

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明	(1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正	(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思	(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳	(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氮挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远	(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋	(34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨	(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋	(45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇	(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙	(61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁	(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍	(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军	(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元	(91)
湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山	(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男	(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟	(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强	(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军	(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新	(137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦	(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民	(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳	(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐	(163)
天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直	(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺	(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴	(182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓	(188)
污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇	(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根	(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文	(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢	(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栲,何宝燕,李跃鹏	(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳	(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南	(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛	(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福	(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏	(251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾	(257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远	(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文	(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林	(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国	(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博	(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇	(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟	(302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少锋,贾永锋	(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲	(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎	(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志	(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易	(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强	(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文		
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛	(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正	(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强	(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维	(379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新	(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌	(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌	(401)
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)	信息(76,144,301,400)
		专辑征稿通知(394)

北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评价

于志勇¹, 金芬², 孙景芳¹, 原盛广¹, 郑蓓¹, 张文婧¹, 安伟^{1*}, 杨敏¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所农产品质量与食品安全重点实验室, 北京 100081)

摘要: 利用超声波提取-气质联用法调查了北京市不同水产品市场 4 种常见淡水食用鱼体内 25 种农药的残留水平, 并利用商值法评价了农药的潜在健康风险。在采集的 48 个样品中, 除七氯、*o,p'*-DDT、敌敌畏、对硫磷、毒死蜱、仲丁威和久效磷以外, 其余 18 种农药均有不同程度检出。其中, 检出率最高的为乙草胺(97.9%) 和 β -六六六(93.8%); 检出农药含量最高的为百菌清($1\,779.4\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 其次为溴氰菊酯($620.3\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。鱼体中有 2~10 种农药共存, 其总浓度为 $2.7\sim 1\,932\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。潜在健康风险评价结果表明, 按照北京市民的平均水产品消费量, 北京水产品市场上的 4 种主要食用鱼中的农药风险商值为 0.043 43, 处于较低水平。

关键词: 鱼; 农药; 健康风险评价; 风险商; 北京

中图分类号: X836 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0251-06

Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment

YU Zhi-yong¹, JIN Fen², SUN Jing-fang¹, YUAN Sheng-guang¹, ZHENG Bei¹, ZHANG Wen-jing¹, AN Wei¹, YANG Min¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Key Laboratory of Agro-product Quality and Safety, Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agri-products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Health risks by fish consumption were assessed following the investigation of the residual levels of 25 pesticides in four kinds of freshwater fish from 4 aquatic product markets in Beijing using ultrasonic extraction-GC-MS. Eighteen pesticides were detected from the 48 samples collected. Acetochlor (97.9%) and β -HCH (93.8%) showed high detection rates. The pesticide detected in highest concentration was chlorothalonil ($1\,779.4\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), followed by deltamethrin ($620.3\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Coexistence of 2-10 kinds of pesticides in fish was found with the total pesticide concentration in range of $2.7\sim 1\,932\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Based on the averaged fish consumption of Beijing residents, the health risk of the studied pesticides by freshwater fish consumption was calculated as 0.043 43, suggesting a relatively low health risk.

Key words: freshwater fish; pesticide; health risk assessment; risk quotient; Beijing

中国是世界上水产品生产、消费和农药使用大国。2010 年全国水产品总产量为 5 365 万 t, 已经跃居世界第一, 其中淡水水产品为 2 346 万 t^[1,2]。草鱼、鲢鱼、鲤鱼和鲫鱼等四大类淡水鱼的总消费量占淡水鱼总消费量的 50% 以上, 为 1 200 万 t·a⁻¹ 左右^[3,4]。

与此同时, 随着农业规模化生产的扩展, 我国农药的使用量不断上升。大部分农药随雨水冲淋进入自然水体, 因此, 水体中检出农药种类逐渐增多。由于大部分农药都具有亲脂性特点, 能够在鱼体内富集, 其中有机氯杀虫剂的富集系数可达 4~40 000 倍^[5,6], 因此食用鱼体内的农药残留也引起越来越多的关注。例如, 白洋淀的鲢鱼、草鱼等淡水鱼中

HCHs 和 DDTs 的含量分别为 $59.3\sim 110.7\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $29.6\sim 124.4\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[7]; 在长江宜昌大口鲶等淡水鱼中测出的 HCHs 平均含量为 $0.26\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, DDTs 含量为 $0.4\sim 14.8\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[8]; 汕头鳊鱼中的 HCHs 和 DDTs 浓度分别为 $5\sim 79\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $6\sim 56\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[9]。由于富集作用, 食用淡水鱼将会是人体农药摄入的重要途径之一^[10]。总体来看, 有关淡水鱼农药污染的研究主要集中在已经被禁用的有机氯

收稿日期: 2012-03-28; 修订日期: 2012-06-11

基金项目: 北京市财政专项引进中央在京科技资源平台建设项目; 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室仪器平台方法开发与应用研究课题项目

作者简介: 于志勇(1976~), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为环境分析化学, E-mail: zzy@rcees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: anwei@rcees.ac.cn

农药方面,而对目前仍在大量使用的有机磷、拟除虫菊酯及其他有机氯类农药的关注较少^[11].

本研究以有机氯、有机磷及拟除虫菊酯等 25 种常用农药为目标,采用超声波提取-气质联用分析法对北京 4 个水产品批发市场中出售的鲤鱼、鲫鱼、草鱼和鲢鱼等 4 种主要淡水鱼的农药残留状况进行了调查,并在此基础上,利用商值法对鱼体中农药的健康风险进行评价.

1 材料与方 法

1.1 样品采集

2009 年 9 ~ 12 月分别从北京新发地、昌平水屯、岳各庄和大洋路 4 个主要水产品批发市场采集不同体重的鲤鱼、鲫鱼、草鱼和鲢鱼各 20 条. 4 种鱼类的体重范围分别为:鲤鱼:506 ~ 1 335 g; 鲫鱼:125 ~ 352 g; 草鱼:530 ~ 1 939 g; 鲢鱼:740 ~ 1 385 g. 由于不同鱼类在生长过程中对不同种类农药的生物累积作用可能不同,所以每个市场每种鱼类按体重分大、中、小 3 组(见表 1),每组取 3 ~ 6 条,收集背部及腹部的鱼肉,用搅拌机打碎混匀,装入玻璃瓶中冷冻保存.

表 1 不同鱼类的不同体重范围/g
Table 1 Weight range of different fish/g

鱼类	小	中	大
鲤鱼	506 ~ 637	737 ~ 739	1 184 ~ 1 335
鲫鱼	125 ~ 155	190 ~ 237	272 ~ 352
草鱼	530 ~ 727	1 167 ~ 1 324	1 540 ~ 1 939
鲢鱼	740 ~ 775	1 075 ~ 1 092	1 278 ~ 1 385

1.2 仪器与试剂

气相色谱-质谱联用仪(GC/MS-QP2010 Plus, Shimadzu, 日本); 旋转蒸发仪(R210, buchi, 瑞士); 氮吹仪(WD-12, 杭州奥盛); 天平(AB104-N, 梅特勒-托利多, 德国); 旋涡振荡器(wi1102, 北京东西仪科技); 离心机(Allegra X-22R, Beckman Coulter, 美国); 纯水机(Milli-Q Biocel, Millipore, 美国); Rxi-5MS(30 m × 0.32 mmID × 0.25 μm) 色谱柱(Shimadzu, 日本). 25 种目标农药的单标购自中国计量科学研究院,浓度为 100 ~ 1 000 mg·L⁻¹,用正己烷配成 1 mg·L⁻¹的混合标样. 超纯水(电阻率 = 18.2 MΩ·cm); 乙腈、二氯甲烷和甲醇都为 HPLC 级(Fisher, 美国); 正己烷为农残级(Fisher, 美国); 无水氯化钠(优级纯,北京试剂公司); NH₂ 固相萃取柱(500 mg/6CC, Waters, 美国).

1.3 GC/MS 仪器条件

气相色谱条件:色谱柱:Rxi-5MS(30 m × 0.32 mmID × 0.25 μm); 进样口温度:290℃,载气:He; 载气流量:恒流 2 mL·min⁻¹,进样量:1 μL,溶剂延迟:6 min,升温程序:80℃保持 2 min,以 6℃·min⁻¹速度升到 290℃,保持 8 min. 质谱条件:质谱接口温度 290℃; 离子源温度 200℃; 采用提取离子模式定量.

1.4 样品预处理

称 10 g 鱼样(湿重)于 50 mL 的 PVC 离心管中,加入 20 mL 二氯甲烷/乙腈(7:3, 体积比)超声提取 15 min,加入 5 g 氯化钠漩涡振荡 2 min,4 000 r·min⁻¹离心 5 min,上层 10 mL 的溶液移至一新的 PVC 离心管中,重复 3 次. 将 PVC 离心管放于 -20℃ 20 min,清液转移到圆底烧瓶中,用 5 mL 二氯甲烷/乙腈(7:3)洗涤 PVC 离心管 2 次,将洗涤液合并到圆底烧瓶中并旋转蒸发至约 1 mL. 过 500 mg 的 NH₂ 小柱净化,用 5 mL 正己烷/二氯甲烷(3:1, 体积比)洗脱. 洗脱液在微弱的氮气流下吹干,用 1 mL 正己烷溶解用 GC-MS 测定^[12-15].

1.5 样品的定性和定量

根据目标物质的保留时间和碎片离子及其丰度进行定性分析,而定量分析采用选择离子模式(SIM),目标物质的保留时间和碎片离子列于表 2.

1.6 质量控制与保证(QA/QC)

由于农药的广泛使用和实际样品中的含量极低,分析过程中的任何残留都会对分析结果产生很大的影响,因此空白实验对样品结果的准确性是很重要的. 为控制实验过程中的空白值,每一批样品(6 ~ 8 个)均采集一针溶剂空白,每批样品均带有空白及加标样品,所有的数据均为扣除空白后的数据. 样品中的基质对测试结果也有很大的影响,所以本实验采用外标定量时,所用标样均是在基质中加标,这样就消除了基质干扰,加标浓度分别为 0、0.05、0.1、0.2 和 0.5 mg·L⁻¹. 采用在脂肪含量最多的草鱼中加标浓度为 0.02 mg·kg⁻¹(n = 3)时计算方法的回收率.

1.7 健康风险评价方法

根据 25 种农药在鱼体中的残留浓度水平以及人们饮食的安全值,利用 Oracle Crystal Ball 软件(Oracle® , Ver. 11.1.1.3.00)进行 Monte Carlo 模拟,并采用商值法对食用淡水鱼体内的农药进行健康风险评价.

2 结果与讨论

2.1 前处理及分析方法的优化

表 2 目标农药保留时间和回收率

Table 2 Retention time and recovery rate of the target pesticide

化合物名称	CAS 登录号	出峰顺序	保留时间 /min	定量碎片/定性 碎片 (m/z)	回收率 /%
敌敌畏	62-73-7	1	7.904	109/185	63.74
仲丁威	3766-81-2	2	15.386	121/150	88.38
久效磷	6923-22-4	3	16.828	127/192	146.27
α -六六六	319-84-6	4	16.944	181/219	102.54
六氯苯	118-74-1	5	17.170	284/142	66.84
乐果	60-51-5	6	17.499	87/125	67.82
β -六六六	319-85-7	7	17.910	181/219	92.48
莠去津	1912-24-9	8	17.974	200/215	69.66
林丹	58-89-9	9	18.095	181/219	72.46
δ -六六六	319-86-8	10	18.949	181/219	62.26
百菌清	1897-45-6	11	19.111	266/264	61.17
2,4-滴丁酯	94-80-4	12	20.279	185/57	149.28
乙草胺	34256-82-1	13	20.360	146/162	69.58
甲基对硫磷	298-00-0	14	20.368	109/125	86.76
七氯	76-44-8	15	20.486	100/272	73.68
马拉硫磷	121-75-5	16	21.759	173/125	73.69
对硫磷	56-38-2	17	22.000	291/139	75.66
毒死蜱	2921-88-2	18	22.018	197/314	111.04
丁草胺	23184-66-9	19	24.337	160/176	69.72
p,p' -DDE	72-55-9	20	24.905	246/318	88.04
p,p' -DDD	72-54-8	21	26.167	235/165	61.57
o,p' -DDT	789-02-6	22	26.250	235/165	77.64
p,p' -DDT	50-29-3	23	27.295	235/165	73.9
三氯杀螨醇	115-32-2	24	29.017	139/251	169.07
溴氰菊酯	52918-63-5	25	35.875	181/253	68.85

以 4 种鱼体内脂肪含量最多的草鱼为基质配置的标准样品(加标浓度: $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)进行色谱条件优化. 通过优化程序升温条件,使样品基线平稳,干扰峰较少,基本能够达到基线分离. 为去除提取液中的脂肪,本实验首先将提取液放置在 -20°C 冰箱中冷冻 20 min,以使大部分脂肪凝结在底部,然后将上清液过净化柱,以提高净化效率. 此外,本实验采用高压进样方式(200 kPa, 2 min),与普通进样方式相比,该方法灵敏度提高了 1 倍以上,且改善了峰形.

2.2 方法的有效性

25 种农药回收率在 60% ~ 170% 之间(表 2),方法检出限在 $5 \sim 25 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,能够满足测试工作的需要. 本研究采用在基质中加标的方法,有效地消除了基质干扰,获得了较好的灵敏度和精确度.

2.3 鱼体内农药的残留状况

北京水产品批发市场上 4 种淡水鱼体内的农药残留水平见表 3. 从中可见,百菌清、丁草胺等 18 种农药均有检出,而七氯、 o,p' -DDT、敌敌畏、对硫磷、毒死蜱、仲丁威和久效磷未检出. 其中,乙草胺、 β -六六六、三氯杀螨醇、 p,p' -DDE 和甲基对硫

磷 5 种农药的检出率超过 50%. 乙草胺的高检出率(97.9%)可能与其较高的使用量有关. 目前,乙草胺是我国农业生产中使用量最大的除草剂,每年的需求量达 1 万 t 以上^[16,17];而 β -六六六、三氯杀螨醇、 p,p' -DDE、甲基对硫磷均为我国已禁止或限制使用的农药,高检出率(93.8%、89.6%、85.4% 和 52.1%)表明它们在环境中具有持久性,今后仍然值得关注.

由表 3 可见,北京市场 4 种淡水鱼体内农药的检出浓度范围为 $0.4 \sim 1779.4 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中百菌清的浓度最高,达 $1779.4 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次为溴氰菊酯($620.3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、 p,p' -DDT($143.3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和 α -六六六($114.6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$). 鱼体中农药总浓度平均值前 5 位的分别为百菌清、溴氰菊酯、甲基对硫磷、 β -六六六和三氯杀螨醇($9.3 \sim 108.9 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$). β -六六六在 4 种六六六同分异构体中无论是检出率还是平均浓度都是最高的,这与水体中的残留情况相同^[18]并且和 β -六六六的高富集性有关^[19]. 在淡水养殖中,百菌清和溴氰菊酯为鱼虾病防治常用药,其中百菌清为消毒剂,主要用于防治鱼虾病害和清池底^[20];溴氰菊酯主要用于由中华蚤、

表 3 鱼肉中农药残留结果¹⁾/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Table 3 Residue concentrations of pesticides in fish/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

名称	浓度范围	平均浓度	检出率/%	鲢鱼中浓度范围	鲫鱼中浓度范围	鲤鱼中浓度范围	草鱼中浓度范围
乙草胺	ND ²⁾ ~ 18.9	4.8	97.9	1.8 ~ 18.9	1.5 ~ 14.5	1.3 ~ 7.5	ND ~ 7.6
β -六六六	ND ~ 44.5	12.3	93.8	4.4 ~ 44.5	ND ~ 24.5	ND ~ 22.7	1.2 ~ 34.6
三氯杀螨醇	ND ~ 27.9	9.3	89.6	3.7 ~ 23.5	ND ~ 21.8	ND ~ 19.6	ND ~ 27.9
<i>p,p'</i> -DDE	ND ~ 33.8	4.9	85.4	ND ~ 5.9	ND ~ 33.8	0.5 ~ 13.4	ND ~ 21.8
甲基对硫磷	ND ~ 75.6	13.2	52.1	ND ~ 36.1	ND ~ 75.6	ND ~ 46.2	ND ~ 37.7
<i>p,p'</i> -DDT	ND ~ 143.3	8.7	43.8	ND ~ 2.4	ND ~ 143.3	ND ~ 1.1	ND ~ 31.1
百菌清	ND ~ 1 779.4	108.9	29.2	ND ~ 1 779.4	ND ~ 704.4	ND ~ 453.1	ND ~ 539.9
丁草胺	ND ~ 21.2	1.7	27.1	ND ~ 1.9	ND ~ 21.2	ND ~ 5.8	ND
δ -六六六	ND ~ 15.6	1	22.9	ND ~ 15.6	ND ~ 6.5	ND ~ 4.7	ND ~ 1.6
<i>p,p'</i> -DDD	ND ~ 4.4	0.3	20.8	ND	ND ~ 4.4	ND ~ 2.1	ND ~ 1.2
α -六六六	ND ~ 114.6	6	16.7	ND ~ 114.6	ND ~ 73.3	ND ~ 18.7	ND ~ 11.7
六氯苯	ND ~ 0.9	0	8.3	ND	ND ~ 0.6	ND ~ 0.9	ND
溴氰菊酯	ND ~ 620.3	13.5	6.3	ND ~ 18.9	ND	ND	ND ~ 620.3
马拉硫磷	ND ~ 9.7	0.5	6.3	ND	ND	ND	ND ~ 9.7
莠去津	ND ~ 0.6	0	6.3	ND	ND	ND ~ 0.4	ND ~ 0.6
2,4-滴丁酯	ND ~ 36	1	4.2	ND	ND ~ 36	ND	ND
乐果	ND ~ 29.9	1.1	4.2	ND ~ 29.9	ND	ND	ND
林丹	ND ~ 11.1	0.4	4.2	ND ~ 11.1	ND	ND	ND
七氯	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
<i>o,p'</i> -DDT	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
敌敌畏	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
对硫磷	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
毒死蜱	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
仲丁威	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND
久效磷	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND

1) 湿重; 2) ND: 未检出

锚头蚤等寄生虫引起的青鱼、草鱼等淡水鱼疾病^[21]。高浓度的百菌清和溴氰菊酯残留可能与养殖过程中使用这些农药有关。

从农药残留整体水平看, 4 种鱼类中残留最少的为鲤鱼, 残留较多的为鲫鱼、鲢鱼和草鱼。其中六六六和滴滴涕的残留(平均浓度分别为 $19.7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $13.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 远远低于 20 世纪 90 年代白洋淀鱼体中的残留量(平均浓度分别为 $59.3 \sim 110.7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $29.6 \sim 124.4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[7], 说明随着这些农药的禁用, 环境中的浓度逐渐降低, 在鱼体中的残留也在逐渐减少, 但仍高于 2005 年长江宜昌鱼体中的浓度(平均浓度为 $0.26 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.4 \sim 14.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[8]。乙草胺、三氯杀螨醇、甲基对硫磷、百菌清、丁草胺等六六六和滴滴涕以外的农药在鱼体中的含量以往报道较少。本研究表明, 这些农药有较高的检出率, 值得关注。此外由图 1 可见, 鱼肉中同时检出了 2 ~ 10 种农药, 其中同时检出 3 种以上农药的频率为 95.8%, 多种农药复合污染的情况也值得关注。

不同种类鱼体内农药残留的情况见图 2。从中

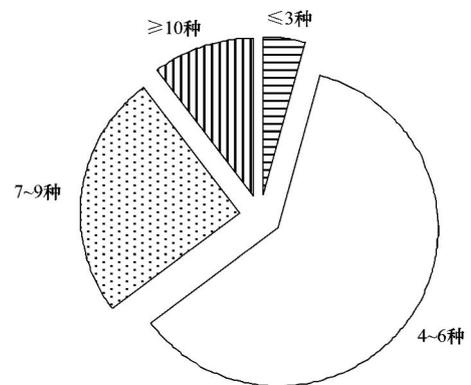


图 1 鱼肉样品检出农药种类情况

Fig. 1 Detected types of pesticides in fish

可以看出, 同种农药在不同鱼类中的含量也有明显的差别。其中 *p,p'*-DDT、2,4-滴丁酯和丁草胺在鲫鱼中的含量明显高于其它鱼体中的含量; 而溴氰菊酯和马拉硫磷等在草鱼体内含量最高; 林丹、百菌清和乐果等农药只在鲢鱼体中检出。此外, 百菌清在 4 种鱼体中均随着鱼重量的增大而增加, 有可能是在鱼的生长过程中持续从环境中摄入而引起的。

2.4 食用鱼中农药的健康风险评价

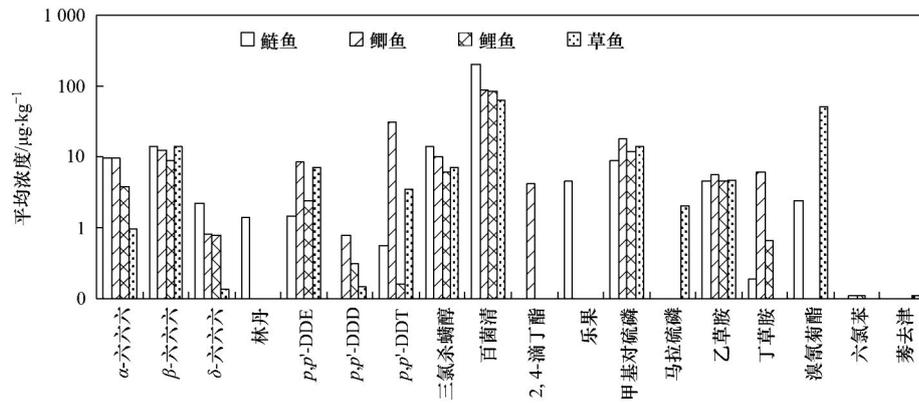


图 2 不同鱼类中农药平均浓度水平

Fig. 2 Comparison of average concentrations of pesticides in different kind fish

目前有关市场上销售的食用鱼的风险评价报道并不多,考虑到农药种类繁多,本研究采用美国 EPA 推荐的风险商方法进行风险定量^[22]. 针对鱼肉中的农药残留数据,运用 Oracle Crystal Ball 软件,拟合出食用鱼中各种农药的分布模型和 Median 值^[23~25],并按每个成年人(70 kg)每天食用鱼 30 g 计算出单种农药的风险商($q = \text{Median} \times 30 \text{ g}/70 \text{ kg}/\text{NOAEL}$),见表 4. 其中, q 为单种农药的风险商,Median 为农药的中值浓度,NOAEL 为农药的无影响作用浓度^[26].

根据风险商计算食用鱼中农药的健康风险 ($\sum_{i=1-20} q_i$) 为 0.043 43. 从结果可以看出,通过食

用鱼摄入的目标农药的健康风险远小于 0.1,属于低风险水平^[22]. 按风险商对 4 种鱼类中的 20 种农药进行风险排序:六六六 > 甲基对硫磷 > 溴氰菊酯 > 滴滴涕 > 乐果 > 林丹 > 三氯杀螨醇 > 乙草胺 > 六氯苯 > 2,4-丁酯 > 丁草胺 > 百菌清 > 马拉硫磷 > 莠去津 > 七氯、敌敌畏、毒死蜱、对硫磷、久效磷、仲丁威. 排在前面的农药为风险大的农药,应该加强日常监控. 从结果可以看出,六六六、甲基对硫磷和滴滴涕等虽然已经禁用,但是环境中的残留仍然很高,导致风险较高;而溴氰菊酯和乐果等现在仍在使用的农药的风险今后值得关注.

表 4 食用鱼中 20 种农药的风险商¹⁾

Table 4 Risk quotient of 20 kinds of pesticides in fish

农药名称	NOAEL 值 ²⁾ / $\mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$	分布模型	Median 值	风险商
六氯苯	0.8	Logistic	0.11	0.000 058 93
滴滴涕	0.5	Lognormal	3.2	0.002 743
林丹	0.3	Exponential	0.31	0.000 442 8
六六六	0.3	Lognormal	13.77	0.019 67
马拉硫磷	20	Exponential	0.42	0.000 009
乐果	0.2	Exponential	0.85	0.001 821
溴氰菊酯	10	Gamma	0.18	0.007 714
百菌清	15	Lognormal	0.45	0.000 012 86
甲基对硫磷	0.25	Beta	6.07	0.010 40
莠去津	35	Exponential	0.08	0.000 000 979 6
三氯杀螨醇	8.2	Beta	7.85	0.000 410 3
乙草胺	20	Lognormal	4.09	0.000 087 64
2,4-滴滴涕	10	Exponential	0.78	0.000 033 43
丁草胺	5	Lognormal	0.27	0.000 023 14

1) 七氯、敌敌畏、对硫磷、毒死蜱、仲丁威和久效磷的风险商均为 0; 2) 六六六的 NOAEL 按林丹计算,丁草胺的 NOAEL 按 ADI 值计算,2,4-滴滴涕的 NOAEL 按 10 估算

3 结论

(1) 北京主要水产品市场上所售的 4 种主要食用鱼类中均有农药残留检出. 七氯、 o,p' -DDT、敌

敌畏、对硫磷、毒死蜱、仲丁威和久效磷等 7 种农药在各种鱼体中未检出,而其它 18 种农药均有检出,其中乙草胺、 β -六六六、三氯杀螨醇、 p,p' -DDE、甲基对硫磷、 p,p' -DDT 和百菌清的检出率较

高. 鱼体中百菌清、溴氰菊酯、*p,p'*-DDT 和 α -六六六含量最高. 鱼体中的农药也存在多种农药共存的情况. 对照不同体重、不同种类鱼体中农药残留数据,发现不同农药在不同种类鱼体内的残留有明显差异.

(2)从整体上看,目前北京市民通过食用鱼摄入农药的健康风险较低,食用鱼中风险较大的农药为六六六、甲基对硫磷、溴氰菊酯、滴滴涕和乐果等. 今后应关注食用鱼养殖过程中使用的农药的污染问题.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [2] 刘平, 周益奇, 臧利杰. 北京农贸市场 4 种鱼类体内重金属污染调查[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 2062-2068.
- [3] 联合国粮食及农业组织. 渔业统计数据[EB/OL]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/zh>.
- [4] 渔业行业研究报告[R]. 首届全国大宗淡水鱼产业发展峰会会议纪要. 2011.
- [5] Pandit G G, Sahu S K, Sharma S, *et al.* Distribution and fate of persistent organochlorine pesticides in coastal marine environment of Mumbai[J]. Environment International, 2006, **32**(2): 240-243.
- [6] Barber S D, McNally A J, Natàlia G R, *et al.* Exposure to *p,p'*-DDE or dieldrin during the reproductive season alters hepatic CYP expression in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Aquatic Toxicology, 2007, **81**(1): 27-35.
- [7] 窦薇, 赵忠宪. 白洋淀几种不同食性鱼类对六六六、DDT 的富集[J]. 环境科学进展, 1996, **4**(6): 51-56.
- [8] 李荣, 徐进, 甘金华, 等. 长江宜昌江段几种鱼类体中六六六、滴滴涕的残留水平[J]. 长江流域资源与环境, 2008, **17**(Z1): 94-100.
- [9] 陈会波, 谢仲文, 翁蓝玲, 等. 鳊鱼体 DDT、六六六残留量及与养殖环境关系的研究[J]. 汕头科技, 1993, (2): 14-20.
- [10] Smith K M, Sahyoun N R. Fish consumption: recommendations versus advisories, can they be reconciled? [J]. Nutrition Reviews, 2005, **63**(2): 39-46.
- [11] 赵玉琴, 李丽娜, 李建华. 常见拟除虫菊酯和有机磷农药对鱼类的急性及其联合毒性研究[J]. 环境污染与防治, 2008, **30**(11): 53-57.
- [12] Hu J Y, Jin F, Wan Y, *et al.* Trophodynamic behavior of 4-nonylphenol and nonylphenol polyethoxylate in a marine aquatic food web from Bohai Bay, North China: comparison to DDTs [J]. Environmental Science & Technology, 2005, **39**(13): 4801-4807.
- [13] Chen S B, Yu X J, He X Y, *et al.* Simplified pesticide multiresidues analysis in fish by low-temperature cleanup and solid-phase extraction coupled with gas chromatography/mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2009, **113**(4): 1297-1300.
- [14] GB/T 5009.19-2008, 食品中有机氯农药多组分残留量的测定[S].
- [15] 金珍, 林竹光. 气相色谱-负化学离子源/质谱法测定鱼肉中残留农药[J]. 理化检验-化学分册, 2008, **44**(12): 1141-1144.
- [16] 2011-2016 年中国乙草胺行业市场深度调研及投资风险评估报告[R]. 2011.
- [17] 我国农药需求量[EB/OL]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/>.
- [18] 薛南冬, 徐晓白, 刘秀芬. 北京官厅水库中农药类内分泌干扰物分布和来源[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 2081-2086.
- [19] 王益鸣, 王晓华, 胡颖琰, 等. 浙江沿岸海产品中有机氯农药的残留水平[J]. 东海海洋, 2005, **23**(1): 54-64.
- [20] Davies P E. The toxicology and metabolism of chlorothalonil in fish. III. Metabolism, enzymatics and detoxication in *Salmo* spp. and *Galaxias* spp. [J]. Aquatic Toxicology, 1985, **7**(4): 277-299.
- [21] Sayeed I, Parvez S, Pandey S, *et al.* Oxidative stress biomarkers of exposure to deltamethrin in freshwater fish, *Channa punctatus* Bloch[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2003, **56**(2): 295-301.
- [22] USEPA. Appendix E: Risk quotient method and LOCs-risks of metolachlor use to federally listed endangered barton springs salamander[S]. 2007.
- [23] USEPA. Risk assessment guidance for superfund volume I, human health evaluation manual (Part A) [S]. EPA/540/1-89/002 Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1990.
- [24] Lindqvist R, Sylvén S, Vågsholm I. Quantitative microbial risk assessment exemplified by *Staphylococcus aureus* in unripened cheese made from raw milk [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, **78**(1-2): 155-170.
- [25] USEPA [EB/OL]. http://www.epa.gov/oppefed1/ecorisk_tolders/toera_risk.htm.
- [26] Gao R J, Dong J, Zhang W J, *et al.* Dietary risk assessment of spinosad in China[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2007, **49**(1): 31-42.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人