

生物技术在重金属检测中的应用

刘 箐, 陈国薇, 张 超, 吴 嫒, 李 森, 吴淑燕, 董庆利

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要: 综述了酶分析法、免疫分析法、生物传感器等生物学技术在重金属检测中的应用与发展, 并对这些技术的优缺点及发展前景进行讨论。随着重金属污染问题的日趋严重以及新兴的生物、化学与物理等交叉学科的发展, 重金属检测在传统技术的基础上, 衍生出众多快速、灵敏的检测方法, 其中以基于生物学的快速检测技术研究较多, 并展现出广阔的运用前景。

关键词: 生物技术; 重金属; 检测

中图分类号: Q 33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2014)09—0897—06

Application of Biological Technique in Heavy Metal Detection

LIU Qing, CHEN Guowei, ZHANG Chao, WU Man, LI Sen, WU Shuyan, DONG Qingli

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: With the increasing serious problem of heavy metal pollution and the burgeoning cross subject of biological and chemical technique, the test methods of the heavy metal elements which were based on the biotechnology turned up. This article introduced the application and development of the methods such as Enzymatic analysis, Immunoassay, Biosensor in the heavy metal detection. And the merits and demerits and the development prospect of these technologies were discussed.

Keywords: Biological technique, heavy metal, detection

重金属污染是我国工业化发展面临的最严重的环境问题之一, 主要是汞、镉、铬、铅及砷等具有严重生物毒性的一系列重金属元素及其化合物, 对环境造成不可逆的长期污染。重金属最常见的污染途径, 首先是污染大气、水体及土壤, 再经过生物链的富集或饮用水进入人体, 这些重金属及其衍生物进入人体后, 会引起氧化应激、损伤生物大分子, 进而对人体带来致癌、致畸、致突变等严重后果。重金

属污染难以被自然生态自主修复, 加上生物链对重金属的富集作用, 所以对环境中的所有生物物种的生存、生态环境平衡等, 具有长期的恶性影响, 是全世界尤其是新兴工业化国家必须长期面对的、最严重的环境污染问题。

重金属主要通过口腔、呼吸道和皮肤 3 种途径进入人体, 进入人体后便不再以离子的形式存在, 而是与体内有机成分结合成金属络合物或金属螯

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 国家质检总局科技项目(GSCEIQ_2010IK220); 上海市科委重点支撑项目(13430502400)。

作者简介: 刘 箐(1970—), 男, 甘肃庆阳人, 理学博士, 教授, 主要从事食源性致病菌致病机理及食品安全快速检测技术研究。

E-mail: liuq@usst.edu.cn

合物^[1]。重金属进入人体后,会和蛋白质及酶类发生螯合作用,引起蛋白质内层疏水基团外露,从而使其相互聚集,最终引发蛋白质的聚沉。之前日本爆发的水俣病(汞污染)和骨痛病(镉污染),就是由于重金属污染^[2]。由此可见,重金属污染对人体的伤害是非常严重的,并且这种伤害是持久的。重金属污染严重影响了人们的正常生活,甚至会对下一代的健康产生危害。因此,重金属的检测显得尤为重要,只有能够及时准确地检测出重金属含量,才能将污染对人类健康的危害降到最低。

对于无法自主修复、无法清除的重金属污染,进行饮用水、农产品、食品的检测,成为控制人体摄入重金属的最后一道屏障。重金属的检测自研究起,多采取物理化学方法,如原子吸收光谱(ASS)法^[3-5]、电感耦合等离子发射光谱法(ICP-AES)^[6-8]、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)^[9-10]、高效液相色谱法^[11-12]等,这些方法检测灵敏、准确度高,有些可以同时检测多种样品,但是尚有以下不足:比如必须依赖大型设备、样品前处理繁琐、检测周期较长、对技术人员要求高、检测成本较高、无法实现现场快速检测等。近几年,以生物技术为基础,结合纳米技术、传感技术、光电技术等交叉学科,对重金属的快速、简便检测提供了可能。这些技术操作简便,仅需要小型设备,对实验室及技术人员要求低,检测成本低,且可以实现高通量检测。本文中重点介绍酶分析法、免疫分析法、生物传感器以及生物结合技术等基于生命科学理论和方法的重金属检测技术,并对其优缺点及未来发展前景予以综合叙述评论。

1 酶分析法

酶分析法是根据重金属离子能够与一些酶类结合,之后会引起酶类结构的改变,进而导致酶活下降,最终根据产生的一系列可以分析的变化判定重金属的含量。目前已经有多种酶用于重金属离子的测定,最常用的是脲酶^[13]。

脲酶是一种含镍的寡聚酶,以尿素酶失活为基础的安培检测已经应用于环境样品中重金属的检测筛选。脲酶催化水解的尿素和形成 NH_4^+ 影响 NADH-谷氨酸脱氢酶的偶联反应体系。重金属的存在下,样品中的脲酶活性的抑制,导致产生较低的 NH_4^+ 和 NADH 氧化少。2004 年 Rodriguez B B 等^[14] 利用脲酶这一特性建立了测定重金属的方法,对

Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 的检测限分别为 $0.007\ 2\ \mu\text{g/mL}$ 和 $0.008\ 5\ \mu\text{g/mL}$; 对 Cd^{2+} 和 Zn^{2+} 的检测限分别为 $0.000\ 3\ \mu\text{g/mL}$ 和 $0.000\ 2\ \mu\text{g/mL}$ 。经比较,脲酶灵敏度是较高的,这也是脲酶在酶分析法中应用最为广泛的原因。2006 年 Shukor 等^[15] 的研究中利用木瓜蛋白酶作为主体,使用酪蛋白质作为底物,考马斯染料进行示踪,进而表征木瓜蛋白酶水解酪蛋白的程度,进而建立了一种重金属检测手段。此方法测定 Hg^{2+} 、 Ag^+ 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的 IC_{50} (具备 50%抑制毒性浓度) 值分别为 0.39 、 0.40 、 $2.16\ \mu\text{g/mL}$ 和 $2.11\ \mu\text{g/mL}$ 。对于 Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 的 Limit of Quantitation (LOQ 检出限量) 分别为 4 和 $100\ \mu\text{g/mL}$ 。菠萝蛋白酶是一种巯基蛋白酶,2008 年 Shukor 等^[16] 利用菠萝蛋白酶,与木瓜蛋白酶测定方法类似,使用酪蛋白质作为底物,使用考马斯染料示踪,测定菠萝蛋白酶水解酪蛋白程度,进而建立了一种测定重金属的方法,最终检测 Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 的 IC_{50} 值分别为 $0.15\ \mu\text{g/mL}$ 和 $0.23\ \mu\text{g/mL}$ 。此种方法主要就是利用不同酶类对不同的重金属有着不同的灵敏度建立的一种方法。现在的研究中主要使用一些蛋白酶和脲酶,这些酶使用较普遍并且对金属离子有着较好的亲和力,最终检测结果也由于不同的酶以及亲和力的差异而有着较大的差别。2011 年 Hu 等^[17] 的研究中,使用紫外线处理过的液晶检测在水相中重金属的新方法,脲素水解产物可以诱导液晶的取向转变,通过传感器研究其光学信息,进而应用于检测 Cu^{2+} ,检测限低于 $10\ \mu\text{g/mL}$ 。

酶分析法在重金属检测中得到较好的应用,检测限也较低,并且操作比较简单。但是还存在一些不足,首先酶的活性影响因素比较多,所以在检测过程中容易干扰酶的活性,从而影响最终重金属测量的结果。并且酶分析法的特异性较低,该方法侧重重金属总含量,而对于其中某种重金属的含量无法准确测定。目前,可应用的酶类较少,相对于光谱分析法来说,光谱分析法可检测的重金属种类更多一些。

2 免疫分析法

免疫分析法 (Immunoassay) 是一种根据抗原抗体的特异性结合,利用已知的抗原检测未知抗体或利用已知的抗体检测未知抗原的方法。由于重金属离子没有免疫原性,不能直接产生免疫反应,所以使用免疫分析法分析重金属离子首先必须选择合

适的化合物与重金属离子结合,使其产生反应原性,即抗原性,进而将此复合物连接到载体蛋白质上,产生免疫原性。完成这两步工作后,即可根据抗原抗体的特异性结合进行含量的测定,其中连接重金属和载体蛋白质的化合物是最重要的因素。

竞争免疫测定一般是在微孔模式下进行,2001年 Blake 等^[18]用一种计算机控制的流式荧光计(KinExA)替代之前使用的微孔模式,抗体在 KinExA 格式下能以水溶性金属螯合物进行预平衡,然后这种螯合物能够迅速通过并且使之固定化。使用这种方法显现出很好的灵敏度,检测样品中的 Cd^{2+} 、 Co^{2+} 、 U^{6+} 和 Pb^{2+} ,平均镉(II)的回收率(114.25±11.37)%,批内和批间精密变异系数分别为 0.81%~7.77%和 3.62%~14.16%。2001 年 Darwish 等^[19]建立的方法是酶结合物和 Cd^{2+} -EDTA 之间竞争固定化抗体的结合位点,单克隆抗体用来识别 Cd^{2+} -EDTA 配合物。通过颜色变化表征 EDTA 配合物抑制酶结合物的能力,从而确定水样中 Cd^{2+} 的质量浓度,其对 Cd^{2+} 的检出限为 $0.3 \times 10^{-9} \text{ g/mL}$ 。2012 年 Wang 等^[20]选取 6-巯基丙酸(MNA)作为双功能配体,利用其结构上带有羧基和巯基吡啶环,从而能够很好地和 Hg^{2+} 和蛋白质进行结合。然后,使用全抗原免疫小鼠 Balb/c 小鼠激发免疫学反应,进而制备单克隆抗体。通过脾细胞和 Sp2/c 细胞融合获得稳定的杂交瘤细胞株,进行间接竞争性酶联免疫吸附试验(ELISA),从而实现对样品 Hg^{2+} 的检测;根据 ELISA 和 Hg^{2+} 的关系建立了质量浓度从 0.1~100 ng/mL 的标准曲线,进而测得 IC_{50} 和 LOD 值分别为 1.12 ng/mL 和 0.08 ng/mL。这些方法都是基于抗原抗体特异性结合的特性,选择合适的化合物再与重金属离子进行连接,过程相对比较复杂,但是特异性较好。总之,不同的重金属离子与不同的配体化合物的结合是不同的,所以只有针对不同的重金属离子进行不同配体的挑选,才能更好地提高检测灵敏度。

近几年,免疫胶体金快速检测应用于很多领域,以其检测便携快速为长。胶体金是由氯金酸在还原剂作用下,聚合成为特定大小的金颗粒,并由于静电作用成为一种稳定的胶体状态,即为胶体金。此方法是利用胶体金作为示踪物的一种免疫标记技术。2009 年及 2011 年, Kaoru Abe^[21-22]等利用胶体金技术成功建立了对水稻、土壤和小麦、茄子中的重金属镉的免疫学检测方法,为实际应用奠定了

基础。2010 年 Tang^[23]等成功制备了 Pb^{2+} 的胶体金快速检测卡,检测限达到 50 ng/mL。胶体金免疫检测技术是一种非常适合现场检测的技术,并且对于液体的重金属检测更加简便,省去了样品处理的过程。此方法检测所需仪器小,能够更好地实现便携性,提高检测效率。但是目前免疫检测方法还不能取代传统方法,仅作为辅助检测方法使用。

3 生物技术与其它技术结合

近年来,生物技术与其它学科交叉产生的技术在重金属检测方面得到了较好的发展。生物技术特异性较好,反应灵敏度高,但是由于本身重金属离子缺乏生物性,并且生物反应结果不能够很直观的表征,所以多与传感器、纳米材料及量子点等发展较为前端的科学进行结合。这种交叉能够更好地突出生物技术的优点,又能通过其它技术弥补生物技术的不足。发展较为全面,研究较为深入的主要是与传感器及纳米材料技术的结合。

3.1 生物传感器

生物传感器是一种由固定化的生物敏感材料作为识别元件(包括酶、抗体、抗原、微生物、细胞、组织、核酸等生物活性物质)与适当的理化换能器(如氧电极、光敏管、场效应管、压电晶体等)及信号放大装置构成的一种仪器,最终将其浓度转化为电信号进行监控。此种方法主要为生物技术与物理学的交叉结合,以生物反应为基础,进而结合物理信号,通过放大或处理进行检测。见表 1。

表 1 生物传感器在重金属检测中的应用

Table 1 Application of biosensors in heavy metal detection

传感器类型	检测对象	检测限/ ($\mu\text{mol/L}$)	参考文献
电位型酶膜传感器	Cu^{2+}	0.125	[24]
	Hg^{2+}	0.045	
爱波细菌传感器	Cd^{2+}	1×10^{-6}	[25]
	Hg^{2+}	1×10^{-6}	
绿色荧光蛋白质基细菌	Cd^{2+}	1×10^{-4}	[26]
	Pb^{2+}	0.01	
	Sb^{3+}	1×10^{-4}	
DNA 传感器	As^{3+}	6.7×10^{-4}	[27]

生物传感器检测重金属具有便携性强、高通量、检测快等优点,为实现在线连续检测技术的应用提供了可能,并且可以实现多种重金属的检测,

检测周期较短。但是,生物传感器制作过程较为复杂,制作工艺较难,检测成本高。未来发展生物传感器检测重金属,加强其稳定性和实现多种重金属离子的检测是值得多加关注的地方。

3.2 纳米技术

与生物技术相结合的纳米技术(Nanotechnology)应用于多种检测技术中,在重金属检测上也有了一定程度的应用。主要有结合荧光量子点、金纳米颗粒等检测重金属离子,具有高灵敏度、高选择性、成本低、设备简单等优点。量子点(Quantum Dots),又称半导体纳米晶(Semiconductor Nano crystal),具有荧光强度高、发射峰较窄、抗光漂白性高、发射峰谱可控等优点^[28]。纳米金即指金的微小颗粒,直径在1~100 nm之间。纳米金具有高电子密度、介电特性和催化作用等特性,并且能在不影响生物活性的前提下与多种大分子生物结合。基于荧光量子点和金纳米颗粒的物理优点,与生物技术相结合,在重金属检测中得到一定的应用。量子点及金纳米颗粒有着较好的生物相容性,可以与寡核苷酸片段、蛋白质相结合,进而通过其物理特性对重金属离子检测;也可以连接化学基团,再通过化学基团与蛋白质等进行结合,进而检测重金属离子浓度。

2012年Hao等^[29]在荧光共振能量转移(FRET)的基础上,利用 Hg^{2+} 和 Ag^+ 能够形成强而稳定的T- Hg^{2+} -T、C- Ag^+ -C复合物,从而拉近供体CdTe量子点和受体已标记的寡核苷酸片段,使得能量从供体转移到受体,转移过程中产生了荧光能量的改变,因此测得 Hg^{2+} 和 Ag^+ 的含量。此实验在水介质中检测 Hg^{2+} 和 Ag^+ 的检出限分别为1.8 nmol/L和2.5 nmol/L。增强量子点的荧光可以提高检测灵敏度;2012年Chen^[30]利用金纳米粒子,在金纳米粒子上连接巯基基团,并且很据此基团的特性再修饰上叠氮化物和炔烃化物,经过这样处理之后,金纳米粒子的分散性得到了提高,并且较之前更加稳定,最终能够很好地检测铜离子。他们在还原 Cu^{2+} 成 Cu^+ 的方法上进行了改进,通过电极的还原作用,快速地产生 Cu^+ ,大大节省了反应时间,并且视觉检测限达到了1 nmol/L,提高了检测的灵敏度。

利用纳米技术与生物技术结合检测重金属,灵敏度高,特异性强,有望能够实现现场快速检测,可以对量子点及纳米金进行表面修饰,从而提高其特

异性和稳定性,并且为制备微型化的传感器奠定了基础。但是量子点制作过程比较复杂,量子点本身污染比较严重,多次使用会造成二次污染,且具有一定毒性。纳米金颗粒保存时间比较短,易受到离子浓度和pH的影响,这些成为限制其发展的因素。目前该方法主要应用于实验阶段,应用到生产实践中还需要解决许多问题。

4 存在不足与发展方向

目前针对生物技术方法检测重金属还存在几点不足:

1) 食品重金属检测的样品前期处理比较复杂与费时,影响了食品重金属检测的发展,进而使得生物检测手段发展受到限制。

2) 重金属离子本身缺乏生物特性,需要结合其他化合物才能利用生物技术进行检测。

3) 重金属污染一般为多种重金属离子导致,使用生物技术检测一般针对其中某种重金属离子或者总体,无法较快捷地一次性检测出其中每种重金属离子的浓度。

重金属检测方法种类多样,传统方法有需要继续传承的地方,也有需要进一步改进的地方。生物技术的使用,更大程度上提供了现场快速检测的可能,在现有研究基础上,克服一些生物技术检测的不足,势必会得到更大更好的发展。生物技术在重金属检测上的应用也给其他检测学科提供了新的思路,多方面学科综合使用,将会实现许多检测的现场快速应用。

5 结语

生物技术近几年在各个学科都有较快较好的发展,以其反应快速、灵敏度高为长。在国内经济快速发展的同时,也衍生出很多污染及食品安全问题。生物技术给许多污染检测带来了更加便捷快速的检验方法。综合几种生物技术方法,基本都是基于生物反应为基础的,再结合一些物理化学反应原理进行重金属含量的检测。生物反应的特异性是应用于重金属检测的一大优势,相对于较为传统的方法,检测精度得到了很大的提高。目前许多污染问题检测周期比较长,并且很难实现现场快速检测,所以使得重金属污染治理周期拉长,不能更好地解决环境问题,生物技术为现场快速检测的实现提供

了可能,目前已有较为成功的技术,如胶体金技术等应用于现场快速检测,大大缩短了检测周期,并且经济成本得到了很大程度的降低。通过总结酶分析法、免疫分析法及生物传感器等几种生物方法,不难发现生物技术较大程度上提高了检测的灵敏

度,基本上不需要大型仪器,并且生物方法多种多样,与其他学科结合,可以衍生出多种多样的方法,加快了实现现场快速检测的步伐。学科的交叉是创新的源泉,基于生物技术的检测方法凸显其特有优势,与其他学科的交叉将会使其得到更大的发展。

参考文献:

- [1] 邓志瑞,余瑞云,余采薇. 重金属污染与人体健康环境化学[J]. 环境保护,1991(12):1.
DENG Zhirui, YU Ruiyun, YU Caiwei. Heavy metal pollution and human health environmental chemistry [J]. **Environmental Protection**, 1991(12):1. (in Chinese)
- [2] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1997:301-308.
- [3] Mika P, Veijo S, Timo J. Detection of copper in water using on-line plasma-excited atomic absorption spectroscopy (AAS)[J]. **Appl Spectrosc**, 2011, 65(6):678-683.
- [4] Uluozlu O D, Tuzen M, Mendil D, et al. Determination of As(III) and As(V) species in some natural water and food samples by solid-phase extraction on streptococcus pyogenes immobilized on sepabeads SP70 and hydride generation atomic absorption spectrometry[J]. **Food Chem Toxicol**, 2010, 48(5):1393-1398.
- [5] Sánchez-Moreno R A, Gismera M J, Sevilla M T, et al. Direct and rapid determination of ultratrace heavy metals in solid plant materials by ET-AAS ultrasonic-assisted slurry sampling[J]. **Phytochem Anal**, 2010, 21(4):340-347.
- [6] Boukraa Y, Barkat D, Benabdellah T, et al. Liquid-liquid extraction of Cu(II), Co(II) and Ni(II) with salicylideneaniline from sulphate media[J]. **Phys Chem Liq**, 2006, 44(6):693-700.
- [7] Saracoglu S, Soylak M, Peker D S K, et al. A pre-concentration procedure using coprecipitation for determination of lead and iron in several samples using flame atomic absorption spectrometry[J]. **Anal Chim Acta**, 2006, 575(1):133-137.
- [8] Tokman N, Akman S. Determination of bismuth and cadmium after solid-phase extraction with chromosorb-107 in a syringe[J]. **Anal Chim Acta**, 2004, 519(1):87-91.
- [9] Caruso J A, Klaue B, Michalke B, et al. Group assessment: elemental speciation[J]. **Ecotoxicol Environ Saf**, 2003, 56(1):32-44.
- [10] Shih T T, Tseng W Y, Tsai K H, et al. Online coupling of ultraviolet titanium dioxide film reactor with poly(methyl methacrylate) solid phase extraction-inductively coupled plasma mass spectrometry for speciation of trace heavy metals in freshwater[J]. **Microchem J**, 2011, 99(2):260-266.
- [11] Nolan E M, Lippard S J. Tools and tactics for the optical detection of mercuric Ion[J]. **Chem Rev**, 2008, 108(9):3443-3480.
- [12] Liu L, Lam Y W, Wong W Y. Complexation of 4,4'-di(tert-butyl)-5-ethynyl-2,2'-bithiazole with mercury(II) ion: Synthesis, structures and analytical applications[J]. **J Organomet Chem**, 2006, 691(6):1092-1110.
- [13] 寇冬梅. 快速检测重金属离子的酶膜生物传感器及其应用研究[D]. 重庆:西南大学, 2008:1-3.
- [14] Rodriguez B B, Bolbot J A, Tothill I E. Development of urease and glutamic dehydrogenase amperometric assay for heavy metals screening in polluted samples[J]. **Biosens Bioelectron**, 2004, 19(10):1157-1167.
- [15] Shukor Y, Baharom N A, Rahman F A, et al. Development of a heavy metals enzymatic-based assay using papain[J]. **Anal Chim Acta**, 2006, 566(2):283-289.
- [16] Shukor M Y, Masdor N, Baharom N A, et al. Determination method for heavy metals using bromelain: A cysteine protease[J]. **Appl Biochem Biotechnol**, 2008, 144(3):283-291.
- [17] Hu Q Z, Jang C H. Liquid crystal-based sensors for the detection of heavy metals using surface-immobilized urease[J]. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 2011(88):622-626.
- [18] Diane A, Blake R, Mark Jones, et al. Antibody-based sensors for heavy metal ions [J]. **Biosensors and Bioelectronics**, 2001, 16:799-809.
- [19] Darwish I A, Blake D A. One-step competitive immunoassay for cadmium Ions: development and validation for environmental water samples[J]. **Anal Chim Acta**, 2001, 73(8):1889-1895.

- [20] WANG Yuzhen, YANG Hong. Highly sensitive and specific determination of mercury(II) ion in water, food and cosmetic samples with an ELISA based on a novel monoclonal antibody[J]. **Anal Bioanal Chem**, 2012, 403: 2519–2528.
- [21] Kaoru Abe, Yasuhiro Sakurai. Simplified method for determining cadmium concentrations in rice foliage and soil by using a biosensor kit with immunochromatography[J]. **Sci Food Agric**, 2009, 89: 1097–1100.
- [22] Kaoru Abe, Katsuo Nakamura, Tomohito Arao, et al. Immunochromatography for the rapid determination of cadmium concentrations in wheat grain and eggplant[J]. **Sci Food Agric**, 2011, 10: 1002, 4321.
- [23] TANG Yong, ZHAI Yifan, XIANG Junjian, et al. Colloidal gold Probe –based Immunochromatographic assay for the rapid detection of lead ions in water samples[J]. **Environmental Pollution**, 2010, 158: 2074–2077.
- [24] 寇冬梅, 张进忠, 杨兵, 等. 检测重金属离子的酶膜生物传感器的构建[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(9): 24–38.
KOU Dongmei, ZHANG Jinzhong, YANG Bing, et al. Construction of enzyme membrane biosensor detection of heavy metal ions [J]. **Environmental Science and Technology**, 2008, 31(9): 24–38. (in Chinese)
- [25] Gammoudi I, Tarbague H, Othmane A. Love –wave bacteria –based sensor for the detection of heavy metal toxicity in liquid medium[J]. **Biosensors and Bioelectronics**, 2010, 26: 1723–1726.
- [26] Liao V H C, Chein M T, Tseng Y Y, et al. Assessment of heavy metal bioavailability in contaminated sediments and soils using green fluorescent protein – based bacterial biosensors[J]. **Environ Pollut**, 2006, 142(1): 17–23.
- [27] Liu Y X, Wei W Z. Layer –by –layer assembled DNA functionalized single –walled carbon nanotube hybrids for arsenic (III) detection[J]. **Electrochem Commun**, 2008, 10(6): 872–875.
- [28] Pinaud F, Michalet X, Bentolila L A, et al. Advances in fluorescence imaging with quantum dot bio –probes [J]. **Biomaterials**, 2006, 27(9): 1679–1687.
- [29] HAO Changlong, XUE Liguang. Oligonucleotide –based fluorogenic sensor for simultaneous detection of heavy metal ions[J]. **Biosensors and Bioelectronics**, 2012, 36: 174–178.
- [30] Lin Z Y, Gao S, Lin J, et al. Visual detection of copper(II) based on the aggregation of gold nano –particles via click chemistry[J]. **Anal Methods**, 2012, 4(3): 612–615.

会 议 信 息

会议名称(中文): 第六届中国毒理学会生化与分子毒理专业委员会全国学术会议

开始日期: 2014–10–28

结束日期: 2014–10–31

所在城市: 广东省深圳市

具体地点: 深圳迎宾馆

主办单位: 中国毒理学会生化与分子毒理专业委员会、广东省环境诱变剂学会和深圳市疾病预防控制中心

联系人: 徐新云

联系电话: 0755–25609527, 13688845335

E-MAIL: dswucn@126.com

会议网站: <http://www.chntox.org/news-js.asp?id=642>

会议背景介绍:

为了加强毒理学基础研究与实际应用的结合, 交流生化与分子毒理学研究进展, 促进我国毒理学学科发展, 推动现代毒理学新技术、新方法在安全性评价中的应用。由中国毒理学会生化与分子毒理专业委员会、广东省环境诱变剂学会和深圳市疾病预防控制中心共同主办的全国学术会议暨“环境内分泌干扰物的毒理学研究新技术新方法”国家继续教育学习班(2014–12–04–005(国))拟定于2014年10月28–31日在广东省深圳市举办。届时将邀请国内知名院校教授进行大会学术报告, 并从会议投稿中筛选优秀论文进行会议交流、评审优秀论文并颁发证书。

征文内容: 环境内分泌干扰物研究新技术与新方法, 毒性效应, 作用机制, 分析监测方法, 防治现状问题、对策及其管理。表观遗传学、基因组学与蛋白质组学在环境内分泌干扰物安全性评价中的应用。毒物代谢动力学, 毒物代谢组学, 预测毒理学。其他相关新理论与新技术。