

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究 谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)

长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用 苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)

北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究 徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)

上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究 张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)

青岛市大气PM_{2.5}元素组成及来源研究 李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)

冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究 王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)

再悬浮装置在大气PM_{2.5}源谱分析中的应用 段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)

黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究 魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)

三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探 蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)

香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析 王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)

臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响 陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)

托木尔峰青冰滩72号冰川径流水化学特征初步研究 赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)

五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究 张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)

7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律 卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)

巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性 李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)

北运河系地表水近10年来水质变化及影响因素分析 郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)

东莞运河排涝对东江河水水质影响分析 孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)

北京平原区地下水污染源识别与危害性分级 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)

地下水曝气修复过程的三维数值模拟 李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)

垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究 邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)

新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究 高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)

营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响 齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)

水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究 傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)

酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征 迟杰,杨青(1570)

电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究 刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)

青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析 李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)

四溴双酚A的辐照降解研究 李杰,徐殿斗,马玲玲,吴明红(1587)

污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究 王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)

高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响 李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)

城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成NDMA的影响因素研究 尚晓玲,李咏梅(1604)

利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究 沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)

好氧污泥颗粒化过程中Zeta电位与EPS的变化特性 王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓娟,竺建荣(1614)

活性污泥对病毒的生物吸附特性 周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)

阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律 邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)

两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征 李婷,孟昭福,张斌(1632)

表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响 张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)

南京市4个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析 葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)

焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能 陈春,李文英,吴静文,李静(1652)

Xanthobacter flavus DT8降解二噁英的特性研究 金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)

未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)

矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究 赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)

长江中游干流及22条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险 李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)

典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)

闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究 陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)

三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价 王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)

典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险 邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许政英(1700)

密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价 高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,季宏兵(1707)

湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性 杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)

基于GIS的某训练场土壤重金属污染评价 刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)

土壤质地和湿度对SVE技术修复苯污染土壤的影响 刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)

蒙脱土、高岭土和针铁矿对DNA吸附与解吸特征 王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)

LNAPL在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究 潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)

亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征 董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)

蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究 任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)

固定化微生物技术修复PAHs污染土壤的研究进展 钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)

《环境科学》征订启事(1483) 《环境科学》征稿简则(1620) 信息(1490,1496,1586,1743)

7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律

卢少勇¹, 远野^{1,2}, 金相灿^{1*}, 焦伟¹, 吴瑶洁¹, 任德有¹, 周羽化¹, 陈雷²

(1. 中国环境科学研究院湖泊工程技术中心, 湖泊环境研究中心, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012;
2. 吉林建筑工程学院环境工程系, 长春 130021)

摘要: 2009年9月采集7条主要环太湖河流沿程37个断面的沉积物样, 测定了表层沉积物中总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)和有机氮(ON)含量, 揭示分布特征, 旨在为太湖水体富营养化防治提供基础数据. 结果表明, 这些表层沉积物TN平均1303.49 mg·kg⁻¹, 最大和最小值分别在社渚港和长兜港; NH₄⁺-N和ON的空间分布与TN基本一致, 其平均含量分别为221.57 mg·kg⁻¹和1095.71 mg·kg⁻¹, 各沉积物中NO₃⁻-N含量较低, 均不足TN的1%, 平均含量0.79 mg·kg⁻¹. 7条河流沉积物整体上以ON为主, NH₄⁺-N为无机氮主要存在形式, 多数河流表层沉积物氮含量沿程变化明显.

关键词: 太湖; 河流; 沉积物; 氮; 形态; 分布

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1497-06

Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake

LU Shao-yong¹, YUAN Ye^{1,2}, JIN Xiang-can¹, JIAO Wei¹, WU Yao-jie¹, REN De-you¹, ZHOU Yu-hua¹, CHEN Lei²

(1. State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Centre of Lake Environment, Engineering and Technology Centre of Lake, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Department of Environment Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: Totally 37 surface sediments were sampled from the different sections of 7 main rivers around Taihu Lake at September 2009. The contents of total nitrogen, ammonia nitrogen, and nitrate nitrogen in these samples had been determined, and the nitrogen speciation distribution in sediments of the rivers had been analyzed. Aim of this study was to provide basic information for prevention and control of the eutrophication of Taihu Lake. The obtained results showed that the average content of total nitrogen was 1303.49 mg·kg⁻¹, with the highest value occurred at Shedugang River and lowest value at Changdougang River, respectively. Ammonia nitrogen and organic nitrogen in sediments had a similar distribution with total nitrogen. Ammonia nitrogen accounted for 17% of the total nitrogen with the average content of 221.57 mg·kg⁻¹, and organic nitrogen accounted for 84.06%, with the average content of 1095.71 mg·kg⁻¹. However, nitrate nitrogen content in the sediments was relatively low, accounting for not more than 1% of total nitrogen. Generally, the nitrogen distribution in sediments of the investigated rivers was characterized by the fact of organic nitrogen was the main form and inorganic nitrogen was dominated by ammonia nitrogen. The nitrogen contents in most river sediments changed significantly with the distance to river source, reflecting different pollution characteristics.

Key words: Taihu Lake; rivers; sediments; nitrogen; speciation; distribution

太湖流域境内河网纵横, 河道总长 1.2×10^5 km, 平均每 1 km² 河长 3.2 km. 目前流域水体水质以 V 类和劣 V 类为主, 水体污染超标率平均 82%^[1,2]. 研究表明, 太湖污染物入湖量主要经河流输入, 在 2007 年无锡饮用水事件后, 经政府、科学家和人民多方努力, 河流水质有一定改善, 但水、沉积物间的交换、干湿沉降等仍会使湖水中氮含量居高难下^[3]. 沉积物是河流氮的主要归宿之一; 沉积物中污染物释放对河流水质的影响是一个研究热点^[4,5]. 在水-沉积物系统中, 氮形态包括有机氮(ON)、氨氮(NH₄⁺-N)和硝氮(NO₃⁻-N). 高浓度 NH₄⁺-N 对水生生物会产生胁迫^[6,7]. 以往对太湖湖体沉积物中氮空间分布的研究较多^[8,9], 但河流沉

积物污染报道较少, 入湖河流水环境综合治理是太湖富营养化防治的重要内容. 本研究以环太湖 7 条河流表层沉积物为对象, 测定其 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 ON 含量, 揭示表层沉积物氮形态分布, 以期为太湖富营养化防治提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 河流概况

参考江苏省编制的《太湖流域主要入湖河流水

收稿日期: 2011-06-01; 修订日期: 2011-11-15

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-001, 2009ZX07101-009); 国家高新技术研究发展计划(863)项目(2005AA60101005)

作者简介: 卢少勇(1976~), 男, 博士, 主要研究方向为研究方向为水污染防治与水环境生态修复.

* 通讯联系人, E-mail: jinxiangcan2004@163.com

环境综合整治规划》,选择望虞河、直湖港、太滬南运河、社渚港作为对象;兼顾均匀布点,重点考虑水量及重要功能,增选合溪新港、长兜港和太浦河,各河简况如下。

望虞河:位于苏州和无锡市交界处,南起太湖沙墩港口、向北穿京杭大运河、漕湖、鹅真荡于常熟市耿泾口入长江,全长 60.8 km。太湖泄洪入江归海和“引江济太”的骨干河道,年均入湖水量 $13.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

直湖港:东濒锡西水网地区,西连武进港,南接梅梁湖,北通江南运河,介于无锡、常州两市交界处,直湖港起点为江南运河至胡埭镇间江口,全长 20.13 km,直湖港流向常年绝大部分时间由北向南,平均流速 $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,平均流量 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,属闸控河流。

太滬南运河:位于宜兴市北部,属洮、滬、太水系,源于滬湖,由西向东流,沿途与武宜运河和横塘河相交,途经宜兴市和桥、万石、周铁三镇,在周铁镇竺山圩入太湖,是洮滬水系主要行洪河之一,属市级河道,全长 20.3 km。

社渚港:以武宜运河为界,在地理界限上分为东、西社渚港,西起滬湖,经宜兴市高滕、圻亭入武宜运河,从交汇处向南偏西约 3 km 后向东经宜兴经济开发区、新庄入太湖,全长 25.7 km。东、西社渚港河底宽 10~30 m、高程 0.5 m(吴淞高程),年均径流量 $0.948 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

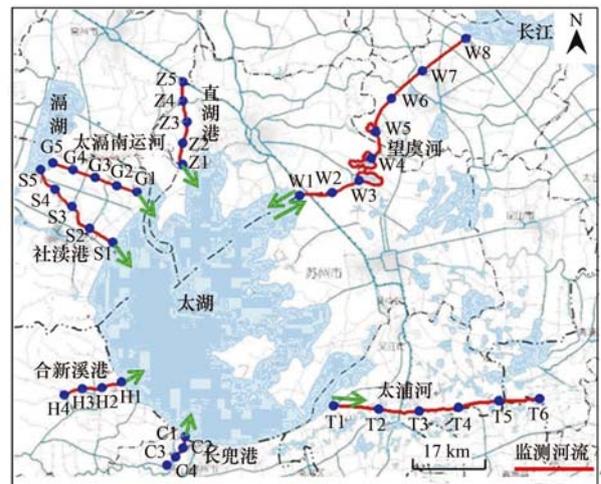
合溪新港:苕溪水系源于天目山,分东、西两支,两支流蜿蜒曲折长达 150 km,流经安吉、德清、长兴三县至湖州市杭长桥汇合。汇合后,入太湖段河道为合新溪港,全长 18 km。

长兜港:位于太湖南部,是集泄洪、引水、航运等综合功能为一体的主要入湖河道之一。东、西苕溪在湖州合流后,向北流 15 km,分为数十条港娄,主流由长兜港入太湖。

太浦河:西起江苏省吴江市庙港乡太湖东岸,东至青浦县金泽镇池家港村入上海市境,在练塘镇南大港处与西泖河相接,全长 57.2 km,底宽 110~150 m,面宽 200 m,承泄太湖流域的 2/5 洪涝水量,可通航 60~80 t 级船只。

1.2 采样点位及采样方法

2009 年 9 月,在 7 条河流沿程共设 37 个断面,麦哲伦 315 型定位仪导航定位(见图 1 和表 1)。用彼德森采泥器在同一断面采表层沉积物 4~5 次,去除贝类、枯枝等后现场均匀混合,置聚乙烯袋分装密封。



图中箭头表示水流流向

图 1 沉积物采样点位布置示意

Fig. 1 Locations of sediment sampling sites

表 1 沉积物采样点位描述(2009 年 9 月)

Table 1 Descriptions of sediment sampling sites

编号	河道	湖口点位坐标	水流方向	断面数
1	望虞河	N31°26.814', E120°27.290'	往复河流	8
2	直湖港	N31°30.524', E120°07.434'	入湖河流	5
3	太滬南运河	N31°03.071', E119°57.327'	入湖河流	5
4	社渚港	N31°21.224', E119°56.989'	入湖河流	5
5	合溪新港	N31°03.071', E119°57.327'	入湖河流	4
6	长兜港	N30°56.232', E120°07.927'	入湖河流	4
7	太浦河	N30°59.762', E120°39.011'	出湖河流	6

1.3 样品处理及指标

沉积物样一部分测含水率,用 KCl 提取-钠氏比色法、饱和硫酸钙提取-紫外分光光度法测 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量;另一部分经冷冻干燥后,研磨过 100 目筛,用硒粉、硫酸铜、硫酸消化-蒸馏法测 TN 含量;ON 含量为 TN 与 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 之差,本研究所述含量均相对于干泥(干质量)。

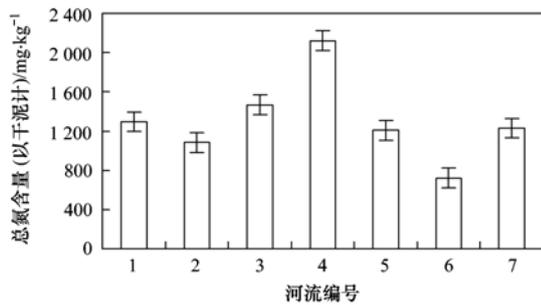
2 结果与分析

2.1 7 条河流表层沉积物中总氮分布

7 条河流表层沉积物中 TN 平均含量 $1303.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 2),各河差异较大,最大值是最小值的近 3 倍,分别在社渚港($2121.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和长兜港($720.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。社渚港流经宜兴市高滕镇、圻亭镇、宜兴经济开发区后入湖,沿途村镇生活污水及工厂废水多入河。现场调查表明某些河段两旁有大片农田,农田径流污染较突出。

2.2 7 条河流表层沉积物中硝氮、氨氮、有机氮分布

7 条河流表层沉积物中 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 ON 含量见图 3,可知, NH_4^+ -N 和 ON 的空间分布与 TN



1. 望虞河; 2. 直湖港; 3. 太滙南运河; 4. 社渚港;
5. 合溪新港; 6. 长兜港; 7. 太浦河, 下同

图2 环太湖7条河流沉积物总氮含量

Fig. 2 Contents of total nitrogen in sediments of 7 rivers around Taihu Lake

基本一致,最大和最小值均在社渚港和长兜港,其平均含量分别为 $1081.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $221.57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别占 TN 的质量分数为 84.06% 和 15.87%. NO_3^- -N 平均含量 $0.79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,仅占 TN 的 0.07%. 可见,这些河流沉积物中氮以 ON 为主,与文献[10,11]一致,其调查发现 ON 常为河流沉积物中的主要氮形态. 本次调查河流表层沉积物中 NO_3^- -N 含量较低,与沉积环境密切相关. 所调查河流平均水深 8 m,表面沉积物厌/缺氧程度较高,氨化和反硝化强烈,硝化强度弱,沉积物中 NH_4^+ -N 不能

大量转为 NO_3^- -N,加之从上覆水向沉积物扩散来的 NO_3^- -N 参与反硝化,导致沉积物中 NO_3^- -N 含量明显低于 NH_4^+ -N^[12,13]. 在沉积物-水界面,各形态氮相互转化. 沉积物中 NH_4^+ -N 来自 ON 矿化,或由厌氧环境下 ON 在细菌参与下转化, NH_4^+ -N 可作为水生生物的直接氮源^[14]. 本研究中 NH_4^+ -N 主要指可交换态 NH_4^+ -N,能直接被初级生产者吸收用于光合作用,并经分子扩散可迅速在溶液介质中迁移,该形态氮对河流及湖泊环境具重要意义^[15~17].

7 条河流沉积物氮以 ON 为主, NH_4^+ -N 为无机氮主要存在形式. 吴丰昌等^[18]认为,有机氮磷是湖泊水体和沉积物中重要组分,可经酶解和微生物活动转化成生物可利用性形式,是湖泊营养物循环和生命过程中的重要环节. 水体中有 12%~72% 的溶解有机氮能迅速被生物利用,而浮游植物吸收的无机氮中有 25%~41% 以溶解有机氮释放^[19]. 目前,内源污染日益受重视,一旦沉积环境改变或沉积物受扰动,沉积物内营养物便可能向上覆水体释放,而望虞河及直湖港中大型船只来往频繁,扰动河道表层沉积物. 综上,本次调查河流沉积物氮具较高释放风险和生物有效性,可见入湖河流环境综合治理对太湖流域水环境和湖体富营养化改善具有重要意义.

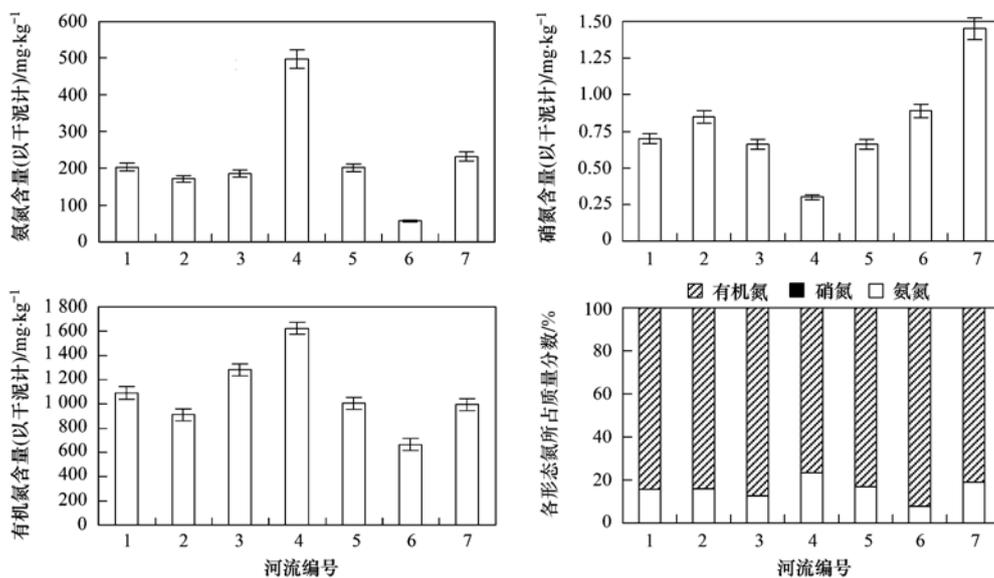


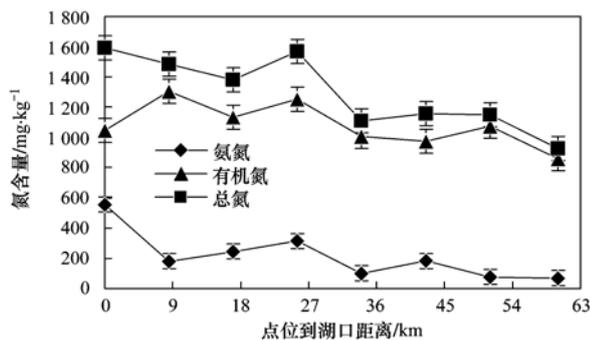
图3 沉积物的氨氮、硝氮和有机氮的平均含量及分布比例

Fig. 3 Average contents and distribution of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and organic nitrogen in sediments of 7 rivers around Taihu Lake

2.3 各河流表层沉积物中氮沿程分布

各河流表层沉积物中氮沿程分布见图 4~10,因沉积物 NO_3^- -N 含量不足 TN 的 1%,此部分只讨论各河 TN、ON 和 NH_4^+ -N 沿程变化. 望虞河表层沉积物中 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 1294.64 、

1078.01 和 $215.93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 TN 和 NH_4^+ -N 最高值在入湖口,ON 最高值在距湖口 9 km 处,总体上氮分布:下游 > 中游 > 上游. 望虞河作为“引江济太”骨干河道,沿途支流众多,但水质普遍较差,多为 V 类和劣 V 类,尤其西岸支流带给望虞河的污染



横坐标 0 表示湖口点位,下同

图 4 望虞河沉积物氮含量

Fig. 4 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Wangyuhe River

重,输入的污染物不断在河中积累,加之河网水利设施和闸控,改变自然水生态系统循环和平衡,水流不畅,污染沉积重^[20,21].

直湖港表层沉积物中 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 1 083.79、911.29 和 171.64 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 TN 和 ON 最高值都在距入湖口 10 km 处, NH_4^+ -N 最高值在距入湖口 15 km 处,整体上氮分布:中游 > 下游 > 上游. 中游氮含量偏高,主要因该河途经无锡市,该市工业发达,排污量大,大部分河道水质劣 V 类^[22,23]. 直湖港是梅梁湾主要入湖河流^[24],尽管减排措施加强,但通常每年夏季梅梁湾藻华频发^[25],沉积物中氮磷经间隙水与上覆水交换^[26],是重要原因之一. 赵兴青等^[27]报道梅梁湾表层沉积物 TN 含量较高,在 1 400 ~ 2 800 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 间,是直湖港沉积物的 1.5 ~ 2.2 倍.

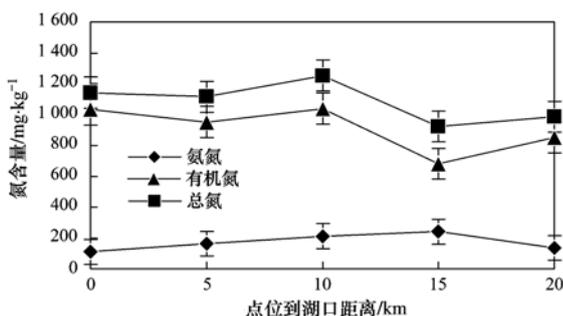


图 5 直湖港沉积物氮含量

Fig. 5 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Zhihugang River

太滬南运河沉积物 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 1 467.86、1 272.92 和 194.32 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,三者最高值均在源头,整体上,氮分布:上游 > 下游 > 中游. 该河是滬湖与太湖竺山湾的主要通道. 吴云波等^[28]指出滬湖周围仍有较多印染、化工企业,湖上游大部分乡镇污水收集系统落后,农业面源污染尚

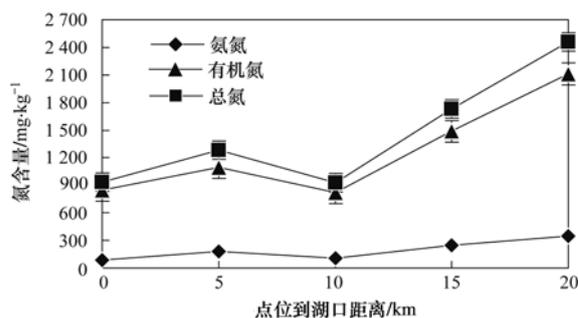


图 6 太滬南运河沉积物氮含量

Fig. 6 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of South-Taigeyunhe river

未有效控制等,是目前滬湖水环境恶化的主要原因^[29].

社渎港沉积物 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 2 121.86、1 583.99 和 537.54 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 TN 和 NH_4^+ -N 含量最大值在源头,ON 最大值在距湖口 12 km 处,整体上氮分布:上游 > 中游 > 下游. 调查表明社渎港中、上游河岸两旁有多家大型化工厂,这是中、上游沉积物氮含量高的主要原因,但距湖口 6 km 处含量剧降,尤其是 TN,虽上游河段沉积物 TN 已达 3 000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但下游沉积物 TN 含量低于 1 000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,可能因该河中、上游段水体自净能力较强. 下游到河口氮含量再呈升势,且在河口处沉积物氮积累,主要因下游周围村落生活污水的排放.

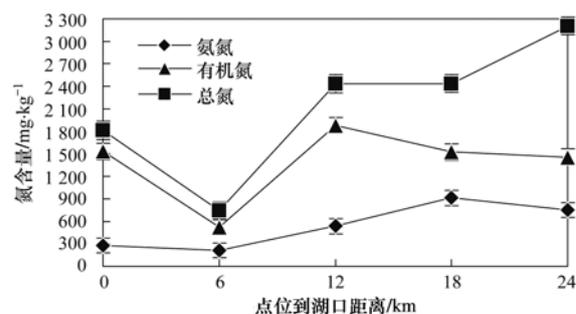


图 7 社渎港沉积物氮含量

Fig. 7 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Shedugang River

合溪新港沉积物 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 1 206.77、988.49 和 217.62 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 TN 和 NH_4^+ -N 最大值在入湖口处,ON 最大值在距湖口 12 km 处,氮含量:下游 > 中游 > 上游. 调查时正值入湖口附近藻华暴发,可能是蓝藻衰亡中产生一些藻团沉入湖底,在该河入湖口处氮含量增加^[30~32].

长兜港沉积物 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 720.74、611.78 和 58.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 TN 和

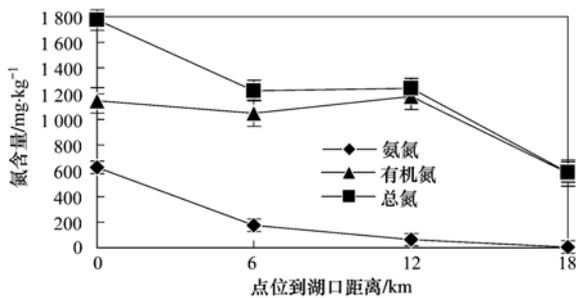


图 8 合新溪港沉积物氮含量

Fig. 8 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Hexixingang River

NH_4^+ -N 最高值在距湖口 10 km 处, ON 最高值在距湖口 5 km 处, 但相对其它河流, 该河沿程沉积物氮含量变化较缓. 长兜港沉积物中氮含量在 7 条河中最低, 因该河底平均淤积厚约 15 cm, 常年风浪扰动较强, 水底悬浮物再悬浮加快沉积物浓度变化^[33], 和整个河道沉积物 TN 含量较低相关.

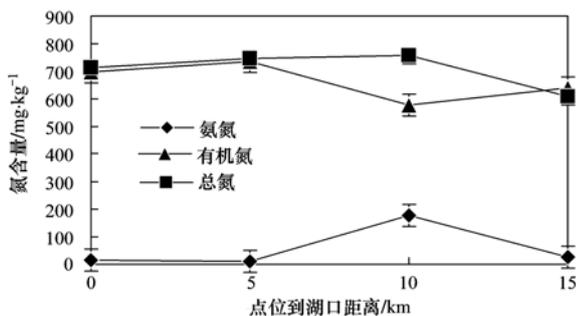


图 9 长兜港沉积物氮含量

Fig. 9 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Changdougang River

太浦河沉积物 TN、ON 和 NH_4^+ -N 平均含量分别为 1228.74、968.65 和 258.51 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中 TN 和 NH_4^+ -N 最高值在距湖口 22 km 处, ON 最高值在距湖口 11 km 处, 整体上氮分布: 中游 > 下游 > 上游. 该河为太湖泄洪的重要通道, 穿越大小湖荡约 20

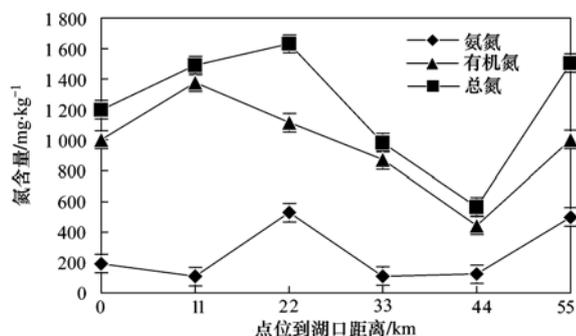


图 10 太浦河沉积物氮含量

Fig. 10 Contents of ammonia nitrogen, organic nitrogen and total nitrogen in sediments of Taipuhe River

个, 途经苏、浙、沪, 在江苏吴江境内污染较重, 主要受沿程两岸污染源直排和支流汇水影响, 随后氮含量呈降势, 但在下游距湖口 55 km 处再升高, 主要因临近上海青浦, 周围居民较多, 带来生活污染.

3 结论

(1) 本次调查的 7 条主要环太湖河流沉积物 TN 平均含量 1303.49 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最大和最小值分别在社渚港和长兜港; NH_4^+ -N 和 ON 的空间分布规律与 TN 基本一致, 其平均含量分别为 221.57 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 1081.53 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 各河沉积物中 NO_3^- -N 含量较低, 均不足 TN 的 1%, 平均含量为 0.79 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

(2) 7 条主要环太湖河流沉积物整体上以 ON 为主, NH_4^+ -N 为无机氮主要部分, 因某些河底沉积物受航运影响扰动较大, 沉积物氮具较高释放风险和生物有效性.

(3) 多数调查河流表层沉积物氮含量沿程变化明显, 其中太浦南运河和社渚港应重点加强源头污染控制, 而望虞河、直湖港及太浦河等仍需采取相应措施控制两岸污染源直排和支流汇水带来的污染负荷.

参考文献:

- [1] 赵来军. 我国湖泊流域跨行政区水环境协同管理研究—以太湖流域为例[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
- [2] 沈建军, 李柏山, 许海洋. 太湖水污染原因分析及治理措施[J]. 环境科学导刊, 2009, 28(2): 27-28.
- [3] 费忠民, 李大鹏, 黄勇. 扰动强化河道底泥对磷滞留能力的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1689-1692.
- [4] Poulenard J, Dorioz J M, Elsass F. Analytical electron-microscopy fractionation of fine and colloidal particulate-phosphorus in riverbed and suspended sediments[J]. Aquatic Geochemistry, 2008, 14(3): 193-210.
- [5] Burger D F, Hamilton D P, Pilditch C A, et al. Benthic nutrient fluxes in a eutrophic, polymictic lake[J]. Hydrobiologia, 2007, 584(1): 13-25.
- [6] 曾巾, 杨柳燕, 肖琳, 等. 太湖不同湖区无机氮转化潜力[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(1): 63-67.
- [7] 田伟君, 郝芳华, 王超, 等. 太湖典型入湖河道中氨氮去除研究[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1138-1141.
- [8] 张路, 范成新, 王建军, 等. 太湖草藻型湖区间隙水理化特性比较[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 556-560.
- [9] 郭建宁, 卢少勇, 金相灿, 等. 低溶解氧状态下河网区不同类型沉积物的氮释放规律[J]. 环境科学学报, 2010, 30(3): 614-620.
- [10] 王帅, 赖子尼, 杨婉玲, 等. 珠江河口表层沉积物有机氮和总氮的分布[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(19): 9081-9083.
- [11] Kempalw A L W, Mudrochovaa A. Distribution and forms of nitrogen in a Lake Ontario sediment core[J]. Lminol and

- Oceanogr, 1972, **17**(6): 855-867.
- [12] 李宝, 丁士明, 范成新, 等. 滇池福保湾间隙水氮磷分布及其与底泥微生物和磷酸酶相互关系[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(4): 420-427.
- [13] 范成新, 杨龙元, 张路. 太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及相互关系分析[J]. 湖泊科学, 2000, **12**(4): 359-366.
- [14] Liu J J, Ye L L, Pan C R, et al. Study on nitrogen forms in Chaohu Lake and Wabu Lake sediments [J]. Agricultural Science & Technology, 2008, **9**(4): 153-156.
- [15] 孟春红, 赵冰. 东湖沉积物中氮磷形态分布的研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(7): 1831-1837.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [17] 古滨河. 美国 Apopka 湖的富营养化及其生态恢复[J]. 湖泊科学, 2005, **17**(1): 1-8
- [18] 吴丰昌, 金相灿, 张润宇, 等. 论有机氮磷在湖泊水环境中的作用和重要性[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(1): 1-7.
- [19] Bronk D A, Clibert P M, Ward B B. Nitrogen uptake, dissolved organic nitrogen release, and new production [J]. Science, 1994, **265**(5180): 1843-1846.
- [20] 夏光平. 望虞河(锡山区)污染负荷研究水量水质模型建立及应用[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [21] 钮锋民. 浅析望虞河清水通道对改善水环境的作用[J]. 水文水资源, 2002, (2): 30-31.
- [22] 袁旭音, 李兵, 许薇薇, 等. 太湖入湖河道沉积物中生物利用磷和营养水平分析[J]. 地学前沿, 2008, **15**(5): 212-218.
- [23] 石亚东. 直湖港水利工程对太湖(梅梁湖)影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [24] Qu W C, Dickman M, Wang S M. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient concentrations in sediments of Taihu Lake, China[J]. Hydrobiologia, 2001, **450**(1-3): 83-89.
- [25] Chen Y W, Fan C X, Teubner K, et al. Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll- α in a large shallow lake, Taihu, China: an 8-year investigation[J]. Hydrobiologia, 2003, **506-509**(1-3): 273-279.
- [26] 孟春红, 赵冰. 东湖沉积物中氮磷形态分布的研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(7): 1831-1837.
- [27] 赵兴青, 杨柳燕, 于振洋, 等. 太湖沉积物理化性质及营养盐的时空变化[J]. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 698-704.
- [28] 吴云波, 郑建平. 漏湖入湖污染物控制对策研究[J]. 环境科技, 2010, **23**(supp.1): 12-19.
- [29] 毛新伟, 徐枫, 徐彬, 等. 太湖水质及富营养化变化趋势分析[J]. 水资源保护, 2009, **25**(1): 48-51.
- [30] 李正魁, 濮培民. 净化湖泊水体氮污染的固定化硝化-反硝化菌研究[J]. 湖泊科学, 2000, **12**(2): 119-123.
- [31] Jobbágy A, Simon J, Plósz B. The impact of oxygen penetration on the estimation of denitrification rates in anoxic processes[J]. Water Research, 2000, **34**(9): 2606-2609.
- [32] Plósz B G, Jobbágy A, Grady C P L Jr. Factors influencing deterioration of denitrification by oxygen entering an anoxic reactor through the surface[J]. Water Research, 2003, **37**(4): 853-863.
- [33] 鲁有铭, 吴培江, 胡金桥. 长兜港入湖口门泥沙淤积成因初探[J]. 浙江水利科技, 2005, (2): 4-6.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorous in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DTS	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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)

2012年5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行