

A szelénellátás hatása a kukorica és napraforgó növényekre

¹NAGY KINGA-²LÉVAI LÁSZLÓ-¹KOVÁCS BÉLA

Debreceni Egyetem, Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma

¹Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet

²Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytani és
Növényélettani Tanszékcsoport

Összefoglalás

A növények szeléntartalmát leginkább a talaj felvehető szeléntartalma befolyásolja. Számos európai országban, így Magyarországon is, a talajok szelénben meglehetősen szegények.

Kísérleteinkben, talajon (rizoboxos kísérlet) és tápoldaton, kontrollált körülmények között végzett szelénellátás hatását vizsgáltuk, egy egyszikű (kukorica), illetve egy kétszikű (napraforgó) növénynél. A rizoboxos és a tápoldatos kísérleteinkben a szelént szelenit (1, 10, 100 mg/kg), illetve szelenát (0,1, 1, 10 mg/kg) formában adagoltuk, a kontroll (Ø) növények nem kaptak szelén kezelést.

A Se-kezelések hatására a növények Se-tartalma jelentősen megemelkedett. Ez a növekedés a szelenát kezelés hatására intenzívebb volt, mint a szelenit kezelésnél, ugyanakkora koncentrációjú kezelések esetében. A kísérleti növények hajtásának és gyökerének külön történő vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a kukoricánál, és a napraforgónál a Se-koncentrációk nagyobbak voltak a gyökérben, mint a hajtásban. Ez arra utal, hogy a szelén akkumulációja intenzívebb volt a gyökerekben, miközben a hajtásba történő transzlokációja akadályozott.

A tápoldatban és rizoboxban (talajban), a szelenit és szelenát kezelés hatására a hajtásban a következő szeléntartalom növekedéseket tapasztaltunk:

1. Tápoldatban

	egyszikű (kukorica)	kétszikű (napraforgó)
szelenit kezelés hatására:	1176 [×] (0,461 és 542 mg/kg Se)	104 [×] (1,38 és 143 mg/kg Se)
szelenát kezelés hatására:	736 [×] (0,654 és 482 mg/kg Se)	221 [×] (2,97 és 656 mg/kg Se)

A zárójelben a legkisebb, azaz kontroll (Ø) és a legnagyobb, azaz szelenit esetén 100 mg/kg, míg szelenát esetén 10 mg/kg kezelést kapott növények hajtásának szelén tartalma található.

2. Rizoboxban

	egyszikű (kukorica)	kétszikű (napraforgó)
szelenit kezelés hatására:	45 [×] (0,736 és 32,8 mg/kg Se)	41 [×] (0,249 és 10,3 mg/kg Se)
szelenát kezelés hatására:	775 [×] (0,736 és 570 mg/kg Se)	859 [×] (0,249 és 214 mg/kg Se)

A zárójelben a legkisebb, azaz kontroll (Ø) és a legnagyobb, azaz szelenit esetén 100 mg/kg, míg szelenát esetén 10 mg/kg kezelést kapott növények hajtásának szelén tartalma található.

Kulcsszavak: szelén, kukorica, napraforgó, rizobox, tápoldat

The effect of selenium supply on maize and sunflower

¹K. NAGY–²L. LÉVAI–¹B. KOVÁCS

University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences and Engineering

¹Institute of Food Sciences, Quality Assurance and Microbiology

²Institute of Crop Sciences, Faculty Group of Agricultural Botany and
Plant Physiology

Summary

The Selenium content of crops is mainly determined by the accessible Selenium content of the soil. In Hungary – similarly to several European countries –, soils are rather Selenium-deficient.

In our experiments in soil ('rhizobox') and in nutrient solution, we examined the effect of Selenium supply under controlled conditions, using a monocotyledonous (maize) and a dicotyledonous (sunflower) crop. In the rhizobox and nutrient solution experiments, we applied Selenium in the forms of Selenite (1, 10, 100 mg kg⁻¹) and Selenate (0,1, 1, 10 mg kg⁻¹) respectively, whereas there was no Selenium treatment on the control crops (∅).

As a result of Se treatments, the Se contents of crops significantly increased. This increase was more intensive as a result of Selenate treatment in comparison with the Selenite treatment, considering identical concentrations in both cases. Based on the separate examinations of the shoots and roots of the experimental plants, we concluded that Se concentrations were higher in the root than in the shoot concerning both maize and sunflower. This phenomenon indicates that the accumulation of Selenium was more intensive in the roots, whereas its translocation into the shoot is blocked.

As a result of the Selenite and Selenate treatments both in the nutrient solution and the rhizobox (soil), we observed the following increases in Selenium content:

1) Nutrient solution

	monocotyledonous (maize)	dicotyledonous (sunflower)
as a result of selenite treatment:	1176× (0.461 and 542 mg kg ⁻¹ Se)	104× (1.38 and 143 mg kg ⁻¹ Se)
as a result of selenate treatment:	736× (0.654 and 482 mg kg ⁻¹ Se)	221× (2.97 and 656 mg kg ⁻¹ Se)

In parantheses, we indicated the Selenium contents of the shoots in the case of the lowest (control [∅]) and the highest (100 mg kg⁻¹ for Selenite and 10 mg kg⁻¹ for Selenate) treatments.

2) Rootbox		
	monocotyledonous (maize)	dicotyledonous (sunflower)
as a result of selenite treatment:	45× (0.736 and 32.8 mg kg ⁻¹ Se)	41× (0.249 and 10.3 mg kg ⁻¹ Se)
as a result of selenate treatment:	775× (0.736 and 570 mg kg ⁻¹ Se)	859× (0.249 and 214 mg kg ⁻¹ Se)

In parantheses, we indicated the Selenium contents of the shoots in the case of the lowest (control [Ø]) and the highest (100 mg kg⁻¹ for Selenite and 10 mg kg⁻¹ for Selenate) treatments.

Key words: Selenium, maize, sunflower, rhizobox, nutrient solution

Bevezetés és szakirodalmi áttekintés

A szelén az egész Föld felszínén jelen van: majdnem minden kőzetben, talajban, vízben. Elemi formában ritkán, többnyire szelénsav, szelénoxid, szelénsó (szelenit, szelenát) formában található meg (*Bankhofer 1994*).

A talaj szeléntartalma *Takács (2001)* szerint 0,1–10 µg/g. A szelénhiányos területeken 0,005–2,0 µg/g. Egyes seleniferous talajokban viszont akár több száz µg/g értéket is mértek (*Kádár 1998*). A termőtalajok világátalaga 0,4 mg/kg, hazai talajaink 0,3–0,6 mg/kg szelént tartalmaznak (*Simon 1999*). Számos tényező befolyásolja a Se-tartalmat, legmeghatározóbb a talaj anyaköze. A csapadék mennyiség is befolyásoló tényező, száraz talajokban nagyobb Se-értéket mértek (*Aubert és Pinta 1977*).

A Föld sok részén található olyan területek, ahol a talaj szeléntartalma erendően nagyon alacsony. Egyes területeken csak a későbbiekben alakult ki szelénhiány a túl sok műtrágya kontroll nélküli alkalmazása, és az ammónium-szulfáttal való túltrágyázás hatására. A talaj hirtelen kémiai változását okozhatják a savas esők, amelyek nagy mennyiségben kénsavat, valamint kéntartalmú fosszilis égéstermékeket juttatnak a talajba. A szelén ennek hatására leköttődik, és a növények számára felvehetetlen lesz (*Bankhofer 1994*). A talajok szeléntartalma

mikrobiális hatásra is csökkenhet, mivel a mikroorganizmusok a szelént képesek metilálni és illékonyvá tenni. Szelén kerülhet be a termőtalajainkba foszfor műtrágyákból, nyersfoszfátokból (*Simon* 1999).

A talajban a szelén mobilitását számos tényező befolyásolja: a talaj hőmérséklete, víztartalma, szerves anyag tartalma, az évszaki jellemzők, illetve a talajban lejátszódó mikrobiális tevékenységek. Savas, redukáló és szerves anyagban gazdag talajban a nem mobilis és felvehetetlen szelenid és elemi szelén, míg lúgos, oxidatív, szellőzött talajban, a szelenit és a szelenát oxidációs formák dominálnak, melyek mobilisak, felvehetőek és toxikusak is lehetnek. A szelenátok általában egy nagyságrenddel jobban felvehetőek a növények számára, mint a szelenitek, így mérgezőbbek is (*Kádár* 1998). A szelenát a szelénformák közül a legmobilisabb, ami a komponens nagy oldékonyságán és a talaj szemcséin való gyenge adszorpcióján alapszik. A jobb biológiai hozzáférhetőség miatt így a vízdékony szelén vegyületek a veszélyesebbek. Az elemi szelén sokkal kevésbé mobilis és oldékony, így az emberi szervezet számára ez a szelénforma nem jelent komolyabb mérgezési forrást (*Kápolna* 2006). A különböző Se-formák átalakulhatnak, egymásba átmehetnek, amennyiben a talajtulajdonságok megváltoznak, pl. elsavanyodnak (*Kádár* 1998).

„Szelénben szegény talajok nátrium-szelenáttal vagy szelenittel történő kezelése során igen körültekintően kell tehát eljárni, mivel a takarmánynövényekbe toxikus mennyiségű szelén kerülhet be. A szennyeződést elkerülendő, célszerű a szelénsókat a levelekre permetezni, vagy a magvakat szeléntartalmú oldatba áztatni” (*Simon* 1999).

A talajszennyezés kezelésére viszont jó megoldást jelenthet a fitoremediáció. A szelént intenzíven felhalmozni képes növényeket ültetnek a szennyezett területekre, és a növények eltávolításával, majd újbóli telepítésével lassan eltávolítják a szennyezést a talajból. Ez az eljárás olcsó, és az eddigi kísérletek alapján igen hatékony is (*Széles* 2007). A nagy szeléntartalmú növények további kezelése viszont újabb kérdéseket vet fel.

Mivel több európai országhoz hasonlóan, Magyarországon is, a talajok szelénben meglehetősen szegények, valamint a növény szeléntartalmát főként a talaj felvehető szeléntartalma szabja meg, továbbá a növényi eredetű élelmiszeripari termékek fogyasztásával biztosítható szelén bevitel csak töredéke a szükségesnek, ezért elengedhetetlen, hogy megvizsgáljuk a növények szelénfelvételét, növény-táplódat, valamint növény-talaj rendszer használatával.

A szelénellátás kutatásának egyik szegmense a tápanyagok szeléntartalmát befolyásoló tényezők vizsgálata. A kutatás komplex, és tudományágak együttműködését igényli.

A növények szeléntartalmát a növény fajtája, növekedési állapota, a talaj szelénellátottsága, és a Se kémiai formája határozza meg (Lteif et al. 2005). Csak a biológiailag elérhető formákat képes a növény felvenni a környezetből (Chengyi et al. 2005). A talaj szerves anyagához kötött szelén nem mobilis és csak egyes indikátor fajok számára felvehető. Ezek a növények Se-transzformátorok, elhalásuk után kiváló Se-forrásul szolgálnak a többi faj számára (Kádár 1998). A szelén átlagos mennyiségét a növényekben 0,01–2 µg/kg-ra becsülik (Kovács et al. 1998b).

A magasabb rendű növények számára a Se kis koncentrációban stimulatív, kedvező hatású mikroelem, de nem esszenciális (Simon 1999). Kádár (1998) szerint az előregedő növényekben a Se-koncentráció gyakran a tizedére csökken. Szelénfölsleg növekedésgátlást okoz, klorotikus tünetek alakulnak ki, feltételezhetően a növények kénanyagcseréjét zavarja meg (Simon 1999).

A növények a szerves szeléntartalmú vegyületet szerves szeléntartalmú vegyületté alakítják át, így az emberi szervezet számára is felhasználhatóvá válik (Bankhofer 1994). A gyökérben, a fiatal hajtásban, levélben, a szárban, és a szemtermésben mért szelén csökkenő koncentrációt mutat, ami a növényben egy sajátos szűrőrendszert képez (Kádár 1995).

Bizonyos növények képesek arra, hogy szervezetükben feldúsítsák a szelént, ezeket Se-akkumulátoroknak nevezzük (Robb és Pierpoint 1983). Legtöbb növény nem Se-akkumuláló, hanem Se-érzékeny (Terry et al. 2000).

A Se-felvételben és akkumulációban a különböző növényfajok nagy változást mutatnak. Az Astragalus, Xylorrhiza és Stanleya nemzetség sok faja tipikus Se-akkumulátor, és képes nagy Se-tartalmú (seleniferous) talajon megélni káros hatás nélkül, és a hajtásaik Se-tartalma elérheti a 20–30 mg/g értéket szárazanyagra számítva. Nagy különbségek vannak azonban az Astragalus nemzetségben belül az egyes fajok között is, ugyanis az akkumulátorok 100–200-szor több szelént tartalmaznak, mint a nem-akkumulátor fajok (Marschner 1995).

Schwarz és Foltz (1957) jelentette ki először, hogy a szelén „esszenciális”, azaz életfontosságú nyomelem. Az emberi szervezetnek az egészséghez nélkülözhetetlen funkciók fenntartásához meghatározott mennyiségű szelénre van szüksége. Tehát Paracelsus mondata érvényes a szelénre is: „Az adagtól függ, hogy valami mérgezőnek, vagy gyógyszernek minősül-e...”.

A szelén esszenciális mikroelem, fiziológiai szerepét fokozza, hogy antioxidáns szereppel bír. Védi a sejteket a szabadgyökök okozta károsító hatásokkal szemben, és hozzájárul az immunrendszer egészséges működéséhez. Hiányát összefüggésbe hozzák az általános ellenálló képesség csökkenésével, a szív- és érrendszeri, valamint a daganatos betegségek kialakulásával. A reuma, az artritisz, a leukémia, a fiatalkori krónikus izületgyulladás, a cukorbetegség, a búsomorság, a vérszegénység, a bölcshalál, a terhesség alatti depresszió, az Alzheimer-kór, az asztma, a korpásodás, a fáradékonyság, a májbetegség, valamint a kis születési súly és a hasnyálmirigy-gyulladás oka részben a szelénhiány lehet. (Széles 2007).

Magyarországon a vezető halálozási okok között dominánsak a szív, az érrendszeri, valamint a daganatos betegségek. Az orvosi diagnosztikai eljárásokban és a gyógyításban bekövetkezett fejlődés ellenére, több mint 7 millió ember hal meg évente daganatos megbetegedésekben, a WHO felmérése alapján. A tudomány jelenlegi állása szerint a betegségek harmada megelőzhető lehetne.

Egészségi állapotunkat elsősorban – a genetikai adottságok mellett – az életmódunk határozza meg. A betegségmegelőzésben fontos szerepet játszik a helyes étrend, a vitamin, az ásványi anyagok, valamint a megfelelő mennyiségű antioxidánsok bevitel. Az orvostudománynak, az ok-okozati összefüggésekre alapozott gyógyító munkája a prevención alapszik. A betegségek megelőzéséhez a szelénkutatás nagyban hozzájárulhat.

Anyag és módszer

Kísérleteinkben kukoricát (*Zea mays* L. cv Reseda), illetve napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv Arena PR) használtunk. A szelént nátrium-szelenit ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Fluka, Buchs, Svájc) és nátrium-szelenát (Na_2SeO_4) (Sigma-Aldrich, Steinheim, Németország) formájában ioncserélt vízben feloldva alkalmaztuk, amely során a szükséges koncentrációt szelénre vonatkoztatva számoltuk ki. A kísérleteinkben szelenit esetén 1, 10, 100 mg/kg, szelenát esetén pedig 0,1, 1, 10 mg/kg szelén koncentrációt, továbbá kontroll (\emptyset) kezelést alkalmaztunk. Minden kezelésnél három ismétlést használtunk.

A növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytan és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor.

A 2,5 l-es edényekben végzett, tápoldatos kísérlet során, az egyes tápoldatos edényekbe 10 db 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező kukorica csíranövényt és

3 cm-es hipokotilú napraforgó csíranövényt helyeztünk tápoldatra. A fenti növények magját 2009. 05. 04-én kezdtük csíráztatni (22 °C-on termosztátban, függőlegesen állított nedves szűrőpapírok között), majd május 8-án a kukoricát, május 9-én a napraforgót raktuk a tápoldatra és az összes kísérleti növény mintavételét május 21-én végeztük el.

Az egyszikű növények nevelésére a következő összetételű tápoldatot alkalmaztuk: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,7 mM K_2SO_4 ; 0,5 mM MgSO_4 ; 0,1 mM KH_2PO_4 ; 0,1 mM KCl; 0,1 μM H_3BO_3 ; 0,5 μM MnSO_4 ; 0,5 μM ZnSO_4 ; 0,2 μM CuSO_4 ; 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

A kétszikű növények nevelésére pedig a következő összetételű tápoldatot alkalmaztuk: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,7 mM K_2SO_4 ; 0,5 mM MgSO_4 ; 0,1 mM KH_2PO_4 ; 0,1 mM KCl; 10 μM H_3BO_3 ; 0,5 μM MnSO_4 ; 0,5 μM ZnSO_4 ; 0,2 μM CuSO_4 ; 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

A növények a vasat 10^{-4} M koncentrációjú Fe-EDTA formájában kapták.

A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $220 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra. A tápoldatok levegőztetése folyamatos volt.

A rizoboxban végzett kísérletekhez a DE AMTC Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajt használtuk, mely jellemzőit az 1. táblázatban tüntettük fel.

A vizsgálatainkhoz 23,5 cm × 10 cm × 1 cm dimenziójú rizoboxokat alkalmaztunk, melybe 3 db 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező kukorica csíranövényt és 3 db 3 cm-es hipokotilú napraforgó csíranövényt helyeztünk. A talaj előkészítéséhez 6 mm-es lyukátmérőjű szitát használtunk. A talajt tömegállandóságig szárítottuk, majd a szántóföldi vízkapacitás 50%-áig benedvesítettük, a kezeléseknek megfelelő Se-oldatok alkalmazásával. Mielőtt a talajt a rizoboxokba raktuk, az egyes rizoboxok aljára ioncserélt vízzel benedvesített szűrőpapírt helyeztünk. Ezáltal biztosítottuk az egyenletes vízfelvételt a növények számára. Naponta mértük az egyes rizoboxok tömegét, az egyes növények gyökereinek hosszát és a leadott vízmennyiséget szintén naponta pótoltuk. A rizoboxos kísérletben, a 2 napig csírázott növényeket, szeptember 3-án raktuk a rizoboxokba, majd szeptember 7-én vettük az összes mintát.

1. táblázat. *A rizoboxban végzett kísérletekhez alkalmazott talaj jellemzői*

Mélység (1)	0–0,3 m
pH (KCl)	5,71
pH (H ₂ O)	6,58
Arany-féle kötöttség (KA) (2)	43
Vízoldható összes só (3)	0,015%
CaCO ₃	0,202%
Humusz (4)	3,54%
KCl-oldható NO ₃ -N+NO ₂ -N (5)	8,04
AL-oldható P ₂ O ₅ (6)	199 mg/kg
AL-oldható K ₂ O (7)	451 mg/kg
AL-oldható Na (8)	332 mg/kg
KCl-oldható Mg (9)	176 mg/kg
KCl-oldható SO ₄ -S (10)	6,04 mg/kg
KCl-EDTA- oldható Cu (11)	5,79 mg/kg
KCl-EDTA oldható Zn (12)	7,9 mg/kg
KCl-EDTA oldható Mn (13)	262 mg/kg

Table 1. Soil characteristics in the experiments carried out in rhizobox. (1) Depth, (2) Plasticity (Arany-number), (3) Total water-soluble salt content, (4) Humus, (5) KCl-soluble NO₃-N+NO₂-N, (6) AL-soluble P₂O₅, (7) AL-soluble K₂O, (8) AL-soluble Na, (9) KCl-soluble Mg, (10) KCl-soluble SO₄-S, (11) KCl-EDTA-soluble Cu, (12) KCl-EDTA-soluble Zn, (13) KCl-EDTA-soluble Mn.

A minták előkészítését és mérését a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézetében végeztük el. A kukorica, illetve a napraforgó hajtás és gyökér részének szétválasztását ollóval végeztük (a gyökérnyak felett kb. egy cm-rel vágtuk el a növényt). A kísérleti növények gyökereit csapvízzel, 0,1 M-os HCl-val, majd ioncserélt vízzel mostuk le, végül szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk.

A növényminták vizsgálatához HNO₃-H₂O₂ nedves roncsolásos mintaelőkészítési módszert alkalmaztunk (Kovács *et al.* 1996), mely során a kísérleti növényminták bemérése, a rendelkezésre álló minta mennyiségének megfelelően, darálás nélkül, egészben történt. A megfelelően előkészített, hígított minták elemtartalmát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) (Kovács *et al.* 1998a) és induktív csatolású plazma tömeg-

spektrométerrel (ICP-MS) határoztuk meg. A zavaró hatások kiküszöbölésére az utóbbi műszernél CCT üzemmódot alkalmaztunk.

A kezelésenként és ismétlésenként vizsgált hajtás- és gyökérminták mérési eredményeit egytényezős varianciaanalízissel értékeltük, melyet Microsoft Office Excel 2003 programmal végeztük el.

Eredmények

A növények tápanyagellátását illetően a szakirodalom és a saját kutatási eredmények alapján is alapvető különbséget kell tennünk a talajban, vagy más tápközegben végzett kísérletek között. Ha a tápoldatban a mikroelemek szintje az 1 mg/kg határ közelében van, vagy azt meghaladja, számos elem esetén, már fitotoxikus tünetekkel kell számolnunk.

Tápoldatban végzett kísérlet

A kukorica és napraforgó növekedése a nagy koncentrációjú kezelések hatására mérséklődött, ami a szárazanyag termelésben is megmutatkozik (1. ábra).

1. ábra. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó száraz tömege

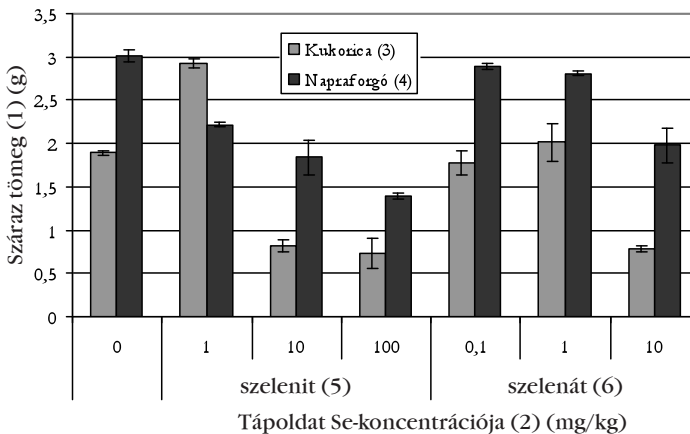
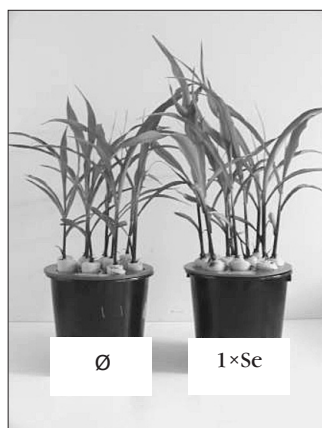


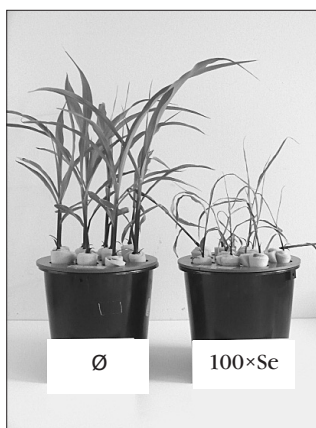
Figure 1. Dry mass of maize and sunflower in nutrient solution. (1) Dry mass (g), (2) Se concentration of the nutrient solution (mg kg^{-1}), (3) Maize, (4) Sunflower, (5) Selenite, (6) Selenate.

A kukorica hajtásnövekedése az 1 mg/kg-os szelenit kezelés hatására fokozódott (1. kép), a további kezeléseknél viszont mérséklődött, a koncentráció függvényében. A 100 mg/kg szelenit kezelés azonban már toxikus hatású volt (2. kép).

1. kép: 1 mg/kg
szelenit kezelés
hatása kukoricára



2. kép: 100 mg/kg
szelenit kezelés
hatása kukoricára



Fotók: Nagy Kinga

Picture 1: The effect of 1 mg kg⁻¹
Selenite treatment on maize

Picture 2: The effect of 100 mg kg⁻¹
Selenite treatment on maize

Photos: Kinga Nagy

Az egy- és a kétszikű növények tápanyagfelvételében jelentős különbségek vannak. A kétszikűek a kationok egy részét (ilyen a vas és a cink) egy túbblepcsős mechanizmuson keresztül veszik fel, melynek során proton és elektron kiválasztás történik a rizoszférába. Ez két lényeges dolgot jelent. Egyrészt a proton és elektron kiválasztás energiaigényes, azaz a már megtermelt szerves anyagok mennyiségének rovására történik, valamint kapcsolt a gyökérlégzéshez, másrészt a kiválasztás a rizoszféra elsavanyítását eredményezi, így számos tápanyag oldékonysága, ezzel együtt a felvehetősége nő.

Az egyszikűek viszont olyan kelátképző szerves vegyületeket választanak ki, mint amilyenek a fitoszideroforok és a tápanyagokat ezekhez a kelátképzőkhöz kötötten veszik fel. Az egyszikűek tápanyagfelvétele ezért kevésbé függ a rizoszféra pH-jától.

A két növénytípus eltérő tápanyagfelvételi mechanizmusa vezetett bennünket oda, hogy a fentebb leírt kísérletünket egy kétszikű növényvel, a napraforgóval is elvégezzük.

A napraforgó hajtás- és gyökérnövekedése a szelenit és szelenát kezelés hatására is fokozatosan csökkent a koncentráció függvényében.

Az egyes növények relatív klorofill tartalmát mérve megállapítottuk, hogy mindkét növény esetében az idő előrehaladtával is, de leginkább az emelkedő Se-koncentráció hatására, csökkent a relatív klorofill tartalom. Ennek okát abban látjuk, hogy a szelén gátolja a cink és a vas felvételét is. A vas különösen fontos szerepet játszik a klorofill szintézisében, ezért nem meglepő, ha a méréselkebb vas felvétel eredményeként csökken a klorofill mennyisége is.

A szelén nélküli tápoldaton (\emptyset) nevelt növények szeléntartalma viszonylag alacsony volt, a növény eredetileg is meglévő szelén készletét mutatva. A szelenit kezelések hatására monoton növekedett a kukorica és a napraforgó hajtásainak is a Se-tartalma (2. táblázat).

2. táblázat. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó Se-koncentrációja (mg/kg) szelenit kezelések hatására

Szelenit- kezelések (2)	Se-koncentráció (1)			
	Kukorica (3)		Napraforgó (4)	
	Hajtás (5) (*)	Gyökér (6) (**)	Hajtás (5) (***)	Gyökér (6) (**)
	\emptyset Se	0,461±0,0395	2,05±2,02	1,38±0,470
1×Se	25,8±0,975	485±26,7	27,4±0,692	297±49,4
10×Se	71,6±3,25	9926±985	31,1±2,39	457±37,3
100×Se	542±272	22207±5354	143±3,04	696±8,13

*: szignifikancia szint 5%, **: szignifikancia szint 1%, ***: szignifikancia szint 0,1%

Table 2. Se concentrations (mg kg⁻¹) of maize and sunflower in nutrient solution as a result of Selenite treatments. (1) Se concentration, (2) Selenite treatments, (3) Maize, (4) Sunflower, (5) Shoot, (6) Root. *: 5% level of significance, **: 1% level of significance, ***: 0.1% level of significance.

Szelenát kezelés hatására a kukorica és napraforgó hajtások Se-tartalma szintén emelkedett a koncentráció függvényében (3. táblázat).

3. táblázat. *Tápanyagban nevelt kukorica és napraforgó Se-koncentrációja (mg/kg) szelenát kezelések hatására*

Szelenát-kezelések (2)	Se-koncentráció (1)			
	Kukorica (3)		Napraforgó (4)	
	hajtás (5) (***)	gyökér (6) (***)	hajtás (5) (***)	gyökér (6) (*)
Ø Se	0,461±0,0395	2,05±2,02	1,38±0,470	2,42±1,40
0,1×Se	2,91±0,748	39,7±39,6	10,5±1,07	21,7±9,75
1×Se	62,7±13,1	86,6±9,41	479±23,1	132±77,7
10×Se	482±54,3	580±18,0	2132±12,0	260±5,79

*: szignifikancia szint 5%, **: szignifikancia szint 1%, ***: szignifikancia szint 0,1%

Table 3. Se concentrations (mg kg⁻¹) of maize and sunflower in nutrient solution as a result of Selenate treatments. (1) Se concentration, (2) Selenate treatments, (3) Maize, (4) Sunflower, (5) Shoot, (6) Root. *: 5% level of significance, **: 1% level of significance, ***: 0.1% level of significance.

A kukorica és napraforgó gyökerei szelénit kezelés hatására lényegesen több szelént tartalmaznak, mint a hajtásaik. Az ugyanolyan koncentrációjú szelénit, illetve szelenát kezelések hatására a szelénáttal kezelt növények jóval több szelént tartalmaztak. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a szelenát nagyobb mértékben vehető fel a növények számára.

Méréseink arra utalnak, hogy a szelén felvétele sokkal bonyolultabb folyamat, mint feltételeztük.

A hajtások és gyökerek szeléntartalmát összeadva ábrázoltuk az egységnyi tömegű száraz növény szelén koncentrációját a szelenát kezelés hatására (2. ábra). Megállapíthatjuk, hogy ugyanolyan tömegű napraforgó több szelént vett fel, mint a kukorica.

Ezek alapján a szelenát-kezelés ismeretében kiszámítható a teljes kukorica által felvett összes szelén mennyisége.

A tápanyagban nevelt kísérletek előnye, hogy leszűkíthető a befolyásoló tényezők köre. Lehetőség nyílik egy adott tápelem hatásainak a vizsgálatára, a hatás részletes körülírására. Termesztési körülmények között azonban más a helyzet. A

talaj komplexitása jelentősen módosíthatja a tápoldaton mért értékeket és a tapasztalatokat is.

2. ábra. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó Se-koncentrációja szelenát kezelés hatására

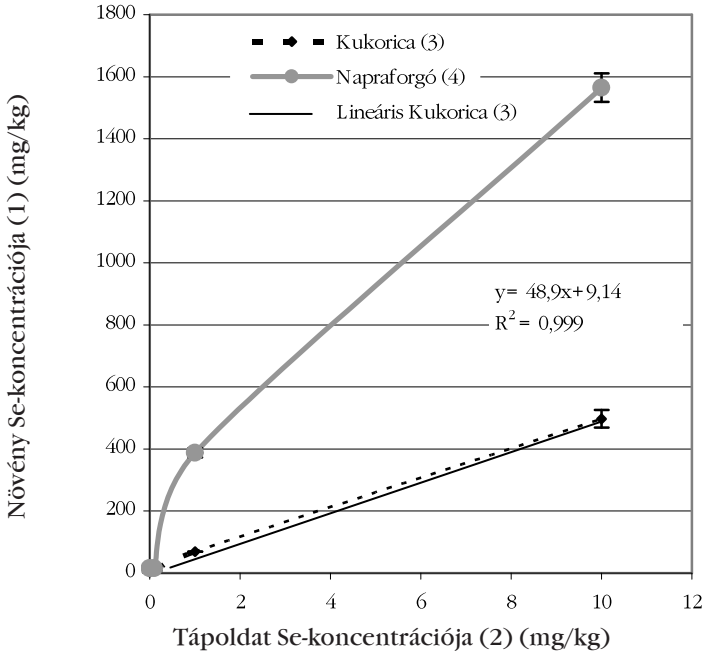


Figure 2. Se concentrations of maize and sunflower in nutrient solution as a result of Selenate treatments. (1) Se concentration of the plant (mg kg^{-1}), (2) Se concentration of the nutrient solution (mg kg^{-1}), (3) Maize, (4) Sunflower.

A talaj tartalmazza a tápanyagok mindegyikét, igaz eltérő koncentrációkban, ami miatt nem lehet pl. szelén nélküli körülményeket biztosítani. Jelentős szereppel bírnak a talajlakó, kedvező hatású mikroszervezetek is, ugyanis hozzájárulnak a legtöbb tápelem felvételéhez. Ugyanakkor a tápoldatos kísérletek útmutatásként is szolgálnak a növények fiziológiai igényét illetően. Amennyiben a talajunk az optimálisnál kevesebb szelént tartalmaz, szükségessé válhat a szelén pótlása. A hatás nem csupán a nagyobb termésben mutatkozik meg, hanem az egészségünket szolgáló funkcionális élelmiszer

alapanyagok, vagy élelmiszerek előállításában is. A fentiek miatt fontosnak tartottuk, hogy kísérleteinket talaj-növény rendszerben is megismételjük.

A 4. táblázatban mutatjuk be a tápoldatos vizsgálataink során statisztikai módszerekkel kimutatott szignifikáns hatásokat, miszerint a tápoldatos kísérletben a szelenit kezelések különböző dózisa, a vizsgált növényfajok (kukorica, illetve napraforgó) és a két forrás kölcsönhatása, továbbá a növényi rész (hajtás és gyökér), valamint a növényfaj és a növényi rész, illetve a dózis és növényi rész együttes hatása mutatott különböző szinten szignifikáns hatást, a vizsgált növényi részek Se-koncentrációjára. Ugyanezen kísérlet szelenát kezelésénél, a dózis, a növényfaj és ezek kölcsönhatásánál, valamint a növényfaj és a növényi rész együttes hatásánál tapasztaltunk szignifikáns különbséget.

Rizoboxban végzett kísérlet

A rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó hajtások illetve gyökerek szelén-koncentrációját szelenit kezelés hatására az 5. táblázat, szelenát hatására a 6. táblázat tartalmazza. A talajon (rizoboxban) nevelt növények gyökerének hosszanti növekedése gátolt és az oldalgyökerek differenciálódása is visszafogott volt.

A tápoldatos kísérlethez hasonlóan a nagyobb szelén koncentrációk hatása volt kifejezettebb. Az ugyanolyan koncentrációjú szelenáttal kezelt növények több szelént tartalmaztak, mint a szelenittel kezelték.

A kontroll talajból a kukorica és a napraforgó növény is viszonylag csekély mennyiségű szelént vett fel, a további kezeléseknél már nagyobb szelén tartalmat mértünk.

Megállapíthatjuk, hogy a kukorica és a napraforgó növények gyökerei a felvett szelént nagyobb, kb. kétszer akkora koncentrációban tartalmazták, mint a hajtások. Ez arra utal, hogy a felvett szelén hajtásba irányuló transzportja akadályozott.

Szelénnel szennyezett talaj fitoremediációval történő kezelése esetén fontos tudnunk, hogy a növények mennyi szelént tudnak felvenni a talajból, így mennyi idő alatt távolítható el a szennyezés.

4. táblázat. A tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények számított szignifikanciája, ahol függő változó a vizsgált szelén koncentráció

Kezelés (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzet- összeg (3)	Szabad- ságfok (4)	Átlagos négyzetes eltérés (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
Szelénit (8)	konstans (15)	152392559	1	152392559	154	0,051
	hiba (9)	987630	1	987630(a)		
	ismétlés (10)	987630	1	987630	0,519	0,523
	hiba (9)	5703597	3	1901199(b)		
	dózis (11)	181136811	3	60378937	31,8	0,009
	hiba (9)	5703597	3	1901199(b)		
	növényfaj (12)	124848150	1	124848150	74,5	0,001
	hiba (9)	6707713	4	1676928(c)		
	dózis (11) * növényfaj (12)	160396513	3	53465504	31,9	0,003
	hiba (9)	6707713	4	1676928(c)		
	növényi rész (13)	138023709	1	138023709	9,17	0,011
	hiba (9)	165597934	11	15054358(d)		
	növényfaj (12) * növényi rész (13)	118036239	1	118036239	7,84	0,017
hiba (9)	165597934	11	15054358(d)			
dózis (11) * növényi rész (13)	161882389	3	53960796	3,58	0,05	
hiba (9)	165597934	11	15054358(d)			

Folytatás a következő oldalon

Folytatás

Kezelés (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzet- összeg (3)	Szabad- ságfok (4)	Átlagos négyzetes eltérés (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
Szelenát (14)	konstans (15)	2348285	1	2348285	1489	0,016
	hiba (9)	1577	1	1577(a)		
	ismétlés (10)	1577	1	1577	5,34	0,104
	hiba (9)	886	3	295(b)		
	dózis (11)	3907409	3	1302470	4410	0,000
	hiba (9)	886	3	295(b)		
	növényfaj (12)	408002	1	408002	571	0,000
	hiba (9)	2861	4	715(c)		
	dózis (11) * növényfaj (12)	582908	3	194303	272	0,000
	hiba (9)	2861	4	715(c)		
	növényi rész (13)	504989	1	504989	4,18	0,066
	hiba (9)	1329128	11	120830(d)		
	növényfaj (12) * növényi rész (13)	688246	1	688246	5,70	0,036
	hiba (9)	1329128	11	120830(d)		
	dózis (11)* növényi rész (13)	1120631	3	373544	3,09	0,072
	hiba (9)	1329128	11	120830(d)		

Table 4. Calculated significance of maize and sunflower in nutrient solution, where Selenium concentration is a dependent variable. (1) Treatment, (2) Source, (3) Sum of squares, (4) DF, (5) Mean square deviation, (6) F value, (7) Calculated significance, (9) Error, (10) Replication, (11) Dose, (12) Crop species, (13) Plant part, (14) Selenate, (15) Intercept.

5. táblázat. *Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó Se-koncentrációja (mg/kg) szelenit kezelés hatására*

Szelenit- kezelések (2)	Se-koncentráció (1)			
	Kukorica (3)		Napraforgó (4)	
	Hajtás (5) (***)	Gyökér (6) (***)	Hajtás (5) (***)	Gyökér (6) (***)
Ø Se	0,736±0,248	0,339±0,04	0,282±0,163	0,12±0,0346
1×Se	4,54±0,192	3,10±1,4	3,81±1,64	7,11±0,607
10×Se	5,85±0,146	11,6±1,05	1,93±0,937	13,8±2,71
100×Se	32,8±4,65	162±14,5	10,3±0,921	341±21,2

*: szignifikancia szint 5%, **: szignifikancia szint 1%, ***: szignifikancia szint 0,1%

Table 5. Se concentration (mg kg⁻¹) of maize and sunflower in rhizobox as a result of Selenite treatment. (1) Se concentration, (2) Selenite treatments, (3) Maize, (4) Sunflower, (5) Shoot, (6) Root. *: 5% level of significance, **: 1% level of significance, ***: 0.1% level of significance.

6. táblázat. *Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó Se-koncentrációja (mg/kg) szelenát kezelés hatására*

Szelenát- kezelések (2)	Se-koncentráció (1)			
	Kukorica (3)		Napraforgó (4)	
	Hajtás (5) (***)	Gyökér (6) (***)	Hajtás (5) (***)	Gyökér (6) (***)
Ø Se	0,736±0,249	0,339±0,04	0,282±0,163	0,12±0,0346
0,1×Se	13,1±1,55	3,9±0,135	13,9±2,00	8,47±0,372
1×Se	213±42,8	42,7±5,66	209±39,5	33,6±3,01
10×Se	570±50,4	837±163	213±45,6	258±61,6

*: szignifikancia szint 5%, **: szignifikancia szint 1%, ***: szignifikancia szint 0,1%

Table 6. Se concentration (mg kg⁻¹) of maize and sunflower in rhizobox as a result of Selenate treatment. (1) Se concentration, (2) Selenate treatments, (3) Maize, (4) Sunflower, (5) Shoot, (6) Root. *: 5% level of significance, **: 1% level of significance, ***: 0.1% level of significance.

A 7. táblázatban található a rizoboxos vizsgálataink során, a statisztikai módszerekkel kimutatott szignifikáns hatások. A rizoboxban végzett kísérlet szelenit és szelenát kezelésénél, a dózisonál, a növényfajnál, és ezek kölcsönhatásánál, továbbá a szelenitnél a különböző növényi részeknél és a növényfaj-növényi rész kölcsönhatásánál is szignifikáns különbséget tapasztaltunk. A dózis-növényi rész a rizoboxban végzett kísérlet szelenit és szelenát kezelésénél is 0,1%-os szinten szignifikánsan befolyásolta a növények Se-koncentrációját.

Mindkét kísérlet az ismétlések között, valamint a szelenát kezelésénél a növényi részek között, nem volt kimutatható szignifikáns különbség.

Következtetések és javaslatok

A szelén esszenciális mikroelem, főként az állati és emberi szervezetben. Hiányában különféle betegségek fordulhatnak elő, az általános levertségtől kezdve a komolyabb szervi problémákig, hiszen a szervezet antioxidáns rendszerének nélkülözhetetlen alkotója.

A természetes szelénforrások fogyasztásával, mint például a teljes kiőrlésű gabonafélék, búzacsíra, barnarizs, diófélék, szezám, szója, vagy a fokhagyma, nem minden esetben biztosítható az ember számára a szükséges Se-bevitel, különösen, ha a talajok is szegények szelénben. Számos európai országban, így Magyarországon is, a talajok meglehetősen kevés szelént tartalmaznak. Ezért a szelén pótlása szükségessé válik ezeken a területeken, illetve ahol az emberek nagy része is bizonyítottan szelénhiányban szenved. Napjainkban a szelénhiányos táplálkozásból adódó betegek száma nő, így a szelénpótlás táplálkozásunkban szükségserűnek látszik. A szelén pótlásának egyik módja lehet, hogy egy szelén só (szelenit vagy szelenát) adagolásával a talajba plusz szelént juttatunk a természet gazdagsági növények számára. A megfelelő szelén ellátás egyik problémája, hogy a növények az esetek többségében nem mutatnak jól definiálható hiánytüneteket szelén hiányos termesztési körülmények között.

Az egészséges táplálék előállítása érdekében ezért indokolt lehet a talajok és az azon termesztett növények szelén tartalmának folyamatos monitorozása.

7. táblázat. A rizoboxban (talajban) nevelt kukorica és napraforgó növények számított szignifikanciája, ahol függő változó a vizsgált szelen koncentráció

Kezelés (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabad- ságfok (4)	Átlagos négyzetes eltérés (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
Szelenit (8)	konstans (15)	67322	1	67322	1763	0,001
	hiba (9)	76,4	2	38,2(a)		
	ismétlés (10)	76,4	2	38,2	1,33	0,332
	hiba (9)	172	6	28,6(b)		
	dózis (11)	157377	3	52459	1832	0,000
	hiba (9)	172	6	28,6(b)		
	növényfaj (12)	4646	1	4646	67,2	0,000
	hiba (9)	553	8	69,1(c)		
	dózis (11) * növényfaj (12)	13786	3	4595	66,5	0,000
	hiba (9)	553	8	69,1(c)		
	növényi rész (13)	42965	1	42965	36,0	0,000
	hiba (9)	22679	19	1194(d)		
	növényfaj (12) * növényi rész (13)	8484	1	8484	7,11	0,015
	hiba (9)	22679	19	1194(d)		
	dózis (11) * növényi rész (13)	115817	3	38606	32,3	0,000
hiba (9)	22679	19	1194(d)			

Folytatás a következő oldalon

Folytatás

Kezelés (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabad- sáfok (4)	Átlagos négyzetes eltérés (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
Szelenát (14)	konstans (15)	1096881	1	1096881	554	0,002
	hiba (9)	3960	2	1980(a)		
	ismétlés (10)	3960	2	1980	0,724	0,523
	hiba (9)	16412	6	2735(b)		
	dózis (11)	1739506	3	579835	212	0,000
	hiba (9)	16412	6	2735(b)		
	növényfaj (12)	166794	1	166794	34,2	0,000
	hiba (9)	39056	8	4882(c)		
	dózis (11) * növényfaj (12)	489944	3	163315	33,5	0,000
	hiba (9)	39056	8	4882(c)		
	növényi rész (13)	466	1	466	0,195	0,663
	hiba (9)	45279	19	2383(d)		
	növényfaj (12) * növényi rész (13)	9512	1	9512	3,99	0,060
	hiba (9)	45279	19	2383(d)		
	dózis (11)* növényi rész (13)	162087	3	54029	22,7	0,000
	hiba (9)	45279	19	2383(d)		

Table 7. Calculated significance of maize and sunflower in rhizobox (soil), where Selenium concentration is a dependent variable. (1) Treatment, (2) Source, (3) Sum of squares, (4) DF, (5) Mean square deviation, (6) F value, (7) Calculated significance, (9) Error, (10) Replication, (11) Dose, (12) Crop species, (13) Plant part, (14) Selenate, (15) Intercept.

A tápoldatos kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a szelén nélküli tápoldaton nevelt növények Se-tartalma viszonylag elenyésző volt, az eredetileg is meglévő szelén készletet mutatva. A szelenit és szelenát kezelések hatására a Se koncentrációja jelentősen emelkedett. Ez a növekedés a szelenát kezelés hatására intenzívebb volt, mint a szelenit kezelésnél, ugyanakkora koncentrációjú kezelések esetében. A szelenát tehát jobban hasznosuló szelénforma, mint a szelenit. Eredményeink alapján javasolhatjuk, hogy rövidtávú talajkezelés esetén, a gyorsabban és hatékonyabban, azaz a gazdaságosabban hasznosuló szelenátot célszerű használni, mivel ugyanolyan koncentrációjú szelenit és szelenátból, a növények sokkal jelentősebb mennyiségű szelén felvételére képesek. Ugyanakkor felhívjuk a figyelmet ugyanezek okok miatt arra is, hogy ezáltal szelenát alkalmazásával könnyebb, nem megfelelő adagolás esetén, a toxikus szintet elérni.

A kísérleti növények hajtásainak és gyökereinek külön történő vizsgálata a szakirodalommal egyező eredményt hozott. A kukorica és a napraforgó esetében is a gyökerekben mért Se-koncentrációk nagyobbak voltak a hajtásban mért értékeknél. Ez arra utal, hogy a gyökerekben, a vizsgált körülmények között a szelén akkumulációja intenzívebb volt.

A talajos kísérletben a Se-felvétel hasonlóan alakult, mint a tápoldatos kísérletben. A rizoboxos kísérletnél nem lehet szelénmentes környezetet biztosítani, mivel már a kontroll talaj is tartalmaz bizonyos mennyiségű szelént. Ennek ellenére a kontroll talajból a napraforgó növény csak viszonylag csekély mennyiségű szelént vett fel. A kukorica azonban a szelén kezelést nem kapott talajból több szelént vett fel, mint a napraforgó és ez tovább növekedett a szelenát kezelések hatására. A jelentkezett eltérésnek a két növénytípus eltérő tápanyag felvételi mechanizmusa az oka.

A tápoldatos kísérlethez hasonlóan a gyökerekben mért Se-koncentrációk nagyobbak voltak a hajtásban mért értékeknél és a szelenát szintén jobban felvehető volt, mint a szelenit.

Következtetésként kijelenthető, hogy rendkívül fontos a talaj megfelelő szelén tartalma. A talaj Se-ellátásánál figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy bár jelenléte fontos a növények számára is, túl nagy koncentrációja azonban komoly veszélyt jelent a növények, állatok és így az ember számára is. A kísérletek eredményei alapján egyértelmű bizonyítékot találtunk arra vonatkozóan, hogy a tápoldatos rendszerben 1 mg/kg koncentrációjú szelenit kezelés kedvező hatású a kukorica növény növekedésére, míg 100 mg/kg szelenit kezelés

már erősen toxikus hatású. A szelenát kezelés 0,1 mg/kg koncentrációban volt kedvező, míg 10 mg/kg már növekedés gátló hatású volt a kukorica és napraforgó esetében is.

A viszonylagosan nagy szelénnel szembeni toleranciájuk alapján a kukorica és napraforgó fitoremediációra is alkalmazhatóak szelénnel szennyezett területeken, ami egy környezetbarát és viszonylag olcsó eljárás a szennyezés eltávolításához, és a talaj szerkezetét sem károsítja, viszont időigényes. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy az átlagosnál nagyobb szelén koncentráció nem károsítja a kukoricát és a napraforgót, azaz az ilyen területeken ezek a növények biztonságosan termesztethetők.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, valamint a Magyar-Indiai TÉT együttműködés (OMFB-00742/2008 (IND-17/06)) támogatását.

IRODALOM

- Aubert, H.-Pinta, M.*: 1977. Trace elements in soils. Elsevier scientific publishing company. New York.
- Bankhofer H.*: 1994. Bio-szelén. Golden Book Kiadó. Budapest.
- Chengyi, Z.-Ren, J.-Xue, C.-Lin, E.*: 2005. Study on the relationship between soil selenium and plant selenium uptake. *Plant and Soil*. 277: 197-206.
- Kádár I.*: 1998. Szelén forgalma a talaj-növény rendszerben. [In: Cser M. Á.-Sziklai-László I. (szerk.) A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben.] Frag Bt. Budapest.
- Kádár I.*: 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Kápolna E.*: 2006. Szeléntartalmú élelmiszerek és étrendkiegészítők biológiai hasznosulásának vizsgálata. Doktori disszertáció. Szent István Egyetem. Alkalmazott Kémiai Tanszék. Budapest.
- Kovács, B.-Győri, Z.-Prokisch, J.-Loch, J.-Dániel, P.*: 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 5-8: 1177-1198.
- Kovács, B.-Dániel, P.-Győri, Z.-Loch, J.-Prokisch, J.*: 1998a. Studies on Parameters of Inductively Coupled Plasma Spectrometer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29. 11-14: 2035-2054.

- Kovács M.–Turcsányi G.–Siller I.–Engloner A.*: 1998b. A Se előfordulása Magyarország növénytársulásaiban. 85. [In: Cser M. Á.–Sziklai-László I. (szerk.) A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben.] Frag Bt. Budapest.
- Lteif, A.–Bashour, I.–Nimah, M.–Darwish, R.*: 2005. Selenium Levels in Beqaa Valley in Lebanon. [In: Lee et al. (eds.) Plant Nutrition for Food Security. Human Health and environmental Protection.] Tsinghua University Press. Beijing, China.
- Marschner, H.*: 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London.
- Robb, D. A.–Pierpoint, W. S.*: 1983. Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Academic Press. London.
- 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. 12: 3292–3293.
- Simon L.*: 1999. A talajok szennyeződése szerves anyagokkal. [In: Simon L. (szerk.) Talajszennyeződés, talajtisztítás.] Környezetgazdálkodási Intézet Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ. Budapest.
- Széles É.*: 2007. Szelénvegyületek átalakulásának vizsgálata tartamkísérletből származó talaj- és növénymintákban. Doktori disszertáció. Debreceni Egyetem. Mezőgazdaságtudományi Kar. Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet. Debrecen.
- Takács S.*: 2001. A nyomelemek nyomában. Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest.
- 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.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Nagy Kinga–Dr. Kovács Béla
Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Dr. Lévai László
Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytan és Növényélettani Tanszékcsoport
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032