



## **A szelén szerepe az emberi táplálkozásban. A búza szeléntartalmának elemzése (Irodalmi áttekintés)**

**<sup>1</sup>Tamás M., <sup>2</sup>Mándoki Zs., <sup>1,2</sup>Csapó J.**

<sup>1</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, 530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

<sup>2</sup>Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, 7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

*Szerzők a búza szeléntartalmának jelentőségét elemezik az emberi táplálkozásban, melynek során foglalkoznak a szelénnel, mint enzimek alkotórészeivel, háziállataink szelénhiányával, a szelén szerepével az élelmezésben, ennek kapcsán a szelénhiány következményeivel és a szelén toxicitásával. A továbbiakban a búza szeléntartalmát és annak hasznosulását vizsgálva ismertetik a gabonafélék hozzájárulását az ember szelénszükségletéhez, a különféle talajokon termesztett búza szeléntartalmát, a technológia (őrlés) hatását a liszt szeléntartalmára, a búzában előforduló szelénformákat, a különböző élelmiszerek szeléntartalmának hasznosulását, valamint a szelén hatását a búza enzimeinek aktivitására. A tanulmány második részében a talaj szeléntartalmának hasznosulását elemzik a különböző növényeknél, elsősorban a búzánál, vizsgálják az élelmiszerek szeléntartalmának növelési lehetőségeit a talaj szeléntartalmának növelésével, végezetül a szelén búzába történő beépülését elemzik. Megállapítják, hogy a szelén létfontosságú elem az emberi szervezet számára, hisz sok enzim kofaktora. Ismertetik azt is, hogy a világ különböző területei rendkívül szelénhiányosak lehetnek, és vannak olyan területek is, ahol a talaj szeléntartalma a toxikusság mértékét is eléri. A különböző szelénformák az emberben és az állatokban másként hasznosulnak, ezért nem elég az összes szeléntartalmat, hanem a szelénformákat is analizálni kell. Végezetül megállapítják, hogy a talaj szeléntartalmának növekedésével a búza szeléntartalmát jelentős mértékben lehet emelni, amely mint legfontosabb gabonanövény, döntő mértékben járulhat hozzá az ember szelénszükségletének kielégítéséhez.*

(Kulcsszavak: szelén, szelénformák, szelénhiány, szelén toxicitás, a búza szeléntartalma, a talaj szeléntartalma)

### **ABSTRACT**

#### **The role of the selenium in human nutrition. Analysis of the selenium content of wheat (A review)**

M. Tamás<sup>1</sup>, Zs. Mándoki<sup>2</sup>, J. Csapó<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Sapientia Hungarian University of Transylvania, RO-530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

<sup>2</sup>University Kaposvár, Faculty of Animal Science, H-7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

*The authors discuss the importance of the selenium content of wheat in the human nutrition during which they deal with selenium as a component of enzymes, selenium deficiency of domestic animals, the role of selenium in the nutrition, in this connection the consequences*

*of selenium deficiency and toxicity of selenium. Thereafter, analyzing the selenium content of wheat and its utilization, the contribution of cereals to the human's selenium demand, selenium content of wheat cultivated on different soils, effect of technology (grinding) on the selenium content of flour, selenium species occurring in wheat, bioavailability of selenium content of various foods as well as the effect of selenium on the enzyme activity in wheat are treated. In the second part of the study availability of selenium content of soil is analyzed in different plants, mainly in wheat, possibilities for increasing selenium content in foods by increasing selenium content of soil is investigated, and finally incorporation of selenium in wheat is treated. It is established that selenium is an essential element for the human organism as it is co-factor of many enzymes. It also discussed that certain parts of the world can be extremely selenium deficient, and there are also such areas where selenium content of the soil reaches a toxic level. Different selenium forms are utilized differently in the humans and in animals, therefore it is not enough to analyze only the total selenium content but also the selenium forms should be analyzed. Finally, it is established that by increasing the selenium content of soil the selenium content of wheat can be considerably increased, which as being the most important cereals, can considerably contribute to the satisfaction of the human selenium requirements.*

(Keywords: selenium, selenium species, selenium deficiency, selenium toxicity, selenium content of wheat, selenium content of soil)

## **A SZELÉN SZEREPE A TÁPLÁLKOZÁSBAN**

### **A szelén, mint enzimek alkotórésze**

A szelén az élelmiszerekben esszenciális tápanyagként vagy nagyobb mennyiségben toxikus anyagként lehet jelen, ugyanis a korábban csupán rákkeltőként, méregként nyilvántartott szelénről (*Whanger, 2002*) az 1950-es évek végén kiderült, hogy ha csak kis mennyiségben is, de esszenciális tápanyag az állatok takarmányozásában (*Schwarz és Foltz, 1957*). A szelén több mint 30 szeleno-fehérje, illetve szeleno-enzim esszenciális komponense az emlősökben (*Brown és Arthur, 2001; Rayman, 2002*). Mintegy 15 szeleno-enzim tulajdonságait és biológiai funkcióját határozták meg, beleértve a glutation-peroxidázokat (GPx), amelyek antioxidánsok, vizsgálták a tioreduktin-reduktáz három formáját, amelyek a szervezet antioxidáns rendszerének regenerálásában töltenek be fontos szerepet, és hozzájárulnak az intracelluláris redoxállapot kialakításához.

Ismertették három jodotironin-dejodináz enzim tulajdonságait is, amelyek szerepet játszanak a tiroid hormon keletkezésében (*Brown és Arthur, 2001; FAO, WHO, 2001; Rayman, 2002*). Ezekben a szeleno-fehérjékben a szelén szeleno-cisztein (Se-Cys) formában van jelen, melyet riboszomális fehérje szintéziskor az UGA kodon határoz meg, amely tipikusan stopkodonként működik (*Low és Berry, 1996; Stadtman, 1996*). Normál fiziológiás körülmények között a szelén a Se-Cys-ben majdnem teljesen ionizált formában fordul elő, ami különlegesen hatékony biológiai katalizist tesz lehetővé a szeleno-fehérjéknél (*Brown és Arthur, 2001; Stadtman, 1996*). A növényekben a szelénnek semmiféle funkcionális hatása sem ismert. A szeleno-aminosavak beépülése a növényekbe a cisztein és a metionin helyettesítésével történik, ami rendszerint káros következményekkel jár a növényekre nézve.

### **Háziállataink szelénhiánya**

Háziállatok szelénhiánya közismert, ami például a fehérizom betegséget okozza a borjúnál és a birkánál. A szakirodalmi adatok alapján úgy tűnik, hogy gazdasági állataink közül a juh, és ezen belül a fiatal bárány a legérzékenyebb a szelénhiányra, de

rendkívül fontos az összes többi állatfaj szelénszükségletének kielégítése. *Serdaru és mtsai.* (2003) dél-kelet Romániában (Dobrudjabán) termesztett 185 takarmányminta (szénák, zöldnövények és takarmány koncentrátumok) szelénstátuszát elemezték. A minták szeléntartalmát spektrofluorimetriásan 2,3-diamino-naftalin származékképzést követően határozták meg. Csak az analizált minták 6,5 százaléka rendelkezett megfelelő szeléntartalommal (0,15–0,30 mg/kg), míg az elemzett minták 93,5%-nak a szeléntartalma 0,001–0,150 mg/kg tartományba esett, tehát ezek a takarmányok szelénhiányosak voltak. A mintákat a kapott szeléntartalom alapján három különböző csoportba osztották: 3,2% esett a nagyon hiányos csoportba (szeléntartalom 0,01 mg/kg alatt), 84,9% esett a kritikus csoportba (szeléntartalom 0,01–0,1 mg/kg között) és határesetnek volt tekinthető 5,4%, ahol a szeléntartalom 0,1–0,15 mg/kg között alakult. Összefoglalva el lehet mondani, hogy a dobudjai termesztett takarmányok általánosságban szelénhiányosak, és mindenképpen intézkedést követelne az állatok szelénhiányának megszüntetése.

*Vignola és mtsai.* (2009) bárányok húsában a megjelenést, a minőséget és az oxidatív stabilitást vizsgálták, amikor szelénnel és különböző szeleno-aminosavval egészítették ki a bárányok takarmányát. 63 napon keresztül, 48, 30 napos bárányon (élőtömeg 12,78±0,94 kg) végeztek kísérletet, melynek során a kontroll csoport 0,13 mg/kg szelént, a kísérleti csoportok pedig ezen felül még Na-szelenitet (0,30 mg/kg) vagy szelénnel dúsított élesztőt (0,35 mg/kg) fogyasztottak. Megállapították, hogy a szelén-kiegészítés, sem a növekedést sem a vágott test minőségét szignifikánsan nem befolyásolta. A hús színe és oxidatív stabilitása sem változott a kilenc napon keresztül hűtőben történő tárolás alatt. A kísérlet eredményei alapján megállapították, hogy a szelén-kiegészítés, még ha szerves formában történt is, nem befolyásolta a lipioxidációt. A szelén-kiegészítés növelte az izmok szeléntartalmát, legnagyobb mértékben akkor, amikor szeléntartalmú élesztőt adtak az állatoknak. A szelenit-kiegészítés megnövelte a teljes szeléntartalmat, de nem befolyásolta a szelén-aminosavak mennyiségét az izomszövetekben. Ezzel szemben a szeléntartalmú élesztővel történő kiegészítés megnövelte az izomszövet szeleno-metionin-tartalmát. Arra a következtetésre jutottak, hogy a szelén-kiegészítés megnövelheti az izmok szeléntartalmát, valamint a szeléntartalmú élesztő takarmányhoz történő keverése megnöveli a hús szeleno-metionin-tartalmát.

*Juniper és mtsai.* (2009a) a szelénnel dúsított élesztő és a Na-szelenittel történő takarmány-kiegészítés hatását vizsgálták a bárány húsának minőségére. Vizsgálták a hús összesszelén-, szeleno-metionin- és szeleno-cisztein-tartalmát, és a vágás utáni oxidatív stabilitását különböző szelénben dúsított élesztő, illetve Na-szelenit fogyasztás hatására. Az 50 báránnyal végzett 112 napos kísérlet során, különböző mennyiségű szelén élesztővel és Na-szelenittel egészítették ki a takarmányt. A kísérlet kezdetén majd a 28., 56., 84. és a 112. napon vérmintát vettek, és meghatározták a szelén, valamint különböző szeléntartalmú vegyületek mennyiségét és a glutation-peroxidáz aktivitását. A kísérlet végén az állatokat levágták, majd a szívből, a májból, a veséből és a vázizomból végezték el a szelén, és a különböző szelénformák meghatározását. Amikor a bárányok szelén élesztővel kiegészített takarmányt kaptak a vér összesszelén-szintje, a szeleno-metionin szintje és az eritrociták glutation-peroxidáz aktivitása megnőtt, azonban a Na-szelenit formában történő kiegészítés során nem tapasztaltak változást. A veseszövet kivételével az összes többi szövet dóziszfüggő változást mutatott, mind az összes szeléntartalmat, mind a szeleno-metionin-tartalmat illetően a szeléntartalmú élesztővel történő kiegészítés során. Hosszú távon vizsgálva a szeléntartalom nagyobb volt azoknál az állatoknál, amelyeket szelén élesztővel takarmányoztak, mint azoknál, amelyeket

Na-szelenittel, ami azt jelenti, hogy a szelénés élesztőből a szelén hasznosítása jobb. A Na-szelenit- vagy a szeleno-cisztein-kiegészítés nem volt hatással a glutation-peroxidáz aktivitására és a tiobarbitursav reaktív anyagokra. Ennek ellenére csekély mértékben nagyobb volt az oxidatív stabilitás a szelén-kiegészítés hatására.

*Juniper és mtsai.* (2009b) nagydózisú szelénés élesztő kiegészítés hatását vizsgálták a bárány szöveteinek szeléntartalmára és a különböző szeléntartalmú vegyületekre, melynek során 32, 6,87 kg-os bárányt tápláltak tejpótló tápszerrel, amit előzetesen szárazanyagra számolva 6,3 mg/kg szelénrel egészítettek ki. A szelén-kiegészítést nem kapott kontroll bárányok takarmányának szeléntartalma 0,13 mg/kg volt. A kísérletet 91 napon keresztül végezték, melyeknek során a 28., 56. és a 91. napokon vettek vérmintákat. Mindegyik kezelés végén öt bárányt levágtak, és vizsgálták a szív, a máj és a vázizomzat szeléntartalmát. A szelénés élesztővel kezelt csoport vérének összesszelén-tartalma 815 ng/ml volt, összehasonlítva a kontroll csoporttal, amelyknél ez az érték 217,8 ng/ml-t ért el. A szövetek összesszelén-tartalma a kontroll csoporthoz viszonyítva szignifikánsan nagyobb volt a szelénés kiegészítést kapott csoportoknál (26-szor nagyobb a vázizomban, 16-szor a májban, nyolcszor a szívben, háromszor a vesében). Az összes szeléntartalom valamint a szeleno-metionin- és szeleno-cisztein-tartalom a különböző szövetek között jelentős mértékben eltért. A szeleno-cisztein domináns aminosav volt a májban és a vesében. Megállapították, hogy a szelén-kiegészítés hatására megnőtt a szövetek összesszelén-tartalma, és azt is, hogy az összes szelén és a szeleno-aminosav mennyisége eltérő módon nyilvánul meg a kezelések hatására.

*Kumar és mtsai.* (2009) 18 24,68 kg-os 8–9 hónapos korú bárányon tanulmányozták a szerves szelén-kiegészítés hatását. A bárányokat véletlenszerűen hat különböző csoportra osztották. A kontroll csoport takarmányát, kukoricadara, szójaliszt, búzakarpa, szelén nélküli ásványianyag-kiegészítő, közönséges konyhasó és búzaszalma alkotta. A kísérleti csoport ezen kívül kapott még 15 mg/kg szelént Na-szelenit formában, a másik pedig ugyanennyit szerves szelén kiegészítő formájában. A kísérletet 90 napig végezték. A humorális immunválasz kiváltására Haemorrhagic septicaemia vakcinával oltották be az állatokat, majd a kísérlet elején, a 30., a 60. és a 90. napon vettek vérmintát. A szelén-kiegészítés nem volt semmilyen hatással a szérum összeskoleszterin-, összesfehérje-, albumin- és globulin-mennyiségére, az albumin és a globulin arányára, a szérum Ca és P szintjére, valamint a mért enzimek (glutamát-oxálacetát-transz-amiláz, glutamát-piruvát-transz-amiláz) aktivitására. Ezzel ellentétben, a kontroll csoporthoz viszonyítva szignifikáns mértékben nőtt a szérum szelén szintje, valamint a vörösvértestek száma és a humorális immunválasz, mind a két szelén-kiegészítést kapott csoportnál. A napi tömeggyarapodás a szerves szelén-kiegészítést kapott csoportnál volt a legnagyobb, melyet követett a szerves szelén kiegészítést kapott csoport, a legalacsonyabb értéket pedig a kontroll csoportnál mérték. A kiegészítés a szerves illetve szerves szelénrel tehát javította a növekedési mutatókat. A humorális immunválasz és a bárányok antioxidáns státuszát illetően, a szerves és a szerves szeléntartalmat összehasonlítva, a szerves kötésben levő szelén bizonyult hatékonyabbnak.

*Hall és mtsai.* (2009) birkák szelénstátuszát vizsgálták rövid ideig tartó, magas szeléntartalmú takarmány, illetve ásványi kiegészítés hatására. Megállapították, hogy azok a birkák, amelyek szelénhiányos területen legeltek, és nem kaptak szelén-kiegészítést, a legelési szezon végére szelénhiányos tüneteket mutattak. A szelén-kiegészítést többek között korlátozzák a különböző speciális állami szabályozások, de a nagymennyiségű szelén alkalmazására nincsenek szabályok. Ezért ők az egyszerű

nagymennyiségű szelén-kiegészítés hatását vizsgálták, és eredményeiket a hagyományos, szervesen Na-szelenittal történő kiegészítéshez hasonlították. Egy szeléntartalmú kiegészítőt karbamid formában oldott nitrogén-kiegészítővel jutattak ki a legelőre, és 15 juhval, 40 napig legeltettek a szelénrel trágyázott legelőn, míg a másik 15 kontroll juh a szelénrel nem kezelt legelőn tartózkodott, ahol hagyományos módon 200 mg/kg Na-szelenittal egészítették ki a takarmányukat 40 napig. Ezt követően a két csoportot egyesítették, és szelénrel nem kezelt legelőre hajtották, ahol nem kaptak ásványianyag-kiegészítést, majd 2–4 hetenként kilenc hónapig, meghatározták a vérplazma szelénkoncentrációját. A kezelés után közvetlenül azon állatok vérszérumának szelénkoncentrációja, melyek a szelénrel kezelt fűvet fogyasztották, 573 ng/ml volt. A szeléntartalmú ásványi anyag kiegészítőt kapott állatoknál (286 ng/ml), még a kilencedik hónap végére is nagyobb volt a vérszérum szelénkoncentrációja (97 ng/ml), mint az ásványianyag-kiegészítésben nem részesülteké (61 ng/ml). A vérszérum szelénkoncentrációja a normál határok között (150–500 ng/ml) volt akkor is, amikor az állatok szelénrel kiegészített fűvet fogyasztottak, és akkor is, amikor szervesen szelént kaptak ásványianyag-kiegészítésként. A juhek semmiféle klinikai jelét nem mutatták annak, hogy a szelén-kiegészítés valamilyen káros hatással lett volna rájuk, ezért úgy gondolják, hogy az egyszerű nagyobb mennyiségű szelén kiegészítés segít áthidalni a legeltetési periódus azon szakaszát, amikor az állatok, nehezen jutnak hozzá a szelénhez.

#### **A szelén szerepe az emberi táplálkozásban – a szelénhiány következményei**

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

*Boldery és mtsai.* (2006) szerint a vitaminok és ásványi anyagok hiányát már a múlt század 30-as éveiben kapcsolatba hozták a kardiomiopátiás megbetegedésekkel. (A kardiomiopátia (CMP) a szív pumpafunkciójának gyengüléséhez vezető szívbetegségek összefoglaló neve, amely az izom saját betegségére vezethető vissza.) A szelénhiány által okozott dilatatív kardiomiopátiás megbetegedésekről először 1935-ben számoltak be Kína Keshan tartományából, melynek kialakulását szelénpótlással meg tudták akadályozni. Közleményükben beszámolnak egy kardiomiopátiás megbetegedésről, amely súlyvesztést és hasnyálmirigy problémákat is okozhat. Az a páciens, akit szívpanaszokkal kezeltek, a sebészeti beavatkozás után a testsúlyából veszített. Miután szelén-kiegészítést kapott látványos módon javult egészségi állapota, és szívfunkciói. Ez az eset felhívja a figyelmet, hogy a szelénhiány oka lehet a szív-érrendszeri panaszok kialakulásának.

A Keshan-betegséget valószínűleg nem csak a szelénhiány okozza, hanem coxsackie vírusfertőzés is, amely eredetileg nem virulens, de amint kapcsolatban kerül a szelénhiányos egyénnel, aktívá válik (Beck és mtsai., 2004; FAO, WHO, 2001). A Kaschin-Beck-betegséget Kínában az 5–13 éves gyerekek között mutatták ki, ami kevésbé volt jellemző dél-kelet Szibériában (FAO, WHO, 2001). A szelénhiánytól eltekintve ez a betegség összefüggésbe hozható még az élelmiszerek mikotoxintartalmával, illetve az ivóvízben levő huminsavakkal.

Nyilvánvalónak tűnik, hogy még a kismértékű szelénhiány is többféle módon lehet hatással az ember egészségére, mert hatással van az immunfunkciókra, a vírusos fertőzésekre, a férfiak termékenységére, a pajzsmirigy funkciójára, az asztmára és a gyulladásoz betegségekre (Rayman, 2000, 2002). A szelén szerepet játszik a szív-érrendszeri betegségek megelőzésében, de ez a megállapítás nem nyert egyértelmű bizonyítást (Rayman, 2000, *Stranges és mtsai*, 2006).

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

Hartikainen (2005) a szelén bio-geo-kémiájának hatását vizsgálva az élelmiszerek minőségére és az ember egészségére megállapította, hogy azokon a területeken, ahol a talaj szeléntartalmának hasznosulása alacsony, a potenciális szelénhiány egészségügyi kockázatot jelent az emberekre. A magasabb rendű növényekről azt tartják, hogy növekedésükhöz nincs szükség szelénre, de a Finnországban alacsony szeléntartalmú talajon végzett kísérletek kimutatták, hogy a közönséges trágyázás Na-szelénáttal történő kiegészítése nemcsak az egész élelmiszerlánc táplálkozási értékét növelte a növény, az állat és az ember vonatkozásában, de pozitív hatással volt a termék mennyiségére is. Vizsgálatai során a szelén-kiegészítést optimálisnak találta, és nem fordult elő abnormálisan magas koncentráció a növényekben vagy az állati eredetű élelmiszerekben. A szérum illetve az anyatej szeléntartalma azt mutatta, hogy a szelén-kiegészítés megfelelő. Valójában a növény egy nagyon hatékony puffer, mert a növekedését a magas szeléntartalom csökkenti. Amennyiben nagy mennyiségben adják a szelént a talajhoz, az illékony komponensekké történő átalakulás csökkenti a szelénkoncentrációt. Másik oldalról viszont az alacsony koncentrációban adott szelén különböző mechanizmusokon keresztül kedvező hatással van a növény növekedésére. Amint az emberekben és állatokban, a szelén erősíti a növényekben is az oxigéntartalmú gyökök megkötését, ami az oxidatív stressz kialakulásáért felelős, és ugyancsak segíti a rövid hullámhosszú fény hasznosulását a növényekben. Nagy koncentrációban a prooxidatív reakciók hatékonyságának fokozásával toxikus, ezért a nagymennyiségű szelén-kiegészítés mindenképpen megfontolandó.

Az emberek szelénfelvétele nagyon tág határok között változik a különböző szeléntartalmú élelmiszer fogyasztása miatt. Combs (2001) tanulmányában kimutatta, hogy a Föld különböző részén nagyságrendi különbségek lehetnek az emberek szelénfelvételében. Kínában például a Keshan-betegséggel sújtott tartományban a szelénfelvétele 7–11 µg/nap között mozog, míg Kína központi Enshi tartományában a szelénfelvétel a néhány 1000 µg-ot is elérheti naponta. Európában a felnőttek szelén fogyasztása 30–100 µg-ra tehető naponta, ami Észak Amerikában 60–220 µg/nap között mozog, míg Új-Zéland szelénhiányos területein néhány populációban a napi szelénbevitel 19–80 µg között van naponta. Európa néhány országában a szelénbevitel

az utóbbi időszakban szignifikánsan csökkent (Rayman, 2002). Például a felnőttek átlagos szelénbevitel az Egyesült Királyságban az 1970-es években mért 60–63 µg/napról, 1995-re 29–39 µg-ra csökkent (Ministry of Agriculture Fisheries and Food, 1997; Rayman, 2002). Ennek fő oka az, hogy csökkent a kenyérgabona importja Észak Amerikából, amely általánosságban sokkal több szelént tartalmaz, mint az Egyesült Királyságban termesztett búza.

Úgy tűnik, nem alakult ki általános egyetértés a tekintetben, hogy mi a szükséges szelénbevitel az embereknek (Thomson, 2004). A minimális szelénbevitelt a Keshan-betegség megelőzése céljából 17 µg/napban jelölték meg (Yang és Xia, 1995), ugyanakkor a maximális GPx plazma aktivitás eléréséhez a becsült szelénbevitel 45 µg/nap körül van (Thomson, 2004). Az Egyesült Államokban és Kanadában a javasolt napi szelénbevitel 55 µg/nap, az Európában pedig az 50 µg/nap bevitelt tekintik optimálisnak. Ausztráliában és Új-Zélandon a férfiaknak 70, a nőknek 60 µg szelénbevitelt javasolnak naponta. Az Egyesült Királyságban a napi bevitelt a férfiaknál 75 µg, a nőknél pedig 60 µg-ban szabták meg. Ellentétben ezzel a WHO és a FAO normatívája 40 µg szelénbevitelt szab meg a férfiak számára és 30 µg-ot a nők számára. A FAO és WHO normatívák alapján a maximális plazma GPx aktivitást nem lehet elérni. További szelénbevitel javasolt például a rák megelőzésére (Rayman, 2002). Combs (2001) szerint nyilvánvaló, hogy a plazma szelénszintjének 120 µg/l fölé emelése hasznos lehet a rák megelőzése céljából. E célból a szelénbevitelnek legalább 1,5 µg/testtömeg-kg-nak kellene lenni, ami egyenértékű 90–120 µg/nap szelénbevitellel egy 60–80 kg-os személy esetében. További kísérleteket kell végezni annak meghatározására, hogy mi az a minimális bevitel, ami a védőhatást még biztosítja. A vérérszám szelénkoncentrációjából Combs (2001) arra a következtetésre jutott, hogy az emberiségből világszerte 0,5–1 milliárd szelénhiánnyal küzd. Sok európai országban a szérumszelénszintje alacsonyabb annál a kívánatosnál, ami a maximális GPx aktivitást kiváltja.

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

### **A szelén toxicitása**

A túlzott szelénbevitel krónikus toxicitáshoz vezet (szelénózis), ami olyan egészségkárosodással jár, mint a haj és a körmök elvesztése, bőrbetegségek, májnagyobbodás, idegrendszeri és emésztőszervi zavarok. Krónikus szelénózisról Közép-Kína Enshi tartományából számoltak be, ahol a talaj, amelyen a helyi termékeket

termesztek, és a víz rendkívüli módon magas szeléntartalmú (Combs, 2001; Yang és Xia, 1995). Ebből a tartományból a tanulmányok egy speciális szelenózis szimptomáról számolnak be, amikor a körmök váltása 1600 µg/nap szelénbevitelnél bekövetkezett (Yang és Xia, 1995). 819 µg/napra csökkentve a szelénbevitelt, a szelenózisos páciensek közül néhányan felépültek ebből a betegségből. Ezekre a tanulmányokra alapozva Yang és Xia (1995) azt javasolták, hogy napi bevitt szeléntartalom a 400 µg/napot ne haladja meg, bár egyes embereknél a 600 µg/nap is biztonságos lehet.

## **A BÚZA SZELENTARTALMA ÉS A SZELENTARTALOM HASZNOSULÁSA**

### **A gabonafélék hozzájárulása az ember szelénszükségletéhez**

A gabonafélék, a hús és a hal a szelén fő forrása az emberi táplálékban (Combs, 2001). A gabonafélék és az abból készült termékek, mintegy 70%-ban járulnak hozzá az összesszelén-tartalom bevitelhez Kína szelénhiányos vidékein, és 40–50%-ban az alacsony jövedelmű népességnél Indiában. Az Egyesült Királyságban az 1995-ös becslések alapján a gabonafélék és az azokból készült termékek 18–24%-ban járultak hozzá az összes szelénbevitelhez. Oroszország 27 tartományában végzett vizsgálat szerint igen szoros összefüggést állapítottak meg a szérum szeléntartalma és a búzaliszt szeléntartalma között, ami azt jelzi, hogy a búza fontos szelénforrás az orosz népesség számára (Golubkina és Alfthan, 1999).

### **A búza szeléntartalma a különböző országokban**

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

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

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



vagy a Kanadaiak, és csak kevéssé tartalmazzak többet, mint amelyeket az Egyesült Királyságban jelenleg fogyasztanak.

A Nagy-Britanniából származó búzának szintén alacsony a szeléntartalma (*Barclay és Macpherson*, 1986). *Adams és mtsai.* (2002) a kenyérbúza szeléntartalmát vizsgálva 1982–1998 évek között 6–858 µg/kg szárazanyag szeléntartalomról számoltak be, ahol a középértékek 22–32 µg/kg voltak. Liszttartalomban számolva ezek az értékek 27–18 µg/kg szelénmennyiséget mutattak. A minták 91%-a kevesebb mint 50 µg/kg szelént tartalmazott. *Wolnik és mtsai.* (1983) az Egyesült Államok fő búzatermő területéről származó minták esetében 10–5300 µg/kg szeléntartalomról számoltak be, ahol a középértékek 160–370 µg/kg voltak. A kanadai Manitoba tartományban termelt búza átlagos szeléntartalma 760 µg/kg (*Boila és mtsai.*, 1993). Ezek a tanulmányok mind azt jelentik, hogy Észak-Amerikában termelt búza 10-szer több szelént tartalmaznak, mint a brit szigeteken termeltek. Ehhez hasonlóan az Új-Zélandon termelt búza lényegesen alacsonyabb szeléntartalmú, mint az ausztráliai, és az Ausztráliából importált búza nagyon hasznosnak bizonyult az Új-Zéland Hamilton tartományában élő lakosok vérszérum szelénstátuszának javítására (*Watkinson*, 1981). A legújabb adatok szerint a Dél-Ausztráliában termelt búza szeléntartalma 5–720 µg/kg között van, 155 µg/kg átlagos értékkel (*Lyons és mtsai.*, 2005b).

*Lyons és mtsai.* (2005) a búza szelénstátuszát vizsgálva Ausztráliában megállapították, hogy a búza (*Triticum aestivum L.*) a legnagyobb mértékben járul hozzá, hogy a plazma szelénkoncentrációja átlagosan 103 µg/l legyen. Hat kísérletben 834 vérplazma szeléntartalmát elemezve azt kapták, hogy a szeléntartalom magasabb a férfiaknál, és a kor előrehaladtával nő. Tanulmányukban kimutatták, hogy Dél-Ausztrália lakossága nem fogyaszt kellő mennyiségű szelént, ami szükséges lenne a szeleno-enzimek kialakulásához, illetve a rákelleni védekezéshez, és jelezték azt is, hogy a szérum szeléntartalma az 1970 évek óta 20%-kal csökkent. Nem találtak szignifikáns genotípusos eltérést a magok szeléntartalma között a manapság termesztett modern búzák között, de a diploid búza szeléntartalma magasabb volt. A búzamagok szeléntartalma 5–720 µg/kg között változott, és nyilvánvaló volt, hogy ez az eltérés főként a talaj hasznosítható szeléntartalmától függ. Mind üvegházban, mind a termőföldön végzett kísérletek során a 4–120 g/ha mennyiségben Na-szelenátként adagolt szelén a mag szelénkoncentrációját 133-szorosára növelte a talajra permetezve, és 20-szorosára, amikor virágzás után levéltrágyaként alkalmazták. A fiatal növényeknél toxikus hatást akkor észleltek, amikor a levelek szeléntartalma elérte a 325 mg/kg szintet, amit azonban a normálisan adagolt szelén trágyázáskor soha nem lehet elérni. A 30 kg/ha kéntartalmú levéltrágya adagolás viszont 16%-kal csökkentette a mag szelénkoncentrációját. Megállapították, hogy az élelmiszertermelő cégeknél a szeléntartalmú levéltrágyázás költség hatékony módszer lehet a magas szeléntartalmú búza előállítására, ugyanis ez a szelént a kívánatos szeleno-metionin formában tartalmazza. További kísérleteket tartanak szükségesnek, hogy a magas szeléntartalmú búzáról klinikai kísérleteknél információt kapjanak a genom stabilitásával, a lipid-peroxidációval és az immun összeférhetőséggel kapcsolatban. A búza levéltrágyával történő szeléntartalmának növelését egy olyan élelmiszer-stratégia részének tartják, ami képes növelni a szelénbevitelt az egész populációban.

*Lyons és mtsai.* (2005) a különböző mexikói és ausztráliai búzafajta populációk és kereskedelmi forgalomban kapható magvak szeléntartalmát elemezték. A növényeket teljesen azonos körülmények között termesztették, hogy becsülni tudják a genotípus hatását a szeléntartalomra. A kísérletek során a csírák szeléntartalma 5–720 µg/kg között

változott, mely eltérések a talaj szeléntartalmával voltak kapcsolatba hozhatók. Azonos talajokon nem találtak szignifikáns genotípusos különbséget a modern kereskedelmi búza és a durumbúza, valamint a tritikálé és az árpafajták között. Mégis a diploid búza és a rozs 35–42%-kal több szelént tartalmazott, mint a más egyéb kísérletekből származó, a hidropóniás kísérletben pedig a rozs 40%-kal több szelént tartalmazott, mint a búza. A különböző modern búzafajták között jelentős genotípusos különbségek lehetnek, ezek azonban sokkal kisebbek, mint a háttérül szolgáló talajkülönbségek, legalábbis Ausztráliában és Mexikóban.

#### **A technológia (örlés) hatása a liszt szeléntartalmára**

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

#### **Az élelmiszerekben – búzában – előforduló szelénformák**

Az élelmiszerekben a szelén különböző formában létezik. *Guo és Wu (1998)* a növényi szövetekben vizsgálták a szabad szeleno-aminosavakat, és azok megoszlását szelénben dús talajokon. A szeleno-aminosav csoport akkumulációja a növényi szövetekben nemcsak azok szelénrel szembeni toleranciájára mutat rá, de az állatok szelénrel kapcsolatos mérgezésére is felhívja a figyelmet. A szelén-toleráns növények szeleno-aminosav-tartalmát nagy felbontású gázkromatográfiával és hozzákapcsolt tömeg spektrométerrel vizsgálták. Öt szeleno-aminosavat (szeleno-cisztint, szeleno-metionint, szeleno-ciszteint, Se-metil-szeleno-ciszteint és  $\gamma$ -glutamil-Se-metil-szeleno-ciszteint) azonosítottak a növényi szövet koncentrátumokból. A Se-metil-szeleno-cisztein mennyisége az alacsony szeléntartalmú talajon termesztett növényeknél 15,3  $\mu\text{mol/kg}$ , míg a magas szeléntartalmú talajokon természetnél 109,8  $\mu\text{mol/kg}$  volt. A növényekben  $\gamma$ -glutamil-Se-metil-szeleno-ciszteint is kimutattak, bár ennek koncentrációját nagyon alacsonynak találták. A szelén akkumulációjára végzett kísérletek azt mutatták, hogy a szeleno-cisztein koncentrációja ötszörösére nőtt a növényi szövetekben, míg a szelén összes mennyisége 5,07 és 22,02 mg/kg között változott, de nem találtak további növekedést a szeleno-cisztein koncentrációjában, amikor a szelénkoncentráció 22,0 mg/kg-ról 117,5 mg/kg-ra tovább nőtt. Megállapították, hogy a szeleno-metionin a növényekben több mint 50%-át teszi ki az összes szelén mennyiségének. Véleményük szerint további vizsgálatok szükségesek annak eldöntésére, hogy milyen mechanizmus befolyásolja a szeleno-cisztein mennyiség akkumulálódását a növényekben.

*Whanger (2002)* a növényekben az alábbi szelénformákat azonosította: szelenát, szelenit, szeleno-cisztein (Se-Cys), szeleno-metionin (Se-Met), szeleno-homocisztein, szeleno-metil-szeleno-cisztein (MeSeCys),  $\gamma$ -glutamil-szeleno-metil-szeleno-cisztein, szeleno-cisztein-szelénsav, Se-propionil-szeleno-cisztein-szelénoxid, Se-metil-szeleno-metionin (SeMM), szeleno-cisztationin, dimetil-diszelenid, szeleno-szinigrin, szeleno-peptid és szeleno-vax. A Se-Met a fő formája a búza szeléntartalmának (56–83%), míg a többi szeléntartalmú vegyületek kisebb mennyiségben fordulnak elő [szelenát (12–19%), Se-Cys (4–12%), Se-metil-szeleno-cisztein (1–4%), a maradék pedig 4–26%; (*Whanger, 2002*)]. Ezzel ellentétben a búzaszalma szeléntartalmának több mint 50%-a szelenát. Enzimatikusan hidrolizálva a fehérjét a búzalisztminta szeléntartalmú komponenseinek

70%-a szabaddá vált, amelyből a Se-Met 73%-ot, a Se-Cys pedig 27%-ot tett ki (*Moreno és mtsai.*, 2004). *Stadlober és mtsai.* (2001) beszámoltak arról, hogy enzimatikus hidrolízissel a búza-, az árpa- és rozsliszt szeléntartalmának 80–95%-a felszabadul, amelyből 62–86% Se-Met-nek bizonyult.

#### **A különböző élelmiszerek szeléntartalmának hasznosulása**

A szelén biológiai hasznosíthatósága a különböző élelmiszerek között változik. A növényi és állati eredetű Se-Met és a főként állati eredetű Se-Cys több mint 90%-ban hasznosul a szervezetben, míg a szerves szelenát és szelenit hasznosulása eléri az 50%-ot (*Thomson*, 2004). A búzamazag szeléntartalmának a hasznosulása magas. Egy patkányokkal végzett kísérletben a búza szeléntartalmának hasznosulása 83% volt, összehasonlítva a gombáéval (5%), a tonhaléval (57%) és a marha veséjével (97%) (*Thomson*, 2004). Emberekkel végzett hathetes kísérlet során kimutatták, hogy a szelénrel dúsított búza szignifikánsan növelte a szérum szeléntartalmát, ezzel ellentétben a szelénrel dúsított halszék nem volt arra ilyen hatása (*Meltzer és mtsai.*, 1993). *Fox és mtsai.* (2005) három különböző élelmiszerből vizsgálták a szelén-abszorpciót <sup>77</sup>Se és <sup>82</sup>Se izotópokkal. Azt találták, hogy a szelén abszorpciója szignifikánsan magasabb volt a búzából (81%) és a fokhagymából (78%) és jóval alacsonyabb a halból (56%). A búza szeléntartalmának magas fokú hasznosulása azt jelzi, hogy használata nagyon alkalmas lenne az emberek szelénbevitelének növelésére.

#### **A szelén hatása a búza enzimeinek aktivitására**

*Nowak és mtsai.* (2004) a szelén hatását vizsgálták az oxido-reduktáz enzimek aktivitására a talajban és növényekben. Üvegházi kísérletekben 0,015; 0,15; 0,45 mmol/kg hidrogén-szelenid koncentrációjának hatását vizsgálták a búza oxido-reduktáz enzimeinek az aktivitására. A hidrogén-szelenid minden koncentrációban megnövelte a nitrát reduktáz aktivitását, de a növények esetében a polifenol oxidáz aktivitást csak a két alacsonyabb koncentráció növelte. A legmagasabb koncentrációjú szelén inhibálta a polifenol oxidáz és a peroxidáz is. A növényekben a kataláz aktivitás csökkent a 0,15–0,45 mmol/kg koncentráció tartományban. Megállapították, hogy a peroxidáz aktivitás a talajban csökkent a felvehető szeléntartalom hatására. A legalacsonyabb szelén dózis szignifikánsan (10%-kal) megnövelte a kataláz aktivitását, de a magasabb dózisok hatása az enzimaktivitásra bizonytalan.

#### **A talaj szeléntartalmának hasznosulása a növényekben**

Amennyiben nem alkalmazunk közvetlen szelén-kiegészítést, az emberek szelénstátusza elsősorban attól függ, hogy a növények hogyan tudják a talaj szeléntartalmát hasznosítani, azaz a szelénstátuszt a geológiai viszonyok befolyásolják leginkább. A földkéreg átlagos szeléntartalma 0,05 mg/kg (*McNeal és Balistrieri*, 1989). A vulkáni kőzetek általában kevesebb szelént tartalmaznak, mint az üledékes, különösen, mint az agyagpala (*Mayland és mtsai.*, 1989). A szelén koncentrációja legtöbb talajban 0,01–2 mg/kg között van (*Kabata-Pendias és Pendias*, 1992). A talaj szeléntartalma a világ néhány részén rendkívül alacsony, beleértve ebbe az észak-európai országokat, Új-Zélandot, Szibéria kelet és középső tartományait és Kína Keshan tartományát. Ezek a vidékek a takarmányok és az élelmiszer magvak is alacsony szeléntartalmúak, és gyenge az emberek és állatok szelénstátusza is. Új-Zélandi tanulmányok kimutatták, hogy jelentős mértékben fordulnak elő a birkáknál szelénhiányos betegségek ott, ahol a talaj kevesebb, mint 0,5 mg szelént tartalmaz kilogrammonként (*Oldfield*, 1999). *Tan* (1989) a szelénstátuszt az emberek táplálkozása szerint úgy definiálta, hogy mennyi a

talaj szeléntartalma: hiányos ha 0,125 mg/kg-nál kisebb, elfogadható 0,125–0,175 mg/kg között, közepes-magas 0,175–3 mg/kg között és túlzottan sok 3 mg/kg fölött. Angliában és Skóciában relatíve alacsony a talaj szeléntartalma (Oldfield, 1999). Egy geokémiai vizsgálat feltárta, hogy az Egyesült Királyságban a talaj szeléntartalma 0,1–4 mg/kg között változik, és a talajok több mint 95%-a tartalmaz 1 mg/kg-nál kevesebb szelént (Broadley és mtsai., 2006).

Az alacsony szeléntartalmú talajokkal ellentétben, a világ néhány részén, pl. az Egyesült Államok nagy síkságán és Kanadában, Kína Enshi tartományában, Írország néhány részén, valamint Kolumbiában és Venezuelában a talaj nagyon sok szelént tartalmaz (Combs, 2001), amely főként a szelénben gazdag rendkívül dús agyaggalából ered (Mayland és mtsai., 1989). A magas szeléntartalmú talajokat általában úgy definiálják, hogy az azokon lévő vegetáció >5 mg/kg szelént tartalmaz, amely kapcsolatban hozható a háziállatok és vadállatok szelén mérgezésével (Gupta és Gupta, 1998; Oldfield, 1999). A magas szeléntartalmú talajokon a szeléntartalom 5–1200 mg/kg között változik (Mayland és mtsai., 1989). Kína Enshi tartományában a szelénhiányos és a toxikus szeléntartalmú környezet a geológiai viszonyok következtében akár 20 km környezetben is előfordulhat (Fordyce és mtsai., 2000a).

A talaj tulajdonsága, mint, pl. a pH, a talaj szerkeze, a vas-oxid és a vas-hidroxid mennyisége, valamint a szerves anyagok szignifikáns hatással vannak a növények szelénfelvételére (Gissel-Nielsen és mtsai, 1984; Mikkelsen és mtsai, 1989). A talaj pH-ja hatással van a különböző szelén módosulatokra (Elrashidi és mtsai, 1987). A szelenát forma domináns az alkalikus pH-jú és a jól átszellőzött talajokban, ahol a talajvíz elfolyás megfelelő. A savas és a neutrális pH-jú talajokon inkább a szelenit az uralkodó forma. Erősen redukáló körülmények a talajban a szelenid forma kialakulását segítik elő. A szelenit sokkal erősebben adszorbeálódik a talajok felszínéhez mint a szelenát, és mindkettő adszorpciója jelentős mértékben csökken, ha nő a pH (Barrow és Whelan, 1989). A szelenát csak gyengén adszorbeálódik elektrosztatikus erők segítségével egy nem specifikus mechanizmus során, hasonlóan a szulfát adszorpciójához, míg a szelenit a talaj felületén komplex formájában kötődik meg, hasonlóan a foszfát adszorpciójához (Barrow és Whelan, 1989; Neal és mtsai, 1987). Neal és Sposito (1989) alluviális, 5,5–9 pH-jú talajokon nem tudott kimutatni szelenát adszorpciót Kaliforniában. Ez azt jelenti, hogy a szelenát jobban oldódik talajokban, mint a szelenit, ezért a növények is jobban hasznosítják, de ezért jobban hajlamos a kimosódásra is. A szelén hasznosulása a növényeknél általában csökken, ha csökken a pH, ha nő a talaj agyagásvány-tartalma, a vas-oxidok és a -hidroxidok mennyisége, valamint a szervesanyag-tartalom (Gissel-Nielsen és mtsai, 1984; Johnsson, 1991; Mikkelsen és mtsai., 1989). A talaj magas vasoxid-hidroxid-tartalma, szervesanyag-tartalma és az alacsony pH-ja is mind hozzájárul a Keshan-betegség kialakulásához Kínában. (FAO, WHO, 2001; Fordyce és mtsai, 2000b; Johnson és mtsai., 2000). A talajlazítás és az öntözés befolyásolja a búzamazag szelénkoncentrációját. Az öntözés tízszer kevesebb szelénkoncentrációt eredményezett, ami a megnövekedett kimosódott szelénvesztéssel magyarázható. Ez az öntözővíz kéntartalmának antagonista voltával is magyarázható, valamint azzal, hogy az öntözővíz hatására megnőtt gabonamennyiség csökkentette a szelén mennyiségét (Zhao és mtsai., 2007). A talaj tömörödöttsége ugyancsak a magvak szelénkoncentrációjának csökkenéséhez vezet.

Zhao és mtsai. (2007) a talajtömörödés és az öntözés hatását vizsgálták a búzamazag szelénkoncentrációjára. A búzamazag szeléntartalma 10–115 µg/kg között változott, ami az öntözés hatására 30–75%-kal csökkent. A talajtömörödés szignifikáns szelén

csökkentő hatását az elem különböző mozgékonyásával magyarázták a talaj és a gyökér közötti iontranszport különbözősége miatt. A megfigyelt hatások a mag szeléntartalmát illetően jelentősek, mint az emberek táplálkozása, mint az állatok takarmányozása szempontjából, mert a koncentráció az elégségestől a nagyon alacsony szintig változhat. Megállapították, hogy a talaj fizikai állapotát mindig figyelembe kell venni, amikor a szelén felvehetőségét elemzik.

*Fan és mtsai.* (2008) talaj és búzamazag szeléntartalmának változását vizsgálták az elmúlt 160 év során az Egyesült Királyságban, ahol a napi szelénfogyasztás 1970 óta jelentős mértékben csökkent. Annak eldöntésére, hogy ezt a búzamazag szelénkoncentrációjának változása vagy a környezet megváltozása okozta-e, 160 évre visszamenően analizáltak gabonamagvakat, búzamazag és talajmintákat, melyeket különböző módon trágyázott területekről nyertek. A magok szeléntartalma 11 és 236 ng/g között változott. A trágyázatlan területekről begyűjtött magminták szignifikánsan nagyobb koncentrációban tartalmazták a szelént, mint a trágyázott talajról származók. Nem mutattak szignifikáns különbséget a magok akkor, amikor a rövid szalmájú búzamintákat vizsgálták az 1960-as évekből. A búzaminták 1920 előtt illetve 1970 után több szelént tartalmaztak, mint 1920 és 1970 között, pedig a talaj szeléntartalma folyamatosan nőtt az elmúlt 160 év alatt. A kapott eredmények alapján megállapították, hogy a búzamazag szeléntartalmát befolyásolja az atmoszférába történő kén kibocsátás, illetve az atmoszférából a talajba történő átvitel, de a növénynevelés által megnövelt terméshozam nem csökkenti szignifikánsan a szeléntartalmat a trágyázott mintákban.

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

## **ÉLELMISZEREK SZELENTARTALMÁNAK NÖVELESI LEHETŐSÉGEI A TALAJ SZELENTARTALMÁNAK NÖVELÉSÉVEL**

Az élelmiszerek és a különböző magvak szeléntartalmát növelni lehet, ha szelént adunk a talaj–növény rendszerhez, amit a gyakorlatban biológiai megerősítésnek neveznek. A legjobb példa erre Finnország, ahol a gyakorlatban Na-szelénátot adtak a több elemet is tartalmazó trágyázás során, melyet 1984 óta alkalmaznak (*Eurola és mtsai.*, 1991; *Hartikainen*, 2005; *Ylärinta*, 1990). Kezdetben 6 mg/kg szeléntartalmú trágyával kezelték a fűvet és a szénának szánt növényeket, és 16 mg/kg szeléntartalmúval a gabonanövényeket. Ezzel a kiegészítéssel hektáronként 3 és 8 g szelént juttattak ki a fűfélékre és a gabonanövényekre (*Eurola és mtsai.*, 1990). Ezt követően a növények, az állati termékek, a talaj és a víz, valamint a humánszérum szeléntartalmát rendszeresen meghatározták, és az eredmények alapján korrigálták a szelénkiuttatást: 1991–1997 között egy alacsonyabb szintű 6 mg/kg szeléntrágyát használtak a gabonanövények esetében, 1998-tól viszont a szeléntartalmat 10 mg/kg-ra emelték a műtrágyában (*Hartikainen*, 2005). Ez a gyakorlat jelentős mértékben megnövelte a magvak, a zöldségek és a gyümölcsök, valamint az állati eredetű élelmiszerek szeléntartalmát, így például az összes Finnországban termelt gabonanövény kevesebb mint 10 µg/kg-száranyag szelént tartalmazott. A szelénrel történő trágyázás hatására az első három évben a tavaszi árpában a szeléntartalom 250 µg/kg-ra, az őszi árpában 50 µg/kg-ra, a rozsbán 40 µg/kg-ra, a búzalisztben 170 µg/kg-ra, a fehér kenyérben 180 µg/kg-ra nőtt (*Eurola és mtsai.*, 1990). Ennek eredményeként Finnországban az átlagos szelénbevitel,

a szeléntrágyázást megelőző 25 µg/napról kb. 110 µg/napra (*Eurola és mtsai.*, 1991), miközben a vérszérum szeléntartalma a 60–70 µg/l-ről, több mint 100 µg/l-re nőtt (*Varo és mtsai.*, 1988). Ennek következtében a gabonamagvak hozzájárulása a teljes szelénbevitelhez 9%-ról 26%-ra nőtt (*Eurola és mtsai.*, 1991). Összehasonlítva a közvetlen szelén-kiegészítéssel, a növénytermesztésben alkalmazott szelénpótlás előnyösnek tekinthető, mivel az inorganikus szelént a növények asszimilálják organikus szelénné, például szeleno-metioninná, amelynek biológiai hasznosíthatósága az embereknél nagyobb. A növények egy nagyon hatékony puffer rendszernek bizonyulnak, amelyek megvédnek a nagymértékű szelénbeviteltől, amely a direkt bevitel esetén előfordulhat (*Hartikainen*, 2005).

A szelén trágyázást a gyakorlatban a világ több részén is alkalmazták, így például a legelőkön Új-Zélandon, és a gabonanövények esetében Kína Keshan-tartományában. Több beszámoló szól arról, hogy szelénnel dúsított növényeket állítottak elő szeléntrágyázással, beleértve a szelénvel dúsított brokkolit, hagymát, krumplit, gombát és teát. A különböző laboratóriumi kísérletekben és termőföldön végzett kísérletek megmutatták, hogy a hozzáadott szelénat hatékonyabban növeli a növény szeléntartalmát, mint a szelenit (*Gissel-Nielsen és mtsai.*, 1984; *Shand és mtsai.*, 1992; *Singh*, 1991; *Cartes és mtsai.*, 2005), ezért a szelenátot sokkal szélesebb körben használják szelén trágyázásra, és nagyon sok kereskedelmi műtrágyában ez a szelén található (*Broadley és mtsai.*, 2006). Nagyon fontos, hogy a termőföldön végzett kísérleteket különböző technológiai és klimatikus körülmények között folytassák le azért, hogy a szeléntrágyázás optimális arányairól megbízható információt kapjanak. A termőföldön végzett kísérletekkel Kanadában kimutatták, hogy 10 g szelént szükséges adagolni hektáronként ahhoz, hogy az árpa szeléntartalma 100 µg/kg-nál magasabb legyen (*Gupta*, 1995). *Tveitnes és mtsai.* (1996) egy Norvégiában végzett szántóföldi kísérlet során kalcium-nitrátot adagoltak, amelynek szeléntartalmát 25 mg/kg-ra állították be tavaszi búza esetében. Ez 6,5 g Se/ha kijutást jelentett, mely a búzamazag szelénkoncentrációját a kívánt szintre növelte meg. Általánosságban azt lehet mondani, hogyha megfelelően adagoljuk a szelén-kiegészítést, akkor csak kevés marad vissza a következő növény számára, ami azt sugallja, hogy az a mennyiség, amit a növény nem vett fel, vagy a talajon kötődik meg, vagy pedig elveszik a környezetben. A környezet monitorozása azért is nagyon fontos, hogy a szelén-kiegészítés ne vezessen a vizek szeléntartalmának jelentős növekedéséhez. Finnországban végzett kísérletek csak csekély bizonyítékot találtak a szelénnövekedésre a tavi ökoszisztémákban (*Mäkelä és mtsai.*, 1995; *Wang és mtsai.*, 1995), bár néhány talajvízminta nitrogén-, foszfor- és szelénkoncentrációja megemelkedett, ami azt jelenti, hogy a szelén a műtrágyázás során bekerült a talajvízbe (*Mäkelä és mtsai.*, 1995).

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

*Martens és Suarez* (1999) a talaj metilzett illékony szeléntartalmát elemezték, mivel a mikrobiológiai reakciók során a talaj szeléntartalma dimetil-szeleniddé és dimetil-di-szeleniddé alakulhat át. Ez az átalakulás fontos része a természetben lejátszódó szelén ciklusnak, de keveset tudunk arról, hogy amíg ezek a gázok a talajban tartózkodnak, mielőtt az atmoszférába távoznának, mi történik velük. Különböző kísérleteket végeztek, melyben gázkromatográfiával és atomabszorpciós spektrofotométerrel vizsgálták különböző talajtípusokban a dimetil-szelenid és dimetil-diszelenid abszorpcióját és transzformációját. Megállapították, hogy a dimetil-szelenid

lassan kötődött a talaj komponenseihez, és részben átalakult szelenitté és szelenáttá. A dimetil-diszelenid ezzel szemben gyorsan elbomlott és eltávozott a talajból, csökkentve ezzel a talaj szelenidtartalmát. Ráadásul a szeleno-metionin is átalakult dimetil-szeleniddé, illetve dimetil-diszeleniddé. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a talaj szeléntartalmának gáznemű halmazállapotú szeléntartalmú vegyületekké való átalakulása csökkenti a talaj szeléntartalmát.

*Tan és mtsai.* (2002) a talaj szeléntartalma és a járványos megbetegedések kapcsolatát vizsgálták Kínában. Tanulmányukban a talajok felsőrétegében (amelyet műveltek) a vízdoldható- és összesszelen-tartalmat elemezték, és értékelték a talaj szeléntartalmát és néhány népbetegség kapcsolatát. 354 felszíni talajminta közül 156 természetes, és 198 művelt talaj volt. A talajminták összesen 21 talajtípust képviseltek. A talajminták összesszelen-tartalmát diamino-naftalin származékképzést követően fluoreszcens spektrofotométeres módszerrel határozták meg. A talaj vízdoldható szeléntartalmát, ugyanezzel a módszerrel, a talajhoz képest ötszörös mennyiségű vizes extrakcióval mérték. Az összesszelen-koncentráció geometriai átlaga 0,173 mg/kg, számtani átlaga 0,239 mg/kg volt, és az értékek 0,022 mg/kg és 3,806 mg/kg között változtak. Az összesszelen-tartalom a művelésbe vont talajoknál 0,188 mg/kg geometriai átlag, 0,269 mg/kg számtani átlag volt, míg ugyanezen értékek a nem művelt talajoknál 0,154 mg/kg és 0,206 mg/kg voltak. A talajok vízdoldható szeléntartalmának geometriai átlaga 4,0 µg/kg, számtani pedig 6,4 µg/kg volt, a legalacsonyabb értéket 0,6 µg/kg-nak, a legmagasabbat pedig 109,4 µg/kg-nak mérték. A művelt talajokon a vízdoldható szelén koncentrációja (4,3 µg/kg), hasonló értéket mutatott a műveletlen talajok (4,43 µg/kg) geometriai átlagához. Az eredmények azt mutatják, hogy a vízdoldható- és az összesszelen-tartalom a különböző talajoknál is különböző. A vízdoldható szelén mennyisége az összes szelénhez viszonyítva 1,07 és 6,69% között változik. A laterites és egyéb szubtropikus talajok viszonylag nagy mennyiségű vízdoldható szeléntartalma összefüggésben van a nagyobb összesszelen-tartalommal. A művelt talajoknál szoros összefüggést mutattak ki az összesszelen-tartalom és a vízdoldható szelén között (korrelációs koefficiens 0,58).

*Dhillon és mtsai.* (2006) üvegházi kísérleteket végeztek a szelén hasznosulásának megállapítására a cirok (*Sorghum bicolor L.*), a kukorica (*Zea mays L.*) és az alexandriai here (*Trifolium alexandrinum L.*) esetében homokos talajon, amelyet különböző szeléntartalmú búza- (*Triticum aestivum L.*) és szareptai mustár (*Brassica juncea L. Czern*) szalmával javítottak fel, melynek szeléntartalma 53,3 és 136,7 µg/g volt. A szelénben gazdag szalma alkalmazása semmilyen káros hatással sem volt a különböző vizsgált termékek mennyiségére. Amikor a búzaszalma mennyiségét 1%-kal növelték, a cirok és a kukoricánövények 1,3 és 1,5 µg/g-mal növelték szeléntartalmukat. A szareptai mustár szalma alkalmazása esetén a szeléntartalom a cirokban 2,3 µg/g, a kukoricában 3,0 µg/g-ra növekedett. Ezek a vizsgálatok azt mutatják, hogy a magas szeléntartalmú szareptai mustár és búzaszalma biztonságosan alkalmazható a megnövelt szeléntartalmazó alapanyagokból készült élelmiszerek előállítására.

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

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

*Zhao és McGrath* (2009) a talajok szeléntartalmát és annak csökkentését elemezték különböző növényekkel végzett kísérletekben. Megállapították, hogy a növények és a velük kapcsolatban levő rizoszféra mikrobák alkalmasak lehetnek a fölösleges mennyiségű szelén eltávolítására a talajból, illetve öntözésre használt szennyvizekből. A szelén gyökérzetén keresztül szelenát formában hatékonyabban vehető fel. Kimutatták, hogy az indiai mustár rendelkezik egy olyan génnel, ami szelén-ellenállóvá és szelén-akkumulálóvá teszi a növényt. A transzgenikus növények katalizálják a szulfát szelénáttal történő kicserélődését, melynek hatására négyszer több szelént képesek felvenni, mint a vad típusok, és a szelénrel szennyezett talaj szeléntartalmát 4%-kal tudják csökkenteni. A szelén toxicitásnak fő oka a növényekben az, hogy a szeleno-cisztein és a szeleno-metionin a cisztein és a metionin helyére beépül a növényi fehérjékbe, mely beépülés eltérő fehérje struktúrát eredményez. A szelén tolerancia egyik lehetséges módja, hogy a növény a szeleno-ciszteint szelénre és alaninra bontja szét. Lehetséges még az is, hogy a szeleno-cisztein metilációja azt metil-szeleno-ciszteinné alakítja át, ami már nem toxikus a növény számára. A szelén-metil transzferáz enzimet tartalmazó transzgenikus növények 60%-kal több szelént tudnak felvenni a szennyezett talajból, mint a vad típusok.

*Darcheville és mtsai.* (2008) természetes talajokban vizsgálták a mikroorganizmusok viselkedését szelénrel kapcsolatban aerob körülmények között. Hatnapos kísérletet végeztek különböző mikrobiológiai állapotban lévő talajon úgy, hogy a talajt sterilizálták, vagy szerves szubsztrátot adagoltak. A szelént szelenit formában adták a talajhoz, melyet követően mérték a gázállapotú, a folyékony illetve a szilárd állapotú komponensekhez kötődő szelénformákat. Megállapították, hogy az aktív mikroorganizmusok nagyon fontos szerepet játszanak a talajban levő szelénformák kialakításában. Egyik oldalról a mikroorganizmusok segíthetik a szelén gázhalmazállapotúvá alakulását, melynek hatására a szeléntartalmú komponensek eltávoznak a talajból. Másik oldalról a mikrobiológiai aktivitás növelte a visszatartott szeléntartalmat, és kevesebb kicserélhető szelénformával erősítette a retenciót, melynek következtében a szelén mobilitása jelentős mértékben lecsökkent.

## **A SZELÉN BEÉPÜLÉSE A BÚZÁBA**

A búza szeléntartalmának javítása megkívánja annak vizsgálatát, hogy a transzporterek hogyan katalizálják ezt a mechanizmust. A növények a talaj összetételétől függően mind a szelenit-, mind a szelenáttartalmat hasznosítani tudják. Néhány tanulmányban bemutatták a növények szelenit-felvételét (*Hopper és Parker, 1999; Zhang és mtsai., 2003*), de



néhány esetben kimutatták azt is, hogy a szelenát felvétele limitált a növényeknél (Hopper és Parker, 1999). Több esetben kimutatták, hogy a szelenit és szelenát versengett egymással, és hogy a foszfátranzport befolyásolta a szelenit felvételét, bár ennek a molekuláris alapjait még nem tisztázták (Hopper és Parker, 1999).

Általánosságban elfogadott tény, hogy a szelenátot a növények a talajból a gyökerükön keresztül veszik fel a szulfát transzportterekkel. Jól demonstrált a szulfát és a szelenát kölcsönhatása e tekintetben (Barak és Goldman, 1997; Bell és mtsai., 1992; Broadley és mtsai., 2006; Hopper és Parker, 1999; Mikkelsen és Wan, 1990; Wu és Huang, 1992). Ezekből a vizsgálatokból az is következik, hogy a szulfátrágyázás és a szelén-kiegészítés szoros kapcsolatban van egymással, és a kettő felvétele antagonizmust mutat. A különbségek a szulfát és a szelenát transzportban lehetőséget biztosítanak a szelektív dúsításra. A korai tanulmányok, mely az árpagyökerek szulfátfelvételét tanulmányozták kimutatták, hogy a szelenát kompetitív inhibitora a szulfátfelvételnek. Ezekre a vizsgálatokra alapozva kijelenthető, hogy a szulfát és a szelenát egymás antagonistái (Legget és Epstein, 1956).

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők hálás köszönetüket fejezik ki a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézete anyagi támogatásáért. Köszönetüket fejezik ki ezentúl Dr. Kazinczy Gabriella egyetemi docensnek és Dr. Dér Ferenc egyetemi docensnek értékes tanácsaikért.

## IRODALOM

- Adams, M.L., Lombi, E., Zhao, F.J., McGrath, S.P. (2002). Evidence Of low selenium concentrations in UK bred-making wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82. 1160-1165.
- Barak, P., Goldman, I.L. (1997). Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): Implications for the production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45. 1290-1294.
- Barclay, M.N.I., Macpherson, A. (1986). Selenium content of wheat flour used in the UK. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 37. 1133-1138.
- Barrow, N.J., Whelan, B.R. (1989). Testing a mechanistic model. 7. The effects of pH and electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil. *Journal of Soil Science*. 40. 17-28.
- Beck, M.A., Handy, J., Levander, O.A. (2004). Host nutritional status: the neglected virulence factor. *Trends in Microbiology*. 12. 417-423.
- Bell, P.F., Parker, D.R., Page, A.L. (1992). Contrasting selenate-sulfate interactions in selenium-accumulating and nonaccumulating plantspecies. *Soil Science Society of America Journal*. 56. 1818-1824.
- Boila, R.J., Stothers, S.C., Campbell, L.D. (1993). The concentration of selenium in the grain from wheat, barley and oats grown at selected locations throughout Manitoba. *Canadian Journal of Animal Science*. 73. 217-221.
- Boldery, R., Nurs, M., Fielding, G., Rafter, T., Pascoe, A.L., Scalia, G.M. (2007). Nutritional Deficiency of Selenium Secondary to Weight Loss (Bariatric) Surgery Associated with Life-Threatening Cardiomyopathy. *Heart, Lung and Circulation*. 16. 123-126.

- Broadley, M.R., Whit, P.J., Bryson, R.J., Meacham, M.C., Bowen, H.C., Johnson, S.E., Hawkesford, M.J., McGrath, S.P., Zhao, F.J., Breward, N., Harriman, M., Tucker, M. (2006). Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*. 65. 169-181.
- Brown, K.M., Arthur, J.R. (2001). Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*. 4. 593-599.
- Cartes, P., Gianfreda, L., Mora, M.L. (2005). Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*. 276. 359-367.
- Clark, L.C., Cantor, K.P., Allaway, W.H. (1991). Selenium in forage crops and cancer mortality in United States counties. *Archives of Environmental Health*. 46. 37-42.
- Clark, L.C., Combs, G.F., Turnbull, B.W., Slate, E.H., Chalker, D.K., Chow, J., Davis, L.S., Glover, R.A., Graham, G.F., Gross, E.G., Krongrad, A., Leshner, J.L., Park, H.K., Sanders, B.B., Smith, C.L., Taylor, J.R. (1996). Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*. 276. 1957-1963.
- Clark, L.C., Dalkin, B., Krongrad, A., Combs, G.F., Turnbull, B.W., Slate, E.H., Witherington, R., Herlong, J.H., Janosko, E., Carpenter, D., Borosso, C., Falk, S., Rounder, J. (1998). Decreased incidence of prostate cancer with selenium supplementation: results of double blind cancer prevention trial. *British Journal of Urology*. 81. 730-734.
- Combs, G.F. (2001). Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*. 85. 517-547.
- Combs, G.F. (2005). Current evidence and research needs to support a health claim for selenium and cancer prevention. *Journal of Nutrition*. 135. 343-347.
- Combs, G.F., Clark, L.C., Turnbull, B.W. (2001). An analysis of cancer prevention by selenium. *Biofactors*. 14. 153-159.
- Darcheville, O., Fevrier, L., Haichar, F.Z., Berge, O., Mrtin-Garin, A., Renault, P. (2008). Aqueous, solid and gaseous partitioning of selenium in an oxic sandy soil under different microbiological states. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99. 981-992.
- Dhillon, S.K., Hundal, B.K., Dhillon, K.S. (2007). Bioavailability of selenium to forage crops in a sandy loam soil amended with Se-rich plant materials. *Chemosphere*. 66. 1734-1743.
- Elrashidi, M.A., Adriano, D.C., Workman, S.M., Lindsay, W.L. (1987). Chemical equilibria of selenium in soils: a theoretical development. *Soil Science*. 144. 141-152.
- Eurola, M.H., Ekholm, P.I., Ylinen, M., Koivistoinen, P.E., Varo, P.T. (1990). Effects of selenium fertilization on the selenium content of cereal grains, flour, and bread produced in Finland. *Cereal Chemistry*. 67. 334-337.
- Eurola, M.H., Ekholm, P.I., Ylinen, M., Koivistoinen, P.E., Varo, P.T. (1991). Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate supplemented fertilizers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 56. 57-70.
- Fan, M.S., Zhao, F.J., Poulton, P.R., McGrath, S.P. (2008). Historical changes in the concentrations of selenium in soil and wheat grain from the Broadbalk experiment over the last 160 years. *Science of the Total Environment*. 389. 532-538.
- FAO, WHO (2001). Human vitamin and mineral requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Bangkok, Thailand, Food and Nutrition Division, FAO, Rome.

- Fordyce, F.M., Johnson, C.C., Navaratna, U.R.B., Appleton, J.D., Dissanayake, C.B. (2000a). Selenium and iodine in soil, rice and drinking water in relation to endemic goitre in Sri Lanka. *Science of the Total Environment*. 263. 127-141.
- Fordyce, F.M., Zhang, G.D., Green, K., Liu, X.P., (2000b). Soil grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi district, China. *Applied Geochemistry*. 15. 117-132.
- Fox, T.E., Atherton, C., Dainty, J.R., Lewis, D.J., Langford, N.J., Baxter, M.J., Crews, H.M., Fairweather-Tait, S.J. (2005). Absorption of selenium from wheat, garlic, and cod intrinsically labeled with Se-77 and Se-82 stable isotopes. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 75. 179-186.
- Gissel-Nielsen, G., Gupta, U.C., Lamand, M., Westermarck, T. (1984). Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. *Advances in Agronomy*. 37. 397-460.
- Golubkina, N.A., Alftan, G.V. (1999). The human selenium status in 27 regions of Russia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 13. 15-20.
- Guo, X., Wu, L. (1998). Distribution of Free Seleno-amino Acids in Plant Tissue of *Melilotus indica* L. Grown in Selenium-Laden Soils. *Ecotoxicology and environmental safety*. 39. 207-214.
- Gupta, U.C. (1995). Effects of selcote(r) ultra and sodium selenate (laboratory versus commercial grade) on selenium concentration in feed crops. *Journal of Plant Nutrition*. 18. 1629-1636.
- Gupta, U.C., Gupta, S.C. (1998). Trace element toxicity relationship to crop production and livestock and human health: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29. 1491-1522.
- Hall, J.A., Van Saun, R.J., Nichols, T., Mosher, W., Pirelli, G. (2009). Comparison of selenium status in sheep after short-term exposure to high-selenium-fertilized forage or mineral supplement. *Small Ruminant Research*. 82. 40-45.
- Hartikainen, H. (2005). Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*. 18. 309-318.
- Hawkesford, J. M., Zhao, F.J. (2007). Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Science*. 46. 282-292.
- Hopper, J.L., Parker, D.R. (1999). Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. *Plant and Soil*. 210. 199-207.
- Johnson, C.C., Ge, X., Green, K.A., Liu, X. (2000). Selenium distribution in the local environment of selected villages of the Keshan disease belt, Zhangjiakou district, Hebei province, People's Republic of China. *Applied Geochemistry*. 15. 385-401.
- Johnsson, L. (1991). Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant and Soil*. 133. 57-64.
- Juniper, D.T., Phipps, R.H., Ramos-Morales, E., Bertin, G. (2009a). Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 149. 228-239.
- Juniper, D.T., Phipps, R.H., Ramos-Morales, E., Bertin, G. (2009b). Effect of high dose selenium enriched yeast diets on the distribution of total selenium and selenium species within lamb tissues. *Livestock Science*. 122. 63-67.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). *Trace Elements in Soils and Plants*, second ed. CRC Press, Boca Raton.

- Kumar, N., Garg, A.K., Dass, R.S., Chaturverdi, V.K., Mudgal, V., Varshney, V.P. (2009) Selenium supplementation influences growth performance, growth performance, antioxidant status and immune response in lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 153. 77-87.
- Lavado, R.S., Porcelli, C.A., Alvarez, R. (1999). Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Environment*. 232. 185-191.
- Leggett, J.E., Epstein, E. (1956). Kinetics of sulfate absorption by barley roots. *Plant Physiology*. 31. 222-226.
- Low, S.C., Berry, M.J. (1996). Knowing when not to stop: selenocysteine incorporation in eukaryotes. *Trends in Biochemical Sciences*. 21. 203-208.
- Lyons, G.H., Genc, Y., Stangoulis, J.C.R., Palmer, L.T., Graham, R.D. (2005a). Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. *Biological Trace Element Research*. 103. 155-168.
- Lyons, G.H., Judson, G.J., Ortiz-Monasterio, I., Genc, Y., Stangoulis, J.C.R., Graham, R.D. (2005b). Selenium in Australia: selenium status and biofortification of wheat for better health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 19. 75-82.
- Lyons, G., Ortiz-Monasterio, I., Stangoulis, J., Graham, R. (2005c). Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil*. 269. 369-380.
- Mäkelä, A.L., Wang, W.C., Hamalainen, M., Nanto, V., Laihonon, P., Kotilainen, H., Meng, L.X., Makela, P. (1995). Environmental effects of nationwide selenium fertilization in Finland. *Biological Trace Element Research*. 47. 289-298.
- Martens, D. A., Suarez, D. L. (1999). Transformations of volatile methylated selenium in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 31. 1355-1361.
- Mayland, H.F., James, L.F., Panter, K.E., Sonderegger, J.L. (1989). Selenium in seleniferous environments. In: Jacobs, L.W. (Ed.), *Selenium in Agriculture and the Environment*, SSSA Special Publication No. 23 Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, 15-50.
- McNeal, J.M., Balistriero, L.S. (1989). Geochemistry and occurrence of selenium: an overview. In: Jacobs, L.W., (Ed), *Selenium in Agriculture and the Environment*, SSSA Special Publication No. 23 Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, 1-13.
- Meltzer, H.M., Bibow, K., Paulsen, I.T., Mundal, H.H., Norheim, G., Holm, H. (1993). Different bioavailability in humans of wheat and fish, selenium as measured by blood platelet response to increased dietary Se. *Biological Trace Element Research*. 36. 229-241.
- Mikkelsen, R.L., Wan, H.F. (1990). The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. *Plant and Soil*. 121. 151-153.
- Mikkelsen, R.L., Page, A.L., Bingham, F.T. (1989). Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In: Jacobs, L.W. (Ed), *Selenium in Agriculture and the Environment*, SSSA Special Publication No. 23 Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, 65-94.
- Ministry of Agriculture Fisheries and Food (1997). United Kingdom dietary intake of selenium. MAFF Food Surveillance Information Sheet No. 126, Her Majesty's Stationery Office, London.
- Moreno, P., Quijano, M.A., Gutierrez, A.M., Perez-Conde, M.C., Camara, C. (2004). Study of selenium species distribution in biological tissues by size exclusion and

- ion exchange chromatography inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 524. 315-327.
- Murphy, J., Cashman, K.D. (2001). Selenium content of a range of Irish foods. *Food Chemistry*. 74. 493-498.
- Neal, R.H., Sposito, G. (1989). Selenate adsorption on alluvial soils. *Soil Science Society of America Journal*. 53. 70-74.
- Neal, R.H., Sposito, G., Holtzclaw, K.M., Traina, S.J. (1987). Selenite adsorption on alluvial soils. 1. Soil composition and pH effects. *Soil Science Society of America Journal*. 51. 1161-1165.
- Nowak, J., Kaklewsky, K., Ligocki, M. (2004). Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology & Biochemistry*. 36. 1553-1558.
- Oldfield, J.E. (1999). *Selenium World Atlas*. Selenium-Tellurium Development Association, Grimbergen, Belgium. 83.
- Rasmussen, L.B., Hollenbach, B., Laurberg, P., Carlé, A., Hög, A., Jorgensen, T., Vejbjerg, P., Ovesen, L., Schomburg, L. (2009). Serum selenium and selenoprotein P status in adult Danes-8-year followup. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 23. 265-271.
- Rayman, M.P. (2000). The importance of selenium to human health. *Lancet*. 356. 233-241.
- Rayman, M.P. (2002). The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*. 61. 203-215.
- Schwartz, K., Foltz, C.M. (1957). Selenium as an integral part of factor-3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*. 79. 3292-3293.
- Serdaru, M., Vladescu, L., Avram, N. (2003). Monitoring of Feeds Selenium Status in Southwest Region of Romania. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51. 4727-4731.
- Shand, C., Coutts, G., Duff, E., Atkinson, D. (1992). Soil selenium treatments to ameliorate selenium deficiency in herbage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 59. 27-35.
- Singh, B.R. (1991). Selenium content of wheat as affected by selenate and selenite contained in a Cl-based or SO<sub>4</sub>-based NPK fertilizer. *Fertilizer Research*. 30. 1-7.
- Stadlober, M., Sager, M., Irgolik, K.J. (2001). Effects of selenate supplemented fertilisation on the selenium level of cereals-identification and quantification of selenium compounds by HPLC-ICP-MS. *Food Chemistry*. 73. 357-366.
- Stadtman, T.C. (1996). Selenocysteine. *Annual Review of Biochemistry*. 65. 83-100.
- Stranges, S., Marshall, J.R., Trevisan, M., Natarajan, R., Donahue, R.P., Combs, G.F., Farinero, E., Clark, L.C., Reid, M.E. (2006). Effects of selenium supplementation on cardiovascular disease incidence and mortality: secondary analyses in a randomized clinical trial. *American Journal of Epidemiology*. 163. 694-699.
- Tan, J.N. (1989). *The Atlas of Endemic Diseases and their Environments in the People's Republic of China*. Science Press, Beijing.
- Tan, J.N., Huang, Y.J. (1991). Selenium in geo-ecosystem and its relation to endemic diseases in China. *Water Air and Soil Pollution*. 57-58, 59-68.
- Thomson, C.D. (2004). Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 58. 391-402.
- Tveitnes, S., Singh, B.R., Ruud, L. (1996). Selenium concentration in spring wheat as influenced by basal application and top dressing of selenium-enriched fertilizers. *Fertilizer Research*. 45. 163-167.

- Varo, P., Alfthan, G., Ekholm, P., Aro, A., Koivistoinen, P. (1988). Selenium intake and serum selenium in Finland-effects of soil fertilization with selenium. *American Journal of Clinical Nutrition*. 48. 324-329.
- Wang, D.H., Alfthan, G., Aro, A., Makela, A., Knuutila, S., Hammar, T. (1995). The impact of selenium supplemented fertilization on selenium in lake ecosystems in Finland. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 54. 137-148.
- Watkinson, J.H. (1981). Changes of blood selenium in New Zealand adults with time and importation of Australian wheat. *American Journal of Clinical Nutrition*. 34. 936-942.
- Whanger, P.D. (2002). Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American College of Nutrition*. 21. 223-232.
- Whanger, P.D. (2004). Selenium and its relationship to cancer: an update. *British Journal of Nutrition*. 91. 11-28.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone, G., Giammarco, M., Tassinari, M., Martelli, G., Bertin, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*. 81. 678-685.
- Wolnik, K.A., Fricke, F.L., Capar, S.G., Braude, G.L., Meyer, M.W., Satzger, R.D., Kuennen, R.W. (1983). Elements in major raw agricultural crops in the United States. 2. Other elements in lettuce, peanuts, potatoes, soybeans, sweet corn, and wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 31. 1244-1249.
- Wu, L., Huang, Z.Z. (1992). Selenium assimilation and nutrient element uptake in white clover and tall fescue under the influence of sulfate concentration and selenium tolerance of the plants. *Journal of Experimental Botany*. 43. 549-555.
- Yang, G.Q., Xia, Y.M. (1995). Studies on human dietary requirements and a safe range of dietary intakes of selenium and their application in the prevention of related endemic diseases. *Biomedical and Environmental Sciences*. 8. 187-201.
- Ylärinta, T. (1990). The selenium content of some agricultural crops and soils before and after the addition of selenium to fertilizers in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae*. 29. 131-139.
- Zhang, Y.L., Pan, G.X., Chen, J., Hu, Q.H. (2003). Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. *Plant and Soil*. 253. 437-443.
- Zhao, F.J., Lopez-Bellido, F.J., Gray, C.W., Whalley, W.R., Clark, L.J., McGrath, S.P. (2006). Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grain. *Science of the Total Environment*. 372. 433-439.
- Zhao, F.J., McGrath, S.P. (2009). Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion in Plant Biology*. 12. 373-380.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

**Tamás Melinda**

Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Campus,

Élelmiszer-tudományi Tanszék

*University of Transylvania, Csíkszereda Campus,*

*Department of Food Sciences*

RO-530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

Tel.:40-266-317-121, fax:40-266-314-657

e-mail: tamasmelinda@sapientia.siculorum.ro