

Mikroelem-terhelés hatása a spenóra karbonátos csernozjom talajon

¹KÁDÁR IMRE, ²DAOOD HUSSEIN és ³RADICS LÁSZLÓ

¹MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

²Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet, Lipidlaboratórium, Budapest

³Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar, Budapest

A spenót (*Spinacia oleracea* L.) fontos hazai zöldségnövényünk. Levelének szárazanyagában a fehérje 20–30 % körüli, emellett jelentős vitamin- és ásványi-anyag készlettel rendelkezik. Kedvelt bébiétel, a hűtő- és konzerviparnak is alapanyagául szolgál. Elő-Ázsiából származik, Európába a VIII.–IX. században Spanyolországon keresztül a mór hódítással jutott be. Kétszikű egyéves kultúra. Fő- és oldalgyökérzete sekélyen helyezkedik el a talajban. Tenyészideje is rövid, ezért víz- és tápanyagigényesnek minősül (CSELÓTEI et al., 1993; BALÁZS, 1994).

BERGMANN (1988) szerint az éppen kifejlett fiatal spenótlevél összetétele jól tükrözi a növény tápláltsági állapotát és az alábbi koncentrációkkal jellemezhető: N 3,5–5,0 %, K 3,5–5,3 %, Ca 0,60–1,20 %, P 0,40–0,60 %, Mg 0,35–0,80 %, Mn 40–100 mg/kg, B 40–80 mg/kg, Zn 20–70 mg/kg, Cu 7–15 mg/kg, ill. Mo 0,30–1,00 mg/kg szárazanyagra vetítve. TERBE (1994) a 10 t zöld levéltermés elemigényét 35 kg N, 18 kg P₂O₅ és 52 kg K₂O mennyiségre becsüli. FILIUS (1994) 80 kg N, 16 kg P₂O₅ és 78 kg K₂O tápelemigénnyel számol a 10 t/ha körüli termésre.

A leveles zöldségféléknek, különösen a salátának és a spenótnak nemkívánatosan nagy lehet az oxálsav-, nitrát- és károselem-akkumulációja (BERGMANN, 1988; LEHOCZKY et al., 1996, 1998; SIMON, 1998). MARSCHNER (1985) vizsgálatai szerint a friss spenótlevél NO₃-koncentrációja 349–3890 mg/kg között ingadozhat a termesztési körülményektől függően. A határérték felnőttek számára 1200–1500 mg/kg a legtöbb európai országban, míg a csecsemőtápszerben 250 mg NO₃/kg engedélyezett. Az 1500 mg/kg friss anyagra megadott NO₃, 10 % körüli szárazanyag-tartalom esetén, 1,5 % NO₃-ot, ill. 0,34 % NO₃-N-t jelenthet.

A káros elemek közül a kadmium került a figyelem középpontjába humántoxikológiai jellege miatt. BINGHAM és munkatársai (1975) kísérleteiben az

Egyesült Államokban a spenót levelének Cd-tartalma a 160 mg/kg értéket is elérte szárazanyagban ott, ahol a kalászosok szemtermésében mindössze néhány mg/kg mennyiség volt kimutatható. A kaliforniai tenyészedény-kísérletek meszes vályog talajához 1 % 0,1 % Cd-tartalmú szennyvíziszapot keverték, így 10 mg/kg Cd-készlettel rendelkeztek.

Az európai szerzők is kiemelik a spenót levelének elemdúsulását. VERLOO és WILLAERT (1990) Belgiumban a növénybeni/talajbani koncentrációnövekedés hányadosaként ismert transzfer koefficiens a kadmiumra 5,2, cinkre 2,0, nikkelle és rézre 0,5 értékben adja meg a spenót esetében. SAUERBECK (1982, 1991) Németországban erre a dúsulási/áthasonulási faktorra 1–10 értéket közöl a kadmium, cink, tallium, molibdén, valamint 0,1–1,0 értéket a réz és nikkelle esetén. A nagyobb dúsulási hányadosok a leveles zöldségekre vonatkoznak.

A spenót káros elem-forgalmáról kevés hazai adattal rendelkezünk, ezért szabadföldi tartamkísérletben vizsgáltuk a mikroelem-terhelés hatását a spenót termésére, gyomboritottságára, ásványi összetételére, elemfelvételére és némely szerves összetevő alakulására.

Anyag és módszer

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat tájékoztat. A vetés április 17-én történt szemenkénti vetőgéppel, Matador fajttal, 20 kg/ha vetőmaggal, 2 cm mélységre. A sortáv 12 cm, a csíraszám 22 db/fm volt. Május 12-én parcellánként gyomfelvételezést végeztünk és a spenót állományát is bonitáltuk fejlettségre. Június 3-án 60 db levelet gyűjtöttünk parcellánként a zöld levéltermés mennyiségének és összetételének megállapítására. Július 23-án a légszáraz szár- és magtermést takarítottuk be, ill. ezt megelőzően az állományt ismét bonitáltuk fejlettségre vizuálisan. A szár- és magtermést a parcellánként vett 8–8 fm-es mintakévék anyagából állapítottuk meg.

Mértük a növényi átlagminták friss és légszáraz tömegét (40–50 °C-on történő szárítást követően), majd a mintegy 300 db átlagmintát finomra daráltuk és cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolás után 20–24 elemre analizáltuk ICP-technikát alkalmazva. Talajmintavételre 1994-ben került sor. Ekkor parcellánként 20–20 pontminta egyesítésével átlagmintákat képeztünk a szántott rétegből és meghatároztuk az „összes” készletet cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolásból, valamint az NH₄-acetát + EDTA-oldható tartalmakat LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint.

A spenótlevél karotinoid-tartalmának meghatározására parcellánként szintén 60–60 db levelet gyűjtöttünk. A friss mintákat azonnal a Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Lipidkémiai Laboratóriumába szállítottuk, ahol apróra vágtuk és homogenizáltuk porcelán tégelyben, kvarchomokkal péppé keverve. Az 5 g növényi anyaghoz 50 ml acetont adtunk és 15 perces rázatás, valamint szűrés

1. táblázat

A spenót kísérletben végzett műveletek és megfigyelések, 1995–1996
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Műveletek megnevezése | (2) Időpontja (év, hónap, nap) | (3) Megjegyzés |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1. Őszi NPK-műtrágyázás | 1995. 11. 14. | Parcellánként kézzel |
| 2. Egyirányú szántás | 1996. 03. 01. | MTZ-80 + Lajta eke |
| 3. Tavaszi N-műtrágyázás | 1996. 04. 11. | Parcellánként kézzel |
| 4. Kombinátorozás | 1996. 04. 11. | MTZ-50 + kombinátor |
| 5. Vetés szemenként géppel | 1996. 04. 17. | MTZ-50+NIBEX vetőgép |
| 6. Hengerezés | 1996. 04. 17. | MTZ-50+simahenger |
| 7. Kerítés kihelyezése | 1996. 05. 07. | Kísérlet körülkerítve |
| 8. Kísérlet kítűzése kelés után | 1996. 05. 07. | Karók lehelyezése parc.-ként |
| 9. Gyomfelvelelés | 1996. 05. 12. | Parcellánként (Radics L.) |
| 10. Bonitálás állományra | 1996. 05. 22. | Parcellánként 1–5 skálán |
| 11. Gyomirtó kapálás | 1996. 05. 24. | Az egész kísérletben |
| 12. Bonitálás elszineződésre | 1996. 06. 03. | Parcellánként 1–5 skálán |
| 13. Levélmintavétel | 1996. 06. 03. | Parcellánként 60 db levél |
| 14. Bonitálás állományra | 1996. 07. 23. | Parcellánként 1–5 skálán |
| 15. Betakarítás | 1996. 07. 23. | Parcellánként 8 fm mintakéve |
| 16. Talajmintavétel szintenként | 1996. 08. 12. | Gépi mélyfúrás 1 m-ig |
| 17. Szárvágás, letakarítás | 1996. 08. 21. | Az egész kísérletben |
| 18. Tárcsázás, hengerezés | 1996. 08. 21. | MTZ-50+tárcsa, henger |
| 19. Mintakéve feldolgozása | 1996. 09. 17. | Parcellánként szem, szalma |
| 20. Minták darálása | 1996. 09. 20. | Parcellánként analízisre |

után történt a pigmentek meghatározása HPLC-technikát alkalmazva. A módszer átfogóan egy korábbi közlemény ismerteti (BIACS & DAOOD, 1994).

A kísérlet első évében kukoricát, a 2. évben sárgarépát, a 3. évben burgonyát, a 4. évben borsót, az 5. évben céklát termesztettünk. A kísérlet célját, módszerét, a megelőző évek főbb eredményeit korábbi közleményeink taglalják (KÁDÁR et al., 2000, 2001). Megemlítjük, hogy 1996 áprilisában 11, májusában 63, júniusában 41, júliusában 15 mm csapadék hullott, mely összességében ugyan jelentősen elmaradt a sokévi átlagtól, mégis kielégítő termést kaptunk. A havi, negyedéves, éves és a tenyészidő alatti csapadékösszegek adatait az 1995–2000. évekre szintén az előző munkánk közli részletesen (KÁDÁR et al., 2001).

Kísérleti eredmények

Mikroelem-terhelés hatása a gyomborításra és a spenót fejlődésére

A 2. táblázat adatai szerint a spenót gyomfedettségi %-át május 12-én, a gyomirtó kapálás előtt mindössze három elem csökkentette bizonyíthatóan: As, Cd, Se. A gyomfedettséget a Cr-terhelés is mérsékelte, viszont a kadmium toxikus hatása az uralkodó *Amaranthus blitoides* gyomfajra nem jelentkezett. A spenót közismerten gyorsan fejlődésnek indul és a talajt borítja, így gyomelnyomó képessége jó. Döntően 2–3 amaranthus fajt tudunk azonosítani a kísérletben.

Június 3-án a spenótleveél szedésre alkalmassá vált, a növények magassága szennyezetlen talajon elérte a 20–25 cm-t, a friss levéltömeg pedig a 17–19 t/ha mennyiséget. A nagyobb Se-, ill. a maximális Cd-terhelésnél a növényzet gyakorlatilag kipusztult. Július 23-ára, a száraz meleg időjárás nyomán a spenót

2. táblázat

**Fitotoxicitást okozó kezelések hatása a növényi fedettségre 1996. május 12-én
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

| (1) Elem | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|--|-----------------------------------|----|-----|-----|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>A. Spenótfedettség %-a</i> | | | | | | |
| As | 40 | 50 | 45 | 8 | 14 | 36 |
| Cd | 40 | 28 | 18 | 8 | | 24 |
| Cr | 45 | 45 | 52 | 45 | | 47 |
| Se | 38 | 24 | 3 | 1 | | 16 |
| <i>B. Gyomfedettség %-a</i> | | | | | | |
| As | 33 | 38 | 20 | 4 | 22 | 24 |
| Cd | 28 | 50 | 18 | 22 | | 30 |
| Cr | 34 | 33 | 21 | 8 | | 24 |
| Se | 33 | 28 | 16 | 1 | | 20 |
| <i>C. Összes fedettség</i> | | | | | | |
| As | 73 | 88 | 65 | 11 | 30 | 59 |
| Cd | 68 | 78 | 35 | 30 | | 53 |
| Cr | 79 | 78 | 74 | 54 | | 72 |
| Se | 71 | 52 | 18 | 1 | | 36 |
| <i>D. Amaranthus blitoides fedettség %-a</i> | | | | | | |
| As | 32 | 38 | 20 | 1 | 23 | 23 |
| Cd | 28 | 50 | 18 | 22 | | 29 |
| Cr | 23 | 32 | 20 | 8 | | 21 |
| Se | 32 | 28 | 16 | 1 | | 19 |

gyorsan felmagzott és magtermését beérlelte. A légszáraz szártömeg 2,5 t/ha, míg a mag 3,0 t/ha mennyiséget adott a kontrolltalajon. Megemlítjük, hogy a június 3-án vett friss levéltermés mindössze 10–12 % légszáraz anyagot tartalmazott, így az átlagos légszárazanyag-hozama 2–2 t/ha körülinek adódott a kontrolltalajon. A föld feletti tömeg 80–85 %-át ekkor a levéltermés adta (3. táblázat).

3. táblázat

**Terméscsökkenést okozó toxikus elemek hatása a spenótra, 1996
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

| (1) Elem | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>A. Átlagos növénymagasság jún. 3-án, cm</i> | | | | | | |
| As | 25 | 20 | 23 | 10 | 13 | 20 |
| Cd | 20 | 13 | 10 | 10 | | 13 |
| Cr | 21 | 23 | 28 | 28 | | 25 |
| Se | 23 | 15 | 0 | 0 | | 10 |
| <i>B. Bonitálás állományra júl. 23-án*</i> | | | | | | |
| As | 4,5 | 5,0 | 4,5 | 2,0 | 1,2 | 4,0 |
| Cd | 3,5 | 3,5 | 2,0 | 0,0 | | 2,0 |
| Cr | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | | 5,0 |
| Se | 4,5 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | | 1,5 |
| <i>C. Zöld levéltermés jún. 3-án, t/ha**</i> | | | | | | |
| As | 18 | 15 | 13 | 10 | 7 | 14 |
| Cd | 17 | 11 | 10 | 4 | | 11 |
| Cr | 18 | 18 | 23 | 24 | | 21 |
| Se | 19 | 16 | 0 | 0 | | 9 |
| <i>D. Légszáraz szártermés júl. 23-án, t/ha</i> | | | | | | |
| As | 2,5 | 1,7 | 2,4 | 2,2 | 1,0 | 2,2 |
| Cd | 2,5 | 1,8 | 1,6 | 0,0 | | 1,5 |
| Cr | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 2,3 | | 2,6 |
| Se | 2,4 | 1,8 | 0,0 | 0,0 | | 1,0 |
| <i>E. Légszáraz magtermés júl. 23-án, t/ha</i> | | | | | | |
| As | 2,8 | 2,1 | 2,9 | 1,6 | 1,0 | 2,3 |
| Cd | 2,9 | 2,2 | 2,0 | 0,0 | | 1,7 |
| Cr | 3,0 | 3,4 | 3,3 | 2,5 | | 3,0 |
| Se | 3,0 | 1,8 | 0,0 | 0,0 | | 1,2 |

Megjegyzés: * Bonitálás: 0 = növényzet kipusztult, 1 = gyenge, 5 = erős állomány

** A föld feletti tömeg 80–85 %-át a levéltermés adja. Légszáraz anyag 12 %, az átlagos légszáraz anyag hozama szennyeztelen talajon 2,2 t/ha

Mikroelem-terhelés hatása a spenót ásványi összetételére

A kezelések hatását a spenót ásványi összetételére a 4. táblázatban tanulmányozhatjuk. Amint a táblázatban látható, az As-beépülés mindössze 3–4 mg/kg értéket ért el a vegetatív szervekben, ill. 1 mg/kg alatt maradt a magban még az extrém As-terhelésű talajon is. A 8/1985. (X.21.) EüM rendelet szárított zöldségre maximálisan 4 mg/kg As-, 2 mg/kg Pb-, 0,3 mg/kg Cd- és 0,05 mg/kg Hg-koncentrációt engedélyez. Egyéb elemekre nem ad meg határértékeket. Az arzénnel szennyezett talajon tehát a spenót levele fogyasztásra alkalmas maradt.

A bárium mérsékelten, 3–5-szörösére dúsult a maximális Ba-terhelés nyomán. A kadmium viszont – az irodalmi adatokkal összhangban – extrém akkumulációt mutatott a levélben a kontrollhoz képest, ahol 144-szeresére emelkedett. A 0,3 mg/kg határértéket már a kontroll növényei is meghaladták, feltehetően a szennyezett parcellákról történt légköri áthordás (rárakódó por) következtében. A levélhez viszonyítva (100 %) a szár maximálisan mintegy 20 %, míg a mag 10 % akkumulációt jelzett. A króm közepes, a magban maximálisan 12-, a vegetatív részekben 23–27-szeres koncentrációnövekedést produkált.

A réz mozgása erősen gátolt, koncentrációja átlagosan 2–3-szorosára nőtt a föld feletti részekben. Hg-dúsulást csak a vegetatív részekben lehetett kimutatni és csak extrém terhelésnél. A higany főként a fiatal levélben halmozódott fel 3,1–9,6 mg/kg mennyiségben. A spenót levele tehát a 270 ill. 810 kg/ha kezeléssű parcellákon már emberi fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett, kifejezetten szennyezetté vált (4. táblázat).

A molibdén és szelén már a 90 kg/ha terhelésnél hiperakkumulációt mutatott, három nagyságrendbeli dúsulással. E két elem tömegarámmal akadálytalanul bejuthat a föld feletti szervekbe, főként a levélbe. A molibdén túlsúlya nem okozott fitotoxicitást. Az 5 mg/kg feletti Mo-koncentrációt azonban már károsnak tekintjük, mert Cu-hiányt indukálhat az emberi vagy állati szervezetben, míg az extrém Mo-túlsúly toxikózishoz vezethet. Az 1–2 mg/kg feletti Se-tartalom szintén károsnak minősül. Hasonló talajon tehát már a mérsékeltebb Mo-, ill. Se-szennyezés is fogyasztásra alkalmatlan termést eredményezhet (4. táblázat).

A nikkel és az ólom gyengén dúsult, mindössze néhány mg/kg maximális koncentrációt mutatott a szárban és a levélben. A magban az ólom a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt. Mivel a szárított zöldségre 2 mg Pb/kg a megengedett felső határ, a 270 és 810 kg/ha kezelésekből termelt spenótlevél fogyasztásra alkalmatlannak minősül. A kevésbé veszélyes jelleg miatt a szabványok nem közölnek limit koncentrációkat a Ni, Sr, Zn elemekre. A levélben a stroncium 5-szörösére, a cink viszont 17-szeresére emelkedett a maximális terhelés nyomán. Ilyen mérvű dúsulás, mely a kiegyensúlyozott összetételt veszélyezteti, élettanilag szintén elfogadhatatlannak tekinthető (4. táblázat).

4. táblázat

Terhelés hatása a légszáraz spenót elemtartalmára 1996-ban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Növényi rész | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|--|--------------------------------------|-----|------|------|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>A. As-terhelés hatására, mg As/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 3,9 | 0,2 | 1,2 |
| b) Szár ² | 0,0 | 0,4 | 1,7 | 3,6 | 0,2 | 1,4 |
| c) Mag ² | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,1 | 0,3 |
| <i>B. Ba-terhelés hatására, mg Ba/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 7,1 | 8,2 | 13,8 | 37,2 | 8,1 | 16,1 |
| b) Szár ² | 7,0 | 9,9 | 14,0 | 20,8 | 3,0 | 12,9 |
| c) Mag ² | 1,8 | 2,0 | 3,0 | 5,4 | 0,9 | 3,0 |
| <i>C. Cd-terhelés hatására, mg Cd/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 1,0 | 82 | 106 | 144 | 8 | 83 |
| b) Szár ² | 0,3 | 17 | 23 | - | 4 | 13 |
| c) Mag ² | 0,2 | 9 | 10 | - | 1 | 6 |
| <i>D. Cr-terhelés hatására, mg Cr/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,7 | 2,9 | 7,2 | 16,2 | 1,7 | 6,8 |
| b) Szár ² | 0,3 | 1,7 | 4,5 | 8,2 | 1,0 | 3,7 |
| c) Mag ² | 0,3 | 0,7 | 1,8 | 3,6 | 0,3 | 1,6 |
| <i>E. Cu-terhelés hatására, mg Cu/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 6,3 | 8,0 | 10,8 | 18,5 | 2,7 | 10,9 |
| b) Szár ² | 3,2 | 3,4 | 4,5 | 5,1 | 1,0 | 4,0 |
| c) Mag ² | 3,5 | 5,5 | 7,3 | 8,2 | 0,9 | 6,1 |
| <i>F. Hg-terhelés hatására, mg Hg/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,0 | 0,0 | 3,1 | 9,6 | 0,4 | 3,2 |
| b) Szár ² | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,2 | 0,2 |
| c) Mag ² | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| <i>G. Mo-terhelés hatására, mg Mo/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,0 | 223 | 412 | 670 | 97 | 326 |
| b) Szár ² | 0,1 | 31 | 97 | 132 | 9 | 65 |
| c) Mag ² | 0,0 | 13 | 42 | 80 | 6 | 34 |
| <i>H. Ni-terhelés hatására, mg Ni/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,5 | 1,2 | 2,3 | 4,1 | 0,4 | 2,0 |
| b) Szár ² | 0,7 | 0,7 | 1,7 | 2,9 | 0,5 | 1,5 |
| c) Mag ² | 0,4 | 0,7 | 1,4 | 2,4 | 0,3 | 1,2 |

4. táblázat folytatása

| (1) Növényi rész | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|--|--------------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>I. Pb-terhelés hatására, mg Pb/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,5 | 0,6 | 1,3 | 1,8 | 0,9 | 1,0 |
| b) Szár ² | 0,2 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 0,3 | 1,1 |
| c) Mag ² | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| <i>J. Se-terhelés hatására, mg Se/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 0,2 | 765 | - | - | 96 | 383 |
| b) Szár ² | 0,2 | 70 | - | - | 12 | 35 |
| c) Mag ² | 0,3 | 105 | - | - | 16 | 53 |
| <i>K. Sr-terhelés hatására, mg Sr/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 99 | 164 | 268 | 518 | 35 | 262 |
| b) Szár ² | 71 | 111 | 140 | 272 | 30 | 149 |
| c) Mag ² | 26 | 32 | 37 | 83 | 9 | 44 |
| <i>L. Zn-terhelés hatására, mg Zn/kg</i> | | | | | | |
| a) Levél ¹ | 17 | 163 | 242 | 289 | 26 | 178 |
| b) Szár ² | 5 | 23 | 30 | 42 | 3 | 25 |
| c) Mag ² | 18 | 49 | 53 | 56 | 7 | 44 |

Megjegyzés: ¹: jún. 3-án, ²: júl. 23-án betakarításkor; As-, Hg-, Mo- és Pb-koncentráció 0,1 mg/kg alatt szennyezetlen talajon

Mikroelem-terhelés hatása a spenót levelének klorofill- és karotinoid-tartalmára

A friss spenótleveél klorofill-A- és klorofill-A'-készlete tendenciájában igazolhatóan emelkedett a Cr- és Se-kezelésekben. Az As- és Cd-kezelésekben érdemi változást nem tapasztaltunk. A klorofill-B mennyisége viszont csökkent a maximális As-kezelésben, ill. megkétszereződött a Se-terhelés nyomán. Figyelemre méltó változás történt a krómmal szennyezett talajon, ahol szemmel láthatóan a klorofill-B frakció klorofill-B' módosulattá alakult át és mennyisége egy nagyságrenddel megemelkedett. A Se-terhelés a klorofill-B' frakciónak szintén nagyságrendi növelését eredményezte (5. táblázat).

A karotinoidok – ezek a zsírban oldódó biológiailag aktív pigmentek – nemcsak a fotoszintézist segítik elő a fény abszorpciójával és a fényenergia szállításával, hanem a klorofill oxidatív károsodása ellen is védelmet nyújtanak. Együtt képződnek a klorofillal és – mint antioxidánsok (H⁺ donorok) – a telítetlen zsírsavakra is hatnak. A béta-karotin szimmetrikus felépítésű, optikailag aktív.

5. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a friss spenótlevél klorofill-tartalmára
1996. jún. 3-án (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

| (1) Elem | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|----------------------------|-----------------------------------|------|------|------|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>Klorofill-A, mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 92 | 96 | 77 | 65 | 44 | 83 |
| Cd | 89 | 95 | 84 | 80 | | 87 |
| Cr | 89 | 112 | 114 | 128 | | 111 |
| Se | 90 | 154 | - | - | | 122 |
| <i>Klorofill-A', mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 5,9 | 9,3 | 5,4 | 4,9 | 5,1 | 6,4 |
| Cd | 5,5 | 8,1 | 5,6 | 5,8 | | 6,2 |
| Cr | 5,5 | 11,7 | 12,3 | 11,7 | | 10,3 |
| Se | 6,7 | 20,8 | - | - | | 13,8 |
| <i>Klorofill-B, mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 25 | 24 | 24 | 13 | 8 | 22 |
| Cd | 21 | 32 | 23 | 18 | | 24 |
| Cr | 23 | 20 | 3 | 0,0 | | 12 |
| Se | 26 | 55 | - | - | | 40 |
| <i>Klorofill-B', mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 2,6 | 1,4 | 2,0 | 0,0 | 3 | 1,5 |
| Cd | 2,9 | 5,1 | 1,0 | 0,2 | | 2,3 |
| Cr | 2,7 | 6,4 | 25,7 | 23,9 | | 14,6 |
| Se | 2,6 | 20,0 | - | - | | 11,3 |

Megjegyzés: - = A növényzet kipusztult

Széthasítva két A-vitamint képezhet. Amint a 6. táblázat adataiból kitűnik, a spenót levele elsősorban luteinban és β -tokoferolban gazdag, β -karotinban viszont szegény.

A Se-szennyezés nyomán látványosan és igazolhatóan nőtt a lutein koncentrációja a friss spenót levelében. A β -tokoferol tartalmát az arzén, króm és szelén egyaránt mérsékelte. A β -karotin mennyiségét drasztikusan emelte a szelén, míg a króm mérsékelten emelte.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a talajszennyezés, a mikroelemek túlsúlya nemcsak a termés mennyiségét és ásványi összetételét változtathatja meg, hanem tükröződhet a termék egyéb minőségi jellemzőin, a klorofill és egyéb pigmentek mennyiségén, ill. egymáshoz viszonyított arányán.

6. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a friss spenótlevél lutein-, β -karotin- és β -tokoferol-tartalmára 1996. jún. 3-án
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Elem | (2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha | | | | (3) SzD _{5%} | (4) Átlag |
|--|-----------------------------------|------|------|-----|--------------------------|--------------|
| | 0 | 90 | 270 | 810 | | |
| <i>Lutein, mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 73 | 83 | 72 | 48 | 28 | 69 |
| Cd | 79 | 102 | 76 | 77 | | 84 |
| Cr | 70 | 79 | 88 | 60 | | 74 |
| Se | 76 | 166 | - | - | | 121 |
| <i>β-tokoferol, mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 24 | 26 | 23 | 14 | 8 | 22 |
| Cd | 22 | 24 | 24 | 26 | | 24 |
| Cr | 25 | 25 | 20 | 14 | | 21 |
| Se | 23 | 13 | - | - | | 18 |
| <i>β-karotin, mg/kg</i> | | | | | | |
| As | 5,3 | 8,5 | 2,6 | 2,7 | 4,9 | 4,8 |
| Cd | 4,1 | 8,0 | 1,5 | 1,9 | | 3,8 |
| Cr | 3,1 | 7,0 | 11,1 | 9,0 | | 7,5 |
| Se | 5,5 | 31,4 | - | - | | 18,4 |

Megjegyzés: - = A növényzet kipusztult

A spenót átlagos összetétele és elemfelvétele szennyezetlen talajon

A 7. táblázat eredményei szerint a június 3-án szedett levelek alacsonyabb N-, P-, Zn-, Cu- és Mo-, valamint emelkedett Ca- és Mn-tartalommal rendelkeztek, mint a BERGMANN (1988) által közölt irodalmi optimum. A NO₃-N-koncentráció is mérsékelt maradt. Amennyiben a szár és a mag összetételét vizsgáljuk megállapítható, hogy a mag N, P és Zn elemekben dúsabb. A többi vizsgált makro- és mikroelem döntően a szártermésben akkumulálódott. Az As, Hg, Mo elemek koncentrációja 0,1 mg/kg, ill. méréshatár alatt maradt.

A 17–19 t/ha friss levéltermés, mely 2,2 t/ha légszáranyag-hozamot jelentett, 84 kg K-, 58 kg N-, 51 kg Ca-, 12 kg Mg- és 7–9 kg S- ill. P-készlettel rendelkezett. A 10 t friss levéltermés fajlagos elemigénye 56 kg K₂O, 32 kg N és 9 kg P₂O₅ mennyiséggel jellemezhető ezen a talajon. A TERBE (1994) által közölt fajlagos értékek jó egyezést mutatnak a N és K₂O esetén, míg a 18 kg P₂O₅ kétszeres túlsúlyt mutat. Szaktanácsadásban a fajlagos tartalmakat szorozzuk a tervezett terméssel, hogy a tápelemigényt becsülhessük. Mindez akkor helyénvaló, ha a zöld levéltermést betakarítva a melléktermékeket leszántjuk (8. táblázat).

7. táblázat

A légszáraz spenót átlagos összetétele szennyezetlen talajon 1996-ban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Elem jele | (2) Mérték- egység | (3) Levél jún. 3-án | (4) | (5) |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|------------|------|
| | | | Szár | Mag |
| | | | júl. 23-án | |
| K | % | 4,67 | 2,07 | 1,00 |
| N | % | 3,20 | 1,10 | 2,77 |
| Ca | % | 2,82 | 1,61 | 0,72 |
| Mg | % | 0,64 | 0,71 | 0,32 |
| S | % | 0,52 | 0,28 | 0,21 |
| P | % | 0,41 | 0,11 | 0,46 |
| Na | mg/kg | 953 | 1504 | 186 |
| NO ₃ -N | mg/kg | 636 | 272 | 288 |
| Fe | mg/kg | 395 | 249 | 70 |
| Al | mg/kg | 364 | 200 | 14 |
| Mn | mg/kg | 254 | 67 | 75 |
| Sr | mg/kg | 99 | 71 | 26 |
| B | mg/kg | 53 | 22 | 12 |
| Zn | mg/kg | 17 | 5 | 18 |
| Ba | mg/kg | 7 | 7 | 2 |
| Cu | mg/kg | 6 | 3 | 4 |
| Cd | mg/kg | 1,0 | 0,3 | 0,2 |
| Cr | mg/kg | 0,7 | 0,3 | 0,3 |
| Ni | mg/kg | 0,5 | 0,7 | 0,4 |
| Pb | mg/kg | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| Se | mg/kg | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Co | mg/kg | 0,1 | 0,2 | 0,2 |

Megjegyzés: As, Hg, Mo méréshatár alatt. Levél optimumok BERGMANN (1988) szerint: K 3,5–5,3 %, N 3,5–5,0 %, Ca 0,6–1,2 %, Mg 0,4–0,8 %, P 0,4–0,6 %, Mn 40–100 mg/kg, B 40–80 mg/kg, Zn 20–70 mg/kg, Cu 7–15 mg/kg, Mo 0,3–1,0 mg/kg

A 2,5 t/ha szár, ill. 3,0 t/ha mag termésének elemkészletét összevetve látható, hogy a magterméssel főként a nitrogén, foszfor, mangán, cink, réz és szelén nagyobb része kerül el a tábláról. Kísérletünkben az összesen 7,7 t/ha föld feletti légszáraz tömeg mintegy 170 kg N és K, 113 kg Ca, 40 kg Mg, ill. 22–24 kg S és P elemet akkumulált. A mikroelemek közül a Fe, Al és Mn mennyisége is a 0,8–1,5 kg között ingadozott. A spenót tehát jelentős szárazanyag-felhalmozásra és elemforgalomra képes növény. Kérdés mennyiben játszhat szerepet a mérsékeltebben szennyezett talajok tisztításában, a fitoremediációban (8. táblázat).

8. táblázat

A spenót föld feletti légszáras termésének elemfelvétele szennyezetlen talajon
1996-ban (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Elem jele | (2) Mérték- egység | (3) Levélben 2,2 t/ha | (4) Szárban 2,5 t/ha | (5) Magban 3,0 t/ha | (6) Összesen 7,7 t/ha |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| K | kg/ha | 84 | 52 | 30 | 166 |
| N | kg/ha | 58 | 28 | 83 | 169 |
| Ca | kg/ha | 51 | 40 | 22 | 113 |
| Mg | kg/ha | 12 | 18 | 10 | 40 |
| S | kg/ha | 9 | 7 | 6 | 22 |
| P | kg/ha | 7 | 3 | 14 | 24 |
| Na | kg/ha | 2 | 4 | 1 | 7 |
| NO ₃ -N | g/ha | 1145 | 680 | 864 | 2689 |
| Fe | g/ha | 711 | 622 | 210 | 1543 |
| Al | g/ha | 655 | 500 | 42 | 1197 |
| Mn | g/ha | 457 | 168 | 225 | 850 |
| Sr | g/ha | 178 | 178 | 78 | 434 |
| B | g/ha | 95 | 55 | 36 | 186 |
| Zn | g/ha | 31 | 12 | 54 | 97 |
| Ba | g/ha | 13 | 18 | 6 | 37 |
| Cu | g/ha | 11 | 8 | 12 | 31 |
| Cd | g/ha | 1,8 | 0,8 | 0,6 | 3,2 |
| Cr | g/ha | 1,3 | 0,8 | 0,9 | 3,0 |
| Ni | g/ha | 0,9 | 1,8 | 1,2 | 3,9 |
| Pb | g/ha | 0,9 | 0,5 | 0,0 | 1,4 |
| Se | g/ha | 0,4 | 0,5 | 0,9 | 1,8 |
| Co | g/ha | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 1,3 |

Megjegyzés: Az As, Hg, Mo mérés határ alatt maradt. A 10 t friss levéltermés elemigénye: 47 kg K (56 kg K₂O), 32 kg N, 28 kg Ca, 7 kg Mg, 5 kg S, 4 kg P (9 kg P₂O₅)

A spenót maximális mikroelem-felvétele szennyezett talajon

A szennyezett talajon fejlődött spenót maximális mikroelem-felvételéről a 9. táblázat adatai nyújtanak áttekintést. A táblázatban megfigyelhető, hogy – az arzén és ólom kivételével – a legnagyobb elemfelvételre a levéltermés képes. A szár és a mag együtt sem éri el a levéltömegben foglalt elemek mennyiségét. Az elemeket a növekvő felvételük szerint rendeztük. Az As-, Pb-, Ni- és Hg-felvétel elhanyagolható, az összes (levél+szár+mag) felvett mennyiség mindössze 12–33 g/ha között ingadozott.

9. táblázat

A spenót maximális mikroelem-felvétele szennyezett talajon (g/ha)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

| (1) Elem jele | (2) Levélben jún. 3-án | (3) | (4) | (5) | (6) Összesen 1996-ban |
|---------------------|------------------------------|------------|--------|----------|-----------------------------|
| | | Szárban | Magban | Szár+mag | |
| | | júl. 23-án | | | |
| As | 3 | 8 | 1 | 9 | 12 |
| Pb | 4 | 6 | 0 | 6 | 10 |
| Ni | 10 | 7 | 7 | 14 | 24 |
| Hg | 31 | 2 | 0 | 2 | 33 |
| Cr | 48 | 19 | 9 | 28 | 76 |
| Cu | 51 | 13 | 25 | 38 | 89 |
| Ba | 90 | 52 | 16 | 68 | 158 |
| Cd | 136 | 37 | 20 | 57 | 193 |
| Zn | 643 | 105 | 168 | 273 | 916 |
| Al | 900 | 432 | 50 | 482 | 1382 |
| Sr | 1174 | 680 | 249 | 929 | 2103 |
| Se | 1482 | 126 | 189 | 315 | 1797 |
| Mo | 1639 | 330 | 240 | 570 | 2209 |

Megjegyzés: A mag csírázóképesége átlagosan 80 % volt és igazolhatóan nem módosult a kezelések hatására. Az 1000-mag tömege 12 g volt átlagosan, a 810 kg/ha As-kezelésben igazolhatóan 8 g-ra csökkent

A második csoportot a króm, réz, bárium és kadmium képezi, melyek tömege 76–193 g/ha között alakult. A Zn 0,9 kg, Al 1,4 kg, Se 1,8 kg, Sr 2,1 kg, Mo 2,2 kg mennyiséget ért el az összes föld feletti 7,7 t/ha légszáraz termésben. A viszonylag nagy elemfelvételek ellenére a terheléshez viszonyítva nem jelenthet reális alternatívát a talajtisztítás számára a fitoremediáció. Még a maximumot mutató molibdén esetén is legkevesebb 300 évre volna szükség a 810 kg/ha terhelésű talaj elszegényítéséhez.

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kispárcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO₃-ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető tápelemekkel való ellátottsága: Ca, Mg, Mn, Cu kielégítő, N és K közepes, P és Zn gyenge volt. A talajvíz 15 m mélyen helyezkedik el, a terület vízmérlege negatív, aszályra hajló. A 13 vizsgált

mikroelem sóit 4–4 szinten alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A $13 \times 4 = 52$ kezelést 2 ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán, split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl_3 , NaAsO_2 , BaCl_2 , CdSO_4 , K_2CrO_4 , CuSO_4 , HgCl_2 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, NiSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , SrSO_4 és ZnSO_4 formájában. A 100–100–100 kg/ha N– P_2O_5 – K_2O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammónitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó és cékla volt. A 6. évben végzett spenót kísérletünk eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A 13 vizsgált elemből az As, Cd és Se bizonyult toxikusnak a spenóra. A gyomirtó kapálás előtti gyomborítotttság %-át viszont igazolhatóan az As-, Cr- és Se-terhelés mérsékelte.

– A zöld levéltermés június 3-án 18 t/ha mennyiséget tett ki átlagosan a kontrolltalajon, mely a maximális As-terheléssel 10 t/ha, Cd-terheléssel 4 t/ha mennyiségre csökkent. A 270, ill. 810 kg/ha Se-kezelésekben a növények kipusztultak. A július 23-án betakarított légszáraz szár 2,5 t/ha, míg a mag 2,8–3,0 t/ha hozamot adott a szennyezetlen talajon. A 810 kg/ha As-kezelésben a maghozam 1,6 t/ha-ra esett, míg a hasonló terhelésű Cd-kezelésben értékelhető termést már nem kaptunk.

– Elsősorban a zöld levél dúsult szennyező elemekben, kevésbé a szár, ill. legkevésbé a mag. Mérsékelt (10 mg/kg alatti maximális) koncentrációban fordult elő az arzén, higany, magnézium, nikkell és ólom. A bárium, króm és réz 20–40 mg/kg, a kadmium 144, a cink 289, a stroncium 518, a molibdén 670 és a szelén 765 mg/kg koncentrációt ért el a légszáraz levélben. A három nagyságrendbeli dúsulás (hiperakkumuláció) a Mo és Se elemekre volt jellemző, melyek tömegarámmal akadálytalanul bejuthatnak a föld feletti növényi részekbe. A molibdenát- és szelenátanionok felvehetőek maradnak ezen a meszes, jól szelőlőző talajon hosszú éveken át.

– A zöld spenótlevelel klorofill-A- és klorofill-A'-tartalma igazolhatóan nőtt a Cr- és Se-kezelésekben. A Se-terhelés drasztikusan emelte a klorofill-B és klorofill-B' frakciók mennyiségét, míg a Cr-szennyezett talajon a klorofill-B forma klorofill-B' formává alakult át.

– A karotinoidok közül a lutein mennyisége megkétszereződött a Se-kezelésben, valamint a β -karotin-tartalma megtöbbszöröződött a Cr- és Se-terheléssel. A β -tokoferol koncentrációját mind az As-, mind a Cr- és Se-szennyezés mérsékelte.

– A 17–19 t/ha friss levéltermés (2,2 t/ha légszáraz tömeg) 84 kg K-, 58 kg N-, 51 kg Ca-, 12 kg Mg-, 7–9 kg S- és P-készlettel rendelkezett. A 10 t zöld levéltermésre számított elemigény 32 kg N, 9 kg P_2O_5 , 56 kg K_2O ezen a talajon, amennyiben a melléktermést leszántjuk. A 7,7 t/ha összes föld feletti légszáraz hozam (levél+szár+mag) mintegy 170 kg N és K, 113 kg Ca, 40 kg Mg,

22–24 kg S és P elemakkumulációt mutatott. A felvett Fe-, Al- és Mn-mennyiség 0,8–1,5 kg között ingadozott.

– A szennyezett talajon mért maximális mikroelem-felvételek az alábbiak voltak a spenót összes föld feletti termésében: As, Pb, Ni, Hg 12–33 g/ha között; Cr, Cu, Ba, Cd 76–193 g/ha között; Zn 0,9 kg/ha, Al 1,4 kg/ha, Se 1,8 kg/ha, Sr 2,1 kg/ha, ill. Mo 2,2 kg/ha. Az erősen szennyezett talajok tisztítására a fitoremediáció nem jelenthet reális alternatívát. A 810 kg/ha terhelésnél még a maximális felvételt adó molibdén esetén is legkevesebb 300 évre volna szükség az eredeti állapot helyreállításához hasonló körülmények között.

Irodalom

- BALÁZS S. (Szerk.) 1994. Zöldségtermesztők kézikönyve. 2. jav. kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BIACS, P. A. & DAOOD, H. G., 1994. High-performance liquid chromatography with photodiode-array detection of carotenoids and carotenoid esters in fruits and vegetables. *J. Plant Physiol.* **143**. 520–525.
- BINGHAM, F. T. et al., 1975. Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with cadmium-enriched sewage sludge. *J. Environ. Qual.* **4**. 207–211.
- CSELÓTEI L., NYÚJTÓ S. & CSÁKY A., 1993. Kertészet. 5. átdolg. kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- FILIUS I., 1994. A zöldségnövények tápanyagai. In: Zöldségtermesztők kézikönyve. (Szerk.: BALÁZS S.) 2. jav. kiadás. 73–94. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., KONCZ J. & RADICS L., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **50**. 315–334.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **49**. 181–204.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- LEHOCZKY, É., SZABADOS, I. & MARTH, P., 1996. Cadmium content of plants as affected by soil cadmium concentration. In: *Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment*. (Eds.: HOOD, T. M. & JONES, J. B.) 827–839. Marcel Dekker, Inc. New York.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998. Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 229–234.
- MARSCHNER, H., 1985. Einfluss von Standort und Wirtschaftsbedingungen auf die Nitratgehalte in verschiedenen Pflanzenarten. *Landw. Forsch. Sonderh.* 16–23.
- SAUERBECK, D., 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landw. Forsch., Sh.* **39**. 108–129.

- SAUERBECK, D., 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air, Soil Pollut.* **57–58.** 227–237.
- SIMON L., 1998. Talajszennyezés, talajtisztítás. GATE Mezőgazd. Főiskolai Kara. Nyíregyháza.
- TERBE I., 1994. Spenót. In: Zöldségtermesztők kézikönyve. (Szerk.: BALÁZS S.) 2. jav. kiadás. 571–576. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- VERLOO, M. & WILLAERT, G., 1990. Direct and indirect effect of fertilization practices on heavy metals in plants and soils. In: *Fertilization and the Environment.* (Eds: MERCKX H. et al.) 79–87. Leuven Univ. Press. Belgium.

Érkezett: 2001. április 17.

Effect of Microelement Loads on Spinach Grown on Calcareous Chernozem Soil

¹I. KÁDÁR, ²H. DAOOD and ³L. RADICS

¹Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest; ²Lipid Laboratory, Central Institute for Food Industry Research, Budapest and ³Faculty of Horticultural Science, Szent István University, Budapest

Summary

The small-plot field experiment set up in spring 1991 (soil characteristics, groundwater depth, the form and level of applied microelement treatments, crop sequence) was described in KÁDÁR et al. (2001). The results of the spinach experiment carried out in the 6th year can be summarized as follows:

– Of the 13 elements examined, As, Cd and Se proved to be toxic to spinach, but the % weed cover prior to hoeing for weed control significantly moderated the As, Cr and Se pollution.

– On Jun. 3rd the green leaf yield averaged 18 t/ha on the control soil, which was reduced to 10 t/ha by maximum As loads and to 4 t/ha by Cd. In the 270 and 810 kg/ha Se treatments the plants were all destroyed. The air-dry stems harvested on Jul. 23rd amounted to 2.5 t/ha and the seed to 2.8–3.0 t/ha on untreated soil. In the 810 kg/ha As treatment the seed yield dropped to 1.6 t/ha, while in the maximum Cd treatment there was no evaluable yield.

– The microelements accumulated mainly in the green leaves, to a lesser extent in the stems and least of all in the seed. Moderate maximum concentrations of less than 10 mg/kg were found in the air-dry leaves for As, Hg, Mg, Ni and Pb, while Ba, Cr and Cu reached concentrations of 20–40, Cd 144, Zn 289, Sr 518, Mo 670 and Se 765 mg/kg, resp. Hyperaccumulation, with increases of three orders of magnitude, was characteristic of Mo and S. The molybdenate and selenate anions remain available for many years in this calcareous, well-aerated soil.

– The chlorophyll-A and chlorophyll-A' contents of the green spinach leaves rose significantly in the Cr and Se treatments. Se loads led to a drastic increase in the chlorophyll-B and chlorophyll-B' fractions, while on soil contaminated with Cr the chlorophyll-B form was converted to chlorophyll-B'.

– Among the carotinoids, the quantity of lutein was doubled in the Se treatment, the β -carotene content became many times greater in the Cr and Se treatments. The β -tocopherol concentration was reduced by As, Cr and Se loads.

– The 17–19 t/ha fresh leaf yield (2.2 t/ha air-dry mass) contained 84 kg K, 58 kg N, 51 kg Ca, 12 kg Mg, and 7–9 kg S and P. The element requirements calculated for a green leaf yield of 10 t/ha were 32 kg N, 9 kg P₂O₅ and 56 kg K₂O on this soil, provided the by-products were incorporated. The 7.7 t/ha total aboveground dry yield (leaf+stem+seed) exhibited an element accumulation of 170 kg N and K, 113 kg Ca, 40 kg Mg and 22–24 kg S and P. The uptake of Fe, Al and Mn was 0.8–1.5 kg.

– The maximum microelement uptake recorded on treated soil in the total aboveground yield of spinach amounted to 12–33 g/ha for As, Pb, Ni and Hg, 76–193 g/ha for Cr, Cu, Ba and Cd, 0.9 kg/ha for Zn, 1.4 for Al, 1.8 for Se, 2.1 for Sr and 2.2 kg/ha,

resp. for Mo. Phytoremediation is not a real alternative for the cleansing of heavily contaminated soil. At a pollution level of 810 kg/ha at least 300 years would be required under these conditions for the re-establishment of the original state even in the case of Mo, where the maximum uptake was recorded.

Table 1. Agronomic measures and observations in the spinach experiment (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, 1995–1996).

Table 2. Effect of treatments causing phytotoxicity on plant cover (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, May 12th 1996). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. A. % spinach cover. B. % weed cover. C. Total cover. D. % cover with *Amaranthus blitoides*.

Table 3. Effect of toxic elements causing yield losses in spinach (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, 1996). (1)–(4): see Table 2. A. Mean plant height on Jun. 3rd, cm. B. Scoring for plant stand on Jul. 23rd. C. Green leaf yield on Jun. 3rd, t/ha. D. Air-dry stem yield on Jul. 23rd, t/ha. E. Air-dry seed yield on Jul. 23rd, t/ha. Note: *Scoring: 0 = plants destroyed, 1 = poorly, 5 = well developed stand. **The leaf yield represented 80–85% of the aboveground mass. Air-dry matter 12%, mean air-dry matter yield on untreated soil 2.2 t/ha.

Table 4. Effect of loads on the element content of air-dry spinach, 1996. (1) Plant organ. a) leaf, b) stem, c) seed. (2)–(4): see Table 2. A–L. As a result of As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr and Zn loads, resp., mg/kg. Note: ¹: on Jun. 3rd, ²: at harvest, Jul. 23rd; the As, Hg, Mo and Pb concentrations were below 0.1 mg/kg on untreated soil.

Table 5. Effect of phytotoxic treatments on the chlorophyll content of fresh spinach leaves (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, Jun. 3rd 1996). (1)–(4): see Table 2.

Table 6. Effect of phytotoxic treatments on the lutein, β -carotene and β -tocopherol contents of fresh spinach leaves (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, Jun. 3rd 1996). (1)–(4): see Table 2.

Table 7. Mean composition of air-dry spinach on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, 1996). (1) Element. (2) Units. (3) Leaves on Jun. 3rd. (4) Stem on Jul. 23rd. (5) Seed on Jul. 23rd. Note: As, Hg and Mo values were below the detection limit. Leaf optima according to BERGMANN (1988).

Table 8. Element uptake of the aboveground air-dry yield of spinach on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök, 1996). (1) Element. (2) Units. (3) In the leaf, 2.2 t/ha. (4) In the stem, 2.5 t/ha. (5) In the seed, 3.0 t/ha. (6) Total, 7.7 t/ha. Note: As, Hg and Mo values were below the detection limit. Element requirements of 10 t fresh leaf yield.

Table 9. Maximum microelement uptake of spinach on contaminated soil, g/ha (Calcareous chernozem soil, Nagyőrcsök) (1) Element. (2) In the leaf on Jun. 3rd. (3) In the stem, (4) In the seed, (5) In the stem+seed on Jul. 23rd. (6) Total in 1996. Note: Seed germination ability averaged 80% and was not significantly influenced by the treatments. The 1000-seed mass averaged 12 g, and decreased significantly to 8 g in the 810 kg/ha As treatment.