyiségben fordulnak elő (szelenát (12–19%), Se-Cys (4–12%), Se-metil-szeleno-cisztein (1–4%), a maradék pedig 4–26%). Ezzel ellentétben a búzaszalma szeléntartalmának több mint 50%-a szelenát. Enzimatikusan hidrolizálva a fehérjét a búzalisztminta szeléntartalmú komponenseinek 70%-a szabaddá vált, amelyből a Se-Met és a Se-Cys együttesen 73%-ot tett ki (*Moreno és mtsai.*, 2004). *Stadlober és mtsai.* (2001) beszámoltak arról, hogy enzimatisz hidrolízissel a búza-, az árpa- és a rizsliszt szeléntartalmának 80–90%-a felszabadul, amelyből 62–86% Se-Met-nak bizonyult.

2.8.5. A búza szeléntartalmának hasznosulása

A szelén biológiai hasznosíthatósága a különböző élelmiszerek között változik. A növényi és állati eredetű Se-Met és a főként állati eredetű Se-Cys több mint 90%-ban hasznosul a szervezetben, míg a szervesetlen szelenát és szelenit hasznosulása alig éri el az 50%-ot. A búzamag szeléntartalmának a hasznosulása magas. Egy patkányokkal végzett kísérletben a búza szeléntartalmának hasznosulása 83% volt, nagyobb, mint a gombáé (5%), a tonhalé (57%) és a marha veséjéé (97%) (*Thomson*, 2004a). Emberekkel végzett hathetes kísérlet során kimutatták, hogy a szelénrel dúsított búza szignifikánsan növelte a szérumszeléntartalmát, ezzel ellentétben a szelénrel dúsított halnak nem volt arra ilyen hatása

(Meltzer és mtsai., 1993). Fox és mtsai. (2005) három különböző élelmiszerből ^{77}Se és ^{82}Se izotópokkal vizsgálták a szelén-abszorpciót. Azt találták, hogy a szelén abszorpciója szignifikánsan magasabb volt a búzából (81%) és a fokhagymából (78%), és jóval alacsonyabb a halból (56%).

Magyarországon Kádár (2011) karbonátos Duna-Tisza közti homoktalajon vizsgálta a 0, 30, 90, 270 kg/ha mikroelem-terhelés (Cr, Cu, Pb, Se, Zn) hatását az őszi búzára. A mikroelemek sóit egy ízben, a kísérlet indulásakor, 1995 tavaszán szórta ki $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 és ZnSO_4 formájában. A termőhely a homoktalajokra jellemzően rossz vízgazdálkodású, aszályérzékeny és az NPK főbb tápelemekkel gyengén ellátott volt. A szántott réteg 0,7–1,0% humuszt, 2–3% CaCO_3 -ot tartalmazott, a talajvíz 5–10 m mélyen volt található.

A szeléntartalmat vizsgálva azt tapasztalta, hogy a Se-terhelés a búza és az előforduló gyomfajok gyakorlatilag teljes pusztulását okozta. Aratás idején szennyezett talajon a melléktermésben 2540-szeresére emelkedett a Se koncentrációja, míg a szemtermésben a Se kontrollhoz viszonyítva 2640-szeresére dúsult. Arra a következtetésre jutott, hogy a Se mozgása nem gátolt a talaj-növény rendszerben, és a tömegárammal a növényen belüli transzport is akadálytalan. A búza magja humán fogyasztásra alkalmatlanná vált a Se-nel erősen szennyezett talajon, és a mag a Se-szennyezés miatt takarmányozásra is alkalmatlannak bizonyult. A maximális Se-felvétel a 90 kg/ha kezelésben jelentkezett, és 442 g/ha mennyiséget tett ki. Változatlan viszonyokat feltételezve a 90 kg/ha Se felvételéhez 204 évre volna elvileg szükség.

A búza szeléntartalmának magas fokú hasznosulása azt jelzi, hogy használata nagyon alkalmas lenne az emberek szelénbevitelének növelésére, ugyanakkor a szelénpótlás rendkívüli odafigyelést és hozzáértést igényel.

2.8.6. A szelén hatása a búza enzimeinek aktivitására

Nowak és mtsai. (2004) a szelén hatását vizsgálták az oxido-reduktáz enzimek aktivitására a talajban és a növényekben. Üvegházi kísérletekben 0,015; 0,15; 0,45 mmol/kg hidrogén-szelenid koncentrációjának hatását vizsgálták a búza oxido-reduktáz enzimeinek aktivitására. A hidrogén-szelenid minden koncentrációban megnövelte a nitrát-reduktáz aktivitását, de a növények esetében a polifenol oxidáz aktivitást csak a két alacsonyabb

koncentráció növelte. A legmagasabb koncentrációjú szelén inhibálta a polifenol oxidázt és a peroxidázt is. A növényekben a kataláz aktivitás a 0,15–0,45 mmol/kg koncentráció tartományban csökkent. Megállapították, hogy a peroxidáz aktivitás a talajban a növekvő szeléntartalom hatására csökken. A legalacsonyabb szelén dózis szignifikánsan (10%-kal) megnövelte a kataláz aktivitását, de a magasabb dózisok hatása az enzimaktivitásra bizonytalan.

2.8.7. A talaj szeléntartalmának hasznosulása a növényekben

Amennyiben nem alkalmazunk közvetlen szelén-kiegészítést, az emberek szelénstátusza elsősorban attól függ, hogy a növények hogyan tudják a talaj szeléntartalmát hasznosítani, azaz a szelénstátuszt a geológiai viszonyok befolyásolják leginkább.

A földkéreg átlagos szeléntartalma 0,05 mg/kg (*McNeal és Balistrieri*, 1989). A vulkáni kőzetek általában kevesebb szelént tartalmaznak, mint az üledékes, különösen mint az agyagpala (*Mayland és mtsai.*, 1989). A szelén koncentrációja a legtöbb talajban 0,01–2 mg/kg között van (*Kabata-Pendias és Pendias*, 1992). Azokon a vidékeken ahol a talajnak alacsony a szeléntartalma, a takarmányok és az élelmiszer magvak is alacsony szeléntartalmúak, és gyenge az emberek és állatok szelénstátusza is. Új-Zélandi tanulmányok kimutatták, hogy a birkáknál jelentős mértékben fordulnak elő szelénhiányos betegségek ott, ahol a talaj kevesebb, mint 0,5 mg szelént tartalmaz kilogrammonként (*Oldfield*, 1999). *Tan* (1989) a szelénstátuszt az emberek táplálkozása szerint úgy definiálta, hogy mennyi a talaj szeléntartalma: hiányos, ha 0,125 mg/kg-nál kisebb, elfogadható 0,125–0,175 mg/kg között, közepes-magas 0,175–3 mg/kg között és túlzottan sok 3 mg/kg fölött.

Zhao és mtsai. (2007) a talajtömörödés és az öntözés hatását vizsgálták a búzamaz szelénkoncentrációjára. A búzamaz szeléntartalma 10–115 µg/kg között változott, ami az öntözés hatására 30–75%-kal csökkent. A talajtömörödés szignifikáns szelén csökkentő hatását az elem különböző mozgékonyásával magyarázták a talaj és a gyökér közötti iontranszport különbözősége miatt. A megfigyelt hatások a mag szeléntartalmát illetően jelentősek mind az emberek táplálkozása, mind az állatok takarmányozása szempontjából, mert a koncentráció az elégségestől a nagyon alacsony szintig változhat. Megállapították,

hogy a talaj fizikai állapotát mindig figyelembe kell venni, amikor a szelén felvehetőségét elemzik.

Fan és mtsai. (2008) a talaj és a búzamaz szeléntartalmának változását vizsgálták az elmúlt 160 év során az Egyesült Királyságban, ahol a napi szelénfogyasztás 1970 óta jelentős mértékben csökkent. Annak eldöntésére, hogy ezt a búzamaz szelénkoncentrációjának változása vagy a környezet megváltozása okozta-e, 160 évre visszamenően analizáltak gabona magvakat, búzamaz és talajmintákat, melyeket különböző módon trágyázott területekről nyertek. A magok szeléntartalma 11 és 236 ng/g között változott. A trágyázatlan területekről begyűjtött magminták szignifikánsan nagyobb koncentrációban tartalmazták a szelént, mint a trágyázott talajról származók.

Nem mutattak szignifikáns különbséget a magok akkor, amikor a rövid szalmájú búzaintákat vizsgálták az 1960-as évekből. A búzainták 1920 előtt, illetve 1970 után több szelént tartalmaztak, mint 1920 és 1970 között, pedig a talaj szeléntartalma folyamatosan nőtt az elmúlt 160 év alatt. A kapott eredmények alapján megállapították, hogy a búzamaz szeléntartalmát befolyásolja az atmoszférába történő kén kibocsátás, illetve az atmoszférából a talajba történő átvitel, de a növénynevelés által megnövelt termés hozam nem csökkenti szignifikánsan a szeléntartalmat a trágyázott mintákban.

Zhao és mtsai. (2009) különböző helyen és évszakban termesztett 150 kenyérbúzafajta szeléntartalmát vizsgálták. A kifejezetten kenyérbúzafajták között nem találtak lényeges különbséget a szeléntartalomban, melyre elsősorban a talaj típusának volt hatása. A szeléntartalmat nem befolyásolta, hogy a mintát a búzamaz melyik részéből nyerték.

2.8.8. Élelmiszerek szeléntartalmának növelési lehetőségei a talaj szeléntartalmának növelésével

Az élelmiszerek és a különböző magvak szeléntartalmát növelni lehet, ha szelént adunk a talaj–növény rendszerhez, amit a gyakorlatban biológiai megerősítésnek neveznek. A legjobb példa erre Finnország, ahol a gyakorlatban Na-szelenátot adtak a több elemet is tartalmazó trágyázás során, melyet 1984 óta alkalmaznak (*Eurola és mtsai.*, 1991; *Hartikainen*, 2005; *Ylärinta*, 1990). Kezdetben 6 mg/kg szeléntartalmú trágyával kezelték a fűvet és a szénának szánt növényeket, és 16 mg/kg szeléntartalmúval a

gabonanövényeket. Ezzel a kiegészítéssel hektáronként 3 és 8 g szelént juttattak ki a fűfélékre és a gabonanövényekre (*Eurola és mtsai.*, 1990). Ezt követően rendszeresen meghatározták a növények, az állati termékek, a talaj és a víz, valamint a humánszérum szeléntartalmát, és az eredmények alapján korrigálták a szelénkijuttatást. 1991–1997 között egy alacsonyabb dózissal, 6 mg/kg szeléntartalmú trágyát használtak a gabonanövények esetében, 1998-tól viszont a szeléntartalmat 10 mg/kg-ra emelték a szelén mennyiségét (*Hartikainen*, 2005). A szelénrel történő trágyázás hatására Finnországban az első három évben a tavaszi árpában a szeléntartalom 250 µg/kg-ra, az őszi árpában 50 µg/kg-ra, a rozsban 40 µg/kg-ra, a búzalisztben 170 µg/kg-ra, a fehér kenyérben pedig 180 µg/kg-ra nőtt (*Eurola és mtsai.*, 1990). Ennek eredményeként az átlagos szelénbevitel a szeléntrágyázást megelőző 25 µg/napról kb. 110 µg/napra (*Eurola és mtsai.*, 1991), a vérérszérum szeléntartalma pedig a 60–70 µg/l-ről, több mint 100 µg/l-re nőtt (*Varo és mtsai.*, 1988). Így a gabonamagvak hozzájárulása a teljes szelénbevitelhez 9%-ról 26%-ra emelkedett (*Eurola és mtsai.*, 1991). Összehasonlítva a közvetlen szelén-kiegészítéssel, a növénytermesztésben alkalmazott szelénpótlás előnyösnek tekinthető, mivel az inorganikus szelént a növények asszimilálják organikus szelénre, például szeleno-metioninná, amelynek biológiai hasznosíthatósága az embereknél nagyobb. A növények egy nagyon hatékony puffer rendszernek bizonyulnak, amelyek megvédnek a nagymértékű szelénbeviteltől, amely a direkt bevitel esetén előfordulhat (*Hartikainen*, 2005).

A talajok szelénrel való dúsítását a gyakorlatban a világ több részén is alkalmazták, így például Finnországban, Új-Zélandon és Kínában műtrágyához adagoltak szelént, így növelve a szelén koncentrációját a gabonafélékben.

Magyarországon *Kádár és mtsai.* (1991), a szennyezések vizsgálatára állított be egy nehézfémterheléses kísérletet, amelyben a nehézfémek mellett szelénrel is kezelték a talajt. A tartamkísérletben különböző dózisban juttattak ki a kísérleti parcellákra toxikus nehézfémeket, valamint szelént, amelyet szelenit (Se(IV), Na₂SeO₃) só formájában alkalmaztak. A kísérlet során vizsgálták ezen elemeknek a szántóföldi növényekre, valamint a talajéletre gyakorolt hatását. A szabadföldi kísérletet 1991 tavaszán állították be a TAKI, Nagyhorcsöki Kísérleti telepen, mésztepedékes csernozjom talajon.

A kísérletben azt tapasztalták, hogy a növényekre gyakorolt toxikus hatás a kezdeti években nőtt, majd 10 év elteltével csökkent. Ez a tapasztalat arra utal, hogy a szelenit más

formákká alakulva lemosódott a talaj mélyebb rétegei felé, ezáltal csökkent a feltalaj toxicitása a növényekre nézve.

Annak ellenére, hogy a nagyhőrcsöki szelén-szennyezést tanulmányozó szabadföldi tartamkísérletben az 1991-ben kijuttatott Na-szelenit jelentős része időközben a mélyebb rétegekbe mosódott le (Kádár, 1999; Kádár és Németh, 2003a,2003b; Németh és Kádár, 2005; Simon és mtsai., 2006), 2005-ben a kezelt parcellákról betakarított lucerna hajtásában Kádár (2006) 85,3–727 µg/g szelént mért. Ezt a nagymennyiségű szelénfelvételt azzal magyarázták, hogy a szelenit nagy része a talajban a növények számára könnyebben felvehető szelenáttá alakult át (Kádár, 1999; Széles és mtsai., 2006). A szelénnel kezelt parcellákon második éve termesztettek lucernát (mélyen gyökerezik), és feltételezhetően a mélyebb rétegekben is megtalálható szelénből (Simon és mtsai., 2006) is szállított fel szelént a hajtásába. A talaj legfelső 0–20 cm-es rétegében a lemosódás ellenére is jelentős mennyiségű szelén maradt még, mely a kijuttatott Se-dózistól függően 2,3–8,0 mg/kg között változott. Azt tapasztalták, hogy minél több szelén volt a feltalajban, annál több szelén került be a lucerna hajtásába. Ez a vizsgálat igazolta Dukart és munkatársai (1992) azon megfigyeléseit, hogy a lucerna is a szelént jól akkumuláló növényfajok közé tartozik (Simon, 2007). A nagyhőrcsöki kísérlet jó támpontot és megfelelő kísérleti anyagot szolgáltat a szelén talajban történő átalakulásának és mozgásának, valamint a növényi felvételnek a vizsgálatára (Széles, 2007).

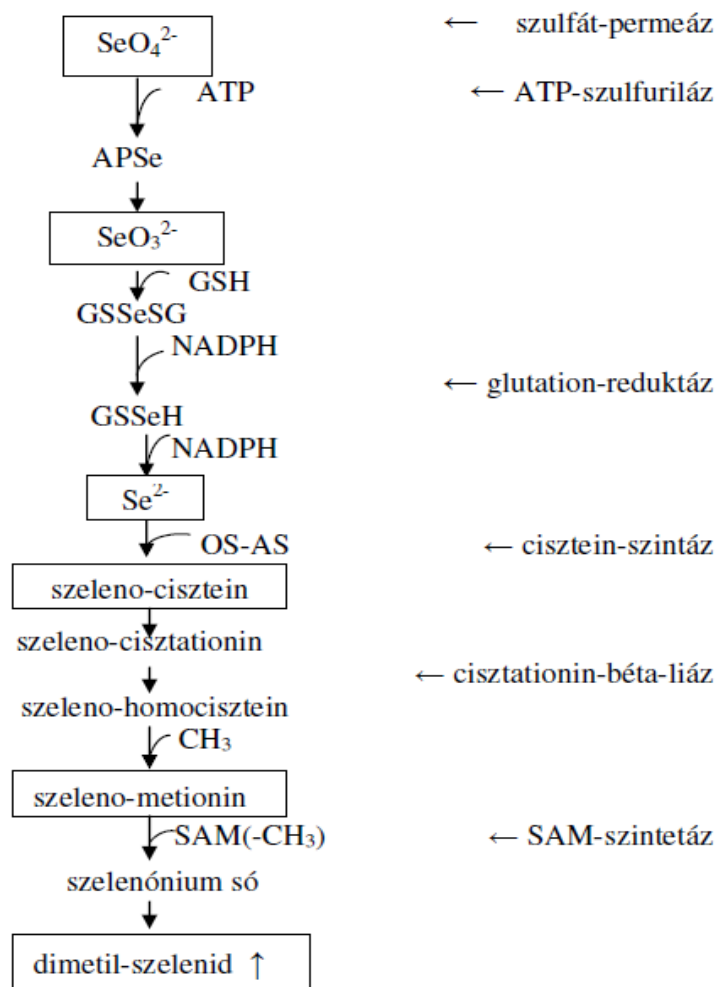
Több beszámoló szól arról, hogy szelénnel dúsított növényeket állítottak elő szeléntrágyázással, beleértve a szelénnel dúsított brokkolit, hagymát, krumplit, gombát és teát. A különböző laboratóriumi és a termőföldön végzett kísérletek bizonyították, hogy a hozzáadott szelenát hatékonyabban növeli a növény szeléntartalmát, mint a szelenit (Gissel-Nielsen és mtsai., 1984; Shand és mtsai., 1992; Singh, 1991; Cartes és mtsai., 2005), ezért a szelenátot sokkal szélesebb körben használják szelén trágyázásra, és nagyon sok kereskedelmi műtrágyában ez a szelénforma található (Broadley és mtsai., 2006). Nagyon fontos, hogy a termőföldön végzett kísérleteket különböző technológiai és klimatikus körülmények között folytassák le azért, hogy a szeléntrágyázás optimális arányairól megbízható információt kapjanak. A termőföldön végzett kísérletekkel Kanadában kimutatták, hogy 10 g szelént szükséges adagolni hektáronként ahhoz, hogy az árpa szeléntartalma 100 µg/kg-nál magasabb legyen (Gupta, 1995). Tveitnes és mtsai. (1996)

egy Norvégiában végzett szántóföldi kísérlet során kalcium-nitrátot adagoltak, amelynek szeléntartalmát 25 mg/kg-ra állították be tavaszi búza esetében. Ez 6,5 g Se/ha kijutást jelentett, mely a búzamag szelénkoncentrációját a kívánt szintre növelte meg.

Általánosságban azt lehet mondani, ha megfelelően alkalmazzuk a szelénkiegészítést, akkor csak kevés marad vissza a következő növény számára, ami azt sugallja, hogy az a mennyiség, amit a növény nem vett fel, vagy a talajon kötődik meg, vagy pedig a környezetbe távozik. A környezet monitorozása azért is nagyon fontos, hogy a szelénkiegészítés ne vezessen a vizek szeléntartalmának jelentős növekedéséhez. Finnországban végzett kísérletek csak csekély bizonyítékot találtak a szelén-növekedésre a tavi ökoszisztémákban, bár néhány talajvízminta nitrogén-, foszfor- és szelénkoncentrációja megemelkedett, ami azt jelenti, hogy a szelén a műtrágyázás során bekerült a talajvízbe (Mäkelä és mtsai., 1995; Wang és mtsai., 1995).

Lavado és mtsai. (1999) a földművelés és a trágyázás hatását vizsgálták a talaj extrahálható szeléntartalmára. Nem találtak különbséget a trágyázás, illetve különböző földművelési technológiák hatására az átlagosan 3,33 mg/kg szeléntartalmú talajok esetében.

Több kutató (Simon, 2004; Terry és Bañuelos, 2000) vizsgálta a növények szelén fitovolatizációját, a fitovolatizáció során lezajló biokémiai folyamatokat (Souza és mtsai., 2000). A fitovolatizáció során a növények, illetve mikrobák teszik illékonyvá a szennyezett közegben (talajban, üledékben, vízben) lévő szennyező anyagokat (elsősorban szelént, illetve a higanyt, arzént, halidokat és egyes szerves szennyező anyagokat). A növényekben, növény–mikroba asszociációkban, mikrobákban lezajló élettani, biokémiai folyamatok következményeként illékony elemi formájúvá, kevésbé toxikus metil- vagy dimetilvegyületté alakulnak át egyes toxikus fémek (Se, As), illékony monohalo-metán vagy metán-tiol vegyületekké alakulnak át a halidok és biszulfidok, valamint illékony vegyületekké bomlanak le egyes szerves szennyező anyagok.



1. ábra: A szelén vitalizáció folyamata a szelént nem hiperakkumuláló magasabb rendű növényekben (Simon, 2004; Terry és Bañuelos, 2000).

A szelént nem hiperakkumuláló növények (pl. a káposztafélék) dimetil-szelenidet bocsátanak ki magukból (1. Ábra), míg a szelén hiperakkumulációjára képes növényfajok (pl. az *Astragalus bisulcatus*) főként dimetil-diszelenidet képeznek (Simon, 2004; Terry és Bañuelos, 2000).

A szelén fitovolatilizáció sebessége függ attól, hogy a szelén milyen vegyület formájában van jelen a talajban (speciáció), illetve a szennyezett közegben. Redukált formák (szeleno-metionin, szelenit) esetén ez a folyamat általában gyorsabb, mint szelenát esetén. A szelenátok felvételét a talajból a szulfátionok antagonistaként gátolják, és a kén jelenléte egyúttal lecsökkenti a szelén fitovolatilizációjának sebességét is a növényben. Jelentős különbség van az egyes növényfajok szelén fitovolatilizációjának sebességében is. A káposztafélék (Brassicaceae) családjába tartozó (intenzív kénanyagcserét folytató, jelentős

menyiségű szelén felvételére képes) növényfajok (szareptai mustár, brokkoli, káposzta, karfiol, kínai mustár), illetve a rizs szelén fitovolatizációja volt a leggyorsabb (1500-2000 $\mu\text{g Se/nap/kg szárazanyag}$) a vizsgált növényfajok közül. Az uborka, paradicsom, sárgarépa, árpa, gyapot, tojásgyümölcs, kukorica szelén fitovolatizációjának mértéke közepesnek (300-750 $\mu\text{gSe/nap/kg szárazanyag}$), míg a lucernáé, cukorrépaé, hagymáé, babé, salátáé alacsonynak ($>250 \mu\text{g Se/nap/kg szárazanyag}$) bizonyult (Simon, 2004; Terry és Bañuelos, 2000).

Martens és Suarez (1999) is a talaj metilezett illékony szeléntartalmát elemezték, mivel a mikrobiológiai reakciók során a talaj szeléntartalma dimetil-szenid és dimetil-di-szenid alakulhat át. Ez az átalakulás fontos része a természetben lejátszódó szelén ciklusnak, de keveset tudunk arról, hogy amíg ezek a gázok a talajban tartózkodnak, mi történik velük. Különböző kísérleteket végeztek, melyben gázkromatográfiával és atomabszorpciós spektrofotométerrel vizsgálták különböző talajtípusokban a dimetil-szenid és dimetil-diszenid abszorpcióját és transzformációját. Megállapították, hogy a dimetil-szenid lassan kötődött a talaj komponenseihez, és részben átalakult szenid és szenidáttá. A dimetil-diszenid ezzel szemben gyorsan elbomlott és eltávozott a talajból, csökkentve ezzel a talaj szenid tartalmát. Ráadásul a szeleno-metionin is átalakult dimetil-szenid, illetve dimetil-diszenid. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a talaj szeléntartalmának gáznemű halmazállapotú szeléntartalmú vegyületekké való átalakulása csökkenti a talaj szeléntartalmát.

Tan és Huang (1991) a talaj szeléntartalma és a járványos megbetegedések kapcsolatát vizsgálták Kínában. Tanulmányukban a talajok felső rétegében (amelyet műveltek) a vízzoldható- és az összesszelén-tartalmat elemezték, és értékelték a talaj szeléntartalmát és néhány népbetegség kapcsolatát. 354 felszíni talajminta közül 156 természetes, és 198 művelt talaj volt. A talajminták összesen 21 talajtípust képviseltek. A talajminták összesszelén-tartalmát diamino-naftalin származékképzést követően fluoreszcens spektrofotométeres módszerrel határozták meg.

A talaj vízzoldható szeléntartalmát, ugyanezzel a módszerrel, a talajhoz képest ötszörös mennyiségű vizes extrakcióval mérték. Az összesszelén-koncentráció geometriai átlaga 0,173 mg/kg, számtani átlaga 0,239 mg/kg volt, és az értékek 0,022 mg/kg és 3,806

mg/kg között változtak. Az összesszelén-tartalom a művelésbe vont talajoknál 0,188 mg/kg geometriai átlag, 0,269 mg/kg számtani átlag volt, míg ugyanezen értékek a nem művelt talajoknál 0,154 mg/kg és 0,206 mg/kg voltak. A talajok vízdoldható szeléntartalmának geometriai átlaga 4,0 µg/kg, számtani pedig 6,4 µg/kg volt, a legalacsonyabb értéket 0,6 µg/kg-nak, a legmagasabbat pedig 109,4 µg/kg-nak mérték. A művelt talajokon a vízdoldható szelén koncentrációja (4,3 µg/kg), hasonló értéket mutatott a műveletlen talajok (4,4 µg/kg) geometriai átlagához. Az eredmények azt mutatják, hogy a vízdoldható- és az összesszelén-tartalom a különböző talajoknál is különböző. A vízdoldható szelén mennyisége az összesszelénhez viszonyítva 1,07 és 6,69% között változik. A laterites és egyéb szubtropikus talajok viszonylag nagy mennyiségű vízdoldható szeléntartalma összefüggésben van a nagyobb összesszelén-tartalommal. A művelt talajoknál szoros összefüggést mutattak ki az összesszelén-tartalom és a vízdoldható szelén között (korrelációs koefficiens 0,58).

Dhillon és mtsai. (2007) üvegházi kísérleteket végeztek a szelén hasznosulásának megállapítására a cirok (*Sorghum bicolor L.*), a kukorica (*Zea mays L.*) és az alexandriai here (*Trifolium alexandrinum L.*) esetében homokos talajon, amelyet különböző szeléntartalmú búza- (*Triticum aestivum L.*) és szareptai mustár (*Brassica juncea L. Czern*) szalmával javítottak fel, melynek szeléntartalma 53,3 és 137 µg/g volt. A szelénben gazdag szalma alkalmazása nem volt káros hatással a termések mennyiségére. Amikor a búzaszalma mennyiségét 1%-kal növelték, a cirok és a kukoricánövények 1,3 és 1,5 µg/g-mal növelték szeléntartalmukat. A szareptai mustár szalma alkalmazása esetén a szeléntartalom a cirokban 2,3 µg/g-ra, a kukoricában 3,0 µg/g-ra növekedett. Ezek a vizsgálatok azt mutatják, hogy a magas szeléntartalmú szareptai mustár és búzaszalma biztonságosan alkalmazható a megnövelt szelént tartalmazó alapanyagokból készült élelmiszerek előállítására.

Hawkesford és Zhao (2007) a búza szeléntartalmának növelése szempontjából különböző stratégiákat elemezve megállapították, hogy a szelén esszenciális az embereknek és az állatoknak, míg gyakorlatilag nincs funkciója növények esetében. A szelén nagyobb mennyiségű akkumulációja a növényekben és az állatokban is előfordulhat, ami mindkettő számára toxikus, azonban ezzel nem nagyon kell számolni, mert világviszonylatban az élelmiszerekkel bevitt szeléntartalom az embereknél inkább kevés. Ez néhány talajon a

szelén alacsony felszívódása miatt alakul ki, melynek következtében az itt termesztett növényi szövetek szelénkoncentrációja is alacsony. A növény képes felvenni mind a szelenátot mind a szelenitet, amit a növény bármely részébe képes eljutni. A szelenát a szulfát analógja, amelynek szállítását egy szulfátszállító enzim végzi. Néhány növény képes a szelént nagyon magas koncentrációban akkumulálni (ezek a hiperakkumulátorok), azonban ilyen hiper-akkumuláció a gabonanövényeknél viszonylag ritkán fordul elő. A növényi szövetekben a szelén belép a szulfát asszimilációba és metabolizmusba, helyettesíteni fogja a cisztein és a metionin kénatomját, ami legtöbbször káros következményekkel jár. Ezzel párhuzamosan a szelén metilezett származékként is akkumulálódhat, vagy légneművé alakulva eltávozik a növény szervezetéből. Az anorganikus szeléntartalmú műtrágyák, amelyeket néhány országban a gyakorlatban alkalmaznak, rövidtávra megoldást jelenthetnek a búza szeléntartalmának növelésére. Hosszabb távra azonban olyan mechanizmusokat célszerű kiépíteni, amelyek nem diszkriminatívak a szelenáttal szemben, lehetővé teszik annak nagyobb felvételét, és elősegítik a szelén asszimilációját.

Zhao és McGrath (2009) a talajok szeléntartalmát és annak csökkentését elemezték különböző növényekkel végzett kísérletekben. Megállapították, hogy a növények és a velük kapcsolatban levő rizoszféra mikrobák alkalmasak lehetnek a fölösleges mennyiségű szelén eltávolítására a talajból, illetve öntözésre használt szennyvizekből. A szelén a gyökérzetén keresztül szelenát formában hatékonyabban vehető fel. Kimutatták, hogy az indiai mustár rendelkezik egy olyan génnel, ami szelén-ellenállóvá és szelén-akkumulálóvá teszi a növényt. A transzgenikus növények katalizálják a szulfát szelenáttal történő kicserélődését, melynek hatására négyszer több szelént képesek felvenni, mint a vad típusok, és a szelénnel szennyezett talaj szeléntartalmát 4%-kal tudják csökkenteni.

A szelén toxicitásnak fő oka a növényekben az, hogy a SeCys és a SeMet a cisztein és a metionin helyére beépül a növényi fehérjékbe, mely beépülés eltérő fehérje struktúrát eredményez. A szelén tolerancia egyik lehetséges módja, hogy a növény a szeleno-ciszteint szelénre és alaninra bonja szét. Lehetséges még az is, hogy a SeCys metilációja azt metil-szeleno-ciszteinné alakítja át, ami már nem toxikus a növény számára. A szelén-metil transzferáz enzimet tartalmazó transzgenikus növények 60%-kal több szelént tudnak felvenni a szennyezett talajból, mint a vad típusok.

Darcheville és mtsai. (2008) szelénnel kapcsolatban, természetes talajokban vizsgálták a mikroorganizmusok viselkedését aerob körülmények között. Hatnapos kísérletet végeztek különböző mikrobiológiai állapotban lévő talajon úgy, hogy a talajt sterilizálták, vagy szerves szubsztrátot adagoltak. A szelént szelenit formában adták a talajhoz, melyet követően mérték a gázállapotú, a folyékony, illetve a szilárd állapotú komponensekhez kötődő szelénformákat. Megállapították, hogy az aktív mikroorganizmusok nagyon fontos szerepet játszanak a talajban levő szelénformák kialakításában.

Egyik oldalról a mikroorganizmusok segíthetik a szelén gázhalmazállapotúvá alakulását, melynek hatására a szeléntartalmú komponensek eltávoznak a talajból. Másik oldalról a mikrobiológiai aktivitás növelte a visszatartott szeléntartalmat, és kevesebb kicserélhető szelénformával erősítette a retenciót, melynek következtében a szelén mobilitása jelentős mértékben lecsökkent.

2.8.9. A szelén beépülése a búzába

A búza szeléntartalmának javítása megkívánja annak vizsgálatát, hogy a transzporterek hogyan katalizálják ezt a mechanizmust. A növények a talaj összetételétől függően mind a szelenit-, mind a szelenáttartalmat hasznosítani tudják. Néhány tanulmányban bemutatták a növények szelenit-felvételét, de néhány esetben kimutatták azt is, hogy a szelenát felvétele limitált a növényeknél. Több esetben kimutatták, hogy a szelenit és szelenát versengett egymással, és hogy a foszfátranzsport befolyásolta a szelenit felvételt, bár ennek molekuláris alapjait még nem tisztázták (*Hopper és Parker, 1999; Zhang és mtsai., 2003*).

Általánosságban elfogadott tény, hogy a szelenátot a növények a talajból a gyökerükön keresztül veszik fel a szulfát transzportterekkel. Jól demonstrált a szulfát és a szelenát kölcsönhatása e tekintetben (*Barak és Goldman, 1997; Bell és mtsai., 1992; Broadley és mtsai., 2006; Hopper és Parker, 1999; Mikkelsen és Wan, 1990; Wu és Huang, 1992*). Ezekből a vizsgálatokból az is következik, hogy a szulfátrágyázás és a szelén-kiegészítés szoros kapcsolatban van egymással, és a kettő felvétele antagonizmust mutat. A különbségek a szulfát és a szelenát transzportban lehetőséget biztosítanak a szelektív dúsításra. A korábbi tanulmányok, mely az árpagyökerek szulfátfelvételét tanulmányozták kimutatták, hogy a szelenát kompetitív inhibitora a szulfátfelvételnek. Ezekre a

vizsgálatokra alapozva kijelenthető, hogy a szulfát és a szelenát egymás antagonistái (Legget és Epstein, 1956).

2.9. A talaj, a talajok osztályozása

A talaj a Föld legkülső szilárd burka, amely a növények termőhelyéül szolgál. Alapvető tulajdonsága a termékenysége, vagyis az a képesség, hogy kellő időben és a szükséges mennyiségben képes ellátni a rajta élő növényzetet vízzel és tápanyaggal, és így lehetővé teszi az elsődleges biotomassza megtermelését (Lájer, 1996)

A Föld felszínén sokféle talaj fordul elő, amelynek oka a talajképző tényezők nagy változatossága. A talajok sokaságának áttekintése, összehasonlítása és egymással való megkülönböztetése szükségessé tette valamilyen szempont szerinti rendszerezésüket, osztályozásukat. Több talajosztályozást dolgoztak ki.

A természettudományi alapokon nyugvó első átfogó talajosztályozási rendszert, a genetikai és talaj-földrajzi osztályozási rendszer kidolgozás az orosz *Dokucsajev* nevéhez fűződik.

Magyarország talajainak rendszerezése genetikai-földrajzi elveket követő osztályozási rendszer, amelyet *Stefonovits* (1963) dolgozott ki. Azért nevezi genetikainak, mert a talajokat fejlődésükben vizsgálja, és a fejlődés egyes szakaszai, a típusok alkotják az osztályozás alapegységét, és azért talajföldrajzi, mert a földrajzi törvényszerűségeket szem előtt tartva egyesíti a típusokat a főtípusokba.

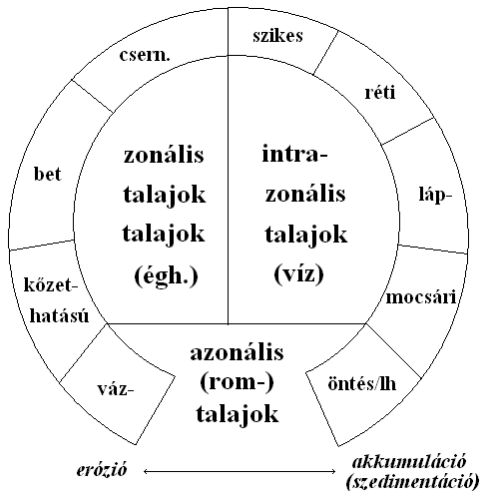
A talajok osztályozásának egységei:

Talajtípus. Egy típusba azokat a talajokat soroljuk, amelyek hasonló környezeti tényezők együttes hatására alakultak ki, a talajfejlődés folyamán hasonló fejlődési állapotot értek el, és azonos folyamattársulás által jellemezhetők.

Főtípus. A talajtípusok magasabb rendszertani egysége, rokon típusok összevonásával alakítjuk ki. A típusok összevonásában a földrajzi szempontok is jelentős szerephez jutnak.

Altípus. A típusra jellemző folyamattársulás keretén belül az egyes folyamatok erőssége, valamint a kísérőfolyamatok megjelenése szerint különítjük el, mint a talajtípusnál kisebb egységet.

A magyarországi talajosztályozás fő típusai: váztalajok, közethatású talajok, barna erdőtalajok, csernozjom talajok, szikes talajok, réti talajok, láptalajok, mocsári és ártéri erdők talajai és öntés- és hordaléktalajok.



2. ábra: Magyarország talajainak genetikai-talajföldrajzi rendszere (Stefanovits, 1963, 1992)

A genetikai osztályozást törvényszerűségét az 2. ábra szemlélteti, amelyen látható két szelő a főtypusokat három mezőre osztja. A vízszintes szelő alatt találjuk azokat a főtypusokat, melyekhez tartozó talajok képződését és fejlődését külső vagy belső tényezők akadályozzák, ezeket romtalajoknak nevezzük.

A függőleges választóvonalattól balra a vízszintes szelő fölött találjuk azokat a talajokat, melyek kialakulását csak a rájuk jutó csapadékvíz befolyásolja. Ezek az éghajlat által befolyásolt, vagy zonális talajok, ide tartoznak a barna erdőtalajok, a csernozjom talajok és az intrazonális közethatású talajok. A kőzet talajfejlődést befolyásoló hatás a vízszintes szelőtől fölfelé haladba fokozatosan csökken, gyengül.

A függőleges választóvonalattól jobbra azokat a talajokat találjuk, amelyek képződését a csapadékból közvetlenül a felszínre jutó víznél több nedvesség irányítja. Ez a víz származhat időszakos vízborításból, felszín közeli talajvízből vagy hosszabb ideig tartó elárasztásból. Ezeket a talajokat együttesen azonális, illetve hidromorf talajoknak nevezzük; ide tartoznak a szikes, réti, láp- és mocsári talajok.

Ma már legtöbb talajkutató egyetért abban, hogy egyedül a genetikai talajtípus

nem, vagy nem mindig határozza meg azokat a talajtulajdonságokat, illetve tulajdonság-kombinációkat, amelyekre a talaj termőképességének elbírálásánál, értékelésénél, megőrzésre és fokozásra irányuló tudatos emberi tevékenység szervezésénél és megvalósításánál szükség van. De nem elég csak a tulajdonságokra vonatkozó információkat megadni, mivel nem lehet pontosan leírni és mennyiségileg jellemezni azokat az anyag- és energiaforgalmi folyamatokat, amelyekre éppen a genetikai talajtípusból következtethetünk, s amelyek ismerete a tulajdonságokra vonatkozó számszerű adatok értékeléséhez nélkülözhetetlen (Bernát és mtsai., 1998).

A fentiek alapján a következő talajtípusokat különböztethetjük meg:

Váztalajok

A váztalajok fő típusába azok a talajok tartoznak, melyek képződésében a biológiai folyamatok feltételei csak kismértékben vagy rövid ideig adottak, ezért hatásuk korlátozott.

A váztalajok fő típusába igen eltérő típusok tartoznak (zárójelben az altípusok találhatóak):

- köves, sziklás váztalajok,
- kavicsos váztalaj,
- földes kopár (karbonátos, nem karbonátos),
- futóhomok (karbonátos, nem karbonátos, lepelhomok),
- humuszos homok (karbonátos, nem karbonátos, kétrétegű).

Közethatású talajok

A közethatású talajok fő típusába azok a sekély rétegű talajok tartoznak, amelyekre az erőteljes humuszképződés, valamint a talajképző közet tulajdonságaitól jelentős mértékben függő szerves-ásványi kolloidok kialakulása a jellemző. A fő típuson belüli besorolás a talajképző közet szerint történik:

- humuszkarbonát-talaj,
- rendzina (fekete, barna, vörös agyagos),
- fekete nyirok,
- ranker.

Barna erdőtalajok (közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok)

A főtypusban egyesített talajok az erdők és a fás növényállomány által teremtett mikroklíma, a fák által termelt és évenként földre jutó szervesanyag, valamint az ezt elbontó, főként gombás mikroflóra hatására jönnek létre. A főtypuson belüli típusok elkülönítése a kilúgozási, agyagbemosódási és podzolosodási folyamatok szerint történik, továbbá elkülönítünk, átmenti típusokat. A barna erdőtalajok típusai altípusai:

- csernozjom barna erdőtalaj (csernozjom jellegű barna erdőtalaj, típusos csernozjom barna erdőtalaj, erdőmárványos csernozjom),
- barnaföld (típusos, visszameszeződött, mélyben kovárványos),
- agyagbemosódásos barna erdőtalaj (gyengén podzolos, közepesen podzolos, mélyben kovárványos),
- podzolos barna erdőtalaj (erősen podzolos, közepesen podzolos, mélyben kovárványos),
- pangó vizes barna erdőtalaj (podzolos, agyagbemosódásos),
- kovárványos barna erdőtalaj (podzolos, agyagbemosódásos, típusos, humuszos),
- savanyú barna erdőtalaj (nyers és savanyú humuszos).

Mezőségi talajok (Csernozjom talajok)

E főtypusban azokat a talajokat sorolhatjuk, amelyekre a humuszanyagok felhalmozódása, a kedvező, morzsalékos szerkezet kialakulása, valamint a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása a jellemző. E talajok az ősi füves növénytakaró alatt bekövetkezett talajképződés eredményei. Elsősorban löszön vagy löszszerű üledéken képződnek. Jellemzőjük a sok állatjárat. A főtypuson belüli típusok és altípusok:

- öntés csernozjom (karbonátos, nem karbonátos),
- kilúgozott csernozjom,
- mészlepedékes csernozjom (típusos, alföldi, mélyben sós)
- réti csernozjom (karbonátos, nem karbonátos, mélyben sós, szolonyeces)

Szikes talajok

A szikes talajok kialakulásában és tulajdonságaikban a vízben oldható sók döntő szerepet játszanak. Ezek részben a talajoldatban oldott állapotban, részben pedig a szilárd fázisban, kristályos sók alakjában vannak, vagy a nátrium ionos formában a kolloidok felületén

adszorbeálva található. A sók mennyisége, minősége és a talajszelvényben való eloszlása szabja meg a szikes talajok tulajdonságait és típusba sorolását.

A főtípuson belüli típusok és jellemző, felépítésük:

- szoloncsák (sók minősége szerint),
- szoloncsák-szolonyec (sók minősége és mennyisége szerint),
- réti szolonyec (kérges, közepes),
- sztyeppesedő réti szolonyec (közepes, mély),
- másodlagosan szikesedett talaj (elszikesedett csernozjom, elszikesedett réti talaj, elszikesedett öntéstalaj).

Réti talajok

A réti talajok főtípusába azokat a talajokat soroljuk, amelyek keletkezésében az időszakos túlnedvesedés játszott nagy szerepet. Ez lehet az időszakos felületi vízborításnak, vagy a közeli talajvíznek a következménye. A vízhatásra beálló levegőtlenység a szervesanyag sötét színű felhalmozódását és az ásványi részek redukcióját váltja ki. Általában a táj mélyen fekvő, vízjárta területein találhatók.

- szoloncsákos réti talaj (szulfátos, szódás),
- szolonyeces réti talaj (szolonyeces, erősen szolonyeces),
- réti talaj (karbonátos, nem karbonátos, mélyben sós, mélyben szolonyeces),
- öntés réti talaj (karbonátos, nem karbonátos),
- lápos réti talaj (típusos, szoloncsákos, szolonyeces),
- csernozjom réti talaj (karbonátos, nem karbonátos, mélyben sós, mélyben szolonyeces, szolonyeces).

Láptalajok

A láptalajok főtípusába tartozó talajok vagy állandó vízborítás alatt képződtek, vagy az év nagyobb részében víz alatt állottak, és a vízborítás mentes időszakokban is vízzel telítettek voltak. Az állandó vízhatás következményeként a növényzet elsősorban a vízi növényzet, így a nád, a sás, a káka, a tőzegmoha elhalása után a szerves maradványok a víz alatt vagy vízzel telítve, tehát levegőtlen viszonyok között csak részlegesen bomlanak el, vagyis

tőzegesednek. A típusok besorolása a szerves talajanyag összetétele és mélysége, valamint az esetleges lecsapolás alapján történik:

- mohaláptalaj,
- rétláptalaj (tőzegláptalaj, kotus tőzegláptalaj, tőzeges láptalaj, kotus láptalaj),
- lecsapolt és telkesített rétláptalaj (telkesített tőzegláptalaj, telkesített tőzeges láptalaj, telkesített kotus láptalaj).

Mocsári erdők talajai

Folyóvizek, tavak üledékeinek és a lejtők hordalékainak talajai

Ennél a talajtípusnál a talajképződési folyamatokat az időszakonként megismétlődő áradások és az utánuk visszamaradó üledék, illetve az erózió által elmozdult talajrészecskék másodlagos lerakódása gátolja. Szelvényekben nincs szintekre tagolódás, az egyes rétegek közötti különbségek csak az üledék tulajdonságaitól és nem a talajképző folyamatok hatásától függenek. Tulajdonságaik elsősorban a folyók által lerakott vagy a lejtőn lehordott anyag összetételétől függenek. A következő típusokat tartoznak ide:

- nyers öntéstalaj (karbonátos, nem karbonátos, karbonátos-kétrétegű, nem karbonátos-kétrétegű),
- humuszos öntés talaj (karbonátos, nem karbonátos, karbonátos-kétrétegű, nem karbonátos-kétrétegű, réti öntés),
- lejtőhordalék talaj (cserjőznom lejtőhordaléka, erdőtalajok lejtőhordaléka, rendzinák lejtőhordaléka, vegyes üledékes) (*Lájer*, 1996; *Bernát és mtsai.*, 1998; *Jakab*, 2004; *Szakács*, 2008).

A talajtípusok megismerése szempontjából különbséget kell tennünk a talajok szintje és rétege között. A szint mindig genetikai eredetű, talajképződés folyamatában különül el, és válik morfológiai bélyegei alapján felismerhetővé. A réteg valamilyen nem döntő fontosságú bélyeg alapján elkülönített, vagy nem genetikai eredetre visszavezethető, vízszintes elhelyezkedésű talajképződmény. Így pl. a barna erdőtalajok felhalmozódási szintjét két rétegre oszthatjuk a begyökerezettség mélysége szerint.

Romániában az érvényben lévő román talajosztályozási rendszert a 70-es években dolgozták ki. A 2000-ig érvényben levő formája kompromisszumos megoldás az USDA,

FAO és a hagyományos román osztályozás és nevezéktan között, mely figyelembe veszi a diagnosztikus szinteket és a diagnosztikus jellemzőket.

2000-től az új román talajosztályozási rendszer érvényes, amelyben 10 talajosztályt és 39 talajtípust különböztet meg (*Jakab, 2004*):

- Mollikus talajok (gesztenyeszínű talaj, csernozjom, kambik-kilúgozott-csernozjom, agyagbemosódásos csernozjom, csernozjom jellegű talaj, szürke erdőtalaj, redzina talaj),
- Agyagbemosódásos talajok (vörösbarna erdőtalaj, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, gyengén podzolos vörösbarna erdőtalaj, gyengén podzolos agyagbemosódásos barna erdőtalaj, podzolos-agyagbemosódásos barna erdőtalaj, planosol),
- Kambikus talajok (barnaföld, vörösföld, savanyú-nem podzolos barna erdőtalaj),
- Podzolok (vasbemosódásos barna talaj, podzol),
- Umbrikus talajok (fekete savanyú talaj, ando talaj, humuszsilikát talaj),
- Hidromorf-réti-talajok (fekete réti talaj, szürke réti talaj, fekete hidromorf talaj, pangóvízes-pszudoglej-talaj),
- Szikes talajok (szoloncsák, szolonyec),
- Vertikus talajok (vertikus talaj),
- Nyerstalajok, csonkaszelvényű talajok és bolygatott talajok (kövesváztalaj, földes kopár, homoktalaj, nyers öntéstalaj, humuszos öntéstalaj, lepusztult talaj, lejtőhordalék talaj, forgatott talaj, emberhatású nyerstalaj),
- Szerves talajok (tőzeges talaj) (*Jakab, 2004, Szakács, 2008*).

2.10. Irodalmi adatok összefoglalása

A szelént az 1800 évek elején fedezték fel, de az elmúlt 50 évben lett fontos szerepe a mikroelem kutatásokban, mivel bizonyossá vált, hogy számos olyan fehérje és enzim aktív centrumában jelen van, amelyeknek fontos szerepük van az emberi szervezetben.

A szelén esszenciális mikroelem, de élettani hatása ambivalens. Hiánya több betegség kialakulásához vezethet, ugyanakkor egy másik egészségügyi kockázatot jelenthet a szelénszennyezés, mivel a szelén egyike azoknak az elemeknek, amely nagyon szűk tolerancia tartománnyal jellemezhető.

1930 körül a szelént még toxikus elemnek tekintették, de 1943-ban már kimutatták jelenlétének esszenciális mivoltát az élő szervezetben mivel az találták, hogy lecsökkenti a daganatos megbetegedések számát (*Clayton és Bauman, 1949; Nelson és mtsai., 1943; Schwarz és Foltz, 1957*).

1966-ban a szelén antikarcinogén hatását publikálták (*Shamberger és Rudolph, 1966*), de ekkor még a táplálék összesszelén-tartalmáról tettek említést. Az utóbbi időben az analitikai módszerek érzékenységének javulásával kiderítették a szelén fontos élettani hatását, mert antioxidánsként a tokoferollokkal együtt részt vesz a metabolizmusban, segít bizonyos daganatos betegségek gyógyításában, sőt megelőzésében, és segíti megőrizni a sejthártyák épségét. A glutation-peroxidáz szeléntartalmú enzim a peroxidbontó reakció katalizálásával védi a telítetlen lipideket (*Cser és Sziklainé, 1998*).

A szelén környezetünkben a talajban, a talajvízben és egyéb felszíni és felszín alatti vizeinkben, és az összes élő szervezetben is megtalálható. A Föld különböző részein a szelén bőséges mennyiségben van jelen, de eloszlása a talajokban a természetes szubsztrátoknak, a klimatikus viszonyoknak, illetve az ott élő növényközösségnek megfelelően erősen változik. Így nagy különbségek alakulnak ki, akár egy országon belül is, az egyes területek szelénellátottsága között (*Hartil, 2004*).

Átlagos szeléntartalmú talajokon élő, illetve ott termesztett növények 0,1-2 mg/kg koncentrációban tartalmazzák a szelént (*Schrauzer, 2003*). Vannak szelenofer talajokon élő, ún. szelén-indikátor növények (például az *Astragalus*, *Codonopsis*, *Xylorhiza*, *Oonopsis*, *Stanleya* fajok), melyek nagy mennyiségben (akár 1000-15000 mg/kg szárazanyag koncentrációban) képesek a szelént a talajból felvenni és akkumulálni (*Bañuelos és Meek, 1989; Bañuelos és Pflaum, 1990; Whanger, 1994; Schrauzer, 2003*).

A szelén szerepe az emberi táplálkozásban rendkívül fontos. Világszerte megfogalmazódott a szelén pótlásának szükségessége, de nem alakult ki általános egyetértés a tekintetben, hogy mi a szükséges szelénbevitel az embereknél (*Thomson, 2004a*). A minimális szelénbevitt a Keshan-betegség megelőzése céljából 17 µg/napban jelölték meg (*Yang és Xia, 1995*), ugyanakkor a maximális GPx plazma aktivitás eléréséhez a becsült szelénbevitel 45 µg/nap körül van (*Thomson, 2004b*).

A szelén a természetben szervetlen formákban a kénhez hasonlóan négyféle oxidációs állapotban, szelenátokként (Se^{6+}), szelenitekként (Se^{4+}), elemi szelénként (Se^0) és

szelenidekként (Se^{2-}) fordulhat elő. A szelén megjelenési formája oxidációs állapotának eredménye, melyet elsősorban a környezeti hatások, a pH és a mikrobiális tevékenység befolyásolnak (Skinner, 1999).

Természetes körülmények között a biológiailag nem hozzáférhető elemi szelén csak ritkán fordul elő, de a talajban stabilis formában megtalálható. Az elemi szelén szeléndioxiddá oxidálódhat, mely leginkább a talaj felszínén fordulhat elő. Levegőtől elzárt, anaerob körülmények között, a talajokban a szelén elemi formája van jelen (Craig, 1986).

A környezetünkben előforduló főbb szelénvegyületek:

- a talajban: Se(IV) , Se(VI) , dimetil-szelenid (dMeSe), dimetil-diszelenid (dMedSe) ($(\text{CH}_3)_2\text{Se}_2$), dimetil-szelenon ($(\text{CH}_3)_2\text{SeO}_2$),
- biológiai mintákban: szeleno-cisztin (SeC), szeleno-cisztein, szeleno-metionin, szeleno-etionin (SeE), szeleno-urea (SeU) (McSheehy és mtsai., 2000, Michalke és mtsai., 2001).

A szerves módosulatok szeleno-aminosavak, vagy azok származékai, amelyek tulajdonképpen olyan aminosavak, amelyekben a kén helyét a szelén foglalja el. A szelén legfontosabb szerves formáinak tekintik a növényi eredetű SeMet -t, illetve az állati fehérjékből származó SeCys -t. Sem az állatok, sem pedig az emberek nem képesek szervesetlen szelén forrásból metionint és ebből adódóan SeMet -t előállítani, így ezt a szeleno-aminosavat növényi vagy mikrobiális forrásból kell felvenni. Ugyanakkor az állatok és az emberek egyaránt képesek a SeMet -t SeCys -né alakítani (Beilstein és Whanger, 1986).

A szelén számos tulajdonságában kémiaiailag a periódusos rendszerben a felette elhelyezkedő kénhez hasonlít. Minden kéntartalmú molekulának létezik szelén analógja, így a kén és a szelén egymással versengve szerepelhet egyes biokémiai reakciókban (Combs és Combs, 1986).

A szelén esszenciális vagy toxikus tulajdonsága a talajban, a vizekben és az élelmiszerekben nem csak koncentrációjától hanem attól is függ, milyen formában van jelen. A különböző szelénformák közvetlenül hatással vannak az adszorpció folyamatokra, valamint a biológiai felvehetőségre is (Mikkelsen és mtsai., 1989).

A talaj szervesanyag-tartalmától, valamint a kimosódási és hidrológiai transzportfolyamatoktól függ a szelén biológiai felvehetősége. Az alacsony Se -tartalmú

talajok szintén alacsony szeléntartalmú alapkőzetből származnak, így a növények és a talaj között igen kis mennyiségű szelén áramlik, azaz kevés lesz a növények által felvehető szelén mennyisége (Wang és Gao, 2001).

A szelén esszenciális voltát a magasabb rendű növények számára a mai napig még nem bizonyították, de igazolták, hogy a kénhez való kémiai hasonlósága miatt könnyen felveszik és asszimilálják (Läuchli, 1993). A növények szeléntartalma kis mértékben korrelál a talaj összesszelén--tartalmával, számottevőbb a szelén komplexkémiai viselkedése az adott talajon, vagyis a komplexekben kötött szelén mennyisége a meghatározó tényező a szelén felvételénél (McLaughlin és mtsai., 1999). Általánosságban elmondható, hogy a talaj szelénellátottsága szabja meg az azon termesztett növény szeléntartalmát (Terry és mtsai., 2000).

A növények szelénfelvételét nagy mértékben befolyásolja a talaj pH-ja, a talaj szerkezete, a vas-oxid és a vas-hidroxid aránya, valamint a szervesanyagok (Gissel-Nielsen és mtsai., 1984; Mikkelsen és mtsai., 1989). A növények szelénkoncentrációját a talajlazítás és az öntözés is befolyásolja (Zhao és mtsai., 2007). A talaj tömörödöttsége a növények szelénkoncentrációjának csökkenéséhez vezet.

A gabonafélék, a hús és a hal a szelén fő forrása az emberi táplálékban (Combs, 2001). A gabonafélék (búza, kukorica, rozs) és az abból készült termékek, mintegy 70%-ban járulnak hozzá az összesszelén-tartalom beviteléhez (Golubkina és Alfthan, 1999). A gabonák és a gabonákból készült termékek eltérő mértékben tartalmazzak szelént. Szeléntartalmuk az eredeti anyagban 10–550 µg/kg között változik (FAO, WHO, 2001).

A szelén biológiai hasznosíthatósága a különböző élelmiszerek között változik. A növényi és állati eredetű Se-Met és a főként állati eredetű Se-Cys több mint 90%-ban hasznosul a szervezetben, míg a szervetlen szelenát és szelenit hasznosulása alig éri el az 50%-ot. A búzamag szeléntartalmának a hasznosulása magas. Egy patkányokkal végzett kísérletben a búza szeléntartalmának hasznosulása 83% volt, nagyobb, mint a gombáé (5%), a tonhalé (57%), és hasonló a marha veséjéhez (97%) (Thomson, 2004a). Emberekkel végzett hathetes kísérlet során kimutatták, hogy a szelénnel dúsított búza szignifikánsan növelte a szérum szeléntartalmát, ezzel ellentétben a szelénnel dúsított halnak nem volt arra ilyen hatása (Meltzer és mtsai., 1993). Fox és mtsai. (2005) három különböző élelmiszerből ⁷⁷Se és ⁸²Se izotópokkal vizsgálva szelén-abszorpciót azt találták, hogy az szignifikánsan

magasabb volt a búza (81%) és a fokhagyma (78%) esetében, és jóval alacsonyabb a halból (56%). A búza szeléntartalmának magas fokú hasznosulása azt jelzi, hogy használata nagyon alkalmas lenne az emberek szelénbevitelének növelésére.

Az élelmiszerek és a különböző magvak szeléntartalmát növelni lehet, ha szelént adunk a talaj–növény rendszerhez, amit a gyakorlatban biológiai megerősítésnek neveznek. A legjobb példa erre Finnország, ahol a gyakorlatban Na-szelenátot adtak a több elemet is tartalmazó trágyázás során, melyet 1984 óta alkalmaznak (*Eurola és mtsai.*, 1991; *Hartikainen*, 2005; *Ylärinta*, 1990).

Több beszámoló szól arról, hogy szelénrel dúsított növényeket állítottak elő szeléntrágyázással, beleértve a szelénrel dúsított brokkolit, hagymát, krumplit, gombát és teát. A különböző laboratóriumi és a termőföldön végzett kísérletek megmutatták, hogy a hozzáadott szelenát hatékonyabban növeli a növény szeléntartalmát, mint a szelenit (*Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984; *Shand és mtsai.*, 1992; *Singh*, 1991; *Cartes és mtsai.*, 2005), ezért a szelenátot sokkal szélesebb körben használják szelén trágyázásra, és nagyon sok kereskedelmi műtrágyában ez a szelén forma található (*Broadley és mtsai.*, 2006). Nagyon fontos, hogy a termőföldön végzett kísérleteket különböző technológiai és klimatikus körülmények között folytassák le azért, hogy a szeléntrágyázás optimális arányairól megbízható információt kapjanak. A termőföldön végzett kísérletekkel Kanadában kimutatták, hogy 10 g szelént szükséges adagolni hektáronként ahhoz, hogy az árpa szeléntartalma 100 µg/kg-nál magasabb legyen (*Gupta*, 1995). *Tveitnes és mtsai.* (1996) egy Norvégiában végzett szántóföldi kísérlet során kalcium-nitrátot adagoltak, amelynek szeléntartalmát 25 mg/kg-ra állították be tavaszi búza esetében. Ez 6,5 g Se/ha kijutást jelentett, mely a búzamag szelénkoncentrációját a kívánt szintre növelte meg.

Általánosságban azt lehet mondani, ha megfelelően alkalmazzuk a szelénkiegészítést, akkor csak kevés marad vissza a következő növény számára, ami azt sugallja, hogy az a mennyiség, amit a növény nem vett fel, vagy a talajon kötődik meg, vagy pedig szétoszlik a környezetben. A környezet monitorozása azért is nagyon fontos, hogy a szelénkiegészítés ne vezessen a vizek szeléntartalmának jelentős növekedéséhez. Finnországban végzett kísérletek csak csekély bizonyítékot találtak a szelénnövekedésre a tavi ökoszisztémákban, bár néhány talajvízminta nitrogén-, foszfor- és szelénkoncentrációja

megemelkedett, ami azt jelenti, hogy a szelén a műtrágyázás során bekerült a talajvízbe (Mäkelä és mtsai., 1995; Wang és mtsai., 1995).

A búza szeléntartalmának javítása megkívánja annak vizsgálatát, hogy a transzporterek hogyan katalizálják ezt a mechanizmust. A növények a talaj összetételétől függően mind a szelenit-, mind a szelenáttartalmat hasznosítani tudják. Néhány tanulmányban bemutatták a növények szelenit-felvételét, de néhány esetben kimutatták azt is, hogy a szelenát felvétele limitált a növényeknél. Több esetben kimutatták, hogy a szelenit és szelenát versengett egymással, és hogy a foszfátranszport befolyásolta a szelenit felvételét, bár ennek molekuláris alapjait még nem tisztázták (Hopper és Parker, 1999; Zhang és mtsai., 2003).

3. CÉLKITŰZÉSEK

Mivel Románia lakossága szelén ellátottságára, a talajról és ezen a talajokon termelt búzafű és búzamazag szeléntartalma vonatkozásában nagyon hiányosak az ismeretink, ezért célul tűzttem ki, hogy megvizsgáljam:

- Dobrogea-Bărăgan vidékén található legfontosabb talajtípusok (földes kopár talaj, hidromorf (pangóvízes talaj), podzolosodott barna erdőtala, kambikus (barna erdőtalaj), lepusztult talaj (erodiszol), nyers öntéstalaj-protoszol, hidromorf (szürke réti talaj), mollikus (rendzinák), humuszos öntéstalaj, homoktalaj-pszamoszol, kambikus (barnaföldek), agyagbemosódásos barna erdőtalaj, albikus barna erdőtalaj, hidromorf (fekete réti talaj), mollikus (litikus csernozjomszerű) és mollikus (típusos csernozjomszerű) talaj) összesszelén-tartalmának, pH-jának és szervesanyag-tartalmának a meghatározását.

- Csíki-medencében ugyanezen talajtípusok pH-jának és szervesanyag-tartalmának a meghatározását.

- Ugyancsak célom volt meghatározni az előzőekben említett talajtípusokon Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008-ban), valamint a Csíki-medencében (2009-ben és 2010-ben) hasonló talajtípusokon termesztett búzafű és búzamazag összesszelén- és szeleno-metionin-tartalmát.

- A mérési eredmények birtokában célul tűzttem ki elemezni az összefüggéseket a talaj, a búzafű és a búzamazag szeléntartalma között a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó minták esetében; a búzafű és a búzamazag összesszelén- és szeleno-metionin-tartalma közötti összefüggést mind a két tájegység esetében.

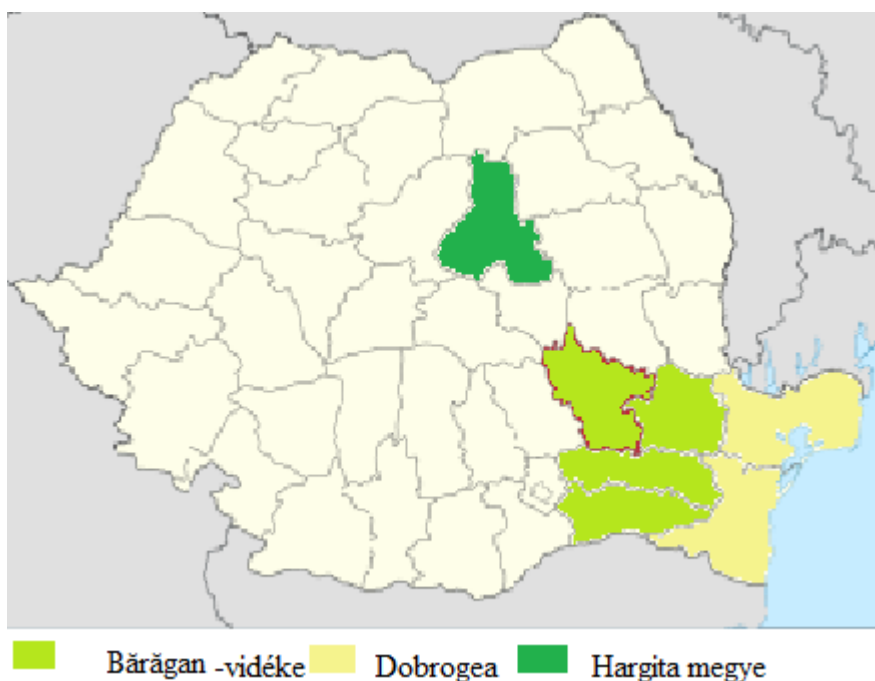
- Összefüggéseket kerestem a talaj pH-ja, szervesanyag-tartalma és a talajon termelt búzafű és búzamazag összeszelén- és SeMet-tartalma között.

- Célul tűzttem ki az egyik legfontosabb élelmiszer alapanyag, a búzamazag összeszelén- és szeleno-metionin-tartalmának meghatározását, Románia és Székelyföld lakossága szelénellátottságára tekintettel.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A begyűjtött minták helye

A kutatásom kezdetekor a mintavétel Románia dél-keleti részén elhelyezkedő Dobrogea és Bărăgan vidékén (3. ábra), majd Hargita megye (4. ábra) dél-keleti részén található Csíki-medence különböző talajtípusairól történt.



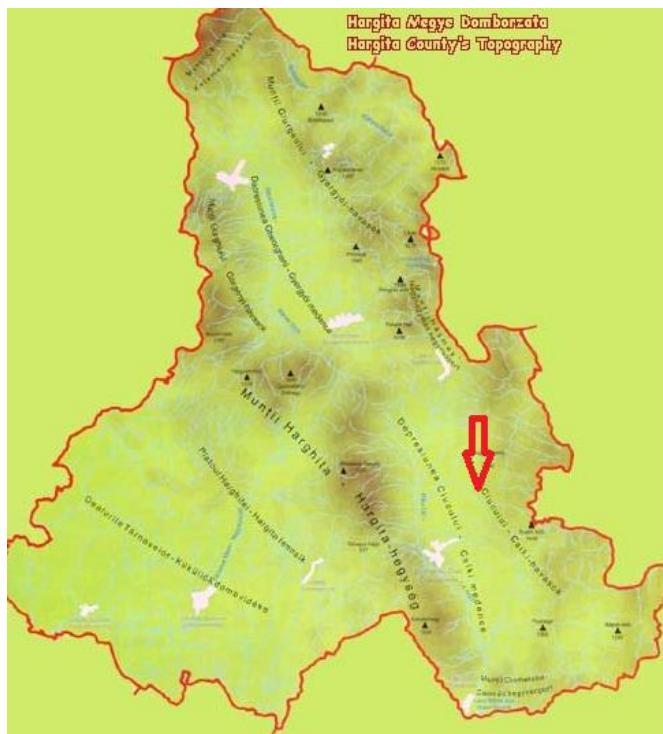
3. ábra: Dobrogea-Bărăgan vidéke és Hargita megye

Dobrogea földtani szempontból komplex szerkezetű, területét három oldalról vizek (nyugaton és északon a Duna árterülete és deltája, keleten a Fekete-tenger) határolják, délen pedig Bulgáriával határos. Földtani szerkezete, magassága és domborzati formái alapján két fő részre tagolhatjuk: északon a magasabbra emelkedő Észak-Dobrudzsai masszívum, délen pedig az alacsonyabb Dél-Dobrogea-hátság található. A vidék éghajlata szárazabb, mint az ország más területein, ezért növényzete sztyeppei jellegű. Öntözéses földműveléssel jelentős mezőgazdasági területté alakították. Híres a szőlőművelése.

A Bărăgan Románia déli részén, a Román-alföld keleti vidékén helyezkedik el. Délen és keleten a Duna árterülete, északon a Bodza és Călmățui folyók határolják, nyugati irányban nincs természetes határa. A Bărăgan területét teljes egészében a sztyeppe jellegű

pusztaság teszi ki, fák csak elvétve fordulnak elő. Ez a földrajzi jelleg határozza meg a tájegység klímáját is, melyet a forró és száraz nyarak jellemeznek (Brăilan mérték Románia legmagasabb hőmérsékletét, +48 °C-ot), a telek ezzel szemben hidegek és szelesek.

A Hargita megyében található Csíki-medence (4. ábra), az Olt felső medencéjében, a Keleti-Kárpátok és a Hargita közrezártságában fekszik. Földrajzilag két részre oszlik: Alcsíkra és Felcsíkra. Néhol hármastagolással találkozhatunk, Középcsíkot hozzátéve.



4. ábra: A Csíki-medence elhelyezkedése Hargita megyében

A kutatómunka kezdetén (2008-2009) Dobrogea és a Bărăgan vidékéről 35 talaj, 35 búzafű, majd 35 darab búzamazag mintát gyűjtöttem be. A mintavétele során GPS-el bemértem a származási helyet, és ügyelem arra, hogy a búzamazag mintákat az aratási időszak kezdetén ugyanonnan vegyem, ahol a talaj és búzafű mintavétele történt (3. táblázat).

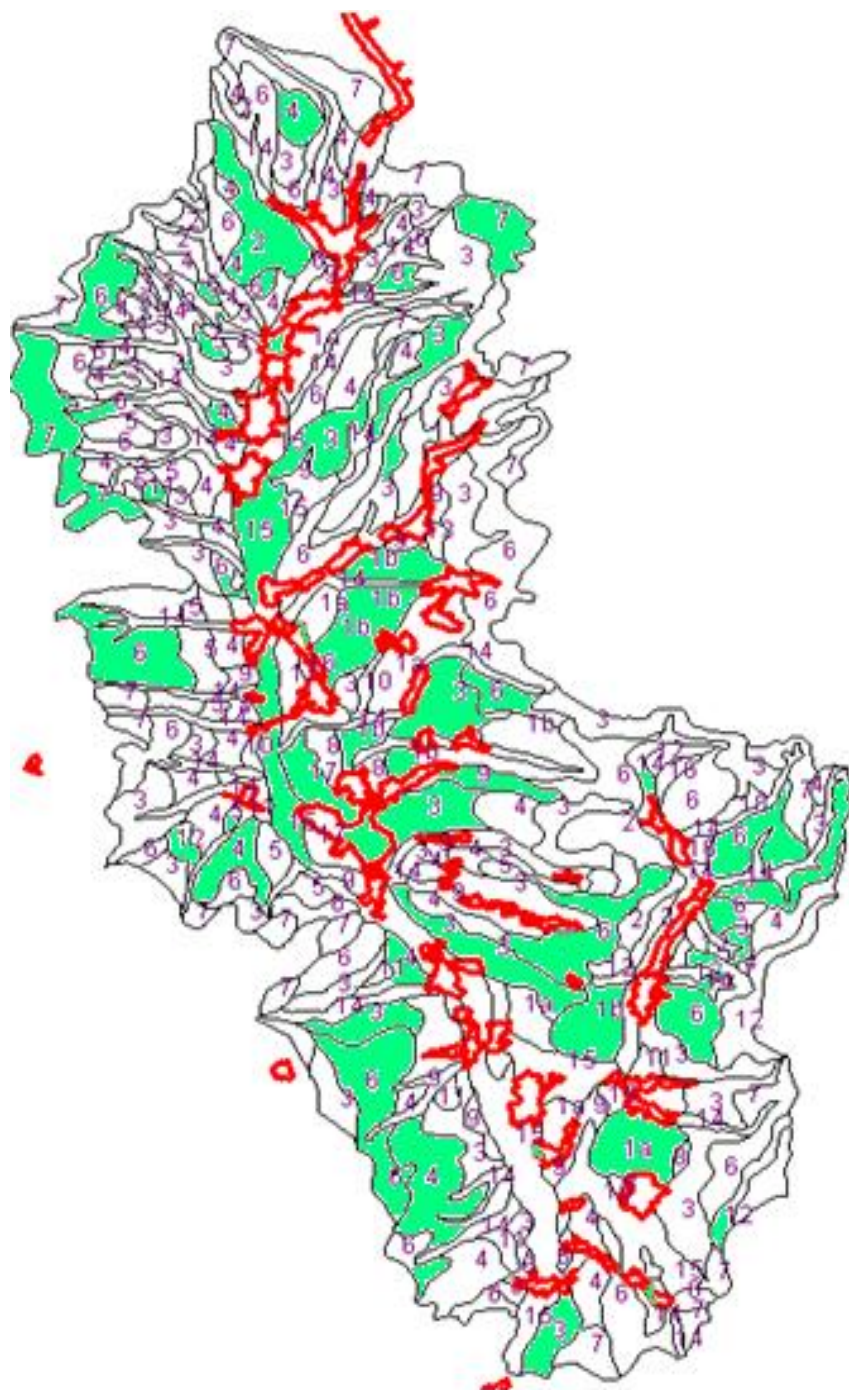
3. táblázat: A mintavétel helye, talajtípusának megjelölése

<i>Minta</i>	<i>Mintavételi pontok adatai</i>	<i>Talajosztály (típus)</i>
1	É44,15226° - K 27,20786°	Mollikus (rendzinák)
2	É44,42522° - K 27,50935°	
3	É44,21569° - K 28,31327°	Kambikus (Savanyú, barna erdőtalaj)
4	É44,02883° - K 28,29815°	
5	É44,45477° - K 28,11967°	Nyerstalaj (földes kopár talaj)
6	É44,49434° - K 28,16100°	
7	É44,26093° - K 27,48196°	Hidromorf (pangóvízes talaj)
8	É44,43413° - K 28,21617°	
9	É44,35270° - K 27,41874°	Agyagbemosódásos (podzolosodott barna erdőtalaj)
10	É44,14406° - K 28,34548°	
11	É44,30825° - K 27,44221°	Nyerstalaj (lepusztult talaj -erodiszol)
12	É44,34947° - K 27,41886°	
13	É44,41897° - K 28,00021°	Nyerstalaj (nyers öntéstalaj-protoszol)
14	É44,31430° - K 28,35730°	
15	É44,36738° - K 28,26437°	Hidromorf (szürke réti talaj)
16	É44,04663° - K 28,36055°	
17	É44,05955° - K 27,55126°	Nyerstalaj (humuszos öntéstalaj)
18	É43,57334° - K 28,09992°	
19	É44,30472° - K 28,25871°	Nyerstalaj (homoktalaj -pszamoszol talaj)
20	É43,59025° - K 28,07521°	
21	É44,42148° - K 28,29084°	Kambikus (barnaföldek)
22	É44,23815° - K 28,27685°	
23	É43,52759° - K 28,17332°	Agyagbemosódásos (agyagbemosódásos barna erdőtalaj)
24	É44,39097° - K 27,42192°	
25	É44,47407° - K 28,17900°	Agyagbemosódásos (barna erdőtalaj-albikus)
26	É44,21093° - K 27,44131°	
27	É44,05166° - K 28,06134°	
28	É43,51011° - K 28,14272°	Hidromorf (fekete réti talaj)
29	É43,58519° - K 28,24597°	
30	É44,03054° - K 28,11141°	Mollikus (litikus csernozjomszerű)
31	É44,21137° - K 27,21813°	
32	É44,19147° - K 27,41027°	Mollikus (típusos csernozjomszerű)
33	É44,16987° - K 27,36213°	
34	É44,43809° - K 27,54276°	
35	É44,18729° - K 27,21391°	

A kutatómunkát folytatva a továbbiakban Csíki-medencéből vettem a mintákat (2009, 2010). 48 búzafű és 48 darab búzamag mintát gyűjtöttem be (4. táblázat). A búzafű mintavétele (5. ábra) során GPS-el bemértem a származási helyet, és ügyeltem arra, hogy a búzamag mintákat az aratási időszak kezdetén ugyan onnan vegyem, ahol a búzafű mintavétele történt.

4. táblázat: A Csíki-medence mintavétel helye, talajtípusának megjelölése

<i>Minta</i>	<i>Minta származási helye</i>	<i>Talajosztály (típus)</i>
1	É46.325309° - K25.888377°	Agyagbemosódásos (agyagbemosódásos barna erdőtalaj)
2	É46.267241° - K25.852892°	
3	É46.210962° - K25.927391°	
4	É46.344647° - K25.806745°	Agyagbemosódásos (barna erdőtalaj-albikus)
5	É46.250149° - K25.883789°	
6	É46.253948° - K25.933914°	
7	É46.205498° - K25.927906°	Nyerstalaj (földes kopár talaj)
8	É46.204311° - K25.944214°	
9	É46.236496° - K25.941639°	
10	É46.300635° - K25.888166°	Hidromorf (fekete réti talaj)
11	É46.306387° - K25.887308°	
12	É46.231747° - K25.930138°	
13	É46.224028° - K25.958290°	Hidromorf (pangóvízes talaj)
14	É46.274834° - K25.926361°	
15	É46.225809° - K25.950222°	
16	É46.301762° - K25.954514°	Hidromorf (szürke réti talaj)
17	É46.313235° - K25.857439°	
18	É46.272936° - K25.834473°	
19	É46.287336° - K25.915375°	Nyerstalaj (homoktalaj -pszamoszol talaj)
20	É46.321912° - K25.941564°	
21	É46.275698° - K25.891537°	
22	É46.345686° - K25.886425°	Nyerstalaj (humuszos öntéstalaj)
23	É46.435254° - K25.820363°	
24	É46.201221° - K25.914345°	
25	É46.219158° - K25.908852°	Kambikus (barnaföldek)
26	É46.220108° - K25.891342°	
27	É46.284851° - K25.900612°	
28	É46.224147° - K25.920525°	Kambikus (savanyú, barna erdőtalaj)
29	É46.243976° - K25.930824°	
30	É46.222365° - K25.947132°	
31	É46.265125° - K25.915687°	Nyerstalaj (lepusztult talaj -erodiszol)
32	É46.275309° - K25.938377°	
33	É46.309885° - K25.886536°	
34	É46.349771° - K25.967731°	Mollikus (rendzinák)
35	É46.374309° - K25.898795°	
36	É46.240058° - K25.886106°	
37	É46.403895° - K25.783882°	Mollikus (litikus csernozjomszerű)
38	É46.458082° - K25.841517°	
39	É46.444008° - K25.844092°	
40	É46.206805° - K25.894432°	Mollikus (típusos csernozjomszerű)
41	É46.225809° - K25.950222°	
42	É46.295509° - K25.863877°	
43	É46.205498° - K25.927906°	Nyerstalaj (nyers öntéstalaj-protoszol)
44	É46.326661° - K25.955887°	
45	É46.283256° - K25.875478°	
46	É46.295218° - K25.893316°	Agyagbemosódásos (podzolosodott barna erdőtalaj)
47	É46.278631° - K25.849842°	
48	É46.288863° - K25.957846°	



5. ábra: A Csíki-medence általános talajtani térképe (a számok magyarázata az 5. táblázatban, a mintavétel helyei zölddel jelölve)

4.2. A Dobrogea-Bărăgan és a Csíki-medencében begyűjtött talajok típusai, jellemzői

Az 5., 6. táblázatban összefoglalva található a Dobrogea és Bărăgan vidékén, és a Csíki-medencében begyűjtött talajminták jelölései (Romániában és Magyarországon érvényben lévő osztályozási rendszer szerint), és talajértékei. A begyűjtött és különböző a romániai rendszer szerint talajosztályokba besorolt talajokat, a magyar rendszer jelölése szerint is beazonosítottam, a talajok általános tulajdonsága alapján.

5. táblázat: A talajok osztályozása és talajértékei a román osztályozási rendszer szerint

A minták jelölése	Talajosztály – Talajtípus - Altípus	Talajérték
T16 T15 T1	I. Mollikus talajok 1. Csernozjomszerű talajok-típusos Csernozjomszerű talajok-litikus 2. Rendzinák	32,9 26,7 24,5
T12 T5 T13	II. Agyagbemosódásos talajok 3. Agyagbemosódásos barna erdőtalaj 4. Podzolosodott barna erdőtalaj 5. Agyagbemosódásos barna erdőtalaj-albikus	30,1 26,7 28,3
T11 T2	III. Kambikus talajok 6. Barnaföldek 7. Savanyú, erdőtalaj	21,2 19,2
T14 T8 T4	IV. Hidromorf talajok 7. Fekete réti talaj 8. Szürke réti talaj 10. Pangóvízes talaj	19,1 4,03 18,4
T3 T10 T7 T9 T6	V. Nyerstalajok, csonka talajok 11. Földes kopár 12. Homoktalaj-pszamoszol 13. Nyers öntéstalaj-protoszol 14. Humuszos öntéstalaj 15. Lepusztult talaj (erodiszol)	7,81 9,75 9,82 35,1 0,97

A talajértékszám a különböző talajok természetes termékenységét, a talajok termékenységében meglévő viszonylagos különbségeket a legtermékenyebb talaj

termékenységehez viszonyítva, százalékba fejezi ki, de nem veszi figyelembe az egyéb természeti adottságokban (éghajlati, domborzati, vízviszonyok) fellelhető különbségeket, valamint a tápanyag gazdálkodás és a termesztéstechnológia színvonalából adódó termékenység növekedést vagy csökkenést.

6. táblázat: A talajok osztályozása a magyar osztályozási rendszer szerint

A minták jelölése	Talajosztály – Talajtípus - Altípus
T1	Közethatású talajok (redzina-barna)
T2	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok - (savanyú barna erdőtalaj)
T3	Váztalajok (földes kopár)
T4	Réti talajok (lápos réti talaj)
T5	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok- (podzolosodott barna erdőtalaj)
T6	Folyóvizek, tavak üledékeinek és a lejtők hordalékának talajai (lejtőhordalék talaj)
T7	Folyóvizek, tavak üledékeinek és a lejtők hordalékának talajai (öntés réti talaj)
T8	Réti talajok (réti talaj - nem karbonátos)
T9	Folyóvizek, tavak üledékeinek és a lejtők hordalékának talajai (humuszos öntéstalaj)
T10	Váztalajok (humuszos homok)
T11	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok - (barnaföld)
T12	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok- (agyagbemosódásos barna erdőtalaj - gyengén podzolos)
T13	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok- (agyagbemosódásos barna erdőtalaj - típusos)
T14	Réti talajok (réti talaj - karbonátos)
T15	Réti talajok (erősen szolonyeces réti talaj)
T16	Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok - (típusos - csernozjom barna erdőtalaj)

A kutatás során vizsgálat talajok főbb tulajdonságai.

- *Mollikus talajok* osztályába, azokat a talajokat soroljuk, amelyeknek mollik szintjük van. Ez sötét, nem tömörödő, jól kifejtett morzsás vagy apró szemcsés szerkezetű, laza,

szárazon nem kivilágosodó, legalább 20 cm mély, kicserélhető bázikus ionokkal való telítettsége nagyobb 50%-nál.

A csernozjom talaj a mollikus talaj egyik típusa. Románia és Magyarország egyik legjobb minőségű talaja. A humuszanyagok felhalmozódása, kedvező, morzsalékos szerkezet, kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása jellemzi, kémhatása semleges vagy enyhén lúgos. Több altípusát különböztetik, ezek közé sorolhatók a típusos és a litikus csernozjom talajok.

A mollikus talajok osztályában tartozik a redzinák talajtípus. Ezek a talajok tömör, szénsavas meszet tartalmazó kőzetten alakultak ki, és a kőzet málladéka viszonylag kevés szilikátos anyagot tartalmaz. Tápanyag-szolgáltató képessége a laboratóriumi vizsgálatok alapján jó, de a tápanyag érvényesülését akadályozza, hogy a tárolt vízmennyisége általában kevés.

- Az *agyagbemosódásos talajok* fő kritériuma az agyagos rész vándorlása, az agyagbemosódásos szint jelenléte. Az agyagbemosódásos barna erdőtalaj az egyik típusa, amely képződésében a humuszosodás kisebb szerepet játszik, mivel a klimatikus viszonyok lehetővé teszik az intenzív szervesanyag-lebontást. A szervesanyag felhalmozódás kevés, jellegzetes folyamat a talajtípus nevében is jelzett agyagvándorlás, melynek eredményeként felül fakó színű, poros szövetű szint képződik. Az agyag mélyebb rétegekbe mosódik, a felhalmozódási szintben rakódik le. Alapközete hazai viszonyok között legtöbbször lösz vagy löszszerű vályog.

Az agyagbemosódásos barna erdőtalaj altípusba sorolható, típusos agyagbemosódásos barna erdőtalaj (a kilúgozódás közepes, az agyagvándorlás is előrehaladottabb, ennek megfelelően a talaj kémhatása savanyúbb). A másik típusa az agyagbemosódásos albikus, barna erdőtalaj az előzőtől homokos szöveti összetételével különbözik, ennek megfelelően víztartó képessége gyengébb. A podzolosodott barna erdőtalajra a humuszosodás, elsavanyodás, agyagosodás folyamata mellett az agyagszétesés is jellemző. A talajtípus vízgazdálkodása közepes.

- *Kambikus talajok* osztályába tartozik a barnaföld, és a savanyú, erdőtalaj. A barnaföldre jellemző a barnás szín, szerkezete szemcsés, kémhatása gyengén savanyú, ritkábban semleges. Humusz tartalma 2-4% között változik, kedvező a tápanyag

ellátottsága és szolgáltató képessége. A savanyú erdőtalaj pH-ja 3,5-5 között változik, ezért mikrobiológiai tevékenysége gyenge, tápanyag-tartalma kicsi.

- *Hidromorf talajok* osztályában azokat a talajokat soroljuk ide, amelyek keletkezésében az időszakos túlnedvesedés játszott szerepet. Ebbe az osztályba tartozik a fekete réti talaj, a szürkeréti talaj és a pangó vizes talaj.

A fekete réti talaj textúrája finom, agyagos vályog, kémhatása a gyengén savanyútól a lúgosig (6-8,5) terjedő széles határok között mozoghat. Humusztartalma 4-12% között változik.

A szürke réti talaj vízgazdálkodása rossz, humusztartalma 2-3%, tápanyag szolgáltató épsége kedvezőtlen, kémhatása leggyakrabban enyhén savanyú.

A pangó vizes talaj pH-ja 5,8-6,2, humusztartalma 2% körüli, tápanyag-szolgáltató képessége korlátozott a hosszantartó víztelítettség miatt, ami kedvezőtlen mikrobiológiai közeget teremt.

- *Nyerstalajok* osztályába azok a talajok sorolhatóak, amelyek fejletlen, kezdetleges talajképződmények. Ide sorolhatóak a földes kopár-, a homoktalaj-pszamoszol-, a nyers öntéstalaj-protoszol-, a humuszos öntés- és a lepusztult talaj (erodisol) típusok.

A földes kopár (regosol) talaj tulajdonsága nagyon változó, az szerint, hogy milyen a felszínre került talajképző kőzet. Ez lehet magas szénsavas mésztartalmú (kémhatása lúgos), vagy lehet karbonátmentes (kémhatása savas vagy semleges).

A homoktalaj (psamosol) víztartó képessége, termőképessége gyenge.

A nyers öntéstalaj vízgazdálkodása kedvező, tápanyag-gazdálkodása közepes, a szervesanyag-tartalma gyenge, pH-ja nagyon változatos.

A humuszos öntéstalaj (aluvisol) humusztartalma 1-3% között változik, vízgazdálkodása közepes, kémhatása semleges vagy gyengén bázikus, ritkán gyengén savanyú.

A lepusztult talaj (erodisol) az erózió által annyira lepusztult, vagy mesterségesen olyan mélyen megcsonkított talajmaradvány, hogy nem ismerhetőek fel az eredeti talajra jellemző tulajdonságok, ezért tulajdonságai szélsőséges határok között változnak (Lájer, 1996; Bernát és mtsai., 1998; Jakab, 2004; Szakács, 2008).

4.3. A búza típusa, jellemzői

Kutatómunkám során a kenyérbúza (*Triticum aestivum* L.) szeléntartalmának és szelénformáinak meghatározását végeztem el, mivel ez a legelterjedtebb búzafajta, amelyet természetnek úgy a Dobrogea és a Bărăgan vidékén, mint a Csíki-medencében. Ez a búzafajta az egyszikűek (*Liliopsida*) osztályának a perjevirágúak (*Poales*) rendjébe, ezen belül a perjefélék (*Poaceae*) családjába tartozó faj, mely a búzafajok és fajták változatos éghajlati igénye és jó alkalmazkodóképessége miatt széles körben elterjedt.

A Föld egyik legnagyobb területen előforduló gabonája, a sivatagok és a sarkvidékek kivételével szinte mindenütt termesztik. A népelelmezésben elfoglalt szerepével kiemelkedik a többiek közül. Kenyérgabona szerepén túl sokrétű felhasználás jellemzi, hiszen gazdag abraktakarmány, szalmája értékes alomanyag, és különböző részei ipari alapanyagként is felhasználhatóak.

4.4. A mintavétel, a minták tárolása az analízisek megkezdéséig

Egy helyszínen a talaj, a búzafű és a búzamag esetében 10 minta átlagmintájából (10-szer 12-15 búzafű, a körülöttük lévő talaj, majd 12-15 búzakalász) végeztem el az analíziseket. A mintavétel során a GPS-el pontosan behatárolt hely 5-6 m-es sugarú kör területéről vettem a 10 mintát, és azt átlagoltam.

A búza begyűjtése mind a két helyszínen a búza teljes érésének elején (Dobrogea-Bărăgan vidékén június 25 - július 10, Csíki-medencében az időjárási viszonyoknak megfelelően július 20 - augusztus 1 között) történt.

A búzafű mintákat a talajjal együtt kiemeltem. Miután a talajból kézzel a növényt kihúztam, a talajt műanyag tasakba helyeztem. A gyökérről a talajt folyóvízben lemostam, majd a zöld búzanövényt és a talajt azonnal laboratóriumba szállítottam, és ott -25 °C-on tartottam a kémiai analízisre történő előkészítésig.

A kalászból gumikesztyűs kézzel a búzamagot kipergettem, majd a pelyva és a toklász részek eltávolítása után a magokat műanyag tasakokban, hűtőszekrényben +5 °C-on tároltam az analízisek megkezdéséig. A búzamagok kalászból történő kipergetése után a pelyva és a toklász részek eltávolítása után nem láttam olyan mértékű porszenyezést, hogy szükségét láttam volna a megmosásnak.

4.5. A minták analízisének alkalmazott analitikai módszerek

4.5.1. A minták szárazanyag-tartalmának meghatározása

A szárazanyag-tartalom vizsgálatot a búzanövények és a búzák esetében végeztem el. A szárazanyag-tartalom meghatározása során mind a hajtás mind a szem esetében 10 g mintát mértem be egy bemérő edénybe, majd szárítószekrényben, 60 °C-on, tömegállandóságig szárítottam. Ezt követően a mintákat nyitott edényekben egy éjszakán át állni hagytam, majd lemértem a tömegüket. A légszáraz mintákat kalapácsos darálón lisztfinomságúra őröltem, majd a kapott őrleményt szárítószekrényben, a vonatkozó Román Szabvány (STAS 9682-2-74) szerint, 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam, majd kiszámoltam a szárazanyag-tartalmát.

A megfelelő módon megszáritott és lisztfinomságúra darált búzahajtás mintákat 200 µm lyukbőségű szitán bocsájtottam át, majd a szitán fennmaradó részt addig daráltam, amíg 100%-a nem esett át a 200 µm-es szitán. Az így előkészített mintákból végeztem el az analíziseket.

4.5.2. Talajminták pH-jának meghatározása

A búzanövények és búzamagok szelénfelvételének vizsgálatához szükségem volt a talajminták pH-jának mérésére is. A minták pH-ját vizes szuszpenzióban vizsgáltam. 1 g talajmintához 25 ml ioncserélt vizet adtam, majd erős összerázást követően a mintákat egy éjszakán át állni hagytam. Ezt követően ismét erős összerázás után a szuszpenzió pH-ját Consort C6010 típusú pH-mérő készülékkel mértem (ISO 10390-2005).

4.5.3. A talaj szervesanyag-tartalmának mennyiségi meghatározása

A talaj szervesanyag-tartalmának meghatározását kálium-bikromátos oxidációval (Tyurin-módszer) végeztem el. A talajból néhány g-ot 0,25 mm lyukátmérőjű szitán átszitáltam, hogy megtisztítsam a gyökérmaradványoktól. A megfelelően előkészített talajminta szervesanyag-tartalmát meghatározott körülmények között 0,2 M-os kénsavas kálium-bikromát oldattal oxidáltam. Az oxidáció után a feleslegben alkalmazott kálium-bikromát maradékát vas(II)-diammónium-szulfát oldattal, $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ redoxindikátor jelenlétében visszatitráltam.

A módszer bizonytalansága (forralás egyenetlensége, esetleges gyökérmaradványok stb.) miatt egy talajmintából mindig 3 párhuzamos mérést végeztem. A mérést három párhuzamos, ún. vak mintán is elvégeztem. Ennek során hasonló mérési körülmények között, de talaj nélkül végeztem el a vizsgálatot, így meghatároztam a teljes (10 ml) káliumbikromátra vonatkozó Mohr-só-oldat fogyását.

$$\text{A talaj szervesanyag-tartalma: SZ. A. \%} = \frac{(V_v - V_t) \cdot f}{m} \cdot 0,103$$

ahol:

V_v - a vakpróbára fogyott Mohr-só-oldat térfogata ml-ben,

V_t - a talajra fogyott Mohr-só-oldat térfogata ml-ben,

f - a Mohr-só-oldat hatóértéke,

m - a bemért talaj tömeg g-ban.

4.5.4. Szeléntartalom meghatározása fluorometriás módszerrel

A szeléntartalom rendkívül érzékeny a roncsolási körülményekre, ezért nedves roncsolással végeztem a feltárást. A roncsolást elvégeztem mind salétromsavval, mind pedig királyvízzel, de a salétromsavas roncsolás esetén is megfelelő eredményeket kaptam mind három mintám (talaj, búzanövény, búzamag) esetében, így ezt a roncsolási módszert alkalmaztam a továbbiakban.

Roncsolás királyvízzel

A megfelelő módon előkészített mintából 1 mg-os pontossággal 3 grammot mértem be egy 250 ml-es csiszolatos gömblombikba, majd hozzáadtam 0,5-1,0 ml desztillált vizet. Az átnedvesedés után, állandó kevergetés közben 21 cm³ 12 mólos sósav oldatot, majd cseppenként 7 cm³ 15,8 mól/dm³ koncentrációjú salétromsav oldatot adtam hozzá ügyelve arra, hogy a felhabzást elkerüljem. A gömblombikhoz egy folyadékhűtőt csatlakoztattam, amelyhez csiszolatos kapcsolattal egy abszorpciós berendezést illesztettem, amelyben 15 cm³ 0,5 mól/dm³ koncentrációjú salétromsav oldat volt. A rendszer összekapcsolása után a mintát, a sósavat és a salétromsavat szobahőmérsékleten, 16 órán keresztül nyugalomban hagytam azért, hogy a szervesanyag lassan oxidálódjon el. A 16 óra várakozási idő után (általában másnap reggel) lassan addig melegítettem, amíg a berendezésben az oldószer gőzök refluxálni nem kezdtek, majd a reflux megindulását követően a rendszert 2 órán át

ezen a hőmérsékleten tartottam. Az abszorpciós edényke tartalmát a lombik tartalmához öntöttem, és mind az abszorpciós edénykét, mind a folyadékhűtőt 10 cm^3 $0,5\text{ mol/dm}^3$ salétromsav oldattal átöblítettem. Ezt követően hagytam, hogy a reakció edényben az oldhatatlan részek leülepedjenek, majd a relatíve üledékmentes felülúszót szűrőpapírral egy 100 cm^3 -es mérőlombikba szűrtem. Hagytam, hogy az összes oldat szűrődjön le, majd az oldhatatlan üledéket pár cm^3 $0,5\text{ mol/dm}^3$ -es salétromsav oldattal átöblítettem. Az így kapott oldat alkalmas a szeléntartalom meghatározására.

Salétromsavas roncsolás

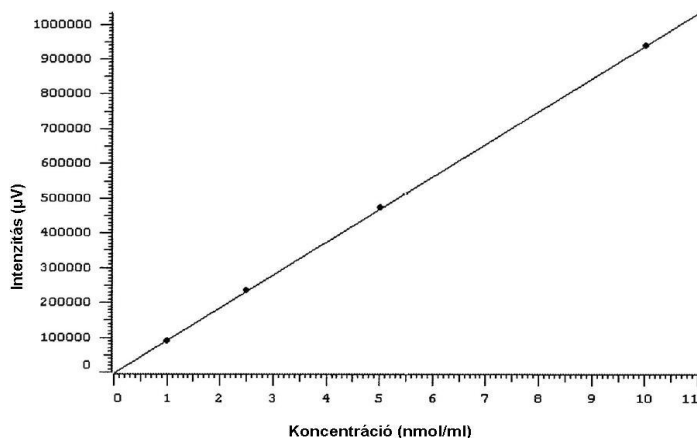
Egy 250 cm^3 -es csiszolatos gömblombikba 1 mg pontossággal bemértem $2\text{-}5\text{ g}$ mintát. Hozzáadtam 20 cm^3 tömény salétromsavat, és 2 napon át állni hagytam. Ezután hozzáadtam 2 cm^3 tömény perklórsavat, a lombikra csiszolatos spirálhűtőt tettem, és homokfürdőn 180°C -on 16 órán át hevítettem. Ezután a hűtőt levéve 1 cm^3 tömény kénsavat adtam az elegyhez, és 3 óra alatt óvatosan melegítve, kb. $1\text{-}2\text{ cm}^3$ -es térfogatra bepároltam. Ezután az oldatot lehűtöttem, 1 cm^3 tömény sósavat adtam hozzá, és vízfürdőn 10 percig melegítettem. A roncsolmányt végül desztillált vízzel egy 100 cm^3 -es főzőpohárba átmostam, és desztillált vízzel kb. 50 cm^3 térfogatra kiegészítettem.

4.5.5. A piazselenol-komplex kialakítása és a mérés

Az elroncsolt oldathoz 5 cm^3 maszkírozó oldatot (Na-oxalát, Na-fluorid, etilén-diamin-tetraecetsav és hidroxilammónium-klorid) adtam, majd a pH-t ammónium-hidroxid-oldat segítségével $2,0$ értékre állítottam be (az elroncsolt mintáim pH-ja $1\text{-}2$ között mozgott). Hozzáadtam 5 cm^3 2,3-diamino-naftalin reagensoldatot (DAN-oldatot), és 2 órán át sötétben állni hagytam. A komplex kialakulása után az oldatot desztillált vízzel rázótláncsérbe átmostam, és $2\times 5\text{ cm}^3$ ciklohexánnal $2\text{-}2$ percig extraháltam, végül a szerves fázisokat egyesítettem. A szerves fázisból a piazselenol-komplexet a vak oldattal szemben fluorometriásan mértem. A fluorometriás mérés során a gerjesztési hullámhossz 380 nm , a mérési hullámhossz 519 nm volt.

Kalibrációs görbe

0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 cm³ szelén standardoldatot (6. ábra) pipettáztam be 100 cm³-es mérőlombikba, és desztillált vízzel 50 cm³-re feltöltöttem. (A továbbiakban a mintához hasonlóan jártam el.). A 10 cm³ össztérfogatú szerves fázisban a szelén koncentrációja rendre 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; és 1,0 µg/cm³.



6. ábra: A 2,3-diamino-naftalin származék képzés során kapott kalibrációs egyenes

Az eredmény számítása

Kalibrációs görbét készítettem, melynek során a mért emisszióértéket ábrázoltam a hozzájuk tartozó szeléntartalom függvényében. A 0,2-1,0 µg/cm³ tartományban a görbe lineáris, melyek segítségével a minta szeléntartalma a következő képlettel számolható:

$$C = \frac{\text{bemért anyag mennyisége}}{\text{extraháló oldat mennyisége}} \cdot C_M$$

ahol: C_M a mért koncentráció, µg/cm³

C a minta szeléntartalma, µg/g

4.5.6. A szelenoaminosavak folyadékkromatográfiás elválasztása

A szeleno-metionin meghatározását nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával végeztem. A szerves szeléntartalmat a szeleno-metionin mennyiségéből, annak molekulatömege és a szelén atomtömege alapján számítottam.

Szelenoaminosavak meghatározása HPLC-vel

A SeMet-t Varian Pro Star nagyhatékonyságú folyadékkromatográffal, oszlop előtti o-ftálaldehid–2-merkaptó-etanolal végzett származékképzéssel határoztam meg (Mándoki és mtsai., 2008).

A mintáink esetében fehérje-hidrolízist alkalmaztam, ezért az analízist megelőzően vizsgáltam, hogy különböző hidrolizálóágensek hogyan befolyásolják a szeleno-aminosavakat.

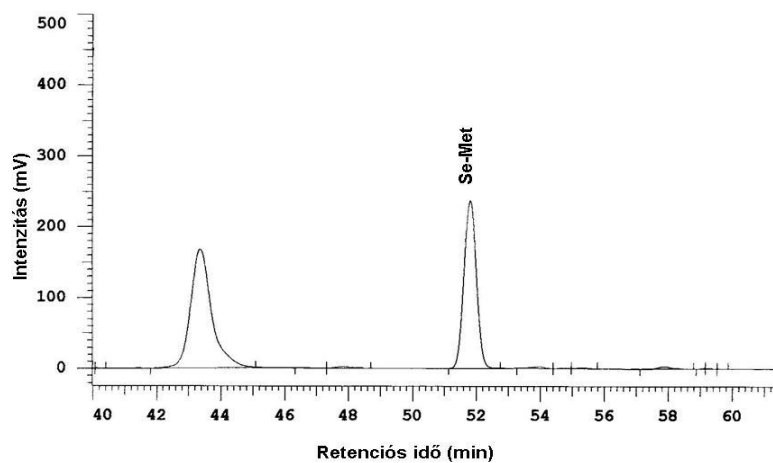
- Hidrolízis sósavval: A fehérjék esetében általánosan használt hidrolízis-módszer (6 M HCl, 110 °C, 24 óra) mindkét szeleno-aminosav teljes bomlásához vezetett.
- Hidrolízis 2-merkaptó-etán-szulfonsavval (3 M vizes oldat, 110 °C, 24 óra): A módszer a hidrolizáló sav csúcsának megjelenését eredményezte a kromatogram elején, a SeCys₂ teljes átalakulását okozta, ugyanakkor a SeMet gyakorlatilag nem bomlott el.
- Hidrolízis p-toluol-szulfonsavval (3 M vizes oldat, 110 °C, 24 óra): Gyakorlatilag mind a SeMet, mind a SeCys₂ érintetlen maradt, csupán az utóbbi szenvedett kisebb mértékű bomlást.

Elválasztás OPA/2-merkaptó-etanol származékképző alkalmazásával

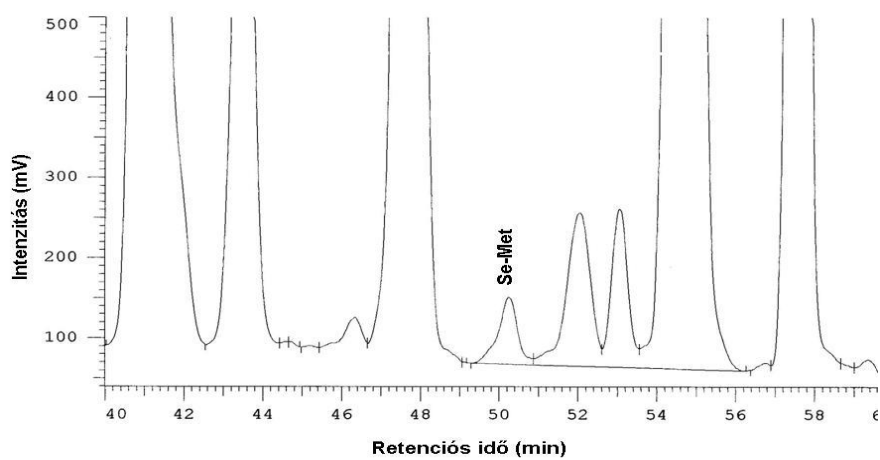
A SeMet és SeCys₂ standardek kromatográfiás futtatása OPA/2-merkaptó-etanol reagenssel való származékképzést követően történt. A mérést egy 125x4 mm-es Purospher RP-18e (C18) oszlopon végeztem, kétkomponensű eluenskeveréket használva (metanol/nátrium-acetát puffer). A SeMet a 39. perc körül jelent meg a kromatogramon, a Phe előtt eluálva, a SeCys₂ viszont nem képzett fluoreszcens detektorral mérhető származékot a reagenssel.

Elválasztás OPA/2-merkaptó-etán-szulfonsav származékképző alkalmazásával

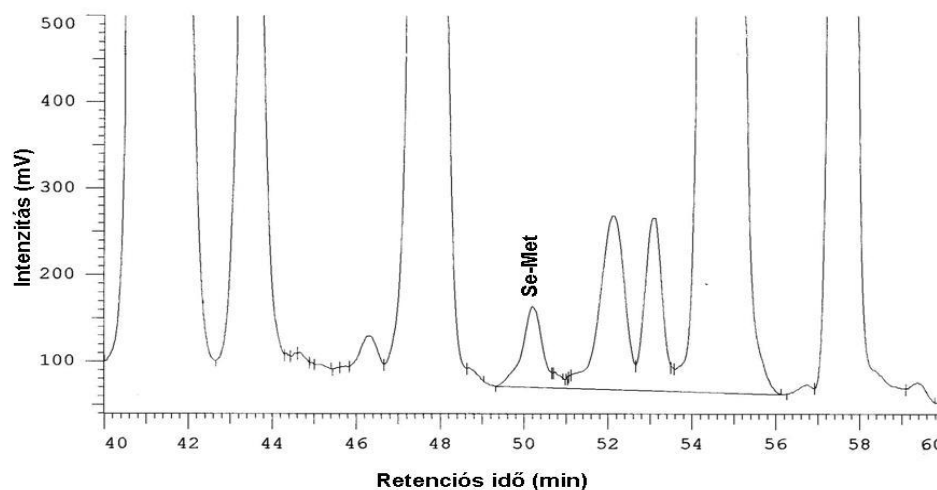
A SeMet standard futtatása OPA/2-merkaptó-etán-szulfonsav reagenssel való származékképzést követően is megtörtént. A mérést 125x4 mm-es Purospher RP-18e (C18) oszlopon végeztem, kétkomponensű eluenskeveréket használva (metanol/nátrium-acetát puffer). A SeMet jól elvált, és a Trp előtt eluálva, az 51. perc körül jelent meg a kromatogrammon (7., 8. és 9. ábra).



7. ábra: Standard Se-Met oldat (2,5 nmol/ml) kromatogramja



8. ábra: Az OPA/2-merkaptó-etán-szulfonsav származékképző alkalmazásával, az 5. számú búzaminta (Dobrogea-Bărgan) SeMet-tartalmának meghatározása során kapott kromatogram



9. ábra: Az OPA/2-merkaptó-etán-szulfonsav származékképző alkalmazásával, a 10. számú búzaminta (Csíki-medence) SeMet-tartalmának meghatározása során kapott kromatogram.

4.6. Az adatok statisztikai értékelése

Az adatokból Microsoft Office Excel, 2003 és SPSS for Windows 17.0 statisztikai programcsomagok (szórás, átlag, korrelációs számítás) segítségével végeztem el a statisztikai analíziseket annak eldöntésére, hogy a talaj- (pH-ja és szervesanyag-tartalma), a búzanövény-, a búza szeléntartalma között milyen összefüggések vannak.

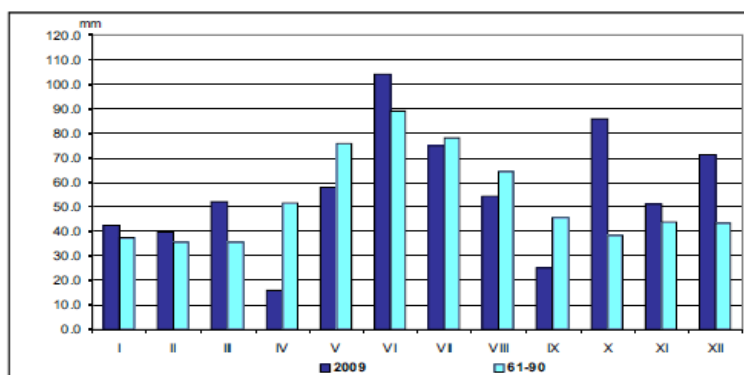
5. EREDMÉNYEK

5.1. A földrajzi elhelyezkedés, éghajlat és a szeléntartalom

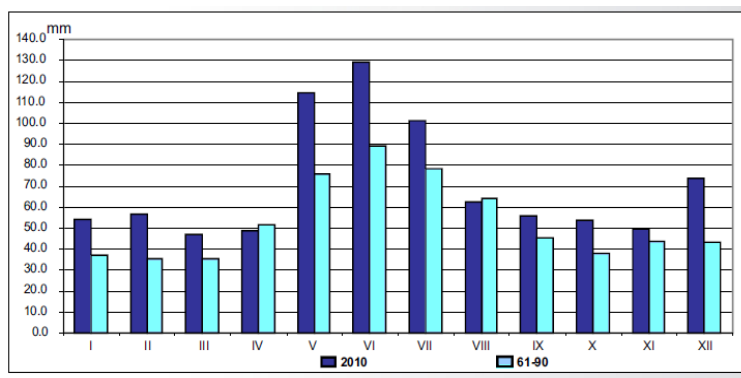
Mivel a búza és a búzanövény szeléntartalmát az éghajlati tényezők is jelentős mértékben befolyásolják, ezért figyelemmel voltam a mintagyűjtés idején a hőmérséklet és a csapadék mennyiségére is. Az ehhez szükséges adatokat a Romániai Meteorológiai Szolgálattól (Administratia Nationala de Meteorologie) kaptam.

A 2008-as évben a hőmérséklet és a csapadék mennyiség a többévi átlagnak (1961-1990) megfelelően alakul, nem volt kimagaslóan sok csapadék, és a hőmérsékleti értékek is a normál intervallumban voltak.

A 2009-es évben a hőmérséklet is minden hónapban megegyezett a többévi átlaggal (10. ábra), de a csapadék mennyiség nagyon változatosan alakult.

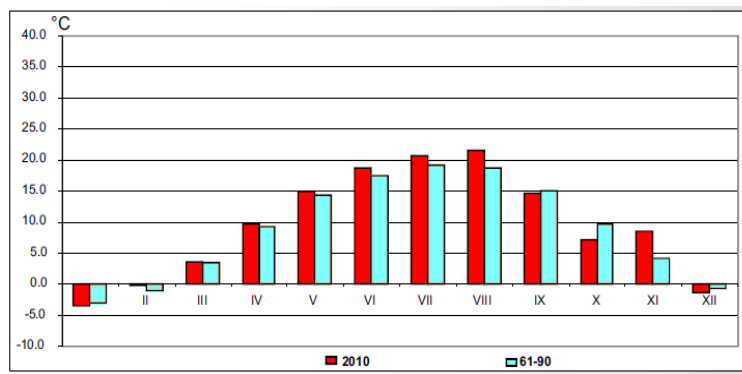


10. ábra: 2009-es évi csapadékmennyiség összehasonlítva a normál klimatológiai átlaggal (1961-1990)



11. ábra: 2010-es évi csapadékmennyiség összehasonlítva a normál klimatológiai átlaggal (1961-1990)

A 2010-es évben a hőmérséklet minden hónapban meghaladta a többévi átlagot (12. ábra), de a csapadék mennyiség nagyon változatosan alakult (11. ábra), viszont a csapadék mennyiség 25-30%-a savas eső volt. Hónapra lebontva 2010-ben a tavaszi és a nyári hónapokban nagyon sok nap volt a kimagaslóan magas, 40 °C körüli hőmérséklet (Dobrogea-Bărăgan vidékén 40 °C fölötti), és nagyobb mennyiségű csapadék (100 l/m²) hullott, melynek 25-30%-a savas eső volt.



12. ábra: 2010-es évi átlaghőmérséklet összehasonlítva a 1961-1990 hőmérsékleti átlaggal

Figyelve az éghajlati változásokat arra a következtetésre jutottam, hogy a 2008-as és a 2009-es éghajlati körülmények azonosak voltak, de a földrajzi elhelyezkedésnek tudhatóan a 2008-ban a Dobrogea-Bărăgan-vidéken a hőmérséklet átlagosan 10 °C-al magasabb volt, mint a Csíki-medencében 2009-ben mért érték. A 2009-es és a 2010-es éveket összehasonlítva a Csíki-medencében, a hőmérséklet is és a csapadék mennyiség is magasabb értéket mutatott a 2010-es évben.

5.2. A talajminták vizsgálata

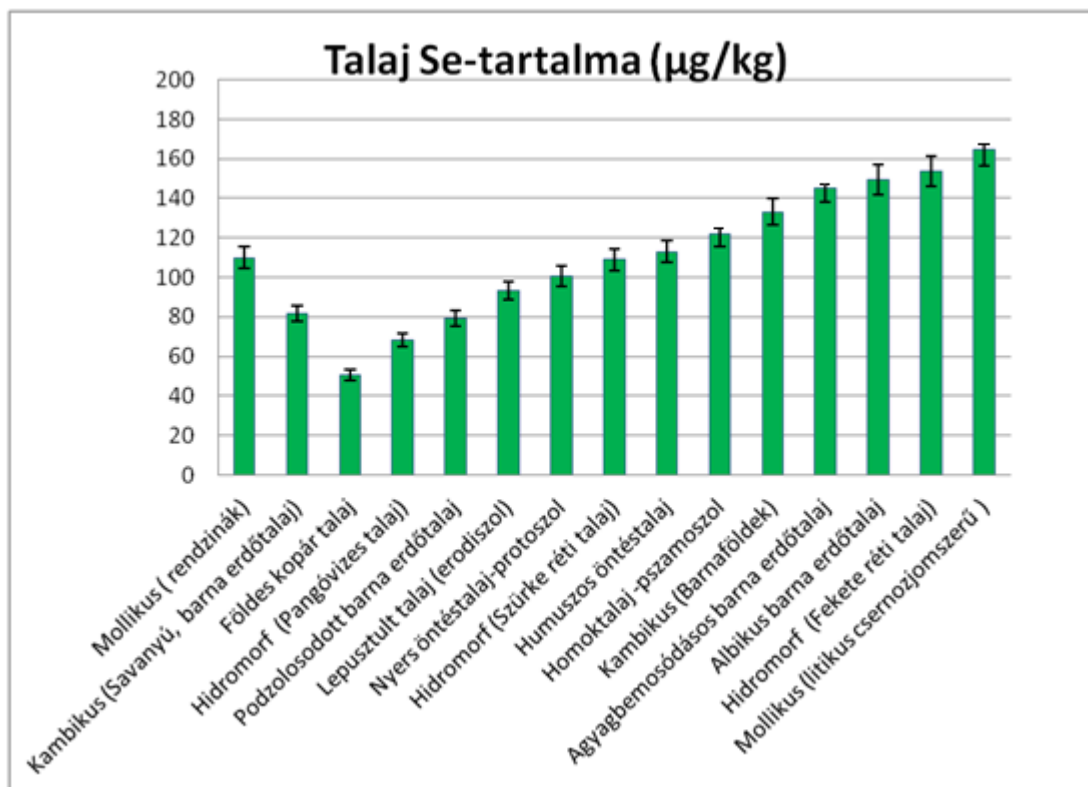
5.2.1. A talajminták szeléntartalmának értékelése

A kutatásom kezdetekor, amely Románia dél-keleti részén elhelyezkedő Dobrogea és Bărăgan vidékén történt, meghatároztam 16 talajtípust és az ott termesztett búza és búzanövény szeléntartalmát.

A talaj összesszelén-tartalmának meghatározása a Bukaresti Egyetemen történt, egy közös pályázatnak köszönhetően (TOPAS-MANAGEMENTUL DEFICITULUI DE SELENIU DIN ROMANIA - PNCDI. Programul 4 – Parteneriate in domeniile prioritare. Directia de

cercetare: BIOTEHNOLOGII. Numarul alocat la inregistrarea on-line: 1447 Contract de finantare nr. 61-022).

A talajmintákat a begyűjtés sorrendjében ábrázoltam, és a továbbiakban is mindig ezt a sorrendet használom az összes minta esetében (7. táblázat, 13. ábra).



13. ábra: A talajminta szeléntartalma a begyűjtés sorrendjében, különböző talajtípusok esetében (Dobrogea-Bărăgan vidékén)

A mérések során a talajminták összszelén-tartalma 172 µg/kg és 52,0 µg/kg között változott (7. táblázat). A szeléntartalom átlagosan 119 µg/kg körül alakult.

7. táblázat: A talaj szeléntartalmának alakulása Dobrogea-Bărăgan vidékén

	<i>Talaj Se-tartalma (µg/kg)-2008</i>
Max.	172±1,2
Min.	52,0±0,67
Átlag	119±0,65
Szórás	35,5±0,06
Medián	111±0,84

A Dobrogea-Bărăgan vidékén vett talajminták esetében a legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajmintánknál (52,0 µg/kg), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típusos csernozjomszerű) mintánál mértem (170 és 172 µg/kg közötti érték). Alacsony értéket még a hidromorf-pangóvízes talaj (65,9-67,1 µg/kg) és a podzolosodott barna erdőtalaj (78,1-80,0 µg/kg) esetében észleltem. Magasabb értéket az agyagbemosódásos barna erdőtalaj (142-148 µg/kg), a kambikus (savanyú, barna) talaj (149 -150 µg/kg) és a hidromorf réti talaj (151-158 µg/kg) esetében mértem. A többi talajtípus esetében közepes értéket kaptam a talaj összesszelén-tartalmára, mely 81,2-135 µg/kg között változott. Az összes talaj szeléntartalmát vizsgálva a szórás értéke 35,5 µg/kg, a medián 111 µg/kg volt. Megvizsgáltuk a különböző talajtípusok közötti

A talajtípusok szeléntartalmának változása az irodalomban található adatoknak (Mayland és mtsai., 1989) megfelelően alakult, ugyanis szelén a vulkáni kőzetes talajokban (földes kopár-, hidromorf-pangóvízes-, podzolosodott barna erdőtalaj) kisebb mennyiségben fordult elő, mint az üledékes, különösen mint az agyagos talajokban (agyagbemosódásos-, barna erdő-, a kambikus-, hidromorf réti-, mollikus-típusos csernozjomszerű talajok).

Az irodalomban a talajokat szeléntartalmuk alapján négy csoportba osztották: hiányos (75 µg/kg-nál kisebb szeléntartalom), elfogadható (75–175 µg/kg), magas (175–1000 µg/kg) és kifejezetten mérgező (1000 µg/kg-nál nagyobb) tartomány (Oldfield, 1999, Tan, 1989, Kabata-Pendias és Pendias, 1992, Fordyce, 2013). Összességében elmondható, hogy ezen a vidéken található talajok szeléntartalma az irodalomban található adatoknak megfelelően hiányos (75 µg/kg-nál kisebb szeléntartalom), és elfogadható (75–175 µg/kg) szeléntartalommal rendelkeznek. Összehasonlítva ezen a vidéken mért, és más romániai tájegységeken kapott adatokat, hasonló értékeket kaptam a talaj szeléntartalmára vonatkozóan (Lăcătuşu és mtsai. , 2010, 2012 és 2013; Lungu, 2013).

5.2.2. A talajminták pH-jának értékelése

A talajminták pH-ja 4,2-7,8 (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008), 4,6-7,9 (Csíki-medence-2009) és 5,4-8,3 (Csíki-medence-2010) között változtak (8. táblázat).

Dobrogea-Bărăgan vidékéről a legalacsonyabb pH-értéket a földes kopár (4,2) és hidromorf-pangóvízes (4,5) talaj esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus

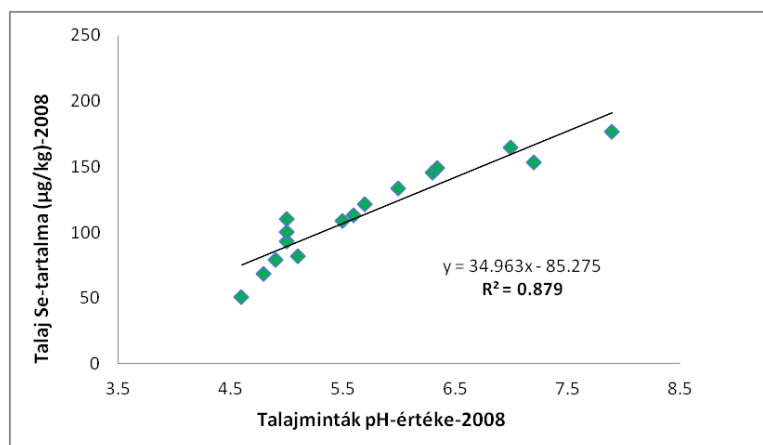
(típusos csernozjomszerű) (7,8), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (7,2) talajminta esetében volt. A többi talajtípusnál a pH-érték szórása 1,8 volt.

8. táblázat: A talajminták pH-értéke (Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban, Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben)

<i>A talaj pH-értéke</i>	<i>2008-ban</i> (Dobrogea-Bărăgan)	<i>2009-ben</i> (Csíki-medence)	<i>2010-ben</i> (Csíki-medence)
Max.	7,8±0,02	7,9±0,03	8,3±0,02
Min.	4,2±0,05	4,6±0,04	5,4±0,04
Átlag	5,9±0,01	5,7±0,03	6,2±0,03
Szórás	1,8±0,02	1,8±0,01	1,5±0,01
Medián	5,6±0,03	5,9±0,02	6,3±0,02

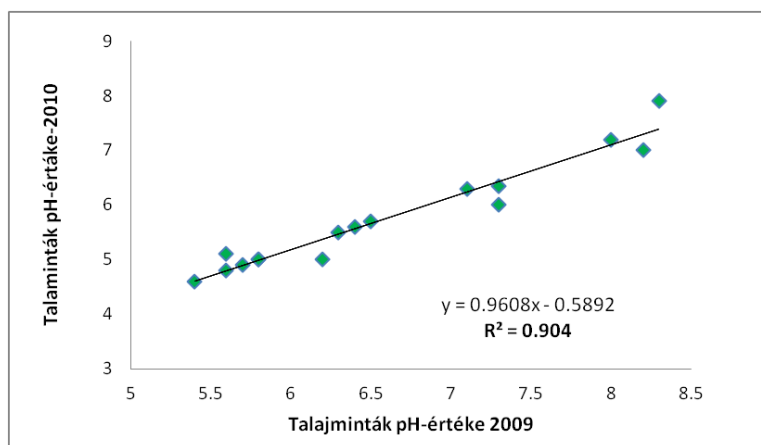
A Csíki-medencében úgy 2009-ben, mind 2010-ben a legkisebb pH-értéket a földes kopár (4,6 és 5,4) és hidromorf-pangóvízes (4,6 és 5,7) talaj esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) és a mollikus (litikus csernozjomszerű) (7,2-8,3 és 7,1-8,2) talajminta esetében volt. A többi talajtípusnál a pH-érték szórása 2009-ben 1,8, 2010 pedig 1,5 volt.

A Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajok esetében megvizsgáltam a talaj összesszelén-tartalma és talaj pH értéke közötti összefüggést, amely az 14. ábrán látható. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,879, ami szoros összefüggésre utal a talaj összesszelén-tartalma és a talaj pH-értéke között.



14. ábra: Lineáris regresszió a Dobrogea-Bărăgan vidékén begyűjtött talaj összesszelén-tartalma és pH-értéke között

Megvizsgáltam a három mintavételi évből származó talajok pH értéke közötti összefüggést. Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajmintákat összehasonlítva a Csíki-medence talajmintáival, szoros összefüggéseket kaptam (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2009 esetében $R^2=0,834$; Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2010 esetében $R^2=0,841$). Ugyanakkor nagyon szoros összefüggést kaptam a Csíki-medencében azonos helyről 2009-ben és 2010-ben begyűjtött talajminták pH-ja között, amely az 15. ábrán látható. A vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,904, ami szoros összefüggésre utal.



15. ábra: Lineáris regresszió a Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben begyűjtött talajminták pH-értéke között

A talajok pH-ját vizsgálva mind a három mintavételi évben szignifikáns különbséget ($p<0,01$) észleltem a talajtípusok között, de azonos talajtípusok pH-ja nem változott szignifikánsan 2008-, 2009- és 2010-ben vett talajminták esetében.

Azt tapasztaltam, hogy az alacsony szeléntartalommal rendelkező talajok pH-ja alacsonyabb, míg szelénben gazdagabb talajok esetében magasabb pH értéket mértem. Az irodalomban található adatokkal összehasonlítva elmondható, hogy a talaj szeléntartalmát nagy mértékben befolyásolja a talaj pH-ja (Skinner, 1999; Ip és Ganther, 1992; Kápolna és mtsai., 2006; Cannon, 1964; Dhillon és Dhillon, 1999; Barrow és Whelan, 1989; Széles és mtsai., 2007; Gissel-Nielsen és mtsai., 1984; Mikkelsen és mtsai., 1989; Patócs, 1990; Zhao és mtsai., 2007).

5.2.3. A talajminták szervesanyag-tartalmának értékelése

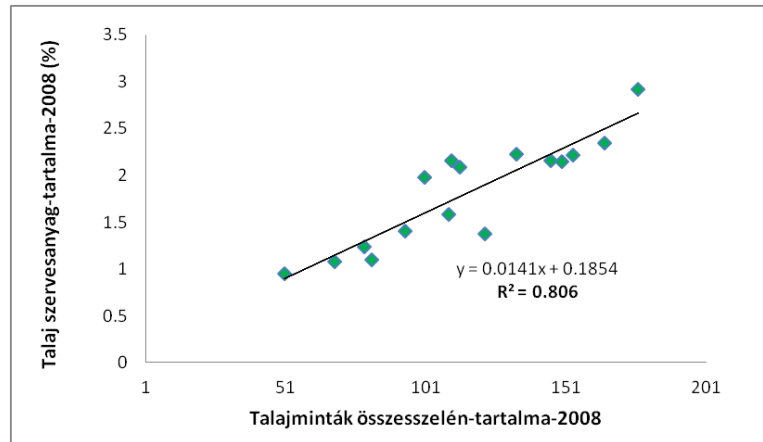
A talajminták szervesanyag-tartalmának meghatározását azért végeztem el, hogy összefüggéseket keresek a talaj szervesanyag-tartalma és a talajon termesztett búzafű és búzamag szeleno-metionon-tartalma között.

Dobrogea-Bărăgan vidékén vett talajminták szervesanyag-tartalma 0,70 és 2,67% között változott, a Csíki-medence talajainak szervesanyag-tartalmára 1,63%–2,78% (2009) és 0,95%–2,92% (2010) közötti értékeket mértem (9. táblázat). A legalacsonyabb szervesanyag-tartalmat mind a három mintavételi évben a földes kopár és hidromorf-pangóvízes talaj esetében mértem, míg a legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű), a mollikus (litikus csernozjomszerű) talajminta esetében volt.

9. táblázat: A talajminták szervesanyag-tartalma (Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban, Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben)

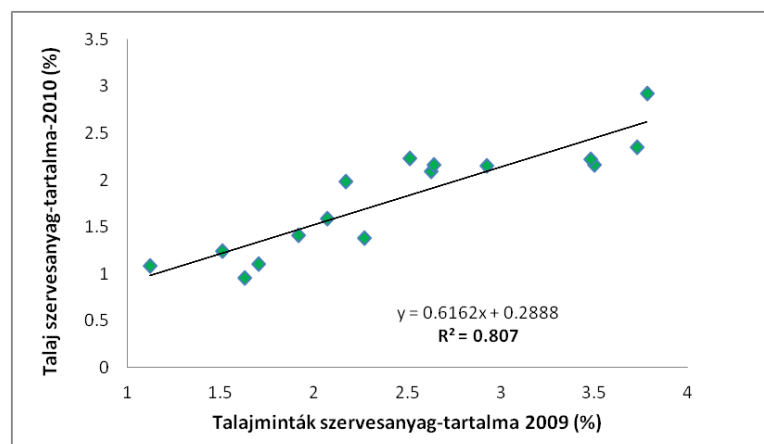
<i>A talajminták szervesanyag-tartalma (%)</i>	<i>2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)</i>	<i>2009-ben (Csíki-medence)</i>	<i>2010-ben (Csíki-medence)</i>
Max.	2,67±0,65	2,78±0,42	2,92±0,52
Min,	0,70±0,52	1,63±0,35	0,95±0,78
Átlag	2,00±0,48	2,13±0,40	2,25±0,61
Szórás	0,90±0,09	0,92±0,16	0,90±0,56
Medián	2,01±0,49	2,12±0,42	2,26±0,36

Megvizsgáltam a talaj összesszelén-tartalma és ugyanazon talajok szervesanyag-tartalma közötti összefüggést, Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajok esetében, amely a 16. ábrán látható. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,806, ami szoros összefüggésre utal a talaj összesszelén-tartalma és a talaj szervesanyag-tartalma között.



16. ábra: Lineáris regresszió a Dobrogea-Bărăgan vidékén begyűjtött talaj összesszelén-tartalma és szervesanyag-tartalma között

Megvizsgáltam a három mintavételi évből származó talajok szervesanyag-tartalma közötti összefüggést. Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajmintákat összehasonlítva a Csíki-medence talajmintáival, közepes összefüggéseket kaptam (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2009 esetében $R^2=0,811$; Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2010 esetében $R^2=0,821$). A pH-értékekhez hasonlóan a szervesanyag-tartalom esetében is szoros összefüggést kaptam a Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben azonos helyről begyűjtött talajminták szervesanyag-tartalma között, amely a 17. ábrán látható. A 96 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,807, ami szoros összefüggésre utal.



17. ábra: Lineáris regresszió a Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben begyűjtött talajminták szervesanyag-tartalma között

A talajminták szervesanyag-tartalmát vizsgálva Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008-ban) és a Csíki-medencében (2009-ben és 2010-ben) talajtípusok szervesanyag-tartalma között szignifikáns különbség ($p=0,0001$) volt, de azonos talajtípusok szervesanyag-tartalma nem változott szignifikánsan ($p<0,01$) 2008-, 2009- és 2010-ben vett talajminták esetében.

5.3. A búzafű minták vizsgálata

5.3.1. A búzafű minták szárazanyag-tartalma

A búzafű minták szárazanyag-tartalma (10. táblázat) Dobrogea-Bărăgan vidékén 15,6% és 22,6% között, míg a Csíki-medencében 2009-ben 15,9% és 22,4%, 2010-ben pedig 16,2% és 23,1% között változott.

10. táblázat: A búzafű szárazanyag-tartalmának alakulása (Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban, Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben)

<i>Búzafű szárazanyag-tartalom (%)</i>	<i>2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)</i>	<i>2009-ben (Csíki-medence)</i>	<i>2010-ben (Csíki-medence)</i>
Max.	22,6±0,08	22,4±0,06	23,1±0,04
Min.	15,6±0,07	15,9±0,05	16,2±0,01
Átlag	19,2±0,09	19,8±0,09	19,3±0,03
Szórás	1,8±0,06	1,2±0,07	1,5±0,01
Medián	19,1±0,8	20,2±0,04	21,3±0,01

A szárazanyag-tartalomra azért volt szükségem, mert továbbiakban a minták szelén és SeMet-tartalmát 100% szárazanyagra vonatkoztatva számoltam ki és adom meg.

A szárazanyag tartalmat vizsgálva nem volt szignifikáns különbség ($P>0,05$), sem különböző talajtípusokon, sem a különböző évben termesztett búzafű minták szárazanyag-tartalma között.

5.3.2. A búzafű minták szeléntartalma

A Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban vett búzafű minták összesszelén-tartalma 36,4 µg/kg között és 122 µg/kg változott. A szeléntartalom átlagosan 84,2 µg/kg körül alakult (11. táblázat).

11. táblázat: A búzafű szeléntartalmának alakulása Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban

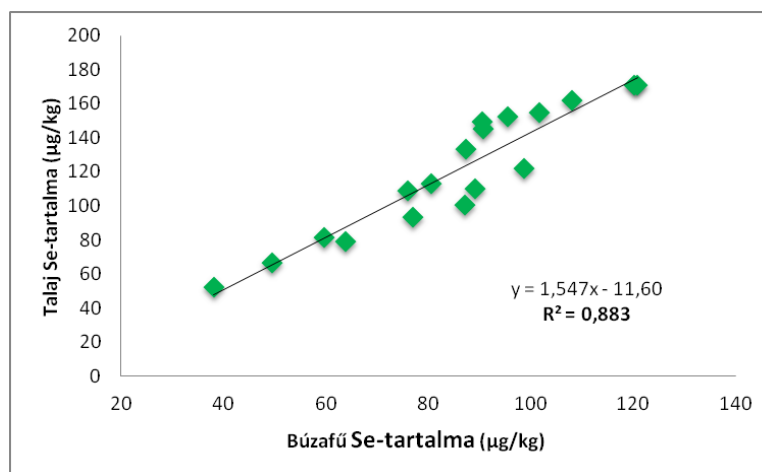
	<i>Búzafű Se-tartalma (µg/kg)</i>
Max.	122±1,32
Min.	36,4±1,04
Átlag	84,2±1,87
Szórás	21,4±0,09
Medián	89,6±1,19

A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzafű minta esetében (36,4 és 39,9 µg/kg közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó búzafű minta esetében (119 és 122 µg/kg közötti érték) mértem. Alacsony értéket még a hidromorf-pangóvízes (48,9-50,2 µg/kg), a lepusztult erodiszol (76,9-79,5 µg/kg) és a podzolosodott barna erdőtalajról származó búzafű minták (63,5-64,1 µg/kg) esetében észleltem. Magasabb érték a mollikus (redzinák) (88,5-89,6 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (107-109 µg/kg) és a hidromorf réti talajokról származó búzafű (94,7-96,1 µg/kg) minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében közepes szeléntartalmat kaptam. A szórás értéke 21,40 µg/kg volt.

Az irodalmi adatoknak megfelelően a búzanövény nem a szelénakkumuláló növények csoportjához tartozik, így a talaj szeléntartalma arányos a búzanövény szeléntartalmával. Megállapítható, hogy a búzafű minta összesszelén-tartalma, a talaj alacsony szeléntartalmának megfelelően, hiányos (125 µg/kg-nál kisebb) és elfogadható (125–175 µg/kg) értékek között mozgott (*Oldfield*, 1999, *Tan*, 1989, *Kabata-Pendias és Pendias*, 1992, *Fordyce*, 2013). Az eredményeim hasonlóan alakultak az irodalomban található adatokhoz (*Fordyce és mtsai.*, 2000; *Johnson és mtsai.*, 2000; *Wang és Gao*, 2001, *MacPherson és mtsai.*, 1997, *Fleming*, 1980; *Jacobs*, 1989; *Mayland*, 1994; *Neal*, 1995).

Azt tapasztaltam, hogy a hiányos szeléntartalmú búzafű minta az alacsonyabb szeléntartalommal rendelkező talajokról származott (földes kopár 52,0 µg/kg, hidromorf-pangóvízes 66,8 µg/kg, a lepusztult erodiszol 78,5 µg/kg és a podzolosodott barna erdőtalaj 79,9 µg/kg), míg az elfogadható szeléntartalommal rendelkező búzafű minták a magasabb szeléntartalommal rendelkező talajokról (mollikus-típikus csernozjomszerű 171 µg/kg, mollikus-litikus csernozjomszerű 169 µg/kg, hidromorf fekete réti 156 µg/kg talaj) származnak.

Megvizsgáltam a talaj összesszelén-tartalma és ugyanarról a talajról származó búzafű minták szeléntartalma közötti összefüggést, amely az 18. ábrán látható. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,883, ami szoros összefüggésre utal a talaj szeléntartalma és ugyanarról a talajról származó búzafű összesszelén-tartalma között.



18. ábra: Lineáris regresszió a Dobrogea-Bărăgan vidékén begyűjtött talaj és ugyanarról a talajokról begyűjtött búzafű összes Se-tartalma között

12. táblázat: A búzafű szeléntartalmának alakulása 2009-ben (Csíki-medence)

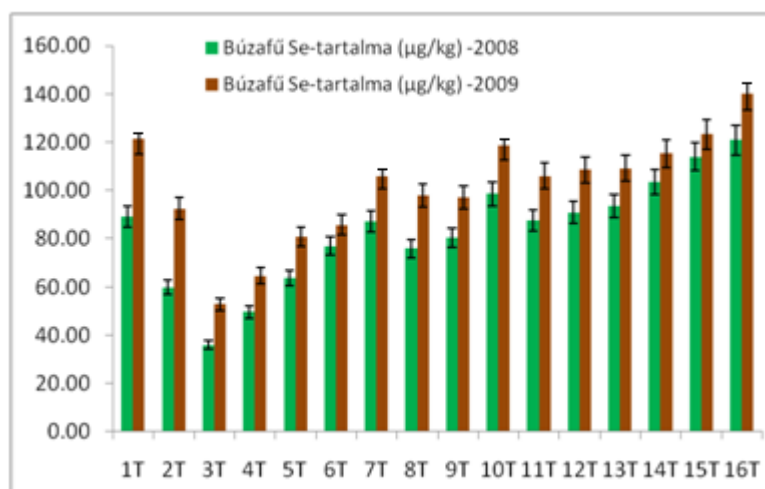
	<i>Búzafű Se-tartalma (µg/kg)</i>
Max.	150±0,98
Min.	70,6±0,75
Átlag	117±0,87
Szórás	20,4±0,54
Medián	112,4±0,04

A Csíki-medencében 2009-ban vett búzafű minták összesszelén-tartalma 70,6 µg/kg és 150 µg/kg között változott. A szeléntartalom átlagosan 117 µg/kg körül alakult (12. táblázat).

A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzafű minta esetében (70,6 és 77,9 µg/kg közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó búzafű minta esetében (148 és 150 µg/kg közötti érték) mértem. Alacsony értéket még a hidromorf-pangóvízes (75,6-86,9 µg/kg) és a podzolosodott barna erdőtalajról (98,2-106 µg/kg) származó búzafű minták esetében

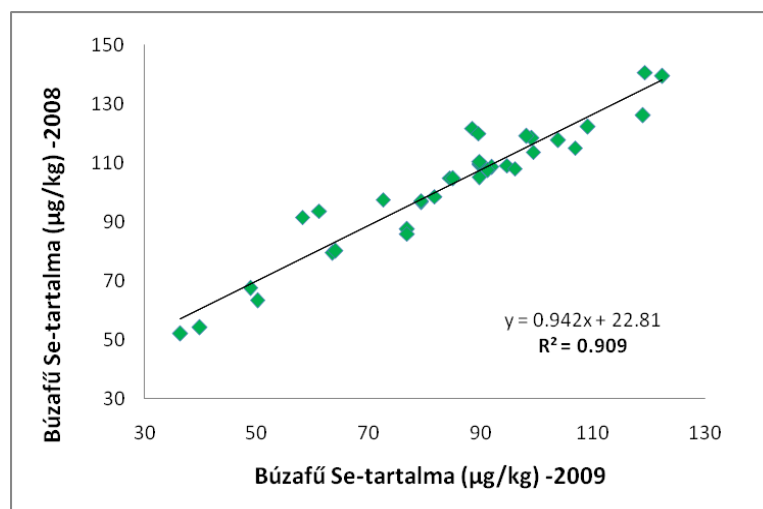
észleltem. Magasabb érték a mollikus (redzinák) (129-132 $\mu\text{g/kg}$), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (135-141 $\mu\text{g/kg}$) és a homokos (pszamoszol) talajokról származó búzafű (137-143 $\mu\text{g/kg}$) minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében közepes szeléntartalmat kaptam. A szórás 20,4 $\mu\text{g/kg}$ értéket mutatott.

Összességében elmondható, hogy a búzafű minta szeléntartalma alacsony, de magasabb a Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban ugyanarról a talajtípusról begyűjtött búzafű mintákhoz képest. Az alacsonyabb és a magasabb szeléntartalommal rendelkező fűminták mindkét esetben ugyanarról a talajtípusról származtak.



19. ábra: A Dobrogea-Bărăgan-vidékén (2008) és a Csíki-medencében (2009) ugyanarról a talajtípusról begyűjtött búzafű minták összehasonlítása

Összehasonlítottam a Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban és a Csíki-medencében 2009-ban azonos talajtípusról begyűjtött búzafű minták Se-tartalmát, amely az 19. ábrán látható. Megállapítottam, hogy mindkét esetben a legmagasabb és a legalacsonyabb Se-tartalmat ugyanarról a talajtípusról gyűjtöttem be.



20. ábra: Lineáris regresszió a 2008-ban (Dobrogea-Bărăgan) és 2009-ben (Csíki-medence) ugyanarról a talajtípusról begyűjtött búzafe összes Se-tartalma között

Vizsgáltam az összefüggést Dobrogea-Bărăgan-vidéken (2008) és a Csíki-medencében (2009) ugyanarról a talajtípusról begyűjtött búzafe minták szeléntartalma esetében. A 83 darab minta között a vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értékére 0,909-et kaptam, ami szoros összefüggésre utal (20. ábra).

A két tájegységen ugyanolyan talajtípusról begyűjtött mintáim között a szeléntartalom átlagosan 20-25%-kal tér el egymástól, amelyet az éghajlati különbségnek tulajdonítok, ugyanis a Dobrogea-Bărăgan vidékén a hőmérséklet megközelítőleg ilyen arányban magasabb a Csíki-medence hőmérsékletéhez képest, így a mobilis szelén a magasabb hőmérsékleten kevésbé kötődik meg a búzafe mintákban.

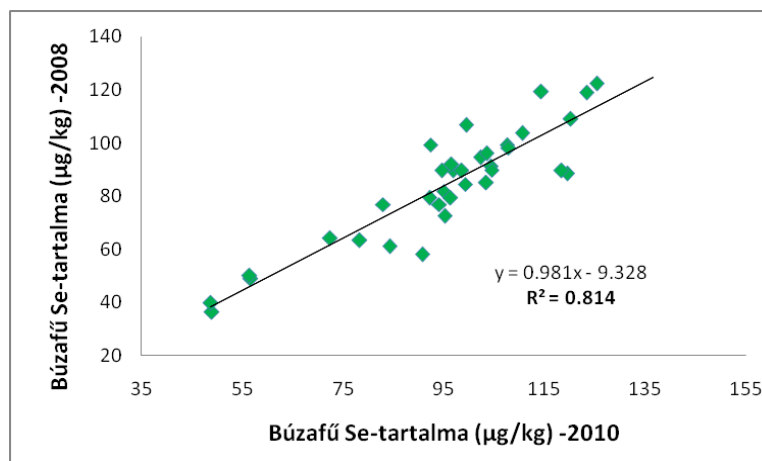
2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzafe minták összesszelén-tartalma 48,7 µg/kg és 137 µg/kg között változott. A szeléntartalom átlagosan 97,6 µg/kg körül alakult (13. táblázat).

13. táblázat: A búzafe szeléntartalmának alakulása a Csíki-medencében 2010-ben

	<i>Búzafe Se-tartalma (µg/kg)</i>
Max.	137±0,98
Min.	48,7±0,65
Átlag	97,6±0,47
Szórás	20,9±0,65
Medián	123,5±0,87

A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzafű minta esetében (48,7 és 50,1 µg/kg közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó búzafű minta esetében (134 és 137 µg/kg közötti érték) mértem. Alacsony értéket még a hidromorf (pangóvízes) talajról (52,3 és 56,7 µg/kg közötti érték), és a podzolosodott barna erdőtalajról (72,5-78,3 µg/kg) származó búzafű minták esetében észleltem. Magasabb érték a mollikus (redzinák) (120-124 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (120-123 µg/kg), a homokos (pszamoszol) talajokról származó búzafű (117-118 µg/kg) minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében közepes szeléntartalmat kaptam. A szórás értéke 22,9 µg/kg értéket mutatott.

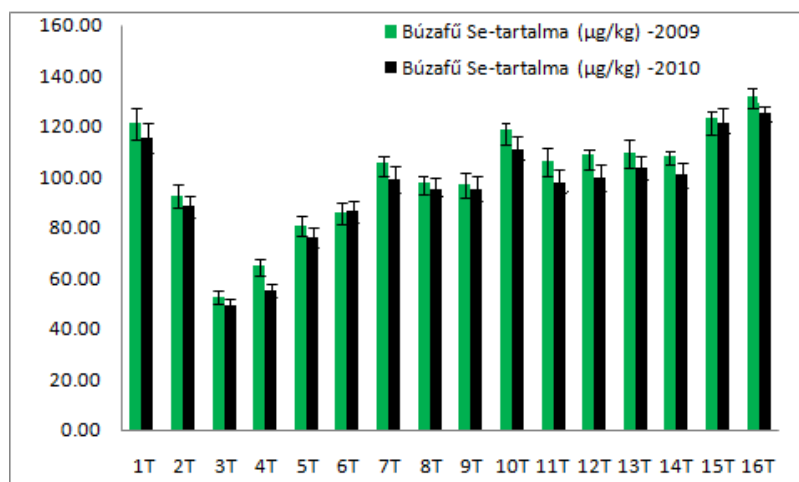
Megállapítható, hogy a búzafű minta szeléntartalma 2010-ben alacsonyabb a 2009-ben begyűjtött mintákhoz viszonyítva, de magasabb a Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban begyűjtött búzafű mintákhoz képest. Az alacsonyabb és a magasabb szeléntartalommal rendelkező fűminták azonos talajtípusokról származtak.



21. ábra: Lineáris regresszió a 2008-ban Dobrogea-Bărăgan-vidékéről és 2010-ben a Csíki-medencéből azonos talajról begyűjtött búzafű összes Se-tartalma között

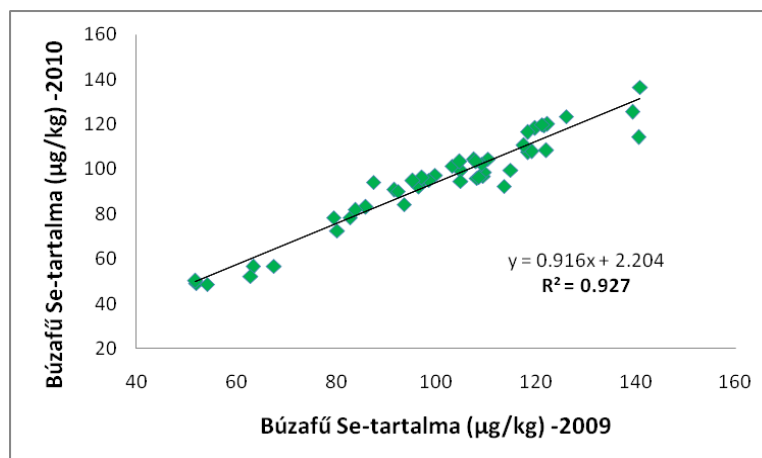
Megvizsgáltam a két helyszínen (Dobrogea-Bărăgan-2008, Csíki-medence-2010) ugyanolyan talajtípusról begyűjtött búzafű minták szeléntartalma közötti összefüggést, amely az 21. ábrán látható. A 83 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,814, ami szoros összefüggésre utal.

Összehasonlítottam a 2009-ben és 2010-ben (Csíki-medencéből) ugyanarról a talajról (GPS-el) begyűjtött búzafű minták közötti összefüggést, amely az 22. ábrán látható.



22. ábra: 2009-ben és 2010-ben ugyanarról a talajtípusról begyűjtött búzafű minták összehasonlítása (Csíki-medence)

Az ábrán látható, hogy úgy a 2009-ben vett minta, mint a 2010-ben vett minta esetében a szeléntartalom azonosan változik, a második évben vett búzafű minták Se-tartalma 5-10%-kal alacsonyabb. Mivel pontosan arról a helyről, tehát arról a talajtípusról származtak a mintáim, ezt a változást az időjárási körülményeknek (hőmérséklet, csapadék mennyisége és minősége) tulajdonítom, ugyanis 2010-ben úgy a hőmérséklet, mint a csapadékmennyiség magasabb volt a 2009-es évhez viszonyítva (10., 11., 12. ábrák), így a mobilis szelén kisebb mennyiségben tudott megkötődni a búzafű mintákban.



23. ábra: Lineáris regresszió a 2009-ben és a 2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzafű összes Se-tartalma között

Vizsgáltam a 2009-ben és 2010-ben gyűjtött 96 darab búzafű minta szeléntartalma közötti összefüggést is (23. ábra). A vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,927, ami erős összefüggésre utal, ami várható volt, hisz azonos helyről származtak a minták.

Megvizsgáltam mind a két helyszínen (Dobrogea-Bărăgan-2008, Csíki-medence-2009 és 2010) ugyanolyan talajtípusról begyűjtött búzafű minták szeléntartalma és a talaj, amelyről származtak a búzanövények, pH értéke közötti összefüggést, és nagyon szoros összefüggéseket kaptam (Dobrogea-Bărăgan-(2008)-0,923, Csíki-medence-(2009)-0,934 és (2010)-0,914). Ez magyarázatot ad a mintáinkban található szeléntartalomra, hiszen az irodalomban is nagyon sokan utalnak a talaj pH-ja és a rajta termett növények szeléntartalma közötti összefüggésekre (*Ip és Ganther*, 1992; *Kápolna és mtsai.*, 2006; *Smith és Westfall*, 1937; *Scott és Voegeli*, 1961; *Lindberg*, 1968; *Skinner*, 1999 *Dhillon és Dhillon*, 1999 *Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984; *Mikkelsen és mtsai.*, 1989).

Elemeztem a talaj szervesanyag-tartalma és a búzafüvek összesszelén-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintasor esetében), amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 2008-ban 0,889; 2009-ben 0,885 és 2010-ben 0,871 volt, ami szoros összefüggésre utal a talaj szervesanyag-tartalma és a búzafüvek összesszelén-tartalma között.

Megvizsgáltam a talaj pH-ja és a búzafüvek összesszelén-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintasor esetében), amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 2008-ban 0,845; 2009-ben 0,864 és 2010-ben 0,821 volt, ami szoros összefüggésre utal a talaj pH-ja és a búzafüvek összesszelén-tartalma között.

A búzafű minták összesszelén-tartalmát vizsgálva Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008-ban) és a Csíki-medencében (2009-ben és 2010-ben) azonos talajtípusokon az összesszelén-tartalma nem változott szignifikánsan ($p < 0,01$) 2008-, 2009- és 2010-ben vett búzafű minták esetében.

A búzafű minták Se-tartalmának vizsgálatával kapcsolatban elmondható, hogy mind a három évben a legalacsonyabb értéket a földes kopár (38,2 $\mu\text{g/kg}$ -2008, 52,7 $\mu\text{g/kg}$ -2009, 49,3 $\mu\text{g/kg}$ -2010) típusú talajról származó búzafű minta esetében, míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus vagy litikus csernozjomszerű) talajról (121 $\mu\text{g/kg}$ -2008, 140

µg/kg-2009, 126 µg/kg-2010) származó búzafű minta esetében mértem. Mivel a földes kopár talajtípus egy lazább talaj, mint a mollikus talaj, így azt gondolom, hogy az időjárási körülmények mellett ez is fontos feltétele lehet a szelén megkötődésének a búzanövényekben.

A Dobrogea-Bărăgan-vidéken a talaj és a búzanövény szeléntartalma az irodalomban megtalálható adatoknak (25 µg/kg és 140 µg/kg) megfelelően alakult (*Fordyce és mtsai.*, 2000; *Williams és Mayland*, 1992; *Johnson és mtsai.*, 2000; *Wang és Gao*, 2001; *MacPherson és mtsai.*, 1997; *Fleming*, 1980; *Jacobs*, 1989; *Mayland*, 1994; *Neal*, 1995), ezért a Csíki medencében feltételezem (a Csíki-medencében nem mértem a talaj szeléntartalmát), hogy az a talaj, amelyről az alacsony szeléntartalommal rendelkező búzafű mintákat begyűjtöttem, hiányos szeléntartalommal rendelkezik. Azok a talajok, amelyről a magas szeléntartalommal rendelkező mintáim származtak, az elfogatható szeléntartalmú tartományba sorolhatóak (*Oldfield*, 1999; *Tan*, 1989; *Kabata-Pendias és Pendias*, 1992; *Fordyce*, 2013).

5.3.3. A búzafű minták szeleno-metionin-tartalma

Az irodalmi adatok szerint a SeMet domináns formája a növényi eredetű élelmiszereknek (*Kryukov és mtsai.*, 2003; *Stadlober, M.*, 2001; *Beilstein és Whanger*, 1986; *Yasumoto és mtsai.*, 1988). A búza szeléntartalmának 56–83%-a SeMet, míg a többi szeléntartalmú vegyületek kisebb mennyiségben fordulnak elő (szelenát 12–19%, SeCys 4–12%, Se-metil-szeleno-cisztein 1–4%, a maradék 4–26%; *Whanger*, 2002), ezért tartottam fontosnak meghatározni a búzafű, majd a búza SeMet-tartalmát. A szeleno-metionin ($M_{\text{SeMet}} = 227,18$ g/mol) szelén tartalma a molekulatömeg 34,76%-a.

14. táblázat: A búzafű minták SeMet-tartalmának alakulása

<i>Búzafű SeMet-tartalma (µg/kg)</i>	<i>2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)</i>	<i>2009-ben (Csíki-medence)</i>	<i>2010-ben (Csíki-medence)</i>
Max.	166±0,75	189±1,00	173±0,68
Min.	61,6±0,12	110±0,45	97,7±1,02
Átlag	121±0,49	156±0,76	142±0,78
Szórás	36,7±0,25	20,4±0,12	21,0±0,45
Medián	101,6±0,09	133,8±0,16	119,4±0,09

A megvizsgált búzafű minták szeleno-metionin-tartalma 61,6-166 µg/kg (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008), 110-189 µg/kg (Csíki-medence-2009) és 97,7-173 µg/kg (Csíki-medence-2010) között változott (14. táblázat).

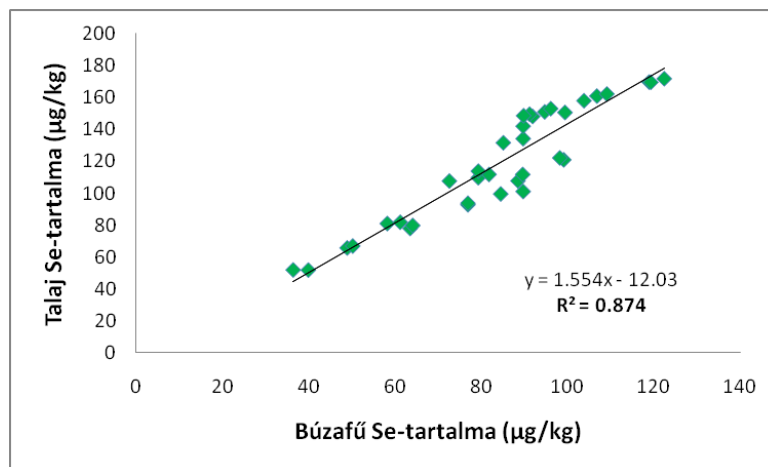
A SeMet-tartalomból kiszámoltam a szervesszelén-tartalmat. Mind a három mintavételi évben 48%-tól 66%-ig változtak. Ez az irodalmi adatokhoz képest megközelítőleg 10–12%-kal kisebb értéket mutat.

A legalacsonyabb SeMet-tartalmat a Dobrogea-Bărăgan vidékéről begyűjtött földes kopár típusú (61,6 és 66,6 µg/kg közötti érték) és a hidromorf-pangóvízes (64,6-67,2 µg/kg) talajról származó búzafű minta esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (164-166 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (151-156 µg/kg) és a mollikus (redzinák) (134-136 µg/kg) talajokról származó búzafű minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében közepes SeMet-tartalmat kaptam. A szórás értéke 36,7 µg/kg értéket mutatott.

A Csíki-medencében 2009-ben begyűjtött minták esetében a SeMet-tartalom a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű minta SeMet-tartalmához hasonlítva átlagosan 20-25%-kal nagyobb. A legalacsonyabb SeMet-tartalmat a földes kopár típusú (110 és 117 µg/kg közötti érték) és a hidromorf-pangóvízes (115-125 µg/kg) talajról származó búzafű minta esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (187-189 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (174-180 µg/kg) és a hidromorf fekete réti (171-175 µg/kg) talajokról származó búzafű minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében közepes SeMet-tartalmat kaptam. A szórás értéke 20,4 µg/kg volt.

2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzafű minták esetében a SeMet-tartalomra 9-10%-kal alacsonyabb értéket kaptam, mint 2009-ben. A legalacsonyabb SeMet-tartalmat a földes kopár típusú (98,3-101 µg/kg közötti érték) és a hidromorf-pangóvízes (103-105 µg/kg) talajról származó búzafű minta esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (169-173 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (167-170 µg/kg) és a mollikus (redzinák) (160-167 µg/kg) talajokról származó búzafű minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzafű minta esetében a SeMet-tartalom 125-166 µg/kg között változott, a szórás értéke 21,0 µg/kg volt.

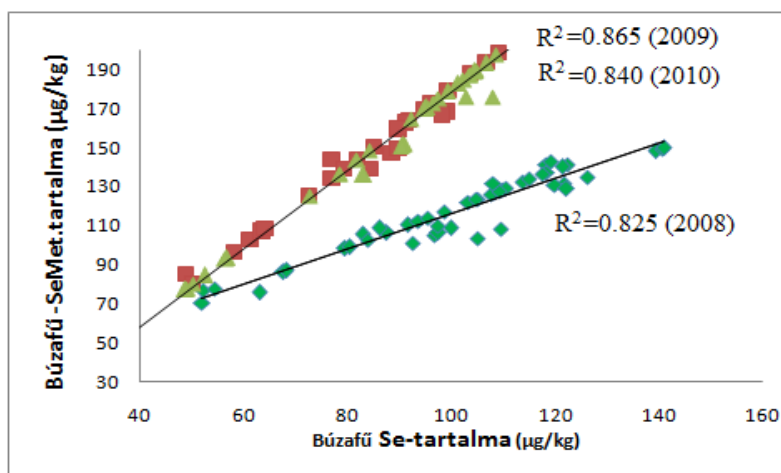
Elemeztem a talaj összesszelén-tartalma és ugyanarról a talajról származó búzafű SeMet-tartalma közötti összefüggést (Dobrogea-Bărăgan vidék–2008), amely az 24. ábrán látható. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke (0,874) erős összefüggésre utal a talaj Se és a búzafű SeMet-tartalma között.



24. ábra: Lineáris regresszió a talaj Se és ugyanarról a talajról begyűjtött búzafű SeMet-tartalma között (Dobrogea-Bărăgan vidék, 2008)

Elemeztem a talaj szervesanyag-tartalma és a búzafüvek SeMet-tartalmából számolt szervesszelén-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintasor esetében), amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 2008-ban 0,862; 2009-ben 0,874 és 2010-ben 0,856 volt, ami szoros összefüggésre utal a talaj szervesanyag-tartalma és a búzafüvek SeMet-tartalmából számolt szervesszelén-tartalma között. Ugyanakkor nem észleltem szignifikáns különbséget ($p < 0,01$) a három évben vett ugyanolyan talajon termesztett búzafű SeMet-tartalma esetén.

Elemeztem a búzafüvek Se-tartalma és a SeMet-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintasor esetében), amelynek eredményeként (25. ábra) a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értékei 0,825 (2008-ben); 0,865 (2009-ben); 0,840 (2010-ben) voltak, ezek szoros összefüggésre utalnak a búzafű összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma között.



25. ábra: Lineáris regresszió a búzafű összes Se-tartalma és a SeMet-tartalma között
(◆, -2008 ▲ -2009, ■ -2010)

A rendkívül szoros összefüggések várhatóak voltak, hisz a szeleno-metioninban jelen levő szelén az összesszelén-tartalomnak része, így a két érték között az összefüggések szorosak kellett hogy legyenek.

5.4. A búzamag minták vizsgálata

5.4.1. A búzamag minták szárazanyag-tartalma

A búzaminták szárazanyag-tartalma 89,4% és 91,20% között változott (15. táblázat). A szárazanyag tartalomra azért volt szükségem, mert a mintáink összesszelén és SeMet-tartalmát 100% szárazanyagra vonatkoztatva számoltam ki és adom meg.

15. táblázat: A búzamagok szárazanyag-tartalmának alakulása

Búza szárazanyag-tartalma (%)	2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)	2009-ben (Csíki-medence)	2010-ben (Csíki-medence)
Max.	91,2±0,02	90,9±0,09	91,2±0,17
Min.	89,9±0,04	89,4±0,06	89,8±0,32
Átlag	90,5±0,08	90,2±0,11	90,4±0,19
Szórás	0,4±0,12	0,4±0,03	0,4±0,11
Medián	90,2±0,10	90,1±0,09	91±0,02

5.4.2. A búzamazag minták összesszelén-tartalma

A búzamazagmintákat szeléntartalma 29,9 µg/kg és 134 µg/kg között változott (16. táblázat). A Dobrogea-Bărăgan vidékéről (2008) származó búza összesszelén-tartalma 29,9 µg/kg és 111 µg/kg között változott.

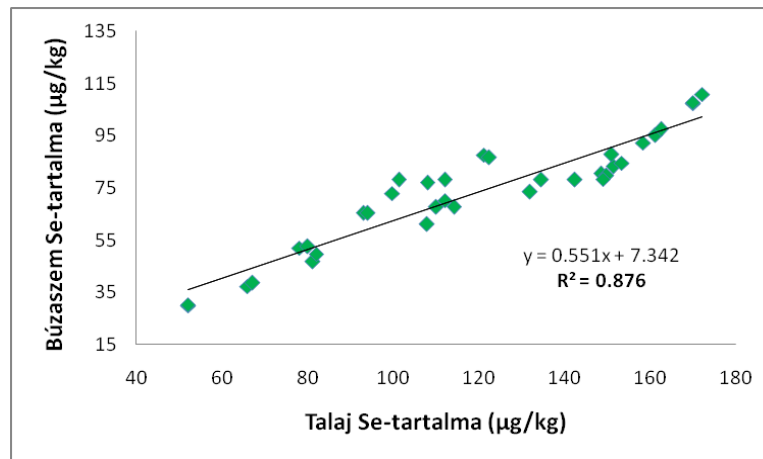
16. táblázat: A búzamazagok Se-tartalmának alakulása

<i>Búza Se-tartalma (µg/kg)</i>	<i>2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)</i>	<i>2009-ben (Csíki-medence)</i>	<i>2010-ben (Csíki-medence)</i>
Max.	111±0,03	134±0,09	122±0,11
Min.	29,9±0,11	54,5±0,09	34,1±0,09
Átlag	72,8±0,08	101±0,08	82,9±0,06
Szórás	20,9±0,02	20,4±0,03	22,9±0,08
Medián	88,9±0,06	100,6±0,01	96,7±0,07

A szeléntartalom átlagosan 72,8 µg/kg körül alakult. A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzamazag minta esetében (29,9 és 30,4 µg/kg közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó minta esetében (108 és 111 µg/kg közötti érték) mértem.

Alacsony értéket még a hidromorf-pangóvízes (37,4-38,7 µg/kg), a kambikus (savanyú) barna erdőtalaj (46,7-49,7 µg/kg) és a podzolosodott barna erdőtalajról származó búza minták (52,6-52,6 µg/kg) esetében észleltem. Magasabb értéket a mollikus (litikus csernozjomszerű) (95,3-97,6 µg/kg), a mollikus (redzinák) (74,5-79,6 µg/kg) és a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajokról származó búzamazag (94,7-96,1 µg/kg) minták esetében kaptam. A többi talajtípusról begyűjtött búzamazag minta közepes szeléntartalmat mutatott. A szórás értéke 20,9 µg/kg volt.

Elemeztem a Dobrogea-Bărăgan-vidéki talaj és ugyanarról a talajról begyűjtött búzamazag Se-tartalma közötti összefüggést, amelynek eredményeként (26. ábra) a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,876, ami szoros összefüggésre utal.



26. ábra: Lineáris regresszió a búzamaz összes Se-tartalma és a talaj összes Se-tartalma között

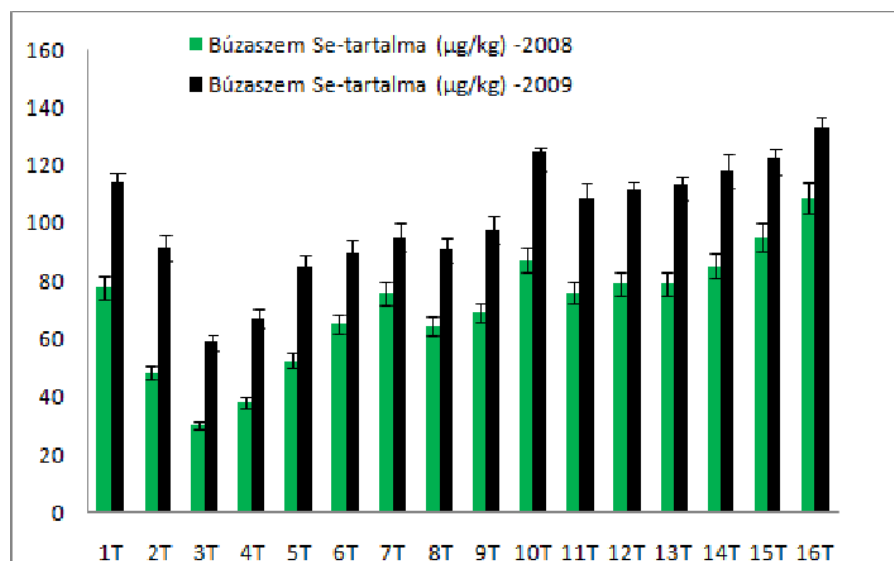
Elmondható, hogy ezen a vidéken található talajokon termesztett búzamaz szeléntartalma az irodalomban található értékekhez hasonlítva alacsony, (120 µg/kg-nál kisebb), és elfogadható (120–155 µg/kg) Se-tartalmú tartományba sorolhatóak (*Oldfield*, 1999; *Tan*, 1989; *Kabata-Pendias és Pendias*, 1992; *Gawalko és mtsai.*, 2001; *MacPherson és mtsai.*, 1997; *Broadley és mtsai.*, 2010).

A Csíki-medencében (2009) begyűjtött búzamaz minták összesszelén-tartalma 54,5 µg/kg és 134 µg/kg között változott. A szeléntartalom átlagosan 101 µg/kg körül alakult.

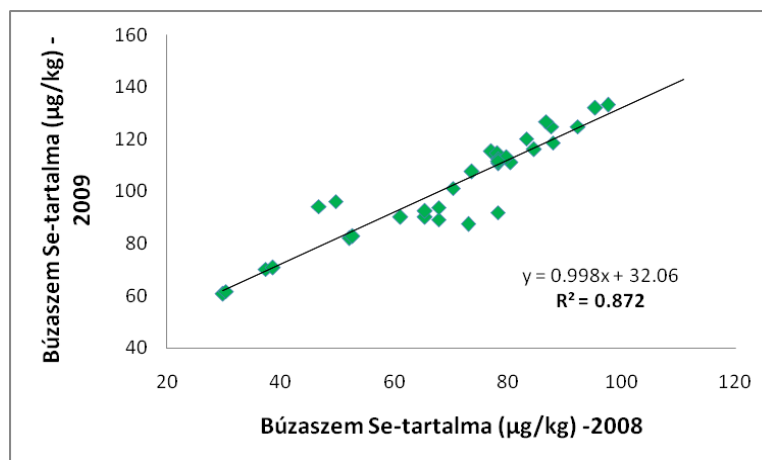
A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzamazinta esetében (54,5 és 61,8 µg/kg közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó minta esetében (132 és 134 µg/kg közötti érték) mértem. Alacsony értéket még a hidromorf-pangóvízes (59,5-70,8 µg/kg), és a podzolosodott barna erdőtalajról (82,1-89,4 µg/kg) származó búzamaz minták esetében észleltem. Magasabb érték a mollikus (redzinák) (113-115 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (119-125 µg/kg) és a homokos (pszamoszol) talajokról származó (121-127 µg/kg) minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött minta esetében közepes szeléntartalmat kaptam. A szórás értéke 20,4 µg/kg volt.

Elmondható, hogy a búzamaz minta szeléntartalma, hasonlóan a búzafűmintához, alacsony, de magasabb a Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban azonos talajtípusról begyűjtött búzamazmintához képest. Ez a búzafűhöz hasonlóan alakult, amit feltételezhetően az éghajlati körülményekkel lehet magyarázni.

Az alacsonyabb szeléntartalommal rendelkező búzamazag a földes kopár típusú talajról, míg a magasabb szeléntartalommal rendelkező búzamazag minták a mollikus talajtípusról származtak, hasonlóan a 2008-as évben a Dobrogea-Bărăgan vidékéről begyűjtött búzamintákhoz (27. ábra).



27. ábra: Azonos talajtípusokról 2008-ban (Dobrogea-Bărăgan vidék) és 2009-ben (Csíki-medence) begyűjtött búzaszem Se-tartalmának összehasonlítása



28. ábra: Lineáris regresszió a 2008-ban (Dobrogea-Bărăgan) és 2009-ben (Csíki-medence) begyűjtött búzamazag összes Se-tartalma között

Megvizsgáltam a két helyszínen (Dobrogea-Bărăgan vidékén-2008 és Csíki-medence-2009) gyűjtött búzaminták közötti összefüggést, amely az 28. ábrán látható. A 83

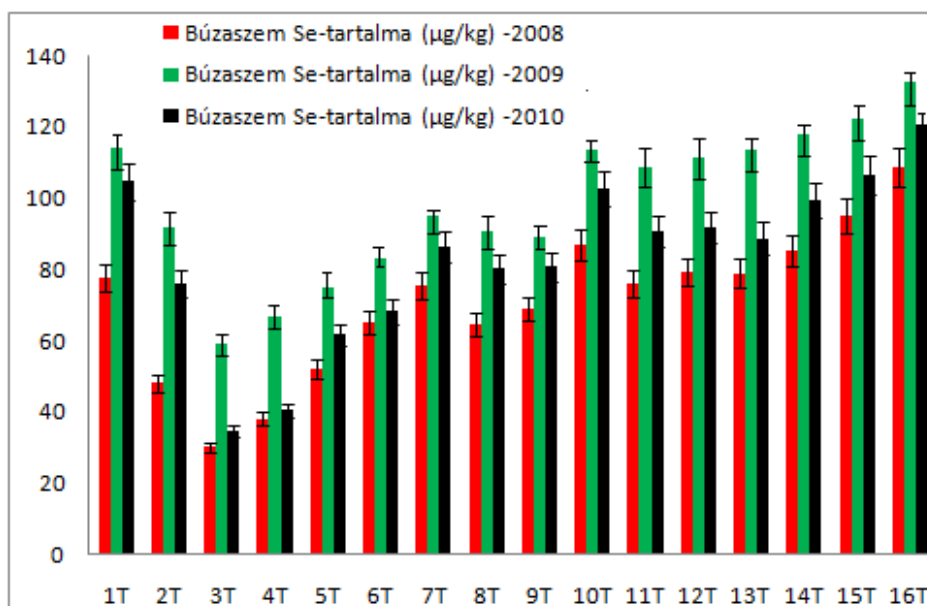
darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,872, ami szoros összefüggésre utal. Ebből a szoros kapcsolatból azt a következtetést vontam le, hogy a Csíki-medence talajainak szeléntartalma, arányos lehet a Dobrogea-Bărăgan talajainak Se-tartalmával.

2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzamag minták összesszelén-tartalma 34,1 $\mu\text{g/kg}$ és 122 $\mu\text{g/kg}$ között változott. A szeléntartalom átlagosan 82,9 $\mu\text{g/kg}$ körül alakult. A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár típusú talajról származó búzaminta esetében (34,1 és 35,5 $\mu\text{g/kg}$ közötti érték), míg a legmagasabb értéket a mollikus (típikus csernozjomszerű) talajról származó minta esetében (120 és 122 $\mu\text{g/kg}$ közötti érték) mértem. Alacsony értéket még a hidromorf (pangóvízes) talajról (37,7-42,1 $\mu\text{g/kg}$ közötti érték) és a podzolosodott barna erdőtalajról (57,9-63,7 $\mu\text{g/kg}$) származó búzamag minták esetében észleltem. Magasabb érték a mollikus (litikus csernozjomszerű) (105-109 $\mu\text{g/kg}$) és a mollikus (redzinák) (104-106 $\mu\text{g/kg}$) talajokról származó búzamag minta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzamag minta esetében közepes szeléntartalmat kaptam. A szórás értéke 22,9 $\mu\text{g/kg}$ volt.

Elmondható, hogy a búzamag minta összesszelén-tartalma alacsonyabb a 2009-ben begyűjtött mintákhoz viszonyítva, de magasabb a Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban begyűjtött búzamaghoz képest. Az alacsonyabb és a magasabb szeléntartalommal rendelkező fűminták, hasonló talajtípusokról származnak. (A szórás értéke úgy a 2009-ben begyűjtött búzamag minták esetében, mint a 2010-ben begyűjtött búzamagok esetében megegyezik a búzafű mintákkal).

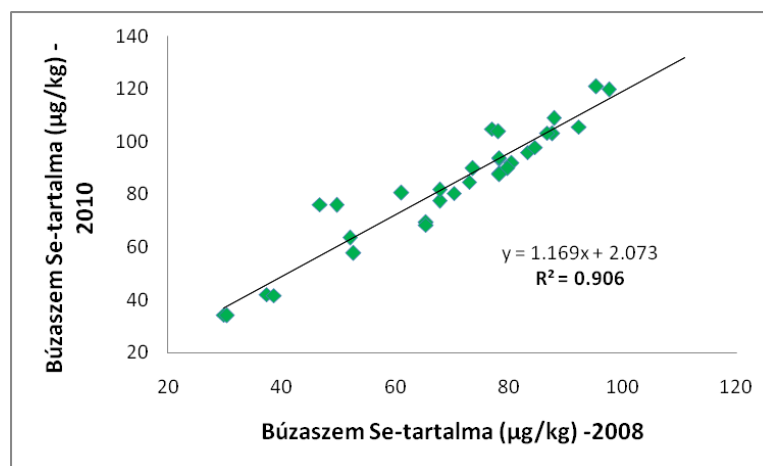
Összehasonlítva a három évben a búzaminták összesszelén-tartalmát (29. ábra) arra a következtetésre jutottam, hogy hasonlóan a búzafű mintákhoz, a 2008-ban a Dobrogea-Bărăgan vidékén volt a legalacsonyabb, azt követi a 2010-es év (Csíki-medence), majd a legmagasabb 2009-ben a Csíki-medencében volt. Az éghajlati körülmények 2008 és 2010-ben hasonlóak voltak, míg 2009-ben a sok évi átlaghoz képest kimagasló volt a hőmérséklet és a csapadékmennyiség is.

A 2008 és 2010-es években a különbség a földrajzi elhelyezkedésnek köszönhető, ugyanis a Dobrogea-Bărăgan síkvidéken a hőmérséklet a Csíki-medence hegyvidéki hőmérsékletétől egész évben átlagosan 10-12 $^{\circ}\text{C}$ -al tér el. Ezekkel a körülményekkel magyarázható a szeléntartalom alakulása.



29. ábra: Azonos talajtípusokról 2008-ban (Dobrogea-Bărăgan vidék), 2009-ben és 2010-ben (Csíki-medence) begyűjtött búzaszem Se-tartalmának összehasonlítása

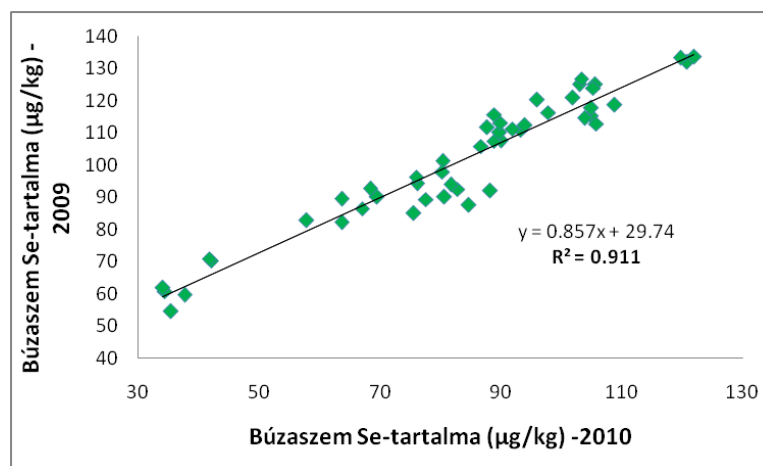
A 29. ábrán megfigyelhető, hogy mind a három évben a szeléntartalom ugyanarról a talajtípusról származó búzamaz minta esetében volt a legnagyobb és a legkisebb, ezért elemeztem a búzamazok szeléntartalma közötti összefüggést mindhárom év folyamán.



30. ábra: Lineáris regresszió a 2008-ban és 2010-ben ugyanolyan talajtípusról begyűjtött búzamaz minták összes Se-tartalma között

Megvizsgáltam a két helyszínen (Dobrogea-2008, Csíki-medence-2010) az ugyan olyan talajtípusról gyűjtött búzaminták közötti összefüggést, amely az 30. ábrán látható. A 83 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,906, ami szoros összefüggésre utal.

Ugyanakkor elemeztem a 2009-ben és 2010-ben (Csíki-medencéből) GPS-el pontosan meghatározva ugyanarról a talajról begyűjtött búzamazag minták közötti összefüggést, amely az 31. ábrán látható. A 96 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,896, ami erős összefüggésre utal.



31. ábra: Lineáris regresszió a 2009-ban és 2010-ben begyűjtött búzaszem összes Se-tartalma között

Elemeztem a talaj szervesanyag-tartalma és a búzamazag minták összesszelén-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintavételi évben), amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke Dobrogea-Bărăgan vidékén 2008-ban 0,895; a Csíki-medencében 2009-ben 0,891 és 2010-ben 0,868 volt, ami szoros összefüggésre utal a talaj szervesanyag-tartalma és a búzamazagok összesszelén-tartalma között.

Megvizsgáltam a talaj pH-ja és a búzamazagok összesszelén-tartalma közötti összefüggést (mind a három mintasor esetében), amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 2008-ban 0,901; 2009-ben 0,894 és 2010-ben 0,897 volt, ami nagyon szoros összefüggésre utal a talaj pH-ja és a búzamazagok összesszelén-tartalma között.

A búzamazag minták összesszelén-tartalmát vizsgálva Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008-ban) és a Csíki-medencében (2009-ben és 2010-ben) azonos talajtípusokon az

összesszelén-tartalma nem változott szignifikánsan ($p < 0,01$) 2008-, 2009- és 2010-ben vett minták esetében.

A búzamaz minták Se-tartalmának vizsgálatával kapcsolatban elmondható, hogy mind a három évben a legalacsonyabb értéket a földes kopár típusú talajról (30,1 $\mu\text{g/kg}$ -2008, 59,0 $\mu\text{g/kg}$ -2009, 34,7 $\mu\text{g/kg}$ -2010) származó búzamaz minta esetében, míg a legmagasabb értéket a mollikus (tipikus vagy litikus csernozjomszerű) talajról (109 $\mu\text{g/kg}$ -2008, 133 $\mu\text{g/kg}$ -2009, 121 $\mu\text{g/kg}$ -2010) származó búzamaz minta esetében mértem, hasonlóan a búzafű mintákhoz. A időjárási körülmények mellett a talaj szerkezete és típusa fontos szerepet játszhat a szelén búzamazban való elraktározódásában.

A Dobrogea-Bărăgan-vidéken a talaj és a búzamaz szeléntartalma az irodalomban található adatoknak megfelelően arányosan alakult (*Fordyce és mtsai.*, 2000; *Johnson és mtsai.*, 2000; *Wang és Gao*, 2001; *MacPherson és mtsai.*, 1997; *Fleming*, 1980; *Jacobs*, 1989; *Mayland*, 1994; *Neal*, 1995; *Adam és mtsai.*, 2002; *Hahn és mtsai.*, 1981; *Boila és mtsai.*, 1993 ü; *Gawalko és mtsai.*, 2001; *Oldfield*, 1999; *Tan*, 1989; *Kabata-Pendias és Pendias*, 1992; *Fordyce*, 2005, 2013).

Tan (1989) Kínában a következő tartományokat állapította meg a búzamaz szeléntartalmával kapcsolatban: 25 $\mu\text{g/kg}$ -nál kisebb szeléntartalom jelenti a szelénhiányos tartományt, 25–40 $\mu\text{g/kg}$ határérték jelenti az elfogadható, 40–1000 $\mu\text{g/kg}$ az elfogadhatótól a magasig, míg az 1000 $\mu\text{g/kg}$ -nál nagyobb már a kifejezetten mérgező tartományt képviseli. *Gissel-Nielsen és mtsai* (1984) alacsony szelénkoncentrációról számoltak be a skandináv országokból, ahol a búza szeléntartalma 7–18 $\mu\text{g/kg}$ között alakult. A Nagy-Britanniából származó búzának szintén alacsony a szeléntartalma (*Barclay és Macpherson*, 1986). Ezekkel ellentétben Az USA-ból származó tanulmányok szerint a búzaszem szelén koncentrációja átlagosan 370 $\mu\text{g/kg}$ (*Wolnik és mtsai.*, 1983) és 475 $\mu\text{g/kg}$ (*Hahn és mtsai.*, 1981) között változott. A legújabb kísérletek szerint a Dél-Amerikában termelt búza szeléntartalma 5–720 $\mu\text{g/kg}$ között van, 155 $\mu\text{g/kg}$ átlagos értékkel (*Lyons és mtsai.*, 2005b). *Adam és mtsai.* 2002-ben az Egyesült Királyságban vizsgálták a búza szeléntartalmát, amely átlagosan 16-26 $\mu\text{g/kg}$ között változott. Kanadában a búzatermő régiókban mért búzák szeléntartalma *Boila és mtsai.* (1993) szerint 760 $\mu\text{g/kg}$, míg *Gawalko és mtsai.* (2001) szerint, akik a fontosabb búzatermő régiókat térképezték fel, 280-770 $\mu\text{g/kg}$ között volt. Kanadából és az USA-ból származó búza magasabb szeléntartalmú

talajokról származtak, míg az Egyesült Királyság talajainak nagy része szelénben hiányos (50-100 $\mu\text{g/kg}$), ezért rendelkeznek a búzamagvak is alacsony szeléntartalommal (*Fordyce*, 2005; *Boardley és mtsai.*, 2006).

A fentiek ismeretében feltételezem, hogy a talaj, és a búzamag minták között ugyanúgy a Csíki medencében is létezik a szoros kapcsolat, vagyis az alacsony szeléntartalmú búzaminták szelénben szegény talajról származnak, míg a magasabb szeléntartalmú minták több szelént tartalmazó talajról származnak.

5.4.3. A búzamag minták szeleno-metionin-tartalma

Az irodalmi adatok szerint a búza szeléntartalmának 56–83%-a a SeMet (*Kryukov és mtsai.*, 2003; *Whanger*, 2002), ezért tartottam fontosnak meghatározni a búzamag SeMet-tartalmát is.

A búzamag minták SeMet-tartalma 44,9-186 $\mu\text{g/kg}$ (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008), 89,9-248 $\mu\text{g/kg}$ (Csíki-medence-2009) és 48,4-224 $\mu\text{g/kg}$ (Csíki-medence-2010) között változtak (17. táblázat).

17. táblázat: A búzamag minták SeMet-tartalmának alakulása

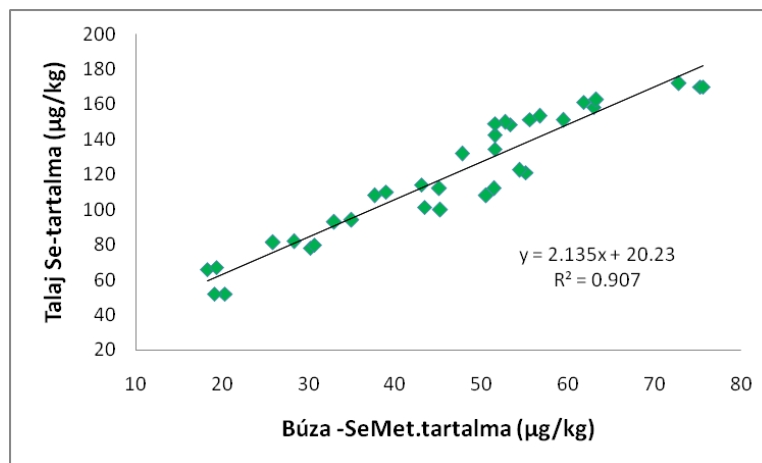
Búzamag SeMet-tartalma ($\mu\text{g/kg}$)	2008-ban (Dobrogea-Bărăgan)	2009-ben (Csíki-medence)	2010-ben (Csíki-medence)
Max.	186 $\pm$ 0,21	248 $\pm$ 0,09	224 $\pm$ 0,56
Min.	44,9 $\pm$ 0,32	89,9 $\pm$ 0,15	48,4 $\pm$ 0,31
Átlag	114 $\pm$ 0,20	182 $\pm$ 0,04	146 $\pm$ 0,44
Szórás	38,9 $\pm$ 0,08	40,8 $\pm$ 0,01	45,8 $\pm$ 0,20
Medián	129,7 $\pm$ 0,11	196,5 $\pm$ 0,21	156,1 $\pm$ 0,07

A Csíki-medencében 2009-ben begyűjtött minták SeMet-tartalma a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzamag minta SeMet-tartalmához hasonlítva átlagosan 25-30%-kal nagyobb. A legalacsonyabb SeMet-tartalmat a földes kopár típusú (89,9-105 $\mu\text{g/kg}$ közötti érték) talajról származó minta esetében mértem. Alacsony volt a SeMet-tartalom a hidromorf-pangóvízes (99,9-123 $\mu\text{g/kg}$) talajról származó búzamag esetében is. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (245-248 $\mu\text{g/kg}$) talajról származott, de magas SeMet-tartalmat mértem a mollikus (litikus csernozjomszerű) (218-

231 µg/kg) és a hidromorf fekete réti (213-221 µg/kg) talajokról származó búzamag minták esetében is. A többi talajtípusról begyűjtött búzamag minta esetében közepes SeMet-tartalmat kaptam. A szórás értéke 40,8 µg/kg volt.

2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzamag minták esetében a SeMet-tartalomra 9-10%-kal alacsonyabb értéket kaptam, mint 2009-ben, ami hasonlóan alakult a búzafű esetében is. Az alacsony SeMet-tartalmat itt is a földes kopár típusú (48,4-51,2 µg/kg közötti érték) és a hidromorf-pangóvízes (55,6-64,0 µg/kg) talajról származó búzamag minták esetében mértem. Magasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (220-224 µg/kg), a mollikus (litikus csernozjomszerű) (191-198 µg/kg) és a mollikus (redzinák) (160-167 µg/kg) talajokról származó búzaminta esetében volt. A többi talajtípusról begyűjtött búzamag minta esetében a SeMet-tartalom 115-192 µg/kg között változott, a szórás értéke 45,8 µg/kg volt.

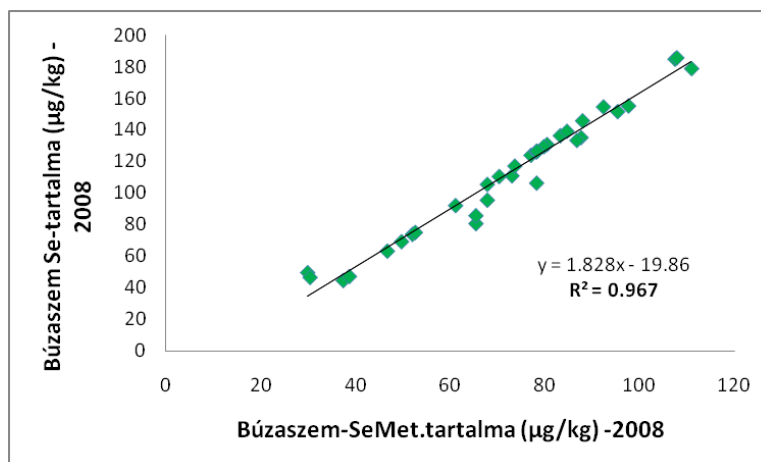
Megvizsgáltam a búzamag minta SeMet és talaj összesszelén-tartalma közötti összefüggést (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008), amely a 32. ábrán látható. A vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,907, ami erős összefüggésre utal a talaj Se és a búzamag SeMet-tartalma között.



32. ábra: Lineáris regresszió a talaj Se és a búzamag SeMet-tartalma között (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008)

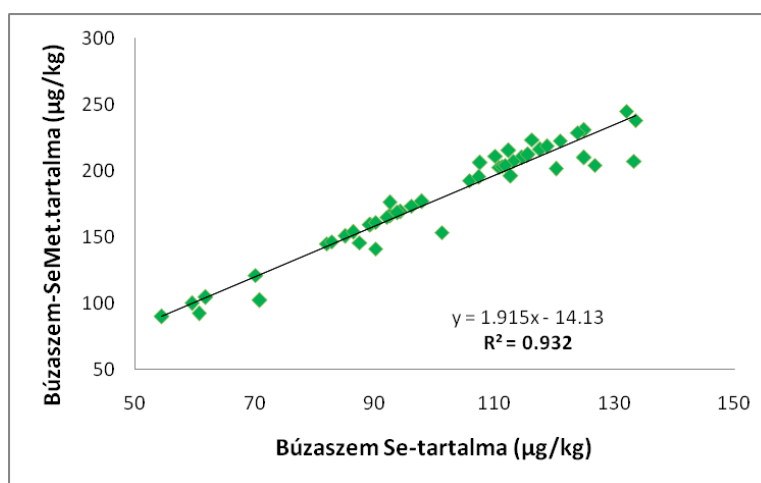
Elemeztem a búzamag Se-tartalma és SeMet-tartalma közötti összefüggést, amelynek eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke Dobrogea-Bărăgan

vidékéről származó minták esetében 0,967, ami nagyon szoros összefüggésre utal a búzamax összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma között (33. ábra).



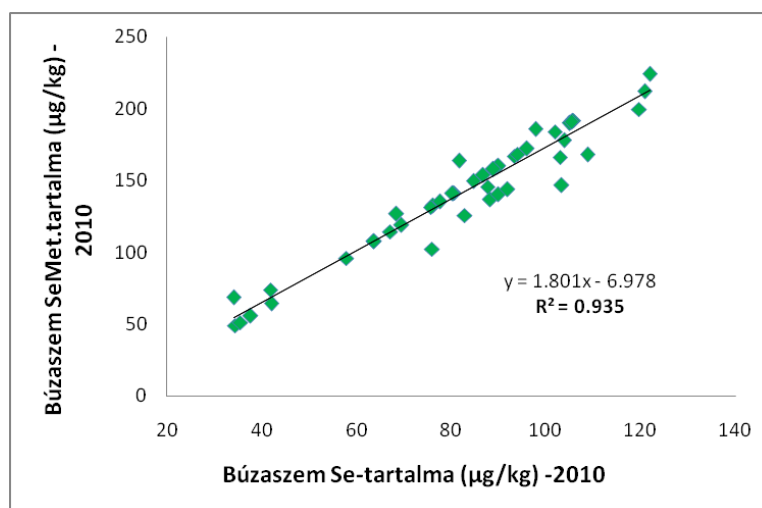
33. ábra: Lineáris regresszió a búzamax összes Se-tartalma és a SeMet-tartalma között (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008)

A Csíki-medencében 2009-ben begyűjtött búzamax Se-tartalma és SeMet-tartalma közötti összefüggés eredményeként (34. ábra) a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,932, ami szoros összefüggésre utal a búzamax összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma között.



34. ábra: Lineáris regresszió a búzamax összes Se-tartalma és a SeMet-tartalma között (Csíki-medence-2009)

2010-ben a Csíki-medencében begyűjtött búzamaz Se-tartalma és a SeMet-tartalma közötti összefüggés eredményeként (35. ábra) a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,935, ami ugyancsak nagyon szoros összefüggésre utal a búzamaz összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma között.



35. ábra: Lineáris regresszió a búzamaz összes Se-tartalma és a SeMet-tartalma között (Csíki-medence-2010)

A rendkívül szoros összefüggések várhatóak voltak, hisz a szeleno-metioninban jelen levő szelén az összesszelén-tartalomnak része, és mivel a minták hasonló időben, fejlettségi állapotban, ugyanolyan talajtípusról kerültek betakarításra, a két érték között az összefüggések rendkívül szorosak kellett, hogy legyenek.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A 2008-2010-es évek során vizsgáltam a Dobrogea-Bărăgan vidékén, illetve a Csíki-medencében a legfontosabb talajtípusok szeléntartalmát, a kiválasztott talajon termesztett búzafű és búzamag összesszelén-tartalmát és SeMet-tartalmát, és összefüggéseket kerestem a talaj, a búzanövény és a búzamag szeléntartalma és SeMet-tartalma között.

Dobrogea-Bărăgan körzetében vizsgáltam a különböző talajtípusok összesszelén-tartalmát, a Csíki-medencében azonban a talajok vizsgálatára nem volt lehetőségem. A következtetéseket a Csíki-medence talajaival kapcsolatban azon feltételezések alapján vontam le, hogy a hasonló talajtípusokon mindkét általam vizsgált területen a búzafű és a búzamag minták hasonló szeléntartalommal rendelkeztek.

Kutatómunkám során 2008-ban meghatároztam a Dobrogea-Bărăgan vidékén 16 talajtípus szeléntartalmát, valamint az ezen a talajon termesztett búzanövény és búzamag összesszelén-tartalmát és SeMet-tartalmát.

2009-ben és 2010-ben ugyanazon 16 talajtípusról, GPS-el beazonosított helyekről, a Csíki-medence jellemző talajtípusain termesztett búzafű és búzamag minták összesszelén és a SeMet-tartalmát vizsgáltam. Mind a két helyszínen összefüggést kerestem a talaj, a búzanövény és a búzamag szeléntartalma, valamint a két utóbbi SeMet-tartalma között, és összehasonlítottam a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó és a Csíki-medencében termesztett búzafű és búzamag ezen komponenseit.

6.1. A talajminták szeléntartalmának, pH-jának és szervesanyag-tartalmának alakulása

A talajminták analízise során azok átlagos szeléntartalma 119 $\mu\text{g/kg}$, a szélső értékek 52,0-172 $\mu\text{g/kg}$ között alakultak. A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár (52,0 $\mu\text{g/kg}$) és a hidromorf-pangóvízes (66,5 $\mu\text{g/kg}$), míg a legmagasabb értéket a mollikus (litikus csernozjomszerű) (171 $\mu\text{g/kg}$) és a hidromorf-réti (155 $\mu\text{g/kg}$) talajnál tapasztaltam.

A talajminták pH-ja 4,2-7,8 (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008), 4,6-7,9 (Csíki-medence-2009) és 5,4-8,3 (Csíki-medence-2010) között változtak (8. táblázat).

Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajminták esetében a legalacsonyabb pH-értéket a földes kopár (4,2) és hidromorf-pangóvízes (4,5) talaj esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) (7,8), a mollikus (litikus

csernozjomszerű) (7,2) talajminta esetében volt. A többi talajtípusnál a pH-érték szórása 1,8 volt. Hasonlóan alakultak a Csíki-medencéből vett minták esetében úgy 2009-ben, mind 2010-ben a legkisebb pH-értéket a földes kopár (4,6 és 5,4) és hidromorf-pangóvízes (4,6 és 5,7) talaj esetében mértem. A legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű) és a mollikus (litikus csernozjomszerű) (7,2-8,3 és 7,1-8,2) talajminta esetében volt. A többi talajtípusnál a pH-érték szórása 2009-ben 1,8, 2010 pedig 1,5 volt.

A Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajok esetében megvizsgáltam a talaj összesszelén-tartalma és talaj pH értéke közötti összefüggést. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koeficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,879, ami szoros összefüggésre utal a talaj összesszelén-tartalma és a talaj pH-értéke között.

Megvizsgáltam a három mintavételi évből származó talajok pH értéke közötti összefüggést. Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajmintákat összehasonlítva a Csíki-medence talajmintáival, szoros összefüggéseket kaptam (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2009 esetében $R^2=0,834$; Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2010 esetében $R^2=0,841$). Ugyanakkor nagyon szoros összefüggést kaptam a Csíki-medencében azonos helyről 2009-ben és 2010-ben begyűjtött talajminták pH-ja között. A vizsgálat eredményeként a korrelációs koeficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,904, ami szoros összefüggésre utal.

A talajminták szervesanyag-tartalmának meghatározása során Dobrogea-Bărăgan vidékén vett talajminták szervesanyag-tartalma 0,70 és 2,67% között változott, a Csíki-medence talajainak szervesanyag-tartalmára 1,63%–2,78% (2009) és 0,95%–2,92% (2010) közötti értékeket mértem. A legalacsonyabb szervesanyag-tartalmat mind a három mintavételi évben a földes kopár és hidromorf-pangóvízes talaj esetében mértem, míg a legmagasabb érték a mollikus (típusos csernozjomszerű), a mollikus (litikus csernozjomszerű) talajminta esetében volt.

Megvizsgáltam a talaj összesszelén-tartalma és ugyanazon talajok szervesanyag-tartalma közötti összefüggést, Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajok esetében. A 70 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koeficiens négyzetének (R^2) az értéke 0,806 ami szoros összefüggésre utal a talaj összesszelén-tartalma és a talaj szervesanyag-tartalma között.

Megvizsgáltam a három mintavételi évből származó talajok szervesanyag-tartalma közötti összefüggést. Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó talajmintákat összehasonlítva a Csíki-medence talajmintáival, közepes összefüggéseket kaptam (Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2009 esetében $R^2=0,811$; Dobrogea-Bărăgan vidék-2008 és Csíki-medencében-2010 esetében $R^2=0,821$). A pH-értékekhez hasonlóan a szervesanyag-tartalom esetében is szoros összefüggést kaptam a Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben azonos helyről begyűjtött talajminták szervesanyag-tartalma között. A 96 darab vizsgálat eredményeként a korrelációs koefficiens négyzetének (R^2) az értéke 0, 807, ami szoros összefüggésre utal.

6.2. A búzafű minták szeléntartalmának és SeMet-tartalmának alakulása

A Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008) vett búzafű minták összesszelén-tartalma 36,4-123 $\mu\text{g/kg}$ között változott, átlagosan 84,2 $\mu\text{g/kg}$ volt. A talaj szeléntartalmának megfelelően a legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár (38,1 $\mu\text{g/kg}$), a legmagasabb értéket pedig a mollikus (típusos csernozjomszerű) (121 $\mu\text{g/kg}$) talajról származó búzafű esetében mértem.

Megállapítottam, hogy erről a vidékről begyűjtött talajokon termelt búzafű szeléntartalma, az irodalmi adatokhoz hasonlítva, hiányos (75 $\mu\text{g/kg}$ -nál kisebb szeléntartalom), és elfogadható (75–175 $\mu\text{g/kg}$) értékek között mozgott. Ezeket az értékeket látva a Dobrogea-Bărăgan vidékén célszerű lenne a talaj szeléntrágyázásán gondolkodni, hogy a búzanövény, más növényi eredetű élelmiszerekhez hasonlóan, kellő mennyiségű szelénhez jusson. A talaj összesszelén-tartalma és ugyanarról a talajról származó búzafű összesszelén-tartalma között igen szoros összefüggést találtam ($R = 0,899$).

A Csíki-medencében 2009-ben és 2010-ben analizált búzafű szeléntartalma alapján megállapítottam, hogy 2009-ben az összesszelén-tartalom átlagosan 97,5 $\mu\text{g/kg}$ és 117 $\mu\text{g/kg}$ körül alakult. Mind a két évben a legalacsonyabb szeléntartalmú búzafű a földes kopár talajról (2009: 74,2 $\mu\text{g/kg}$; 2010: 49,4 $\mu\text{g/kg}$) származott, míg a legmagasabb értéket a mollikus (litikus csernozjomszerű) (2009: 149 $\mu\text{g/kg}$; 2010: 136 $\mu\text{g/kg}$) és a homokos (pszamoszol) (2009: 138 $\mu\text{g/kg}$; 2010: 116 $\mu\text{g/kg}$) talajról származó minták esetében mértem.

Összehasonlítva Dobrogea-Bărăgan vidéke és a Csíki-medencéből begyűjtött búzafű szeléntartalmát megállapítottam, hogy az irodalmi adatokhoz viszonyítva mind a

kettő alacsony, de a Csíki-medencében, azonos talajtípusukon, 20-25%-kal magasabb szeléntartalmat mértem, amit az éghajlati viszonyokkal (hőmérséklet és csapadék mennyiség) tudok magyarázni.

Elemmezve a búzafű szeléntartalmát a Dobrogea-Bărăgan vidékén (2008) és a Csíki-medencében (2009 és 2010) megállapítottam, hogy az azonos talajtípusról származó búzafű minták között 2008-2009 és 2008-2010 viszonylatában az összefüggés rendkívül szoros ($R=0,879$ és $R=0,819$). Összehasonlítva a Csíki-medence ugyanazon a talajtípusáról, ugyanarról a helyről (GPS-el beazonosítva) vett búzafű minta szeléntartalmát $R=0,894$ értéket kaptam, ami rendkívül szoros összefüggést mutat. Ez felhívja a figyelmet arra is, hogy a csapadék és a hőmérséklet csak kisebb mértékben van befolyással a búzanövény szeléntartalmára, azt döntő mértékben a talaj típusa befolyásolja.

Mivel a búza szeléntartalmának, irodalmi adatok szerint, 56-83%-át a SeMet alkotja, ezért vizsgáltam a két vidékről származó búzafű minták SeMet-tartalmát is.

Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű minták átlagosan 121 $\mu\text{g/kg}$, a Csíki-medencéből 2009-ben 156 $\mu\text{g/kg}$, 2010-ben pedig 142 $\mu\text{g/kg}$ SeMet-t tartalmaztak. Talajtípus szerint elemezve a SeMet-tartalmat mindkét körzetben és mind a három mintavételi évben ugyanazt tapasztaltam, mint amit az összesszelén-tartalomnál. A legalacsonyabb értéket a földes kopár (2008: 34,1 $\mu\text{g/kg}$; 2009: 113 $\mu\text{g/kg}$; 2010: 99,5 $\mu\text{g/kg}$), a legmagasabbat pedig mollikus (litikus csernozjomszerű) (2008: 164 $\mu\text{g/kg}$; 2009: 188 $\mu\text{g/kg}$; 2010: 171 $\mu\text{g/kg}$) talajról begyűjtött búzafű minták esetében mértem. A Csíki-medencében mért értékek mind 20-25%-kal magasabbak voltak a Dobrogea-Bărăgan vidékén mért értékeknél, és az összesszelén-tartalomhoz hasonlóan megközelítőleg 9-10%-kal magasabb volt a 2010-ben mért SeMet-tartalomnál. Elemmezve a búzafű szeléntartalma és SeMet-tartalma közötti összefüggéseket mind a három esetben igen szoros összefüggést kaptam ($R_{\text{Dobrogea-Bărăgan-2008}}=0,902$; $R_{\text{Csíki-medence-2009}}=0,914$; $R_{\text{Csíki-medence-2010}}=0,906$).

6.3. A búzamag minták szeléntartalmának és SeMet-tartalmának alakulása

A búzamag minták összesszelén-tartalma a Dobrogea-Bărăgan vidékén átlagosan 72,9 $\mu\text{g/kg}$, a Csíki-medencében 2009-ben 101 $\mu\text{g/kg}$, míg 2010-ben 82,9 $\mu\text{g/kg}$ volt. A legalacsonyabb szeléntartalmat a földes kopár talajról származott búzaminta (Dobrogea-Bărăgan-2008: 30,2 $\mu\text{g/kg}$; Csíki-medence-2009: 58,2 $\mu\text{g/kg}$; Csíki-medence-2010: 34,8

$\mu\text{g/kg}$) esetén mértem, míg a legnagyobb értéket a mollikus (litikus csernozjomszerű) (Dobrogea-Bărăgan-2008: $109 \mu\text{g/kg}$; Csíki-medence-2009: $133 \mu\text{g/kg}$; Csíki-medence-2010: $121 \mu\text{g/kg}$) talajnál találtam.

Elemmezve a Dobrogea-Bărăgan vidéki talajok és ugyanarról a talajról származó búzamazag szeléntartalma közötti összefüggéseket, szoros értéket ($R=0,876$) kaptam. Összehasonlítva a Dobrogea-Bărăgan vidékén termelt búzamazag és a Csíki-medencében termelt búzamazag összesszelén-tartalmát megállapítható, hogy mind a két esetben a Csíki-medencében kaptam magasabb értéket. A két vidék azonos talajáról származó búzamazagvak szeléntartalma között mind 2008-2009, mind 2008-2010 vonatkozásában igen szoros összefüggést kaptam, hisz az R értéke $0,829$ (2009) és $0,907$ (2010) volt.

A Csíki-medence 2009-2010-es évjáratát összehasonlítva ugyancsak rendkívül szoros összefüggést találtam az ugyanarról a talajtípusról és talajról származó búzamazagok összesszelén-tartalma esetében ($R=0,896$).

A Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzamazag átlagos SeMet-tartalmát $114 \mu\text{g/kg}$ -nak, a Csíki-medencében 2009-ben $183 \mu\text{g/kg}$ -nak, míg 2010-ben $146 \mu\text{g/kg}$ -nak mértem. A SeMet-tartalom és a talajtípus közötti összefüggést vizsgálva ugyanarra az eredményre jutottam, mint a búzafű esetében. 2010-ben a Csíki-medencében a búzamazag SeMet-tartalma az összesszelén-tartalomhoz hasonlóan 9-10%-kal alacsonyabb értéket mutatott, mint 2009-ben.

Mind a három vizsgált búzamazag minta esetében igen szoros összefüggést kaptam a búzaszem Se-tartalma és a SeMet-tartalma között (Dobrogea-Bărăgan vidék: $0,907$; Csíki-medence 2009: $0,892$; Csíki-medence 2010: $0,875$). Ugyancsak nagyon szoros az összefüggés ($R=0,908$) a Dobrogea-Bărăgan vidékéről begyűjtött minták SeMet-tartalma, illetve a talaj Se-tartalma között.

Eredményeimből világosan kitűnik, hogy a búzanövény és a búzamazag összesszelén- és SeMet-tartalmát a talaj szeléntartalma egyértelműen befolyásolja.

6.4. A talaj, a búzafű és a búzamazag szeléntartalma közti összefüggés

Románia két eltérő régiójából származó azonos talajtípusok között a szeléntartalmat illetően, növekvő szeléntartalom mellett, az alábbi sorrendet tudom felállítani: 1. Földes kopár talaj ($52,1 \mu\text{g/kg}$), 2. Hidromorf (pangóvízes talaj) ($66,5 \mu\text{g/kg}$), 3. Podzolosodott

barna erdőtalaj (79,6 µg/kg), 4. Kambikus (barna erdőtalaj) (81,7 µg/kg), 5. Lepusztult talaj (erodiszol) (93,5 µg/kg), 6. Nyers öntéstalaj-protoszol (101 µg/kg), 7. Hidromorf (szürke réti talaj) (109 µg/kg), 8. Mollikus (rendzinák) (112 µg/kg), 9. Humuszos öntéstalaj (114 µg/kg), 10. Homoktalaj-pszamoszol (122 µg/kg), 11. Kambikus (barnaföldek) (134 µg/kg), 12. Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (148 µg/kg), 13. Albikus barna erdőtalaj (150 µg/kg), 14. Hidromorf (fekete réti talaj) (152 µg/kg), 15. Mollikus (litikus csernozjomszerű) (162 µg/kg), 16. Mollikus (típusos csernozjomszerű) (171 µg/kg).

Mind a Dobrogea-Bărăgan vidék, mind a Csíki-medence talajtípusairól termett búzafű és búzamag minták esetében, azonos talajtípusnál, a származási helytől függetlenül, ugyanazt a sorrendet kaptam, mind a búzafű, mind a búzamag mintáknál, és úgy az összesszelén-tartalom, mint a SeMet-tartalomnál. Levonhatjuk tehát azt a következtetést, hogy a talaj Se-tartalma, tájegységtől függetlenül, szignifikáns mértékben megszabja úgy a búzafű, mint a búzamag szeléntartalmát az általam vizsgált két Se forma tekintetében.

Mindkét vidékről származó mintánál és a Csíki-medencében mind a két évjáratnál rendkívül szoros összefüggést kaptam a búzanövény és a búzamag esetében is az összesszelén-tartalom és a SeMet-tartalom között. A Csíki-medencében két évig végzett kísérlet alapján levontam azt a következtetést, hogy az évjárat, ezen belül az éghajlat befolyásolhatja a különböző talajtípusokon belül a búzanövény és a búzamag szelén és SeMet-tartalmát, de a talajok közötti sorrendre az évjárat nincs hatással.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű és búzamazag valamint a talajminta szeléntartalmát vizsgálva megállapítottam, hogy igen szoros a talaj és az ugyanazon a talajon termesztett búzafű és búzamazag szeléntartalma közötti összefüggés.
- A Csíki-medencéből és a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű és búzamazag szeléntartalma és SeMet-tartalma között, azonos talajtípuson történő termesztés esetében, igen szoros összefüggést állapítottam meg.
- A megállapítottam, hogy szoros összefüggés van a Csíki-medencéből és a Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű-, búzamazag minták összesszelén- és szelenometionin-tartalma és a talaj pH tartalma között.
- Mind a két tájegységen begyűjtött talaj szervesanyag-tartalma és ugyanolyan talajtípusról származó búzafű és búzamazag minták összesszelén- és szelenometionin-tartalma nagyon szoros összefüggést kaptam.
- Megállapítottam, hogy mind a Csíki-medencében, mind a Dobrogea-Bărăgan vidékén a különböző típusú talajok, a rajtuk termesztett búzafű és búzamazag összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma tekintetében azonos sorrendet mutatnak, tehát a szeléntartalmat tájegységtől függetlenül kizárólag a talajtípusa, szervesanyag-tartalma és a talaj pH-ja határozza meg.
- Mind a két régió esetében szoros összefüggést találtam a búzafű és a búzamazag szeléntartalma és SeMet-tartalma között. A Csíki medencében két éven keresztül végzett vizsgálataim során megállapítottam, hogy a csapadék és a hőmérséklet befolyásolja a különböző talajtípusokon termesztett búzafű és búzamazag összesszelén- és SeMet-tartalmát, de nem befolyásolja a különféle talajokon termesztett búzanövény és búzamazag szeléntartalmának a sorrendjét.

8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

- A talajok szeléntartalmának meghatározásáról Dobrogea-Bărăgan vidékéről kevés, míg a Csíki-medencéből származó talajok szeléntartalmával kapcsolatban semmilyen adatot nincs a szakirodalomban. Mérési eredményeim szerint a talajok szeléntartalma és a rajta termett búza szeléntartalma között szoros összefüggés van, és mind a Csíki medencében, mind a Dobrogea-Bărăgan vidékén a talajok szelénhiányosak, és ennek a következtében a rajtuk termesztett búza is kevés szelént tartalmaz. A búzából készült alapvető élelmiszerek fogyasztásával tehát az emberi szervezet az általam vizsgált tájegységekben nem jut megfelelő mennyiségű szelénhez. Eredményeim felhívják a figyelmet arra, hogy szükséges lenne a talajok szelénpótlása, illetve a lakosság élelmiszereinek szelén kiegészítése.
- Mivel a különböző talajokból a szelén felszívódását sok tényező befolyásolja (ezek közül én a talaj pH-ját- és szervesanyag-tartalmát vizsgáltam), eredményeim felhívják a figyelmet arra, hogy a szeléndúsítás esetén szükséges a talajok komplexebb analízisének elvégzése, ill. más módok (levéltrágyázás) alkalmazása Székelyföld és Románia népessége szelénellátottságának optimalására.

9. ÖSSZEFOGLALÓ

2008-2010 között egy román és magyar kutatási téma keretében vizsgáltam Dobrogea-Bărăgan vidékéről, 16 típusú talajról származó 35 talajmintát, 35 darab búzanövényt és 35 darab búzamag minta összesszelén-tartalmát, talajminták pH-ját és szervesanyag-tartalmát. 2009-ben és 2010-ben pedig a Csíki medencében, 16 ugyanolyan talajtípusról származó 48-48 darab, búzanövény és búzamag összesszelén- és SeMet-tartalmát és 48 darab talaj pH-ját és szervesanyag-tartalmát.

A disszertációm céljával tűztem ki megvizsgálni, hogy milyen összefüggés van a talaj és a rajta termesztett búzafű és búzamag összesszelén-tartalma, valamint a búzafű és a búzamag összesszelén- és SeMet-tartalma között. Vizsgáltam még azt is, hogy milyen különbség van a két egymás utáni évben ugyanazon a talajon termesztett búzafű és búzamag összesszelén- és SeMet-tartalmában. Megvizsgáltam, hogy hogyan befolyásolja a talaj pH-ja és szervesanyag-tartalma a búzafű és búzamag összesszelén- és SeMet-tartalmát. Céлом volt ezen kívül megvizsgálni az eltérő talajtípusokon termesztett búzafű és búzamag szeléntartalmát és SeMet-tartalmát, valamint összehasonlítani a két eltérő természeti környezetből származó értékeket.

Az összesszelén-tartalmat fluorometriás módszerrel meghatároztam meg, míg a szeleno-metionin-tartalom meghatározását nagyhatékonyságú folyadékkromatográffal végeztem.

A Dobrogea-Bărăgan vidékéről származó búzafű és búzamag valamint a talajminta szeléntartalmát vizsgálva megállapítottam, hogy igen szoros a talaj és az ugyanazon a talajon termesztett búzafű és búzamag közötti összefüggés. Megállapítottam, hogy a Dobrogea-Bărăgan vidékén és a Csíki-medencében azonos talajtípuson történő termesztés esetében a búzafű és a búzamag szeléntartalma és SeMet-tartalma között igen szoros összefüggés van.

A Csíki-medencében, mind a Dobrogea-Bărăgan vidékén különböző típusú talajok pH-ja és szervesanyag-tartalma, a rajtuk termesztett búzafű és búzamag összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma között szoros összefüggés van.

Megállapítottam, hogy mind a Csíki-medencében, mind a Dobrogea-Bărăgan vidékén különböző típusú talajok, a rajtuk termesztett búzafű és búzamag összesszelén-tartalma és SeMet-tartalma tekintetében azonos sorrendet mutatnak, tehát a szeléntartalmat,

tájegységtől függetlenül, kizárólag a talajtípus határozza meg. Mind a két régió esetében szoros összefüggést találtam a búzafű és a búzamazag szeléntartalma és SeMet-tartalma között. A Csíki medencében két éven keresztül végzett vizsgálataim során megállapítottam, hogy a csapadék és a hőmérséklet befolyásolja a különböző talajtípusokon termesztett búzafű és búzamazag összesszelén- és SeMet-tartalmát, de nem befolyásolja a különféle talajokon termesztett búzanövény és búzamazag szeléntartalmának a sorrendjét.

Az általam kapott búzamazag szeléntartalmakat az irodalmi adatokkal összehasonlítva megállapítottam, hogy mind a Dobrogea-Bărăgan vidékén, mind pedig a Csíki medencében termesztett búzamazag, még a legmagasabb szeléntartalmú talajon (mollikus-litikus csernozjomszerű talaj), sem éri el azt a szintet, amivel a lakosság szelén ellátottságát biztosítani lehet.

Vizsgálataim felhívják a figyelmet arra, hogy Románia e két tájegységén termelt búza, amely alapvető élelmezési cikk, alacsony szeléntartalmánál fogva a lakosság szükségleteit nem tudja kielégíteni, tehát a lakosság szelén ellátottságára nagy figyelmet kell fordítani.

10. SUMMARY

35 samples of wheat seed, 35 samples of wheat grass and 35 soil samples belonging to 16 type of soils originating from the Dobrogea and Bărăgan region have been examined under the framework of a Romanian-Hungarian research project in the year 2008 - 2010. In the year 2009 and 2010 there have been examined 48 wheat grass samples and 48 wheat seed samples from the same 16 soil types regarding their total selenium content and SeMet content, originating from the Ciuc basin. The aim of my thesis was to examine the correlation between the soils and the total selenium content as well as the SeMet content of the wheat grass and wheat seed samples cultivated on the given soil type. The differences between the total selenium and SeMet content of wheat grass and wheat seed samples cultivated on the same soil types on two consecutive years, have also been evaluated. Our aim was also to examine the total selenium and SeMet content of wheat grasses and wheat seeds cultivated on different soil types, as well as to compare the values obtained from the two different natural environments.

The total selenium content was determined by fluorometric methods, while the determination of seleno-methionine was executed by high performance liquid chromatography.

After the analysis of the total selenium content of wheat grasses and wheat seeds originating from soils from the Dobrogea and Bărăgan region, I have concluded that there is a strong correlation between the soil and wheat grasses as well as wheat seeds cultivated on that given soil. I have also concluded that there is a strong correlation between the total selenium and SeMet content of wheat grasses and wheat seeds originating from the Dobrogea and Bărăgan region and the Ciuc basin if these are cultivated on the same soil type.

I have found that the wheat grasses and wheat seeds show all the same order of total selenium content and SeMet content if cultivated on the same soil type, regardless from the fact that they originate from the Dobrogea and Bărăgan region or the Ciuc basin, therefore the selenium content is determined only by the soil type. In each of the two regions there was a strong correlation between the selenium and SeMet content of wheat grasses and the wheat seeds. During the investigations carried out in the Ciuc basin I have concluded, that the precipitation and the temperature has an influence on the selenium and SeMet content

of wheat grasses and wheat seeds cultivated on different soil types, but it does not affect the order of selenium content of wheat grasses and wheat seeds cultivated on different soil types.

Comparing the obtained data regarding the selenium content of wheat seeds with the data in the literature, I have found, that wheat seeds cultivated in the Dobrogea-Bărăgan region or the Ciuc basin do not reach a necessary selenium level, which could ensure the selenium supply of the population, even when cultivated on the highest selenium containing soil types (molic litic chernozem soil).

My investigations call attention to the fact that the wheat crops cultivated in two different regions of Romania do not ensure the selenium supply of the population because of their low selenium content, although it is considered to be a basic food raw material. Therefore special attention should be paid to the selenium supply of the population.

11. IRODALOM

- Abuereish, G. M. – Lahham, J. N.: 1987. Selenium in soils and plants in the Jordan Valley. *J. Arid. Environ.* 12: 1–7.
- Adams, M. L. – Lombi, E. – Zhao, F. J. – McGrath, S. P.: 2002. Evidence of low selenium concentrations in UK bred-making wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82: 1160–1165.
- Al-Kunania, A. S. – Knight, R. – Haswell, S. J. – Thompson, J. W.: 2001. The selenium status of women with a history of recurrent miscarriage. *British Journal of Obstetric and Gynaecology*. 108: 1094–1097.
- Aro, A. – Kumpulainen, J. – Alfthan, G. – Voshchenko, A. V. – Ivanov, V. N.: 1994. Factors affecting the selenium intake of people in transbaikalian Russian. *Biol. Trace Element Res.* 40: 277–285.
- Arthur, J. R.: 1991. The role of selenium in thyroid hormone metabolism. *Canadian J. of Physiology and Pharmacology*. 69: 1648–1652.
- Arthur, J. R.: 1990. Hepatic iodothyronine deiodinase: the role of selenium. *Biochem. J.* 272: 537–540.
- Awasthi, Y. C. – Beutler, E. – Srivastava, S. K.: 1975. Purification and properties of human erythrocyte glutathione peroxidase. *Journal of Biological Chemistry*. 250: 5144–5149.
- Balogh, K. M.: 2006. A szelén toxicitását befolyásoló egyes takarmányozási tényezők hatásának felmérése gerinces gazdasági állatfajoknál. *Doktori disszertáció*. Szent István Egyetem. Budapest. 174.
- Bañuelos, G. S. – Lin, Z. Q.: 2005. Phytoremediation management of selenium-laden drainage sediments in the San Luis drain: a greenhouse feasibility study. *Ecotox. Environ. Safet.* 62: 309–316.
- Bañuelos, G. S. – Meek, D. W.: 1989. Selenium accumulation in selected vegetables. *Journal of Plant Nutrition*. 12 (10): 1255–1272.
- Bañuelos, G. S. – Pflaum, T.: 1990. Determining selenium in plant tissue with optimal digestion conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21 (13–16): 1717–1726.
- Barak, P. – Goldman, I. L.: 1997. Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): Implications for the production of organosulfur and

- organoselenium compounds in plants). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1290–1294.
- Barclay, M. N. I. – Macpherson, A.: 1986. Selenium content of wheat flour used in the UK. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 37: 1133–1138.
- Barrow, N. J. – Whelan, B. R.: 1989. Testing a mechanistic model. 7. The effects of pH and electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil. *Journal of Soil Science*. 40: 17–28.
- Barrow, N. J. – Whelan, B. R.: 1989. Testing a mechanistic model. 7. The effects of pH and electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil. *Journal of Soil Science*. 40: 17–28.
- Baum, M. K.: 1997. High risk of HIV-related mortality is associated with selenium deficiency. *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes and Human Retrovirology*. 15. (5): 370–374.
- Beck, M. A.: 1998. Dietary oxidative stress and the potential of viral infection. *Annual Review of Nutrition*. 18: 93–116.
- Behne, D. – Hammel, C. – Pfeifer, H. – Rothlein, D. – Gessner, H. – Kyriakopoulos, A.: 1998. Speciation of selenium in the mammalian organism. *Analyst*. 123 (5): 871–873.
- Beilstein, M. A. – Whanger P. D.: 1986. Chemical forms of selenium in rat tissues after administration of selenite or selenomethionine. *Journal of Nutrition*. 116: 1711–1719.
- Bell, P. F. – Parker, D. R. – Page, A. L.: 1992. Contrasting selenate–sulfate interactions in selenium–accumulating and nonaccumulating plantspecies. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 1818–1824.
- Bernát, T.:1998. Magyarország természeti erőforrásai és gazdaságföldrajzi adottságai. *Aula Kiadó. Budapest*. 356-386.
- Berry, M. J – Banu, L, – Larsen, P. R.: 1991. Type I iodothyronine deiodinase is a selenocysteine–containing enzyme. *Nature*. 349: 438–440.
- Boila, R. J. – Stothers, S. C. – Campbell, L. D.: 1993. The concentration of selenium in the grain from wheat, barley and oats grown at selected locations throughout Manitoba. *Canadian Journal of Animal Science*. 73: 217–221.

- Bombik, T. – Bombik, E. – Górski, K. – Rymuza, K. – Saba, L.: 2010. Selenium content in feed and cows' blood serum in the central-eastern Poland. *Bull. Vet Inst. Pulawy*. 54: 273–276.
- Borowska, K. – Koper, J.: 1986. Selenium and zinc in mushrooms. *Internat. Tr. El. Symp. Jena*. (Eds.: M. Anke et al.). 622–626.
- Bratakos, M. S. – Ioannou, P. V.: 1989. The regional distribution of selenium in Greek cereals. *Sci. Tot. Environ*. 84: 237–247.
- Broadley, M. R. – Alcock, J. – Alford, J. – Cartwright, P. – Fairweather-Tait, S. J. – Foot, I. – Hart, D. J. – Hurst, R. – Knott, P. – McGrath, S. P. – Meacham, M. C. – Norman, K. – Mowat, H. – Norman, K. – Stroud, J. L. – Tovey, M. – Tucker, M. – White, P. J. – Young, S. D. – Zhao, F. J.: 2010. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. *Plant Soil*. 32. (1–2): 5–18.
- Broadley, M. R. – Whit, P. J. – Bryson, R. J. – Meacham, M. C. – Bowen, H. C. – Johnson, S. E. – Hawkesford, M. J. – McGrath, S. P. – Zhao, F. J. – Breward, N. – Harriman, M. – Tucker, M.: 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*. 65: 169–181.
- Brody, T.: 1994. Protein. *Nutrit. Biochem*. Academic Press, Inc. New York, 295–352.
- Buckman, T. – Sutphin, M. S. – Eckhert, C. D.: 1993. A comparison of the effects of dietary selenium on selenoprotein expression in rat brain and liver. *Biochemical and Biophysical Acta*. 1163: 176–184.
- Burk, R. F. – Hill, K. A. E.: 1994. Selenoprotein P. A selenium-rich extracellular Glycoprotein. *J. Nutr*. 124: 1891–1897.
- Burk, R. F.: 2002. Selenium, an antioxidant nutrient. *Nutrition in Clinical Care*. 5: 75–79.
- Cannon, H. G.: 1964. Geochemistry of rocks and related soils and vegetation in the Yellow Cat area, Grand County, Utah. United States Geological Survey. *Bulletin*. 1176.
- Cartes, P. – Gianfreda, L. – Mora, M. L.: 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*. 276: 359–367.

- Chen, X. S. – Yang, G. Q. – Chen, J. S. – Chen, X. C. – Wen, Z. M. – Ge, K. Y.: 1980. Studies on the relations of selenium and Keshan disease. *Biological trace element research*. 2. (2): 91–107.
- Chortyk, O. T. – Chaplin, J. F. – Schlotzhauer, W. S.: 1984. Growing selenium enriched tobacco. *J. Agric. Food Chem.* 32: 64–68.
- Clark, L. C. – Cantor, K. P. – Allaway, W. H.: 1991. Selenium in forage crops and cancer mortality in United States counties. *Archives of Environmental Health*. 46: 37–42.
- Clark, L. C. – Combs, G. F. – Turnbull, B. W. – Slate, E. H. – Chalker, D. K. – Chow, J. – Davis, L. S. – Glover, R. A. – Graham, G. F. – Gross, E. G. – Krongrad, A. – Lesher, J. L. – Park, H. K. – Sanders, B. B. – Smith, C. L. – Taylor, J. R.: 1996. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*. 276: 1957–1963.
- Clark, L. C. – Dalkin, B. – Krongrad, A. – Combs, G. F. – Turnbull, B. W. – Slate, E. H. – Witherington, R. – Herlong, J. H. – Janosko, E. – Carpenter, D. – Borosso, C. – Falk, S. – Rounder, J.: 1998. Decreased incidence of prostate cancer with selenium supplementation: results of double blind cancer prevention trial. *British Journal of Urology*. 81: 730–734.
- Clayton, C. C. – Bauman, C. A.: 1949. Diet and azo dye tumors: effect of diet during a period when the dye is not fed. *Cancer Research*. 9: 575–580.
- Combs, G. F. – Combs, S. B.: 1986. Chemical aspects of selenium. The role of selenium in nutrition. San Diego, CA. Academic Press. 1–8.
- Combs, G. F. – Gray, W. P.: 1998. Chemopreventive agents: selenium. *Pharmacology és Therapeutics*, 79: 179–192.
- Combs, G. F.: 2001. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*. 85: 517–547.
- Combs, G. F.: 2005. Current evidence and research needs to support a health claim for selenium and cancer prevention. *Journal of Nutrition*. 135: 343–347.
- Cone, J. E. – Del Rio, M. R. – Davis, J. N. – Stadtman T. C.: 1976. Chemical characterization of the selenoprotein component of clostridial glycine reductase

- identification of selenocysteine as the organoselenium moiety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 73: 2659–2663.
- Craig, P. J.: 1986. Organometallic compounds in the environment. *Longman Group Ltd.*. London. 255–277.
- Cser, M. Á. – Sziklai-László, I.: 1998. A szelén szerepe a humán medicinában. In: *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. (Szerk. Cser, M. Á. – Sziklai-László, I.) Budapest. 28–46.
- Cuvaradic, M. S.: 2003. Selenium in soil. *Proceed. Natur. Sci.* 104: 23–37.
- Darcheville, O. – Fevrier, L. – Haichar, F. Z. – Berge, O. – Martin-Garin, A. – Renault, P.: 2008. Aqueous, solid and gaseous partitioning of selenium in an oxic sandy soil under different microbiological states. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99: 981–992.
- Dhillon, K. S. – Dhillon, S. K.: 1999. Adsorption–desorption reactions of selenium in some soils of India. *Geoderma*. 93: 19–31.
- Dhillon, S. K. – Hundal, B. K. – Dhillon, K. S.: 2007. Bioavailability of selenium to forage crops in a sandy loam soil amended with Se-rich plant materials. *Chemosphere*. 66: 1734–1743.
- Díaz, J. P. – Navarro, M. – López, H. – López, M. C.: 1996. Selenium (IV) and (VI) levels in potable, irrigation and waste waters from an industrial zone in southeastern Spain. *Science of the Total Environment*. 186: 231–236.
- Domokosné Szabolcsy, É.: 2011. Szervetlen szelénmódosulatók biológiai hatásának és a fortifikáció lehetőségeinek tanulmányozása növényi rendszerekben. *Doktori disszertáció*. Debreceni Egyetem. 137.
- Duckart, E. C. – Waldron, L. J. – Donner, H. E.: 1992. Selenium uptake and volatilization from plants growing in soil. *Soil Sci.* 53: 94–99.
- Duffield, A. J. – Thomson, C. D. – Hill, K. E. – Williams, S.: 1999. An estimation of selenium requirements for New Zealanders. *Am. J. Clin. Nutr.* 70: 896–903.
- Dworkin, B. M.: 1994. Selenium deficiency in HIV infection and the acquired immunodeficiency syndrome (AIDS). *Chem. Biol. Interact.* 91. (2–3). 181–186.
- Eurola, M. H. – Ekholm, P. I. – Ylinen, M. – Koivistoinen, P. E. – Varo, P. T.: 1991. Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate supplemented fertilizers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 56: 57–70.

- Eurola, M. H. – Ekholm, P. I. – Ylinen, M. – Koivistoinen, P. E. – Varo, P. T.*: 1990. Effects of selenium fertilization on the selenium content of cereal grains, flour, and bread produced in Finland. *Cereal Chemistry*. 67: 334–337.
- Fairweather-Tait, S. J.*: 1997. Bioavailability of selenium. *European Journal of Clinical Nutrition*. 51: S20–S23.
- Fan, M. S. – Zhao, F. J. – Poulton, P. R. – McGrath, S. P.*: 2008. Historical changes in the concentrations of selenium in soil and wheat grain from the Broadbalk experiment over the last 160 years. *Science of the Total Environment*. 389: 532–538.
- FAO, WHO*: 2001. Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Health Organization. Food and Nutrition Division FAO Rome. 15: 235–250.
- Finley, J. W. – Penland, J. G.*: 1998. Adequacy or deprivation of dietary selenium in healthy men: clinical and psychological findings. *Journal of Trace Elements in Medicine*. 11: 11–27.
- Fleming, G. A.*: 1962. Selenium in Irish soils and plant. *Soil Science*. 91: 28–35.
- Fleming, G. A.*: 1980. Essential micronutrients II: iodine and selenium. In: *Davis, B. E.* (ed.). *Applied soil trace elements*. Wiley, New York. 199–234.
- Forceville, X.*: 1998. Selenium, systemic immune response syndrome, sepsis, and outcome in critically ill patients. *Critical Care Medicine*. 26 (9): 1536–1544.
- Fordyce, F. M. – Zhang, G. – Green, K. – Liu, X.*: 2000. Soil, grain and water chemistry in relation to selenium-responsive diseases in Enshi District, China. *Appl Geochem*. 15: 117–132.
- Fordyce, F. M.*: 2013. Selenium deficiency and toxicity in the environment., *Essentials of Medical Geology*. 375–416.
- Fordyce, F.*: 2005. Selenium deficiency and toxicity in the enviroment. In. *Seleniu, O.* *Essentials of medical geology*. Elsevier, 373-415.
- Fox, T. E. – Atherton, C. – Dainty, J. R. – Lewis, D. J. – Langford, N. J. – Baxter, M. J. – Crews, H. M. – Fairweather-Tait, S. J.*: 2005. Absorption of selenium from wheat, garlic, and cod intrinsically labeled with Se-77 and Se-82 stable isotopes. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 75: 179–186.
- Frankel, E. N.*: 1998. Lipid oxidation. *The Oily Press*. Dundee. 187–225.

- Fraústo da Silva, J. J. R. – Williams, R. J. P.: 1993. The Biological Chemistry of the Elements. Clarendon Pres., Oxford. 1–450.
- Garbisu, C. – Gonzalez, S. – Yang, W. H. – Yee, B. C. – Carlson, D. L. – Yee, A. – Smith, N. R. – Otero, R. – Buchanan, B. B. – Leighton, T.: 1995. Physiological mechanisms regulating the conversion of selenite to elemental selenium by *Bacillus subtilis*. *Biofactors*. 5: 29–37.
- Gattow, G. – Heinrich, G.: 1964. Thermochemistry of selenium. II. Conversions of crystalline selenium modifications. III. Conversion of amorphous selenium modifications. *Z. Anorg. Allg. Chem.* 331: 256–288.
- Gawalko, E. J. – Garrett, R. G. – Nowicki, T. W.: 2001. Trace elements in western Canadian hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.): levels and quality assurance. *J Assoc Anal Intl.* 84: 1953–1963.
- Geering, H. R. – Cary, E. E. – Jones, L. H. P. – Allaway, W. H.: 1968. Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 35–40.
- Girling, C. A.: 1984. Selenium in agriculture and environment. *Agric Ecosys. Env.* 11: 37–65.
- Gissel-Nielsen, G. – Gupta, U. C. – Lamand, M. – Westermarck, T.: 1984. Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. *Advances in Agronomy*. 37: 397–460.
- Gladyshev, V. N. – Jeang, K. T. – Stadtman, T. C.: 1996. Selenocysteine, identified as the penultimate C terminal residue in human T-cell thioredoxin reductase, corresponds to TGA in the human placental gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 93: 6146–6151.
- Gladyshev, V. N. – Kryukov, G. V.: 2001. Evolution of selenocysteine-containing proteins: significance of identification and functional characteritation of selenoproteins. *Biofactors*. 14: 87–92.
- Golubkina, N. A. – Alfthan, G. V.: 1999. The human selenium status in 27 regins of Russia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 13: 15–20.
- Gómez-Ariza, J. L. – Pozas, J. A. – Giraldez, I. – Morales, E.: 1998. Speciation of volatile forms of selenium and inorganic selenium in sediments by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 823: 259–277.

- Gondi, F.: 1991. Environmental geochemistry: the example of selenium. In: Pais, I. Ed.: *Cycling of nutritive elements in geo- and biosphere*. KÉE. Budapest. 5–18.
- Guo, X. – Wu, L.: 1998. Distribution of free seleno-amino acids in plant tissue of *Melilotus indica* L. grown in selenium-laden soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 39: 207–214.
- Gupta, U. C. – Watkinson, K. B.: 1985. Agricultural significance of selenium. *Qutl. Agric.* 14: 183–189.
- Gupta, U. C.: 1995. Effects of Selcote® ultra and sodium selenate (laboratory versus commercial grade) on selenium concentration in feed crops. *Journal of Plant Nutrition*. 18: 1629–1636.
- Hahn, M. H. – Kuennen, R. W. – Caruso, J. A. – Fricke, F. L.: 1981. Determination of trace amounts of selenium in corn, lettuce, potatoes, soybeans, and wheat by hydrid generation/condensation and flame atomic absorption spectrometry. *J. Agric. Food. Chem.* 82: 1160–1165.
- Hamdy, A. A. – Gissel–Nielsen, G.: 1997. Fixation of selenium by clay minerals and iron oxides. *Zeitung für Pflanzenernaehr Bodenkunde*. 140: 63–70.
- Hartikainen, H.: 2005. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*. 18: 309–318.
- Hartil, M.: 2004. Geographic distribution of geologically bioavailable selenium: correlations with health and disease. *Denver Annual Meeting. Geological Society of America. Abstracts with Programs*. 36. 5. 46.
- Haug, A. – Graham, R. D. – Christophersen, O. A. – Lyons, G. H.: 2007. How to use the world's scarce selenium resources efficiently to increase the selenium concentration in food. *Microb. Ecol. Health Dis.* 19: 209–228.
- Hawkesford, J. M. – Zhao, F. J.: 2007. Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Science*. 46: 282–292.
- Holben, D. H. – Smith, A. M.: 1999. The diverse role of selenium within selenoproteins: a review. *Journal of the American Dietetic Association*. 99: 836–843.
- Hopper, J. L. – Parker, D. R.: 1999. Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. *Plant and Soil*. 210: 199–207.

- Hornsby P. J. – Crivello J. F.: 1983. The role of lipid peroxidation and biological antioxidants in the function of the adrenal cortex. Part. 1: A background review. *Molec. Cell. Endocrinol.* 30: 1–20.
- <http://vki.ejf.hu/letoltes/199/szabadon/TALAJTAN.doc>. (Lájer Konrád. Talajtan)
- Huang, B. – Zhang, J. – Hou, J. – Chen, C.: 2003. Free radical scavenging efficiency of Nano-Se in vitro. *Free Rad. Biol. Med.* 35: 805–813.
- Hurd-Karrer, A. M.: 1935. Factors affecting the absorption of selenium from soils by plants *J. Agr. Res.* 50: 413–427.
- Ip, C. – Ganther, H. E.: 1992. Comparison of selenium and sulfur analogs in cancer prevention. *Carcinogenesis.* 13: 1167–1170.
- ISO. 10390-2005. Szabvány a talaj szervesanyag-tartalmának meghatározására.
- Jacobs, L. W.: 1989. Selenium in agriculture and the environment, *Soil Science Society of America. Special Publication* 23. SSSA, Madison. 1–213.
- Jakab S.: 2004. Termőföldünk az östelevény – talajismertető. *Mentor Marosvásárhely.* 116-222.
- Johnson, C. C – Ge, X – Green, K. A. – Liu, X.: 2000. Selenium distribution in the local environment of selected villages of the Keshan disease belt, Zhangjiakou district, Hebei province, People's Republic of China. *Appl. Geochem* 15: 385–401.
- Kabata-Pendias, A. – Pendias, H.: 1992. Trace elements in soils and plants. Second ed. *CRC Press.* Boca Raton. Florida. 315.
- Kádár I. – Németh T.: 2003a. Mikroelem-szennyezők kimosódásának vizsgálata szabadföldi terheléses tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 52. 315–330.
- Kádár I. – Németh T.: 2003b. Mikroelemek kilúgzása meszes csernozjom talajon. In: *Mikroelemek a táplálékláncban* (szerk.: Simon L. – Szilágyi M.). Bessenyei György Könyvkiadó. Nyíregyháza. 134–149.
- Kádár I. (1998): Szelén forgalma a talaj–növény rendszerben. In: *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben.* (Szerk.: Cser, M. – Sziklainé, L. I.) Budapest. 6-19.
- Kádár I.: 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. *Regiocon Nyomda. Kompolt. Budapest.* 388.

- Kádár I.: 1999. Szelénforgalom a talaj–növény rendszerben. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 233–242.
- Kádár I.: 2006. Mikroelem-terhelés hatása a lucernára karbonátos csernozjom talajon. *Kézirat*. 1–18.
- Kádár I.: 2011: Mikroelem-terhelés hatása a búzára (*Triticum aestivum* L.) karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*. 60. 1. 43–60.
- Kádár I.: 2012. A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. *Talajtani és Agrokémiai Intézet*, Budapest. 359.
- Kádár, I.: 1998. Szelén forgalma a talaj–növény rendszerben. (Szerk.: Cser, M. – Sziklainé, L. I.). *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Budapest. 20–27.
- Kápolna, E.: 2006. Szeléntartalmú élelmiszerek és étrendkiegészítők biológiai hasznosulásának vizsgálata. *Doktori disszertáció*. Szent István Egyetem, Alkalmazott Kémiai Tanszék. Budapest. 137.
- Karag, E. – Németh, I. – Ferke, A. – Hajdú, J. – Pintér, S.: 1998. A vörösvértest szelén és antagonistá nyomelemek, valamint a plazma antioxidánsok koncentrációja és összefüggése érett újszülöttek köldökzsinór vérében. . (Szerk.: Cser, M. – Sziklainé, L. I.). *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Budapest. 112–114.
- Kessi, J. – Ramuz, M. – Wehrli, E. – Spycher, M. – Bachofen, R.: 1999. Reduction of selenite and detoxification of elemental selenium by the phototropic bacterium *Rhodospirillum rubrum*. *App. Envir. Microbiol.* 65: 4734–4740.
- Kobayashi, Y. – Ogra, Y. – Ishiwata, K. – Takayama, H. – Aimi, N. – Suzuki, K. T.: 2002. Selenosugars are key and urinary metabolites for selenium excretion within the required to low-toxic range. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99: 15932–15936.
- Kotrebai, M. – Birringer, M., Tyson, J. F. – Block, E. – Uden, P. C.: 2000. Selenium speciation in enriched and natural samples by HPLC-ICP-MS and HPLC-ESI-MS with perfluorinated carboxylic acid ion-pairing agents. *Analyst*. 125: 71–78.
- Kryukov, G. V. – Castellano, S. – Novoselov, S. V. – Lobanov, A. V. – Zehtab, O. – Guigo, R. – Gladyshev, V. N.: 2003. Characterization of mammalian selenoproteins. *Science*. 300: 1439–1443.

- Lăcătușu R. – Lungu, M. – Aldea, M. M. – Lăcătușu, R. – Stroe, V. M – Rizea, N. – Lazăr, R.: 2010. Selenium in rock-soil system in the South-Eastern part of Romania. *Journal of Agricultural Sciences*. 42. (4): 199-204.
- Lăcătușu, R. – Stanciu-Burileanu, M. M. – Lungu, M. – Rîșnoveanu, I. – Rizea, N. – Lazăr, R. – Calciu, I. –, Eftene. A. – Stroe, M. V.: 2013. Selenium in some sandy soils of Southern Oltenia Romania. *Soil Science*. 47. (2): 5-22.
- Lăcătușu, R. – Stanciu-Burileanu, M. M. – Rîșnoveanu, I. – Lungu, M. – Rizea, N. – Lăcătușu, A. R. – Lazăr, R.: 2012. Selenium in Salsodisols located in the Călmățui and Buzău rivers Valleys. *Factori și procese pedogenetice în zona temperată*. 11. (1): 33-42.
- Lachance, P. A. – Nakat, Z. – Jeong, W. S.: 2001. Antioxidants: An integrative approach. *Nutrition*. 17: 835–838.
- Láng, F.: 2002. Növényélettan. *ELTE Eötvös Kiadó*. Budapest.
- Lapenna, D. – De Gioia, R. A. – Ciofani, G. – Mezzetti, A. – Ucchino, S. – Calafiore, M. – Napolitamoo, A. M. – Di Ilio, C. – Cuccurullo, F.: 1998. Glutathione-related antioxidant defences in human atherosclerotic plaques. *Circulation*. 97. 1930–1934.
- Läuchli, A. 1993: Selenium in plants: uptake, functions and environmental toxicity. *Botanica Acta*. 106: 455–468.
- Lavado, R. S. – Porcelli, C. A. – Alvarez, R.: 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Environment*. 232: 185–191.
- Leggett, J. E. – Epstein, E.: 1956. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. *Plant Physiology*. 31: 222–226.
- Levander, O. A. – Beck, M. A.: 1997. Interacting nutritional and infectious etiologies of Keshan disease. Insights from Coxsackie virus B-induced myocarditis in mice deficient in selenium or vitamin E. *Biological Trace Element Research*. 56: 1. 5–21.
- Li, S. – Shen, Y. – Xie, A. – Yu, X. – Zhang, X. – Yang, L. – Li, C.: 2007. Rapid, room-temperature synthesis of amorphous selenium/protein composites using *Capsicum annum* L extract. *Nanotech*. 18: 136–141.
- Lindberg, P.: 1968. Selenium determination in plant and animal material, and in water. A methodological study. *Acta Veterinaria Scandinavica, Suppl.* 23. 1–48.

- Lobinski, R. – Edmonds, J. S. – Suzuki, K. T.: 2000 Species-selective determination of selenium compounds in biological materials. *Pure Appl. Chem.* 72: 447–461.
- Lungu, M. – Lăcătușu, A. R. – Stanciu-Burileanu, M. M. – Lazăr, R. – Rizea, N. – Stroe, M. V.: 2013. Selenium mobility in some soils of Romania. *Soil Forming Factors and Processes from the Temperate Zone* 12, 2. 9–15
- Lyons, G. – Ortiz-Monasterio, I. – Stangoulis, J. – Graham, R.: 2005c. Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil*. 269: 369–380.
- Lyons, G. H. – Genc, Y. – Stangoulis, J. C. R. – Palmer, L. T. – Graham, R. D.: 2005a. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. *Biological Trace Element Research*. 103: 155–168.
- Lyons, G. H. – Judson, G. J. – Ortiz-Monasterio, I. – Genc, Y. – Stangoulis, J. C. R. – Graham, R. D.: 2005b. Selenium in Australia: selenium status and biofortification of wheat for better health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 19: 75–82.
- MacPherson, A. – Barclay, M. N. I. – Scott, R. – Yates, R. W. S.: 1997. Loss of Canadian wheat imports lowers selenium intake and status of the Scottish population. In: Fischer, P. W. F. – Abbe, M. R. L. – Cockell, K. A. – Gibson, R. S. (eds.). *Trace elements in man and animals-9. National Research Council Press, Ottawa*. 203–205.
- Mäkelä, A. L. – Wang, W. C. – Hamalainen, M. – Nanto, V. – Laihonon, P. – Kotilainen, H. – Meng, L. X. – Makela, P.: 1995. Environmental effects of nationwide selenium fertilization in Finland. *Biological Trace Element Research*. 47: 289–298.
- Mándoki, Zs. – Albert, Cs. – Pohn, G. – Salamon, Sz. – Csapó-Kiss, Zs. – Csapó, J.: 2008. Separation and determination of selenoamino acids in foods and feeding stuffs by ion-exchange chromatography. *Krmiva 2008. 15th International Conference*. Croatia, Opatija. 2008. jún. 2–5. 90.
- Mark, S. D.: 1998. Do nutritional supplements lower the risk of stroke or hypertension? *Epidemiology*. 9. (1): 9–15.
- Martens, D. A. – Suarez, D. L.: 1999. Transformations of volatile methylated selenium in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 1355–1361.

- Mayland, H. F. – James, L. F. – Panter, K. E. – Sonderegger, J. L.: 1989. Selenium in seleniferous environments. In: Jacobs, L. W. (ed.). *Selenium in Agriculture and the Environment*. SSSA Special Publication. *Soil Science of America and American Society of Agronomy*. Madison. WI. 15–50.
- Mayland, H. F.: 1986. Selenium in soils and plants. In: *Selenium Responsive Diseases in Food Animals. Proceedings, Western States Veterinary Conference*. Schering Corporation. Kenilworth, NJ. 5–10.
- Mayland, H. F.: 1994. Selenium in plant and animal nutrition. In: Frankenberger W. T. – Benson, S. (ed.). *Selenium in the environment*. Marcel-Dekker, New York. 29–34.
- McKenzie, R. S. – Rafferty, T. S. – Beckett, G. J.: 1998. Selenium: an essential element for immune function. *Immunol. Today*. 19: 342–345.
- McLaughlin, M. J. – Parker, D. R. – Clake, J. M.: 1999. Metals and micronutrients-food safety issues. *Field Crops Research*. 60: 143–163.
- McNeal, J. M. – Balistrieri, L. S.: 1989. Geochemistry and occurrence of selenium: an overview. In: Jacobs, L. W., (ed.). *Selenium in Agriculture and the Environment*, SSSA Special Publication No. 23. *Soil Science of America and American Society of Agronomy*. Madison. WI. 1–13.
- McSheehy, S. – Yang, W. – Pannier, F. – Szpunar, J. – Lobinski, R. – Auger, J. – Potin-Gautier, M.: 2000. Speciation analysis of selenium in garlic by two-dimensional high-performance liquid chromatography with parallel inductively coupled plasma mass spectrometric and electrospray tandem mass spectrometric detection. *Analytica Chimica Acta*. 421: 147–153.
- Meister, A. – Anderson, M. E.: 1983. Glutathione. *Annual Review of Biochemistry*. 52: 711–747.
- Meltzer, H. M. – Bibow, K. – Paulsen, I. T. – Mundal, H. H. – Norheim, G. – Holm, H.: 1993. Different bioavailability in humans of wheat and fish selenium as measured by blood platelet response to increased dietary Se. *Biological Trace Element Research*. 36: 229–241.
- Michalke, B. – Witte, H. – Schramel, P.: 2001. Developments of a rugged method for selenium speciation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 16: 6. 593.

- Michalke, B.: 1995. Capillary electrophoresis methods for a clear identification of seleno amino acids in complex matrices like human milk. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 351: 670–677.
- Mikkelsen, R. L. – Page, A. L. – Bingham, F. T.: 1989. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In: *Jacobs, L. W. (ed.), Selenium in Agriculture and the Environment*, SSSA Special Publication No. 23 *Soil Science of America and American Society of Agronomy*, Madison, WI, 65–94.
- Mikkelsen, R. L. – Wan, H. F.: 1990. The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. *Plant and Soil*. 121: 151–153.
- Mills, G. C.: 1957. Hemoglobin catabolism. I. Glutathione peroxidase, an erythrocyte enzyme which protects hemoglobin from oxidative breakdown. *J. Biol. Chem.* 229: 189–197.
- Molnárová, M. – Fargasová, A.: 2009. Se (IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapsis alba* L., *Brassica napus* L.). *J. Hazard. Mat.* 172: 854–861.
- Moreno, P. – Quijano, M. A. – Gutierrez, A. M. – Perez-Conde, M. C. – Camara, C.: 2004. Study of selenium species distribution in biological tissues by size exclusion and ion exchange chromatography inductively coupled plasma–mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 524: 315–327.
- Murphy, J. – Cashman, K. D.: 2001. Selenium content of a range of Irish foods. *Food Chemistry*. 74: 493–498.
- Navarro-Alarcón, M. – López-Martínez, M. C.: 2000. Essentiality of selenium in the human body: relationship with different diseases. *The Science of the Total Environment*. 249: 347–371.
- Neal, R. H. – Sposito, G. – Holtzclaw, K. M. – Traina, S. J.: 1987a. Selenite adsorption on alluvial soils: I. Soil composition and pH effects. *Journal of Soil Science Society of America*. 51: 1161–1165.
- Neal, R. H. – Sposito, G. – Holtzclaw, K. M. – Traina, S. J.: 1987b. Selenite adsorption on alluvial soils: II. Solution composition effects. *Journal of Soil Science Society of America*. 51: 1165–1169.

- Neal, R. H. – Sposito, G.: 1989. Selenate adsorption on alluvial soils. *Journal of Soil Science Society of America*. 53: 70–74.
- Neal, R. H.: 1995. Selenium. In: Alloway, B. J. (ed.). Heavy metals in soils. *Blackie Academic & Professional*. London. 260–283.
- Nelson, A. A., Fitzhugh, O. G., Calvery, H. O.: 1943. Liver tumors following cirrhosis caused by selenium in rats. *Cancer Reserach*. 3. 230-236.
- Németh, T. – Kádár, I.: 2005. Leaching of microelement contaminants: a long-term field study. *Z. Naturforsch.* 260–264.
- Nowak, J. – Kaklewsky, K. – Ligocki, M.: 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology & Biochemistry*. 36: 1553–1558.
- Oldfield, J. E.: 1999. Selenium World Atlas. Selenium–Tellurium Development Association, Grimbergen. Belgium. 83.
- Oremland, R. S. – Herbel, M. J. – Blum, J. S. – Langley, S. – Beveridge, T. J. – Ajayan, P. M. – Sutto, T. – Ellis, A. V. – Curran, S.: 2004. Structural and spectral features of selenium nanospheres produced by Se-respiring bacteria. *App. Env. Micr.* 70: 52–60.
- Patócs, I.: 1990. Occurance of heavy metals, toxic elements in the soils of Hungary. In: Pais, I. (ed.). Hardly known trace elements. KÉE. Budapest. 19–30.
- Prokisch, J. – Zommara, M.: 2008. Process for producing elemental selenium nanospheres. Date of Receipt: 15 July 2008. Receiving Office: International Bureau of the World Intellectual Property Organization. Your Reference. (Patents) 104315.
- Pyrzynska, K.: 2002. Determination of selenium species in environmental samples. *Microchim. Acta*. 140: 55–62.
- Rasmussen, L. B. – Hollenbach, B. – Laurberg, P. – Carlé, A. – Hög, A. – Jorgensen, T. – Vejbjerg, P. – Ovesen, L. – Schomburg, L.: 2009. Serum selenium and selenoprotein P status in adult Danes-8-year followup. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 23: 265–271.
- Rayman, M. P.: 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet*. 356: 233–241.
- Rayman, M. P.: 2002. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*. 61: 203–215.
- Reilly, C.: 1996. Too much of a good thing? The problem of trace element fortification of foods. *Trends in Food Science & Technology*. 7.(4): 139–142.

- Romero-Alvira, D. – Roche, E.: 1998. The keys of oxidative stress in acquired immune deficiency syndrome apoptosis. *Medical Hypotheses*. 51.(2): 169–73.
- Rotruck, J. T. – Ganther, H. E. – Swanson, A. B. – Hafeman, D. G. – Hoekstra, W. G.: 1973. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*. 179: 588–590.
- Ryssen, J. B. J.: 2001. Geographical distribution of the selenium status of herbivores in South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.* 31: 1–8.
- Schrauzer, G. N.: 2003. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Advances in Food and Nutrition*. 47: 73–112.
- Schwarz, K. – Foltz, C. M.: 1957. Selenium as an integral part of Factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*. 79: 3292–3293.
- Scott, R. C. – Voegeli, P.T.: 1961. Radiochemical analysis of ground and surface water in Colorado. *Colorado Water Conservation Board* (Basic Data Report 7).
- Shamberger, R. J. – Rudolph, G.: 1966. Protection against cocarcinogenesis by antioxidants. *Experientia*. 22: 116.
- Shand, C. – Coutts, G. – Duff, E. – Atkinson, D.: 1992. Soil selenium treatments to ameliorate selenium deficiency in herbage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 59: 27–35.
- Sherman, L. R. – Black, S.: 1993. Philippus Theophrastus Aureolus Bombastus Paracelsus von Hohenheim (1493–1541). *J. Nutr. Immunol.* 2: 95–106.
- Sillanpää, M. – Jansson, H.: 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries. *FAO Soils Bulletin*. Rome. 65.
- Sima, P. – Gissel-Nielsen, G.: 1985. Spraying of crops with selenium. *Acta Agr. Scand.* 35: 161–164.
- Simon, L. – Bíró, B. – Széles, É. – Balázsy, S.: 2007. Szelén fitoextrakciója és mikrobacsoportok előfordulása szennyezett talajokban. *Agrokémia és Talajtan*. 56. (1): 161–172.
- Simon, L. – Széles, É. – Kovács, B. – Prokisch, J. – Győri, Z.: 2006. Phytoextraction of selenium from contaminated soils with Indian mustard, fodder radish and alfalfa. In: *Proceedings of the International Symposium on Trace Elements in the Food Chain*. Budapest, May 25-27, 2006. (Ed.: Szilágyi, M. – Szentmihályi K.). *Working Committee*

- on Trace Elements of the Complex Committee Hungarian Academy of Sciences and Institute of Material and Environmental Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest, Hungary. 40–44.
- Simon, L.: 2004. Fitoremediáció. *Környezetvédelmi Füzetek. Budapest.* 17–25.
- Singh, B. R.: 1991. Selenium content of wheat as affected by selenate and selenite contained in a Cl-based or SO₄-based NPK fertilizer. *Fertilizer Research.* 30: 1–7.
- Skinner, C. P.: 1999. Environmental Chemistry of Selenium. *Soil Science Society of America Journal.* 164: 70–72.
- Smith, M. J. – Westfall, B. B.: 1937. Further field studies on the selenium problem in relation to public health. *United States Public Health Report.* 52. 1375–1384.
- Stadlober, M. – Sager, M. – Irgolik, K. J.: 2001. Effects of selenate supplemented fertilisation on the selenium level of cereals – identification and quantification of selenium compounds by HPLC–ICP–MS. *Food Chemistry.* 73: 357–366.
- STAS-RO- Determinarea conținutului de apă. 9682-2-74.
- Stefanovits, P.: 1963. Magyarország talajai. *Akadémiai Kiadó, Budapest.*
- Stefanovits, P.: 1992. Talajtan. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*
- Stranges, S. – Marshall, J. R. – Trevisan, M. – Natarajan, R. – Donahue, R. P. – Combs, G. F. – Farinero, E. – Clark, L. C. – Reid, M. E.: 2006. Effects of selenium supplementation on cardiovascular disease incidence and mortality: secondary analyses in a randomized clinical trial. *American Journal of Epidemiology.* 163: 694–699.
- Stroea, V. M.: 2013. Selenium mobility in some soils of Romania. *Soil Forming Factors and Processes from the Temperate Zone.* 12. (2): 42-51.
- Surai, P. F.: 2002. Natural antioxidants in avian nutrition and reproduction. *Nottingham University Press. Nottingham.* 615.
- Szakács, S.: 2008. Oktatási segédlet. *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem. Kolozsvár.*
- Széles, É. – Kovács, B. – Prokisch, J. – Győri, Z.: 2006. Szelén-speciációs vizsgálatok talajmintákból ionkromatográffal összekapcsolt induktív csatolású plazma-tömegspektrométer (IC-ICP-MS) alkalmazásával. *Debreceni Egyetem Agrártudományi Közlemények. Acta Agraria Debreciensis. Különszám.* 23. 106–111.

- Széles, É.: 2007. Szelénvegyületek átalakulásának vizsgálata tartamkísérletből származó talaj- és növénymintákban. *Doktori disszertáció*. Debreceni Egyetem. Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet. 137.
- Tamura, T. – Stadtman, T. C.: 1996. A new selenoprotein from human lung adenocarcinoma cells: purification, properties, and thioredoxin reductase activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 93: 1006–1011.
- Tan, J. N. – Huang, Y. J.: 1991. Selenium in geo-ecosystem and its relation to endemic diseases in China. *Water Air and Soil Pollution*. 57–68.
- Tan, J. N.: 1989. The atlas of endemic diseases and their environments in the People's Republic of China. *Science Press*, Beijing. 194.
- Tapiero, H. – Townsend, D. M. – Tew, K. D.: 2003. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. *Biomed. Pharmacother.* 57: 134–144.
- Terry, N. – Bañuelos, G.: 2000. Phytoremediation of contaminated soil and water. *Boca Raton, London, New York, Washington D.C. Lewis. Publishers*. 64.
- Terry, N. – Zayed, A. M. – Desouza, M. P. – Tarun, A. S.: 2000. Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51: 401–432.
- Thomson, C. D.: 2004a. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 58: 391–402.
- Thomson, C. D.: 2004b. Selenium and iodine intakes and status in New Zealand and Australia. *British Journal of Nutrition*, 91: 661–672.
- Tomei, F. A. – Barton L. L. – Lemanski, C. L. – Zocco, T. G. – Fink, N. H. – Sillerud, L. O.: 1995. Transformation of selenate and selenite to elemental selenium by *Desulfovibrio desulfuricans*. *J. Ind. Micr. Biotech.* 14: 329–336.
- Turner, D. C. – Stadtman, T. C.: 1973. Purification of protein components of clostridial glycine reductase system and characterization of protein A, as a selenoprotein. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 154: 366–381.
- Tveitnes, S. – Singh, B. R. – Ruud, L.: 1996. Selenium concentration in spring wheat as influenced by basal application and top dressing of selenium-enriched fertilizers. *Fertilizer Research*. 45: 163–167.

- Varo, P. – Alfthan, G. – Ekholm, P. – Aro, A. – Koivistoinen, P.: 1988. Selenium intake and serum selenium in Finland: effect of soil fertilisation with selenium. *Am. J. Clin. Nutr.* 48: 324–329.
- Vendeland, S. C. – Beistein, M. A. – Chen, C. L. – Jensen, O. N. – Barofsky, E. – Whanger, P. D.: 1993. Purification and properties of selenoprotein W from rat muscle. *J. Biol. Chem.* 268: 17103–17107.
- Wang, D. H. – Alfthan, G. – Aro, A. – Makela, A. – Knuuttila, S. – Hammar, T.: 1995. The impact of selenium supplemented fertilization on selenium in lake ecosystems in Finland. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 54: 137–148.
- Wang, H. – Zhang, J. – Yu, H.: 2007. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: Comparison with selenomethionine in mice. *Free Radic Biol Med.* 42: 1524–1533.
- Wang, M. C. – Chen, H. M.: 2003. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three Taiwan soils. *Chemosphere*. 52: 585–593.
- Wang, Z. – Gao, Y.: 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments. *Applied Geochemistry*. 16: 1345–1351.
- Watkinson, J. H.: 1981. Changes of blood selenium in New Zealand adults with time and importation of Australian wheat. *American Journal of Clinical Nutrition*. 34: 936–942.
- Welsh, S. O. – Holden, W. – Wolf, W. R. – Levander, O. A.: 1981. Selenium in self-selected diets of Maryland residents. *J. Am. Diet Assoc.* 79: 277–285.
- Whanger, P. D. – Vendeland, S. C. – Gu, Q. P. – Beilstein, M. A. – Ream, L. W.: 1997. Selenoprotein W cDNAs from five species of animals. *Biomed. Environ. Sci.* 10: 190–197.
- Whanger, P. D.: 1994. Selenocompounds in plants and their effects on animals. In: Cheeke, P. R. (ed.). *Toxicant of plant origin*. Vol. III. CRC Press. Boca Raton. 142–163.
- Whanger, P. D.: 2001. Selenium and the brain: A review. *Nutritional Neuroscience*. 4: 81–97.
- Whanger, P. D.: 2002. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American College of Nutrition*. 21: 223–232.
- Whanger, P. D.: 2004. Selenium and its relationship to cancer: an update. *British Journal of Nutrition*. 91: 11–28.

- White, P. J. – Bowen, H. C. – Parmaguru, P. – Fritz, M. – Spracklen, W. P. – Spiby, R. E. – Meacham, M. C. – Mead, A. – Harriman, M. – Trueman, L. J. – Smith, B. M. – Thomas, B. – Broadley, M. R.: 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* 55: 1927–1937.
- Williams, M. C. – Mayland, H. F.: 1992. Selenium absorbtions by twogrooved milkveth and western wheathgrass from selenomethionine, selenocystine, and selenite. *J. Range Manage.* 45: 374–378.
- Wolnik, K. A. – Fricke, F. L. – Capar, S. G. – Braude, G. L. – Meyer, M. W. – Satzger, R. D. – Kuennen, R. W.: 1983. Elements in major raw agricultural crops in the United States. 2. Other elements in lettuce, peanuts, potatoes, soybeans, sweet corn, and wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 31: 1244–1249.
- Wu, L. – Huang, Z. Z.: 1992. Selenium assimilation and nutrient element uptake in white clover and tall fescue under the influence of sulfate concentration and selenium tolerance of the plants. *Journal of Experimental Botany.* 43: 549–555.
- Xiao-Zhang, Y., – Ji-Dong, G.: 2008. Differences in uptake and translocation of selenate and selenite by the weeping willow and hybrid willow. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 15: 499–508.
- Yang, G. Q. – Xia, Y. M.: 1995. Studies on human dietary requirements and a safe range of dietary intakes of selenium and their application in the prevention of related endemic diseases. *Biomedical and Environmental Sciences.* 8: 187–201.
- Yasumoto, K. – Suzuki, T. – Yoshida, M.: 1988. Identification of selenomethionine in soybean protein. *J. Agric. Food Chem.* 36: 463–467.
- Ylärinta, T.: 1990. The selenium content of some agricultural crops and soils before and after the addition of selenium to fertilizers in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae.* 29: 131–139.
- Yokota, A. – Shigeoka, S. – Onishi, T. – Kitaoka, S.: 1988. Selenium as inducer of glutathione peroxidase in low-CO₂-grown *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiol.* 86: 649–651.
- Zayed, A. – Lytle, C. M. – Terry, N.: 1998. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta.* 206: 284–292.

- Zhang, J. S. – Gao, X. Y. – Zhang, L. D. – Bao, Y. P.: 2001. Biological effects of a nano red elemental selenium. *Biofactors* 15: 27–38.
- Zhang, Y. L. – Pan, G. X. – Chen, J. – Hu, Q. H.: 2003. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. *Plant and Soil*. 253: 437–443.
- Zhao, F. J. – Lopez-Bellido, F. J. – Gray, C. W. – Whalley, W. R. – Clark, L. J. – McGrath, S. P.: 2007. Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grain. *Science of the Total Environment*. 372: 433–439.
- Zhao, F. J. – McGrath, S. P.: 2009. Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion in Plant Biology*. 12: 373–380.

12. PUBLIKÁCIÓ AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/174/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tamás Melinda

Neptun kód: DNKSZB

Doktori Iskola: Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszer tudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

1. **Tamás M.**, Mándoki Z., Márton M., Mészáros S., Lányi S., Salamon R.V., Salamon S., Albert C., Csapó J.: Különböző őszibúza (*Triticum aestivum* L.) hajtás és búzaszem összesszelén- és szervesszelén-tartalma.
Acta agrar. Kvár. 15 (1), 67-84, 2011. ISSN: 1418-1789.
2. **Tamás M.**, Mándoki Z., Csapó J.: A szelén szerepe az emberi táplálkozásban: A búza szeléntartalmának elemzése (Irodalmi áttekintés).
Acta agrar. Kvár. 15 (1), 45-66, 2011. ISSN: 1418-1789.
3. **Tamás M.**, Mándoki Z., Márton M., Mészáros S., Lányi S., Csapó J.: Különböző talajtípusokon termesztett búzafű (*Triticum aestivum* L.) és búzamaz szeléntartalma összefüggésének vizsgálata.
Agrártud. Közl. 41, 117-121, 2010. ISSN: 1587-1282.

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

4. **Tamás M.**, Mándoki Z., Márton M., Mészáros S., Lányi S., Csapó J.: Különböző talajtípusokon termesztett búza (*Triticum aestivum* L.) összes és szerves szelén tartalma közötti összefüggés.
Műszaki Szle. 13 (49), 36-40, 2010. ISSN: 1454-0746.
5. **Tamás M.**, Mándoki Z., Márton M., Mészáros S., Lányi S., Csapó J.: Különböző talajtípusokon termesztett búzafű (*Triticum aestivum* L.) és búzamaz szeléntartalma közötti összefüggés.
Műszaki Szle. 48, 47-50, 2009. ISSN: 1454-0746.



Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

6. **Tamás, M.**, Csapó, J., Craciun, M.E.: Examination of the Correlation Between Inorganic and Organic Selenium Content of Wheat Grass (*Triticum aestivum* L.) and Wheat Seeds Produced at Different Soil Types.
Rev. Chim. 66 (2), 153-157, 2015. ISSN: 0034-7752.
IF:0.81 (2014)
7. **Tamás, M.**, Csapó, J.: Examination of the selenium content of wheat grasses produced in different soil types in Csik Basin.
Acta Univ. Sap. Alimentaria. 8, 30-44, 2015. ISSN: 1844-881X.
8. **Tamás, M.**, Mándoki, Z., Csapó, J.: The role of selenium content of wheat in the human nutrition: A literature review.
Acta Univ. Sap. Alimentaria. 3, 5-34, 2010. ISSN: 1844-881X.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (1)

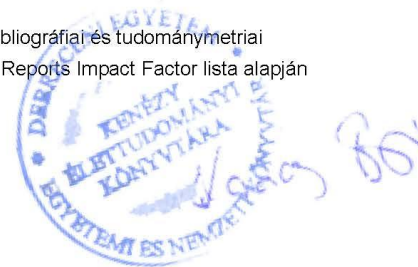
9. **Tamás M.**, Mándoki Z., Lányi S., Salamon R.V., Salamon S., András C., Csapó J.: Különböző talajtípusokon termesztett búza (*Triticum aestivum* L.) szeléntartalmának meghatározása.
In: XIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 119-123, 2008.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,81

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0,81

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, 2015.09.07.



13. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem, Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2015. 09. 16.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Tamás Melinda doktorjelölt 2008-2014 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2015. 09. 16.

.....
a témavezető(k) aláírása

14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet mindazoknak, akik ezen dolgozat elkészítéséhez segítséget nyújtottak:

- Témavezetőmnek, Prof. Dr. Csapó Jánosnak köszönöm a szakmai támogatást, valamint köszönöm, hogy ezen a témán dolgozhattam.
- A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Élelmiszer-tudományi Tanszék vezetőjének és kollegáinak, hogy biztosították számomra a megfelelő műszeres és anyagi háttérrel kutatásaimhoz és a konferenciákon való részvételekhez.
- TOPAS-MANAGEMENTUL DEFICITULUI DE SELENIU DIN ROMANIA - PNCDI. Programul 4 – Parteneriate in domeniile prioritare. Directia de cercetare: BIOTEHNOLOGII. Numarul alocat la inregistrarea on-line: 1447 Contract de finantare nr. 61-022 pályázat vezetőinek köszönöm, hogy ezen a témán dolgozhattam.
- Köszönetet szeretnék mondani, továbbá minden kedves tanítómnak, tanáromnak. Köszönet a Csíkszentkirályi Vitos Mózes általános iskola minden egyes tanárjának, akik közül kiemelném Csiszer Erzsébet kémia tanárnőt.
- Köszönet a Csíkszeredai Márton Áron Gimnázium oktatóinak, különösen Buzogány Teréz tanárnőnek.
- Köszönet a Babes-Bolyai Tudományegyetem Kémia-Fizika Kar magyar tagozatának és a Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori Iskola oktatóinak, akik oktattak, és a tanulmányaimat segítették.
- Köszönet illeti opponenseimet Prof. Dr. Posta József, Prof. Dr. Simon Lászlót is, fáradtságos és áldozatkész munkájukért, amellyel ezt a dolgozatot értékelték, s végleges formában való elkészülését javító szándékú, kritikai észrevételeikkel és hasznos tanácsaikkal segítették.
- Külön köszönet illeti családomat. Köszönöm Édesanyámnak és Édesapámnak (aki sajnos nincs már közöttünk), testvéreimnek, Attilának és Zoltánnak, akik tanulmányaim során mindenben támogattak. A férjemnek, Tamás Endrének, és a

gyerekeimnek is, Zoltánnak és Zalánnak, köszönöm a kitartó és nélkülözhetetlen lelki támogatás.

- Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a Magyar Állami Domusz Ösztöndíjnak és a Kolozsvári Kutatási Programok Intézetének az anyagi támogatásért.