

# PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Kémia Doktori Iskola

## **Egyes reprezentatív gazda–vendég komplex képződését befolyásoló fontosabb tényező termodinamikai vizsgálata**

**PhD értekezés és tézisei**

**Li Yin**

Témavezető:

**Dr. Kunsági-Máté Sándor**  
egyetemi docens



**PÉCS, 2014**

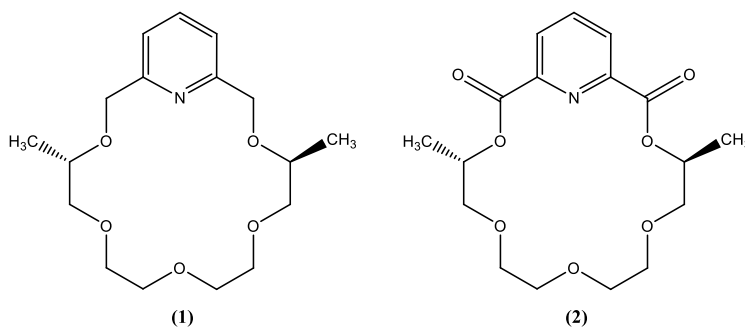
## 1. Bevezetés

A korona éterek és a kalixar éterek olyan makrociklusos molekulák, melyek nemkovalens kölcsönhatáson keresztül, úgy mint a kation-dipólus kölcsönhatás, hidrogénkötés vagy a  $\pi$ - $\pi$  kölcsönhatás, képesek a kationokkal, az anionokkal és a semleges töltésű részecskékkel is komplexet képezni. Az elmúlt két évtized során jelentős számú közlemény született kéniai szenzoroként való alkalmazhatóságukról, miközben számos új alkalmazást is szintetizáltak. Mindezek ellenére a kéniai szenzoroként való alkalmazhatóságukat befolyásoló paraméterek, mint a molekulaszerkezet, az üregméret és -alak, valamint az oldószerhatás szerepe még mindig nem tisztázott. A felhasználhatóság szempontjából fontos a vendégmolekulák felémutatott érzékenysége és szelektivitásának vizsgálata.

Munkám során számos olyan tulajdonságot vizsgáltam, amelyek a szintetizált vendégmolekulák és a vendégmolekulák közötti kölcsönhatást befolyásolják, úgymint a vendégmolekula vízben való oldószerhatás, az oldószerhatás, a vendégmolekula szolvatációs hője, illetve az átmeneti állapotok ionok vendégmolekulára gyakorolt fluoreszcencia kioltása. Mindezek mellett kutatom biológiai szempontból fontos kölcsönhatás esetén az oldószerhatás vizsgálatára is kiterjedt.

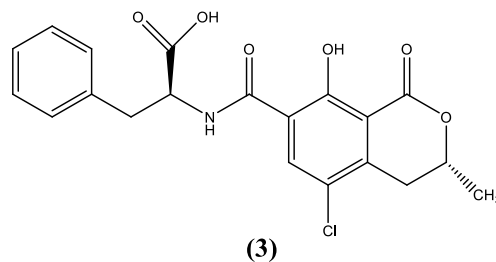
## 2. Célkitűzések:

1. Modell vegyületnek két korona étert választottunk, a dimetil-piridino-18-korona-6 étert **(1)** és dimetil-diketo-piridino-18-korona-6 étert **(2)**. A **(2)** molekulában jelenlevő karbonil csoportok miatt annak vízben kevésbé flexibilis mint az **(1)** molekuláé. E molekulák  $K^+$ -ionnal alkotott komplexei megfelelő modellként szolgálnak gazda-vendég kölcsönhatások esetén a vendégmolekula flexibilitásának komplexképződésre gyakorolt hatásának tanulmányozására.



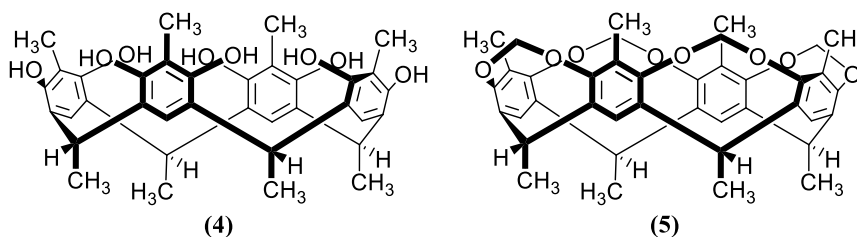
1. ábra  $M_2P18C6$  **(1)** és  $M_2K_2P18C6$  **(2)** molekulák szerkezete

2. Habár, az alkoholok általános oldószer, komplexképzésre gyakorolt hatásukat eddig nem vizsgálták szisztematikusan. Így tehát érdemes vizsgálni az oldószer tulajdonságai és a komplexképződés termodinamikai tulajdonságai közötti kapcsolatot. Munkám során az oldószerhatás vizsgálatát primer alkoholok esetében végeztem, az (1) koronaéter  $K^+$  és  $Na^+$  ionokkal való komplexképződése esetén.
3. Az oldószerhatás szerepét egy biológiailag fontos kölcsönhatás esetén vizsgáltuk. Az ochratoxin A (OTA) (3) egy olyan kumarin származék, mely képes erőteljesen kötődni egyes fehérjékhez, így számos toxikus hatással bír, mint nefrotoxicitás, hepatotoxicitás, neurotoxicitás, teratogenitás és immunotoxicitás. Az OTA és a humán szérum albumin (HSA) kölcsönhatás erősségét jelző  $\log K$  értéke 6 feletti is lehet. Mivel az etanol általánosan használatos a hidrofób gyógyszerhatóanyagok oldószerként, a fehérje-ligandum kölcsönhatásra gyakorolt hatása sokak figyelmét felkelti. Ezért az etanol OTA-HSA kölcsönhatásra gyakorolt hatása megfelelő modellként szolgálhat bioaktív molekulák oldószerhatástól (is) függő komplexképzési folyamatainak jobb megértéséhez.



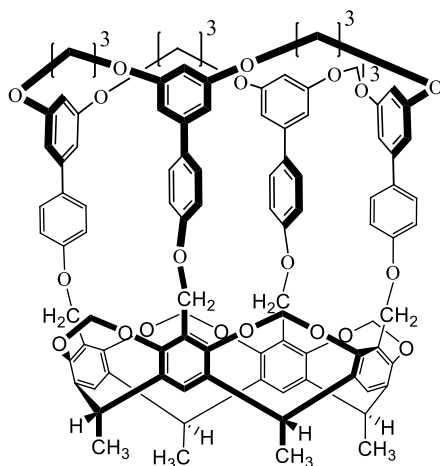
2. Ábra Az ochratoxin A szerkezete (3)

4. Folyadékfázisban a gazda- és a vendégmolekulák a körülöttük lévő oldószer molekulák által szolváltak. A gazda- és a vendégmolekula komplexképzését meg kell előznie egy deszolvatációs folyamatnak, mely utóbbi fontos szerepet játszik a gazdamolekula vendégmolekula felé mutatott szelektivitásában. Jelen munkában a kölcsönható részecskék deszolvatációs útjának hatásait tanulmányoztam különös tekintettel a (4) rezorcinarén és (5) kavítand származékának alkálifém ionokkal szembeni érzékenységre és szelektivitásra.



3. Ábra A (4) rezorcinarén és (5) kavítand szerkezete

5. Környezeti kémiai, analitikai és biokémiai szempontból az átmenetifém ionok kimutatása nagy gyakorlati jelentőséggel bír. A fluoreszkáló molekulák és átmenetifém ionok kölcsönhatása során az átmenetifém ionok által előidézett fluoreszcencia kioltás gyakran megfigyelhető jelenség. Ennek ellenére igen kevés munka foglalkozik az átmenetifém ionok ezen hatásával. Munkám során arra a fluoreszcencia kioltási mechanizmusra helyeztem a hangsúlyt, melyet néhány átmenetifém ion egy új, nemrégiben elsőként szintetizált (6) 'mély' szerkezetű kavitandra gyakorol.



(6)

4. ábra A 'mély' kavitanduszármazék szerkezete

### 3. Módszerek

#### 1. Egyensúlyi állandószámítása

A titrimetriás módszert UV/Vis és fluoreszcencia spektroszkópiai mérések mellett alkalmazva az egyensúlyi állandó (Log K) meghatározható. A különböző sztöchiometriák modellezése és az adatok kiértékelése a HyperQuad 2006 nem-lineáris illesztőprogram felhasználásával történt.

#### 2. A termodinamikai paraméterek meghatározása

A termodinamikai paramétereket a van't Hoff egyenletet használva határoztuk meg, melynek során a kísérleti adatokra illesztett egyenes tengelymetszete az entrópia változást ( $\Delta S$ ), meredeksége pedig az entalpia változást ( $\Delta H$ ) adja meg.

$$\log K = \frac{-\Delta H}{2.303 \cdot R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{2.303 \cdot R}$$

### 3. Elméleti szánások

A termodinamikai tulajdonságok molekuláris szintű értelmezése céljából optimalizált geometriai és rezgési spektrumot szánottunk az Austin Model 1 (AM1) szemiempirikus módszer felhasználásával a HyperChem 7.5 programcsomaggal.

### 4. A „sphere of action” kioltási modell

A modell szerint a gerjesztett fluorofór adott sugarú gömbön belüli környezetben a kioltási valószínűsége azonos. A „sphere of action” modellt a következő egyenlet írja le:

$$\frac{I_0}{I} = \exp(V \cdot N_A \cdot [Q]) \cdot (1 + K_D \cdot [Q])$$

## 4. Eredmények

1. A koronaéter alapvető flexibilitásának hatása a molekula  $K^+$  ionnal való komplexképzésre – metanol oldószerben – UV/Vis spektroszkópiai módszer felhasználásával tanulmányoztam. Az eredmények alapján a  $K^+$  ionnal való komplexképződés során a “flexibilis” koronaéter (1) esetén az entrópia csökken, míg a “merev” koronaéter (2) esetén az entrópia növekszik. Kvantummechanikai számítások azt mutatják, hogy a rezgési entrópiájuk meghatározó a fent leírt entrópiaváltozásokban. A komplexképzési tulajdonságokban tapasztalt különbségek tehát az eltérő rezgési entrópiaváltozásokra vezethetők vissza.
2. A koronaéter (1) illetve alkálifém ionok ( $Na^+$  és  $K^+$ ) közötti kölcsönhatást különböző alkohol oldószerekben (metanol, etanol és propán-1-ol) UV spektroszkópiai módszerrel tanulmányoztam. Az eredmények azt mutatják, hogy mind az (1)- $Na^+$  és (1)- $K^+$  komplexek esetén a stabilitási állandó az oldószer permittivitásával együtt nő. A termodinamikai paraméterek és az alkalmazott oldószerek permittivitása között a következő összefüggéseket találtam. A komplexképződés szempontjából az oldószer permittivitásának csökkenésével az entalpia kedvezőtlen, míg az entrópia kedvező irányban változik. E jelenség megértésére, kétlépéses komplexképződési modellt feltételeztem: első lépésben klasszikus hidrofób kölcsönhatást, míg a második lépésben nem-klasszikus hidrofób hatást vettem figyelembe. Metanol, etanol, propán-1-ol irányban csökken mind az oldószer hidrofilitása, mind a szabad állapotú oldószermolekulák száma. Előbbi eredményeként, a komplexképződés során a klasszikus hidrofób hatás fontosabb

szerepet játszik mint a nem-klasszikus hidrofób hatás. A komplexképződés propán-1-ol esetben legnagyobb részt entrópia kontrollált folyamat.

3. Etanolnak az OTA (3)–HSA kölcsönhatásra gyakorolt hatását PBS pufferoldatban Raman spektroszkópiai és steady-state fluoreszcencia spektroszkópiai módszerekkel vizsgáltam. A Raman spektrumok azt mutatják, hogy az OTA HSA-hoz való kötődése után, a triptofán fehérjealkotó aminosav mikro környezetének hidrofobicitása nő. A fluoreszcencia mérések eredményei alapján az etanol molekulák jelenléte az OTA HSA-hoz való kötődésére kedvezőtlenül hat. A termodinamikai vizsgálatok arra utalnak, hogy amint az etanol koncentráció nővekszik, az OTA HSA-hoz való kötődése entrópia kontrollált folyamat helyett entalpia kontrollált folyamattá válik. A megfigyelhető entalpia-entrópia kompenzáció érvényesnek bizonyult a vizsgált hőmérséklet tartományban. E jelenség annak tulajdonítható, hogy a komplexképződésben a meghatározó szerepet játszó klasszikus hidrofób hatás helyett a nem-klasszikus hidrofób hatás válik jelentősebbé tehát a tömbfázisban az etanol koncentráció növekedésével kiterjedtebb hidrogénkötéses hálót jön létre.
4. Rezorcinarén (4) illetve kavítand (5) molekulák alkálifém ionokkal ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  és  $\text{Cs}^+$ ) való kölcsönhatását metanol oldószerben steady-state fluoreszcencia spektroszkópia alkalmazásával tanulmányozva az eredmények azt mutatták, hogy a (4)  $\text{Li}^+$  és  $\text{Na}^+$ , míg az (5)  $\text{K}^+$  és  $\text{Cs}^+$  ionokkal képes kölcsönhatásba lépni. A termodinamikai vizsgálatok eredménye szerint a (4) gazdamolekula  $\text{Li}^+$  és  $\text{Na}^+$  ionokkal való komplexképzése az entalpiaváltozás miatt kedvezményezett, míg az (5) gazdamolekula  $\text{K}^+$  és  $\text{Cs}^+$  ionokkal való komplexképzése az entrópiaváltozás miatt preferált. A termodinamikai viselkedésben tapasztalt különbség két különböző kötési mechanizmussal magyarázható, előbbi esetben a gazdamolekula (4) kelyhében a metanol molekulák által szolvált  $\text{Li}^+$  és  $\text{Na}^+$  ionok kötődnek meg, míg az utóbbi esetben, az (5) gazdamolekula deszolvált  $\text{K}^+$  és  $\text{Cs}^+$  ionokat köti meg.
5. A mostanában szintetizált felső peremen tovább épített kavítand molekula esetén (6) a fluoreszcencia spektrumban egyes ámenetifém ionok jelenléte esetén tapasztalt kioltást steady-state fluoreszcencia spektroszkópia módszerrel tanulmányoztam. Az eredmények azt mutatták, hogy  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  és  $\text{Co}^{2+}$  ionok közül egyedül  $\text{Fe}^{3+}$  és  $\text{Cu}^{2+}$  mutat jelentős kioltó hatást a kavítand molekula (6)

fluoreszcencia emissziós spektrumára. A fluoreszcencia kioltás mechanizmusának értelmezésére két modellt vizsgáltam, egyik esetben dinamikus, másik esetben dinamikus és sztatikus kioltás egyidejű jelenlétét feltételeztem. A legjobb egyezést az úgynevezett “sphere-of-action modell”, tehát a sztatikus és dinamikus kioltás egyidejű feltételezése adta.

## 5. Tézispontok

1. Számos koronaéter származék esetén a molekulaváz flexibilitása jelentős mértékben meghatározza ezen gazdamolekulák  $K^+$  ionok iránti affinitását illetve a komplexképződés termodinamikai paramétereit. Amennyiben a koronaéter flexibilisebb a  $K^+$  ionnal való komplexképződéshez társítható entrópiaváltozás negatívabb. Kvantummechanikai számítások azt mutatják, hogy a rezgési entrópiaváltozások meghatározóak a fent leírt entrópiaváltozásokban.
2. A koronaéter származékok  $Na^+$  and  $K^+$  ionokkal képzett komplexeinek stabilitása metanol, etanol, illetőleg propán-1-ol oldószer irányban nő. A megfigyelhető entalpia–entrópiakompensáció arra utal, hogy az oldószer hidrofilitásának csökkenésével a klasszikus hidrofób effektus válik jelentősebbé a nem-klasszikus hidrofób effektus helyett.
3. Az etanol képes gátolni az OTA HSA-hoz való kötődését. Az OTA HSA-on való megkötődésének folyamata az etanol koncentrációjának növelésével entrópiakontrolláltból entalpiakontrollálttá válik, melynek feltételezhető oka, hogy a tömbfázisban az etanol koncentráció növekedésével kiterjedtebb hidrogénkötéshálózat jön létre.
4. Rezorcinarén és kavitand alkálifém ionokkal való komplexképzési folyamatokban a deszolvatációs folyamat meghatározó szerepet játszik. A rezorcinarén  $Li^+$  és  $Na^+$  ionokkal való komplexképzése entalpia-kontrollált, míg a kavitand  $K^+$  és  $Cs^+$  ionokkal való komplexképzése entrópiakontrollált folyamat – e folyamatok függenek a vendégion különböző mértékű deszolvatációjától.
5. A  $Cu^{2+}$  és  $Fe^{3+}$  ionok a új ’mély’ szerkezetű kavitand fluoreszcenciájának jelentős kioltását képesek eredményezni. A “sphere-of-action” sztatikus kioltás és a dinamikus kioltás együttes figyelembevétele bizonyult a legmegfelelőbb modellnek e két ion esetében a fluoreszcencia kioltási jelenség elméleti leírásánál.

## 6. Publikációs lista

### I. Az értekezés témájában folyóiratban megjelent referált közlemények

1. **Y. Li**, Z. Czibulya, M. Poór, S. Lecomte, L. Kiss, E. Harte, T. Kőszegi, S. Kunsági-Máté Thermodynamic study of the effects of ethanol on the interaction of ochratoxin A with human serum albumin. *Journal of Luminescence*, 148(2014): 18 – 25. **IF: 2.367** (2013)
2. **Y. Li**, Z. Csók, P. Szuroczki, L. Kollár, L. Kiss, S. Kunsági-Máté Fluorescence quenching studies on the interaction of a novel deepened cavitand towards some transition metal ions. *Analytica Chimica Acta*, 799 (2013): 51 – 56. **IF: 4.517** (2013)
3. **Y. Li**, P. Huszthy, I. Móczár, B. Szemenyei, S. Kunsági-Máté: Solvent effect on the complex formation of a crown ether derivative with sodium and potassium ions. Thermodynamic background of selectivity. *Chemical Physics Letters*, 556 (2013): 94 – 97. **IF: 1.991** (2013)
4. **Y. Li**, P. Huszthy, S. Kunsági-Máté: Effect of molecular vibrations on the selectivity character of pyridino-18-crown-6 derivatives towards potassium ion. *Chemical Physics Letters*, 533(2012): 45 – 49. **IF: 1.991** (2013)
5. **Y. Li**, Z. Csók, L. Kollár, K. Iwata, E. Szász, S. Kunsági-Máté: The role of the solvation shell decomposition of alkali metal ions in their selective complexation by resorcinarene and its cavitand. *Supramolecular Chemistry*, 24 (2012), 374 – 378. **IF: 2.132** (2013)

### II. Az értekezés témájában megjelent nem referált közlemények, konferencia absztraktok, előadások és poszterek

1. **Y. Li**, S. Kunsági-Máté, Z. Csók, P. Szuroczki, L. Kollár, L. Kiss. Fluorescence quenching studies on interactions of a novel deepened cavitand towards some guests. *The Central European Conference on Photochemistry*, Bad Hofgastein, Austria, 9 – 13 February, 2014.
2. **Y. Li**, P. Huszthy, I. Móczár, B. Szemenyei, S. Kunsági-Máté Solvent effect on the complex formation of a crown ether derivative with sodium and potassium ions. Thermodynamic background of selectivity. *The 3<sup>rd</sup> International Colloids Conference*, Xiamen, China, 21 – 24 April, 2013.
3. **Y. Li**, Zs. Czibulya, M. Poór, S. Lecomte, L. Kiss, E. Harte, T. Kőszegi, B. Desbat, S. Kunsági-Máté Effect of molecular environment on the interaction of ochratoxin A with human serum albumin. *The 3<sup>rd</sup> International Colloids Conference*, Xiamen, China, 21 – 24 April, 2013.
4. **Y. Li**, Zs. Czibulya, M. Poór, S. Lecomte, L. Kiss, E. Harte, T. Kőszegi, S. Kunsági-Máté Effect of ethanol on the interaction of ochratoxin A with human serum albumin.



*Symposium on Weak molecular Interactions*, ISBN 978-963-642-510-4, pp66–67, Pécs, Hungary, 5 – 6 March, 2013.

5. **Y. Li**, P. Huszthy, I. Mócz ár, B. Szemenyei, S. Kunsági-Máté: Permittivity-dependent complexations of a crown ether derivative with Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>. *Symposium on Weak molecular Interactions*, ISBN 978-963-642-510-4, pp72–73, Pécs, Hungary, 5 – 6 March, 2013.

6. **Y. Li**, Zs. Csók, G. Matisz, L. Kiss, L. Kollár, S. Kunsági-Máté A novel deepened cavitand fluorescent chemosensor for detection of Fe<sup>3+</sup> and Cu<sup>2+</sup>. *Symposium on Weak molecular Interactions*, ISBN 978-963-642-510-4, pp74–75, Pécs, Hungary, 5 – 6 March, 2013.

7. **Y. Li**, G. Matisz, L. Kiss, Zs. Csók, L. Kollár, S. Kunsági-Máté Interactions of functionalized cavitand derivatives with some transition metal ions in tetrahydrofuran–water binary solutions. *The 10<sup>th</sup> Conference of Colloid Chemistry*, ISBN 978-963-9970-26-7, pp111–111, Budapest, Hungary, 29 – 31 August, 2012.

8. **Y. Li**, P. Huszthy, S. Kunsági-Máté The solvent effect on the complex formation of a crown ether derivative with alkali metal ions. *The 10<sup>th</sup> Conference of Colloid Chemistry*, ISBN 978-963-9970-26-7, pp110–110, Budapest, Hungary, 29 – 31 August, 2012.

9. M. Poór, T. Kőszegi, **Y. Li**, Zs. Czibulya, S. Kunsági-Máté Investigation of competitive interaction between ochratoxin A and drug molecules for serum albumin. *The 10<sup>th</sup> Conference of Colloid Chemistry*, ISBN 978-963-9970-26-7, pp109–109, Budapest, Hungary, 29 – 31 August, 2012.

10. **Y. Li**, P. Huszthy, S. Kunsági-Máté Effect of molecular vibrations on the selectivity character of pyridino-18-crown-6 derivatives towards potassium ion. *Kémiai Szenzorok Workshop IV.*, Pécs, Hungary, 26 – 27 april 2012.

11. G. Matisz, Zs. Csók, **Y. Li**, L. Kollár, S. Kunsági-Máté Aromás szubsztituensekkel rendelkező kalix[4]arének kölcsönhatásai alkáli- és alkáliföldfém ionokkal: kvantumkémiai szimulációk. *Kémiai Szenzorok Workshop IV.*, Pécs, Hungary, 26 – 27 april 2012.

12. **Y. Li**, P. Huszthy, S. Kunsági-Máté Spectrophotometric study of thermodynamics of complexation of pyridino-18-crown ether-6 with alkali cations. *The 3<sup>rd</sup> Asian Spectroscopy Conference*, pp269–269, Xiamen, China, 28 November – 01 December, 2011.

13. M. Beata Vizeli, **Y. Li**, A. Kumar, P. Sharma, S. Kunsági-Máté Interaction of 25,26,27,28-tetrahydroxy-5,11,17,23-tetra-[4-(N-hydroxyl-3-phenylprop-2-enimidamido)phenylazo]calixarene host with ionic guests. *The 3<sup>rd</sup> Asian Spectroscopy Conference*, pp265–265, Xiamen, China, 28 November – 01 December, 2011.

14. **Y. Li**, P. Huszthy, S. Kunsági-Máté Interaction of pyridino-18-crown-6 ligands with alkali metal ions in methanol. *Advanced Spectroscopies on Biomedical and Nanostructured Systems*, ISBN 978-973-0-11393-8, pp144–144, Cluj-Napoca, Romania, 04 – 07 September,

2011.

15. Y. Li, Zs. Csóka, T. Kégl, L. Kollár, K. Iwata, S. Kunsági-Máté Complex formation of functionalized cavitand derivatives with alkali metal ions in methanol solutions. *Advanced Spectroscopies on Biomedical and Nanostructured Systems*, ISBN 978-973-0-11393-8, pp110–110, Cluj-Napoca, Romania, 04 – 07 September, 2011.

### III. Egy 6 nem referált közlemények

1. M. Poór, M. Kuzma, G. Matisz, Y. Li, P. Perjési, S. Kunsági-Máté, T. Kőszegi: Further aspects of ochratoxin A – cation interactions: complex formation with zinc ions and a novel analytical application of ochratoxin A – magnesium interaction in the HPLC-FLD system. *Toxins (BASEL)*, 6(2014): 1295 – 1307. **IF: 2.480** (2013)

2. M. Poór, Y. Li, G. Matisz, L. Kiss, S. Kunsági-Máté, T. Kőszegi: Quantitation of species differences in albumin–ligand interactions for bovine, human and rat serum albumins using fluorescence spectroscopy: A test case with some Sudlow's site I ligands. *Journal of Luminescence*, 145(2014): 767 – 773. **IF: 2.367** (2013)

3. Z. Csóka, T. Kégl, Y. Li, R. Skoda-Földes, L. Kiss, S. Kunsági-Máté M. H. Todd, L. Kollár: Synthesis of elongated cavitands via click reactions and their use as chemosensors. *Tetrahedron*, 69(2013): 8186 – 8190 **IF: 2.817**(2013)

4. M. Poór, S. Kunsági-Máté Y. Li, T. Kőszegi: A new possible mechanism of flavonoid-drug interaction: flavonoids are able to displace warfarin from human serum albumin. *Biochimica Clinica*, 37(2013): 249. **IF: 0.000** (2013)

5. M. Poór, Y. Li, S. Kunsági-Máté Zs. Varga, A. Hunyadi, B. Dankó, F. Chang, Y. Wu, Protoapigenone derivatives: albumin binding properties and effects on HepG2 cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 124(2013): 20–26. **IF: 2.803** (2013)

6. M. Poór, S. Kunsági-Máté Zs. Czibulya, Y. Li, B. Peles-Lemli, J. Petrik, S. Vladimir-Knežević, T. Kőszegi: Fluorescence spectroscopic investigation of competitive interactions between ochratoxin A and 13 drug molecules for binding to human serum albumin. *Luminescence*, 28(2013): 726–733. **IF: 1.675** (2013)

7. M. Poór, Y. Li, S. Kunsági-Máté J. Petrik, S. Vladimir-Knežević, T. Kőszegi: Molecular displacement of warfarin from human serum albumin by flavonoid aglycones. *Journal of Luminescence*, 142(2013): 122–127. **IF: 2.367** (2013)

8. M. Poór, S. Kunsági-Máté G. Matisz, Y. Li, Zs. Czibulya, B. Peles-Lemli, T. Kőszegi: Interaction of alkali and alkaline earth ions with ochratoxin A. *Journal of Luminescence*, 135(2013): 276–280. **IF: 2.367** (2013)

Összes fenn impakt faktor: **29. 874**.