

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第12期

Vol.35 No.12

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

北京雾霾天气生物气溶胶浓度和粒径特征	高敏,仇天雷,贾瑞志,韩梅琳,宋渊,王旭明(4415)
杭州大气颗粒物散射消光特性及霾天气污染特征	徐昶,叶辉,沈建东,孙鸿良,洪盛茂,焦荔,黄侃(4422)
太原市采暖季 PM _{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价	李丽娟,温彦平,彭林,白慧玲,刘凤娴,史美鲜(4431)
成都市城区 PM _{2.5} 中二次水溶性无机离子污染特征	李友平,周洪,张智胜,王启元,罗磊(4439)
北京市臭氧的时空分布特征	王占山,李云婷,陈添,张大伟,孙峰,孙瑞雯,董欣,孙乃迪,潘丽波(4446)
南京北郊大气 VOCs 变化特征及来源解析	安俊琳,朱彬,王红磊,杨辉(4454)
祁连山中段降水化学的环境意义研究	李宗杰,李宗省,田青,宋玲玲,贾冰,郭瑞,宋耀选,苏索南,韩春坛(4465)
中亚热带典型林分不同层次氮硫湿沉降动态变化	孙涛,马明,王定勇,黄礼昕(4475)
本底大气 CO ₂ 观测分析过程中 QA/QC 方法的建立与评估	刘立新,周凌晔,夏玲君,王红阳,方双喜(4482)
轻型汽油车 CH ₄ 和 N ₂ O 排放因子研究	何立强,宋敬浩,胡京南,解淑霞,祖雷(4489)
煤燃烧超细微粒粒径谱演变及排放因子的实验研究	孙在,杨文俊,谢小芳,陈秋方,蔡志良(4495)
春、夏季长江口及其邻近海域溶解 N ₂ O 的分布和海-气交换通量	王岚,张桂玲,孙明爽,任景玲(4502)
珠江口水体组分的吸收特性分析	王珊珊,王永波,扶卿华,尹斌,李云梅(4511)
河流汇合处水体磷素形态特征及紫外光照的影响:以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江交汇为例	闫金龙,江韬,魏世强,李玲,郭念,李璐璐,刘江(4522)
基于太湖微囊藻毒素的叶绿素 a 阈值研究	魏代春,苏婧,纪丹凤,伏小勇,王骥,霍守亮,崔驰飞,唐军,席北斗(4530)
百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征	冯源嵩,林陶,杨庆媛(4537)
自然光照对淹水条件下三峡库区消落带典型土壤磷释放影响	郭念,江韬,魏世强,闫金龙,梁俭,卢松,高洁(4544)
垂直流人工湿地 LDHs 覆膜改性沸石基质强化除磷效果及其机制	张翔凌,陈俊杰,郭露,陈巧珍,王晓晓(4553)
三峡库区消落带 3 种植物淹水后汞的动态变化及其对水体的影响	张翔,张成,孙荣国,王定勇(4560)
纳米 TiO ₂ 对底泥中汞释放及活化的影响	张金洋,李楚娴,王定勇,周雄,孙荣国,张成,梁丽(4567)
首都水源地——洋河流域人为源多环芳烃(PAHs)排放清单估算及其影响分析	高佳佳,罗维,奚晓霞(4573)
石化工业园区有毒废水来源识别研究	杨茜,于茵,周岳溪,陈学民,伏小勇,王淼(4582)
污水处理厂中红霉素抗药性基因的污染特征及选择性因子	李侃竹,吴立乐,黄圣琳,何势,刘振鸿,薛罡,高品(4589)
2 种填料 BAF 深度处理印染废水沿程污染物变化规律研究	刘俊峰,范举红,刘锐,陈吕军,张永明(4596)
硫酸盐还原型甲烷厌氧氧化菌群驯化及其群落特征	席婧茹,刘素琴,李琳,刘俊新(4602)
MBR 处理腈纶废水的效能及微生物群落结构分析	魏健,宋永会,赵乐(4610)
制革废水的厌氧氨氧化 ABR 脱氮工艺研究	曾国驱,贾晓珊(4618)
生物滤池工艺的数值模拟与运行优化	邹宗森,施汉昌,陈向强,谢小青(4627)
气升装置对厌氧氨氧化污泥形态及性能的影响	李祥,黄勇,袁怡,周呈,陈宗短,张大林(4636)
给水厂污泥改良生物滞留填料除磷效果的研究	王建军,李田,张颖(4642)
北京地区不同城镇污水处理厂堆肥污泥的营养含量和重金属污染	白莉萍,齐洪涛,伏亚萍,李萍(4648)
电子垃圾拆解区污染池塘中鱼类多氯联苯及其代谢产物的组织分配及暴露风险	唐斌,罗孝俊,曾艳红,麦碧娴(4655)
广东罗非鱼养殖区水体和鱼体中重金属、HCHs、DDTs 含量及风险评价	谢文平,朱新平,郑光明,马丽莎(4663)
崇明典型水生生物中雌激素含量和分布特征	耿婧婧,叶爱丽,杨毅,刘敏,张婧,周俊良(4671)
啮虫脒光催化降解动力学的优化及其降解产物的分析	周文常,阳海,胡志斌,兰世林(4678)
氮添加对生长季寒温带针叶林土壤有效氮和酸化的影响	陈高起,傅瓦利,罗亚晨,高文龙,李胜功,杨浩(4686)
土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响	李鉴霖,江长胜,郝庆菊(4695)
上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析	唐冬,毛亮,支月娥,张进忠,周培,柴晓彤(4705)
某铅酸蓄电池污染场地表层土壤重金属 Pb 空间分布预测研究	刘庚,牛俊杰,张朝,赵鑫,郭观林(4712)
海泡石对镉-铅复合污染钝化修复效应及其土壤环境质量影响研究	孙约兵,王朋超,徐应明,孙扬,秦旭,赵立杰,王林,梁学峰(4720)
盐碱区不同开发年限水田温室气体排放规律及影响因素	汤洁,方天儒,侯克怡,赵仁竹,梁爽(4727)
不同热解温度生物炭对 Cd(II) 的吸附特性	王震宇,刘国成,Monica Xing,李锋民,郑浩(4735)
碱土金属钙沉积对 Mn-Ce/TiO ₂ 低温 SCR 催化剂脱硝性能的影响	周爱奕,毛华峰,盛重义,谭月,杨柳(4745)
国内外水泥工业大气污染物排放标准比较研究	江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4752)
我国水泥工业大气污染物排放标准的修订历程与思考	江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4759)
《环境科学》第35卷(2014年)总目录	(4767)
《环境科学》征订启事(4617) 《环境科学》征稿简则(4654) 信息(4474, 4529, 4536, 4744)	

崇明典型水生生物中雌激素含量和分布特征

耿婧婧¹, 叶爱丽¹, 杨毅^{1,2*}, 刘敏¹, 张婧², 周俊良²

(1. 华东师范大学资源与环境科学学院, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 2. 华东师范大学河口与海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 采用超高效液相色谱串联质谱系统(UHPLC-MS²)检测崇明岛9种典型水生生物体中5种典型雌激素的含量, 包括雌酮(E1)、雌二醇(E2)、雌三醇(E3)、炔雌醇(E2)和双酚A(BPA), 并探讨其分布特征, 进行初步健康风险评估。结果表明, 9种典型水生生物中雌激素总量(以dw计)为1.1~7.38 ng·g⁻¹, 平均为4.25 ng·g⁻¹。雌激素脂肪含量(以lw计)在5.01~83.41 ng·g⁻¹之间, 平均值为40.75 ng·g⁻¹。雌激素脂肪含量水平表现为鱼类>虾类>蟹类。鱼类和蟹类, 虾类之间雌激素脂肪含量差异性显著, 蟹类和虾类之间不存在显著差异性。从检出率和检出含量看, 甾醇类雌激素(E1、E2、E3和E2)的残留明显低于酚类雌激素(BPA)。E1、E2、E3和E2的检出率小于66.67%, 平均干重含量为0.17~0.69 ng·g⁻¹, 而BPA的检出率高达100%, 检出的平均干重含量为2.60 ng·g⁻¹。健康风险评估结果表明, 崇明岛水产品中雌激素对健康影响不大。

关键词: 崇明岛; 水生生物; 雌激素; 含量; 健康风险评估

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)12-4671-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.12.034

Concentration and Distribution Characteristics of Estrogen in Aquatic Organism from Chongming Island

GENG Jing-jing¹, YE Ai-li¹, YANG Yi^{1,2}, LIU Min¹, ZHANG Jing², ZHOU Jun-liang²

(1. Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, College of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Five typical estrogens, including estrone (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3), 17 α -ethynyl estradiol (EE2) and bisphenol A (BPA), were simultaneously determined in typical aquatic organisms from Chongming Island by ultrahigh-performance liquid chromatography equipped with tandem mass spectrometry (UHPLC-MS²). The distribution pattern of estrogens was studied and preliminary health risk assessment was discussed. The results showed that the total dry weight concentrations of estrogens were from 1.1 ng·g⁻¹ to 7.38 ng·g⁻¹ with a mean of 4.25 ng·g⁻¹. The lipid content-standardized estrogens concentrations were in the range of 5.01-83.41 ng·g⁻¹ with a mean of 40.75 ng·g⁻¹, showing a descending order of fish > shrimp > crab. Fish and crab, fish and shrimp showed a significant difference in lipid content-standardized estrogen concentrations, whereas no significant difference was found between crab and shrimp. Compared to BPA, the dry weight concentrations of steroids (E1, E2, E3 and EE2) were found at lower levels (0.17-0.69 ng·g⁻¹) with lower detection frequency (<66.67%) in aquatic organisms from Chongming Island. In contrast, the detection rate of BPA reached 100%, and the average dry weight concentration detected was 2.60 ng·g⁻¹. The results of health risk assessment showed the concentration of estrogens in aquatic products from Chongming Island could not cause any adverse population-level effects.

Key words: Chongming Island; aquatic organism; estrogen; concentration; assessment of healthy risk

雌激素是一类具有类雌激素效应的环境内分泌干扰物(EDCs)。研究表明, EDCs 尤其是甾醇类和酚类激素物质, 会对野生动物和人类的生长发育, 特别是内分泌、生殖和免疫系统造成不良影响^[1, 2]。甾醇类雌激素主要包括动物体内天然存在的雌酮(E1)、雌二醇(E2)和雌三醇(E3), 以及口服避孕药的主要成分的炔雌醇(EE2)。酚类雌激素中的BPA是重要的有机化工原料, 已被证实具有雌激素活性^[3, 4], 且在环境中被广泛检出, 因此也备受关注^[5, 6]。

近年来, 雌激素已在水体、沉积物及污泥中广泛检出, 但有关雌激素在水产品中的污染特征及健康风险评估的报道则较少^[7-9]。

崇明岛是我国第三大岛, 位于长江流域和东部沿海地区“T”字形格局的交汇点, 是上海市最具潜在战略意义的发展空间之一, 已被上海市政府

收稿日期: 2014-05-20; 修订日期: 2014-07-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271473, 41130525, 40901256); 中央高校基本科研业务费专项

作者简介: 耿婧婧(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境新型污染物, E-mail: gengj213@yeah.net

* 通讯联系人, E-mail: yyang@geo.ecun.edu.cn

列入“建设现代综合性生态岛”的规划^[10]。崇明岛地理位置得天独厚,渔业资源丰富,但少有关于崇明岛水生生物中雌激素含量水平及雌激素健康风险的研究。

因此,本研究采集了崇明岛 9 种典型水生动物样品,采用本课题组前期建立的同时检测鱼肉中甾醇和酚类雌激素的方法^[11],检测生物样品中 5 种典型雌激素(E1、E2、E3、EE2 和 BPA),分析其含量和分布特征,并对比不同生物种类对雌激素富集能力的差异,最后对该区域水生生物中雌激素含量进行初步健康风险评估。

1 材料与方法

1.1 标样和实验仪器

雌酮(Estrone, E1, 纯度 >99%)、雌二醇(17 β -estradiol, E2, 纯度 >96.8%)、雌三醇(Estriol, E3, 纯度 >99%)、决雌醇(17 α -ethynyl estradiol, EE2, 纯度 >99%)、双酚 A(Bisphenol A, BPA, 纯度 >99%)、双酚 A 同位素标记物(Bisphenol A-d₁₆, BPA-d₁₆, 纯度 >99%)和雌二醇同位素标记物(17 β -estradiol-d₂, E2-d₂, 纯度 >99%)均购于德国 Dr. Ehrenstrofer GmbH 公司。

萃取仪器为 ASE350(购于美国 Dionex 公司);

检测仪器为超高效液相色谱串联质谱系统(UHPLC-MS²)主要包括一个 Waters AcquityTM系统与 Waters 三重四极杆串联质谱(英国 Waters 公司生产)在线连接。分析中所用的色谱柱规格为 HSS T3(2.1 × 100 mm, 1.7 μ m 颗粒大小)。

1.2 样品采集与保存

于 2012 年 9 月采集崇明岛(121°09'30" ~ 121°54'00"E, 31°27'00" ~ 31°51'15"N)的鱼、蟹和虾共计 9 种生物样品,所采集样品于 -24℃ 冰箱保存。具体信息见表 1。样品的基本生态特征信息如下。

鲈鱼:为常见的经济鱼类,常在中国沿海以及通海的淡水水体中养殖,尤以黄海、渤海较多。主要以鱼、虾类为食,属于肉食性鱼类。

鲫鱼:个体较小,为淡水经济型食用鱼类,广泛分布在全国各地。食性杂,以植物为主,兼食小虾、蚯蚓、昆虫和幼螺等动物性食料。

蟹:通常为杂食性,有些为食肉性,少数则刮食或滤食藻类及有机碎屑。

断脊口虾蛄:喜栖于浅水泥沙或礁石裂缝内,多捕食小型无脊椎动物。

脊尾白虾:生活于浅海或河口附近泥沙底,食性杂而广,动植物及有机碎屑均能摄取。脊尾白虾长到 5 cm 以上一般只需 2 ~ 3 个月,生产周期短。

表 1 崇明动物样品信息

Table 1 Information of animal samples on Chongming Island

生物种类	性别	体长/cm	数量/只	脂肪含量/%
鲈鱼(<i>Micropterus salmoides</i>)	—	23.5	2	3.15
鲫鱼(<i>Carassius cuvieri</i>)	—	13.5	2	4.73
无齿相手蟹(<i>Sesarma dehaani</i>)	雌	—	25	10.46
	雄	—	25	9.65
中华绒螯蟹(<i>Eriocheir sinensis</i> Milne-Edwards)	雌	—	20	22.03
	雄	—	20	38.92
三疣梭子蟹(<i>Portunus trituberculatus</i>)	雌	—	8	12.81
	雄	—	9	12.16
中华虎头蟹(<i>Orithyiasinica</i>)	—	—	4	16.32
天津厚蟹(<i>Helicetients inensis</i>)	—	—	5	20.14
断脊口虾蛄(<i>Oratosquilla interrupta</i>)	—	—	>25	8.44
脊尾白虾(<i>Palaemon carinicauda holthuis</i>)	—	—	>25	7.85

1.3 样品前处理

所有样品取食用部分(鱼类取鱼腹部肌肉,蟹取蟹黄和蟹肉,虾取虾仁)绞碎后置于 -24℃ 冰箱冷冻 48 h,然后冷冻干燥 72 h。干样品研磨成粉末后用铝箔包裹放入自封袋中,置于干燥皿中避光、密封保存。样品杜绝与塑料制品接触。

称取 1.5 g 样品,设置 3 个平行样,加入适量的石英砂混合分散后装入 ASE 萃取池(不锈钢, 33

mL)。ASE 萃取池由下至上依次填充:玻璃纤维滤膜、石英砂、氧化铝、玻璃纤维滤膜、样品和石英砂。ASE 萃取采用甲醇-乙腈混合溶液(1:1, 体积比),在 60℃ 下静态萃取 5 min,循环 3 次,默认压强为 1 500 psi,加热 5 min,氮气吹扫 120 s。萃取液(大约 40 mL)经 40℃ 旋转蒸发浓缩至 5 mL 后,放入 -24℃ 冰箱冷冻 24 h 进行过滤去脂。在过滤后的萃取液中再加入 10 mL 正己烷,剧烈振荡混合 1 min。静

置分层,弃去上层正己烷,再加入 10 mL 正己烷,重复一次正己烷去脂,将净化后的萃取液转移至 5 mL 带刻度的玻璃试管中,在 40℃ 下氮吹至近干. 干残留用 1 mL 乙腈-水(1:1,体积比)溶解,经 0.22 μm 聚醚砜滤膜过滤,上仪器 UHPLC-MS² 检测^[11].

样品中脂肪含量的测定参照文献[12],称取约 2 g 干生物样品,用 ASE 350 提取脂肪,温度 125℃,加热 5 min,静态萃取 6 min,萃取循环 3 次. 萃取液在恒重的梨形瓶(重 m_1)中旋转蒸发至干,放烘箱(103 ± 2)℃ 干燥 1 h,放干燥器冷却至室温称重(m_2). 脂肪含量 = $(m_2 - m_1)/2 \text{ g} \times 100$.

1.4 仪器分析

超高效液相色谱串联质谱系统(UHPLC-MS²)主要包括 Waters Acquity™ 系统与三重四极杆串联

质谱(英国 Waters 公司生产)在线连接. 分析中所用的色谱柱规格为 HSS T3(2.1 × 100 mm, 1.7 μm). 流动相 A 为乙腈-甲醇(1:2,体积比),流动相 B 则为超纯水,进样体积为 4 μL. 梯度洗脱程序如表 2 所示,每个样品总的分析时间为 10 min,其中包括 2min 的柱子冲洗和恢复至初始流动相条件的平衡时间. 分析过程中设置柱温 40℃,流速 0.4 mL·min⁻¹. 样品随流动相经色谱系统中流出组分经 Z 喷雾-电子喷雾离子化,然后在多反应监测(MRM)模式下进行分析. 本研究所有目标化合物的分析均采用负离子模式 $[M-H]^-$. 去溶剂气(N₂)的流速是 800 L·h⁻¹,温度是 500℃. 撞击气体(Ar)的流速是 0.17 mL·min⁻¹,毛细管电压是 2.8 V.

表 2 超高效液相色谱的梯度洗脱程序
Table 2 UHPLC gradient elution program

项目	0 min	7.6 min	8 min	9 min	10 min
流动相 A/%	45	50	100	45	45
流动相 B/%	55	50	0	55	55

本方法保证目标污染物在 5、50 和 100 ng·g⁻¹ 加标水平的平均回收率在 71.2% ~ 108% 的范围内,且平行样的相对标准偏差小于 16%. 方法检测限(以 dw 计)为 0.04 ~ 0.08 ng·g⁻¹,方法定量限 0.07 ~ 0.27 ng·g⁻¹,且目标污染物在空白样品中均未检出.

2 结果与讨论

2.1 雌激素的总量分布特征

样品中雌激素含量如图 1 所示,在所采集的崇明岛生物样品中,雌激素总量(以 dw 计)在 1.10 ~ 7.38 ng·g⁻¹ 范围内,平均值为 4.25 ng·g⁻¹. 鱼类雌激素平均含量为 3.05 ng·g⁻¹,蟹类为 4.91 ng·g⁻¹,虾类为 2.79 ng·g⁻¹. 含量大小依次为,蟹类 > 鱼类 > 虾类.

由于本研究中所采集样品的生物种类不同,生长阶段也不尽相同,而 Geyer 等^[13]认为脂肪含量可综合反映生物的种类、体重、体长、年龄、遗传背景等生物因素. 故利用脂肪所占质量分数将雌激素干重含量换算为雌激素脂肪量标准化含量(雌激素脂肪量标准化含量 = 雌激素干重含量/脂肪所占质量分数),如图 2 所示. 样品中雌激素脂肪量标准化含量在 5.01 ~ 83.41 ng·g⁻¹ 范围内,平均值为 40.75 ng·g⁻¹. 其中,鱼类雌激素脂肪量标准化含量平均为

78.51 ng·g⁻¹,蟹类为 32.95 ng·g⁻¹,虾类为 34.18 ng·g⁻¹. 对鱼和蟹类样品中的雌激素脂肪量标准化含量进行 *t* 检验,发现鱼类和蟹类样品之间雌激素脂肪量标准化含量存在显著差异性($P < 0.01$, $n = 10$),同样,对鱼类和虾类样品中的雌激素脂肪量标准化含量进行 *t* 检验,发现鱼类和虾类样品之间雌激素脂肪量标准化含量也存在显著差异性($P < 0.05$, $n = 4$). 这可能是因为不同的生物种类由于其生活习性不同导致其对污染物的富集能力也有所不同. Liu 等^[14]也认为生物体内雌激素含量可能与其生活习惯和食性等有关. 对蟹类和虾类样品中的雌激素脂肪量标准化含量进行 *t* 检验,未发现蟹类和虾类中雌激素脂肪量标准化含量间的显著差异性. 这可能与蟹类和虾类都属于底栖生物,生活习性相近有关.

比较 3 种水生生物体内雌激素脂肪量标准化含量发现鱼类样品中雌激素脂肪量标准化含量水平明显高于蟹类和虾类样品中雌激素脂肪量标准化含量水平. 这可能与鱼类(鲈鱼和鲫鱼)处于较高的营养级有关,通过食物链在生物体内富集是污染物进入生物体的一个重要途径,鱼类(鲈鱼和鲫鱼)处于食物链的较高等级,污染物易在其体内富集. 本研究的鱼类样品中,鲈鱼中雌激素脂肪量标准化含量(83.41 ng·g⁻¹)高于鲫鱼中雌激素脂

肪量标准化含量 ($73.61 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$), 这与鱼类的食性有很大关系, 鲈鱼为肉食性鱼类, 鲫鱼为杂食性鱼类, 肉食性鱼类的饵料中的小鱼体内的污染物含量可能相当高^[15, 16], 这可能是导致鲈鱼体内雌激素脂肪量标准化含量高于鲫鱼体内雌激素脂肪量标准化含量的原因。

雌激素为脂溶性化合物, 进入水生生物体内容易在脂肪中囤积, 对本研究中脂肪含量与雌激素干重含量进行 Pearson 相关分析, 发现雌激素干重含量和脂肪含量之间相关关系并不明显 ($P > 0.05$)。由于本研究中采集的样品生物种类不同, 生长阶段也不尽相同, 个体差异较大, 这可能是导致雌激素干重含量与脂肪含量间相关关系不明显的原因。

对蟹类中雌性和雄性蟹中的雌激素干重含量进行 t 检验, 发现雌雄个体之间雌激素含量显著性差异不明显 ($P > 0.05$), 其中天然雌激素 (E1、E2 和 E3) 的总量出现雌性显著低于雄性的情况 (见图 1), 这可能是因为采样期正好是所采集生物的繁殖期或临近繁殖期, 雌性体内雌激素大量消耗, 导致雌性体内天然雌激素含量低于雄性体内天然雌激素含量, 雌性和雄性蟹中的雌激素干重含量没有显著性差异的原因。

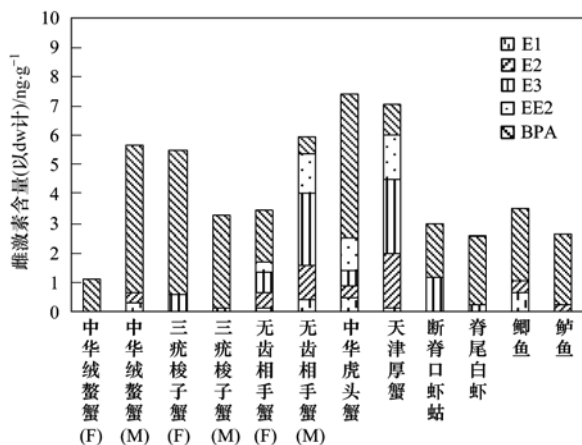


图 1 样品中雌激素含量

Fig. 1 Concentrations of target estrogens in samples

2.2 单种雌激素含量的分布特征

从检出率和检出含量看, 甾醇类雌激素 (E1、E2、E3 和 EE2) 的残留明显低于酚类雌激素 (BPA)。E1、E2、E3 和 EE2 的检出率在 66.67% 以内, 检出平均含量 (以 dw 计) 在 $0.17 \sim 0.69 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 范围内。而 BPA 的检出率高达 100%, 检出平均含量为 $2.60 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。Liu 等^[14] 在云南滇池野生鱼类体内也发现甾醇类雌激素 (E1、E2、E3 和 EE2) 含量远

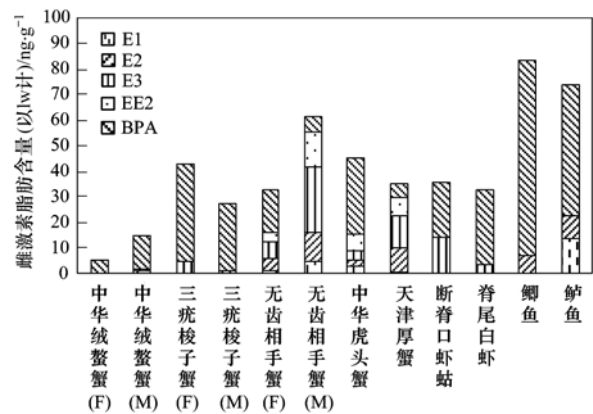


图 2 样品中雌激素含量

Fig. 2 Concentrations of target estrogens in samples

小于酚类雌激素 (BPA 等)。

甾醇类雌激素中 E1、E2、E3 和 EE2 的检出率分别为 50%、58.33%、66.67% 和 33.33%, 检出的含量范围 (以 dw 计) 分别为 $\text{ND} \sim 0.63 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{ND} \sim 1.91 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $\text{ND} \sim 0.251 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $\text{ND} \sim 1.48 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中, EE2 的检出率最低为 33.33%, 且平均值为 $0.36 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 小于 E3 ($0.69 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$) 和 E2 ($0.42 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)。而 Liu 等^[14] 及 Lai 等^[17] 在滇池样品中发现的鱼类对 EE2 的富集能力高于其他甾醇类雌激素, 本研究则发现 EE2 的含量处于较低水平, 这可能与崇明地区 EE2 较少的输入有关。

对于天然雌激素而言, 本研究的生物体样品中 E1、E2 和 E3 含量 (以 dw 计) 的中值分别为: 0.05、0.29 和 $0.38 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值分别为: 0.17、0.42 和 $0.69 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 均小于 $1 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 这很可能是鱼体内天然的血源性雌激素的正常水平。同时 Liu 等^[18] 也发现云南水产研究所饲养的高背鲫鱼幼苗的鱼肉中雌激素 E1 和 E3 未检出, E2 含量 (以 dw 计) 为 $1.02 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 并认为是天然存在于鱼体内的甾醇类雌激素。

同时, 在天然甾醇类雌激素中, 对 E2 和 E3 含量进行 Pearson 相关分析发现, 研究区水生生物体中 E2 和 E3 含量显著相关 ($P < 0.01$)。这是由于生物体对 E2 的代谢可产生 E3, 因此表现出 E2 与 E3 含量的相关关系, 进一步证明了其血源性的来源。

BPA 在所有样品中均有检出, 含量范围 (以 dw 计) 为 $0.57 \sim 4.96 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 $2.60 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 中值为 $2.36 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。徐英江等^[19] 在烟台市场的 80 个水产品中发现 BPA 最高可达 $20.3 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 但 Zou 等^[20] 在青岛市场的鱼和虾中未检测出 BPA。Basheer 等^[21] 针对新加坡一超市里的海产品 (包括

对虾、蟹和海鱼)进行雌激素含量检测,发现蟹中的 BPA 含量较高为 $213\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$. Pojana 等^[22]的研究发现地中海贝类中只含有 E2 和 NP 两种污染物.本研究中崇明地区生物体内 BPA 含量小于烟台市场水产品和新加坡超市海产品中的含量,大于青岛市场的鱼和虾以及地中海的海贝类中的含量,处于中等水平.

3 健康风险评价

本研究采用雌激素每日允许摄入量 ADI [acceptable daily intake, 以体重计, $\text{ng}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$] 或参考剂量 RfD [reference dose, 以体重计, $\text{ng}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$] 作为健康风险评估基准(如表 3),将其与居民实际每日通过食用水产品摄入的雌激素 EDI [estimated daily intake, 以体重计, $\text{ng}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$, 公式(1)]对比来衡量食用水产品摄入的雌激素的健康风险 HR [health risk, 公式(2)]^[23].

由于目前尚无雌酮(E1)、雌三醇(E3)和炔雌醇(E2)的每日允许摄入量(ADI)或参考剂量(RfD)的规定,因此引入“雌二醇当量 ADI”.其中, E1、E3 和 E2 的雌二醇当量因子分别为 0.241、0.00591 和 1.25^[24],雌二醇当量 ADI 按照公式(3)计算.各雌激素的雌二醇当量因子(EEF)均来自 Beck 等^[24]基于体外酵母菌雌激素测评实验(YES)

中获得的半数有效浓度(EC50).

$$\text{EDI} = c \times M/\text{BW} \tag{1}$$

$$\text{HR} = \text{EDI}/\text{雌二醇当量 ADI} \tag{2}$$

$$\text{雌二醇当量}(i) = \text{ADI}(\text{E2})/\text{EEF}(i) \tag{3}$$

式中, c :水产品中雌激素湿重含量($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$); BW: 体重(kg); M :每天水产品食用量(以湿重计, $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$); 雌二醇当量(i):雌激素 i 的雌二醇当量; EEF(i):雌激素 i 的雌二醇当量因子.

表 3 雌激素的风险评估基准¹⁾

Table 3 Benchmark of risk assessment for estrogens		
化合物	(雌二醇当量) ADI/RfD (以体重计) / $\text{ng}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	文献
E1	$2.075\text{E}+03$	[24]
E2	$5.000\text{E}+01$	[25]
E3	$8.460\text{E}+03$	[24]
EE2	$4.000\text{E}+01$	[24]
BPA	$5.000\text{E}+04$	[26]

1)取范围中的最高值

2009 年上海市居民淡水鱼消费量(以湿重计,下同)为 $21.78\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,甲壳类消费量为 $28.43\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[27],本研究中鲈鱼和鲫鱼属于淡水鱼类,蟹和虾属于甲壳类.将雌激素干重含量换算为湿重含量,按照居民体重 60 kg ^[23, 28],根据公式(1)计算居民每天通过食用水产品摄入的雌激素的量 EDI.按公式(3)计算通过食用水产品摄入的雌激素存在的健康风险 HR^[23].计算结果如表 4 所示.

表 4 每日摄入的雌激素量 EDI 和健康风险 HR

Table 4 Estimated daily intake and health risk of estrogens via consumption of aquatic product						
项目	水产品类别	E1	E2	E3	EE2	BPA
EDI	淡水鱼	0.03	0.03	—	—	0.21
	甲壳类	0.02	0.07	0.13	0.07	0.40
HR	淡水鱼	$1.40\text{E}-04$	$5.80\text{E}-04$	—	—	$4.22\text{E}-06$
	甲壳类	$1.05\text{E}-04$	$1.34\text{E}-03$	$1.48\text{E}-05$	$1.67\text{E}-03$	$7.98\text{E}-06$

1)EDI 单位:以体重计, $\text{ng}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$

由表 4 可知,崇明岛淡水鱼类和甲壳类水产品中各雌激素(E1、E2、E3、EE2 和 BPA)对居民的健康风险 HR 的值都远小于 1,摄入量 EDI 与 ADI 相差均在 3 个数量级以上,可见通过食入崇明岛的淡水鱼类和甲壳类水产品摄入的雌激素量不足以对人体产生健康风险影响.

但本研究中没有分年龄段考虑健康风险,不同年龄段的人群对水产品消费量不同^[27],且水产品中还会含有 PCBs、DDT、HCH、PBDEs 以及 HBCDD 等其他污染物^[29~31],人体也会通过其他途径暴露于雌激素污染物,会增加水产品食用的健康风险.此

外,雌激素的协同作用,雌激素与其它物质的累加效应以及雌激素的中介效用等也是不容忽视的^[32~35].

4 结论

(1) 使用同时检测生物体中甾醇类和酚类雌激素的方法,检测崇明岛生物样品雌激素总含量(以 dw 计)在 $1.10\sim7.37\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 范围内,平均值为 $4.21\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 雌激素脂肪量标准化含量在 $5.01\sim83.41\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间,平均值为 $40.75\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,其中鱼类平均雌激素脂肪量标准化含量最大,其次为虾类,最小为蟹类.

(2) 甾醇类雌激素(E1、E2、E3 和 EE2)的残留量明显低于酚类雌激素(BPA)的残留量. 甾醇类雌激素中 E1、E2 和 E3 干重含量较低,平均值均小于 $1 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$,可认为是生物体内血源性雌激素. 人工合成的 EE2 的干重含量和检出率低于天然雌激素(E2 和 E3). 而酚类雌激素 BPA 的干重含量($0.57 \sim 4.96 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)与已有研究相比,处于中等水平.

(3) 对崇明水生生物中雌激素进行健康风险评估,发现崇明岛生物样品中雌激素含量水平低,不足以形成健康风险. 但雌激素的协同作用、雌激素与其它物质的累加效应以及雌激素的中介效用等,势必会增加食用水产品中雌激素的健康风险.

参考文献:

- [1] Colborn T, Vom Saal F S, Soto A M. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1993, **101** (5): 378-384.
- [2] Tsutsumi O. Assessment of human contamination of estrogenic endocrine-disrupting chemicals and their risk for human reproduction [J]. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, **93**(2-5): 325-330.
- [3] Hu J Y, Aizawa T, Ookubo S. Products of aqueous chlorination of Bisphenol A and their estrogenic activity [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(9): 1980-1987.
- [4] 李惠云. 双酚 A 对鲫鱼 (*Carassius auratus*) 肝脏生殖相关基因表达和血清性激素水平的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
- [5] Chang H, Wan Y, Hu J Y. Determination and source apportionment of five classes of steroid hormones in urban rivers [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43** (20): 7691-7698.
- [6] Fan Z L, Hu J Y, An W, *et al.* Detection and occurrence of chlorinated byproducts of Bisphenol A, Nonylphenol, and estrogens in drinking water of China; Comparison to the parent compounds [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47** (19): 10841-10850.
- [7] Ying G G, Kookana R S, Ru Y J. Occurrence and fate of hormone steroids in the environment [J]. *Environment International*, 2002, **28**(6): 545-551.
- [8] Hamid H, Eskicioglu C. Fate of estrogenic hormones in wastewater and sludge treatment: A review of properties and analytical detection techniques in sludge matrix [J]. *Water Research*, 2012, **46**(18): 5813-5833.
- [9] Sumpter J P, Jobling S. The occurrence, causes, and consequences of estrogens in the aquatic environment [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2013, **32** (2): 249-251.
- [10] 孙超, 陈振楼, 毕春娟, 等. 上海市崇明岛农田土壤重金属的环境质量评价 [J]. *地理学报*, 2009, **64**(5): 619-628.
- [11] Ye A L, Yang Y, Zhang J, *et al.* Simultaneous determination of steroidal and phenolic endocrine disrupting chemicals in fish by ultra-high-performance liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry [J]. *Journal of Chromatography A*, 2013, **1278**: 126-132.
- [12] GB/T 9695. 7-2008, 肉与肉制品总脂肪含量测定 [S].
- [13] Geyer H J, Rimkus G G, Scheunert I, *et al.* Bioaccumulation and occurrence of endocrine-disrupting chemicals (EDCs), persistent organic pollutants (POPs), and other organic compounds in fish and other organisms including humans [A]. In: *The Handbook of Environmental Chemistry. Bioaccumulation-New Aspects and Developments* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 1-166.
- [14] Liu J L, Wang R M, Huang B, *et al.* Distribution and bioaccumulation of steroidal and phenolic endocrine disrupting chemicals in wild fish species from Dianchi Lake, China [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(10): 2815-2822.
- [15] Cheung K C, Leung H M, Kong K Y, *et al.* Residual levels of DDTs and PAHs in freshwater and marine fish from Hong Kong markets and their health risk assessment [J]. *Chemosphere*, 2007, **66**(3): 460-468.
- [16] Arvanitoyannis I S, Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2008, **43**(4): 726-745.
- [17] Lai K M, Scrimshaw M D, Lester J N. Prediction of the bioaccumulation factors and body burden of natural and synthetic estrogens in aquatic organisms in the river systems [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, **289**(1-3): 159-168.
- [18] Liu J L, Wang R M, Huang B, *et al.* Biological effects and bioaccumulation of steroidal and phenolic endocrine disrupting chemicals in high-back crucian carp exposed to wastewater treatment plant effluents [J]. *Environmental Pollution*, 2012, **162**: 325-331.
- [19] 徐英江, 田秀慧, 张秀珍, 等. 超高效液相色谱串联质谱法对水产品中 8 种雌激素的测定 [J]. *分析测试学报*, 2010, **29** (2): 152-156.
- [20] Zou L, Lin H, Jiang J. Determination of β -estradiol residues in fish/shellfish muscle by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2007, **35** (7): 983-987.
- [21] Basheer C, Lee H K, Tan k S. Endocrine disrupting alkylphenols and bisphenol-A in coastal waters and supermarket seafood from Singapore [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, **48** (11-12): 1161-1167.
- [22] Pojana G, Gomiero A, Jonkers N, *et al.* Natural and synthetic endocrine disrupting compounds (EDCs) in water, sediment and biota of a coastal lagoon [J]. *Environmental International*, 2007, **33**(7): 929-936.
- [23] Wei X, Huang Y Q, Wong M H, *et al.* Assessment of risk to humans of bisphenol A in marine and freshwater fish from Pearl River Delta, China [J]. *Chemosphere*, 2011, **85** (1): 122-128.

- [24] Beck I C, Bruhn R, Gandrass J. Analysis of estrogenic activity in coastal surface waters of the Baltic Sea using the yeast estrogen screen [J]. *Chemosphere*, 2006, **63**(11): 1870-1878.
- [25] JECFA. 食品 和家畜中的一部分兽药残 [EB/OL]. <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-vetdrugs/details.html?substance=322>.
- [26] US Environmental Protection Agency (USEPA), 2013, Bisphenol A. (CASRN 80-05-7) [EB/OL]. <http://www.epa.gov/iris/subst/0356.htm>.
- [27] 吴春峰, 刘弘, 秦璐昕, 等. 上海市居民食用水产品的镉暴露水平概率评估 [J]. *环境与职业医学*, 2013, **30**(2): 93-97.
- [28] Dickman M D, Leung K M C. Mercury and organochlorine exposure from fish consumption in Hong Kong [J]. *Chemosphere*, 1998, **37**(5): 991-1015.
- [29] Yu Y X, Li C L, Zhang X L, *et al.* Route-specific daily uptake of organochlorine pesticides in food, dust, and air by Shanghai residents, China [J]. *Environment International*, 2012, **50**: 31-37.
- [30] Su G Y, Liu X H, Gao Z S, *et al.* Dietary intake of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) from fish and meat by residents of Nanjing, China [J]. *Environment International*, 2012, **42**: 138-143.
- [31] Qiu Y L, Strid A, Bignert A, *et al.* Chlorinated and brominated organic contaminants in fish from Shanghai markets: A case study of human exposure [J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(4): 458-466.
- [32] Schmidt S, Degen G H, Seibel J, *et al.* Hormonal activity of combinations of genistein, bisphenol A and 17 β -estradiol in the female Wistar rat [J]. *Archives of Toxicology*, 2006, **80**(12): 839-845.
- [33] Xiao Y, Liu R, Xing L, *et al.* Combined developmental toxicity of bisphenol A and genistein in micromass cultures of rat embryonic limb bud and midbrain cells [J]. *Toxicology in Vitro*, 2011, **25**(1): 153-159.
- [34] Hvidtfeldt U A, Gunter M J, Lange T, *et al.* Quantifying mediating effects of endogenous estrogen and insulin in the relation between obesity, alcohol consumption, and breast cancer [J]. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 2012, **21**(7): 1203-1212.
- [35] 王娟. 环境雌激素联合作用的体内外实验研究 [D]. 成都: 四川大学, 2005.

CONTENTS

Concentration and Size Distribution of Bioaerosols at Non-haze and Haze Days in Beijing	GAO Min, QIU Tian-lei, JIA Rui-zhi, <i>et al.</i> (4415)
Light Scattering Extinction Properties of Atmospheric Particle and Pollution Characteristics in Hazy Weather in Hangzhou	XU Chang, YE Hui, SHEN Jian-dong, <i>et al.</i> (4422)
Characteristic of Elements in PM _{2.5} and Health Risk Assessment of Heavy Metals During Heating Season in Taiyuan	LI Li-juan, WEN Yan-ping, PENG Lin, <i>et al.</i> (4431)
Pollution Characteristics of Secondary Water-soluble Inorganic Ions of PM _{2.5} in Urban Chengdu, China	LI You-ping, ZHOU Hong, ZHANG Zhi-sheng, <i>et al.</i> (4439)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Ozone in Beijing	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, CHEN Tian, <i>et al.</i> (4446)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Northern Suburb of Nanjing	AN Jun-lin, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4454)
Environmental Significance of Wet Deposition Composition in the Central Qilian Mountains, China	LI Zong-jie, LI Zong-xing, TIAN Qing, <i>et al.</i> (4465)
Dynamics of Nitrogen and Sulfur Wet Deposition in Typical Forest Stand at Different Spatial Levels in Simian Mountain, Mid-subtropical Region	SUN Tao, MA Ming, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4475)
Establishment and Assessment of QA/QC Method for Sampling and Analysis of Atmosphere Background CO ₂	LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (4482)
An Investigation of the CH ₄ and N ₂ O Emission Factors of Light-duty Gasoline Vehicles	HE Li-qiang, SONG Jing-hao, HU Jing-nan, <i>et al.</i> (4489)
Experimental Study on the Size Spectra and Emission Factor of Ultrafine Particle from Coal Combustion	SUN Zai, YANG Wen-jun, XIE Xiao-fang, <i>et al.</i> (4495)
Distributions and Air-Sea Fluxes of Dissolved Nitrous Oxide in the Yangtze River Estuary and Its Adjacent Marine Area in Spring and Summer	WANG Lan, ZHANG Gui-ling, SUN Ming-shuang, <i>et al.</i> (4502)
Spectral Absorption Properties of the Water Constituents in the Estuary of Zhujiang River	WANG Shan-shan, WANG Yong-bo, FU Qing-hua, <i>et al.</i> (4511)
Characteristics of Phosphorus Forms and the Effects of UV Light in the Confluences Water of Qujiang-Jialing River and Fujiang-Jialing River	YAN Jin-long, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4522)
Research on the Threshold of Chl-a in Lake Taihu Based on Microcystins	WEI Dai-chun, SU Jing, JI Dan-feng, <i>et al.</i> (4530)
Temporal and Spatial Characteristic of Nitrogen and Phosphorus Output in the Suburb Watershed Around the Baihua Lake	FENG Yuan-song, LIN Tao, YANG Qing-yuan (4537)
Effects of Light Irradiation on Phosphorous Releases from Typical Submerged Soils of Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoirs Areas	GUO Nian, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4544)
Analysis on the Removal Efficiency and Mechanisms of Phosphorus by Modified Zeolites Substrates Coated with LDHs Reacted by Different Metal Compounds in Laboratory-Scale Vertical-Flow Constructed Wetlands	ZHANG Xiang-ling, CHEN Jun-jie, GUO Lu, <i>et al.</i> (4553)
Mercury Dynamics of Several Plants Collected from the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area During Flooding and Its Impact on Water Body	ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (4560)
Effect of Nano-TiO ₂ on the Release and Activation of Mercury in Sediment	ZHANG Jin-yang, LI Chu-xian, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4567)
Estimation Inventory of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Anthropogenic Sources and Its Impacts within the Yanghe Watershed, an Important Water-Source Site of Beijing, China	GAO Jia-jia, LUO Wei, XI Xiao-xia (4573)
Source Identification of Toxic Wastewaters in a Petrochemical Industrial Park	YANG Qian, YU Yin, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (4582)
Investigation of Pollution Characteristics of Erythromycin Resistance Genes in a Sewage Treatment Plant and the Relevant Selective Factors	LI Kan-zhu, WU Li-le, HUANG Sheng-lin, <i>et al.</i> (4589)
Variation of Pollutants Along the Height of Two Media BAF During Advanced Treatment of Dyeing Wastewater	LIU Jun-feng, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4596)
Acclimatization and Characteristics of Microbial Community in Sulphate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XI Jing-ru, LIU Su-qin, LI Lin, <i>et al.</i> (4602)
Capability and Microbial Community Analysis of a Membrane Bioreactor for Acrylic Fiber Wastewater Treatment	WEI Jian, SONG Yong-hui, ZHAO Le (4610)
Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX ABR Process in Tannery Wastewater Treatment	ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan (4618)
Numerical Simulation and Operation Optimization of Biological Filter	ZOU Zong-sen, SHI Han-chang, CHEN Xiang-qiang, <i>et al.</i> (4627)
Effect of Gas-lift Device on the Morphology and Performance of ANAMMOX Sludge	LI Xiang, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4636)
Water Treatment Residual as a Bioretention Media Amendment for Phosphorus Removal	WANG Jian-jun, LI Tian, ZHANG Ying (4642)
Nutrient Contents and Heavy Metal Pollutions in Composted Sewage Sludge from Different Municipal Wastewater Treatment Plants in Beijing Region	BAI Li-ping, QI Hong-tao, FU Ya-ping, <i>et al.</i> (4648)
Polychlorinated Biphenyls and Their Methylsulfonyl Metabolites in Fish from an Electronic Waste Recycling Site in South China: Tissue Distribution and Human Dietary Exposure	TANG Bin, LUO Xiao-jun, ZENG Yan-hong, <i>et al.</i> (4655)
Residues and Health Risk Assessment of HCHs, DDTs and Heavy Metals in Water and <i>Tilapia</i> s from Fish Ponds of Guangdong	XIE Wen-ping, ZHU Xin-ping, ZHENG Guang-ming, <i>et al.</i> (4663)
Concentration and Distribution Characteristics of Estrogen in Aquatic Organism from Chongming Island	GENG Jing-jing, YE Ai-li, YANG Yi, <i>et al.</i> (4671)
Photocatalytic Degradation of Acetamidiprid by TiO ₂ and Xe Lamp: Kinetics and Degradation Intermediates	ZHOU Wen-chang, YANG Hai, HU Zhi-bin, <i>et al.</i> (4678)
Effects of Nitrogen Addition on Available Nitrogen Content and Acidification in Cold-temperate Coniferous Forest Soil in the Growing Season	CHEN Gao-qi, FU Wa-li, LUO Ya-chen, <i>et al.</i> (4686)
Impact of Land Use Type on Stability and Organic Carbon of Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Jian-lin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4695)
Investigation and Canonical Correspondence Analysis of Salinity Contents in Secondary Salinization Greenhouse Soils in Shanghai Suburb	TANG Dong, MAO Liang, ZHI Yue-e, <i>et al.</i> (4705)
Spatial Distribution Prediction of Surface Soil Pb in a Battery Contaminated Site	LIU Geng, NIU Jun-jie, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (4712)
Immobilization Remediation of Cd and Pb Contaminated Soil: Remediation Potential and Soil Environmental Quality	SUN Yue-bing, WANG Peng-chao, XU Ying-ming, <i>et al.</i> (4720)
Rules and Impact Factors of Greenhouse Gases Emission in the Saline-Alkali Paddy Fields in Different Years	TANG Jie, FANG Tian-ru, HOU Ke-yi, <i>et al.</i> (4727)
Adsorption of Cd(II) Varies with Biochars Derived at Different Pyrolysis Temperatures	WANG Zhen-yu, LIU Guo-cheng, Monica Xing, <i>et al.</i> (4735)
Poisoning Effect of Ca Depositing Over Mn-Ce/TiO ₂ Catalyst for Low-temperature Selective Catalytic Reduction of NO by NH ₃	ZHOU Ai-yi, MAO Hua-feng, SHENG Zhong-yi, <i>et al.</i> (4745)
A Comparative Study on Domestic and Foreign Emission Standards of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4752)
Revision Process and Thinking of Emission Standard of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4759)

《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)

2014年12月15日 第35卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 12 Dec. 15, 2014

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