



A HIGANYSPECIÁCIÓ LEHETŐSÉGEI

című

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Jelölt : Jókainé Szatura Zsuzsanna

Témavezető : Dr. Fodor Péter

Budapesti Corvinus Egyetem

Alkalmazott Kémia Tanszék

Budapest, 2007

A doktori iskola

megnevezése : Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága : Élelmiszertudományok

Vezetője : Dr. Fodor Péter,
Tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem

Témavezető : Dr. Fodor Péter
Tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar,
Alkalmazott Kémia Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

Az Iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása :

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2007. október 2-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi Bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG :

Elnöke

Biacs Péter, DSc

Tagjai

Posta József, DSc

Hoschke Ágoston, CSc

Borszéki János, CSc

Opponensek

Heltai György, DSc

Bartha András, PhD

Titkár

Hegedűs Attila, PhD

1. BEVEZETÉS

A higany körforgásának, a természetben előforduló biotikus és abiotikus folyamatoknak a tanulmányozása, vagy a higanyvegyületek élettani hatása, különös tekintettel a humán metabolikus folyamatokra, mind a mai napig fontos és aktuális kérdései a biokémiai, élettani, orvosi, farmakológiai kutatásoknak.

A higanyval kapcsolatos speciációs kutatások egyik fontos területét azon toxikológiai vizsgálatok képviselik, melyek a higany különböző formáinak jelenlétét határozzák meg az élelmiszerekben. Ezen kutatások szinte mindegyikében tengeri halakban és emberi fogyasztásra alkalmas más tengeri élőlényekben határozzák meg és mérik az előforduló higanyspeciesszek mennyiségét. Ennek egyik oka az a biometilációs folyamatsorozat, mely a vízi ökoszisztémákra jellemző, és melynek eredményeképpen a tápláléklánc tagjai — kezdve a planktonoktól, a növényevő halakon át egészen a ragadozó halakig — egyre növekvő koncentrációban tartalmazzák az élő szervezetek számára leginkább mérgező metilezett módosulatot. Másrészt ezen kutatások azért fontosak, mert éppen az előzőekből következően az emberi szervezetbe bejutó higany (metil-higany) 80-90%-ban táplálékeredetű, és a lakosság halfogyasztásával hozható összefüggésbe.

A témában megjelent több száz publikáció, mérési eredmény, valamint táplálkozási szokásokat elemző felmérés ellenére a nagy nemzetközi szervezeteknek, de még az Európai Uniónak sincs egységes állásfoglalása az emberek táplálkozásból eredő higany kitétségéről, arról a minimálisan elfogyasztott mennyiségről, ami már káros hatásokhoz vezethet. Tovább bonyolítja a kérdést, hogy más-más „toxicitási definícióval”, illetve határértékkel találkozhatunk az amerikai kontinensen és az Európai Unióban. Mindezek ellenére azonban főleg a múltbeli balesetek miatt az Európai Bizottság törvényileg szabályozta az egyes élelmiszerekben és az ivóvízben megengedhető maximális higany koncentrációt.

A higany módosulatanalítika legnagyobb kihívását a minták igen kis higany koncentrációja jelenti. Olyan módosulatanalitikára alkalmas rendszereket kell tehát építeni, melyek érzékenysége és szelektivitása megfelel az adott feladat elvárásainak. Ugyanakkor az analitikai rendszerek és módszerek utóbbi években tapasztalható nagyléptékű fejlődése a higany módosulatanalitikában kevésbé érvényesül. Vannak ugyan tömegspektrometriás újítások, a témával foglalkozó szakemberek nagy hányada azonban — kihasználva a higany azon tulajdonságát, hogy gőzfázisban stabilis szabad atomok formájában van jelen — még mindig hideggőzös atomspektroszkópiai eljárásokkal dolgozik. A gőzfázisú, szabad atomok formájában történő, ezáltal nagy hatásfokú mintabevitel, valamint az atomfluoreszcens és

atomabszorpciós detektálás kiemelten szelektív jellege és nagy érzékenysége lehetővé teszi igen kis koncentrációtartományok megbízható mérését.

Léteznek ugyan kromatográfia nélküli higanyspeciációs technikák, az alkalmazott módszerek nagy részében mégis kromatográfias egységből és higanyspecifikus detektorból álló kapcsolt rendszerekkel dolgoznak. Fontos hangsúlyozni, hogy mivel a természetben és főleg a biológiai mintákban gyakorlatilag csupán három esetleg négy módosulata létezik a higanynak, elválasztástechnikai szempontból egyszerűbb helyzetben van az analitikus, mint mondjuk arzénmódosulatok mérése esetén.

A higany módosulatanalitikai eljárások csaknem 90%-ban gázkromatográfias elválasztást alkalmaznak előzetes származékképzési reakciót követően. A sokféle derivatizációs megoldás közül a vizes fázisú, „in situ” alkalmazható alkilezési, arilezési reakciók utóbbi években történő térnyerését nem lehet vitatni. Ennek oka egyrészt a reakció egyszerű kivitelezhetősége, másrészt az, hogy alkalmazásával minden eddig vizsgált higany módosulattól nagy hatásfokkal képezhetők viszonylag stabilis illékony apoláris molekulák.

A higanyval kapcsolatos speciációs feladatok megoldása során, a legnagyobb feladatot a komponensek kinyerése jelenti a mintákból. A különböző feltárási technikák hatásfoka, illetve az adott feladathoz való alkalmazhatósága napjaink erősen vitatott kérdése. Soktényezős problémával állunk szemben, igen kis mennyiségben jelen lévő higanykomponenseket kell kinyerni minél nagyobb hatásfokkal az adott mintából, miközben egyes specicsetek stabilitása igen kérdéses.

A már létező és egyre szélesebb körű igényeket kielégítő speciációs technikák minőségbiztosítása aktuális, sürgető kérdés. Sok életbevágóan fontos döntés függ az analitikai adatok megbízhatóságától, így a speciációs eredmények megbízhatóságától is. A higany módosulatanalitikában alkalmazott technikák többféle technikát ötvöznek. A feltárástól, az extrakción, a derivatizáción és az elválasztástechnikán keresztül az elemszelektív detektálásig. Ezeket a lépéseket egytől-egyig hibák terhelik, amik adódhatnak a kémiai módosulatok instabilitásából, az egyes folyamatok adott körülmények közti hatásfokából, nem kívánt mellékreakciók bekövetkeztéből, a mintamátrixból, vagy magából az analitikusból.

Napjainkban számos megoldás áll az analitikusok rendelkezésére méréseik minőségbiztosításának elvégzésére. Hitelesített anyagminták mérése, a módszer teljesítményjelzőinek meghatározása és folyamatos monitorozása, a standard oldatok stabilitásának ellenőrzése elengedhetetlenül fontos. Esetenként nemzetközi körelemzésekben történő részvétellel, anyagmérleg felállításával bizonyosodhatunk meg módszerünk helyességéről.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori munkám során élelmiszerminták és biológiai minták higanyspeciációs analízisével foglalkoztam. A témával kapcsolatban az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

- Kifejleszteni egy gyors és viszonylag olcsó módszert, mellyel lehetővé válik élelmiszerminták metil-higany tartalmának rutinszerű meghatározása.
 - A feltárás időszükségletét csökkentő, hatékonyságát növelő eljárások vizsgálata.
 - Az alkalmazott származékképző reakció (fenilezés) optimális körülményeinek meghatározása, a származékok illékonyságának vizsgálata.
 - Az alkalmazott szilárd fázisú mikroextrakció kinetikájának vizsgálata.
 - Valódi (kis higanytartalmú) minták elemzése során felmerülő nehézségek kezelése és kiküszöbölése.
- A módszer minőségbiztosítása kapcsán elvégezni a fejlesztett módszer egészére kiterjedő bizonytalanságbecslést, feltárni a módszer ún. „gyenge pontjait”, meghatározni azokat a lépéseket, melyek legnagyobb mértékben járulnak hozzá eredményeim reprodukálhatóságához.
- A kidolgozott módszer minőségének ellenőrzése és minőségbiztosítása két nemzetközi körelemzésben való részvétellel is.
- A módszer alkalmazása élelmiszerminták metil-higany tartalmának meghatározására :
 - Magyarországon kereskedelmi forgalomban lévő, a magyar piac 97%-át lefedő, három legnagyobb mennyiségben fogyasztott tengeri hal tartalmú élelmiszerminta analízise.
 - Kereskedelemben kapható különböző eredetű tengeri halak illetve haltartalmú termékek vizsgálata.
 - Hazai tenyésztett halak higanyspeciációs analízise.
- Az előbbiektől független analitikai módszer vizsgálata, alkalmazása, illetve minőségbiztosítása teljes anyagmérleg készítésével.
- A halmintákban szinte kizárólagosan előforduló metil-higany módosulat és a higanyspeciációs analízisben belső standardként gyakran használt etil-higany stabilitásának vizsgálata két különböző, egymástól független módszer alkalmazása során.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Mintaelőkészítés higanyspeciációs analízishez

Lúgos feltárást és SPME-t alkalmazó eljárás során 250 mg liofilizált mintát 5 ml 18 % NaOH-ot tartalmazó metanol oldattal feltártam. A minta higany tartalmához igazított hígítási lépések után, a feltárt oldat 1 ml-es részletét 10 ml 1 M-os, pH=5 acetát puffer oldathoz adtam, majd az elegyhez 1 ml 1 %-os NaBPh₄ fenilező reagenst adagoltam. Az SPME kivitelezéséhez az így összemért derivatizációs elegyből intenzív kevertetés mellett előzetesen optimált időtartamig gőzfázisú mintavételt végeztem. Ezt követően gázkromatográfiás elválasztást és AFS detektálást alkalmaztam.

Savas hidrolízissel és oldószeres extrakcióval megvalósított mintaelőkészítés során 200 mg liofilizált mintát acetonnal majd toluollal zsírtalanítottam, majd 5 ml 6 M-os sósav oldat segítségével ultrahangos kezelést alkalmazva feltártam. A kinyert higanykomponenseket ezt követően először 2x4 ml toluolba, majd 2x2 ml vizes ciszteines oldatba extraháltam. A ciszteines extraktumhoz savanyítás után 1 ml telített CuSO₄ oldatot, 1 ml hexánt, végül 0,2 ml 1 %-os NaBPh₄ reagenst adagoltam. 20-30 percig tartó intenzív rázatás, illetve a szerves fázis elválasztása után GC-MS detektálás következett.

3.2 A felhasznált vegyszerek és standard anyagok

Munkám során az alábbi vegyszereket és standard anyagokat alkalmaztam : ioncserélt víz, KOH, NaOH, metanol, NaBPh₄, Na-acetát, ecetsav, hexán, toluol, aceton, cisztein, CuSO₄, NaCl, sósav, kénsav, salétromsav, MeHgCl, EtHgCl, HgCl₂, és BCR-CRM-464, TORT-2, BCR-710 valamint DORM-2 hitelesített referenciaanyagok.

3.3 Az alkalmazott eszközök és műszerek

Kísérleteimhez fagyasztva szárító berendezést, szárítószekrényt, háztartási kávédarálót, dörzsmozsarat, ultrahangos vízfürdőt, mikrohullámú roncsoló berendezést, pH mérőt, mágneses keverőt, centrifugát, 100 µm filmvastagságú PDMS szorbens réteggel ellátott mikroextrakciós szállal felszerelt manuális SPME eszközt, GC-AFS és GC-MS csatolt rendszereket DB-1, HP-1 és HP-5 kapilláris oszlopokat, továbbá AMA 254 közvetlen higany analizátorot használtam.

3.4 A vizsgált minták

Kutatómunkám során Magyarországon kereskedelmi forgalomban lévő tengeri halakat és hal termékeket, valamint hazai tenyésztésű édesvízi halfajokat vizsgáltam.

4. EREDMÉNYEK

4.1 Lúgos feltárás—SPME—GC—pirolízis—AFS módszerfejlesztés

Doktori munkám során lúgos-feltáráson, fenilezéses származékképzésen, szilárd fázisú mikroextrakción és GC-AFS detektáláson alapuló higanyspeciációs analitikai módszert dolgoztam ki minták metil-higany tartalmának meghatározására.

Optimáltam a lúgos feltárás körülményeit, meghatároztam a fenilezéses származékképzési reakcióhoz szükséges pH-t, az SPME kinetikáját, megvizsgáltam a minta metanol tartalmának hatását az extrakció folyamatára. Kiküszöböltem a „kis higany tartalmú” minták mérése során felmerülő nehézségeket, optimáltam a GC fűtött injektorában végbemenő deszorpció folyamatát és a kromatográfiás elválasztás körülményeit.

A validálás során 3 különböző higany tartalmú és mátrixú CRM mintát elemeztem.

4.2 A módszer bizonytalanságbecslése

Manapság a minőségbiztosítás kapcsán egyre gyakoribb elvárás az alkalmazott mérési módszerek bizonytalanságbecslésének elvégzése. Ezt az elvárást figyelembe véve elvégeztem az általam fejlesztett eljárás teljes folyamatára kiterjedő bizonytalanságbecslést az ISO/GUM útmutatásai alapján. Célom az volt, hogy definiáljam a módszer úgynevezett „kritikus pontjait”, azokat a lépéseket, részfolyamatokat, melyek leginkább befolyásolják a mérések reprodukálhatóságát.

A kísérletek alapján megállapítottam, hogy mind a „kis higany tartalmú”, mind a „nagy higany tartalmú” minták esetében elsősorban a feltárás, másodsorban a kalibráció folyamata a kritikus lépések. A derivatizáció-, az SPME-, a deszorpció folyamata, illetve a mintaelőkészítés során alkalmazott térfogatmérések és tömegmérés bizonytalansága ebből a szempontból kevésbé lényeges paraméterek.

4.3 A módszer minőségbiztosítása nemzetközi körelemzésekben való részvétellel

A fejlesztett módszer minőségének ellenőrzése és minőségbiztosítása végett két nemzetközi, az Európai Bizottság Anyagminta és Mérési Intézete által szervezett, körelemzésben vettem részt. Az eredmények igazolták módszerem nemzetközi szinten

való elismerését, és mind szennyezett, mind kevésbé szennyezett minták metil-higany tartalmának mérésére való alkalmasságát.

4.4 Élelmiszerminták metil-higany tartalmának meghatározása

Doktori munkám során a fejlesztett módszer segítségével elemeztem a Magyarországon kereskedelmi forgalomban lévő tengeri halakat és tengeri hal tartalmú termékeket, valamint hazai tenyésztésű, fogyasztásra szánt édesvízi halfajokat. Három mintacsoportot vizsgáltam : (1) hazánkban a 3 legnagyobb mennyiségben fogyasztott tengeri hal tartalmú terméket, (2) egy áruházláncban önkényesen kiválasztott fagyasztott tengeri halakat, valamint (3) hazánkban tenyésztett pontyokat és afrikai harcsákat.

Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a vizsgált minták metil-higany és összes higany tartalma jóval kisebb az Európai Bizottság által törvényileg megszabott határértéknél. Amennyiben figyelembe vesszük, hogy a magyar lakosság évi átlagos halfogyasztása alig haladja meg a 3 kg-ot, kijelenthető, hogy a Magyarországon forgalomban lévő tengeri halak és hal tartalmú élelmiszerek fogyasztásából eredő egészségügyi kockázat elhanyagolható.

4.5 Sósavas feltárás—oldószeres extrakció—GC-MS módszerrel kapcsolatos vizsgálatok

Doktori munkám során, ezt a már korábban kidolgozott és validált módszert hibakutatás céljából kezdtem el vizsgálni. A problémát az jelentette, hogy a korábban etil-higany belső standard használatával helyesnek ítélt módszer, belső standard használata nélkül mintegy csupán 50-60 %-os hatásfokúnak bizonyult.

Kísérleteimben két kérdésre kerestem a választ : (1) *Ezen bonyolult és sok lépésből álló módszer mely lépései tehetők felelőssé a veszteségekért?*, illetve (2) *Miből adódik a belső standarddal és anélkül végzett kísérletek eredménye közti különbség?*

Az első kérdés megválaszolását az eljárás teljes folyamatára kiterjedő anyagmérleg felvételétől reméltem. Az anyagmérleg felvétele során a mintaelőkészítés minden egyes lépésében meghatároztam a visszamaradó, illetve a következő lépésre továbbvitt fázis összes higany tartalmát is. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a sósavas feltárás folyamata nem elég hatásos, a minta metil-higany tartalmának csak mintegy 50-60%-a szabadítható fel a mátrixból.

Az etil-higany belső standarddal végzett kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az etil-higany nem stabilis a mintaelőkészítés során, a sósavas feltárás közben jelentős veszteséget tapasztaltam a belső standardból. A két kísérletsorozat során tett megállapítások alapján kijelenthető, hogy a belső standard használatával kapott helyes eredmények, két „szerencsétlen” folyamat — a minta nem elég hatékony feltárása és a belső standard feltárás alatti bomlása — „szerencsés összjátékának” köszönhetően születtek.

4.6 A metil-higany és az etil-higany módosulatok stabilitásának vizsgálata

Egy adott elem különböző módosulatai különböző mértékben tolerálhatják a mintaelőkészítés során alkalmazott reagens és energiabehatásokat. A higanyspeciációs mérések esetében a mintaelőkészítéshez köthető hibás eredményeket elsősorban véletlenszerűen bekövetkező metilációs folyamatok eredményeképp képződő „mesterséges termékek”, vagy éppen demetilációs folyamatok hatására keletkező bomlástermékek okozhatják.

Mintegy az előző pontban ismertetett eredmények folytatásaként, az ebben a fejezetben bemutatásra kerülő vizsgálataim arra a kérdésre kerestek választ, hogy a metil-higany és a mérések során gyakran belső standardnak alkalmazott etil-higany stabilitása hogyan jellemezhető mikrohullámú kezeléssel kiegészített lúgos-metanolos feltárás során.

Megállapítást nyert, hogy a metil-higany, Hg-C kötésének erősebb jellege miatt, sokkal jobban ellenáll a kezelésnek, mint az etilezett módosulat. Az etil-higanyból már a minták hatékony feltárásához szükséges kezelési paraméterek alkalmazása során is jelentős mértékű veszteséget tapasztaltam, bomlástermékként szervetlen higanyt detektáltam.

Mindezek, illetve az előző fejezetben tapasztalt jelenségek alapján kijelenthető, hogy az etil-higany belső standardnak nem alkalmas, akár lúgos közegű – mikrohullámú feltárást, akár ultrahangos kezeléssel kiegészített sósavas feltárást alkalmazunk a mintaelőkészítés során.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kidolgoztam egy gyors, viszonylag olcsó, rutinszerűen alkalmazható módszert élelmiszerminták metil-higany tartalmának meghatározására. Az általam fejlesztett, — két nemzetközi körelemzésben való részvétel eredményei alapján nemzetközi szinten is elismert és helyesnek bizonyult — lúgos feltárás—SPME—GC—pirolízis—AFS módszer segítségével néhány tíz ppt koncentrációtartományban lehet higanykomponenseket mérni.
Megállapítottam, hogy az SPME-t headspace módon végrehajtva, a módszer szelektív metil-higanyra nézve, hiszen a mintákban még jelenlévő szervesetlen higanyból képződött fenilezett származék nem elég illékony gőztéri SPME megvalósítására.
2. Elsőként megállapítottam, hogy „kis higany tartalmú” minták lúgos-metanolos feltárása és NaBPh₄ reagenssel való fenilezése alkalmazható együtt, feltáró oldószerként azonban metanolban oldott KOH helyett metanolban oldott NaOH-ot kell alkalmazni, amennyiben ragaszkodunk a viszonylag olcsónak számító NaBPh₄ fenilező reagens használatához.
3. Elvégeztem a fejlesztett módszer bizonytalansábecslési vizsgálatát. Meghatároztam a feltárás, a kalibráció, a derivatizáció, az SPME és a mérőműszer, illetve az eljárás során alkalmazott térfogatmérések és tömegmérés bizonytalanságának eredményre gyakorolt hatását. Megállapítottam, hogy az eredmények reprodukálhatósága szempontjából elsősorban a feltárás, másodsorban a kalibráció folyamata a legkritikusabb lépések. A derivatizáció és a szilárd fázisú mikroextrakció bizonytalanságának eredményre gyakorolt hatása jóval kisebb mértékű.
4. Felmértem a hazai kereskedelmi forgalomban lévő tengeri hal tartalmú termékek metil-higany, illetve összes higany tartalmát. Megállapítottam, hogy higany tartalmuk jóval kisebb, mint a tengeri halakra törvényileg megszabott érték. A hazai táplálkozási szokásokat figyelembe véve elvégeztem a hazánkban tenyésztett pontyok és afrikai harcsák higanyspeciációs analízisét is. A pontymintákban a tengeri halakhoz képest harmadakkora, azaz minimális, az afrikai harcsákban a tengeri halakhoz képest 3-4-szeres koncentrációkat mértem. Az utóbbiak táplálékául szolgáló haltáp elemzésével megállapítást nyert, hogy a jelenség oka valószínűleg a pontyok és a harcsák eltérő táplálása.

Végül a magyarországi éves átlagos halfogyasztás, illetve a mért adatok tükrében megállapítottam, hogy hazánkban a halfogyasztáshoz köthető egészségügyi kockázat elhanyagolható.

5. Az általam fejlesztett módszertől független, sósavas feltáráson, oldószeres extrakción, GC-MS detektáláson alapuló technika anyagmérlegének felvételével bizonyítottam, hogy a korábban belső standard használatával végrehajtott, helyesnek ítélt módszer belső standard nélkül nem alkalmas minták metil-higany tartalmának mérésére. Az adott paraméterek mellett ugyanis a feltárás hatásfoka csupán kb. 50 %.

Megállapítottam, hogy a belső standardként alkalmazott etil-higanyból jelentős mértékű veszteség keletkezik a sósavas feltárás során, így ez utóbbi jelenség, illetve a nem elég határos feltárás véletlen egybeesése okozta a belső standarddal produkált helyes eredményeket.

6. Végül az 5. pontban vázolt gondolatok és eredmények folytatásaként megvizsgáltam a két szerves módosulat, lúgos közegű mikrohullámmal végzett feltárás során mutatott stabilitását. Megállapítottam, hogy az etil-higany jóval kevésbé tolerálja az energiabehatást mint a metilezett módosulat. Mivel a jó hatásfokú feltáráshoz szükséges besugárzási paraméterek mellett is instabilitást mutat az etil-higany, kijelenthető, hogy metil-higany mérésekben belső standardként való alkalmazása meglehetősen kétséges, de mindenképp előzetes stabilitásvizsgálatot igényel.

6. PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

Impakt faktoros folyóiratok

Zs. Jókai, J. Hegoczki, P. Fodor, Stability and Optimization of Extraction of Four Arsenic Species, *Microchemical Journal*, 59 (1998), 117-124, **(2006 ISI-impakt faktor: 1,558) Hivatkozások száma : 7.**

Zs. Jókai, L. Abrankó, P. Fodor, SPME-GC-Pyrolysis-AFS Determination of Methylmercury in Marine Fish Products by Alkaline Sample Preparation and Aqueous Phase Phenylation Derivatization, *J. Agric. Food Chem.* 53 (2005), 5499-5505, **(2006 ISI-impakt faktor: 2,322) Hivatkozások száma : 6.**

L. Abrankó, **Z. Jókai**, P. Fodor, Investigation of the species-specific degradation behaviour of methylmercury and ethylmercury under microwave irradiation, *Anal. Bioanal. Chem.* 383 (2005), 448-453, **(2006 ISI-impakt faktor: 2,591) Hivatkozások száma : 2.**

R.C.Quétel, J.P.Snell, Y.Aregbe, L.Abrankó, **Zs. Jókai**, C.Brunori, R.Morabito, W.Hagan, S.Azemard, S. Wyse, V.Fajon, M.Horvat, M.Logar, O.F.X.Donard, E Krupp, J.Entwisle, R.Hearn, M.Schantz, K.Inagaki, A.Takatsu, P.Grinberg, S.Willie, B.Dimock, H.Hintelmann, J.Zhu, E.Blanzo Gonzalez, G.Centineo, J.Ignacio Garcia Alonso, A.Sanz-Medel and E.Björn, Methylmercury in tuna : demonstrating measurement capabilities and evaluating comparability of results worldwide from the CCQM-P39 comparison, *J. Anal. At. Spectrom.* 20 (2005), 1058-1066, **(2006 ISI-impakt faktor: 3,630) Hivatkozások száma : 3.**

Nem impakt faktoros folyóiratok

Bertényi Zsuzsa, **Szatura Zsuzsa**, Tóth Árpád, Fodor Péter, Réztartalmú növényvédőszeres tisztaságvizsgálata, *Magyar Kémiai Folyóirat 101.évf. 10.sz. : 446-450, 1995*

Dr Kertész Tamás, Dr Balák Csaba, **Jókai Zsuzsa**, Kápolna Emese, Dr Lakner Géza, Dr Kempler Péter, Dr Gachályi Béla, A magnézium anyagcsere zavara 2.típusú diabetes mellitusban, *Magyar Belorvosi Archivum* 57 (2004), 4-9

Publikáció konferencia kiadványban

Magyar nyelvű teljes

Jókai Zsuzsa, Martin Bittner, Fodor Péter, Mintaelőkészítési módszerek kidolgozása elem-speciációhoz, 39. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Mosonmagyaróvár, 1996. (előadás alapján)

Jókai Zsuzsa, Abrankó László, Fodor Péter, Magyarországon fogyasztott halak metilhigany tartalmának mérése SPME-GC-AFS rendszeren , *Analitikai Vegyészkonferencia*, 47. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Bioanalitika (Balatonföldvár), 2004. (előadás alapján)

Nemzetközi összefoglaló

Zsuzsa Jókai, László Abrankó, Ildikó Ipolyi, Péter Fodor, Determination of methylmercury in freshwater fish and marine food samples by alkaline sample preparation followed by SPME-GC-AFS detection, *3rd International Conference on Trace Element Speciation in Biomedical, Nutritional and Environmental Sciences*, (München), 2004 (poszter alapján)

Cs. Sörös, R. Schaffer, **Zs. Jókai** , L. Abrankó, M. Üveges, M. Dernovics, P. Fodor, The role of As, Hg, Se and Sn speciation in food analysis, *CE Food* (Budapest), 2004. (poszter alapján)

Zsuzsa Jókai, László Abrankó, Peter Fodor, Determination of methylmercury in tuna fish (CCQM-P.39) and the investigation of the limitation of ethylmercury as internal standard, *European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry* (Budapest), 2005. (díjnyertes poszter alapján)

László Abrankó, **Zsuzsa Jókai**, Peter Fodor, Method development for mercury speciation studies in fish samples intended for human consumption, *XII Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry Environmental Pollution and Human Health*, (Pécs), 23-27 October 2005. (előadás alapján)