



*A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó: Photo - Fotokan Adrián*

Szabó S. András¹

Érkezett: 2017. május – Elfogadva: 2017. szeptember

Élelmiszerek stronciumtartalmának és a stroncium biológiai szerepének vizsgálata

Kulcsszavak: csonttritkulás, diszkriminációs tényező, esszencialitás, kalcium, ⁹⁰Sr radionuklid

1. Összefoglalás

Élettani szempontból a stroncium mikroelem, amelynek közös transzportrendszere van a kalciummal. A növényekben és talajokban a kalcium és a stroncium koncentrációi között többnyire két nagyságrend a különbség. Az állati és emberi szervezetben viszont akár három nagyságrend is lehet az eltérés. Ennek oka az erőteljes diszkrimináló képesség, amelynek révén a stroncium lényegesen kisebb mennyiségben szívódik fel a melegvérűek bélcsatornájából. Így az emberi szervezet Sr:Ca arányának értéke és radiostroncium szennyezettsége (⁹⁰Sr/Ca) jelentősen kisebb, mint az elfogyasztott ételekben mérhető mennyiségek. Köztudomású, hogy a stroncium részben helyettesítheti a kalciumot, ám a szervezetbe bevitt nagy mennyiségű stroncium toxikus. Ugyanakkor a stronciumot gyógyszerként is alkalmazzák csonttritkulás kezelésére.

A stroncium növény-, állat- és humánéletteni szerepének tisztázása, esetleges esszenciális szerepének bizonyítása további vizsgálatokat igényel. Mivel az esszenciális és a nem létfontosságú mikroelemek az egészséges szervezeten belüli koncentrációeloszlása jelentős eltérést mutat, ez az ismeret segítséget nyújt az adott mikroelem biológiai szerepének meghatározására az egészséges testszövetekben mérhető koncentrációeloszlások vizsgálatával, mert a szövetekben a létfontosságú elemek szűk koncentrációtartományban vannak jelen.

2. Bevezetés

Korábbi, az Élelmiszervizsgálati Közlemények hasábjain megjelent dolgozatban átfogó ismertetés olvasható a mikroelemek csoportosítási lehetőségeiről, az esszenciális és a nem-esszenciális jelleg valamint a koncentrációeloszlás közötti összefüggésről illetőleg a nyomelemek vizsgálatára alkalmazható analitikai mérés technikákról [1]. A dolgozatban a stroncium élettani szerepét tárgyaljuk. Ez a fém élelmiszerekben mérhető koncentrációját illetően tipikusan mikroelem. Megjegyezzük, hogy élettani szerepének több részlete további tisztázásra szorul.

A mikroelemekkel kapcsolatos kutatómunka mintegy 100 esztendő múltira tekinthet vissza, és szoros összefüggésben van az analitikai módszerek teljesítőképességének, érzékenységének fejlődésével. Napjainkban az ilyen irányú vizsgálatokat szinte kizárólag

műszeres analitikai technikákkal, kémiai vagy fizikai módszereken alapuló mérés technikák felhasználásával végzik.

A stronciummal kapcsolatos mikroelem-kutatómunkának a XX. század ötvenes éveiben az adott nagy jelentőséget, hogy a bioszférában mérhető tartós radioaktív szennyezést okozó izotópok közül – a gyakori atomrobbantási kísérletek környezetszennyező hatása miatt – a stroncium két izotópjának, a ⁸⁹Sr és a ⁹⁰Sr radionuklidoknak volt meghatározó szerepe. A radiokémiai, radiobiológiai, radioökológiai kutatások a mikroelem élettani jelentőségének vizsgálatára is irányultak.

Ismeretes, hogy a természetben (ezáltal nyilvánvalóan az emberi szervezetben is) előforduló 92 természetes elemből (nem tekintve a mesterségesen előállított, ún. transzurán elemeket) 75 sorolható

¹ Élelmiszerfizika Közhasznú Alapítvány

a mikroelemek közé - ide tartozik a stroncium is -, amely a földkéregben 20. leggyakoribb elem. Nevét felfedezői, Crawford és Cruickshank adták 1790-ben (az elem neve a Skóciában található Strontian falu nevére utal [32].)

A stroncium kémiailag alkáli földfém, a periódusos rendszer 2. főcsoportjában (oszlopában) található. Az 5. periódus eleme, a kalcium alatt és a bárium felett helyezkedik el a táblázatban. Kémiai és fizikai tulajdonságait tekintve is hasonló a kalciumhoz, előfordulási koncentrációja azonban a felszíni vizekben, talajokban és a növényekben általában 2 nagyságrenddel, az állati és emberi szöveteket tekintve viszont mintegy 3 nagyságrenddel kisebb a kalciuménál [23]. Az ivóvízben – néhány földrajzi helyen mérhető szélsőséges értékektől eltekintve – 1.0 mg/liter alatti, vagy jelentősen ezen érték alatti koncentrációban fordul elő. Lángfotometriás méréseink szerint a magyarországi un. indikátor- növények (sóska, spenót, saláta) és gabonafélék stronciumtartalma többnyire a kalciumtartalom mérőszámához képest 1-3%-ot tett ki. A mérhető kalciumtartalom a növény fajtájával és a talaj stronciumtartalmával volt összefüggésben. Zöldségfélék – borsó, paradicsom, retek, paprika – összetételének ICP-technikával történő vizsgálata során pedig azt tapasztaltuk, hogy a kalcium tartalom 100-200-szorosa volt a stroncium mennyiségének [2], [3], [4], [5].

Korábbi előadásokban és dolgozatokban [6], [1], [7], [8] már bemutattuk azokat a koncentrációeloszlási vizsgálatokat, amelyek eredményei alapján feltételezhető, hogy a növények számára a stroncium is létfontosságú mikroelem.

Az élelmiszerek nyomelemtartalma és annak eloszlás-vizsgálata segíthet a kérdéses mikroelemek biológiai szerepének tisztázásában [9]. E dolgozat célja a stroncium vélelmezett biológiai szerepének bemutatása. A kérdés tehát az, hogy a stroncium létfontosságúnak tekinthető mikroelem-e, vagy inkább a nem esszenciális mikroelemek közé sorolható. Az valószínűsíthető, hogy a stronciumnak nem csupán a növényéletten, hanem az állat-és humánéletten szempontjából is fontos biológiai szerepe van. Ez az alkáli földfém ugyanis minden bizonnyal meghatározó a csontok és a fogazat keménységének biztosításában, illetve szerepe lehet a csonttrikulás kialakulásának gátlásában is.

3. Radioaktív stroncium izotópok

Fentebb említettük, hogy a stroncium élettani szerepének vizsgálata a XX. század 50-es és 60-as éveiben azért volt fontos, mert az atomrobbantási kísérletek tartós környezetszennyező hatását elsősorban a 90-es tömegszámú stronciumizotóp okozta. Ez az izotóp béta-sugárzó, fizikai felezési ideje 28 év. Ezért a radiostronciumtól származó környezeti radioaktivitás csak lassan csökken. S mivel a stroncium kémiailag nagyon hasonló a kalciumhoz, szintén beépül

a csontozatba, ahol tartós sugárterhelést okozhat. A ^{90}Sr az egyik legjelentősebb hasadási termék, amelynek döntő szerepe van az érintett terület radioaktív szennyeződésének kialakulásában. Az uránmag hasadását (neutronok hatására bekövetkező fission) követően a keletkezési és bomlási séma a következő:



Az egyes izotópok egymást követő negatív béta-bomlással alakulnak át azonos tömegszámú, de egyre nagyobb rendszámú elemekké. A bomlási sort végül a már nem radioaktív, 40-es rendszámú cirkónium zárja. A ^{90}Y viszonylag rövid felezési ideje miatt a ^{90}Sr és ^{90}Y izotópok egymással radioaktív egyensúlyban vannak.

A ^{90}Sr izotóp mellett a szintén béta-sugárzó izotóp, a ^{89}Sr is jól ismert a környezetszennyező radionuklidok közül. Bár az uránmag hasadását követően a ^{89}Sr izotóp is jelentős mennyiségben keletkezik, de mivel felezési ideje lényegesen rövidebb, mint a ^{90}Sr nuklidé – mindössze 50 nap – a tartós kontamináció fenntartásában nincs szerepe. A viszonylag gyors lebomlás következtében a biológiai láncban a szennyeződés első néhány hónapjában kell jelenlétével és sugárterhelő hatásával számolni.

A radiostroncium – a kalciumhoz hasonló, úgynevezett csontkereső tulajdonsága miatt – az állatokban és az emberben döntően a magas kalciumtartalmú csontozatban található. Amennyiben a kontaminációs szint (nukleáris robbantási kísérletek és atomreaktor balesetek szennyező hatása) magas, akkor a ^{90}Sr izotóp hosszú felezési ideje (ill. a biológiai és a fizikai felezési időből számítható un. effektív felezési ideje) miatt a sugárterhelő hatás akár csonttraktus is előidézhet. A hosszú biológiai felezési idő miatt a csontokra a legnagyobb veszélyt a sugárterhelés szempontjából a ^{90}Sr izotóp jelenti [10]. Magyarországon azonban a 60-as évek elején az atomrobbantási kísérletek majd 1986-ban a csernobili atomerőmű baleset szennyező hatása miatt nem volt számottevő a mérhető, a ^{90}Sr -től származó sugárszennyezettségi szint [11], [3], [12], [13].

4. A diszkriminációs tényezők jelentősége

Az egyes szervezetek diszkrimináló (megkülönböztető) képességének lényege az, hogy az egyes elemek relatív (más elemhez viszonyított) koncentrációja a biológiai láncfolyamat elemei között egymástól jelentősen eltérhet.

A Sr esetében azért célszerű a stroncium értékeket a kalcium-tartalomra vonatkoztatni, mert a fizikai-kémiai-biológiai hasonlóságból adódóan a kalcium és a stroncium közös transzportrendszert képez. A kalcium/stroncium arányok számítása radiometriai mérések alapján is elvégezhető, amikor nem a stroncium, hanem a radiostroncium koncentrációkat (aktivitásokat) viszonyítjuk a kalcium-értékekhez. Úgy is

fogalmazhatunk tehát, hogy a kalcium a stroncium és radiostroncium inaktív hordozója.

Az állati vagy az emberi szervezetre vonatkozó diszkriminációs faktor a stroncium esetében a következőképpen számítható ki:

$$D_{Sr} = \frac{\frac{Sr}{Ca} \text{ a tejben}}{\frac{Sr}{Ca} \text{ a takarmányban, élelmiszerben}}$$

A stroncium diszkriminációs faktorát a ^{90}Sr aktivitása alapján is kiszámolhatjuk:

$$D_{Sr} = \frac{\frac{^{90}\text{Sr}}{Ca} \text{ a tejben}}{\frac{^{90}\text{Sr}}{Ca} \text{ a takarmányban, élelmiszerben}}$$

Az egyes szervezetek diszkriminációs képességét jelző diszkriminációs faktorok meghatározása természetesen más testszövetek (pl. csont, izom, tojás) vizsgálata alapján is történhet. Méréseink szerint [14] az azonos állatból, de különböző testtájokról származó csontok stroncium-tartalma között nem volt kimutatható különbség. Juhoknál az egyes csontok (pl. femur, metacarpus) között – 96-96 minta vizsgálata alapján – a szórások figyelembevételével nem volt szignifikáns eltérés, az átlagérték 0.70 mg/g hamu érték körül ingadozott, mintegy 20 %-os szórás mellett.

5. Anyag és módszer

Vizsgálataink során nagyszámú, biológiai eredetű minta (takarmány- és élelmiszernövények, étrendek, tehéntej, izom, tojás, csont) mérésére került sor. Az adott tehenészetből származó tej- és takarmányminták esetében mindig párhuzamos mintavételezés történt, azaz abból a takarmányból vettük a mintát, amit a tejelő állatok az időszaknak megfelelően fogyasztottak.

A stroncium- és kalciumtartalom meghatározását lángfotometriás módszerrel, illetve röntgen-fluoreszcenciás eljárással (XRF ill. REA) végeztük. A lángfotometriás méréseket a minták elhamvasztása után a hamuk sósavas oldatából 461 és 554 nm-en hajtottuk végre. A röntgen-fluoreszcenciás méréseknél ^{125}I izotóp forrást és Si(Li) detektort alkalmaztunk. Ez a technika főként a tíznél nagyobb rendszámú

elemek meghatározására alkalmas. Munkánk során ICP-AES-technika alkalmazásával is végeztünk vizsgálatokat Thermo Jarrell Ash 9000 típusú berendezést használtunk, amely az 550 °C-on elhamvasztott minták 0.1 n HNO₃ oldatából határozta meg az elemek összetételét. A radioaktivitás mérésére halogéntöltésű GM-csőveket valamint szcintillációs detektorokat (plasztik és NaI) alkalmaztunk. A mérések során béta-aktivitást határoztunk meg, mérve az összes és az un. fémion-frakció aktivitást. Ez utóbbi utal a minta radioaktív stroncium izotópokkal való szennyezettségére.

6. Eredmények és értékelésük

Az **1. táblázat** a párhuzamosan vett tej- és takarmányminták kalciumtartalomra vonatkoztatott átlagos stroncium- és radiostroncium-tartalmáról tájékoztat. A diszkriminációs faktorok számítását a relatív, tehát a kalcium-tartalomra számított értékek alapján lehet elvégezni. Az **1. táblázat** adataiból kiolvasható, hogy a fajlagos stroncium- ill. radiostroncium- koncentrációk között egy nagyságrendnyi különbség van. A tejben mérhető szintek a takarmányban előforduló értékeknek csupán 10, illetve 13%-át képezik. Ez az arány az éveken át végzett, nagyszámú mérés adatai szerint 8 és 15% közötti értéknek adódott az egyedi minták esetében. Ez arra utal, hogy a stroncium felszívódása jelentősen elmarad a kalciumétól, s ezáltal a tejben – és más testszövetekben is – mérhető relatív stroncium- és a ^{90}Sr - tartalom jelentősen kisebb, mint a kalcium-tartalom.

A diszkrimináló képességet illetően a **2. táblázat** is hasonló eredményeket tartalmaz. A csontok vizsgálata alapján is jól érzékelhető az egy nagyságrendet kitevő koncentrációkülönbség. Közismert, hogy a takarmányok – esetünkben növényi eredetű takarmánynövények – stronciumtartalma a növényi fajtól és a talajtani jellemzőktől is függ. A radiostroncium-aktivitás pedig a külső eredetű szennyező hatásokkal van összefüggésben. Befolyásoló faktorok a földrajzi tényezők (pl. csapadék mennyisége) és az alkalmazott agrotechnikai eljárások is. Az állati szövetek stabil Sr- és ^{90}Sr -tartalma pedig a diszkrimináló képességen, valamint az adott takarmány kémiai összetételén túl az állat életkorának is függvénye. Méréseink szerint ugyanis a borjúcsontok radioaktivitása jelentősen elmaradt a növendékmarha-csontokétól.

1. táblázat. Diszkriminációs faktorok számítása stronciumra ill. ^{90}Sr -ra párhuzamosan vett tej- és takarmányminták vizsgálata alapján Győr-Moson-Sopron megyében (200-200 minta)

Table 1 Calculation of discrimination factors for strontium and ^{90}Sr , based on parallel milk and feed samples taken in Győr-Moson-Sopron county (200 samples each)

Minta / Sample	Átlagos $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ aktivitás (mBq/g Ca) Average $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ activity (mBq/g Ca)	Sr/Ca (%)
Tej / Milk	648	0.38
Takarmány / Feed	6290	2.9
Átlagos diszkriminációs faktor Average discrimination factor	0.103	0.13

Ez pedig azzal függ össze, hogy a borjak táplálásában az első 1-2 hónapban az anyaállattól szoptatás útján kapott tej a meghatározó, s ennek stroncium- és radiostroncium-tartalma nagyságrendileg kisebb, mint a növényi eredetű takarmányoké. A szervezetben a kicserélődés (beépülés, akkumuláció, elimináció) sebessége a Ca-Sr-rendszert tekintve elég lassú – a biológiai felezési idő függvénye – ez okozza a borjak, növendékmarhák és felnőtt szarvasmarhák szöveteinek számottevően eltérő stroncium- és radiostroncium-tartalmát [15], [16].

Itt kell megemlítenünk, hogy a radiostroncium-szenyezethez viszonyítottan – részben az eltérő diszkriminációs képesség, másrészt a különböző táplálkozási-takarmányozási feltételek miatt – jelentős eltérést találtunk az egyes állatfajok között. Méréseink alapján stronciumtartalom tekintetében a következő növekvő sorrendet kaptuk: sertés, baromfi, szarvasmarha, juh, hal. A radiostroncium-szenyezethez viszonyítottan a növényevő halaknál jelentősen meghaladta a ragadozó halak csontjaiban mérhető ^{90}Sr -koncentrációt. Ennek oka az, hogy a ragadozó halaknál lényegében kettős diszkriminációs hatás érvényesül a borjak táplálásánál említett tényezők miatt.

7. Kalcifikáció a csontozatban

A csontok és a fogazat ásványi anyag-tartalmának döntő részét a $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ összetétellel jellemezhető kalcium-ortofoszfát teszi ki. A kationok között azonban a kalciumon kívül mindig kimutatható – a táplálkozástól is függő arányban – a magnézium, a stroncium, a bárium és a rádium jelenléte is. A magnézium létfontosságú makroelem. Ugyanakkor a bárium és a rádium valószínűleg nem esszenciális mikroelemek [17], [18], [19]. A stroncium szerepe vitatott a növényekre vonatkozóan, de a koncentráció-eloszlás vizsgálatok alapján valószínűsíthető az esszencialitás [5], [7]. A magasabb rendű állatok (gerincesek) és az ember esetében a stroncium biológiai szerepét egyelőre még nem tisztázták, így nem egyértelmű, hogy a stronciumot az esszenciális vagy a nem esszenciális mikroelemek közé kell sorolni.

Esszenciális elemek esetében az élettani szükséglet s annak optimuma, a hiánytünet után telítési tartománynál található. E tartomány első szakasza a jó

ellátottságot, második szakasza a túlfogyasztást jelenti. Az optimális tartomány után a toxikussági küszöb illetve toxikussági tartomány következik. A nem esszenciális elemek esetében – a biológiai szükséglet és az ionok koncentrációját szabályozó mechanizmus hiányában az esetleges antagonisták hatáson kívül csupán a toxikussági küszöb értelmezhető. Vagyis a nem esszenciális elemekből a toxikussági küszöb értékeit meg nem haladó felvétel várhatóan nem jár számottevő biológiai hatással.

A stroncium egyes vegyületeit – pl. a ranelinsav stronciumsóját – gyógyszerként alkalmazzák az osteoporosis kezelésében, így a fém biológiai szerepe nem vitatható. A stroncium-ranelát adagolása elősegíti a csontképzést s növeli a csontok kalcium-tartalmát [20]. Kimutatták, hogy a menopausa időszakában lévő, osteoporosisban szenvedő nőknél a stroncium-ranelát ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_8\text{Sr}$) adagolása jelentősen csökkentette a törések előfordulását a csigolyák és a csípőcsont esetében, mérsékelte a csontreszorpciót s növelte a csont sűrűségét [30]. Ez utóbbi részben a csonttömeg tényleges növekedésében, részben pedig a kalciumnál nagyobb atomtömegű és sűrűségű stroncium fokozott beépülésében nyilvánult meg. Más stronciumvegyületeket – például a stroncium-citrátot – is alkalmaznak étrend-kiegészítő készítményekben [21].

A stroncium szerepet játszik a csont-metabolizmusban, a csontozatra anabolikus hatású (osteoblast és osteoclast). Feltételezhető, hogy az iontranszportban a passzív diffúziós és a Ca-hordozó szerepe a döntő. Hatása a Ca-érzékelő receptorokon keresztül érvényesül. A stroncium jelenléte gátolja a csontban a reszorpciót és stimulálja a csontképződést [22].

8. Stroncium az emberi szervezetben

A kalciumhoz, illetve a báriumhoz és rádiumhoz hasonlóan az emberi szervezetben található stroncium túlnyomó többsége a csontozatban és a fogazatban található. Irodalmi adatok [23], [24] szerint a stroncium az emberi testben mintegy 350-400 mg. A napi átlagos stronciumfelvétel 1,5-2,0 mg-nak becsülhető. A stroncium az emésztőrendszer nyálkahártyáján ionos formában viszonylag gyorsan jut át, és a vizelettel vagy az anyatejvel is kiválasztódik. A felvett

2. táblázat. Diszkriminációs faktor számítása stronciumra ill. radiostronciumra párhuzamosan vett növendékmarha metacarpus- és takarmányminták vizsgálata alapján (96-96 minta)

Table 2 Calculation of discrimination factors for strontium and radiostrontium, based on parallel young cow metacarpus and feed samples (96 samples each)

Minta / Sample	Átlagos $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ aktivitás (mBq/g Ca) Average $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ activity (mBq/g Ca)	Sr/Ca (%)
Metacarpus	1030	0.42
Takarmány / Feed	7900	3.0
Átlagos diszkriminációs faktor Average discrimination factor	0.13	0.14

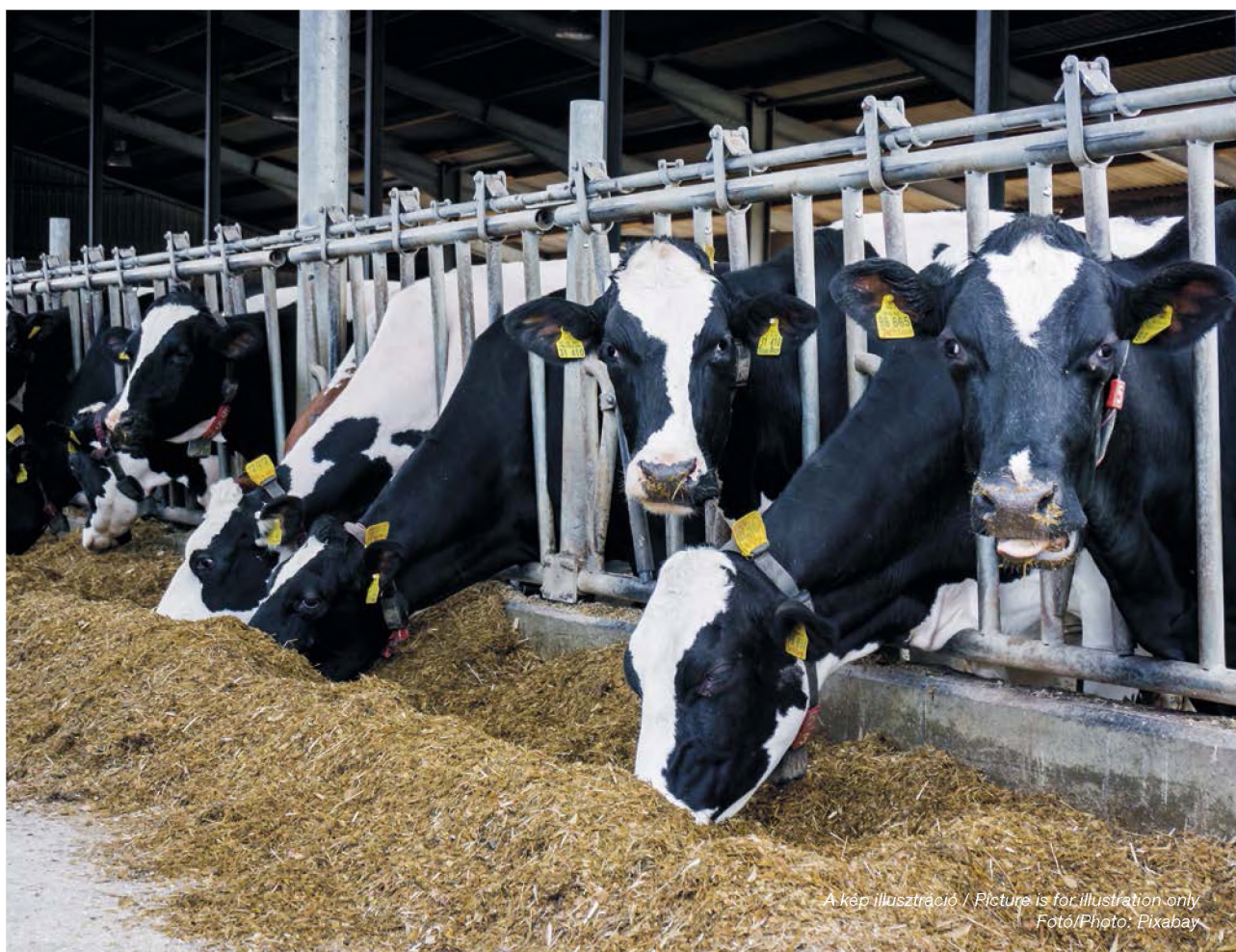
stroncium döntő része azonban a széklettel ürül. Mivel a placenta nem jelent akadályt, a stroncium az újszülöttek vérében is kimutatható. A legnagyobb tömegű abszorpció a duodenumban, a leghatékonyabb az ileumban figyelhető meg.

A stroncium felszívódásának aránya azonban jelentősen elmarad a kalciumétól – tehát az anya szervezete az anyatejjel védi a csecsemőt a stronciumtól, illetve a radiostroncium sugárterhelő hatásától, mivel a Sr-Ca rendszerben a humánéletteni mérések szerint a dikszkriminációs faktor mintegy 0,25 értékűnek tekinthető. Persze úgy is fogalmazhatunk, hogy a kalcium jelentősen dúsul az emberi szervezetben a stronciumhoz képest [10].

Saját, számos élelmiszerre kiterjedő méréseink szerint egyébként a napi 2 mg körüli stroncium-bevitel csupán akkor valósul meg, ha a táplálék jelentős mennyisége állati eredetű, ahol már érvényesül a stronciumnak a kalciumhoz viszonyított koncentrációját erőteljesen csökkentő diszkriminatív hatás. Ha a táplálék főleg növényi eredetű és a fogyasztott növényeknek magas a kalcium-tartalma is (pl. paraj, sóska, diófélék) akkor akár napi 10 mg stronciumot meghaladó mennyiség is inkorporálódhat. A szervezetbe kerülő stroncium mennyisége tehát elsődlegesen attól függ, hogy milyen táplálkozást folytatunk. Pais [25] közlése szerint az emberi szervezet stronciumtartalma az életkor előrehaladtával nő.

Az emberi testbe főleg a táplálékkal és kisebb mértékben az ivóvízzel bekerülő stroncium nagy része a széklettel távozik. Takács [18] közlése szerint egy 8 napon keresztül folytatott vizsgálatban megállapították, hogy naponta átlagosan 0,39 mg stroncium a vizelettel, 1,58 mg pedig a széklettel távozott el a szervezetből. Anke és munkatársai [26] vizsgálatai szerint a felnőtt emberi szervezetbe bejutó stronciumnak mintegy 86%-a széklettel, és csupán 14%-a ürül a vizelettel. Németországból származó adatok szerint az emberi szervezetbe jutó stroncium 32%-a tejből és tejtermékekből, 22%-a zöldségfélékből, 18%-a gyümölcsökből és 17%-a kenyérből és tésztából származott. A húsból és hús-készítményekből a szervezetbe kerülő stroncium mennyisége lényegében elhanyagolható volt [26].

A stroncium hiányától még állati eredetű termékek fogyasztása esetén sem kell tartani akkor sem, ha esszenciális elemnek bizonyul. Földünk egyes területein – Kelet-Szibériában, Észak-Kínában, Tibetben, Észak-Koreában – a talajban és a növényzetben olyan magas koncentrációban fordul elő, hogy az állati és emberi anyagcserét megzavarhatja, illetve relatív kalcium-hiányt előidézve csontképződési rendellenességeket, izületi elváltozásokat okozhat [27], [28]. Ez a több mint 150 éve ismert Urovi betegség vagy Kashin-Beck féle betegség (KBD). A több millió embert – főleg az 5 és 15 év közötti korosztályt – veszélyeztető megbetegedés oka valószínűleg ösz-



A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Pixabay

szetett: a nagymennyiségű stroncium felvétele mellett más mikroelemek hiánya, a táplálékban lévő mikotoxinok előfordulása, illetve az ivóvíz fenolos vegyületekkel való szennyezettsége is szerepet játszhat.

A híres svájci orvos-kémikus-botanikus, Paracelsus (Philippus Theophrastus Aureolus Bombastus von Hohenheim, 1493-1541) nyomán, azaz 5 évszázada tudjuk, hogy egy bizonyos koncentráció ill. dózis felett minden mikroelem toxikus hatású. Paracelsus a következőket írta: „*Alle Ding' sind Gift und nichts ohn' Gift; allein die Dosis macht, das ein Ding kein Gift ist*” (Minden dolog mérge, ha önmagában nem is az; csupán a mennyiség teszi, hogy egy anyag nem mérge) [31].

A stroncium gyengén toxikusnak tekinthető, hiszen a táplálékban a toxikussági szint 150 mg/kg körüli érték.

9. Esszenciális mikroelem a stroncium?

Számos vizsgálati eredmény utal arra, hogy a magassabb rendű növények számára a stroncium esszenciális elem lehet. A kalcium és a stroncium növényen belüli iontranszportja közös. A stroncium biokémiai jelentőségére utal az is, hogy kalciumhiány esetében stronciumadagolással kivédhető a főlegben lévő magnézium hatása. Ugyanakkor állat- és humánéletani szempontból a közös transzportrendszer elmélete csak bizonyos megszorításokkal érvényes, hiszen a felszívódás aránya a stroncium esetében messze elmarad a kalciumétól, és a stroncium esetében az un. diszkriminációs faktorok (relatív Sr/Ca arány az anyagcsere-folyamat két egymást követő két szegmensében) értéke takarmány és tej között mintegy 0.10, élelmiszer és anyatej között pedig kb. 0,25. Azaz az állati és emberi testszövetekben az elfogyasztott takarmány, illetve élelmiszer Sr/Ca arányához viszonyítva jelentősen csökken a Sr/Ca arány.

A kérdés tehát: létfontosságú mikroelem a stroncium vagy nem? Takács [18] úgy fogalmaz: arról, hogy a stroncium esszenciális lenne, nincsenek minden kétséget kizáró adatok. Megemlíti, hogy kísérletek utalnak arra, hogy stronciumhiányos táplálás esetén növekedésgátlás, csontosodási zavarok és növekvő caries-incidencia alakul ki. Lyengar és mtsai [29] ada-

tokat közöltek a különböző emberi szövetekben mért stroncium koncentrációkról. A mért maximális és minimális értékek arányát a **3. táblázat** mutatja.

Egy korábban megjelent dolgozatban [1] már szó volt arról, hogy a nem esszenciális elemekre vonatkozóan van egy jellemző tulajdonság, amely jelentősen eltér a jellegzetesen létfontosságú elemekre vonatkozótól. Ez a jellemző a koncentrációeloszlás. Egészséges egyedek esetében ugyanis a tipikusan esszenciális elemekre vonatkozóan az adott testszövetben (pl. vérplazmában) vagy szervben (pl. szívben) egy kérdéses makro- és mikroelem-eloszlása általában normál eloszlást mutat, és koncentrációja viszonylag szűk tartományba esik [9], [6], [1]. Eltérő külső körülmények esetében is – éppen a szabályozó mechanizmusoknak köszönhetően – a kérdéses mikroelem mért koncentrációi viszonylag kis eltéréseket mutatnak, és a mért értékek túlnyomó többsége az aritmetikai átlagértékhez számított, $f=1.58$ (azaz $\log f=0,2$) faktorialis jellemezhető szűk tartományon belül marad. Az f paraméter az adatok szórására utaló, a tartományt az átlagérték szorzásával és osztásával kapott szélső értékekkel jellemző faktor. Ennek következtében a számtani és a mértani átlagértékek ill. a medián között nincs nagy különbség, a koncentráció-tartomány nem-széles. A **3. táblázat** adatai utalnak arra, hogy a mért legnagyobb és legkisebb stroncium-koncentrációk között legfeljebb 2-3-szoros az eltérés, ami azt jelzi, hogy a koncentráció-tartomány elég szűk. Amint azt fentebb említettük, a szűk koncentráció-tartomány a létfontosságú mikroelemek jellemzője.

A koncentrációeloszlás vizsgálata természetesen az esszencialitást illetően csak akkor tekinthető döntőnek, ha nagyszámú minta analíziséről van szó, a vizsgálatban résztvevő egészséges egyének meglehetősen eltérő földrajzi körülmények között élnek, és táplálkozási szokásaik jelentősen eltérnek egymástól. Annak bizonyítása, hogy a stroncium esszenciális mikroelem volna az emberi szervezet számára, további kutatómunkát igényel, hiszen az esszenciális mikroelemekre az is jellemző, hogy a biokémiai folyamatokban meghatározó szerepet játszó enzimek alkotórészei vagy azok aktivátorai. Ennek alapján igazolni kell a stronciummal együttműködő enzimek létezését.

3. táblázat. Az emberi szövetekben mért kalcium- és stronciumtartalmak maximális és minimális értékének aránya.
Table 3 Maximum and minimum values of calcium and strontium contents measured in human tissues

Testszövet / Body tissue	Arány / Ratio
Vérplazma / Blood plasma	1.6
Vérszérum / Blood serum	2.3
Csont / Bone	1.9
Fog / Tooth	1.6
Vese / Kidney	2.5
Máj / Liver	3.4
Tüdő / Lungs	1.6

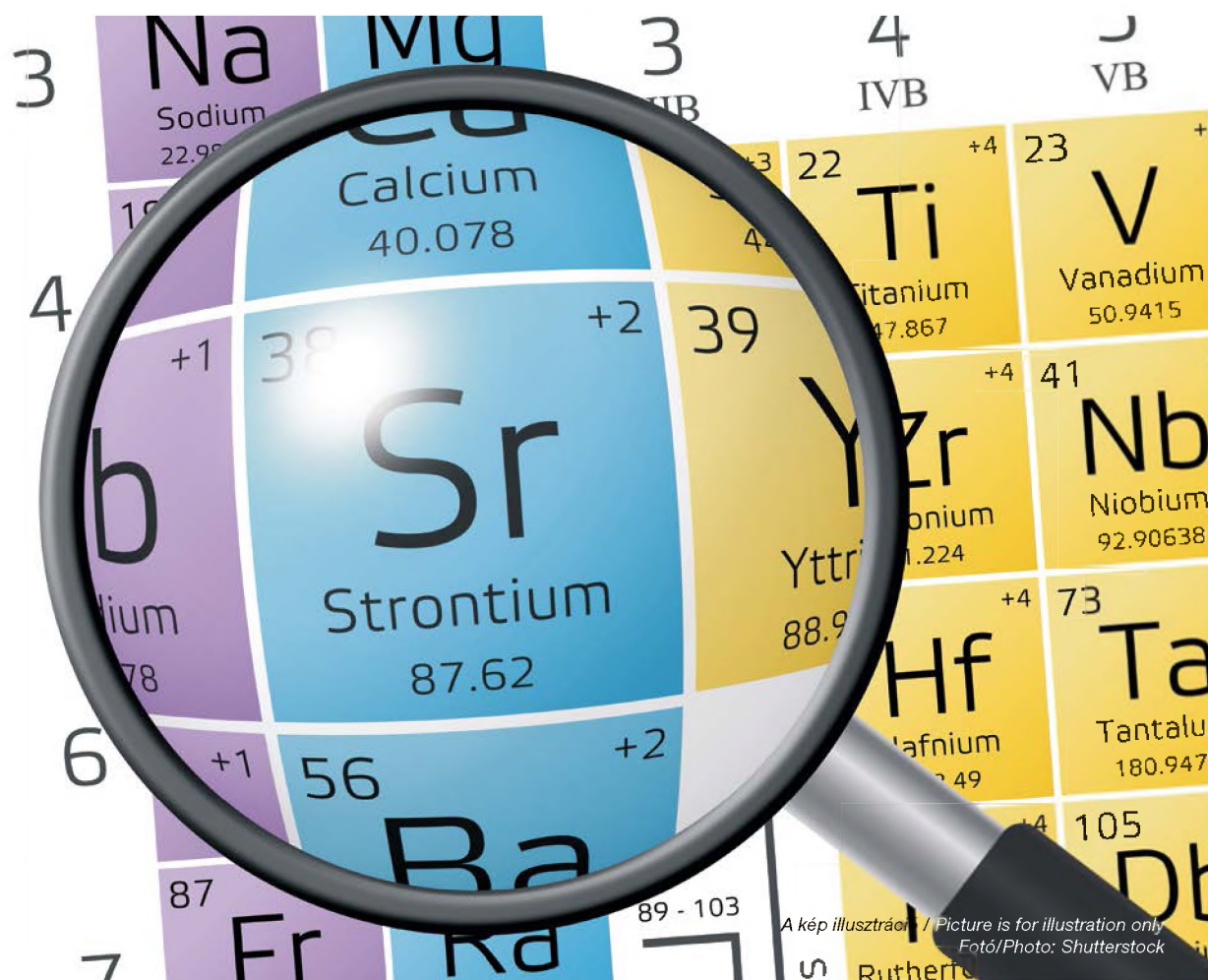
10. Következtetések

A stroncium a víz-talaj-növény-állat-ember biológiai rendszerben jelentős koncentrációban előforduló mikroelem, amelynek transzportrendszere kalciummal közös. A növényekben és talajokban a Ca/Sr arány mintegy 100:1 körüli érték, tehát az előfordulási koncentrációk között 2 nagyságrend a különbség. Az állati és emberi szervezetben viszont a kalcium és a stroncium viszonya mintegy 1000:1 arányt mutat, így az eltérés 3 nagyságrend. Ennek oka az erőteljes diszkrimináló képesség, vagyis a stroncium bélcsontrából jóval kisebb mennyiségben szívódik fel, mint a kalcium. Vizsgálatainkkal kimutattuk az is, hogy az emberi szervezet Sr/Ca-arány értéke, valamint a radiostroncium-szennyezettsége ($^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$) jóval kisebb, mint az elfogyasztott ételekben mérhető értékek.

A stroncium részben helyettesítheti a kalciumot, de a túl sok bevitt stroncium toxikus, a szervezetet megbetegítő hatású. Ahhoz azonban, hogy a stroncium állat-és humánéletteni szerepéről véleményt alkothassunk, esetleges esszenciális jellegét bizonyíthassuk, további vizsgálatok szükségesek. Ugyanakkor a stroncium esszenciális jellege növényéletteni szempontból valószínűsíthető. Úgy véljük, hogy a humánéletteni szerep tisztázásához segítséget nyújthat az egészséges emberi testszövetek koncentráció-eloszlásának vizsgálata, jelentősen eltérő táplálkozási szokások esetében is.

11. Irodalom

- [1] Szabó S.A.: Mikroelemek esszencialitása és az ételmiszervizsgálat. *Élelmiszervizsg. Közl.*, 59(3), 95-105, 2013.
- [2a] Szabó S.A.: A radiostroncium és radiocézium biológiai felezési idejének számítása különböző állatfajokra a Ca és a K anyagcsere alapján. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 30(6), 559-563, 1981.
- [2b] A.S. Szabó: Theoretische Methode zur Bestimmung der biologischen Halbwertszeiten von Cs und Sr auf der Basis des K und Ca Stoffwechsels. *Kernenergie*, 24(4), 145-148, 1981.
- [3] A.S. Szabo: Radioecology and environmental protection. Ellis Horwood, New York-London, 1993.
- [4] Szabó S.A.: *Élelmiszerek ásványi anyag tartalma. XXIV. Stroncium az ételmiszerekben.* *Élelmezési Ipar*, 61(8), 248-250, 2007.
- [5] Szabó S. A., Tolnay P.: A stroncium humánéletteni szerepe. *Metabolizmus*, XIII(3), 239-244, 2015. július.
- [6] A.S. Szabo: Determination of essential or non-essential character of some hardly known trace elements. *Proc. 7. Int. Symp. „New perspectives in the research of hardly*



A kép illusztráció / Picture is for illustration only.
Fotó/Photo: Shutterstock

- known trace elements. ed.: I.Pais, Univ. Hort. Food Ind., Budapest, 1996, p. 39-46.
- [7] A.S.Szabo: Investigation of essential and non-essential character of some hardly known trace elements for plants. *J. Life Sciences*, 9(2), 47-50, 2015.
- [8] Szabó S.A., Tolnay P.: Egyes mikroelemek esszencialitásának vizsgálata. *Metabolizmus*, 12(5), 385-389, 2014.
- [9] K. Heydorn: Neutron activation analysis for clinical trace element research. CRC Press, Florida, 1984.
- [10] R.H. Wasserman: Strontium as a tracer for calcium in biological and clinical research. *Clinical Chemistry*, 44(3), 437-439, 1998, March.
- [11] Kiss B., Szabó S.A.: A hazai élelmiszerek radioaktív szennyezettsége a Csemobilt követő években. *KÉE Élelmiszerfiz. Közl.*, 67-76, 1990(2).
- [12] Kanyár B., Béres Cs., Somlai J., Szabó S.A.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004.
- [13] A.S. Szabo: Quarter of century has passed away after the Chernobyl disaster. *J. Food Physics*, XXIV-XXV, 3-5, 2011/2012.
- [14] A.S. Szabó, B. Kiss, M. Liszonyi-Gacsályi: Investigation of Sr-content of biological samples. *Proc. Int. Symp. „New results in the research of hardly known trace elements”*, Budapest, 1984, ed.: I. Pais, p. 194-196, 1985.
- [15] Szabó S.A.: Biológiai anyagok bór, stroncium és cézium tartalma és eloszlása, valamint a koncentrációt befolyásoló tényezők. Budapest, 1981, p. 119. kandidátusi értekezés (megvédve:1982, MTA)
- [16] Szabó S.A.: Állati testszövetek radioaktív szennyezettsége s ennek összefüggése a radionuklidok biológiai felezési idejével. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 32(4), 381-384, 1983.
- [17] A.S. Szabo, V. Kovacs, S. Tarjan: Transfer factors for some hardly known trace elements in the milk-fodder system. 6. *Int. Symp. „New perspectives in the research of hardly known trace elements”*, Budapest, Hungary, June 1994, *Proc.* ed.: I Pais, Univ. Hort. Food Ind., Budapest, 1994.
- [18] Takács S.: A nyomelemek nyomában. *Strontium*, 213-215, Medicina Könyvkiadó Rt, Budapest, 2001.
- [19a] Szabó S.A.: Élelmiszerek ásványi anyag tartalma. XXXV. Bárium az élelmiszerekben. *Élelmezési Ipar*, 62(7), 216-218, 2008.
- [19b] Szabó S.A.: Élelmiszerek ásványi anyag tartalma. XXXVI. Rádium az élelmiszerekben. *Élelmezési Ipar*, 62(8), 253-254, 2008.
- [20] P.Nielsen: The biological role of strontium. *Bone*, 35(3), 583-588, 2004, Sept.
- [21] www.metadocs.com/pdf/pp_strontium. (Hozzáférés: 2017.03.12)
- [22] M. Dermience: Kashin-Beck disease, evaluation of mineral intake in young tibetian children from endemic areas. *Université de Liège, Année Academique*, 2009-2010, p. 128.
- [23] H.J.M. Bowen: *Environmental chemistry*. Vol.2. Royal Society of Chemistry, Burlington House, London, 1982.
- [24] www.webmd.com/osteoporosis (Hozzáférés: 2017.03.12)
- [25] Pais I.: A mikroelemek jelentősége a mezőgazdasági termelésben, kutatásuk helyzete a világban. *Kertészeti Egyetem Kiadványai, Strontium*, 171-173, 1984.
- [26] M. Anke, M. Seifert, M. Jaritz, S. Holzinger, S. Anke, E. Hartmann, E. Lösch: Strontium transfer in the food chain of humans. 8th *Int. Trace Element Symp.*, „New perspectives in the research of hardly known trace elements.” Budapest, 1998, ed. I. Pais, Univ. Hort. Food Science, 9-32, 1999.
- [27] Szabó S.A., Győri D., Regiusné Mócsényi Á.: Mikroelemek a mezőgazdaságban. II. Stimulatív hatású mikroelemek. *Strontium*, 77-85, Akadémiai Kiadó, Bp., 1993.
- [28] Xiong, G.: Diagnostic, clinical and radiological characteristics of Kashin-Beck disease in Shaanxi Province, PR China. *Int Orthop*, 25, 147-150, 2001.
- [29] G.V. Iyengar, W.E. Kollmer, H.J.M. Bowen: The elemental composition of human tissues and body fluids. *Verlag Chemie, Weinheim-New York*, 1978.
- [30] P. J. Meunier, Chr. Roux, E. Seeman, S. Ortolani, J. E. Badurski, T. D. Spector, J. Cannata, A. Balogh, E.-M. Lemmel, S. Pors-Nielsen, R. Rizzoli, H. K. Genant, J.-Y. Reginster: The effects of strontium ranelate on the risk of vertebral fracture in women with postmenopausal osteoporosis. *New England Journal of Medicine*, 350, 459-468, 2004, January.
- [31] www.rubicon.hu/magyar/oldalak/1493_november_11_paracelsus_szuletese/ (Hozzáférés: 2017.03.12)
- [32] www.wikipedia.org/wiki/strontium (Hozzáférés: 2017.03.12)