

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

**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

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化 ..... 祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)

基于重庆本地碳成分谱的 PM<sub>2.5</sub> 碳组分来源分析 ..... 张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)

重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究 ..... 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)

基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析 ..... 王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)

基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)

典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析 ..... 徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)

火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究 ..... 王占山, 潘丽波 (853)

国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性 ..... 楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)

稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇 ..... 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)

河口湿地近地面大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化和季节变化 ..... 张林海, 仝川, 曾从盛 (879)

三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量 ..... 李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)

施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 NH<sub>3</sub> 排放特征 ..... 万合锋, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)

干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响 ..... 张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究 ..... 吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)

汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析 ..... 王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)

基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究 ..... 陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)

三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征 ..... 李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)

黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析 ..... 于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)

太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素 ..... 揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)

黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系 ..... 董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)

纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究 ..... 杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)

铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究 ..... 唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)

磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响 ..... 张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)

预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响 ..... 赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)

陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行 ..... 付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)

冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征 ..... 黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)

烷基多苷促进污泥水解产酸的研究 ..... 陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)

高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响 ..... 操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)

兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价 ..... 李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)

珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价 ..... 郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)

海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价 ..... 李飞, 徐敏 (1035)

再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险 ..... 吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)

瓦埠湖流域庄集镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估 ..... 李如忠, 邹阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)

三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评估 ..... 张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)

基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价 ..... 陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)

干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究 ..... 薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)

缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入 ..... 孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)

三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响 ..... 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)

黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例 ..... 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)

天然林土壤有机碳及矿化特征研究 ..... 杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)

不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化 ..... 张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)

硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响 ..... 杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)

6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应 ..... 山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)

基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究 ..... 张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)

人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究 ..... 吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)

农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析 ..... 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)

中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态 ..... 宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)

苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析 ..... 周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)

UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响 ..... 刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)

Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响 ..... 张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)

对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究 ..... 宋彩霞, 邓新平, 厉阆, 肖伟 (1176)

克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用 ..... 刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)

铅元素人为循环环境释放物形态分析 ..... 梁静, 毛建素 (1191)

污染排放与环境质量关系模型构建与应用 ..... 李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)

微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展 ..... 闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)

《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)

# 三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响

韩黎阳<sup>1</sup>, 黄志霖<sup>1\*</sup>, 肖文发<sup>1</sup>, 田耀武<sup>1,2</sup>, 曾立雄<sup>1</sup>, 吴东<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 2. 河南科技大学林学院, 洛阳 471003)

**摘要:** 以三峡库区兰陵溪小流域为研究对象, 分析了流域水体氮、磷等输出时空特征及土地利用景观格局对其产生的影响。结果表明, 流域总氮(TN)、总磷(TP)、硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)主要来源于园地, 6~9月汛期的氮磷输出显著大于1~5月的非汛期; 非汛期铵态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)主要来源于住宅用地, 汛期 $\text{NH}_4^+$ -N则来源于园地, 以林地为主的集水区氮磷输出在两个时期均较低。林地面积比与非汛期 $\text{NO}_3^-$ -N、TP及汛期的TN、TP显著负相关; 住宅用地面积比与非汛期的 $\text{NO}_3^-$ -N、TN及汛期的 $\text{NO}_3^-$ -N、TN、TP显著正相关; 园地面积比与汛期的 $\text{NH}_4^+$ -N、TN显著正相关。PD与非汛期的氮素及汛期的 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N显著正相关; CONT与汛期的氮素及非汛期的TP呈负相关; 耕地、未利用地比例以及景观格局指数ED与氮磷输出的相关性较弱, 而SHMN和水域比例尚未表现出显著相关性。此外, 两个研究时期 $\text{NH}_4^+$ -N与土地利用及景观格局变量的回归关系要优于 $\text{NO}_3^-$ -N、TN和TP,  $R^2$ 分别为0.885和0.969, 而汛期的回归关系也比非汛期显著。典型相关分析进一步显示, 不同土地利用斑块类型导致的景观破碎化能较好解释氮磷输出的影响, 两典范轴累积解释氮磷输出变量的90%, 景观变量PD贡献最大, 对流域水质评价与预测具有重要意义。

**关键词:** 土地利用; 景观格局; 氮磷输出; 时空特征; 非点源污染

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-1091-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.2014.03.038

## Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China

HAN Li-yang<sup>1</sup>, HUANG Zhi-lin<sup>1</sup>, XIAO Wen-fa<sup>1</sup>, TIAN Yao-wu<sup>1,2</sup>, ZENG Li-xiong<sup>1</sup>, WU Dong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** The temporal and spatial characteristics of N, P exports and effects of land use and landscape pattern on N, P exports were analyzed in the Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area. The results showed that the TN, TP and  $\text{NO}_3^-$ -N were mainly generated by non-wood forest, the N, P exports in flood period (June to September) were significantly higher than the non-flood period (January to May). The  $\text{NH}_4^+$ -N export was derived from the residential area in the non-flood period, while from non-wood forest in the flood period. In addition, the performance of samples N, P exports with forest distributed were lower in both two periods. Also, the proportion of forest significantly negatively correlated with  $\text{NO}_3^-$ -N, TP in the non-flood period and TN, TP in the flood period. The residential area proportion notably positively correlated with  $\text{NO}_3^-$ -N, TN in non-flood period and  $\text{NO}_3^-$ -N, TN, TP in the flood period. The non-wood forest proportion also significantly positively correlated with  $\text{NH}_4^+$ -N, TN in the flood period. Moreover, PD closely positively correlated with N exports in non-flood period, with  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N in flood period. The CONT index strongly negatively correlated with N exports in flood period and TP in non-flood period. However, the proportions of farmland, unused land and the indices of ED were relatively weakened with N, P exports in both periods, while SHMN and water proportion did not show any positive or negative correlation. Moreover, the regression fitting degree of  $\text{NH}_4^+$ -N was superior to  $\text{NO}_3^-$ -N, TN and TP with the adjust  $R^2$  of 0.885 and 0.969 in two periods, while the regression relation was better than that of non-flood period. The result of redundancy analysis further demonstrated that the landscape fragmentation caused by patches types of different land uses could better explain impacts on the exports of nitrogen and phosphorus. The two canonical axes accumulated explained the 90% proportion of the variables and the highest contribution was PD, which was an important indicator for watershed water quality assessment and prediction.

**Key words:** land use; landscape pattern; N, P exports; temporal and spatial characteristics; non-point source pollution

收稿日期: 2013-07-21; 修订日期: 2013-09-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370481); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B04)

作者简介: 韩黎阳(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用与景观格局方面, E-mail: chengni0916@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: hzlin66@163.com

流域水体中氮、磷等物质是造成农业非点源污染的重要原因<sup>[1-3]</sup>,氮磷的产生、迁移、转化与降雨径流、土壤侵蚀、地表溶质溶出及土壤溶质渗透过程密不可分<sup>[4-6]</sup>. 相关研究表明流域氮磷物质的输出与土地利用状况及景观格局紧密相关<sup>[7,8]</sup>. 随着遥感与 GIS 技术的快速发展,开展流域尺度土地利用景观格局对河流水质的影响成为研究的热点. 国内外相关研究已表明,土地利用方式与氮磷等的输出存在一定的相关性<sup>[9-12]</sup>,受区域地形地貌及景观格局的影响,这种相关存在一定的空间差异<sup>[9,12,13]</sup>. 景观指数是有效反映景观单元类型及其空间布局的定量指标,能综合表征景观空间组成及结构对流域水质的影响<sup>[14]</sup>. 大多数研究关注尺度和区域发展的影响,如区域尺度<sup>[15]</sup>、流域尺度和缓冲区<sup>[9,11,16-21]</sup>、城市景观<sup>[12,22,23]</sup>、农村景观<sup>[7,13,24]</sup>,并取得了一系列重要成果,而考虑时间差异尤其是降雨时期所产生的影响相对较少. 因此,从流域景观角度定量研究汛期和非汛期氮磷输出与土地利用及空间格局的关系对河流水质管理具有重要意义. 本试验以三峡库区典型复合农林小流域为对象,探索

土地利用对氮磷输出的影响,建立流域不同时期土地利用景观格局与氮磷输出的关联,筛选能较好评价和预测流域不同时期水质状况的土地利用景观格局量化指标,以期为实现库区河流生态系统安全和小流域最佳管理模式提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

秭归县兰陵溪小流域(30°51'21"~30°51'34"N, 110°53'27"~110°54'50"E)距三峡大坝约 17 km,面积 144 hm<sup>2</sup>,为全库区退耕还林典型示范流域. 流域地处中纬度,属亚热带大陆性季风气候,多年平均降雨量 1 439 mm,年际差异较大,年内降雨集中分布在 5~8 月,约占全年 68%. 土壤为花岗岩母质出露发育的石英砂土,保水保肥性较差,植被覆盖率为 72.5%. 流域最高海拔 1 400 m,植被多以针阔混交林为主;居民区多分布于海拔 300~500 m 的中部低山区;柑桔、板栗、茶园等经济林多分布于中下部区域(200~500 m),其间零星分布着以间作为主的农田,如玉米、花生、红薯及菜地等(图 1).

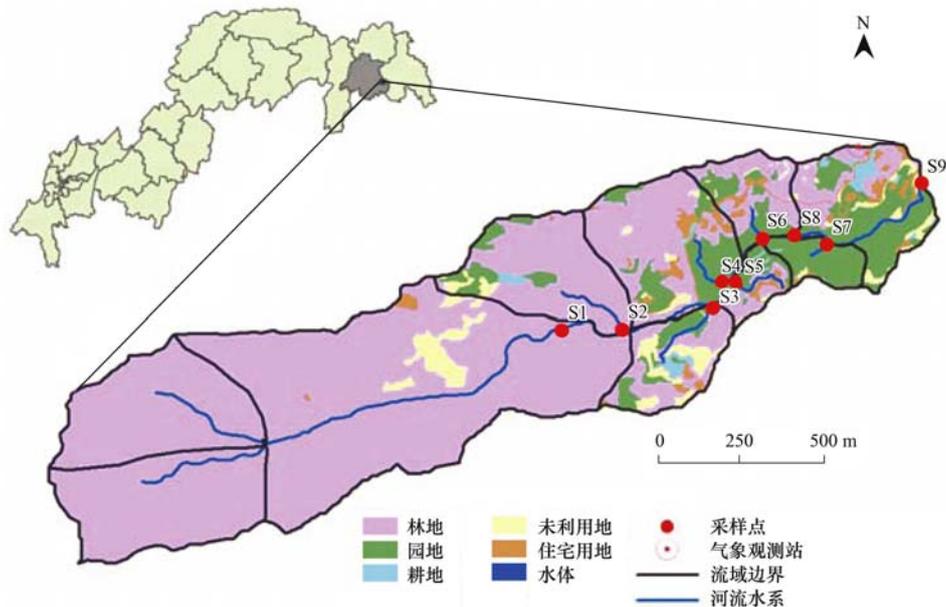


图 1 兰陵溪小流域地理位置、采样点分布及土地利用分类

Fig. 1 Location of study area, sample distribution and classification of land uses in the Lanlingxi Watershed

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 流域土地利用方式的确定

采用分辨率为 0.6 m 的 QUICK BIRD 数据(时相:2011 年 9 月),使用 ERDAS9.2 对影像进行辐射校正、几何校正、影像配准,并进行人机交互解译,将流域划分为林地、园地、耕地、住宅用地、水

域和未利用地等 6 大类(《土地利用现状分类标准 GB/T 21010-2007》). 为确保土地分类精度,在影像上选取 50 个控制点,进行野外效验. 分类精度评价结果 Kappa 系数为 0.86,符合本研究精度要求.

#### 1.2.2 取水样点设置与氮磷测定

采用国家测绘部门 2006 年 1:1 万 5 m 等高距

地形图作为基本地形信息源数据,按照基础地理信息数字产品(1:1万)生产技术规程<sup>[25]</sup>进行等高线高程赋值,利用 ArcView GIS 双线性内插重采样方法生成 5 m 格网 DEM<sup>[26]</sup>. 在 ArcGIS 水文模块中对流域进行集水区划分.

在流域干流自上而下设 S1、S8 和 S9 等 3 个集水区采样点(图 1),在其他支流出口处设置 S2、S3、S4、S5、S6、S7 等 6 个集水区采样点. 于 2012 年 1~5 月(非汛期)、6~9 月(汛期)进行水体氮磷含量指标的连续测定,每隔 3 d 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(GB 11894-89),TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893-89); NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 使用校准后的多参数水质监测仪(美国产,型号 YSI 6600-V<sub>2</sub>)测定,实验误差控制在 5% 以内.

### 1.2.3 景观指数提取

将 ERDAS9.2 生成的土地利用类型图导入 FRAGSTAT 3.3 软件. 为表征景观破碎度、多样性及蔓延度趋势,确定类型水平和景观水平的 5 种景观指数(表 1),景观指数意义见相关文献<sup>[14,27,28]</sup>.

表 1 研究流域景观格局指数<sup>1)</sup>

Table 1 Description of landscape pattern metrics

水平	景观指数	描述	公式
类型	斑块密度 (PD)	单位面积拥有的斑块个数,表征景观破碎程度, N·hm <sup>-2</sup>	$N/A$
	边缘密度 (ED)	表征各类型被边界分割的程度, m·hm <sup>-2</sup>	$\frac{E}{A}10^4$
	平均形状指数 (SHMN)	表征斑块形状的复杂程度	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (p_{ij}/\min p_{ij})}{n}$
景观	香浓多样性指数 (SHDI)	表征不同景观或同一景观不同时期的多样性与异质性	$-\sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$
	蔓延度指数 (CONT)	表征景观中不同斑块类型的团聚程度或蔓延趋势, %	$\left[1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij} \ln(p_{ij})}{2 \ln(m)}\right] \times 100$

1) A 为景观总面积, E 为斑块边缘总长度, P<sub>ij</sub> 是土地利用类型 i 斑块 j 的周长, p<sub>i</sub> 为类型 i 在整个景观中所占的比例, m 为该景观中所有土地利用类型的数目, n 为该景观总所有斑块数目

### 1.2.4 统计分析

采用 K-S 检验数据是否满足正态分布, 然后对数据进行对数变换. 氮磷输出数据以平均值表征不同季节水质状况, 水质数据的标准偏差由每次采样统计而来; 多元逐步回归分析用来分析不同土地利用景观格局变量对氮磷输出的综合响应, 其中以 0.05 为检验是否显著的标准, R<sup>2</sup> 和 P 为回归统计值用来判定回归效果<sup>[22]</sup>; 冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 直观展现解释变量与响应变量之间的关系<sup>[29]</sup>, 本研究借助 RDA 分析影响氮磷输出的关键因子和主要驱动力.

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用与景观指数

兰陵溪小流域各集水区中, S1 林地面积百分比最大(97.05%), 以林地为主且有最大的 CONT 值, 表明该集水区森林的聚集程度较高(表 2). 耕地主要分布于 S3 且景观异质性较为明显, 住宅用地(农村宅基地)集中于 S5, 而 S7 拥有最大比例的园地(87.16%)和最小比例的林地(1.31%). 此外, S4 的斑块密度(PD)和边缘密度(ED)值最大, 表明该集水区的景观破碎度最为严重.

表 2 土地利用类型面积比例和景观格局指数

Table 2 Area proportion of land use types and landscape pattern metrics

集水区	面积 /hm <sup>2</sup>	林地 /%	耕地 /%	园地 /%	住宅用地 /%	未利用地 /%	水域 /%	PD /N·hm <sup>-2</sup>	ED /m·hm <sup>-2</sup>	SHMN	CONT /%	SHDI
S1	65.12	97.05	0.00	0.00	0.05	2.50	0.40	0.35	2.51	1.81	93.94	0.15
S2	13.11	76.63	2.07	9.86	2.26	8.25	0.93	1.10	3.73	2.47	74.54	0.90
S3	11.24	43.50	6.89	19.66	4.74	24.75	0.46	3.10	4.62	1.98	58.40	1.51
S4	17.79	69.04	0.85	20.91	6.49	1.77	0.94	4.91	6.35	2.35	73.21	0.94
S5	6.66	48.96	3.92	17.90	20.78	4.64	3.80	2.29	2.79	2.34	52.62	1.49
S6	10.87	61.23	0.00	26.24	7.02	3.59	1.92	3.18	3.18	2.42	66.74	1.10
S7	7.18	1.31	0.00	87.16	4.83	5.93	0.77	4.40	3.36	1.60	80.42	0.53
S8	131.16	82.86	0.76	9.52	2.11	4.04	0.71	2.54	3.98	1.78	78.77	0.76
S9	144.18	76.85	1.16	13.87	2.85	4.54	0.73	2.88	4.14	1.76	73.56	0.95

2.2 氮磷输出的时空分异

图2表明,不同季节不同样点的氮磷输出存在差异.从季节来看,汛期的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和TN浓度显著高于非汛期,最大值分别达到7.6 mg·L<sup>-1</sup>和13.5 mg·L<sup>-1</sup>.而非汛期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度基本在1.5 mg·L<sup>-1</sup>以下,汛期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度除S1和S2外均在2.0

mg·L<sup>-1</sup>左右,最大值2.93 mg·L<sup>-1</sup>,而TP在季节变化中并不显著.就氮磷输出空间分布而言,S1和S2明显小于其他采样点,较高的TP浓度位于S3和S7,S5在非汛期中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度较大,而汛期中则为S3.此外,非汛期的TN浓度最大值出现在S3而汛期为S6.

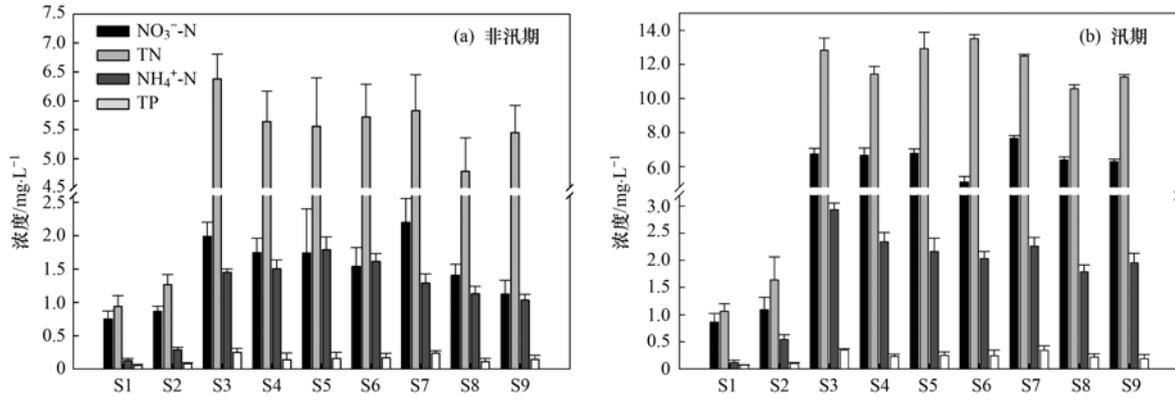


图2 不同季节氮磷输出的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of N, P exports in different periods

2.3 土地利用景观格局与氮磷输出的回归分析

由表3多元逐步线性回归分析可以看出,非汛期中,林地、住宅用地和未利用地比例对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N产生显著影响,TN与住宅用地比例显著正相关,耕地比例显著贡献了TP输出,林地比例对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和TP有较强的负相关性,表现为林地对其拦截滞留和吸收转化.此时期的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N主要受景观破碎化的影响,与PD和SHDI均显著正相关.在汛期中,林地比例对TN、TP

输出有着显著的负相关趋势,园地比例与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和TN显著正相关,住宅用地比例与NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TN和TP均有较好的正相关.同时,TP受景观类型的边缘复杂状况显著正相关,CONT值能较好地表征NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和TN输出的趋势.从回归效果来看,两个时期的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N与土地利用变量的回归关系要优于NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TN和TP,R<sup>2</sup>分别为0.885和0.969,而汛期的回归关系也比非汛期显著.

表3 不同时期土地利用景观格局与氮磷输出的回归关系<sup>1)</sup>

Table 3 Relationship of regression between land use pattern and N, P exports in different periods

非汛期	林地	耕地	园地	住宅用地	未利用地	水域	PD	ED	SHMN	CONT	SHDI	R <sup>2</sup>	P值
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-			+	+		+					0.811	0.001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N							+				+	0.885	<0.001
TN				+			+					0.739	0.002
TP	-	+								-		0.670	0.008
汛期	林地	耕地	园地	住宅用地	未利用地	水域	PD	ED	SHMN	CONT	SHDI	R <sup>2</sup>	P值
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N				+			+				-	0.813	0.001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			+				+				-	0.969	<0.001
TN	-		+	+							-	0.824	<0.001
TP	-			+				+				0.771	0.001

1) “+”表示显著正相关,“-”表示显著负相关,空白表示无显著性相关,显著水平为0.05

2.4 土地利用景观格局与氮磷输出的典型相关分析

如表4所示,土地利用格局变量PD和SHDI(R>0.60)为RDA第一典范轴的主要解释变量(P<0.05),其次为林地和园地(R>0.50),因此,第一典范轴主要表征了不同土地利用斑块类型导致的景观破碎化程度.而不同时期第二典范轴的主要解释变

量则存在差异,非汛期主要代表了水域和林地汇景观降低氮磷输出的趋势,汛期则表征了未利用地和耕地景观类型的形状复杂程度,两个典范轴累积解释氮磷输出的90%以上,但第二典范轴解释变量并不显著(E<0.20).

图3则显示,S1和S2的景观破碎度较小,林地

表 4 典范轴与各土地利用变量之间的相关系数及特征值描述

Table 4 Correlation coefficient between canonical axes and land use variables, eigenvalues were also provided

变量	非汛期		汛期	
	第一轴	第二轴	第一轴	第二轴
林地	-0.55	0.48	-0.52	0.07
耕地	0.28	-0.03	0.25	0.33
园地	0.52	-0.49	0.50	-0.12
住宅用地	0.44	0.38	0.48	0.13
未利用地	0.27	-0.38	0.19	0.43
水域	0.27	0.56	0.35	0.09
PD	0.92	-0.13	0.90	0.03
ED	0.44	-0.18	0.40	0.05
SHMN	-0.07	0.14	-0.09	0.70
CONT	-0.59	-0.30	-0.59	-0.49
SHDI	0.62	0.28	0.61	0.54
E	0.85	0.12	0.96	0.03
P	0.03		0.01	

和 CONT 均与氮磷负相关, 而 PD 对氮磷输出的影响最为严重. 非汛期的耕地对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , 园地对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  及 ED 与 TP 具有较大的积极影响, 未利用地和园地则源景观特征相对明显, 主要集中于 S3 和 S4. 汛期的住宅用地, 园地和 ED 与氮磷输出关系密切, S4 和 S5 对氮磷输出的贡献更大.

### 3 讨论

#### 3.1 氮磷输出分异性

非汛期的 TN 主要来自 S3, 其次是 S7, 是因为 S3 的耕地面积比例相对较大, S7 拥有最大面积比例的园地且该时期的正值春耕生产, 人为对土壤的扰动以及施肥等活动增加了 TN 的输出, 而且  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TP 也表现了相似的趋势. 而 S5 的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  输出较其

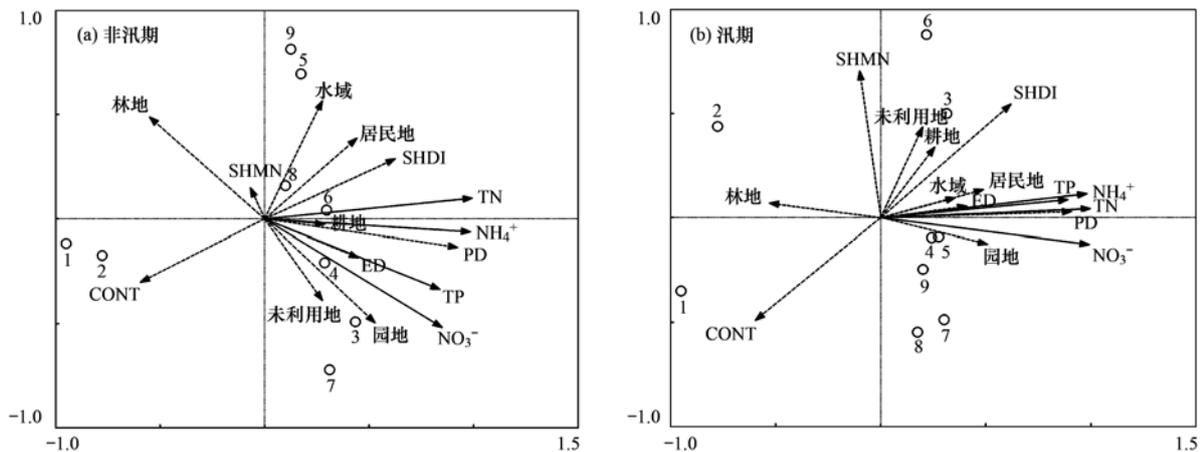


图 3 不同季节土地利用景观格局变量与氮磷输出的典型相关关系

Fig. 3 Canonical correlations between N, P exports and land use pattern variables in different periods

他采样点高, 表明该时期  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  输出主要来源于住宅用地, 即在降雨相对较少条件下, 居民生活区是  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  输出的主要形式.

降雨和地表径流过程是非点源污染形成的重要过程之一<sup>[1,2,30]</sup>, 而且降雨是土壤养分流失的重要驱动力之一<sup>[5,31]</sup>. 汛期的氮磷输出较非汛期高, 这是由于汛期的降雨多为历时短强度大的强降雨, 该时期氮磷流失主要是园地引起的, 因此, 在强降雨作用下, 经地表径流和土壤入渗等过程易造成土壤养分的流失. 同时汛期正值高温高湿高热季节, 微生物活动加强, 居民区堆放的生活垃圾易被分解, 氮磷含量较高<sup>[11]</sup>, 强降雨对不透水面的冲刷, 使本已失去植被和土壤对氮磷的过滤吸收和转化存储功能的居民区表现出较高的氮素输出(S5). 而不同时期氮磷输出分异性的另一个原因与氮磷输出机制有关,

即地表径流中氮素输出以水溶态为主, 而磷素以泥沙结合态为主<sup>[4]</sup>, 因此不同时期氮素变异较大, 磷素差异不明显. 此外, S5 的 TN 输出变异最大, 是由于采样时间适逢不同强度降雨子流域出口氮磷浓度存在差异, 这也充分说明了降雨对土壤养分输出的影响.

#### 3.2 流域土地利用与氮磷输出关系

不同土地利用方式对氮磷输出有重要影响. 如表 3 所示, 汛期的园地比例与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 表现了显著的正相关, 非汛期的耕地比例也显著贡献 TP 的输出, 表明农业土地利用由于施肥和翻耕等措施使未被作物吸收利用的氮磷养分随径流流失, 是产生流域非点源污染的重要原因, 这与前人研究结论是一致的<sup>[5,18~24,32]</sup>. 同时流域林地比例对 TP 和非汛期的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  及汛期的 TN 显著负相关, 显示林地具

有较强的拦截过滤及吸收转化氮磷的功能,汇的作用明显,能有效改善流域水质状况<sup>[33,34]</sup>。值得注意的是,本研究中住宅用地对氮磷输出的影响较为突出甚至高于耕地,表明住宅用地已成为该流域一个主要的污染物来源,原因是居民生活区富含的养分在降雨的驱动下经不透水面迅速形成地表径流而排入河道,增加了河水中氮磷输出<sup>[11,22,35]</sup>,因此,在城镇化进程中住宅用地不容忽视。

汛期的耕地、未利用地和水域比例并未表现出显著的相关性,可能是因土地利用面积比例较小,对氮磷输出的贡献较弱,在进行回归时未到达显著水平的缘故。非汛期园地比例与氮磷的相关性较弱,耕地和未利用地比例则表现了显著的正相关,说明降雨较少条件下,该流域土地利用面积比例对氮磷输出的影响小于土地利用类型,因此在土地利用配置时需综合考虑不同时期土地利用面积规模和不同土地利用类型对水质的影响。此外,该小流域为溪流级别,水域多覆被杂草灌丛,具有汇的功能,但因面积比例较小,仅在 RDA 的非汛期表现出来[图 3(a)]。

### 3.3 流域景观格局与氮磷输出关系

土地利用格局指数是一种有效量化土地利用空间结构的方法,因其指数众多,角度各异,高度浓缩了土地利用信息而备受国内外研究者关注<sup>[15,19,21,36]</sup>。表 3 表明流域类型水平的 PD 和景观水平的 CONT 与氮磷输出关系密切。PD 作为衡量景观破碎化程度的一个重要指数,其值越高,意味着流域内不同类型的景观斑块数量越多,越不利于控制污染物的扩散和迁移,即在一定程度上反应各汇水区非点源污染状况。本研究两个时期 PD 与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  显著正相关,与已有研究结论相似<sup>[15,18]</sup>,表明斑块密度对氮素输出有重要影响。CONT 是表征不同斑块类型蔓延趋势的指数,本研究结果(表 2 和表 3)表明 CONT 值越小,各个土地利用斑块类型越分散,意味着氮磷输出越大。有研究支持了本结论,如,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 与 CONT 表现极显著的负相关<sup>[37]</sup>,景观指数 CONT 与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP 相关性较为明显<sup>[21]</sup>。这种因土地利用斑块类型较多且分散所导致的污染物输出增加与降雨-径流过程密不可分<sup>[14]</sup>。

本研究中 SHDI 仅与非汛期的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  表现了显著的正相关关系,ED 仅与汛期的 TP 显著正相关,而 SHMN 无显著相关性。但有研究认为 SHDI 与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP 相关性较为明显<sup>[21]</sup>,SHDI 与 TP

和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  显著正相关<sup>[18]</sup>,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 分别与 ED、SHDI 表现出极显著的正相关且 ED 对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 的空间变化影响最大<sup>[37]</sup>,TP 与 SHMN 有显著的负相关<sup>[19]</sup>。出现这种较弱或不明显的相关性,可能是由于采用了低分辨率的遥感影像图,从而导致分类信息的损失<sup>[20]</sup>。然而,本研究选取小流域且采用高分辨率的影像提取土地利用景观格局信息,其不显著的原因可能是在大量坡改梯田结构中,土地利用斑块类型的边缘或形状趋于更加复杂,其能量流和物质流很难通过单一指数刻画。事实上,有研究表明,只有少数景观格局指数可较好预测水体中的污染物输出,部分景观格局指数弱于土地利用面积比例与水质的相关性<sup>[34]</sup>,甚至有些景观指数与水质的关系无法被合理解释<sup>[18,37]</sup>。因此,选择合适的景观格局指数对于流域水质预测和评价有着重要的现实意义。

## 4 结 论

(1) 土地利用对氮磷输出有一定影响且随季节不同而异。流域 TN、TP、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  主要来源于园地,6~9 月汛期的氮磷输出显著大于 1~5 月的非汛期;非汛期  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  主要来源于住宅用地,汛期  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  则来源于园地,以林地为主的集水区氮磷输出在两个时期均较低。园地和住宅用地成为流域氮磷输出主要的源景观,林地具有改善水质的汇景观功能。

(2) 林地、园地、住宅用地比例及景观指数 PD 和 CONT 在表征氮磷输出的影响时较为显著,能在一定程度上反映流域水质状况。

(3) 非汛期和汛期的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与土地利用格局变量的回归关系要优于  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TN 和 TP,  $R^2$  分别为 0.885 和 0.969,汛期的方程拟合度优于非汛期。

(4) 不同土地利用斑块类型导致的景观破碎化能较好解释对氮磷输出的影响。具有较大 CONT 值汇景观的林地配置在河岸两侧,能明显改善水质,尤其是暴雨频繁的非汛期。对于流域土地利用的规划,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,方能收到较好控制非点源污染的效果。

### 参考文献:

- [1] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 98-100.
- [2] 张维理,武淑霞,冀宏杰. 中国农业面源污染形势估计及控制对策[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [3] Quan W M, Yan L J. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure

- [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(3): 539-550.
- [4] 曾立雄. 三峡库区兰陵溪小流域养分的分布、迁移与控制研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [5] Braskerud B C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution [J]. *Ecological Engineering*, 2002, **18**(3): 351-370.
- [6] Sun B, Zhang L X, Yang L Z, *et al.* Agricultural non-point source pollution in China: causes and mitigation measures [J]. *AMBIO*, 2012, **41**(4): 370-379.
- [7] 唐艳凌, 章光新. 流域单元景观格局与农业非点源污染的关系[J]. *生态学报*, 2009, **28**(4): 740-746.
- [8] Gucker B, Boecheat I G, Giani A. Impacts of agricultural land use on ecosystem structure and whole-stream metabolism of tropical Cerrado streams [J]. *Freshwater Biology*, 2009, **54**(10): 2069-2085.
- [9] 欧洋. 密云水库上游流域多尺度景观与水质响应关系研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2011.
- [10] Carey R O, Migliaccio K W, Li Y, *et al.* Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida [J]. *Ecological Indicators*, 2011, **11**(5): 1093-1104.
- [11] 罗璇, 史志华, 尹炜, 等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 58-62.
- [12] 郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响[J]. *生态学报*, 2009, **29**(2): 776-786.
- [13] 毛战坡, 尹澄清, 单宝庆, 等. 农业非点源污染物在水塘景观系统中的空间变异性研究[J]. *水利学报*, 2006, **37**(6): 727-733.
- [14] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度和等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007. 96-119.
- [15] 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.
- [16] Daniel F B, Griffith M B, Troyer M E. Influences of spatial scale and soil permeability on relationships between land cover and baseflow stream nutrient concentrations [J]. *Environmental Management*, 2010, **45**(2): 336-350.
- [17] 李艳利, 徐宗学, 李艳粉. 浑太河流域多尺度土地利用/景观格局与水质响应关系初步分析[J]. *地球与环境*, 2012, **40**(4): 573-583.
- [18] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 64-72.
- [19] Uuemaa E, Roosaare J, Mander U. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments [J]. *Ecological Indicators*, 2005, **5**(4): 350-369.
- [20] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, **35**(14): 3462-3472.
- [21] 张大伟, 李杨帆, 孙翔, 等. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(8): 1775-1783.
- [22] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. *生态学报*, 2012, **32**(8): 2331-2341.
- [23] 胡何兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响[J]. *环境科学*, 2012, **33**(3): 794-801.
- [24] 杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 等. 城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. *环境科学*, 2012, **33**(8): 2653-2658.
- [25] 国家测绘局. CH/T 1015.2-2007-基础地理信息数字产品(1:10 000 1:50 000)生产技术规程第 2 部分: 数字高程模型 (DEM) [S]. 北京: 中国测绘出版社, 2012.
- [26] 田耀武, 黄志霖, 曾立雄, 等. DEM 格网尺度对 AnnAGNPS 预测山地小流域径流和物质输出的影响[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(4): 846-853.
- [27] Turner M G, Gardner R H, O'neill R V. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process* [M]. New York: Springer Science + Business Media, 2001.
- [28] Uuemaa E, Roosaare J, Mander U. Landscape metrics as indicators of river water quality at catchment scale [J]. *Nordic Hydrology*, 2007, **38**(2): 125-138.
- [29] Ter Braak C J F, Prentice I C. A theory of gradient analysis [J]. *Advances in Ecological Research*, 1988, **18**: 236-278.
- [30] 贺宝根, 周乃晟, 高效江, 等. 农田非点源污染研究中的降雨径流关系[J]. *环境科学研究*, 2001, **14**(3): 49-51.
- [31] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 降雨强度对黄土坡面矿物质流失的影响[J]. *农业工程学报*, 2004, **20**(3): 55-58.
- [32] Ortiz M, Brown C, Fernald A S, *et al.* Land use change impacts on acequia water resources in northern New Mexico [J]. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 2007, **137**(1): 47-54.
- [33] Basnyat P, Teeter L D, Lockaby B G, *et al.* The use of remote sensing and GIS in watershed level analyses of non-point source pollution problems [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, **128**(1-2): 65-73.
- [34] 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.
- [35] 陈利顶, 丘君, 张淑荣, 等. 复杂景观中营养型非点源污染物时空变异特征分析[J]. *环境科学*, 2003, **24**(3): 85-90.
- [36] 周文, 刘茂松, 徐驰, 等. 太湖流域河流水质状况对景观背景响应的响应[J]. *生态学报*, 2012, **32**(16): 5043-5053.
- [37] 王鹏举. 基于土地利用结构与景观格局的小流域氮、磷、碳输出特征分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.

## CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region .....	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> ( 801 )
Carbon Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> in Chongqing Based on Local Carbon Profiles .....	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> ( 810 )
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing .....	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> ( 820 )
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties .....	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> ( 830 )
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves .....	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> ( 839 )
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise .....	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> ( 847 )
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation .....	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo ( 853 )
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus .....	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian ( 864 )
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion .....	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> ( 870 )
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration in the River Estuarine Marsh .....	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng ( 879 )
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer .....	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> ( 885 )
Emission of CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O and NH <sub>3</sub> from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts .....	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> ( 892 )
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles .....	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> ( 901 )
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea .....	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> ( 908 )
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River .....	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian ( 915 )
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis .....	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> ( 924 )
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas .....	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> ( 933 )
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland .....	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 942 )
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun .....	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> ( 951 )
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River .....	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> ( 958 )
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron: Debromination Kinetics and Pathway .....	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> ( 964 )
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron .....	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> ( 972 )
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System .....	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> ( 979 )
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification .....	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> ( 987 )
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier .....	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo ( 995 )
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature .....	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> ( 1002 )
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides .....	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> ( 1009 )
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion .....	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> ( 1016 )
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou .....	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> ( 1021 )
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary .....	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> ( 1029 )
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay .....	LI Fei, XU Min ( 1035 )
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater .....	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> ( 1041 )
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangnu Town in Lake Wabuhu Basin .....	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> ( 1051 )
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir .....	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> ( 1060 )
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields .....	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> ( 1068 )
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil .....	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> ( 1075 )
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain .....	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> ( 1081 )
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China .....	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> ( 1091 )
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province .....	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> ( 1098 )
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil .....	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> ( 1105 )
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate .....	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao ( 1111 )
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil .....	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> ( 1119 )
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil .....	SHAN Bao-qin, ZHANG Xiong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> ( 1125 )
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry .....	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> ( 1131 )
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil .....	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> ( 1138 )
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils .....	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> ( 1144 )
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area .....	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> ( 1151 )
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor ( <i>Cinnamomum camphora</i> ) Tree Bark from Southern Jiangsu, China .....	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> ( 1159 )
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable .....	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua ( 1164 )
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress .....	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> ( 1169 )
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8 .....	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> ( 1176 )
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering .....	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> ( 1183 )
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China .....	LIANG Jing, MAO Jian-su ( 1191 )
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model .....	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> ( 1198 )
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins .....	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> ( 1205 )

# 《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3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 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