

Betekintés a speciációs analitikába

A középiskolások nyolcadik osztályban kezdik az ismerkedést a periódusos táblázat elemeivel. Nemfémek és fémek előfordulásáról, előállításáról, kémiai és fizikai tulajdonságáról tanulnak, megemlítik a természetben, környezetben való előfordulásukat. A tankönyv csak néhány gyakorlati jelentőségű egyszerű anyagot mutat be (Al, Fe, Cu). Nem esik szó azokról az elemekről, amelyek élettani szempontból fontosak. Azokról, amelyek a napi használatban levő táplálékkiegészítőkből jelen vannak, vagy éppen mérgezőek voltak miatt kerülnek terítékre a napi sajtóban, internetes hírekben.

A diákok rendre hallanak a szervetlen és szerves kémiáról, sejtik, hogy miről szólnak a biokémiai kutatások, de kevesen értik, hogy mi fán terem az analitikai kémia.

Az alábbi cikkben arra szeretnék rámutatni, miért van szükség az analitikai kémiára és ezen belül a speciációs analitikára.

1. Speciációs analitikai kémia

Az *analitikai kémia* a kémia azon részterülete, amely különböző anyagok mennyiségi és minőségi elemzésével foglalkozik.

A 19. század közepétől kezdődően közel száz éven át az analitikai kémia a minták összelem-koncentrációjának meghatározását jelentette. A mintát feltárással (hamvasztással vagy roncsolással) oldhatóvá tették és elemezték. Az 1860-as években Bunsen és Kirchoff alkalmazták elsőként az elpárologtatott oldatok elemspecifikus fénykibocsátását (lángfestés) minőségi és mennyiségi elemzésre. Meghatározták a mintában jelen levő toxikus és nem toxikus elemek koncentrációját.

A 20. század közepén a tudósok kutatni kezdték az elemek élettani hatását, többek között azt is, hogy a létfontosságú, nem mérgező, kevésbé mérgező, mérgező és kiemelten mérgező elemeket mi különbözteti meg egymástól, melyek azok a kémiai formák, amelyek befolyásolják a toxicitást, illetve a hasznosulást. Egyre több adat igazolta, hogy az elemeknek kémiai formájuktól függően igen eltérő élettani hatásuk lehet. Ezért, ha egy mintában egy fémnek csak a teljes koncentrációját határozzák meg, nemcsak hiányos, de gyakran még félrevezető információval is szolgálhatnak a minta tulajdonságairól.

Az elemanalítika, a nyomelemek vizsgálata terén a 21. század nagy kihívásának számít az a törekvés, hogy az elemnek, nyomelemnek a mintában ne csak az összes koncentrációját határozzák meg, hanem a különböző vegyértékű, oxidációs állapotú, kémiai kötésben levő formáit külön-külön is. Az elemanalitikának ezt az új irányát *speciációs analitikának* nevezik (Caroli, 1996).

Speciációs analitikai meghatározásoknál a minta feltárása sokkal bonyolultabb, és nagy körütekintést igényel. Az elemezni kívánt nyomelem minden eltérő vegy-

érték- és kötési formáját egymástól el kell választani, majd külön-külön detektálni. Az elem-speciációs analízis minden esetben valamilyen elválasztási művelettel kezdődik, s a térben-időben elváló komponenseket akkor tudjuk megbízhatóan meghatározni, ha azokat nagy hatékonysággal és szabályozott módon visszük be a spektrométerbe mint elemselektív detektorba. A feladat sikeres megoldása különböző háttérrel rendelkező kutatókat követel meg: kémikust, biológust, geológust, fizikust és az élelmiszereket, gyógyszereket vizsgáló kutatót, akik tapasztalatának együttes alkalmazásával lehet eredményt elérni (Posta, 2008).

2. Élettani szempontból fontos elemek és vegyületeik

Az 1. ábrán láthatóak a speciációs analitikában leggyakrabban vizsgált elemek. A speciációs analitika érdeklődése azért fordult elsősorban ezen elemek felé, mert fontos élettani hatással rendelkeznek, és toxicitásuk¹ nagy mértékben függ attól, hogy milyen vegyértékűek, és milyen kötési állapotban fordulnak elő a természetben, az élelmiszerekben és a biológiai, humánbiológiai mintákban (Posta, 2008).

A tipikusan mérgező elemnek számító arzén, higany, kadmium, ólom esetén a különböző vegyérték- és kötési állapotú formák toxicitásában inkább csak fokozati különbségek jelentkeznek, viszont a természetben két különböző oxidációs állapotban előforduló króm teljesen ellentétes élettani hatással rendelkezik.

1. ábra A speciációs analitikában leggyakrabban vizsgált elemek (Posta, 2008).

Li	Be											B	C	N	O
Na	Mg											Al	Si	P	S
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
Fr	Ra														

¹ A modern toxikológia az anyagokat méregerősség alapján osztályozza. Minden olyan anyagot mérgeznek nevezünk, amely már kis mennyiségben is károsító hatást fejt ki valamely biológiai rendszerre, súlyosan veszélyeztetve annak funkcióját, akár halált is okozva (Prokisch, 2010).

2.1. A króm (Cr)

A króm az élelmiszerekben viszonylag kis koncentrációban található meg. Az élelmiszerekből és az ivóvízből adódó krómfelvétel kb. 0,05 mg-ra becsülhető naponta.

A króm a természetben elemi formában nem található meg, +2, +3, +4, +5, +6 vegyértékállapotú formái közül a természetben csak a hármas vegyértékállapotú: Cr(III) és a hatos vegyértékállapotú: Cr(VI) vegyületek stabilak (Pál, 2000). E két forma környezetre, biológiai rendszerekre gyakorolt élettani hatása teljesen ellentétes. A Cr(III) az állati és emberi szervezet számára létfontosságú, a Cr(VI) viszont kis mennyiségben is kifejezetten mérgező, rákkeltő. A Cr(VI) rákkeltő hatása azzal magyarázható, hogy ezek az ionok viszonylag kis méretük folytán a sejtmembránon könnyen behatolva a sejten belül fejtenek ki oxidáló hatást, amelynek során a DNS-kód is sérülhet. Ellentétben a Cr(VI)-tal, a Cr(III) fontos szerepet játszik az élő

szervezet működésében: az inzulinnal együtt részt vesz a cukor anyagcseréjében, szerepet játszik a koleszterin és a lipidek bioszintézisének szabályozásában, részt vesz az aminosavak szállításában, fokozza számos enzim aktivitását, más nyomelemekkel együtt stabilizálja a nukleinsavak szerkezetét.

A növények élettanában játszott szerepe még nem kellően tisztázott. A nagy mennyiségű króm terméscsökkenést okoz, míg a nem túlzott krómadagolással számos növénynél (burgonya, saláta, uborka) kedvező, stimulatív hatást mutattak ki (Wagner, 2001).

A króm az élelmiszerekben viszonylag kis koncentrációban található meg. Az élelmiszerekből és az ivóvízből adódó krómfelvétel kb. 0,05 mg-ra becsülhető naponta. A króm felszívódása csupán 1–2%-os. Nincs pontosan meghatározott érték a napi bevitelre vonatkozóan. Az Amerikai Egyesült Államok Országos Kutatási Tanácsa 1989-ben gyermekek számára 20–120 µg (1–3 éves korban: 20–80µg, 4–6 éves korban: 30–120 µg), 7 éves kor felett és felnőttek számára pedig egységesen 50–200 µg napi krómbevitelt javasolt elsősorban élelmiszerek útján. Krómot tartalmaz szinte minden zöldségféle, de a legjobb krómforrás a teljes kiörlésű gabona, korpá, valamint a hüvelyesek. Magyarországi vonatkozásban az ajánlott napi bevitel 120 µg. Mivel az élelmiszerek krómtartalma igen változatos, kiegyensúlyozott táplálkozás esetén nem kell krómhiánytól tartani. A krómhiány betegséget ugyan nem okoz, a szervezet egyensúlyára viszont mindenképpen hátrányosan hat. A krómhiány kereskedelmi forgalomban kapható táplálékkiegészítők révén orvosolható. A táplálkozás mellett (ételek, ivóvíz) krómexpozíció történhet bőrön át és belégzés útján. A krómnak az atmoszférában való előfordulását a szilárd vagy folyadék halmazállapotú aeroszol-részecskékhez való kötöttsége teszi lehetővé (Sógor, 2006).

A környezetben található króm természetes forrásból és emberi tevékenységből származik. Az utóbbit a fém-, a festékgyártó, a bőr- és a vegyipar, a galvánüzemek, valamint az égető berendezések, a cementgyárak és a szennyvíztisztító telepek bocsátják

ki. A króm vegyületeit a sok különböző szín miatt nagy mennyiségben használja fel a festékipar. A Cr(III)-at ezen kívül bőrcserzésre, a fényképészetben és a gyógyászatban használják. A Cr(VI) vegyületei, a kromátok és bikromátok főleg a festékiparban fontosak, a krómkénsavat üvegeszközök tisztítására használják. Természetes források közé a vulkánkitörések, kőzetmállások és az erdőtüzek tartoznak (Koras, Stasicka, 2000).

A Cr(III) nagy hőmérsékleten, atmoszferikus nyomáson és oxidatív körülmények között (különböző oxidációs állapotokon keresztül) Cr(VI)-tá alakulhat. Ezért nagyon fontos, hogy minden krómot tartalmazó anyag égetésekor (bőrhulladékok, iszapok, növényi eredetű hulladékok égetése) körültekintően járjanak el, hogy a füstből és hamuból ne kerüljön a környezetbe a vízoldható toxikus Cr(VI). Kutatásaink során megállapítottuk, hogy a cigaretta égésekor a cigarettadohány természetes Cr(III) tartalmának 5–7 %-a kerül a füstbe, amelynek 14–18%-át a mérgező Cr(VI) alkotja (Sógor, 2006).

Igazi speciációs kalandtörténet az Erin Brockovich környezetvédelmi aktivista harcáról szóló 2000-ben készült film. Erin Brockovich bepereli a Pacific Gas & Electric nevű céget egy kaliforniai kisváros vizének krómszennyezése miatt. Az ő nevéhez fűződik a legnagyobb kártérítés, amit egy vállalattal szemben króm(VI) szennyezés miatt megítéltek (Soderbergh, 2000).

2.2. A szelén (Se)

1956-ig a szelént patkányméregként használták. Nagy jelentősége csak a 70-es évektől lett, ekkor jöttek rá, hogy a szelén létfontosságú mikroelem, hiánya súlyos betegséget okoz.²

Mára a szelén egyike lett a leginkább tanulmányozott mikroelemeknek, közel százféle módosulata van. Számos élettani folyamatban bizonyították fontos szerepét. Alkotója a 21. természetes aminosavnak, a szelenociszteinnek (SeCys). Egyedüli mikroelem, amely genetikailag kódolt, szelektív vírusgátlásra is képes.

Mára a szelén egyike lett a leginkább tanulmányozott mikroelemeknek, közel százféle módosulata van. Számos élettani folyamatban bizonyították fontos szerepét.

² A '70-es években Kína Keshan nevű tartományában megjelent egy furcsa betegség, amely szívizomgyengüléshez és halálhoz vezetett. A tudósok a helyiek táplálékát is vizsgálva megállapították, hogy a betegség által sújtott területeken élők tápláléka az átlagosnál jóval kevesebb szelént tartalmaz. Egy egyszerű szelénvegyülettel, a nátrium-szelenittal kiegészítve a lakosság táplálékát, a megbetegedés megszűnt. Csak jóval később derült ki, hogy a lakosok betegségét nem közvetlenül a szelénhiány okozta, hanem egy különleges kórokozó, az ún. Cocksackie vírus fertőzése. Ez a vírustörzs azok közé tartozik, amelyek sejten belüli reprodukcióját a szelén szelektíven gátolja (Levander és Beck, 1997).

Közvetlen vagy közvetett módon, de a szelénhiány számos betegség kialakulásában vagy kórképének súlyosbodásában játszhat szerepet, mint pl. felnőttkori cukorbetegség, szürkehályog, cisztás fibrózis, agyérkatasztrófa vagy vastagbél-fekélyesedés, különféle ráktípusok, valamint szív- és érrendszeri betegségek (Navarró-Alarcón, 2000). Kis koncentrációban tehát esszenciális elem: jelen van antioxidánsokban, védőfaktor a mell-, a vastagbél- és a végbélrákkal szemben, valamint antimutagén hatású. A gyógyszeripar milliárdokat költ arra, hogy kivizsgálja, melyik szelén vegyületnek van rákellenes hatása. Mivel a biológiai hasznosulás a koncentráción kívül attól függ, hogy milyen vegyületben kerül a nyomelem a szervezetbe, nagyon sok kutatócsoport tanulmányozza a szerves és szervetlen szelénvegyületek felszívódását, stabilitását.

Európa talajainak nagy része (pl. Anglia, Finnország és a Kárpát-medence) szelénben hiányos. Az ezeken a területeken élő lakosság táplálkozása szelénben hiányos. Emiatt igen fontos a Kárpát-medence területei Se-tartalmának felderítése, a szükséges napi Se-mennyiség bevitelének biztosítása a mikroelem megfelelő és jól hasznosítható formájában, továbbá a talajokban és a növényekben a Se megfelelő pótlásának kidolgozása (Széles, 2006). A kereskedelmi forgalomban kapható élelmiszerek közül több is tartalmaz hozzáadott szelén vegyületet (szelénnel dúsított tojás stb.). Szelénben gazdag élelmiszerek: fokhagyma (2 ppm-nél nagyobb Se-tartalom), zöldbab és egyes kalapos erdei gombák.

2.3. Az arzén (As)

A kínai Harbin Egyetemen arzén-trioxidot nyomnyi mennyiségű higannyal együtt használva eredményesen kezelték a leukémiát.

A természetes mintákban előforduló különböző As-formák közül a szervetlen As(III) és As(V) tekinthető a legtoxikusabbnak. Az alkilezett formák kevésbé toxikusak.

„Szeretem a tápláló s gyilkos arzént,/mert vézna arcunk tőle gömbölyül,/és éltető rózsás lehelletére/ az élet és a halál leng körül” (Kosztolányi Dezső: Méregk litániája). Kosztolányi arra utal, hogy az arzén kis mennyiségben serkenti a vérképzést, a növekedést, és fokozza az ellenállóképeséget.

Az ókorban az arzént orvosságként is alkalmazták: a fehér arzént, arzén-trioxidot a magas láz kezelésére, a malária ellenszereként. Ma hatalmas

irodalma van az arzéntartalmú rákellenes gyógyszereknek. Paul Erlich sikeresen alkalmazta az 1909-ben felfedezett Salvarsan nevű, szerves arzéntartalmú antibiotikumot a szifilisz kórokozói, a spirochaeta-baktériumok ellen. Az 1970-es években a kínai Harbin Egyetemen arzén-trioxidot nyomnyi mennyiségű higannyal együtt használva eredményesen kezelték a leukémiát (Balatoni-Oláh, 2016). Az arzénnal szemben tolerancia alakulhat ki az élő szervezetekben: fokozatosan emelve az adagot a halálos dózis többszöröséhez is hozzá lehet szokni.

Magyarországon, földrajzi és geológiai adottságok miatt, az Alföld ivóvízkútjainak majdnem egyharmada 15 µg/L fölötti koncentrációban tartalmaz arzént (Mihucz, 2016). Az Európai Unió 98/83/EK irányelve előírja az ivóvizekben az arzénra a 10 µg/L-es határértékét. A vizek arzénmentesítése szűréssel történik. Az As(V) jól szűrhető komponens szemben az As(III)-mal, amit csak költséges nanoszűrési technikával lehetne eltávolítani. Emiatt az As(III)-mat As(V)-re oxidálják, és ebben a formában szűrik.

A kis mennyiségben az ivóvízzel nap mint nap elfogyasztott 100 µg arzén hosszú távon gyakorlatilag a teljes szervezetet károsíthatja; a légzési és keringési rendszer elemeit sorvasztja, gyomor- és bőrbántalmakat vált ki, beleértve a hírhedt „feketeláb-betegséget” is, károsítja a májat, a vesét, a vérképet és az idegrendszert. Fejlődési és reprodukciós zavarokhoz vezet, az immunológiai rendszer leépülését váltja ki, karcinogén, mutagén, genotoxikus, teratogén, felnőttkori cukorbetegség okozója lehet, és kb. 200 emberi enzim részben vagy teljesen inaktívál (Mandal, 2002).

A növények viszonylag kevés arzént tartalmaznak, a gabonafélék 0,04 g/t (szárazanyagra számítva). Az állati szervezetek arzéntartalma valamivel több, például édesvízi halak esetén 0,15–0,38g/t (élő súlyra számítva). A tengervízben élő halak, rákok akár 10 mg/kg mennyiséget is fel tudnak halmozni károsodás nélkül.

Az arzénvegyületek toxicitási sorrendjében legelől a szervesetlen fémek állnak, az As(III) arzénsav és sói és As(V) arzénsav és sói. A szerves arzénvegyületek kevésbé toxikusak: monometil-arzén (MMA), dimetil-arzén (DMA), és a legkevésbé toxikus az arseno-betain (AsB) és a tio-arseno-cukor.

Ha egy biológiai, környezeti minta összes arzéntartalma megközelíti az egészségügyi határértéket, speciációs analitika segítségével kimutatható, hogy milyen a szerves és szervesetlen arzénformák aránya, mennyire mérgező a minta.

2.4. A higany (Hg)

Az elemi higany kevésbé toxikus, míg a szerves vegyületei rendkívül mérgezőek.

Jelenleg úgy tudjuk, hogy a higany eddig ismert összes létező formája mérgező az élő szervezetek számára. Az elemi higany kevésbé toxikus, míg a szerves vegyületei rendkívül mérgezőek.

A higanyt a múltban gyógyszerként is használták. A XVI. században szifilisz és bőrbetegségek gyógyítására, majd később fogszuvasodás kezelésére (amalgámtömés). Oltóanyagokba, kontaktlencse folyadékba ma is kevernek tiomersal vegyületet (etil-higany származék) konzerváló és sterilizáló hatása miatt. A XX. század elején gombaölő és sterilizáló tulajdonságai miatt alkil-higany vegyületeket használtak a mezőgazdaságban.

Sajnos sok balesetet és mérgezést, halálesetet vont maga után az ismeretek hiányából fakadó alkalmazás. A legnagyobb tragédia a Minamata öbölnél történt 1956-ban.³

A vízbe kerülő szerves higanyvegyületeket a planktonok metilezik, majd ezek a növényevő halakon keresztül a ragadozó halakba jutnak. A biometilációs folyamat eredményeként a tápláléklánc tagjai egyre növekvő koncentrációban tartalmazzák a toxikus metilezett módosulatot. Az emberi szervezetbe bejutó higany (metil-higany) 80–90%-ban táplálék eredetű, és a lakosság halfogyasztásával hozható összefüggésbe. Míg a tengervíz összes higanytartalmának csak mintegy 5%-a a metil-higany, a fitoplanktonok esetében ugyanez az érték már 15%, zooplanktonok esetében 20%. A fent említett folyamatok eredményeképpen a csúcsragadozók szervezetében halmozódik fel legnagyobb mértékben a metil-higany; a tengeri halak átlagos higanytartalma 0,05–0,3 µg/g, melynek 90–100%-a metil-higany, de előfordulnak szennyezett vizekben néhány µg/g nagyságrendtartományba eső értékek is. A halakban így általában 10^{-6} -szor nagyobb lehet a MeHg koncentrációja, mint a vízben, ahol csaknem teljes mértékben szerves formában van a higany.

Bármilyen formában (elemi, szerves vagy szerves módosulat) kerüljön a higany a szervezetbe, Hg^{2+} oxidált formává metabolizálódik kataláz-enzim és H_2O_2 közreműködésével. Az oxidált forma képes szulfhidril csoportokhoz kötődni, ezáltal akkumulálódni az agyban, májban és a vese kéregállományában. A MeHg nagyfokú toxicitását elsősorban nagymértékű mozgékonyságának köszönheti, könnyen át tud jutni a bélnyálkahártyán és a sejtmembránon, akkumulálódni képes a sejtekben (Jókainé, 2007).

Míg az emberi szervezet védekezik a szerves higany ellen, a sejtek nem engedik át a sejtfalon a szerves higanyvegyületeket, a szerves higany módosulatok ellen nincs védelem. A kiürülési idő nagyon hosszú. A placentán átdiffundáló metil-higany felhalmozódhat a magzat agyában, súlyos maradandó idegrendszeri károsodást és fejlődési rendellenességeket okozva (Fodor, 2010).

³ 1956 májusában négy gyári munkást agykárosodásból fakadó panaszokkal vettek fel a helyi Kunamoto Egyetemi Kórházba, ahol az orvosok tanácstalanul álltak az eset előtt, és mivel a helyi lakosok egyre növekvő számban jelentkeztek hasonló tünetekkel, fertőző betegségre gyanakodtak, a kórképet pedig „Minamata-betegség”-nek nevezték el. 1959 októberében került felszínre a tragédia valódi oka: egy közeli, acetaldehidet és vinil-kloridot gyártó cég metil-higanyt is tartalmazó szennyvizét tisztítás nélkül engedte az öbölbe az elmúlt negyven évben. A sekély tengervízbe került közel 150 tonna metil-higany feldúsult a táplálékláncban, és mivel a helyiek fő táplálékát adó halak károsodása nem volt észrevehető, az emberek továbbra is gyanútlanul fogyasztották ezeket a halakat. A halászatot sajnos csak 1965-ben állították le; és bár megtiltották az üzemnek, hogy metil-higany tartalmú szennyvizét az öbölbe engedje, szerves higanyal tovább szennyezte a térséget, arra ugyanis a tiltás nem vonatkozott egészen 1968-ig, hiszen nem tudták akkor még, hogy biometilációs folyamatok révén a szerves higany jelentős részéből is metil-higany képződik (Graeme, 1998).

Az ónnak mintegy 15–20 különböző toxicitású kémiai formája létezik a természetben.

2.5. Az ón (Sn)

Ma már az is ismert, hogy az ónnak mintegy 15–20 különböző toxicitású kémiai formája létezik a természetben, és arra is fény derült, hogy ezek nemcsak az ember által okozott környezetszennyezés termékei, hanem egy részük a környezetben természetes úton is keletkezhet. Sn-tartalmú festékanyagokkal vonják be a hajók fenekét, hogy megakadályozzák a moszatok rátapadását. Ezek a

vegyületek a növények, kagylók szaporodó képességét akár a nullára is csökkenthetik.

A szerves ónvegyületek közül a monobutil-ón a legkevésbé toxikus, a dibutil- és tributil-ón vegyület toxicitása lényegesen nagyobb (Fodor, 2010; Dobson. S., Cabridenc R. 1990).

Összefoglaló

Az alábbi táblázat tartalmazza azt a néhány elemet és azok vegyületeit, amelyeket kiemeltem azon elemek közül, amelyek élettani szempontból fontosak, és ezáltal speciációs analitikai vizsgálatukra is nagy hangsúlyt fektetnek. A speciációs analízis esetén a mintavétel, a minta tárolása és a mintaelőkészítés a hagyományos elemanalízishez képest sokkal nagyobb feladatot jelent az analitikus számára, hogy e műveletek során a kémiai formák aránya ne változzék a mintában.

1. táblázat: Speciációs analitikai szempontból fontos elemek és vegyületeik.

Kémiai elem	Élettani szempontból fontos vegyületei/módosulatai	Megjegyzés
Cr	Cr(III) – esszenciális Cr(VI) – toxikus, rákkeltő	Cr (III) nagy hőmérsékleten Cr (VI)-tá alakul
Se	Se – kis koncentrációban esszenciális – nagyobb koncentrációban mérgező	Hiánybetegség léphet fel. Genetikailag kódolt mikroelem. SeCys, 21. aminosav alkotója
As	As(III) As(V) monometil-arzén (MMA) dimetil-arzén (DMA) arseno-betain (AsB)	A szerves As vegyületek As(III), As(V) toxikusabbak a szerves As vegyületeknél. A tengeri élőlények fel tudják halmozni károsodás nélkül.

Hg	Hg Hg(I) Hg(II) metil-Hg (MeHg) etil-Hg (EtHg)	A szerves Hg-vegyületek toxikusabbak a szervetlen Hg-vegyületeknél. Biometilációs folyamat megy végbe a planktonokban. A halakban felhalmozódik a MeHg.
Sn	15–20 különböző toxicitású Sn-vegyület monobutil-Sn (MBSn) dibutil-Sn (DBSn) tributil-Sn (TBSn)	A legkevésbé toxikus a MBSn, a legtoxikusabb a TBSn.

Irodalom

Balatoni-Oláh Zita (2016): *Az arzén reneszánsza. Izotópok a betegségek gyógyításában*, Élet és Tudomány. 2017. 02. 05-i megtekintés, http://eletestudomany.hu/az_arzen_renezansza

Caroli, S. (1996): *Element Speciation in Bioinorganic Chemistry*, Wiley, New York

Dobson, S., Cabridenc, R. (1990): *Tributyltin Compounds*, WHO, Geneva. 2017. 02. 07-i megtekintés, apps.who.int/iris/bitstream/10665/39860/1/WHO_EHC_116_eng.pdf - 1651k

Steven Soderbergh (rendező, 2000): *Erin Brockovich*. Universal Pictures, Columbia Pictures. USA.

Fodor Péter (2010): *Élelmiszer analitika, speciáció*, előadás. 2017. 01. 30-i megtekintés, <https://mindentudas.videotorium.hu/hu/recordings/8981/elelmiszer-analitika-speciacio>

Graeme Md, K. A., Pollack Jr M., D. F. (1998): *Heavy Metal Toxicity, Part I: Arsenic and Mercury*. Journal of Emergency Medicine, 16, 45.

Jókiné Szatura Zsuzsa (2007): *A higanyspeciáció lehetőségei* (doktori disszertáció). 2017. 02. 06-i megtekintés, http://phd.lib.uni-corvinus.hu/249/1/szatura_zsuzsanna.pdf

Koras, J., Stasicka, Z. (2000): *Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation*, *Environmental Pollution*, 107, 263–283.

Levander, O., Beck, M.A. (1997): Levander, O: *Interacting nutritional and infectious etiologies of Keshan disease. Insights from Coxsackie virus B-induced myocarditis in mice deficient in selenium or vitamin E*. Biological Trace Element Research, 56.1. 5–21.

Mandal, B.K., Suzuki, K.T. (2002): *Arsenic round the world: a review*. Talanta, 58. 201–235.

Mihucz Viktor Gábor (2011): *Arzén a rizsben – élelmiszerbiztonsági jótanácsok*. 2017.02.06-i megtekintés, http://www.chem.elte.hu/w/pr/alkimia_2010_2011/alkimia_Mihucz.pdf

Navarró-Alarcón, M., López-Martinez, M.C. (2000): *Essentiality of selenium in the human body: relationship with different diseases*. The Science of the Total Environment, 249, 347–371.

Pál Károly (2000): *Króm a környezetben*. OMIK, Környezetvédelmi füzetek, Budapest.

Posta József (2008): *Atomabszorpciós spektrometria*. Digitális tankönyvtár. 2017. 02. 10-i megtekintés, <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/atomabszorpcios/ch07s02.html>

Prokisch József. (2010): *Vigyázat, mérég!*, Dr. Aliment Kft, Debrecen, 7.

Sógor Csilla (2006): *Krómspeciációs módszerek kidolgozása és alkalmazása ipari minták és élelmiszerek elemzésére*. Debreceni Egyetem (doktori disszertáció).

Széles Éva, Kovács Béla, Prokisch József és Győri Zoltán (2005): *Ütközési cella (CCT) alkalmazása az ICP-MS technikában*, Agrártudományi Közlemények, 15. 2017. 02. 07-i megtekintés, <http://www.date.hu/acta-agraria/2005-16/szeles.pdf>

Széles Éva, Kovács Béla, Prokisch József és Győri Zoltán (2006) *Szelén-speciációs vizsgálatok talajmintákból ionkromatográffal összekapcsolt induktív csatolású plazma-tömegspektrométer (IC-ICP-MS) alkalmazásával*, Agrártudományi Közlemények, 23. 2017. 02. 07-i megtekintés, <http://www.date.hu/acta-agraria/2006-23/16SzelesE.pdf>

Wagner Ödön és Hencsei Pál (2001): *Bioszervetlen kémia*. Műegyetemi Kiadó, Egyetemi jegyzet, Budapest.