

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)	

百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征

冯源嵩¹, 林陶², 杨庆媛^{3*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 3. 西南大学地理科学学院, 重庆 400716)

摘要: 识别主要污染物与污染源对于贵阳周边流域水质的控制与管理具有重要的现实意义. 于2010年7月~2011年4月连续进行的野外观测实验, 研究了贵阳市重要的水源地百花湖水库周边的麦西河小流域氮、磷流失浓度特征, 以便为贵阳市城市近郊小流域面源污染治理提供参考. 流域有各种源和汇的存在, 导致研究流域在不同时间, 从上游到下游, 各采样点氮输出变化较大. 各采样点水体的不同形态氮含量和磷含量随时间变化总体上仍呈现出一定的规律, 总氮、硝氮以2010年7月较高, 氨氮、亚硝氮和总磷以2010年10月和12月较高. 从上游到下游, 各采样点水体中不同形态氮含量和磷含量差异减少. 在流域下游的河口处, TN含量由 $3.297 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降为 $2.793 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP从 $0.136 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $0.098 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但与中游比较, 变化不明显, 氨氮含量还有所上升. 从流域氮、磷输出时空变化特征来看, 氮素特别是氨氮和硝态氮通过河道径流途径进入百花湖的风险较高. 研究结果可为百花湖周边小流域氮、磷流失治理做参考.

关键词: 百花湖; 近郊小流域; 氮磷流失; 时空特征; 流失治理

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)12-4537-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.12.016

Temporal and Spatial Characteristic of Nitrogen and Phosphorus Output in the Suburb Watershed Around the Baihua Lake

FENG Yuan-song¹, LIN Tao², YANG Qing-yuan³

(1. College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 3. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Identification of the main pollutants and sources has important practical significance for the control and management of water quality in Guiyang's surrounding river areas. Based on the continuous field observation of the experiment from July, 2010 to April, 2011, this paper studies the concentration of nitrogen and phosphorus loss characteristics of Maixi river watershed, which is near to Guiyang's important water source-Baihua Lake reservoir, so as to provide a reference for Guiyang suburban small watershed source pollution control. The existence of various sources and sinks in this river basin makes great changes of nitrogen output in each sample point at different times, from upstream to downstream. Although different forms of nitrogen content and phosphorus content in water at each sampling point changes with time, it still presents a certain regularity on the whole. The total nitrogen and nitrate nitrogen in July 2010 are above normal level, and the ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total phosphorus are at high levels in October 2010 and December. The differences of various forms of nitrogen and phosphorus content in water at each sampling point decrease from upstream to downstream. The content of TN decreases from $3.297 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ to $2.793 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and the content of TP decreases from $0.136 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ to $0.098 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Contrast to the upstream, the nitrogen and phosphorus content in the downstream estuary decreases significantly. But the change is not obvious and the content of ammonia nitrogen rises slightly compared with the middle reaches. From the perspective temporal and spatial variation characteristics of nitrogen and phosphorus output in the basin, the nitrogen, especially ammonia nitrogen and nitrate, has a higher risk of getting into the Baihua Lake by river runoff. The results of the study can provide a reference for the governance of nitrogen and phosphorus loss in the watershed around the Baihua Lake.

Key words: Baihua Lake; suburb watershed; nitrogen and phosphorus loss; temporal and spatial characteristics; river basin management

通过降雨-地表径流途径输入过多的氮素、磷素等养分是引起地表水水体富营养化和水生态系统恶化的重要原因^[1,2], 同时壤中流对N素流失的影响也非常大^[3]. 因此, 识别流域水质特征及其影响因素, 在我国具有紧迫性. 当前研究探讨了人类的农业耕作与流域水质之间的关系^[4], 发现河流水质与流域景观特征显著相关, 景观变量能够解释水质

变异的58%^[5]; 以林地为主要景观斑块类型的小流域水体水质普遍优于以草地为主并夹杂其他用地类型的小流域水体水质^[6]; “源”、“汇”景观类型的

收稿日期: 2014-04-23; 修订日期: 2014-07-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2012CB426506)

作者简介: 冯源嵩(1983~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为国土资源与区域规划, E-mail: gzfengys55555@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yizyang@swu.edu.cn

空间分布格局在非点源污染的形成中起着重要作用^[7],距离因子为这两个村庄氮磷流失风险的重要影响因子^[8]。可以通过对流域景观结构的优化调整,达到对流域景观中养分的有效管理,实现对农业非点源污染的控制^[9]。

城市化是当今土地利用变化影响水质、流域的水文和其他物理特性以及发生潜在非点源污染的突出形式^[10],流域土地利用程度对生态系统服务价值存在负效应^[11]。如发现市桥河流域内非点源污染高负荷区主要集中在农业用地和城镇用地,在2010年对污染负荷总量的贡献率已超过40%,这是近15年来污染负荷总量增加的主要因素^[12];在深圳市,河流缓冲区宽度为100~200 m时,景观变化对水质显著性影响最高^[13]。进一步的研究表明,社会经济因素成为比土地利用类型更重要的水质影响因素,综合考虑土地利用类型及其社会经济特征能更准确地反映其与水质的关系^[14],生活污水和工业废水对水质的影响最大,农业非点源污染次之^[15]。但对城市近郊小流域的氮、磷输出时空特征研究不足。

贵阳市近年城镇扩展迅速^[16],城市化对周边环境的影响也越来越大。因此,识别主要污染物与污染源对于贵阳周边流域水质的控制与管理具有重

要的现实意义,但相关研究却鲜见报道。麦西河是百花湖入湖主要支流之一,其污染物总量浓度对百花湖的水质影响较大,因此,本研究选择了贵阳市重要的水源地——百花湖水库周边的麦西河小流域为研究流域,在2010年7月~2011年4月连续进行了近1年的野外观测实验,采用定位观测与景观格局分析相结合的方法,以考察小流域氮、磷流失浓度特征,揭示流域水体氮磷浓度变化的关键驱动因子,以期能够为有针对性地进行小流域治理,改善流域的生态环境提供理论依据和参考。

1 研究区概况

麦西河流域位于贵州省贵阳市西北部、清镇市东北部,主要为低中槽谷地区,属于季风湿润型气候区,冬暖夏凉,年平均气温13.5~14.5℃,多年来平均降雨量为961.4 mm,多年平均气温14℃,年最大降雨量1158.5 mm,年最小降雨量729.6 mm,年降雨在时间上分布不均匀,主要集中在5~9月,约占全年降雨量的72%。该流域是一个典型的城郊小流域(图1),旱地和水田是流域内两种主要的农业耕作景观,旱坡地由于经常耕作和使用农药化肥,是流域内主要的非点源

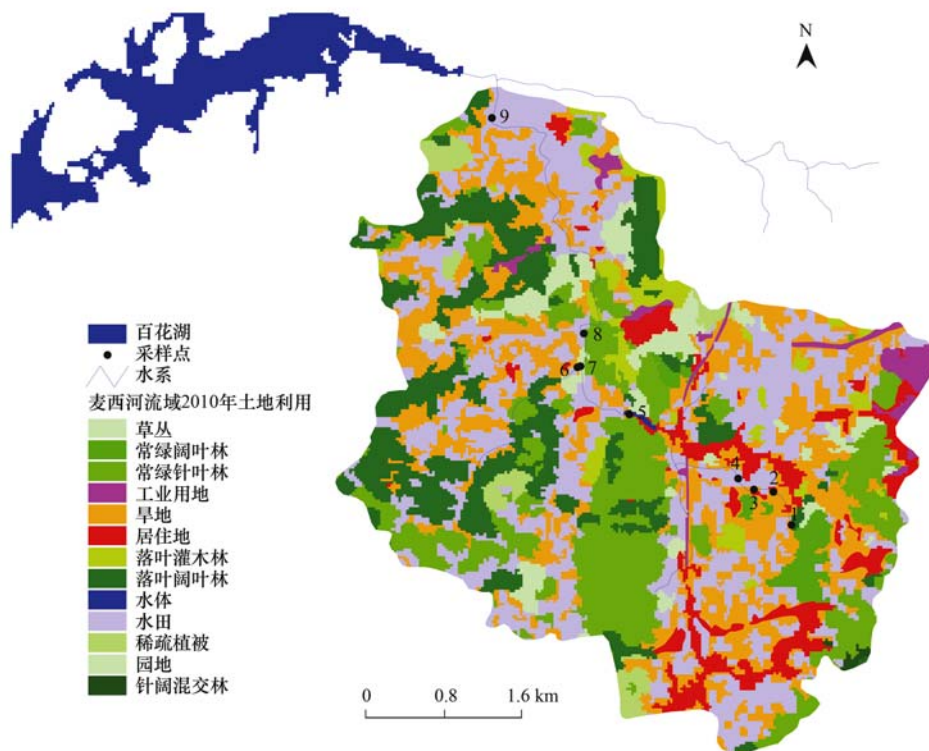


图1 麦西河小流域地理位置、采样点分布及土地利用分类

Fig. 1 Geographical position, the sampling point distribution and land use classification around the Baihua Lake

污染源地. 麦西河流域居民主要为农业人口, 交通条件落后, 农业基础设施薄弱, 经济较为落后. 独特的气候与经济条件也为本区非点源污染的发生提供了强大的动力与基础.

2 研究方法

采用 1:50 000 地形图作为基本地形信息源数据源, 在 ARCGIS 中利用水文模块中对流域进行集水区划分. 根据流域污染源类型, 在流域干流自上而下设 S1、S2 ~ S9 等 9 个采样点 (图 1、表 1), 于 2010 年 7 月 ~ 2011 年 4 月进行水体氮磷含量指标的连续测定, 在每个样点处用稀酸浸泡过蒸馏水洗干净了的 500 mL 聚乙烯瓶采集水样 3 瓶带回实验室, 调节 pH < 2, 保存于 4℃ 冰箱, 并在 24 h 内完成

氮磷测定. TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, TP 采用钼酸铵分光光度法, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 利用国家标准方法测定. 土地利用数据来源于 2010 年 10 m 分辨率的 ALOS 影像, 结合野外实地调查, 解译准确率达 90% 以上, 土地利用分为水田、旱地、居住地和工矿交通用地等 13 种类型 (图 1). 研究期间麦西河小流域降雨量与上游 (采样点 1)、中游 (采样点 7)、下游 (采样点 9) 月平均径流量见图 2. 于 2010 年 9 月在麦西河流域, 共采集 0 ~ 20 cm 土壤样品 40 个, 并进行相应的 GPS 定位, 采用标准方法测定土壤总磷、总氮, 利用 GIS 9.3 中的 Kriging 插值绘图, 在 ArcMap 中将土壤属性的插值图与麦西河流域图叠加, 得到流域土壤总磷、总氮的空间分布.

表 1 各水质采样点的污染源及其河流形态

Table 1 River pollution sources of the sampling point and fluvial morphology			
采样点编号	采样点名称	水体污染源	河流形态
1	中国第六砂轮厂 (六砂) 出水	工业废水	渠道型
2	六砂河道原水	河水	河道
3	六砂汇水	污水、河水混合	河道
4	鱼塘上游河水 (鱼塘上游 1.7 km)	河水	河道
5	鱼塘水 (约 3 hm ² 的鱼塘)	鱼塘	水塘型
6	翁贡村河道原水	河水	河道
7	翁贡村污水	生活污水	渠道
8	翁贡村汇水	污水、河水混合	河道
9	李家冲河道	农业排水和生活污水	河道型

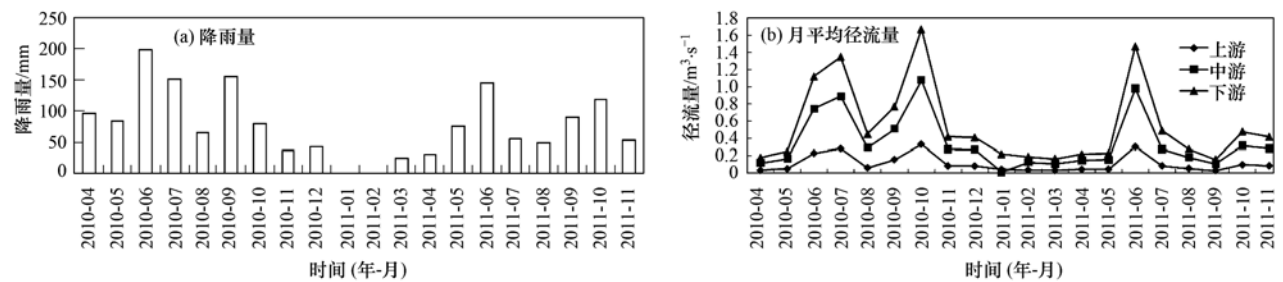


图 2 研究期间麦西河小流域降雨量与月平均径流量

Fig. 2 Rainfall and average monthly runoff of Maixi river watershed during the study period

3 结果与分析

3.1 输出氮、磷的季节变化

尽管研究流域 9 个采样点的水体污染源不同, 各采样点水体的不同形态氮含量和磷含量随时间变化总体上仍呈现出一定的规律. 各样点 TN 以 7 月最高, 其余月份变化相对较小, 2010 年 12 月 ~ 2011 年 3 月以翁贡村污水 TN 相对较高; $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 以 10 月和 12 月水样相对较高, 以翁贡村污水 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$

相对较高, 以鱼塘上游河水最低, 2011 年 3 月各采样点的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 差别最大; 各样点 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 以 7 月最高, 9 月相对较低, 到 2011 年 4 月缓慢增加, 以靠近上游的河水相对较高; 各样点 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 以 2010 年 11 月和 2011 年 4 月相对较高, 且同一时间各样点 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 差别较大 (图 3). TP 含量随时间变化大, 以 2010 年 10 月、2011 年 4 月和 2010 年 12 月相对较高. 对比研究流域采样点月份的径流量, 径流量高的 7 月各采样点的 TN、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 较高; 径流量高的

10 月在流域下游的翁贡村河段 TP 含量较高、在流域下游河段的 TN 含量也相对较高. 径流量低的 12 月在流域上游 TP 含量最高、在流域下游翁贡村河段 NO_2^- -N 含量较高. 2011 年 3 月研究流域径流量为 $0.63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 相对应地, 流域下游的翁贡村河段 TP 含量较高, TN 和 NH_4^+ -N 含量最高.

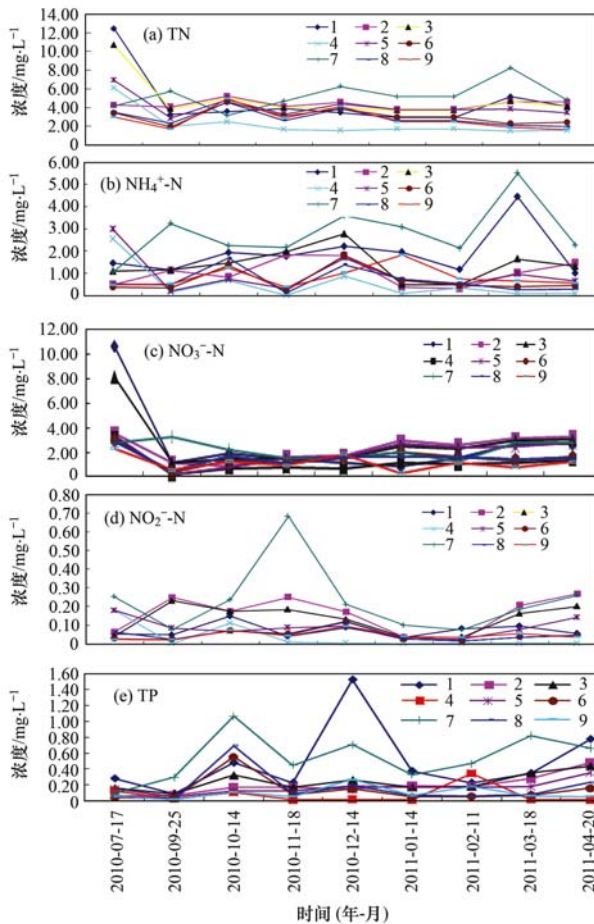


图3 研究流域氮、磷输出特征的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of nitrogen and phosphorus output characteristics in the watershed

3.2 输出氮、磷的空间变化

图 4 反映了从上游到下游不同时间研究流域氮、磷输出特征的变化, 总体上, 从上游到下游, 各采样点水体中不同形态氮含量和磷含量差异减少. 其中 TN 在上游的六砂废水和其与河水混合后相对较高、随时间变化较大, 在与污水混合前的河水中变化较小; 其次在鱼塘水和村落污水中, TN 含量相对较高. NH_4^+ -N 含量在六砂废水和翁贡村污水较高, NO_3^- -N 以 2010 年 7 月上游的六砂废水和其与河水混合后比较高, 在其它时间段从上游至下游 NO_3^- -N 含量逐渐降低. NO_2^- -N 总体上上游高于下游, 从空间看, 以下游的翁贡村污水和上游的六砂河

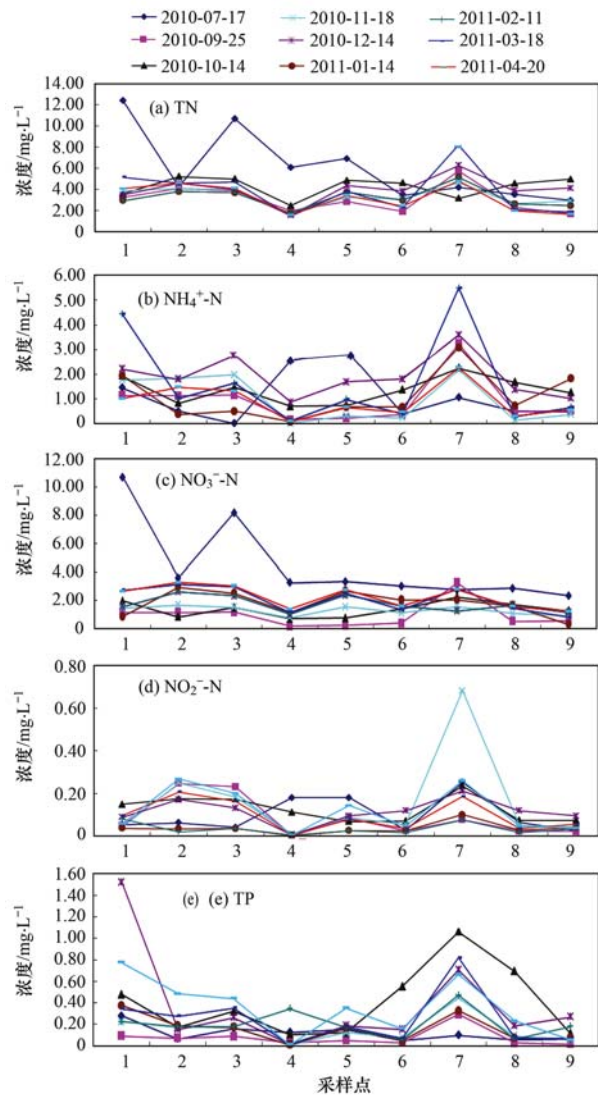


图4 研究流域氮、磷输出特征的空间变化

Fig. 4 Spatial variation of nitrogen and phosphorus output characteristics in the watershed

水较高, 在这两个采样点, 从时间看, NO_2^- -N 又以 2010 年 11 月和 2011 年 4 月较高. TP 含量以中国第六砂轮厂废水和翁贡村污水相对较高. 同时, 研究流域上游中 (采样点 5 以上) 存在多种对污染物有着滞留吸纳作用的“汇”型结构, 如小石坝、植被过滤带和鱼塘等, 如在第 5 个采样点 TP 突然降低是由于该处有一条 100 m 左右的河岸水生植物带, 说明水生植物对污水具有很好的净化作用. 这些“汇”型结构可以通过增加入渗、减少地表径流的流量, 或者通过降低流速、土壤基质吸附与增强反硝化作用等途径有效地减少养分向下游迁移^[17]; 流域下游河段 (采样点 7 以下) 起到了污染传输的作用. 流域有各种源和汇的存在, 导致研究流域在不同时间, 从上游到下游, 各采样点氮输出变化较大.

3.3 不同来源的氮、磷输出特征变化

研究小流域的点源污染有企业废水、生活污水和鱼塘水,从2010年7月~2011年4月,这3个污染源水体的氮、磷含量平均值以生活污水最高,且都明显高于河水原水(图5);在此期间,河水原水的氮、磷含量高于下游. 污水汇入河水后,使河水的氮含量明显增加,如使上游河水中TN含量平均值从 $3.297\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到 $4.847\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP从 $0.136\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到 $0.239\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;在流域中游,因村落生活污水汇入,使河水磷含量有比较明显上升. 在流域下游的河口处,氮、磷含量与上游相比有明显下降,TN含量由 $3.297\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下降为 $2.793\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP从 $0.136\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下降到 $0.098\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;但与中游比较,仅磷含量、硝氮明显下降,TN和 $\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ 含量变化不明显, $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 含量还有所上升.

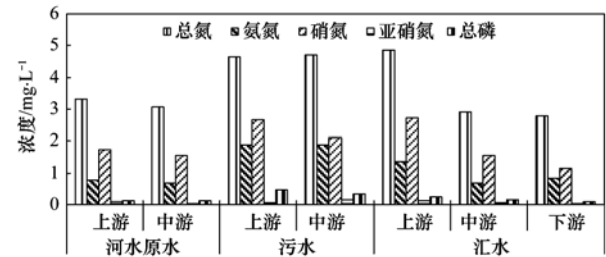


图5 研究流域污水与河水的氮、磷含量变化关系
Fig. 5 Relations between river sewage and the content of nitrogen and phosphorus

4 讨论

4.1 流域土地利用和水体氮、磷浓度的关系

研究流域麦西河采样点4以上工矿用地较多,为城郊工厂、菜地、村庄混合景观,采样点4以下为以水田、村庄为主的农业景观,污染特征主要表现为河水浑浊、氮磷营养污染,污染源复杂,集农业面源污染、村镇生活污染、企业排污、矿业废水于一体. 除企业废水等点源污染外,蔬菜、水稻种植、居民生活污水及禽畜养殖对流域面源污染贡献大^[18]. 以采样点4以上代表流域的上游,采样点8以上代表流域的中上游,采样点9以上代表整个流域,比较了流域上游、中上游和整个流域的土地利用特征和相应空间范围氮磷浓度的关系(表2),流域上游建设用地比例高,河道水体氮、磷也相应较高,从上游到下游,随建设用地比例下降,林、灌草等生态用地增加和土地利用多样性增加,氮、磷浓度总体呈下降趋势,TP下降明显;TN下降不明显,与流域下游水田、玉米地旱地较多、土壤TN与TP含量较高有明显关系(图6). 已有研究发现,流域的非点源污染过程与景观组成和景观格局间均存在密切的关系^[19],TN与农业用地面积百分比呈显著正相关关系^[20],本研究的结果与此是一致的.

4.2 流域水体氮、磷浓度变化影响因素与防控

从流域氮、磷输出时空变化特征来看,氮素特

表2 流域土地利用和氮、磷浓度的关系

Table 2 Relations between land use and the concentration of nitrogen and phosphorus									
位置	建设用地 /%	农用地 /%	生态用地 /%	多样性指数	TN / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TP / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
上游	16.46	47.80	36.46	1.883	3.297	0.780 5	1.716 5	0.097	0.136
中上游	9.81	51.93	38.25	1.95	2.907	0.665	1.542	0.050	0.167
流域	8.54	52.72	38.75	1.959	2.793	0.821	1.139	0.046	0.098

别是 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ 通过河道径流途径进入水库的风险较高,而且流域下游村庄内和农业用地形成的高浓度含氮地表径流可以直接进入水库内. 入湖口(S9)的TN年平均含量为 $2.793\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,参照地表水环境质量标准,以TN为指标,麦西河出水属于超V类水,说明麦西河氮营养盐的污染还是较严重的,但存在明显的时空差异,受到多种因素的影响. 前述分析表明流域污染源的分布、径流量的季节变化、流域土地利用格局、河段特征都对水体氮、磷浓度变化有明显的影

响. 因此,可以通过对流域实行土地利用优化,其中,控制水田和居民区磷污染负荷的产生和输送是

研究区面源磷污染负荷防控的关键^[21],根据作物不同的吸氮特性,合理分配氮肥的数量和合理使用氮肥品种,尽量不施用易流失的硝态氮肥和硝态铵态氮肥,而用铵态氮肥、酰胺态氮肥和长效氮肥替代,尤其应大力推广施用长效氮肥,因其氮素释放相对缓慢,可以降低氮肥因降雨而流失^[22]. 在控制氮磷源土地利用类型面积比例的同时,兼顾景观格局的完整性和连通性^[23]. 对河道实施分段治理,适当改变流域迁移廊道的性质,增加迁移廊道中的“汇”型结构,充分发挥各种汇的功能,减少上游污染物迁移到受纳水体的风险. 首先加快麦西河河岸生态系统修复,加大流域周边植树造林力度,防止土

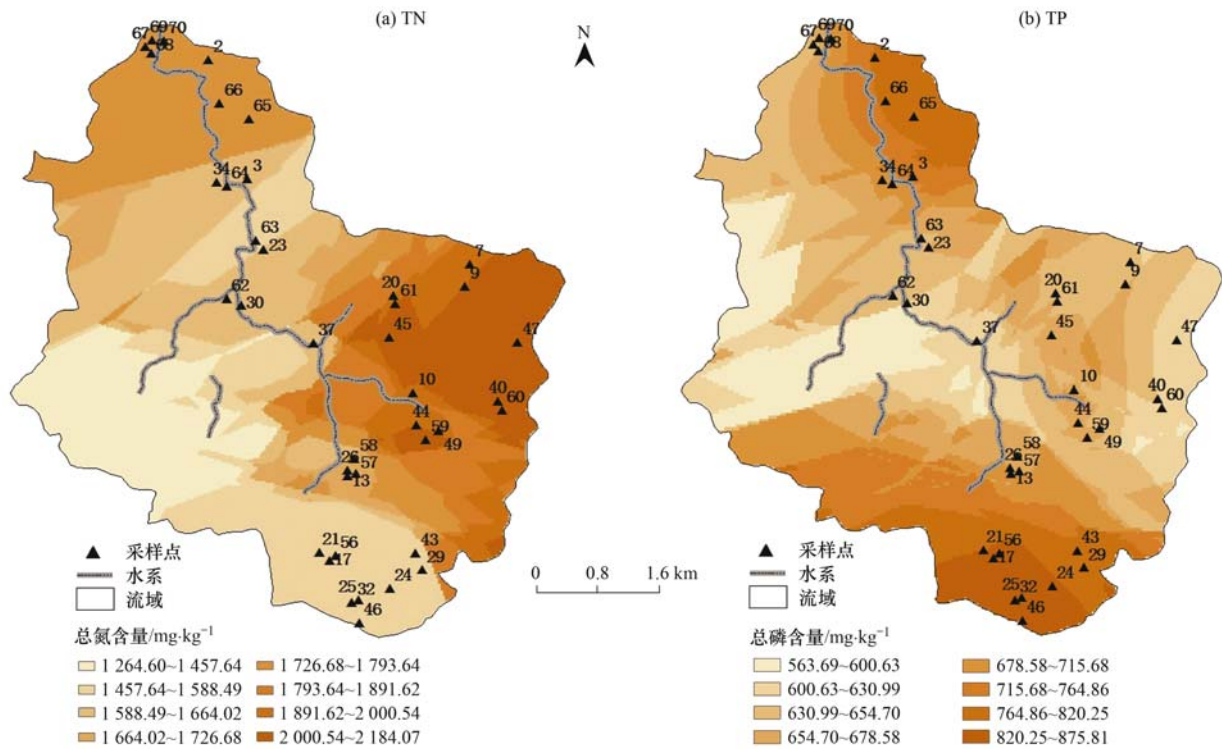


图6 流域土壤总磷与总氮的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of total P and total N in soil

壤侵蚀养分流失;其次严控生活污水和人畜粪便的排入,严禁在溪流中筑坝养鱼以及岸边蓄养家禽,并在主要的污染源设立粗格栅和滤网,去除污染源中的大块漂浮物,然后在粗格栅后设置细格栅,去除水中一些细小的颗粒及悬浮物,达到初步去除污染物的目的;再者结合麦西河水生植被茂盛的特点,利用水生植物的吸收作用、水生动物的辅助降解作用以及微生物的分解作用^[24],对麦西河水体进行脱氮除磷深度处理.最后在麦西河入百花湖的库湾区,设置生态浮床和生态网膜,利用水生植物直接吸收水体中的氮磷营养盐和吸附悬浮物,防止“水华”发生,提高水体的透明度^[25].

5 结论

(1)总体上麦西河水体磷含量较低,而氮含量较高,且不同季节非点源污染以 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N为主.农业面源污染对TN、 NO_3^- -N和 NO_2^- -N含量受影响较大;生活污水对TP、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和 NO_2^- -N含量影响较大;筑坝养鱼对 NO_3^- -N的影响很大.

(2)麦西河上游的氮磷营养盐含量较高且变化剧烈,而河流的中下游含量较低且较平稳;从上游到下游,各采样点水体中不同形态氮含量和磷含量差异减少.

(3)从流域氮、磷输出时空变化特征来看,氮素特别是 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N通过河道径流途径进入百花湖的风险较高,麦西河流域因氮素渗漏引起水体富营养化的风险较大.

(4)流域径流季节变化、流域土地利用等对河道水体氮、磷浓度与流域有明显影响.

参考文献:

- [1] 陆海明,尹澄清,王夏晖,等.华北半干旱区2个农业流域地表氮素流失特征的对比研究[J].环境科学,2008,29(10):2689-2695.
- [2] Oneley E D, Zhang X L, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5): 1159-1168.
- [3] 曾立雄,肖文发,黄志霖,等.三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征[J].环境科学,2013,34(8):3035-3042.
- [4] 蒋鸿昆,高海鹰,张奇,等.抚仙湖梁王河流域农业耕作与流域水质响应关系研究[J].环境科学,2007,28(10):2294-2300.
- [5] Ou Y, Wang X Y. GIS and ordination techniques for studying influence of watershed characteristics on river water quality [J]. Water Science and Technology, 2011, 64(4): 861-870.
- [6] 郝敬锋,刘红玉,胡俊纳,等.城市湿地小流域尺度景观空间分异及其对水体质量的影响——以南京市紫金山东郊典型湿地为例[J].生态学报,2010,30(15):4154-4161.
- [7] 陈利顶,傅伯杰,张淑荣,等.异质景观中非点源污染动态变化比较研究[J].生态学报,2002,22(6):808-816.

- [8] 李如忠, 邹阳, 徐晶晶, 等. 瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1051-1059.
- [9] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, **92**(2): 80-89.
- [10] Xian G, Crane M, Su J. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed [J]. Journal of Environmental Management, 2007, **85**(4): 965-976.
- [11] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. 生态学报, 2013, **33**(8): 2565-2576.
- [12] 李凯, 曾凡棠, 房怀阳, 等. 基于 L-THIA 模型的市桥河流域非点源氮磷负荷分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(11): 4218-4225.
- [13] 刘珍环, 李正国, 杨鹏, 等. 城市景观组分影响水质退化的阈值研究[J]. 生态学报, 2013, **33**(2): 586-594.
- [14] 王娇, 马克明, 张育新, 等. 土地利用类型及其社会经济特征对河流水质的影响[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(1): 57-65.
- [15] 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 等. 流域水质时空分布特征及其影响因素初析[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1098-1107.
- [16] 李卫海, 李阳兵, 周焱, 等. 岩溶山地城市扩展空间差异的地形效应[J]. 地理科学进展, 2009, **28**(1): 85-92.
- [17] 孙然好, 陈利顶, 王伟, 等. 基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 1784-1788.
- [18] 阴晓路, 许昌敏, 张梦娇, 等. 贵州红枫湖大冲小流域农业面源污染负荷特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(3): 349-354.
- [19] 李明涛, 王晓燕, 刘文竹. 潮河流域景观格局与非点源污染负荷关系研究[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(8): 2296-2306.
- [20] 于松延, 徐宗学, 武玮, 等. 北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(5): 1309-1315.
- [21] Vigil M F, Power J F, Schepers J S, *et al.* The effect d of large area pellets placed with DCD and acelylene on nitrogen recovery of irrigated corn[A]. In: Proceedings of Agriculture Research to Protect Water Quality[C]. Minneapolis, 1993.
- [22] 欧阳威, 黄浩波, 蔡冠清. 巢湖地区无监测资料小流域面源磷污染输出负荷时空特征[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(4): 1024-1031.
- [23] 王大伟, 程红光, 郝芳华, 等. 长江上游典型山区土地利用覆盖和景观格局变化分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, **20**(3): 63-67.
- [24] Easson G, Yarbrough L D. The effects of riparian vegetation on bank stability[J]. Environmental and Engineering Geoscience, 2002, **8**(4): 247-260.
- [25] Hu G J, Min Z, Hou H B, *et al.* An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic Water [J]. Ecological Engineering, 2010, **36**(10): 1448-1458.

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 Acetamiprid 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

国内外公开发行人