

A szelén jelentősége az élővilágban és a kutatásban

Széles Éva¹ – Tóth Árpád¹ – Nagy Attila² –
 Prokisch József¹ – Kovács Béla¹ – Győri Zoltán¹

Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
 Mezőgazdaságtudományi Kar,

¹Élelmiszertudományi Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai
 Intézet, Debrecen

²Környezetgazdálkodási és Műszaki Tanszék, Debrecen
 szeleseva@freemail.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Mára a szelén egyike lett a leginkább tanulmányozott mikroelemeknek, mivel számos élettani folyamatban bizonyították fontos szerepét. Közvetlen vagy közvetett módon, de a szelénhiány számos betegség kialakulásában játszhat szerepet. Másfelől, a szelén egyike azoknak az elemeknek is, amelyek nagyon szűk toleranciatartománnyal jellemezhetők, azaz a szervezet számára szükséges és toxikus Se mennyiség nagyon közel esik egymáshoz. Ezzel összefüggésben a szelénzennyezés egy másik egészségügyi kockázatot jelent a különböző ipari tevékenységek, és egyes bányászatok körzetében élő emberek számára.

Jelen munkánkban célul tűztük ki a szelén, mint napjainkban igen fontosnak tartott nyomelem átfogó bemutatását; megvizsgáltuk a szelén alaptulajdonságait, előfordulását, analitikáját, valamint hiánybetegségeit és a szennyezéssel kapcsolatos problémakörét, valamint a szennyezés megszüntetésének lehetőségeit is.

Kulcsszavak: szelén, hiánybetegség, szennyezés, toxicitás, bioakkumuláció, analitika, fitoremediáció

SUMMARY

Presently, selenium (Se) is one of the most investigated microelements. It has an important proven role in many vital processes. Directly or indirectly, selenium deficiency can play a role in the development of many diseases. On the other hand, the concentration range in which selenium is essential is narrow; there is a narrow gap between necessary and toxic content in dietary intake. In this context, selenium contamination poses a further health risk for people if they live near the industrial areas and mining activity.

In this paper, we comprehensively introduce the very important trace element selenium. We studied the base parameters, deposit, analytic and deficiencies, problem of contamination and also the solution of contamination problems of selenium.

Keywords: selenium, deficiency, contamination, toxicity, bioaccumulation, analytic, fitoremediation

BEVEZETÉS

Mára a szelén egyike lett a leginkább tanulmányozott mikroelemeknek, mivel számos élettani folyamatban bizonyították fontos szerepét. Közvetlen vagy közvetett módon, de a szelénhiány számos betegség kialakulásában vagy kórképének súlyosbodásában játszhat szerepet (Navarro-Alarcón

és López-Martinez, 2000). Olyan betegségek esetén is kimutattak összefüggést a szelénhiánnyal, mint pl. a Down-szindróma, Alzheimer-kór, vagy az AIDS, amelyek korunk igen súlyos és sajnos egyre inkább elterjedt betegségei.

Napjainkban általában inkább a szelénhiány okozta betegségek vizsgálatával, ezzel együtt pedig a hiány csökkentésével, a szelénpótlás lehetőségeivel kapcsolatos kutatásokat folytatnak. Hiszen köztudott pl., hogy Európa talajainak egy része (Anglia, Finnország és a Kárpát-medence) szelénben hiányos, vagyis az ezeken a területeken élő lakosság (így hazánk lakói is) szelénben hiányosan táplálkozik, ami komoly egészségügyi kockázatot jelent (Reilly, 1998).

Emellett azonban egy másik egészségügyi kockázatot jelenthet a szelénzennyezés, hiszen a szelén egyike azoknak az elemeknek, amelyek nagyon szűk toleranciatartománnyal jellemezhetők, azaz a szervezet számára szükséges és toxikus Se mennyiség nagyon közel esik egymáshoz. Nagyobb mennyiségű szelén tehát toxikus hatású lehet (McNeal és Balistrieri, 1989).

A különböző ipari tevékenységek, és egyes bányászatok körzetében a talajok, valamint a környező vízi világ igen erőteljesen elszennyeződhet szelénrel. Az ilyen területek felkutatása, vizsgálata és regenerálása (a szennyezés megszüntetése, a talaj és az élővilág eredeti állapotának visszaállítása) szintén igen komoly feladat a kutatók számára, hiszen egy nagymérvű környezeti terhelés az emberi táplálkozásra, s így egészségünkre is kihat (Michalke, 1995). A szennyezés kezelésére jó megoldást jelenthet a fitoremediáció. Ez azt jelenti, hogy az adott szennyezőanyagot (adott esetben a szelént) intenzíven felhalmozni képes növényeket ültetnek/vetnek a szennyezett területekre, és a növények eltávolításával, majd újbóli telepítésével lassan eltávolítják a szennyezést a talajból. Ez az eljárás igen olcsó, és az eddigi kísérletek alapján igen hatékony is (Szabó, 2002; Terry és Chang, 2004).

A SZELEN TÖRTÉNETE

A szelént 1817-ben izolálták. A felfedezés Jöns Jacob Berzelius és Gahn érdeme. Berzelius vizsgálta egy gripsholmi kénsavgyár dolgozói rosszullétének okát, s eközben fedezte fel az új elemet, amelyet Szelénéről, a hold görög istennőjéről szelénnek (Se) nevezett el. Amikor megvizsgálta a savkádak

üledékét, akkor egy illékony, vörösesbarna lerakódást fedezett fel, amelyben egy új, addig még ismeretlen elemet tudott meghatározni; ez volt a szelén.

Habár a szelént már 1817-ben felfedezték, először csak 1957-ben Schwaz és Foltz bizonyította esszenciális jellegét. Patkánykísérleteik során állapították meg, hogy az állatok étrendjébe illesztett szelén fontos szerepet játszott a máj-nekrózis megelőzésében (Schwarz és Foltz, 1957).

Igazán nagy jelentősége a szelénnek csak a 70-es évektől lett, amikor is Kína Keshan nevű tartományában felfigyeltek egy komoly betegség megjelenésére, amely sok emberéletet követelt. Ez a betegség szívizomgyengüléshez és halálhoz vezetett. A betegséggel foglalkozó tudósok többek között a helyiek táplálékát is megvizsgálva rájöttek, hogy a betegség által sújtott területeken élők tápláléka az átlagosnál jóval kevesebb szelént tartalmaz. Ezt követően nátrium-szelenittel kiegészítve a lakosság étrendjét, sikerült megállítani a halálos betegséget (Chen et al., 1980). Csak jóval később derült ki, hogy ezt a súlyos betegséget nem közvetlenül a szelénhiány okozta, hanem az ún. Cocksackie-vírus fertőzése. Ez a vírustörzs azok közé tartozik, melyek sejten belüli reprodukcióját a szelén szelektíven gátolja (Levander és Beck, 1997).

Így indult útjára a szelénnel kapcsolatos széleskörű kutatás, amely elsősorban a szelénhiány okozta betegségekre, a szelénnek az emberi szervezet biokémiai reakcióiban betöltött szerepére és a hiánypótlásra irányult.

A SZELEN KÉMIAI TULAJDONSÁGAI

A szelén alapvető kémiai tulajdonságai; rendszáma 34, relatív atomtömege 78,96 g. Hat stabilis izotópja ismert, a leggyakoribb a ^{80}Se -izotóp. Többféle oxidációs számmal fordul elő, melyek rendre: -II, 0, +IV és +VI, de vegyületei a +IV-es oxidációs állapotban a legstabilabbak. A szelén megtalálható a talajban, a vizekben és a levegőben is, talajban: 0,1-0,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, a levegőben 0,1-10 ng m^{-3} , a felszíni vizekben pedig 0,06-400 $\mu\text{g l}^{-1}$ mennyiségben mutatták ki. Oldódásának mértékét a vizes közeg pH-ja nagyban befolyásolja (Skinner, 1999).

A szelén, mint a 6. főcsoport tagja, a kénnel analóg módon viselkedik, minden kéntartalmú molekulának létezik szelént hordozó, analóg vegyülete. Így a kén és a szelén egymással versengve szerepelhet egyes biokémiai reakciókban (Combs és Combs, 1986). A két elemnek hasonló a külső vegyértékű elektronszerkezete és atommérete, valamint kötési energiáik, ionizációs potenciáljuk és elektronaffinitásuk tulajdonképpen egyforma. Közös sajátosságuk a diszulfid (-S-S-) ill. diszelenid (-Se-Se-) hidak kialakítása szerves vegyületekben. A hasonlóságok ellenére a kén és a szelén biokémiája eltér egymástól. Az egyik fő különbség köztük, hogy a biológiai rendszerek anyagcsere folyamatai során a szelénformák redukálódnak, a kénvegyületek pedig oxidálódnak. A szelenit (SeO_3^{2-}) enyhe, a szelenát (SeO_4^{2-}) erős oxidálószer, míg a szulfid (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 hidrid sokkal savasabb karakterű, mint a H_2S . A savfokbeli eltérést a szelenocisztein szelenohidril- és a cisztein szulfhidril csoportjának disszociációs tulajdonságai okozzák. Ebből adódóan, míg a tiolok (cisztein) főleg protonált formában vannak jelen fiziológiai pH-érték mellett, addig a szelenolok szelenohidril csoportjai (szelenocisztein) ugyanilyen körülmények között inkább disszociációra hajlamosabbak. Ezekre az eltérésekre vezethető vissza, hogy a szelén komponensek átlagosan hatszázszorosan aktívabbak a daganatos megbetegedések ellen, mint kén analógaik (Ip és Ganther, 1992; Kápolna, 2006).

A SZELEN ELŐFORDULÁSA A TERMÉSZETBEN

A szelén környezetünkben, a talajban, a talajvízben és egyéb felszíni és felszín alatti vizeinkben, valamint az összes élő szervezetben előfordul. A biológiailag nem hozzáférhető elemi szelén csak ritkán fordul elő természetes körülmények között; vízben nem, vagy csak kissé oldható.

Az elemi szelén szelén-dioxiddá oxidálódhat; az oxidok leginkább a talaj felszínén jelentkeznek. Levegőtől elzárt, anaerob körülmények között, a talajokban a szelén elemi formája van jelen. A szelén talajokban előfordul összes mennyisége: 0,03-30 mg kg^{-1} , az üledékek összes szerves szelén tartalma, pedig 0,1-1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ között van (Craig, 1986).

A fő szelénvegyületek, amelyek a környezetünkben előfordulnak:

- 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: szelenocisztin (SeC), szelenometionin (SeM), elenoetionin (SeE), szelenourea (McSheehy et al., 2000; Michalke et al., 2001).

A szelén négyféle oxidációs állapotban fordulhat elő környezetünkben; -2-es oxidációs állapotú vegyületként (szelenid), valamint +4-es (szelénessav és sói, a szelenitek), illetve +6-os (szelénsav és sói, a szelenátok) oxidációs számú formaként. A szelenátok (SeO_4^{2-}) és a szelenitek (SeO_3^{2-}) vízdékony vegyületek, így a vizekben a szelén leginkább ilyen módosulataiban fordul elő (Gómez-Ariza et al., 1998).

A szelén mozgékonyágát a talajban a talaj hőmérséklete, víztartalma, szerves anyag tartalma, az évszaki jellemzők, a pH, a redoxpotenciál, illetve a talajban lejátszódó mikrobiális tevékenységek befolyásolják (Skinner, 1999; Adriano, 2001).

A jobb biológiai hozzáférhetőség miatt a vízdékony szelén vegyületek veszélyesebbek lehetnek, mint az elemi szelén, amely sokkal kevésbé mozgékony és oldékony a talajban, azaz az emberi szervezet számára ez a szelénforma nem jelent veszélyforrást (Kádár, 1998).

A savas, szerves anyagokban gazdag, redukáló tulajdonságú talajokban a nem mobilis és felvehető selenid, valamint az elemi szelén, míg a lúgos kémhatású, jól szellőző, oxidatív tulajdonságú talajokban a selenit (SeIV) és a selenát (SeVI) van inkább jelen.

A szervesetlen módosulatok mellett ismertek a szelén szerves kötésben lévő formái is, amelyekben a szelén szelenitként van jelen. Ezek leginkább szeleno-aminosavak, vagy azok származékai, amelyek tulajdonképpen olyan aminosavak, amelyekben a kén helyett szelén szerepel. A szelén legfontosabb szerves formáinak tekintik a növényi eredetű szelenometionint (SeMet), illetve az állati fehérjékből származó szelenociszteint (SeCys).

A SZELÉN SZEREPE ÉLETTANI FOLYAMATAINKBAN

Mára a szelénnek számos élettani folyamatban bizonyították fontos szerepét. Pl. alkotója a 21. aminosavnak, a szelenociszteinnak (SeCys), mely nem valamelyik aminosav utólagos módosításával jön létre, hanem saját kódonnal és t-RNS-el is rendelkezik (Stadtman, 1996). A SeCys szabályozottan épül be egy sor enzimebe, amelyek katalitikus folyamataihoz ez az aminosav elengedhetetlen; cseréje pl. a kéntartalmú ciszteinnel több nagyságrendnyi aktivitáscsökkenést eredményez. Az emberi jodotironin-dejodináz a jód anyagcseréjében, a glutation-peroxidázok egész családja és a tioredoxin-redoxáz a sejtek oxidatív stressz elleni védelmében rendelkezik rákellenes hatással (Schrauzer, 2000). Ezekon kívül sikerült még kimutatni SeCys-t tartalmazó (valószínűleg funkcionális, de még nem tisztázott feladattal rendelkező) szeléntartalmú fehérjéket (összesen több mint 30 félé), pl. a mitokondriumokban, a prosztatában és a herékben is (Behne et al., 1998). Az utóbbi két előfordulási hely megalapozza azt az állítást, miszerint a nem kielégítő szelénbevitel ronthatja a férfiak nemzőképességét (Reilly, 1998). Közvetlen vagy közvetett módon a szelénhiány nagyon sok betegség kialakulásában játszhat szerepet (Navarro-Alarcón és López-Martinez, 2000). A szelén hiánya az állatoknál is sok betegség kialakulásához vezethet, pl. izomsorvadás, szarvasmarhánál izzadási hajlam, valamint sperma- és vérszegénység, sertéseknél májnekrozis, bárányoknál fejlődési zavarok lépnek fel.

A különböző szelénanyagcsere szakaszokban nem beszélhetünk éles határkoncentrációkról, rögzített beviteli mennyiségekről. Az optimális tartomány felső értékeit elérve már megindul a szelén kiválasztása a vizeleten keresztül; először a szervezetet legkevésbé terhelő szelenocukrok, majd a kissé mérgezőbb, de könnyebben szintetizálható TMSe^+ forma választódik ki. Ha DMSe távozik a szervezetből, amely jellegzetes tünetekkel jár (fokhagymaszagú lehelet, ill. verejték), az már igen súlyos mérgezésre utal (Denovics, 2003).

A SZELÉN ANTIOXIDÁNS HATÁSA

A szelén antioxidáns szerepe már régóta tisztázott, és tudjuk, hogy nagy jelentőséggel bír. Ez a hatás elsősorban annak köszönhető, hogy a szelén egy igen fontos enzim; a glutation peroxidáz (GPx) működésében játszik kulcsfontosságú szerepet. Ez az enzim hidrogén-peroxiddal és más káros hatású lipid- és foszfolipid hidroxidokkal reagálva eliminálja az azokból képződött káros szabadgyököket és egyéb reaktív oxigén vegyületeket (Al-Kunania et al., 2001), valamint meggátolja a DNS károsodást és a metabolikusan aktív karcinogének kialakulását (Karag et al., 1998). 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 szelenociszteinként épül be az enzimebe, és mint cisztein analóg 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: sejtj 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; redukálja a veszélyt jelentő reaktív oxigéngyököket (Holben és Smith, 1999). A szelén tehát antioxidáns hatású enzimek alkotója, szemben akár az E- illetve C-vitaminnal, melyek nem enzimes módon működő antioxidánsok (Burk, 2002).

A szelenoproteinek az anyagcserében aktív szerepet betöltő fehérjék, amelyek a szervezeten belül keletkezett szelenociszteint tartalmazznak. Ezek a proteinek kizárólag szelén jelenlétében képesek működni és szintézisük lecsökken, ha a szervezetbe bevitt szelén mennyisége nem megfelelő. Számos szelenoproteinnek ismert már a fiziológiai szerepe. Ezek között található legalább öt glutationin izoforma, a szelenoprotein P, három jodotironindejodináz, három tioredoxin-reduktáz és a szelenofoszfát-szintetáz enzim (Allan et al., 1999). A szelenoprotein P a plazmában található és a véredények belső falát alkotó sejtekkel (endotél sejtek) áll összeköttetésben.

Ugyan még nem tisztázott ennek a fehérjének az emberi szervezetben betöltött funkciója, feltételezhető azonban, hogy szerepet kap mind a transzport feladatokban, mind pedig antioxidáns képességével védelmet nyújt az endotél sejteknek a reaktív nitrogén formák, az ún. peroxinitritok káros hatásaival szemben. A szelenoprotein W az izomban található, és feltételezhetően annak metabolizmusában van szerepe (Holben és Smith, 1999).

A SZELÉN HIÁNYBETEGSÉGEI ÉS SZEREPE EGYÉB BETEGSÉGEKBE

A szelén hiánybetegségei közé tartozik a már említett, első ízben felfedezett, igen súlyos hiánybetegség, a Keshan-kór, amelyet Kínában fedeztek fel. Ehhez a betegséghez hasonló, és szintén Kínában és környékén (Észak-Kína, Észak-Korea és Kelet-Szibéria) jelentkezett az ún. Kashin-Beck elnevezésű betegség, amely az ízületi porc degenerációjában nyilvánul meg. Ellentétben a Keshan-kórral azonban, ennek a betegségnek a kialakulását a megemelt szelénbevitel nem előzi meg, vagyis ebből adódóan a szelénhiány szerepe a betegség létrejöttében igazából nem egyértelmű. Azért kötik a Kashin-Beck-szindrómát mégis a szelén hiányához, mert a betegség az említett régiók kifejezetten szelénhiányos területein jelenik meg (Foster és Sumar, 1997).

Antioxidáns jellegéből következően a szelénhiány egy sor rákos megbetegedés kiváltója lehet. Ilyen betegségek, pl. a prosztaták, vastagbélrák vagy tüdőrák.

Emellett a feltételezhetően szelénhiánnyal összefüggésbe hozható megbetegedések köre bővülni látszik. Napjainkban ugyanis látszólag egyre több betegség hozható összefüggésbe a szelén hiányával. Ilyen betegségek pl. a fehérje-hiányos étrendű kwashiorkór, a szívrendszeri megbetegedések széles skálája, a leukémiák, daganatos megbetegedések, a fiatalkori krónikus ízületgyulladás, a mongol idiotizmus (Down-szindróma), az inzulin dependens cukorbetegség, valamint gyerekkori cukorbetegség, búskomorság, vérszegénység, bölcsőhalál, terhesség alatti depresszió, Alzheimer-kór, stb., sőt még az AIDS is!

A szelén hiánya a kedélyállapotot is jelentősen befolyásolja. Szelénos táplálkozási kísérletben igazolták, hogy csak igen kis mennyiségű szelén bevitelkor a depresszió tünetei erősödtek, míg nagyobb mennyiségű szelénos táplálék esetén ez nem volt megfigyelhető (Finley és Penland, 1998; Hawkes és Hornbostel, 1996). A mechanizmus, amellyel a szelén a hangulatunkra hat, egyelőre még nem tisztázott, de a tiroid funkció apró változásait mindenesetre összefüggésbe hozták a depressziós szindrómákkal (Henley és Koehnle, 1997).

Járványtani adatok alapján a szelén és a szívbetegségek között összefüggést találtak, minthogy az alacsonyabb antioxidáns szint a kardiovaszkuláris megbetegedések nagyobb előfordulásához vezet az LDL oxidáció megemelt szintjén keresztül. A szelén egyike azon antioxidánsoknak, amely az LDL oxidációját gátolja (Gey, 1998).

Az utóbbi években írták le, hogy a szelén az inzulinéhoz hasonló hatással is rendelkezik; közrejátszik számos, az inzulin hatásához hasonló reakcióban, mint pl. a glükóz felvétel stimulálása, és olyan metabolikus folyamatok szabályozása, mint a glikolízis, a glikoneogenezis, a zsírsavszintézis és a pentóz-foszfát ciklus. Jóllehet a szelén inzulinhoz hasonló hatásmechanizmusa ma még tisztázatlan, azt

már mindenesetre leírták, hogy ezek a reakciók az inzulin-jel láncreakciójában szereplő kulcsfehérjék aktiválásában játszanak közre (Stapleton, 2000).

A szelénhiány az ízületi gyulladás gyakoribb előfordulását is okozza. Előzetes kutatások arra mutatnak, hogy a szelén, mint szabadgyököket megkötő antioxidáns, késleltetheti az ízületi gyulladás előrehaladását (Stone et al., 1997).

A HIV/AIDS betegség előrehaladásánál a gyenge abszorpcióból fakadó szelénhiányt figyeltek meg. A szelénnek azért is lehet fontos szerepe a HIV-betegségben, mivel szerepe van az immunrendszer erősítésében; segíti a sejteket az oxidatív stressz elleni védelemben (Dworkin, 1994; Romero-Alvira és Roche, 1998).

A plazma alacsony szelén koncentrációját összefüggésbe állították az időskori szenilitással és csökkenő értelmi képességekkel, valamint az Alzheimer-kórral (de Haan et al., 1997; Corrigan et al., 1991).

Több tanulmány megállapítása szerint Down-szindrómás gyerekek vérérumában a szelén és a cink koncentrációja alacsony. A szelén a glutation-peroxidáz kofaktoraként javíthat bizonyos immunfunkciókat (Anneren et al., 1989; Antila et al., 1990), amely szintén szerepet játszhat a Down-szindrómában.

A szelén csökkenti a higany és a kadmium hozzáférhetőségét a szervezetben oly módon, hogy az említett fémekkel oldhatatlan vegyületet (pl. higany-szelenid) képez, amely a szervezetből való kiürüléssel csökkenti toxikus hatásukat (Feroci et al., 2005).

Az említetteken kívül számos más betegséget összefüggésbe tudtak hozni a szelénhiánnyal. Megállapították, hogy a szelénnek szerepe van az adott betegség kialakulásában, súlyosbodásában. Ilyen betegségek pl. a prosztaták, asztma, bőrrák, cisztás fibrózis, korpásodás, fáradékonyság, májbetegségek, terhesség alatti depresszió, terméketlenség, kis születési súly, limfádémia, hasnyálmirigy-gyulladás, szepszis, tüdőrák, de hatása van a kemoterápiás kezeléseknél, a vesedialízis esetén és égési sérülések gyógyulásánál is. A számtalan betegség közül csak néhányat emeltem ki részletesebb bemutatásra.

A szelénhiány klinikai tünetei között szerepel: szív- és vázizomzat gyengesége és elfajulása, csont- és ízületi rendszer rendellenessége, a bőr fehér foltosodása, hajritkulás és hajhullás, stb. 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, plazma, a vörösvérsejtek, a haj, a köröm, illetve a vizelet Se koncentrációjának meghatározásával lehet megállapítani (Cser és Sziklai-László, 1998).

A SZELÉN TOXIKUS HATÁSA

Jóllehet, a szelén alapvetően egy esszenciális nyomelem, túl nagy mennyiségben azonban

toxikussá válik. Az ajánlott napi bevitel (kb. 70-100 μg fő^{-1} nap^{-1}) 3-4-szeresét meghaladó fogyasztás esetén először gyengébb, majd később rendkívül erőteljes mérgezési tünetek jelennek meg. 400 μg -nál nagyobb mennyiségű napi bevitel már szelenózishoz vezet (Arthur, 1991).

Krónikus mérgezési tünetek közt a bőr-, szaruhártya- és körömváltozás, hajhullás, gyomor- és bélműködés zavara, fogazat romlása, fáradtság és szédülés említhető meg; akut mérgezés esetén a szervezetbe került szelén mennyiségétől függően, 5-10 mg testsúly kg^{-1} -től kezdődően néhány órán belül beáll a halál (Olson, 1986).

Az elemi szelén kevésbé toxikus, ezzel szemben a szelenit és a szelenát meglehetősen toxikus szelénforma, amelyek hatásukat tekintve hasonlóak az arzénhez. A szelén szerves vegyületei, mint pl. a szelenometionin, a szelenocisztein vagy a dimetilszelenid jól felvehető vegyületek, így nagy koncentrációban szintén toxikusak.

A SZELÉN SZEREPE TÁPLÁLKOZÁSUNKBAN

Égészségesen táplálkozó, jól táplált emberek esetében a szelénhiány kialakulása ritka. Azonban a világ számos területén (különösen Kína egyes részein) szelénben hiányos a talaj, így az ezeken a területeken élő emberek számára a szelénhiányos táplálkozás komoly egészségügyi kockázat, hiszen az adott termőterületeken termesztett élelmiszerek fogyasztására kényszerülnek (Ellis és Salt, 2003).

A szelén leginkább a következő élelmiszerekben fordul elő: diófélék (pl. a brazil dió), barnarizs, hántolatlan magvak, búzacsíra, kenyér, gabonafélék, halhús és egyéb tengeri élőlények, szárnyas és egyéb húsfélék, egyes gombafélék. Ezekben az élelmiszerekben a szelén általában szerves (szelén tartalmú aminosavak) és szervetlen (szelenit, szelenát) formában is előfordul, de inkább a szerves forma jellemző.

A szelénhiányos területeken élő emberek megfelelő szelénpótlására sokféle módszert dolgoztak ki. Angliában kezdetben a sajtón keresztül hívták fel a lakosság figyelmét természetesen nagyobb szeléntartalmú élelmiszerek (pl. brazil dió) fogyasztására, míg Finnországban pl. szelénes trágyázással próbálkoztak. Emellett világszerte elterjedt a különféle szeléntartalmú táplálékkiegészítők forgalmazása, illetve a különböző szelénrel dúsított élelmiszerek előállítására. A szelénrel dúsított fokhagyma pl. már jól ismert, mint rákellenes hatású táplálékkiegészítő (Clement és Donald, 1994). Magyarországon humán táplálkozási célból többek között szelénrel dúsított kenyeret, péksüteményeket, margarint, tojást, illetve ún. szelénes szeszampelyket hoznak forgalomba.

A szelén a táplálékkiegészítőkben különböző formákban található meg; legtöbbször nátrium szelenitként, szelenometionin formában, vagy magas szeléntartalmú élesztő formájában alkalmazzák. Feltételezések szerint a szerves formák, mint a szelenometionin, jobban kötődnek és hasznosulnak a szervezetben, mint a szervetlen formák.

A SZELÉN IPARI FELHASZNÁLÁSA

A szelént ipari felhasználása során elsősorban fotoelektromos cellákban, napelemekben félvezetőkként, TV kamerákban, fénymérőkben és fénymásoló gépekben alkalmazzák (George, 2003). Szintén igen fontos felhasználási terület az üvegyipar, ahol a szelén az üvegek és porcelánok vörös színű festéke (Holmes, 1947).

Emellett megtalálható korpásodás elleni samponokban, illetve egyéb kozmetikai szerekben is. Mivel hatása a karotinoidokhoz hasonló, így vegyületei megtalálhatóak pl. naptejekben.

A szelénnek vannak radioaktív izotópjai is, amelyeket mesterségesen lehet előállítani neutron aktivációval. Ezek közül pl. a gamma-sugárzó ^{75}Se izotópot orvosi diagnosztikai célokra is használták (Fawwaz, 1971).

SZELÉNSZENNYEZÉS

Napjainkban a szelénkutatás nagy részét a szelénhiány és ennek táplálkozástudományi és egészségügyi vonatkozású vizsgálata teszi ki, mivel manapság ez egy aktuális, létező probléma. Ennek ellenére a szelénszennyezéssel is foglalkoznunk kell, hiszen adott esetben szintén nagy jelentőségű veszélyforrást jelenthet.

A szelén természetesen előforduló nyomelem, így bányászati meddők, mezőgazdasági, petrokémiai és egyéb ipari tevékenységek hulladékai nagy mennyiségben tartalmazhatják. Az említett ipari és mezőgazdasági tevékenységek környezetében a vízi ökológiai rendszerek igen gyorsan elszennyeződhetnek; toxikus mennyiségű szelén szennyezheti a vizeket és a vízi élőlények táplálékát. Ez elsősorban a halakra és a vadon élő állatokra; vízi ragadozókra jelent veszélyt.

A víz ökológiai rendszerének szelénrel történő elszennyezése az emberi táplálkozásra is veszélyt jelent, hiszen a halakban dúsuló toxikus mennyiségű szelén (bioakkumuláció) bekerülhet az emberi táplálékláncba is.

A fő szelénszennyező források:

- Szén-, ezüst-, arany-, nikkel- és foszfát bányászat
- Fémolvasztók
- Kommunális szemétkerakók
- Olajkitermelés, szállítás, finomítás és hasznosítás
- Mezőgazdasági öntözés

Jóllehet a fosszilis tüzelőanyagok sokszor olcsóbbak és látszólag biztonságosabbak, mint a nukleáris energiahordozók, nem feltétlenül környezetkímélőbbek, hiszen a nyers szén és annak égéstermékei számos szennyezést tartalmaznak; így szelénben is sokkal szennyezettebbek, és elégetésükkel még inkább terhelik a környezetet.

Az ezüst-, arany- és nikkelbányászat közvetett negatív hatással van a környezetre a szelénszennyezést tekintve. A szelén fontos összetevő eleme az ércelelőhelyek ásványi mátrixának, így a feldolgozás során feldúsulva gyorsan elszennyezi a vízi életteret. A

bioakkumuláció által a táplálékláncba bekerülve közvetlen veszélyforrást jelent a bányászati területek környezetében élő emberekre.

Fontos felismerni a szennyező forrásokat, mivel a források közvetlen környezetének elszennyezése mellett hatással vannak a távolabbi területekre is a légköri szállítás és a párolgás útján. Ezen az úton a szelénszennyezés hasonló jelenségekhez vezethet, mint pl. a savas esők. Az intenzíven működő fémolvasztók lehetnek leginkább okozói a savas esők kialakulásának és a szelénszennyezéseknek.

A kommunális hulladéklerakók szintén komoly szennyező forrásoknak számítanak, s ezt a tényt már régóta felismerték. A szemétkerakók hulladékát sok esetben átmossa a csapadék, és az ilyen átszivárgó vizekben is jelen lehet a szelén szennyezésként, ha a hulladékanyagok között egyébként is található szeléntartalmúak. A szelén koncentrációja ezekben az átfolyó vizekben elérheti a 5-50 $\mu\text{g l}^{-1}$ értéket.

A szénbányászathoz és a széniparhoz hasonlóan az olajkitermelés és finomítás is szelénterhelést jelent. Az olaj szelénszennyezése hasonlít a természetes szén szennyezéséhez (fosszilis energiahordozók). Sőt; a nyersolaj általában sokkal nagyobb mennyiségben tartalmaz szelénszennyezést, mint a bányászott szén. A szennyezés geológiai eredetű.

A mezőgazdasági öntözést arid és szemi-arid (azaz száraz és félszáraz) mezőgazdasági területeken alkalmazzák a gyakorlatban, a területtől függően általában évente 60-80 cm mennyiségben. Környezetvédelmi szempontból az öntözéses technikák is jelenthetnek szennyezőforrást (Lemly, 2004).

A SZELÉN MÉRÉSE (ANALITIKA)

A szelén viszonylag nehezen meghatározható elem mivel vegyületei hőre érzékenyek. A műszeres analitika kezdeti szakaszában eljárásokat dolgoztak ki olyan elemek meghatározására, amelyek a klasszikus lángfotometriás, illetve atomabszorpciós technikákkal nem vagy csak nagyon nehezen voltak meghatározhatók (mint pl. a Hg, Ge, Sb vagy a Se).

A szelén kovalens, gáz halmazállapotú hidridet (Se/SeH_2) képező elem. Kémiai reakcióval, szobahőmérsékleten, gázhalmazállapotba vihető és az oldatporlasztásos módszernél lényegesen nagyobb határfokkal juttatható be az AAS (atomabszorpciós spektrométer) vagy az ICP-OES (induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer) készülékekbe. Ezzel a módszerrel jelentősen javítható a szelén meghatározása.

A műszeres analitika folyamatos fejlődésével számos analitikai módszert dolgoztak ki a szelén környezeti és biológiai mintákból, igen kis koncentrációban ($\mu\text{g kg}^{-1}$, ng kg^{-1}) történő meghatározására. Ilyen módszerek pl. a fluorometria, spektrofotometria, röntgen-sugár fluoreszcens analízis, neutron aktivációs analízis (NAA), hidrid technika atomfluoreszcens detektálással (HG-AFS), vagy a különböző csatolt technikák, mint pl. HPLC-AAS (nagynyomású folyadékkromatográfia

AAS-el), GC-AAS (gázkromatográfia AAS-el), és GC-MS (gázkromatográfia tömegspektrometria), HG-ICP-OES (hidrid generátorral kapcsolt ICP-OES), stb.

Az ICP-MS (induktív csatolású plazma tömegspektrometria) kapcsolt technika megvalósítása és alkalmazása csak az utóbbi tíz évben vált lehetővé. Ez utóbbi igen érzékeny meghatározási módszer, különösen, ha a készülék rendelkezik egy a zavaró hatásokat megszüntető egységgel (ún. ütközési, CCT (Collosion Cell Technology) vagy reakciócella). Az ütközési cellát alkalmazva a szelén igen kis koncentrációban ($\text{ppq} = 10^{-15} \text{ mg/kg}$) meghatározhatóvá válik; a módszer egyszerű és érzékeny, valamint további előnye, hogy összekapcsolható más elválasztás-technikákkal, amelyek segítségével a szelén különböző módosulatai is meghatározhatóvá válnak (D'Ulivo, 1997).

A különböző szelénformák meghatározásának fontosságát az indokolja, hogy a szelén eltérő oxidációs állapotaiban, szervetlen vagy szerves vegyületeiben különbözőképpen hathat az élő szervezetekre, illetve a különböző specieszeket eltérő mértékben képes felvenni és akkumulálni a növényi és állati szervezet. Valamint jelentős a szelén bioakkumulációs sajátosságának és a szelénnel szennyezett talajok, üledékek toxikusságának vizsgálata szempontjából is. Az ilyen – a módosulatokra is kiterjedő – vizsgálatok segítségével tárhatjuk fel igazán az optimális szelénbevitel lehetőségeit. Ehhez fontos a gyakran fogyasztott szeléntartalmú (szelenizált) élelmiszerekben a szelénformák azonosítása és vizsgálata, valamint az élettani kutatások folytatása.

A TALAJOK SZENNYEZÉSÉNEK MEGSZÜNTETÉSE FITOREMEDIÁCIÓS TECHNIKÁVAL, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A SZELÉNSZENNYEZÉSEKRE

Nehézfémekkel szennyezett területek remediációja általában költségesen kivitelezhető hagyományos, fizikai és kémiai technológiákkal, hiszen a nehézfémek nem bonthatóak legfeljebb a stabilizáció, kémiai extrakció, talajmosás, adszorpció, fizikai-kémiai szeparáció stb., révén lehet őket eltávolítani, immobilizálni a szennyezett közegből (Tamás, 2002). Emellett a hagyományos technológiák sok esetben maradandó változásokat okoznak a talajban mind fizikai, mind biológiai értelemben. Nem utolsó szempont az sem, hogy a hagyományos eljárások igen költségesek. Így a felsoroltak okán mindenképpen szükség van olcsóbb és környezetbarát technológiákra, ilyen például a magasabb rendű növényeket alkalmazó fitoremediáció.

Szelénnel szennyezett talajok kármentesítése több tanulmány szerint is kivitelezhető különböző fitoremediációs eljárásokkal, pontosabban fitopárolgatással és fitoextrakcióval (Berken et al., 2002; Banuelos et al., 2005).

A fitopárolgatatás során az erre alkalmas növényfajok a szelént felveszik, a hajtásaikba transzportálják, akkumulálják és metabolizáció során a szerves és szervetlen szelénformákat (szelenát, szelenit, Se-Met) illékony formába alakítják át a szelén metilálásával (Berken et al., 2002). Ez a metilálási folyamat azért is lényeges, mert a dimetil-szelenid – mint illékony Se vegyület – hatszázszor gyengébb toxicitással rendelkezik, mint a szervetlen formák (Berken et al., 2002). Több szerző, az indiai mustárt (*Brassica juncea*) jelöli meg alkalmas növényként fitopárolgatatás céljából gyors növekedése, nagy biomasza tömege és jó akkumulációs sajátságai miatt (Berken et al., 2002; Simon, 1999). Az indiai mustár fitopárolgatatását tekintve a szelenit esetén, annak felvétele, valamint a hajtásba történő transzlokációja lehet a limitáló tényező, míg szelenát esetében, amelynek kétszer gyorsabb az akkumulációja, annak redukciója az, ami befolyásolja a párolgatatás mértékét (Souza et al., 1998; Pilon-Smiths et al., 1999). Tehát a fitopárolgatatás megfelelő mértékű akkumuláció, fitoextrakció nélkül nem működhet.

Fitoextrakció során olyan, hiperakkumulátor növényfajok alkalmazása javasolt, amely a hajtás szöveteiben legalább 1%-os koncentrációig képes a felvett nehézfémeket hajtásrészeiben akkumulálni (Cunningham et al., 1995). A szelén fitoextrakciójával kapcsolatban legtöbbször az indiai mustárt alkalmazzák a vizsgálatok során, a már említett tulajdonságai miatt (Terry és Chang, 2004). Azonban Parker és munkatársai (2003) a *Stanelya pinmatat* (*Brassicaceae*), az USA-ban, széles körben elterjedt növényfajt vizsgálták és bizonyították a fitoremediációban történő alkalmazhatóságát. Ennél a növénynél a szelén a növényi hajtásokban jórészt oldható aminosavak formájában van jelen, amely az illékony dimetil-szelenid közvetlen prekursora. Továbbá Srivastava és mtsai (2005) hidropóniás körülmények között vizsgálta további 11 növényfaj (*Pteris vittata*, *P. quadriaurita*, *P. dentata*, *P. ensiformis*, *P. cretica*, *Dryopteris erythrosora*,

Didymochlaena truncatula, *Adiantum hispidulum*, *Actiniopteris radiata*, *Davallia griffithiana*, és *Cyrtomium fulcatum*) Se-akkumulációs tulajdonságait, de csak három páfrányfaj (*D. griffithiana*, *A. radiata*, *P. vittata*) bizonyult alkalmasnak fitoextrakcióra a nagymértékű akkumulációjuknak és a hajtásba történő szelén-transzlokációnak köszönhetően.

A kutatások gyakran nem állnak meg a természet adta lehetőségek alkalmazásánál. Egyre több kutatás foglalkozik transzgenikus növények előállításával és fitoremediációban történő alkalmazhatóságával. Banuelos és mtsai (2005), valamint Montes-Bayon és mtsai (2002) az indiai mustár transzgenikus változatainak akkumulációs sajátságait vizsgálva rámutatott arra, hogy ezeknek a változatoknak kétszer-négyszer jobb az akkumulációs képességük az eredeti, nem módosított típushoz képest.

KONKLÚZIÓ

A szelénrel foglalkozó kutatások két oldalról közelítik meg ennek az emberi szervezet számára igen szűk tolerancia tartománnyal rendelkező elemnek a vizsgálatát. Fontos problémakört jelent a szelénhiányos táplálkozás és ezzel kapcsolatban a megfelelő szelénpótlásra irányuló lehetőségek felkutatása (szeléntartalmú táplálékkiegészítők, illetve szelénizált funkcionális élelmiszerek előállítása). Másfelől egyes ipari területek körzetében az ott élő lakosság szelénterhelése jelentős, ami szintén komoly problémákhoz vezethet. A szennyezett területek felderítése és megfelelő kezelése/mentesítése szintén nagyon fontos feladat. A kutatásokhoz tisztában kell lennünk a szelén alapvető kémiai tulajdonságaival, a biológiai folyamatokban és az egyes betegségekből betöltött szerepével, valamint meghatározásának metodikájával. Cikkünkben ehhez nyújtunk átfogó irodalmi összefoglalást, valamint képet adunk arról, hogy miért is irányul annyi kísérlet a szelénkutatásra napjainkban.

IRODALOM

- Adriano, D.C. (2001): Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. (2nd edn.). Springer-Verlag. New York.
- Al-Kunania, A.S.-Knight, R.-Haswell, S.J.-Thompson, J.W. (2001): Lindow The selenium status of women with a history of recurrent miscarriage, British Journal of Obstetrics and Gynaecology, 108. 1094–1097.
- Allan, C.B.-Lacourciere, G.M.-Stadtman, T.C. (1999): Responsiveness of selenoproteins to dietary selenium. Annual Review of Nutrition, 19. 1-16.
- Anneren, G.-Magnusson, C.G.-Nordvall, S.L. (1990): Increase in serum concentrations of IgG2 and IgG4 by selenium supplementation in children with Down syndrome. Archives of Disease in Childhood, 65, 1353-1355.
- Antila, E.-Nordberg, U.R.-Syvaöja, E.L.-Westermarck, T. (1990): Selenium therapy in Down syndrome: A theory and clinical trial. in Emerit and others. Antioxidants in Therapy and Preventative Medicine, edition 1. New York Plenum Press, 183-186.
- Arthur, J.R. (1991): The role of selenium in thyroid hormone metabolism. Can J Physiol Pharmacol;69:1648-52.
- Banuelos, G.-Terry, N.-Leduc, D.L.-Pilon-Smiths, E.A.-Mackey, B. (2005): Field trial of transgenic Indian mustard plants show enhanced phytoremediation of selenium-contaminated sediment. Environmental Science Technology 39(6)
- Behne, D.-Hammel, C.-Pfeifer, H.-Röthlein, D.-Gessner, H.-Kyriakopoulos, A. (1998): Speciation of selenium in the mammalian organism The Analyst, 123, 871-873.
- Berken, A.-Mulholland, M.M.-LeDuc, D.L.-Terry, N (2002): Genetic engineering of plants to enhance selenium phytoremediation. Crit Rev Plant Sci 21: 567-582.
- Burk, R.F. (2002): Selenium, an antioxidant nutrient. Nutrition in Clinical Care, 5 75-79.

- 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.
- Combs, G.F.-Combs, S.B. (1986): Chemical aspects of selenium. 1-8. In: *The Role of Selenium in Nutrition*. San Diego, CA: Academic Press.
- Corrigan, F.M.-Reynolds, G.P.-Ward, N.I. (1991): Reductions of zinc and selenium in brain in Alzheimer's disease. *Trace Elements in Medicine*, 8 1-5.
- Craig, P.J. (1986): *Organometallic Compounds in the Environment*, Longman Group Ltd., London, 1986, 255-277.
- Cser M.Á.-Sziklai-László I. (1998): A szelén szerepe a humán medicinában. In: Cser M.Á.-Sziklai-László I. (szerk.): *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Budapest, Frag Bt. 28-46.
- Cunningham, S.C.-Berti, W.R.-Huang, J.W. (1995): Phytoremediation of contaminated soils. *Tibtech* 13, 393-397.
- D'Ulivo, A. (1997): Determination of Selenium and Tellurium in Environmental Samples CNR, Istituto di Chimica Analitica Strumentale, Via Risorgimento 35, 56126 Pisa, Italy *Analyst*, December, Vol. 122 (117R-144R)
- de Haan, J.B.-Wolvetang, E.J.-Cristiano, F.-Iannelo, R.-Bladier, C.-Kelner, M.J.-Kola, I. (1997): Reactive oxygen species and their contribution to pathology in Down syndrome. *Advances in Pharmacology* 38:379-402.
- Denovics M. (2003): Mintaelőkészítési módszerek kidolgozása és referenciaanyagok előállításának módosulatanalitikai célokra. Doktori disszertáció, Szent István Egyetem, Alkalmazott Kémiai Tanszék, Budapest.
- Dworkin, B.M. (1994): Selenium deficiency in HIV infection and the acquired immunodeficiency syndrome (AIDS), *Chem Biol Interact.* 91(2-3):181-6.
- Ellis, D.R.-Salt, D.E. (2003): Plants, selenium and human health. *Curr Opin Plant Biol* 6:273-9.
- Fawwaz, R.A. (1971): Potential early diagnosis of cancer with radioactive compounds., *Prog At Med.* 3:1-18.
- Feroci, G.-Badiello, R.-Fini, A. (2005): Interactions between different selenium compounds and zinc, cadmium and mercury. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18 227-234.
- Finley, J.W.-Penland, J.G. (1998): Adequacy or deprivation of dietary selenium in healthy men: clinical and psychological findings. *J Trace Elements Exp Med* 11:11-27.
- Foster, L.H.-Sumar, S. (1997): Selenium in health and disease: A review. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 37, 211-228.
- George, M.W. (2003): *Selenium and Tellurium*. Washington, DC: US Geological Survey.
- Gey, K.F. (1998): Vitamins E plus C and interacting conutrients required for optimal health. A critical and constructive review of epidemiology and supplementation data regarding cardiovascular disease and cancer. *Biofactors* 7:113-74.
- 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.
- Hawkes, W.C.-Hornbostel, L. (1996): Effects of dietary selenium on mood in healthy men living in a metabolic research unit. *Biol Psychiatry* 39:121-128.
- Henley, W.N.-Koehnle, T.J. (1997): Thyroid hormones and the treatment of depression: An examination of basic hormonal actions in the mature mammalian brain. *Synapse* 27:36-44.
- 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.
- Holmes, J.G. (1947): Colorimetry in the glass industry *Proc. Phys. Soc.* 59 592-610
- Ip, C.-Ganther, H.E. (1992): Comparison of selenium and sulfur analogs in cancer prevention. *Carcinogenesis*, 13 1167-1170.
- Ip, C.-Lisk, D.J. (1994): Enrichment of selenium in allium vegetables for cancer prevention *Carcinogenesis*, 15: 1881-1885.
- Kádár I. (1998): Szelén forgalma a talaj-növény rendszerben. In: Cser M.Á.-Sziklai-László I. (szerk.): *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Bpest, Frag Bt. 20-27.
- Kápolna E. (2006): Szeléntartalmú élelmiszerek és étrendkiegészítők biológiai hasznosulásának vizsgálata, Doktori disszertáció, Szent István Egyetem, Alkalmazott Kémiai Tanszék, Budapest.
- Karag E.-Németh I.-Ferdei A.-Hajdú J.-Pintér S. (1998): A vörösvértest szelén és antagonistáinak nyomelemek, valamint a plazma antioxidánsok koncentrációja és összefüggése érett újszülöttek köldökzsinór vérében. In: Cser M.Á.-Sziklai-László I. (szerk.): *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Budapest: Frag Bt. 112-114.
- Lemly, D.A. (2004): Aquatic selenium pollution is a global environmental safety issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59, 44-56.
- 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.
- 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*. In: SSSA Special Publication 23. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1-13.
- McSheehy, S.-Yang, W.-Pannier, F.-Szpunar, J.-Lobinski, R.-Auger, J.-Potin-Gautier, M. (2000): *Anal. Chim. Acta*, 421 147.
- Meister, A.-Anderson, M.E. (1983): Glutathione. *Annual Review of Biochemistry*, 52 711-747.
- Michalke, B. (1995): Fresenius' *J. Anal. Chem.* 351 670.
- Michalke, B.-Witte, H.-Schramel, P. (2001): *J. Anal. At. Spectrom.* 16 593.
- Montes-Bayon, M.-LeDuc, D.L.-Terry, N.-Caruso, J.A. (2002): Selenium speciation in wild-type and genetically modified Se accumulating plants with HPLC separation and ICP-MS/ES-MS detection. *Anal. At. Spectrom.*, 17, 872-879.
- 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.
- Olson, O.E. (1986): Selenium toxicity in animals with emphasis on man. *Journal of the American College of Toxicology*, 5(1), 45-70.
- Parker, D.R.-Feist, L.J.-Varvel, T.W.-Thomason, D.N.-Zhang, Y.Q. (2003): Selenium phytoremediation potential of *Stanleya pinnata*. *Plant Soil* 249: 157-165.
- Pilon-Smits, E.A.H.-Hwang, S.-Lytle, M.-Zhu, Y.-Tai, J.C.-Bravo, R.C.-Chen, Y.-Leustek, T.-Terry, N. (1999): Overexpression of ATP sulfurylase in *Brassica juncea* leads to increased selenate uptake, reduction and tolerance. *Plant Physiol* 119: 123-132.

- Reilly, C. (1998): Selenium: A new entrant into the functional food arena. *Trends in Food Science & Technology* 9, 114-118.
- Romero-Alvira, D.-Roche, E. (1998): The keys of oxidative stress in acquired immune deficiency syndrome apoptosis. *Medical Hypotheses* 51(2):169-73.
- Schrauzer, G.N. (2000): Anticarcinogenic effects of selenium. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57, 1864-1873.
- Schwarz, K.-Foltz, C.M. (1957): Selenium an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*. 79 (12) 3292-3293.
- Simon L. (1999): Néhány talajremediációs eljárás részletes ismertetése. In: Talajszennyeződés, talajtisztítás. Budapest. Környezetgazd. Intézet Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ, 165-186.
- Skinner, C.P. (1999): Environmental Chemistry of Selenium. *Soil Science Society of America Journal*, 164 70-72.
- Souza, M.P.-Pilon-Smits, E.A.H.-Lytle, C.M.-Hwang, S.-Tai, J.-Honma, T.S.U.-Yeh, L.-Terry, N. (1998): Rate limiting steps in Selenium assimilation and volatilization by indian mustard. *Plant Physiology* 117(4): 1487-1494.
- Srivastava, M.-Ma, L.Q.-Cotruvo, J.A. (2005): Uptake and distribution of Selenium in different fern species *International Journal of Phytoremediation*, 7(1): 33–42.
- Stadtman, C. (1996): Selenocysteine. *Annual Review of Biochemistry*, 65, 83-100.
- Stapleton, S.R. (2000): Selenium: an insulin-mimetic *Cell Mol Life Sci.*;57(13-14):1874-9.
- Stone, J.-Doube, A.-Dudson, D.-Wallace, J. (1997): Inadequate calcium, folic acid, vitamin E, zinc, and selenium intake in rheumatoid arthritis patients: Results of a dietary survey. *Semin Arthritis Rheum*, 27:180-5.
- Szabó I. (2002): A kárelhárítás általános kérdései. In: Szabó I. (szerk.) Szennyezett területek kármentesítése. Miskolci Egyetemi Kiadó, 1-9.
- Tamás J. (2002): Talajremediáció. Debreceni Egyetem, 242.
- Terry, N.-Chang, Y.C. (2004): Phytoremediation of Selenium-Contaminated Drainage Sediments and Different Transgenic Lines of Indian Mustard (*Brassica juncea*) UC Center for water resources 45-52.