

# 可蓄积到食物中的持久性有机污染物及其检测技术研究进展

胡海<sup>1</sup>, 李涵<sup>2</sup>, 张红菱<sup>1\*</sup>

(1. 武汉轻工大学生物与制药工程学院, 武汉 430023; 2. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 武汉 430030)

**摘要:**持久性有机污染物(POPs)可通过大气、水、土壤等介质在环境和人体积累, 对人的身体健康和生命安全构成威胁。本文综述了持久性有机污染物的种类、危害和治理技术。详细介绍了目前检测方法的研究进展和热点, 对各种方法的优缺点进行了分析。旨在为持久性有机污染物的检测提供参考。

**关键词:**持久性有机污染物; 危害; 蓄积; 检测技术

## Progress on persistent organic pollutants accumulated in food and their detection technologies

HU Hai<sup>1</sup>, LI Han<sup>2</sup>, ZHANG Hong-Ling<sup>1\*</sup>

(1. School of Biology and Pharmaceutical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;  
2. School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China)

**ABSTRACT:** Persistent organic pollutants (POPs) can accumulate in environment and human body tissues or organic through atmosphere, water, soil, and other media, threatening the health and life safety. The species, harm and control technology of POPs were summarized in this paper. A detailed specification for the hotspot detection methods was described, and the advantages and disadvantages of each method were also analyzed, so as to provide useful references to detect of persistent organic pollutants.

**KEY WORDS:** persistent organic pollutants; endanger; accumulation; detecting techniques

持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)是指可以通过各种环境介质(大气、水、土壤等)远距离迁移, 具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性, 对人类健康和环境造成严重危害的天然或人工合成的有机化合物。2001年, 十几个国家代表在瑞典斯德哥尔摩签订了关于禁用12种持久性有机污染物的《斯德哥尔摩公约》。这12种持久性有机污染物分别为: 艾氏剂、氯丹、滴滴涕(DDT)、狄

氏剂、二噁英、异狄氏剂、呋喃、七氯、六氯苯、灭蚊灵、多氯联苯和毒杀芬<sup>[1]</sup>。2009年《斯德哥尔摩公约》第四次缔约方大会又增加了9种有机污染物。

### 1 持久性有机污染物及其在食物中的蓄积过程

七氯、氯丹、狄氏剂、灭蚊灵广泛用作农作物虫

基金项目: 国家自然科学基金项目(21177046)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (21177046)

\*通讯作者: 张红菱, 教授, 主要研究方向为环境污染物及其健康危害。E-mail: zhlwjb@sina.com

\*Corresponding author: ZHANG Hong-Ling, Professor, School of Biology and Pharmaceutical Engineering, Wuhan Polytechnic University, No. 68, Xuefu south Road, Dongxihu District, Wuhan 430023, China. E-mail: zhlwjb@sina.com

害和控制白蚁杀虫剂。狄氏剂、七氯易吸附在水中的沉积物上,并在有机体的脂肪中蓄积; DDT、毒杀芬、异狄氏剂、狄氏剂会吸附在土壤上,在土壤中残留1年甚至更久。进入环境后在水生生物中富集<sup>[2]</sup>; 呋喃和二噁英在结构上近似,毒性也相似。具有低水溶性和半挥发性; 多氯联苯(PCBs)在电力制造、传输设备中有广泛运用。可通过污染的食品进入人体,损伤人的免疫系统。对动物慢性毒性严重<sup>[3]</sup>。

含 POPs 的农药及废水进入环境后沉积到土壤中,一方面,通过挥发进入到大气中,随着大气长距离传输到各地,最后沉积。随后再次经历中长距离迁移最后再沉积回地球。另一方面,大气中的 POPs 一部分会被雨水、雾气中的颗粒物吸附,通过干湿沉降、降雨等进入地表水体。地表径流又将 POPs 污染物带到河流和海洋。通过“全球蒸馏效应”转移到地球的绝大多数地区,最终使全球水环境受到 POPs 污染<sup>[4]</sup>。广泛存在于大气、水、土壤内的低浓度 POPs 物质通过食物链逐级放大对处于食物链高层的人类的健康造成损害。然而,大多数存在于食物中的 POPs 为痕量<sup>[5]</sup>,因此其对生态和人体健康的危害具有很大的隐蔽性。

## 2 持久性有机污染物的特性及危害

持久性有机污染物具有生物蓄积性、高毒性、半挥发性、长期残留性等特点。POPs 在水中的半衰期大于2个月,在土壤中半衰期则大于6个月甚至更长的时间<sup>[6]</sup>。这些存在于环境中的 POPs 通过食物链进入到的生物体,逐渐蓄积。处在食物链高层的生物体内的 POPs 浓度比环境中高出许多个数量级<sup>[1]</sup>,研究表明多氯联苯浓度在高级捕食者体内增大7万倍之多。累积在食物链高层的生物体内的 POPs 可造成神经行为失常、生物体内分泌紊乱、生殖及免疫机能失调、发育紊乱以及癌症等严重疾病<sup>[7]</sup>。

## 3 持久性有机污染物(POPs)的治理相关技术

目前,持久性有机污染物(POPs)修复的主要方法有物理修复、化学修复、生物修复及焚烧技术等。田明等<sup>[8]</sup>以萃取法除去饮用水中的 DDT,检出灵敏度较高。由于该方法具有操作简单,易于实施,经济、高效等特点,因而在水处理中得到广泛的应用。安凤春等<sup>[9]</sup>通过比较不同植物对 DDT 的吸收发现丹麦产

的 Taya 草和美国产的 Titan 草的效果最好。李国学等<sup>[10]</sup>利用高温堆肥降解六六六和滴滴涕,发现当对反应条件进行一定的控制时能起到较好的降解作用,对滴滴涕的降解率甚至可以达到100%。据报道,蚯蚓对 DDT 的积累能力一般比外界大70倍左右。以上 POPs 处理技术中,生物法选择性高、耗时间长;物理方法只能改变 POPs 形态、地点,无法彻底除去 POPs;化学方法费用高。由于环境中有机污染物的复杂性和多样性,往往需要多种方法联合使用才能达到彻底清除 POPs 污染的目的<sup>[11]</sup>。因此,除了继续研究开发高新技术外,考虑不同技术的联合使用也会是 POPs 治理技术的一个重要发展趋势。

## 4 可蓄积到食物中持久性有机污染物(POPs)检测相关技术进展

### 4.1 生物方向

通过利用生物细胞培养来测量特异的生物学反应。吴立冬等<sup>[12]</sup>使用电化学寡核有酸传感器对 Quanterra SXM 五氯苯进行检测。通过使用可以与双链 DNA(dsDNA)特异性结合的电活性物质亚甲基蓝(MB)对检测事件进行信号放大,使得响应灵敏度大幅度提高。其检测下限为30 pmol/L,相对于目前此类检测方法,在精准度上有较大的提高。而且便携、选择性好。Behnisch 等<sup>[13]</sup>以芳香烃受体为基础的生物分析法,通过检测7-乙氧基异吩噁唑酮脱乙酰酶(EROD)这一信号物的含量实现对样品中 PCBs 的含量间接测定,操作快速、简单、灵敏度高。表面等离子共振(surface plasmon resonance, SPR)技术是利用物质折射率的动态变化原理实现样品识别的技术。Rogers 等<sup>[14]</sup>采用 SPR 技术测定 PCBs,检出下限达2.5 ng/mL。实验过程耗时短,并可进行实时检测。Mauriz<sup>[15]</sup>小组将抗体与 SPR 传感器结合,检测 DDT。其检测下限可达15 pg/mL。开辟了快速准确检测 DDT 的新道路。Wei 等<sup>[16]</sup>利用 WSPR 结合分子印记膜法,分别检测样品中的高灭磷。其检测限可达到 $1.14 \times 10^{-13}$  mol/L。Dong 等<sup>[17]</sup>以 MIP-SPR 技术检测水中丙溴磷的含量,其检出下限为 $3.6 \times 10^{-4}$  μg/mL。

上述生物方法从不同的方向出发检测 POPs,以操作简便、快捷、特异性好为特点,满足了大批量样品的筛查及常规的环境检测。具有其他方法无法超越的优点。但样品前处理复杂、操作技术性强等特点使

其广泛应用受到了一定阻碍。值得一提的是 SPR 技术从成本, 便捷性, 灵敏性上找到了突破口, 为批量样品的实时检测开辟了新的道路。

#### 4.2 化学方向

色谱学分析法是一种传统而常用的检测方法, 也是目前主流的检测方法之一。目前色谱分析多采用色谱联用技术, 如液相色谱质谱联用<sup>[18,19]</sup>, 气相色谱质谱联用等。气相色谱质谱联用(GC-MS)适宜与分析小分子、易挥发、能气化的样品。样品分析过程便捷<sup>[20]</sup>。大体积进样气质联用技术在水质量, 农副产品有害物残留检测领域应用广泛<sup>[21,22]</sup>。而液质联用(LC-MS)则适用于分析大分子、热不稳定、不能气化的样品<sup>[23,24]</sup>。许多国家的多氯联苯标准测定方法就是用气相色谱和高分辨质谱联用技术<sup>[25]</sup>。美国农业部开发的 QuEChERS 方法<sup>[26,27]</sup>, 对样品进行前处理, 结合相色谱质谱联用技术具有高效、高性价比的特点, 适用于 POPs 的批量定量检测。李敬光等<sup>[28]</sup>建立了使用离子阱串联质谱技术和同位素稀释技术准确测定鱼肉中的 7 种指示性多氯联苯(PCB)单体的方法。黄树辉等<sup>[29]</sup>利用了紫外检测器和荧光检测器的优点, 建立了高效液相色谱分离、紫外检测器和荧光检测器串联检测的多环芳烃的分析方法, 实现了对痕量多环芳烃进行精确地定性和定量分析, 可应用于水样的分析。

色谱联用技术虽然能实现样品的精准检测但操作技术要求高, 设备相对昂贵, 设备体积较大这些问题使得色谱方法不适宜于样品的现场检测。但其分离能力强、耗时相对较少、多组份分析等特点决定了其仍然是目前农药残留检测的主要手段。

#### 4.3 免疫传感方向

作为抗原/半抗原的各种 POPs 能与其相应抗体结合, 利用这种抗原抗体的特异性结合作用能够快速检测出相应 POPs。Michele 等<sup>[30]</sup>采用 ELISA, 用 HRP 做标记物, 采用包被抗原的模式, 测定土壤中的多氯联苯。包玉红等<sup>[31]</sup>采用纳米金标记羊抗兔抗体为免疫分析试剂, 利用竞争免疫模式, 在聚苯乙烯微孔板的表面引入大量的纳米金, 通过金纳米对蕊香红 6 G 荧光的增效作用, 测定水样中己烯雌酚。其检出限为 0.49 ng/mL。杜凌云等<sup>[32]</sup>以二乙烯三胺五乙酸酐为铜离子的螯合剂, 采用两步标记法标记链霉亲和素, 采用竞争型免疫反应模式, 建立了测定双酚

A 的时间分辨荧光免疫分析法。该法具有灵敏度高、操作简单、示踪物稳定、不受样品自然荧光干扰等优点。王术皓等<sup>[33]</sup>以量子点标记的链霉亲和素为荧光探针, 结合生物素-亲和素放大系统, 采用非均相抗体包被的竞争反应模式建立了分析测定己烯雌酚的量子点标记链霉亲和素为标记试剂的荧光免疫新方法。其检出限为 0.0056 ng/mL, 稳定性良好, 可应用于己烯雌酚的分析检测。

以免疫方向为切入点的检测方法有灵敏度高、操作简单、检测速度快、特异性强等特点。特别是酶联免疫分析方法和非均相免疫分析法在农药残留检测中得到了广泛应用。

#### 4.4 其他方向的新方法

随着学科交叉的深入和新技术的不断涌现, 在不同领域的新技术的支持下 POPs 检测领域探索与应用。侯迪波等<sup>[34]</sup>采用太赫兹时域光谱技术发现 a 硫丹在 0.2~2 THz 频率范围内的吸收系数谱和折射率谱, 在此频率范围发现一系列特征吸收峰。陈胜等<sup>[35]</sup>采用半导体激光器作为多光子激发荧光的激发光源, 毛细管电泳-多光子激发荧光(CE-MPEF)检测系统, 用此方法对 POPs 物质进行了电泳分离和多光子激发荧光探测。该法在选择性、灵敏度、重现性上均较以往有突破。刘佳等<sup>[36]</sup>通过原位电纺制备漆酶电极, 采用循环伏安扫描对水中五氯酚进行测定, 发现此酶电极在不需介体物质的存在下对五氯酚有良好的响应, 可用于水中五氯酚的检测。

## 5 展 望

随着分子生物学, 物理学, 材料化学的发展。学科交叉和新技术跨学科应用, 持久性有机污染物(POPs)的检测方法也在不断的完善和更新中。可以预见, 未来 POPs 的检测会朝着样品处理简单、快速、高效、低成本、及设备自动化方向发展。

#### 参考文献

- [1] 丁峰, 沈伟, 顾金利, 等. POPs 污染及其治理方法[J]. 科技情报开发与经济, 200, 19(8): 151-154.  
Ding F, Sheng W, Gu JL. POPs Pollution and Its Treatment [J]. Sci-Tech Inform Dev Econ, 2009, 19(8): 151-154.
- [2] 穆季平. 持久性有机污染物(POPs)研究进展[J]. 环境科学与技术, 2006, 29: 140-142.  
Mu JP. Progress on persistent organic pollutants accumulated [J].

- Environ Sci Technol, 2006, 29: 140-142.
- [3] 张光明. 超声波处理多氯联苯微污染技术研究[J]. 给水排水, 2003, 29(5): 35-40.
- Zhang GM. Ultrasonic Abatement of Aqueous Trace Level Pollutants: Polychlorinated Biphenyls [J]. Water Wastewater Eng, 2003, 29(5): 35-40.
- [4] Wania F, Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants [J]. Environ Sci Tech, 1996, 30: 390A-396A.
- [5] Wu XG, Lam JCW, Xia CH, *et al.* Atmospheric HCH over the marine boundary layer from Shanghai, China to the Arctic Ocean: Role of human activity and climate change [J]. Environ Sci Tech, 2010, 44(22): 8422-8428.
- [6] 黄俊, 余刚, 钱易. 我国的持久性有机污染物问题与研究对策[J]. 环境保护, 2001, (11): 3-6.
- Huang J, Yu G, Qian Y. The problems of persistent organic pollutants in china and their research countermeasures [J]. Environ Protect, 2001, (11): 3-6.
- [7] 徐科峰, 李忠, 何蕊, 等. 持久性有机污染物(POPs)对人类健康的危害及其治理技术进展[J]. 四川环境, 2003, 22 (4): 29-34.
- Xu KF, Li Z, He C, *et al.* Health Hazard of Persistent Organic Pollutants (POPs) and Its Progress in Treatment Technologies [J]. Sichuan Environ, 2003, 22 (4): 29-34.
- [8] 刘征涛. 持久性有机污染物的主要特征和研究进展[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 40-45.
- Liu ZT. Environmental Behavior Characteristics and Research Progress of Persistent Organic Pollutants [J]. Res Environ Sci, 2005, 18(3): 40-45.
- [9] 安凤春, 莫汉宏, 郑明宏, 等. DDT 污染土壤的植物修复技术[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 7(3): 39-45.
- An FC, Mo HH, Zheng MH, *et al.* The phytoremediation technique of DDT-contaminated soil [J]. Tech Equip Environ Pollution Control, 2002,7(3): 39-45.
- [10] 李国学, 孙英. 高温堆肥对六六六和滴滴涕的降解作用[J]. 农业环境保护, 2000, 19(3): 141-144.
- Li GX, Sun Y. Degradation of Organochlorine Insecticides HCH and DDT During Thermophilic Composting Process [J]. Agro-environ Protect, 2000, 19(3): 141-144.
- [11] 谢武明, 胡勇有, 刘焕彬, 等. 持久性有机污染物(POPs)的环境问题与研究进展[J]. 中国环境监测, 2012, 29(5): 96-99.
- Xie WM, Hu YY, Liu HB, *et al.* Environmental issue and study progress of persistent organic pollutants(POPs) [J]. Environ Monit Chin, 2012, 29(5): 96-99.
- [12] 吴立冬, 卢宪波, 陈吉平, 等. 电化学核酸传感器筛查环境中 POPs [C]. 持久性有机污染物论坛 2010 暨第五届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集, 2010 年.
- Wu LD, Lu XB, Chen JP, *et al.* Electrochemical DNA Biosensor for Screening Environmental POPs [C]. Bbs of Pops(2010, symposium of the fifth proseminar on pops), 2010.
- [13] Behnisch PA, Hosoe K, Shiozaki K. Bioanalytical screening methods for dioxins and dioxin-like compounds—a review of bioassay/biomarker technology [J]. Environ Internat, 2001, 27(5): 413-439.
- [14] Rogers KR. Recent advances in biosensor techniques for environmental monitoring [J]. Anal Chim Acta, 2006, 568(1-2): 222-231.
- [15] Mauriz E, Calle A, Montoya A, *et al.* Determination of environmental organic pollutants with a portable optical immunosensor [J]. Talanta, 2006, 69: 359-364.
- [16] Wei CP, Zhou HQ, Zhou J. Ultrasensitively sensing acephate using molecular imprinting techniques on a surface plasmon resonance sensor [J]. Talanta, 2011, 83: 1422-1427.
- [17] Dong JW, Gao N, Peng Y, *et al.* Surface plasmon resonance sensor for profenofos detection using molecularly imprinted thin film as recognition element [J]. Food Contr, 2012, 25: 543-549.
- [18] Mayer-Helm B, Hofbauer L, Müller J. Development of a multi-residue method for the determination of 18 carbamates in tobacco by high-performance liquid chromatography/positive electrospray ionisation tandem mass spectrometry [J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2006, 20(4): 529-536.
- [19] Mayer-Helm B, Hofbauer L, Müller J. Method development for the determination of selected pesticides on tobacco by high-performance liquid chromatography-electrospray ionisation-tandem mass spectrometry [J]. Talanta, 2008, 74(5): 1184-1190.
- [20] Ballesteros E, Parrado MJ. Continuous solid-phase extraction and gas chromatographic determination of organophosphorus pesticides in natural and drinking waters [J]. J Chromatogr A, 2004, 1029(1): 267-273.
- [21] Savant RH, Banerjee K, Ijtire SC, *et al.* Muhiresidue analysis of 50, pesticides in grape, pomegranate, and mango by gas chromatography—ion trap mass spectrometry [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(3): 1447-1454.
- [22] Barriada-Pereira M, Serodio P, Gonzalez-Castro M J, *et al.* Determination of organochlorine pesticides in vegetable matrices by stir bar sorptive extraction with liquid desorption and large volume injection—gas chromatography—mass spectrometry towards compliance with European Union directives [J]. J Chromatogr A, 2010, 1217: 119-126.
- [23] Yang X, Zhang H, Liu Y, *et al.* Multiresidue method for determination of 88 pesticides in berry fruits using solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry determination of 88 pesticides in berries using SPE and GC-MS [J]. Food Che-

- mistry, 2011, 127: 855-865.
- [24] Gonzalez-Rodriguez R M, Rial-Otero R, Cancho-Grande B, *et al.* Determination of 23 pesticide residues in leafy vegetables using gas chromatography-ion trap mass spectrometry and analyte protectants [J]. *J Chromatogr A*, 2008, 1196: 1130-109.
- [25] Barriada-Pereira M, Serodio P, Gonzalez-Castro MJ, *et al.* Determination of organochlorine pesticides in vegetable matrices by stir bar sorptive extraction with liquid desorption and large volume injection-gas chromatography mass spectrometry towards compliance with European Union directives [J]. *J Chromatogr A*, 2010, 1217: 119-126
- [26] EPA8270C. Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry(GC-MS) [Z]
- [27] Aaastasslades M, Lehotays J, Stajnbaher D, *et al.* Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and dispersive solid-phase extraction for the determination of pesticide residues in produce [J]. *J AOAC Int*, 2003, 86(2): 412-431.
- [28] 李敬光, 赵云峰, 吴永宁. 离子阱串联质谱法检测鱼肉中指示性多氯联苯[J]. *分析化学*, 2005, 33(9): 1223-1226.  
Li JG, Zhao YF, Wu YN. Determination of Polychlorinated Biphenyls in Fish by Gas Chromatography-Ion Trap Tandem Mass Spectrometry [J]. *J Chin Anal Chem*, 2005, 33(9): 1223-1226.
- [29] 黄树辉, 黄长江, 常彦祥, 等. 高效液相色谱-紫外、荧光串联检测法在多环芳烃的分析中的应用[C]. *持久性有机污染物论坛 2007 暨第二届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集*, 2007 年.  
Huang SH, Huang CJ, Chang YX, *et al.* Determination Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by High Performance Liquid Chromatography with Fluorescence and Ultraviolet Detection [C]. *Bbs of Pops(2007, symposium of the second proseminar on pops)*, 2007.
- [30] Michele Del Carlo, Marco Mascini. Enzyme immunoassay with amperometric flow-injection analysis using horseradish peroxidase as a label Application to the determination of polychlorinated biphenyls [J]. *Anal Chim Acta*, 1996, 336(1-3): 167-174.
- [31] 包玉红, 杜凌云, 庞玉波, 等. 金纳米标记增效荧光免疫分析法测定己烯雌酚[C]. *持久性有机污染物论坛 2010 暨第五届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集*, 2010.  
Bao YG, Du LY, Pang YB, *et al.* A Novel Immunoassay for the Determination of Diethylstilbestrol Based on the Fluorescence Enhancement of Au Nanoparticles [C]. *Bbs of Pops(2010, symposium of the fifth proseminar on pops)*, 2010.
- [32] 杜凌云, 包玉红, 王术皓. 吡啶橙指示荧光分析法测定双酚 A [J]. *分析科学学报*, 2011, 27(4): 467-470.  
Du LY, Bao YH, Wang SH. Spectrofluorimetric Determination of Bisphenol A with Acridine Orange as Indicator [J]. *J Anal Sci*, 2011, 27(4): 467-470.
- [33] 王术皓, 孙梅梅, 张霞, 等. 量子点标记链霉亲和素荧光免疫分析测定己烯雌酚[C]. *持久性有机污染物论坛 2010 暨第五届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集*, 2010 年.  
Wang SH, Sun MM, Zhang X, *et al.* Determination of Diethylstilbestrol by fluorescence immunoassay with streptavidin conjugated quantum dots [C]. *Bbs of Pops(2010, symposium of the fifth proseminar on pops)*, 2010.
- [34] 侯迪波, 岳飞亨, 康旭升, 等. 持久性有机硫丹的太赫兹光谱研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32(5): 1170-1173.  
Hou DB, Yue FH, Kang XS, *et al.* Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Alpha Endosulfan Persistent Organic Pollutant [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2012, 32(5): 1170-1173.
- [35] 陈胜, 徐友志, 杜伟, 等. 基于多光子激发荧光-毛细管电泳的 DNA 分析新技术[J]. *光子学报*, 2008, 37(2): 1170-1173.  
Cheng S, Xu YZ, Du W, *et al.* New Technology for DNA Analysis Based on Multiphoton Excited Fluorescence-capillary Electrophoresis [J]. *Acta Photonica Sin*, 2008, 37(2): 1170-1173.
- [36] 刘佳, 殷立峰, 江帆, 等. 静电纺丝固定化酶电极在水体污染物检测中的初探[C]. *持久性有机污染物论坛 2010 暨第五届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集*, 2010 年.  
Liu J, Yin LF, Jang F, *et al.* Preliminary Study of Immobilized Enzyme Electrode by Electrospinning in Determination of Pollutants in Water [C]. *Bbs of Pops(2010, symposium of the fifth proseminar on pops)*, 2010.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



胡海, 硕士研究生, 主要研究方向为药物分析。

E-mail: hh1020925@sina.com



张红菱, 教授, 主要研究方向为环境污染及其健康危害。

E-mail: zhlwjb@sina.com