

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 谢元博, 陈娟, 李巍 (1)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)

汉江上游金水河流域氮湿沉降 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO₂ 释放的影响 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)

黄海和东海海域溶解钼地球化学分布特征 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 (123)

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 史晶晶, 耿元波 (341)

南京河流夏季水-气界面 N₂O 排放通量 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)

县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响

宋立芳^{1,2}, 王毅², 吴金水^{2*}, 李勇², 李裕元², 孟岑^{2,3}, 李航^{2,3}, 张满意²

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙农业生态环境研究所, 长沙 410125; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:以湖南省长沙县的脱甲流域(高水稻种植面积比例)和涧山流域(低水稻种植面积比例)为研究对象,对比研究红壤丘陵地区典型农业流域水稻种植对河流水体氮磷浓度和输出强度的影响。连续 16 个月的监测结果表明,脱甲和涧山流域河流水体均存在比较严重的养分污染,尤其是氮污染;对比两个流域,脱甲流域河流水体的氮磷浓度水平和水质恶化程度均高于涧山流域。从养分组成来看,脱甲流域河流水体中氮以铵态氮为主(占总氮的 58.5%),而涧山流域主要是硝态氮(占总氮的 76.1%)。脱甲流域中可溶性磷占总磷比例为 47.1%,高于涧山流域的 37.5%。从养分浓度变化的时间动态而言,两个流域河流中各形态氮素水平在 1~2 月和 7 月较高,而可溶性磷和总磷在 5~6 月和 10~12 月出现两个峰值。由于两个流域河道径流主要集中在水稻种植期间的 4~10 月,脱甲流域河流中较高的氮磷养分浓度意味着潜在的氮磷流失风险。脱甲流域月平均总氮输出通量为 $1.67 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{月})^{-1}$,总磷为 $0.06 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{月})^{-1}$,均高于涧山流域的 $0.44 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{月})^{-1}$ 和 $0.02 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{月})^{-1}$ 。考虑到两个流域的气候、地形地貌、土壤类型、农田耕作方式相似而只是水稻种植面积比例不同,因此,在该地区传统的水稻栽培管理模式下,较高面积比例的水稻种植对流域河流水体环境存在潜在威胁。

关键词:农业面源污染; 养分污染; 农业流域; 生态水文过程

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0150-07

Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics

SONG Li-fang^{1,2}, WANG Yi², WU Jin-shui², LI Yong², LI Yu-yuan², MENG Cen^{2,3}, LI Hang^{2,3}, ZHANG Man-yi²

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Changsha Research Station of Agricultural Environmental Observation, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:The research selected the Tuoji catchment and Jianshan catchment in Changsha County, Hunan Province, to comparatively study the effects of rice agriculture on the nitrogen and phosphorus concentrations and exports in streams in the typical agricultural catchments of the hilly red soil earth region. The monitoring of 16 months suggested that, there was a moderate stream nutrient pollution in both Tuoji and Jianshan catchments, especially for nitrogen pollution. Comparing the two catchments, the nitrogen and phosphorus concentrations were higher and the water quality was worse in the Tuoji catchment than that in the Jianshan catchment. From the nutrient composition of view, ammonia nitrogen was the main species of total nitrogen in the Tuoji catchment (accounting for 58.5% of total nitrogen), while it was nitrate nitrogen in the Jianshan catchment (accounting for 76.1% of total nitrogen). The proportion of dissolved phosphorus in total phosphorus was 47.1% in the Tuoji catchment, higher than the proportion of 37.5% in the Jianshan catchment. From temporal variations of nutrient dynamics of view, concentrations of all forms of nitrogen were higher during January to February and in July, respectively, and total phosphorus and dissolved phosphorus were higher during May to June and during October to December. Since the stream discharge in the catchments concentrated during the rice growing period from April to October, the higher nutrient concentrations during the period suggested potential risks of nitrogen and phosphorus losses. The total nitrogen mass flux was $1.67 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{month})^{-1}$ and TP was $0.06 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{month})^{-1}$ in the Tuoji catchment, which were greater than the $0.44 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{month})^{-1}$ and $0.02 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{month})^{-1}$ in the Jianshan catchment. Given the similar climate, geomorphology, soil type and cultivation patterns but the different area proportion of rice agriculture between two catchments, results suggested that, under the traditional crop management in hilly red soil earth region of central subtropics, the higher area proportion of rice agriculture has the potential to degrade stream aquatic environment.

Key words: agriculture non-point source pollution; nutrient pollution; agricultural catchment; ecohydrological process

收稿日期: 2013-04-03; 修订日期: 2013-06-04

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2012CB417105); 国家自然科学基金项目(41201220, 41171396); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-T07)

作者简介: 宋立芳(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域生态学, E-mail: slfhenan@126.com

* 通讯联系人, E-mail: jswu@isa.ac.cn

据统计,我国 2007 年通过种植业排放的总氮为 159.78 万 t,总磷为 10.87 万 t,分别占同期农业面源排放总量的 59.08% 和 38.18%^[1]. 大量种植业排放的氮磷养分通过各种水文途径进入河流水体,不仅造成了巨大的经济损失,也给我业已脆弱的河流生态环境带来了巨大的压力^[2,3]. 亚热带丘陵区是我国传统的水稻种植区和主要的粮食产区,同时也正承受着河流水体富营养化之痛^[4,5]. 如何采用有效的方法遏制水稻种植所带来的河流水体环境质量问题,已经成为该地区农业与农村可持续发展和生态环境建设的迫切需求.

水稻种植不仅决定着进入流域环境的养分总量,也影响着养分在流域内的迁移特征^[6,7]. 因此,许多研究表明,农业流域内水稻种植业与河流水体的养分浓度水平及输出强度存在显著联系. 但是,由于水稻种植对流域河流水体养分的影响存在区域性,不同气候、土壤、地形地貌、管理措施条件下,其影响程度可能存在明显差异^[8,9]. 到目前为止,亚热带丘陵区水稻种植业对流域河流水体氮磷浓度和输出特征的影响还不甚清楚^[8,10]. 因此,本文采用对比研究方法,选取气候、地形地貌、土壤和耕作方式相似,但水稻种植面积比例不同的脱甲流域和涧山流域为研究对象,通过对流域出口断面流量和养分浓度[铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、总氮(TN)、可溶性磷(DP)、总磷(TP)]的连续监测,对比研究亚热带丘陵区典型农业流域水稻种植对该地区流域河流水体氮磷浓度和输出特征的影响,以期亚热带地区水稻栽培科学管理和流域河流水体生态环境保护提供科学依据.

1 研究区域与方法

研究区域位于湖南省长沙县金井镇内($27^\circ 55' \sim 28^\circ 40' \text{N}$, $112^\circ 56' \sim 113^\circ 30' \text{E}$, 海拔 46 ~ 452 m). 区域内有气象记录 53 a 以来年平均气温 17.2°C , 无霜期 274 d, 年日照时数 1 663 h, 年平均降雨量为 1 422 mm, 年平均蒸发量为 1 272 mm, 属典型亚热带湿润季风气候. 研究区域地势总体上呈北高南低的趋势, 水田主要分布在河谷、河漫滩等低洼平缓地带. 土壤类型主要为氧化土(oxisols)和人为土(anthrosols)^[11].

研究分别选取脱甲河和涧山河汇入金井河的河口为流域出口监测断面(图 1). 流域出口的汇水区域依据数字高程模型(DEM)通过 ARCGIS 9.3 软件的水文分析模块分析获得, 分别命名为脱甲流域和

涧山流域. 两个流域地形地貌相似. 两个流域的水系都起源于北部山林, 流经水田、沟渠和河道, 最后到达流域出水口.

脱甲流域水稻种植面积比例明显高于涧山流域(32% vs. 19%) (表 1). 两个流域内林地和水田是主要土地利用类型, 林地主要是马尾松(*Pinus massoniana*) 次生林以及杉木(*Cunninghamia lanceolata*) 等人工林, 水稻种植模式为双季稻. 早稻一般在 4 月底插秧, 7 月中旬收获, 后紧接着种植晚稻, 于 10 月中旬收获. 水稻田大部分时间处于淹水状态, 分别在分蘖末期(5 月底和 8 月中旬)和收割前两周(7 月初和 10 月初)排水烤田. 水稻整个种植期施用肥料两次, 抛秧前(4 月底和 7 月中旬)施用基肥一次, N、P 施用量分别为 $112 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $33 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 分蘖盛期(5 月中旬和 8 月初)追肥一次, 只施氮肥, 施用量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 因此, 稻田的 N、P 施用量分别为 $374 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $66 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 而林地不施肥.

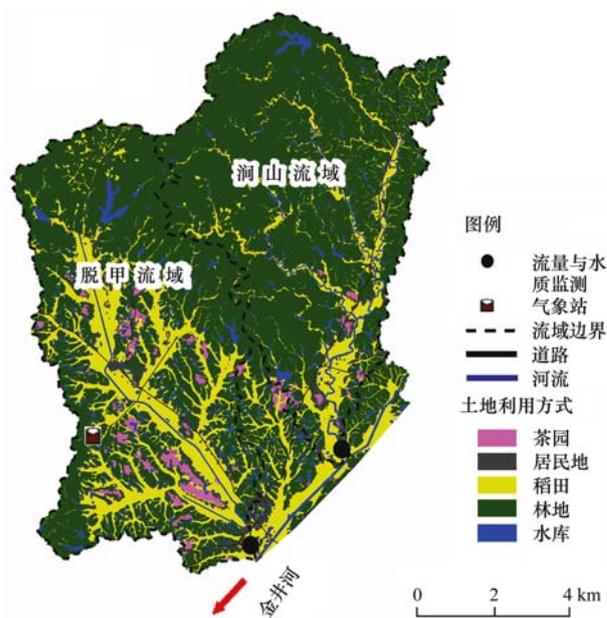


图 1 脱甲和涧山流域

Fig. 1 Tuojia and Jianshan catchment

研究流域内设有微型气候自动观测站(InteliMent Advantage, Dynamax Inc., 美国, 图 1), 记录气温、降水、风速等气象参数, 每 1 h 记录一次. 流域出口断面安装有水位计(LMZ 投入式水位计, 无锡惠公仪表经营部), 每 10 min 自动记录一次出口断面水位高度. 流域河道出口断面为自然断面. 特定水位高度下, 出口断面流速按照 Simpson's Parabolic Rule 方法采用流速仪(LS25-3C2 型螺旋杯

表 1 脱甲和涧山流域的地形地貌特征和水稻种植及林地面积比例

Table 1 Geological characteristics and the area proportion of rice agriculture and forest in Tuoja and Jianshan catchments

流域	面积/km ²	平均高程/m	平均坡度/%	起伏比	水稻种植面积比例/%	林地面积比例/%
脱甲	52.1	121.1	14.5	377	32	58
涧山	50.2	170.4	24.0	382	19	77

式流速仪,重庆华正水文仪器有限公司)实测而得^[12]. 特定水位高度下,出口断面径流量 $[Q, \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ 采用流速面积法计算,见公式(1). 通过多水位高度下河流出口断面流量的观测和计算,可获得河流水位-流量关系函数. 最后,通过对观测期间实测的水位高度数值的换算,从而得到整个观测期间流域的径流过程曲线.

$$Q = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\Delta L \left(\frac{\bar{V}_{i-1} + 4\bar{V}_i + \bar{V}_{i+1}}{3} \right) / 2 \Delta L \right] \left(\frac{D_{i-1} + 4D_i + D_{i+1}}{3} \right) \Delta L \right\} \quad (1)$$

式中, D_i 为第*i*个部分断面所对应的垂线深度(m); \bar{V}_i 为对应水深 D_i 处的测速垂线的平均流速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); ΔL 为测速垂线间的间距(m).

流域出口断面处设置有水质采样点(图1). 水质观测期为2010-11~2012-02,共16个月. 观测频率为每个月3次,每次间隔周期约10 d. 观测时,在水质采样点水面以下约0.2 m深处采集1 000 mL样品一个. 样品采集后,立即运回实验室,并于24 h内完成室内分析. 如不能及时完成室内分析样品,保存在 -18°C 度冰箱内,分析时再解冻. 养分浓度参照地表水分析标准程序^[13]. 检测指标包括 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TN、DP以及TP. 分析时,每个样品均匀分成两部分,一部分水样采用碱性过硫酸钾消解-流动注射仪法(Tecator FIA Star 5000 analyzer, Foss Tecator, 瑞典)测定TN,采用过硫酸钾消解-钼蓝比色-紫外可见分光光度法(UV-2450, SHIMADZU, 日本)测定TP;另一部分水样用0.45 μm 滤膜过滤后,采用流动注射仪方法测定 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N,采用用钼酸铵分光光度法测定DP.

通过流域出口断面的各养分输出通量 $[F, \text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}]$ 按照以下公式(2)计算:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^k c_i \times q_i}{A \times 10^6} \quad (2)$$

式中, k 为每月的采样次数($k=3$); c_i 为第*i*次采样时 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TN、DP或TP的浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); q_i 为第*i*-1/2次到*i*+1/2次采样期间

流量(L); A 为流域面积(hm^2).

2 结果与分析

2.1 流域出口断面流量

观测期间(2010-11~2012-02)脱甲和涧山流域降雨量与出口断面径流量如图2所示. 整个观测期间,流域总降雨量为1 242 mm,且79.9%的降雨集中在水稻种植期(4~10月). 脱甲流域出口断面总径流量为691 mm,占总降雨量的55.6%. 涧山流域出口断面总径流量要高于脱甲流域,为732 mm,占年降雨量的58.9%. 按照时间来划分,脱甲和涧山流域水稻种植期的流量均要高于休耕期,分别为442 mm和524 mm,占观测期总流量的64.0%和71.6%.

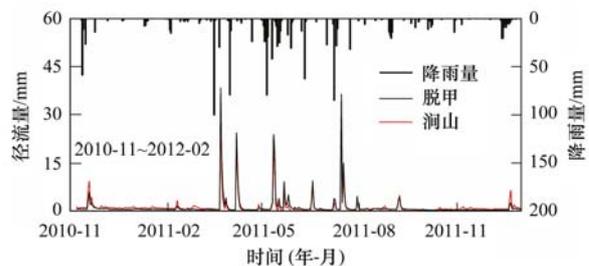


图 2 脱甲和涧山流域降雨量及出口断面径流量

Fig. 2 Precipitation and discharge at outlets in Tuoja and Jianshan catchments

2.2 流域出口断面氮磷浓度和水质评价

观测期间流域出口断面的养分浓度算术平均值如表2. 脱甲流域中各养分平均浓度整体上要高于涧山流域,其中脱甲流域中 NH_4^+ -N浓度是涧山的15.7倍,TN,TP和DP分别为3.12、2.13和2.67倍,而两个流域中的 NO_3^- -N浓度相当. 两个流域中不同形态氮磷养分的组成比例也不相同. 脱甲流域 NH_4^+ -N为河流水体中氮的主要形态,占TN比例为58.5%. 涧山则以 NO_3^- -N为主,其占TN比例为76.1%. 两个流域中DP/TP分别为47.1%和37.5%.

参照国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)^[14]将两个流域出口断面进行水质分类. 根据国家标准,当TN和TP浓度高于Ⅲ类水标准

表 2 2010 年 11 月至 2012 年 2 月脱甲和涧山流域出口断面各养分浓度统计 ($n = 48$)
Table 2 Summary statistics of nutrient concentrations at outlets of Tuojia and Jianshan catchments during the period from November 2010 to February 2012 ($n = 48$)

流域	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TN / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	DP / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TP / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N/TN}$ /%	$\text{NO}_3^- \text{-N/TN}$ /%	DP/TP /%
脱甲	2.83 ± 1.83	1.19 ± 0.55	4.84 ± 2.11	0.08 ± 0.05	0.17 ± 0.09	58.5	24.6	47.1
涧山	0.18 ± 0.12	1.18 ± 0.48	1.55 ± 0.51	0.03 ± 0.02	0.08 ± 0.05	11.6	76.1	37.5

($\text{TN} > 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{TP} > 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 时即被视为水体可能发生污染. 如表 3 所示, 两个流域中河流水体均存在明显的污染迹象, 且脱甲流域水质要劣于涧山流域. 脱甲流域 TN 浓度高于国家 III 类水标

准的样品数高达 42, 占总样品数的 97.7%, 涧山 TN 浓度高于此标准的样品数为 36, 占总样品数的 81.8%. 水体中 TP 污染的情况要优于 TN 污染, 可能发生污染的比例分别为 27.9% 和 6.8%.

表 3 脱甲和涧山流域出口断面地表水水质评价

Table 3 Water quality at outlets of Tuojia and Jianshan catchments

流域	养分	I 类/%	II 类/%	III 类/%	IV 类/%	V 类/%	劣 V 类/%
脱甲	总氮 TN	0	2.3	0	0	0	97.7
	总磷 TP	0	27.9	44.2	16.3	11.6	0
涧山	总氮 TN	0	0	18.2	22.7	36.4	22.7
	总磷 TP	0	68.2	25.0	6.8	0	0

2.3 流域出口断面氮磷浓度的动态变化

脱甲和涧山流域出口断面水体中氮磷浓度随时间的动态变化如图 3 所示. 脱甲流域 TN 浓度为 $2.12 \sim 7.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度分别为 $1.13 \sim 5.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.52 \sim 2.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 而涧山流域 TN、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的浓度分别为 $0.69 \sim 2.19$ 、 $0.05 \sim 0.35$ 和 $0.39 \sim 2.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 脱甲流域水体中 TP 和 DP 浓度的分别为 $0.054 \sim 0.308 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.037 \sim 0.179 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而涧山流域分别为 $0.035 \sim 0.176 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.014 \sim 0.073 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 显著性分析结果表明, 除 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 外, 脱甲流域出口断面中各种形态的氮磷浓度均显著高于涧山流域 (P

< 0.01). Pearson 相关性分析表明脱甲流域 TN 与 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度呈极显著正相关 ($r = 0.91$, $P < 0.01$), 涧山流域 TN 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度呈极显著正相关 ($r = 0.86$, $P < 0.01$). 脱甲和涧山流域各自的 TP 和 DP 浓度之间均存在显著相关性, 相关系数分别为 0.77 和 0.64 ($P < 0.01$).

脱甲和涧山流域 TN 浓度均在 1~2 月和 7 月较高. 脱甲 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 相比有所滞后, 峰值出现在 4~5 月和 10 月. 涧山 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的峰出现 11~12 月和 5 月, 与其 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 相比有所提前. 脱甲流域各种形态的氮素浓度均较高, 且变化幅度较小. 脱甲和涧山流域 TP 浓度均在 5~6 月和 10~12 月出现

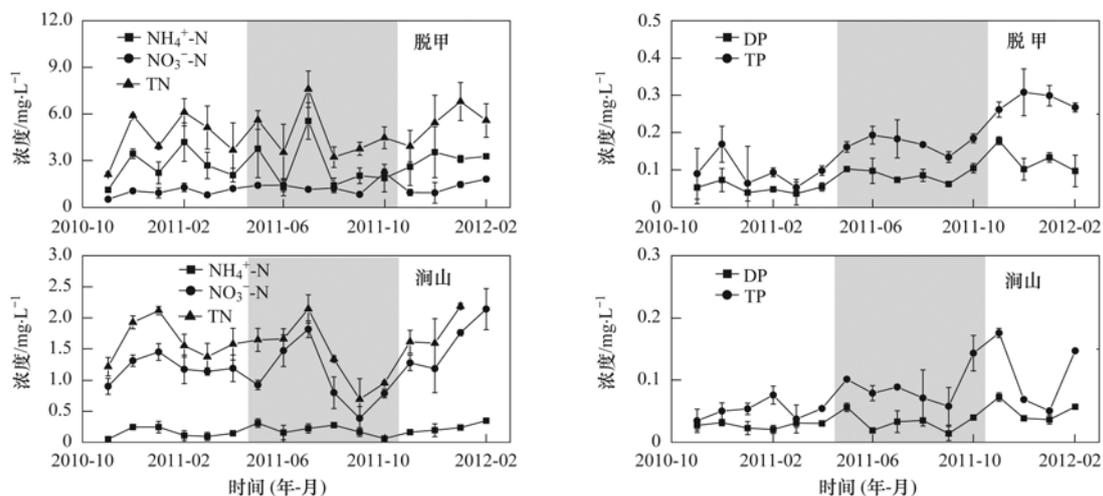


图 3 脱甲和涧山流域出口断面养分浓度动态变化

Fig. 3 Temporal variations of nutrient concentrations at outlets of Tuojia and Jianshan catchments

两个峰值. 两个流域 DP 浓度的变化趋势与其 TP 相似.

2.4 流域氮磷输出通量

图 4 为脱甲和涧山流域的氮磷月输出通量的动态变化. 脱甲流域 TN 和 TP 的月输出通量分别在 $0.23 \sim 4.52 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.01 \sim 0.13 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 区间波动, 平均月输出通量分别为 $1.67 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.06 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$. 涧山流域 TN 和 TP 的输出通量的波动区间分别为 0.14

$\sim 1.31 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.01 \sim 0.06 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$, 平均月输出通量分别为 $0.44 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.02 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$. 脱甲流域 TN 和 TP 平均月输出通量显著高于涧山 ($P < 0.05$). 两个流域 TN 和 TP 月输出通量随时间变化的波动性比较明显, 分别在 2010 年 12 月、2011 年 6 月和 8 月、2012 年 1 月出现 4 个明显的峰值. 两个流域 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 月输出通量变化趋势分别与其相应的 TN 波动相似, 而 DP 与 TP 的波动相似.

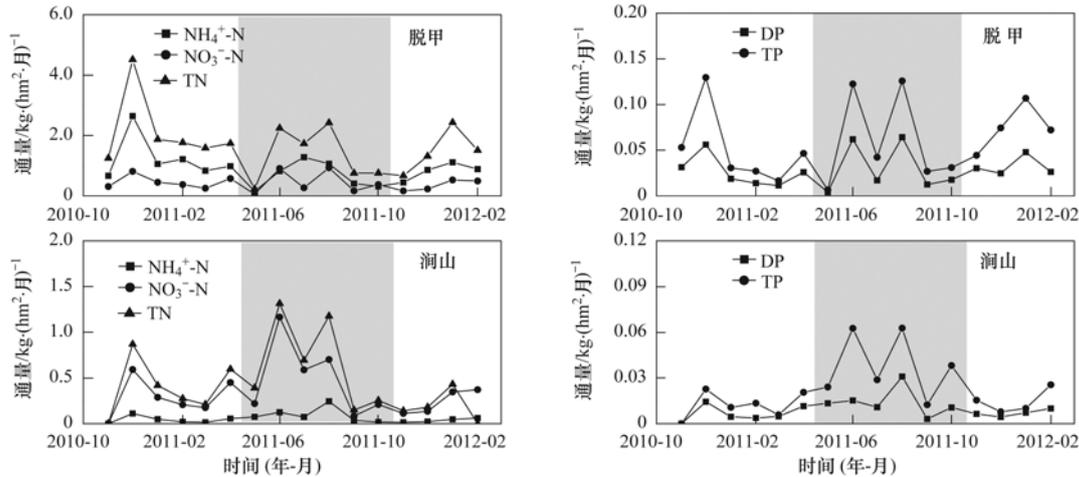


图 4 脱甲和涧山流域出口断面养分流失通量动态变化

Fig. 4 Temporal variations of nutrient mass fluxes at outlets of Tuoja and Jianshan catchments

脱甲和涧山流域水稻种植期、休耕期和全年的平均月输出通量如表 4 所示. 涧山水稻种植期的各种形态氮磷月输出通量均高于休耕期, 其中水稻种植期 TP 是休耕期的 2.66 倍, 种植期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是休耕期的 1.89 倍. 脱甲流域与涧山相比, 其水稻种植期与休耕期养分输出通量不存在明显差别.

表 4 脱甲和涧山流域出口断面的各养分输出通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$

Table 4 Mass flux of the nutrients at outlets of Tuoja and Jianshan catchments/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{month})^{-1}$

流域	时间	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN	DP	TP
脱甲	全年	0.92	0.43	1.67	0.03	0.06
	种植期	0.72	0.47	1.41	0.03	0.06
	休耕期	1.08	0.40	1.88	0.03	0.06
涧山	全年	0.06	0.35	0.44	0.01	0.02
	种植期	0.09	0.49	0.65	0.01	0.04
	休耕期	0.04	0.26	0.30	0.01	0.01

3 讨论

农业生产活动中大量的氮磷肥料施用被认为是农业流域水体养分污染的主要来源^[15]. 农田中 20% ~ 25% 的施用氮素最终会通过各种途径进入水

体环境^[16], 而 75% ~ 90% 的施用磷素滞留于土壤后, 有可能通过水文途径迁移进入水体^[17], 进而引发水体养分污染的风险. 连续 16 个月的监测结果表明, 脱甲和涧山流域河流水体均存在比较明显的氮磷养分污染 (尤其是氮污染), 且脱甲流域河流水体氮磷浓度水平和水质恶化程度均要高于涧山流域 (表 2 和表 3). 考虑到两个流域气候、地形地貌、土壤和耕作方式相似, 只有水稻种植面积比例不同 (表 1), 这表明在该地区传统的栽培管理模式下, 水稻种植对流域河流水体环境存在潜在威胁.

3.1 水稻种植与流域河流水体养分组成比例

水稻种植不仅可以提高流域河流水体养分浓度水平, 也会改变其化学组成比例 (表 2). 脱甲流域水体中氮以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主, 占 TN 的 58.5%, 而涧山则以 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为主, 占 TN 的 76.1%. 脱甲流域河流水体中较高的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例可能有两个原因: ① 稻田氮肥 (尿素) 施用使得大量氮以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的形式进入水体; ② 水稻田的长期淹水状态所形成的厌氧环境限制了氮的硝化过程^[18]. 涧山流域 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是河流水体中氮素的主要形态, 这可能归结于其较高的森林

面积比例. 亚热带红壤地区森林土壤中好氧条件和较低的土壤 pH 值有利于抑制氮素的反硝化过程^[19,20]. Huang 等^[21]研究也证明,在亚热带红壤地区,尽管森林流域氮的输入以 NH_4^+ -N 为主,但是 NO_3^- -N 却是无机氮流失的主要形态. 脱甲流域 DP 占 TP 的比例高于涧山(表 2). 金井地区水稻田施用磷肥为过磷酸钙,其主要成分为磷酸二氢钙,属于水溶性速效磷肥,易随地表径流而流失. 有研究表明稻田的灌排水过程可以抑制土壤对磷素的吸附^[22]. 由于脱甲流域水稻的种植面积比例要高于涧山流域,脱甲流域中大量 DP 形态的磷素随稻田的排水过程进入河流水体,从而使得脱甲流域河流水体中 DP/TP 值高于涧山流域.

3.2 水稻种植与流域河流水体养分浓度变化

脱甲和涧山流域氮磷养分浓度存在明显的季节性变化(图 3). 两个流域河流水体中 TN 浓度均在 1~2 月和 7 月较高. 1~2 月为该地区旱季,河道流量小,使得氮素在水体中得以积累而呈现较高浓度^[23]. 7 月是早稻排水烤田以及晚稻施用基肥的时间,早稻种植期的所施氮肥的残留和晚稻基肥的共同作用可能导致了 7 月峰值的出现. 两个流域中 NO_3^- -N 峰值的出现总是滞后于 NH_4^+ -N, 是因为流域中氮的输入主要以 NH_4^+ -N 为主,而 NH_4^+ -N 转化为 NO_3^- -N 大约需要一个月的时间^[24]. 脱甲和涧山流域磷素浓度均在 5~6 月和 10~12 月出现两个峰值. 5~6 月峰值的出现可能与施肥、排水烤田等人为活动有关. 而 10~12 月的峰值也可能是由旱季流域河流径流量较小导致.

3.3 水稻种植与流域河流水体养分流失通量

对比两个流域的养分流失通量可以发现,水稻种植面积比例增大,氮磷流失通量也随之增大(图 4). 脱甲流域氮磷输出量分别为 $1.67 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.06 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$, 均高于涧山流域的 $0.44 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.02 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$. 这可能与土地利用类型、养分输入强度及农田管理有关. 从土地利用方式而言,脱甲流域中水田面积比例较大,水田土壤的犁底层限制了氮磷养分向深层土壤的渗漏,并促进其通过地表径流而流失^[25]. 而涧山流域中较高的森林植被覆盖率可以有效降低氮磷养分的流失^[26]. 从养分输入强度而言,脱甲流域的水稻种植面积比例几乎是涧山的两倍,所以在流域尺度上,脱甲流域的氮磷肥的投入强度要远高于涧山流域. 较高的氮磷的投入强度意味着潜在的氮磷流失风险. Alvarez-

Cobelas 等^[27]研究发现以农地为主要土地利用类型的流域河流水体中 TN 的流失量是以林地为主的流域的 4 倍;从农田管理而言,相比于林地,稻田的灌排水、耕作和施肥等人为活动会促进养分的流失,从而增强河流水体中氮磷养分流失^[8]. 有研究表明在施肥情况下的水稻田氮磷流失量是不施或者少量施肥情况下的 10~30 倍^[28].

脱甲和涧山流域中各种形态氮磷养分都在 6 月和 8 月出现两个输出高峰(图 4). 在金井地区,5 月底到 6 月初是早稻排水烤田时间,7 月底到 8 月中旬是晚稻分蘖期追肥和排水烤田的时间,且 6 月和 8 月也是该地区降雨量和径流量的高峰期,这些过程可能共同导致氮磷的流失高峰^[29,30]. 而 2010 年 12 月和 2012 年 1 月出现的氮磷输出峰值应该与水稻种植关系不大,因为该期间晚稻已经收获,稻田完全处于休耕状态. 对比不同时期的氮磷输出通量发现,涧山流域水稻种植期的氮磷输出通量明显高于休耕期,其比值在 1.89~2.66 之间,而脱甲流域水稻种植期和休耕期之间却没有明显的差别(表 4). 据径流数据分析表明,水稻种植期涧山流域出口断面径流量要高于脱甲流域,而休耕期则相反(图 2). 考虑到流域内氮磷输出通量与径流量间呈现显著正相关性(r 为 0.63~0.94, $P < 0.01$),这表明种植期/休耕期的氮磷流失通量差异很大程度上还是受流域水文过程的影响^[5].

4 结论

(1) 流域内较高的水稻种植面积比例不仅会提高河流水体养分浓度水平,同时也会改变其化学成分比例,如提高水体中 NH_4^+ -N 占 TN 的比例.

(2) 亚热带红壤丘陵区农业河流中养分浓度和输出通量受水稻种植面积比例和管理措施(如排灌)的影响显著. 涧山和脱甲流域河流中 TN 浓度在 1~2 月和 7 月较高,而 TP 浓度在 5~6 月和 10~12 月较高. 脱甲流域 TN 和 TP 流失通量分别为 $1.67 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.06 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$, 均显著高于涧山流域 [$0.44 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$ 和 $0.02 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{月})^{-1}$].

(3) 在亚热带红壤丘陵区传统的栽培管理模式下,农业流域中较高的水稻种植面积比例对河流水体环境存在潜在威胁.

致谢:本研究在观测过程中得到了中国科学院亚热带农业生态研究所张卫东同志的大力帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 国家统计局. 第一次全国污染源普查公报 [EB/OL]. http://www.stats.gov.cn/tjgb/qqtjgb/qgqqtjgb/t20100211_402621161.htm, 2010-02-11.
- [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 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计 [J]. 中国农业科学, 2004, **37**(7): 1008-1017.
- [3] 李秀芬, 朱金兆, 顾晓君, 等. 农业面源污染现状与防治进展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, **20**(4): 81-84.
- [4] 黄国勤, 李文华. 中国中亚热带地区的农业环境污染 [J]. 江西农业学报, 2006, **18**(5): 145-150.
- [5] 杨金玲, 张甘霖. 皖南低山丘陵地区流域氮磷径流输出特征 [J]. 农村生态环境, 2005, **21**(3): 34-37.
- [6] 金树权, 朱晓丽, 周金波, 等. 宁波农村地区典型河流氮磷污染特征分析 [J]. 水土保持学报, 2010, **24**(1): 105-108.
- [7] Pärn J, Pinay G, Mander ü. Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: A review [J]. Ecological Indicators, 2012, **22**: 4-15.
- [8] 杨金玲, 张甘霖, 张华, 等. 丘陵地区流域土地利用对氮素径流输出的影响 [J]. 环境科学, 2003, **24**(1): 16-23.
- [9] 王晓燕, 王一响, 王晓峰, 等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律 [J]. 环境科学研究, 2003, **16**(1): 30-33.
- [10] 黄来明, 杨金玲, 张甘霖. 我国亚热带丘陵地区流域氮素的平衡与源汇特征 [J]. 环境科学, 2010, **31**(12): 2981-2987.
- [11] Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy [M]. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2010.
- [12] Water Resources Research Laboratory, USA. Water measurement manual [EB/OL]. http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/pubs/wmm/, 2001.
- [13] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [14] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准 [S].
- [15] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen [J]. Ecological Applications, 1998, **8**(3): 559-568.
- [16] Chatterjee R. Projecting the future of nitrogen pollution [J]. Environmental Science and Technology, 2009, **43**(6): 1659-1659.
- [17] 王庆仁, 李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展 [J]. 环境科学进展, 1999, **7**(2): 116-12.
- [18] Feng Y W, Yoshinaga I, Shiratani E, *et al.* Characteristics and behavior of nutrients in a paddy field area equipped with a recycling irrigation system [J]. Agricultural Water Management, 2004, **68**(1): 47-60.
- [19] Di H J, Cameron K C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, **64**(3): 237-256.
- [20] Saleh-Lakha S, Shannon K E, Henderson S L, *et al.* Effect of pH and temperature on denitrification gene expression and activity in *Pseudomonas mandelii* [J]. Applied and Environment Microbiology, 2009, **75**(12): 3903-3911.
- [21] Huang L M, Yang J L, Zhang G L. Nitrogen sink in a small forested catchment of subtropical China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, **23**(3): 468-475.
- [22] McDowell R W, Sharpley A N, Condon L M, *et al.* Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2001, **59**(3): 269-284.
- [23] 杨峰, 王鹏举, 杨姗姗, 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): 2652-2658.
- [24] 李永梅, 杜彩琼, 林春苗, 等. 铵态氮肥施入土壤中的转化 [J]. 云南农业大学学报, 2003, **18**(1): 26-29.
- [25] Sander T, Horst H G. Preferential flow patterns in paddy fields using a dye Tracer [J]. Vadose Zone Journal, 2007, **6**(1): 105-115.
- [26] Hayakawa A, Shimizu M, Woli K P, *et al.* Evaluating stream water quality through land use analysis in two grassland catchments: impact of wetlands on stream nitrogen concentration [J]. Journal of Environmental Quality, 2006, **35**(2): 617-627.
- [27] Alvarez-Cobelas M, Angeler D G, Sánchez-Carrillo S. Export of nitrogen from catchments: A worldwide analysis [J]. Environmental Pollution, 2008, **156**(2): 261-269.
- [28] 王爱国, 王雯. 土地利用方式对径流中 N、P 输出的影响 [J]. 安徽农学通报, 2010, **16**(11): 153-156.
- [29] 邵婉晨, 徐加宽, 李光辉, 等. 高产水稻田氮磷排放监测及特征分析 [J]. 环境检测管理与技术, 2009, **21**(4): 59-62.
- [30] Kim J S, Oh S Y, Oh K Y. Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season [J]. Journal of Hydrology, 2006, **327**(1-2): 128-139.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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