

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第10期

Vol.36 No.10

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于细颗粒物来源追踪技术的2013年12月上海市严重污染过程中PM_{2.5}的源贡献分析..... 李莉, 安静宇, 严茹莎 (3543)

华北地区乡村站点(曲周)夏季PM_{2.5}中二次无机组分的生成机制与来源解析 陈仕意, 曾立民, 董华斌, 朱彤 (3554)

成都市大气PM_{2.5}中有机磷阻燃剂的污染水平及来源 印红玲, 李世平, 叶芝祥, 杨迎春, 梁金凤, 游俊杰 (3566)

不同生物质燃烧排放多环芳烃及糖醇类化合物的模拟研究 黄帅, 黄欣怡, 吴水平, 胡清华, 陈晓秋 (3573)

北京地区大气消光特征及参数化研究 陈一娜, 赵普生, 何迪, 董璠, 赵秀娟, 张小玲 (3582)

光助芬顿反应催化降解气体中甲苯 郑思灿, 陈天虎, 刘海波, 邹雪华, 朱承驻, 陈冬 (3590)

遗体火化二噁英类排放水平及影响因素 尹文华, 于晓巍, 韩静磊, 冯桂贤, 付建平, 杨艳艳, 鞠勇明, 张素坤 (3596)

我国餐厨废物生化处理设施恶臭排放特征分析 张妍, 王元刚, 卢志强, 韩萌, 商细彬, 曹阳, 张君 (3603)

太湖湖表反照率时空特征及影响因子 曹畅, 李旭辉, 张弥, 刘寿东, 肖薇, 肖启涛, 徐家平 (3611)

基于GOCI影像的太湖水体漫衰减系数遥感反演 王珊珊, 李云梅, 王桥, 吕恒 (3620)

河口盐度梯度下短叶茳苳沼泽湿地土壤孔隙水溶解性甲烷时空特征 杨平, 张子川, 杜威宁, 黄佳芳, 全川 (3633)

石家庄市区土壤水分运移的稳定同位素特征分析 陈同同, 陈辉, 韩璐, 邢星, 付阳阳 (3641)

长寿湖水库垂直剖面不同形态汞的季节变化特征及其影响因素 白薇扬, 张成, 唐振亚, 赵铮, 王定勇 (3649)

三峡库区消落带4种典型植物根际土壤养分与氮素赋存形态 王晓锋, 袁兴中, 刘红, 张磊, 尉建军, 岳俊生 (3662)

湖泊水-沉积物界面DIC和DOC交换通量及耦合关系 王伟颖, 吕昌伟, 何江, 左乐, 颜道浩 (3674)

水体扰动条件下物质在沉积介质中的迁移 李邵龙, 陈道毅 (3683)

城市道路径流的排污特征 武俊良, 任玉芬, 王雪梅, 王效科, 陈利顶, 刘刚才 (3691)

杭州市余杭区典型农村暴雨径流污染特征 段圣辉, 赵钰, 单保庆, 唐文忠, 张文强, 张淑珍, 郎超 (3697)

海水淡化超滤-反渗透工艺沿程溴代消毒副产物变化规律 杨哲, 孙迎雪, 石娜, 胡洪管 (3706)

天然有机物和电解质对水中C₆₀凝聚行为的影响 方华, 荆洁, 于江华, 王钰葶 (3715)

钆改性高岭土原位改良技术控制重污染河道底泥磷释放效果 王虹, 林建伟, 詹艳慧, 章喆, 王笛入 (3720)

污水管网中无机氮类营养盐迁变规律 金鹏康, 焦丁, 任武昂 (3730)

微好氧水解酸化在石化废水预处理中的应用研究 朱晨, 吴昌永, 周岳溪, 伏小勇, 陈学民, 邱延波, 吴晓峰 (3738)

倒置A²/O-MBR组合工艺处理生活污水效能及膜污染特性 王旭东, 马亚斌, 王磊, 杨怡婷, 黄丹曦, 夏四清 (3743)

高氨氮对具有回流的PN-ANAMMOX串联工艺的脱氮影响 李祥, 崔剑虹, 袁砚, 黄勇, 袁怡, 刘忻 (3749)

苯甲酸盐厌氧驯化体系中三氯乙烯的还原脱氯特性 李姜维, 杨晓永, 胡安谊, 于昌平 (3756)

驯化污泥厌氧还原脱氯促进2,4,6-三氯酚矿化及胞外呼吸脱氯途径 宋佳秀, 李玲, 盛凡凡, 郭翠香, 张永明, 李祖元, 王天丽 (3764)

苯酚对厌氧氨氧化污泥脱氮效能长短期影响 杨朋兵, 李祥, 黄勇, 朱亮, 崔剑虹, 徐彬彬 (3771)

连续流好氧颗粒污泥系统处理低COD/N实际生活污水的工艺优化 鲁磊, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建, 武勇 (3778)

FNA对好氧吸磷的长期抑制及污泥吸磷方式转化 马娟, 李璐, 俞小军, 孙雷军, 孙洪伟, 陈永志 (3786)

污水处理厂不同工艺的污泥脱水效能分析及其影响因素研究 刘吉宝, 李亚明, 吕镗, 魏源送, 杨敏, 郁达伟 (3794)

残留过氧化氢对微波-过氧化氢-碱预处理后污泥水解酸化的影响 贾瑞来, 刘吉宝, 魏源送, 才兴 (3801)

大围山典型森林土壤有机氮垂直分布特征 丁咸庆, 马慧静, 朱晓龙, 陈珊, 侯红波, 彭佩钦 (3809)

缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳、氮组分的影响 祁心, 江长胜, 郝庆菊, 李鉴霖 (3816)

三峡库区典型退耕还林模式土壤养分流失控制 吴东, 黄志霖, 肖文发, 曾立雄 (3825)

坡位与土层对喀斯特原生林土壤微生物生物量与丰度的影响 冯书珍, 苏以荣, 张伟, 陈香碧, 何寻阳 (3832)

不同种植方式对亚热带红壤微生物多样性的影响 沈冰洁, 祝贞科, 袁红朝, 葛体达, 王久荣, 陈明利, 吴晓英, 吴金水 (3839)

有色冶金区土壤-玉米系统汞累积及健康风险 纪小凤, 郑娜, 王洋, 刘强, 张静静 (3845)

改良剂对4种木本植物的铅锌耐性、亚细胞分布和化学形态的影响 陈永华, 张富运, 吴晓英, 梁希, 袁斯文 (3852)

菹草乙酸酯组分抑藻活性物质的分离纯化和鉴定 孙颖颖, 苏振霞, 浦寅芳, 肖辉, 王长海 (3860)

血吸虫病疫区水生生物体内氯苯化合物的污染特征与潜在风险 李昆, 赵高峰, 周怀东, 赵健, 张盼伟, 刘巧娜, 王兴勋, 刘晓茹 (3866)

生物传感细胞ADP1_pWHlux在水环境急性毒性检测中的应用 唐慧, 宋一之, 姜博, 陈光玉, 贾建丽, 张旭, 李广贺 (3872)

虹鳟鱼鳃及肝脏多种CYP1基因表达模式作为生物标志物监测海河水污染状况 高锴, 闫佩, 檀翠玲, 罗彦鹤, 孙静, Maria E. Jönsson, Ingvar Brandt, 唐运平 (3878)

纳米氧化锌对斑马鱼肝脏的毒性效应 刘林, 赵群芬, 金凯星, 朱帅旗, 王小飞, 吕佳昀 (3884)

黄连根茎浸提物对隆线蚤的急性毒性作用 陈亚楠, 袁玲 (3892)

发酵稻壳对亚铁离子和硫离子的吸附-解吸附特性 谢晓梅, 廖敏, 华嘉媛, 陈娜, 张楠, 徐培智, 解开治, 徐昌旭, 刘光荣 (3896)

搅拌棒吸附萃取-气相色谱-质谱联用测定海水中邻苯二甲酸酯 高晨晨, 李锋民, 卢伦, 孙玥 (3906)

COD组分分析的实验条件及结果可靠性分析 李志华, 张银, 韩杏, 余科, 李汝佳 (3913)

养猪废水和污泥中11种兽用抗生素的同时分析技术及其在生物降解过程的应用 丁佳丽, 刘锐, 郑炜, 余卫娟, 叶朝霞, 陈吕军, 张永明 (3918)

土壤微生物产电技术及其潜在应用研究进展 邓欢, 薛洪婧, 姜允斌, 钟文辉 (3926)

《环境科学》征订启事 (3553) 《环境科学》征稿简则 (3589) 信息 (3705, 3755, 3763, 3800)

三峡库区典型退耕还林模式土壤养分流失控制

吴东, 黄志霖*, 肖文发, 曾立雄

(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)

摘要: 选择三峡库区典型退耕还林模式, 包括园地(茶园)及林地(板栗)与原有坡耕地对照, 观测并分析其土壤养分(氮磷)输出途径及数量情况, 以评估实施退耕还林工程对流域土壤养分输出的影响. 结果表明: ① 退耕后土壤养分氮磷年流失量(包括随泥沙和地表径流流失的量)减少; 总氮(TN)年输出量从大到小依次为坡耕地($2\,444.27\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 茶园地($998.70\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 板栗林地($532.61\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$); 总磷(TP)为坡耕地($1\,690.48\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 茶园地($488.06\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 板栗林地($129.00\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$); 与坡耕地比较, 退耕还林模式(园地、林地)总氮、总磷年输出载荷分别减少了68.68%和81.75%. ② 茶园地、板栗林地与坡耕地相比, 土壤养分速效态氮流失量明显减少, 硝态氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)输出总量依次为坡耕地($113.79\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 茶园地($73.75\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 板栗林地($56.06\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$); 铵态氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)养分输出次序为茶园最大($69.34\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), 坡耕地次之($52.45\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), 板栗林地最小($47.23\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$). ③ 硝态氮、铵态氮主要通过地表径流输出, 所占总量比例分别为91.4%和92.2%; 总氮和总磷主要通过泥沙输出, 所占总量比例分别为86.6%和98.4%. 通过退耕还林等措施, 该地区地表径流以及土壤侵蚀输出明显减少, 土壤养分流失得到有效控制.

关键词: 三峡库区; 退耕还林; 径流; 泥沙; 土壤养分; 流失

中图分类号: X171.1; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)10-3825-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.10.035

Control of Soil Nutrient Loss of Typical Reforestation Patterns Along the Three Gorges Reservoir Area

WU Dong, HUANG Zhi-lin*, XIAO Wen-fa, ZENG Li-xiong

(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)

Abstract: Annual soil nutrient loss characteristics on typical reforestation patterns in watershed along the Three Gorges Reservoir Area were studied based on runoff plot experiment. Runoff and sediment nutrition content from May to October 2014 of typical reforestation patterns including garden plot (tea garden), forest land (Chinese chestnut) and the original slope farmland were determined and then analyzed. The results showed that: ① After the Returning Farmland to Forest Project the quantity of annual soil nutrient (nitrogen and phosphorus, the sum of them in sediment and runoff) loss decreased. The output of total nitrogen (TN) was in the order of slope farmland ($2\,444.27\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > tea garden ($998.70\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > Chinese chestnut forest ($532.61\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), and for total phosphorus (TP) loss was slope farmland ($1\,690.48\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > tea garden ($488.06\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > Chinese chestnut forest ($129.00\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$). Compared with slope farmland, the load of TN and TP output of reforestation patterns decreased 68.68% and 81.75%, respectively. ② Compared with slope farmland, available nitrogen loss decreased in reforestation patterns. Total nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) loss ranked in the order of slope farmland ($113.79\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > tea garden ($73.75\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > Chinese chestnut forest ($56.06\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$). The largest amount of ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) was found in tea garden ($69.34\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), then in farmland ($52.45\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), and the least in Chinese chestnut forest ($47.23\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$). ③ The main route of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ loss was both through runoff, the quantity of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ output in which accounted for 91.4% and 92.2% of the total, respectively. The quantity of TN and TP in sediment accounted for 86.6% and 98.4% of the total. TN and TP loss showed an extremely significant correlation with sediments, which showed that sediment output was the main approach of TN and TP loss.

Key words: Three Gorges Reservoir Area; returning farmland to forest; runoff; sediment; soil nutrient; loss

三峡库区生态屏障区农业人口密集, 土地资源长期被过度开发与利用, 土壤侵蚀和农业非点源污染物直接入库, 对三峡水库安全运行造成巨大威胁. 在全国生态功能区划中, 三峡库区被列为全国水土保持极重要区域和重要水源涵养区^[1]. 屏障区先后实施了后靠移民、退耕还林以及库周绿化等工程, 以坡耕地为主体的小流域转变为耕地、茶园、果园和林地等多种模式类型的镶嵌格局^[2]. 尤其是陡坡

耕地实施退耕还林后, 小流域土地利用、植被覆盖、耕作管理及施肥等发生改变, 直接影响土壤物理性质、土壤扰动和土壤养分循环^[3]. 大量研究表明, 土地利用方式与流域水土流失和养分输出密切相

收稿日期: 2015-02-07; 修订日期: 2015-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370481)

作者简介: 吴东(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用及其生态环境效应, E-mail: wudong901116@163.com

* 通讯联系人, E-mail: hzlin66@163.com

关^[4-6]. 土地利用方式对土壤、植被、径流以及养分的输入、输出产生影响^[7,8], 土地利用变化所造成的农业面源污染差异巨大^[9,10]. 弄清典型退耕还林模式养分输出特征对流域养分输出控制和小流域合理利用土地资源具有指导意义.

关于三峡库区退耕还林模式水土流失特征^[11]、土壤渗透^[12]、水文效应^[2]及水土保持功能^[3]等已有较为系统的监测与分析, 并应用模型分析了小流域 10 种退耕还林情景的径流泥沙和养分输出效应^[13]、农业管理措施对非点源污染削减效果评估^[14]、土地利用格局对径流泥沙和氮磷输出的影响等^[15,16]. 但在以往观测研究时仅对径流中土壤养分流失特征进行了比较分析^[17], 对通过泥沙输出的土壤养分载荷的观测与研究较少. 因此, 本研究利用小区对照试验, 观测并分析自然降雨条件下各退耕模式地表径流与泥沙中土壤养分输出情况, 探讨茶园地和板栗林地等与坡耕地土壤养分(氮磷)输出特征差异, 分析土壤养分流失量、流失形式及输出途径, 评估典型退耕还林模式养分流失控制效应, 以期为库区小流域合理利用土地资源以及农业面源污染物输出控制提供依据.

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究地点位于湖北省宜昌市秭归县兰陵溪小流域(110°56'E, 30°50'N), 是国家林业局退耕还林示范区, 距离三峡大坝 17 km 左右, 面积为 144 hm². 受亚

热带大陆季风气候影响, 多年平均降水量为 1 439 mm, 且年际差异较大, 降雨主要集中在 5~8 月, 占全年降雨量的 70% 左右^[14]. 小流域土壤多为黄壤粗骨性砂土, 其保水性和保肥性都比较差.

兰陵溪小流域地形西高东低, 西部地区最高海拔达到 1 400 m, 植被覆盖低, 荒草出露岩石分布; 小流域内海拔 500 m 以下以茶园、板栗、柑橘和农田为主, 中部低山区(500 m 以上)主要为灌木、马尾松(*Pinus massoniana*) 次生林和松栎(*Pinus and Quercus*) 混交林等林带, 植被覆盖率为 72.5%. 居民点主要分布于东部低山区(300~500 m). 2002 年小流域 25° 以上坡耕地开始实施退耕还林工程, 随后相继开始实施坡改梯、免耕、缓冲带等生态防护工程. 退耕还林后台地主要以茶园地为主, 也有部分柑橘园地、板栗林地等(200~500 m), 部分地块间作玉米、花生和红薯等农作物, 形成农林、农茶间作带, 农地、林果地农药及化肥施用量较大. 试验期间农耕地主要种植红薯和玉米, 各地类均由当地农户按照传统方式进行管理.

1.2 研究方法

1.2.1 径流小区布设

根据小流域土地利用类型和退耕还林模式, 选择退耕模式代表性地段(包括位置、坡度等)布设径流小区, 各小区布设均以具有典型代表性和地形条件基本一致为原则. 径流小区水平投影面积为 50 m², 并对径流小区的坡度、坡位、植被盖度及施肥等方面进行调查, 结果如表 1 所示.

表 1 径流小区基本特征¹⁾

Table 1 Basic characteristics of runoff plots

编号	退耕模式	海拔/m	坡度/(°)	坡向	面积/m ²	土壤类型	植被盖度/%	植物种类	施肥量 /kg·(hm ² ·a) ⁻¹
J1	茶园	290	13	东北	50	黄壤砂土	85	茶树	600
J2	耕地	295	23	东北	50	黄壤砂土	80	玉米、红薯	800
J3	耕地	295	23	东北	50	黄壤砂土	70	玉米、红薯	800
J4	板栗	295	23	东南	50	黄壤砂土	95	板栗	/
J5	板栗	295	23	东南	50	黄壤砂土	95	板栗	/
J6	茶园	295	30	西北	50	黄壤砂土	85	茶树	600
J7	茶园	295	30	西北	50	黄壤砂土	85	茶树	600

1) “/”表示不施肥

对各退耕模式表层土壤进行采样, 按照 S 型布设 5 个采样点, 采用环刀法测定土壤物理特征指标(孔隙度、容重和渗透率等), 并分析其表层土壤(0~20 cm)养分氮磷含量, 养分测定结果(同一退耕模式取各小区均值)如表 2 所示.

1.2.2 样品采集与测定

本研究样品采集主要在雨季进行, 观测起止时

表 2 不同退耕模式表层土壤氮磷含量/g·kg⁻¹

Table 2 Nitrogen and phosphorus content of different reforestation patterns in surface soil/g·kg⁻¹

土地利用类型	全氮	全磷	硝态氮	铵态氮
茶园	1.663	1.295	0.012	0.008
耕地	1.360	1.570	0.009	0.011
板栗	1.575	1.255	0.002	0.007

间为 2014 年 5 ~ 10 月. 试验期间降雨量为 882.2 mm, 约占全年的 80%, 因此试验期间的监测基本能够反映该区域 2014 年全年土壤养分输出特征. 每次降雨停止后测定各径流小区集水池中径流深度, 再通过体积法换算为径流总量. 将集水池中水样搅浑并收集 1 L 泥沙混合样装入做好标记的聚乙烯瓶(稀酸浸泡、蒸馏水洗净), 带回秭归生态定位站实验室保存于 4℃ 恒温冰箱. 样品收集完成后将集水池清扫干净, 以避免对下次取样造成污染.

取 500 mL 泥沙混合样用烘干后的滤纸过滤, 将滤纸和泥沙一起放入 85℃ 烘箱 24 h, 取出称重后计算各退耕模式泥沙侵蚀量, 并对泥沙中 TN、TP、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量进行测定. 另外 500 mL 泥沙混合样经过离心、0.45 μm 滤膜过滤后测定水样中以上 4 个养分指标. 水样 TN 测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, TP 测定采用钼酸铵分光光度法, 泥沙样 TN 采用半微量凯氏测定法测定, TP 采用碱熔-钼锑抗比色法测定. 水样经 0.45 μm 滤膜过滤、泥沙样经氯化钾溶液浸提后通过意大利产 Smartchem140 型化学间断分析仪测定 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 质量浓度, 所有测定方法均参照标准方法进行^[18~20].

本研究应用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件统计与分析试验数据, 并使用 Sigmaplot 12.5 软件作图.

1.2.3 数据处理

各退耕模式氮磷养分流失负荷计算为全部场次降雨所引起的养分流失的总和, 包括地表径流和土壤侵蚀两部分. 计算公式如下:

$$L_{ij} = \sum_{k=1}^n c_{ijk} R_{ik} \quad (1)$$

式中, L_{ij} 为第 i 个径流小区的第 j 个径流养分指标的年单位面积输出负荷 ($\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$), c_{ijk} 为第 i 个径流小区的第 j 个径流养分指标在第 k 次降雨中的养分质量浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), R_{ik} 为第 i 个径流小区在第 k 次降雨中地表径流量 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), n 为 2014 年降雨次数.

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^n H_{ijk} T_{ik} / 1000 \quad (2)$$

式中, Q_{ij} 为第 i 个径流小区的第 j 个泥沙养分指标的年单位面积输出负荷 ($\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$), H_{ijk} 为第 i 个径流小区的第 j 个泥沙养分指标在第 k 次降雨中的养分浓度 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), T_{ik} 为第 i 个径流小区在第 k 次降雨中泥沙流失量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), n 为 2014 年降雨次数.

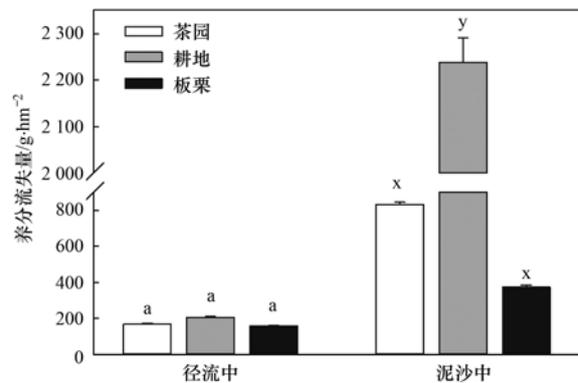
各退耕模式地表径流以及泥沙侵蚀中养分年输

出负荷为相同退耕模式的各径流小区养分年输出负荷的均值.

2 结果与分析

2.1 土壤养分氮磷流失

对试验期间各退耕还林模式土壤养分氮磷年输出负荷加以分析, 各退耕模式土壤总氮流失情况如图 1 所示. 分析结果表明, 坡耕地退耕转变为茶园地和板栗林地后总氮流失量显著减少, 具体表现为坡耕地总量(包括径流和泥沙输出两部分的总氮之和, 下同)最大, 达到了 $2444.27 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$, 茶园地次之, 为 $998.70 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$, 板栗林地最少, 只有 $532.61 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$. 多重比较(LSD 法)结果显示, 坡耕地与茶园地、板栗林地之间泥沙中总氮流失量具有显著差异 ($P < 0.05$). 各退耕模式由泥沙输出而造成的总氮流失量始终都高于径流, 茶园地、坡耕地、板栗林地泥沙中总氮输出量分别为径流中的 4.94、10.89 和 2.37 倍, 三者之间没有表现出显著差异. 与坡耕地比较, 退耕还林模式平均总氮流失量减少了 68.68%.



不同字母的处理间差异显著, $P < 0.05$, LSD 检验, 下同

图 1 不同退耕模式土壤养分总氮输出

Fig. 1 Total nitrogen output of soil in different reforestation patterns

将 3 种退耕模式地表径流中总氮年输出量求和, 并与泥沙中总氮年输出总和进行对比分析, 发现二者之间表现出极显著差异, 由土壤侵蚀所造成的总氮年输出量所占比例为 86.6%, 由径流输出造成的仅占 13.4%, 因此土壤侵蚀是造成该地区总氮流失的主要原因.

土壤养分总磷的流失特征如图 2 所示. 从输出总量上来看, 不同退耕模式之间总磷年输出量大小关系与总氮相同, 即板栗林地 ($129.00 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) < 茶园地 ($488.06 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) < 坡耕地 ($1690.48 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$), 且三者之间差异显著. 茶园、板栗和耕地

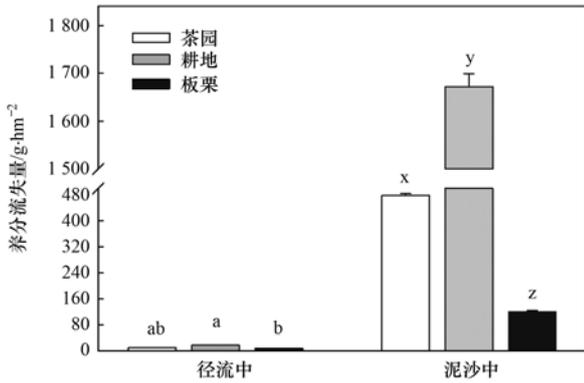


图2 不同退耕模式土壤养分总磷输出

Fig. 2 Total phosphorus output of soil in different reforestation patterns

三者之间泥沙中总磷流失量差异显著,而从径流中总磷含量来看,坡耕地与板栗林地也表现出了显著差异. 监测结果表明总磷随地表径流流失量很少,伴随泥沙的输出量占主要部分,茶园地、坡耕地和板栗林地这3种模式泥沙中总磷输出量分别为径流中的48.19、93.49和14.87倍. 坡耕地退耕还林后,大幅度降低土壤养分总磷输出,与坡耕地比较,退耕还林模式的年平均总磷流失量减少了81.75%.

将3种退耕模式地表径流中总磷年输出量求和,并与泥沙中总磷年输出总和进行对比分析,发现二者之间差异极为显著,土壤侵蚀造成的总磷流失量所占比例为98.4%,通过径流输出的总磷流失量仅占1.6%,因此土壤侵蚀造成的总磷输出是该地区总磷流失的主要途径.

2.2 土壤养分速效态氮流失

对各退耕模式土壤养分速效态氮流失情况加以分析,硝态氮输出如图3所示. 硝态氮总流失量大小顺序依然为坡耕地(113.79 g·hm⁻²) > 茶园地(73.75 g·hm⁻²) > 板栗林地(56.06 g·hm⁻²),泥沙中与径流中3种模式硝态氮输出量大小顺序相同,且都与硝态氮总流失量大小顺序一致. 与坡耕地比较,退耕还林模式的平均硝态氮流失量减少42.96%. 坡耕地与茶园地、板栗林地之间比较,径流中硝态氮流失量差异不显著,泥沙中硝态氮流失量则有显著差异. 茶园地和坡耕地径流中硝态氮输出量分别为泥沙中的16.72和6.04倍,板栗林地径流中硝态氮输出量则是泥沙中的82.26倍,由此可以看出硝态氮主要输出途径是地表径流.

铵态氮年输出情况如图4所示,总量大小关系

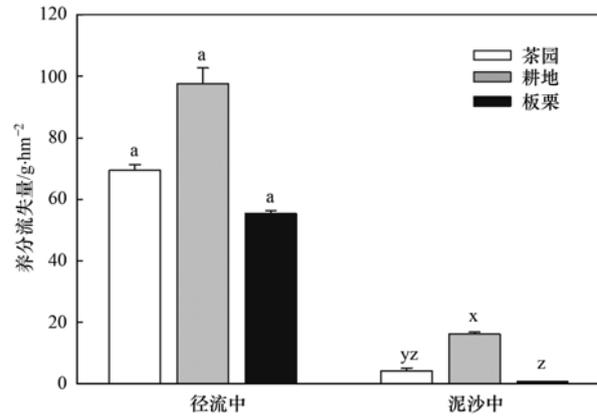


图3 不同退耕模式土壤养分硝态氮输出

Fig. 3 Nitrate nitrogen output of soil in different reforestation patterns

为: 茶园地最大(69.34 g·hm⁻²), 坡耕地次之(52.45 g·hm⁻²), 板栗林地最少(47.23 g·hm⁻²). 由径流途径输出的铵态氮三者之间没有显著差异,但坡耕地泥沙中铵态氮含量与茶园地、板栗林地差异显著,这与硝态氮的分布情况一致. 茶园地相比于坡耕地铵态氮输出量更大. 茶园地和坡耕地地表径流中铵态氮输出量分别为泥沙中的21.75和4.96倍,板栗林地径流铵态氮输出量是泥沙中的33.75倍,因此铵态氮输出的绝大部分存在于径流中,泥沙中只占很小一部分.

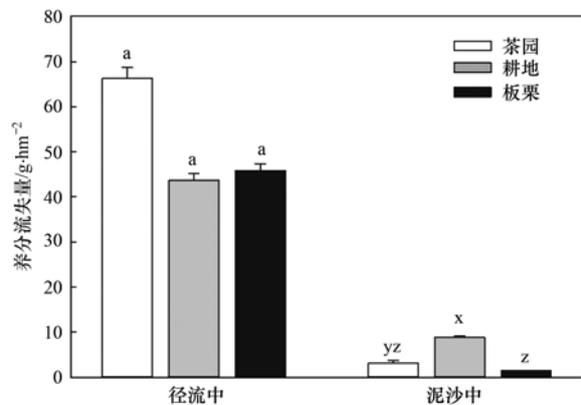


图4 不同退耕模式土壤养分铵态氮输出

Fig. 4 Ammonium nitrogen output of soil in different reforestation patterns

对3种退耕模式速效养分硝态氮、铵态氮在不同流失途径中的输出总量进行对比分析,发现由地表径流和土壤侵蚀所造成硝态氮和铵态氮输出量都表现出极显著差异,通过径流输出的硝态氮和铵态氮所占比例分别为91.4%和92.2%,通过泥沙侵蚀输出所占比例仅为8.6%和7.8%,因此该地区径流输出是速效养分硝态氮和铵态氮流

失的主要途径。

2.3 土壤养分流失与径流泥沙输出间的关系

为了进一步确定土壤养分氮磷输出与地表径流

以及土壤侵蚀等指标之间的关系,对各退耕模式氮磷流失量与径流泥沙输出量进行 Pearson 相关分析 ($n = 126$),结果见表 3。

表 3 氮磷流失量与径流泥沙输出的相关关系¹⁾

Table 3 Correlation between nitrogen and phosphorus loss with runoff and sediment output

指标	Pearson 相关性					
	径流	泥沙	总氮	总磷	硝态氮	铵态氮
径流	1	0.276	0.196	0.296	0.432 **	0.126
泥沙		1	0.898 **	0.961 **	0.366 *	-0.051
总氮			1	0.869 **	0.191	0.020
总磷				1	0.375 *	-0.042
硝态氮					1	0.187
铵态氮						1

1) * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

土壤养分总氮、总磷流失量与泥沙输出量表现出极显著相关关系,相关系数分别为 0.898、0.961 ($P < 0.01$),表明总氮与总磷输出的主要载体确为侵蚀泥沙。硝态氮输出量与径流量大小存在极显著相关关系(相关系数为 0.432, $P < 0.01$),表明硝态氮主要通过径流输出。总磷输出量与总氮相关性极显著,相关系数为 0.869 ($P < 0.01$),与硝态氮相关性显著,相关系数为 0.375 ($P < 0.05$),表明由侵蚀泥沙所造成的土壤养分流失受侵蚀土壤颗粒控制,且不同土壤养分流失过程存在一定的关联性。

3 讨论

土壤养分的年流失负荷作为评价退耕还林模式的主要监测指标,对养分流失控制效应具有指示意义。由监测结果可以看出,实施退耕还林工程以后各退耕模式土壤养分氮磷输出量显著减少,总氮流失量减少了近 70%,总磷流失量减少超过 80%,土壤养分速效态氮输出方面也有一定程度的减少,这一结果与徐畅等在重庆市涪陵区珍溪镇王家沟小流域的试验结果一致^[21]。产生这一结果主要原因是由退耕还林工程所造成的植被覆盖、耕作措施和施肥等方面的变化所导致的^[22~25]。植被对于养分流失具有抑制作用,通过植被冠层(板栗)或叶面(茶园)的截留降低了雨水对土壤的直接冲刷,降低雨滴动能,另外植物根系也能有效的增加土壤团粒的稳定性,增加地表径流的渗透作用,通过减少径流和泥沙侵蚀而降低土壤养分输出^[26~28]。板栗林地植被生长茂密,植被覆盖度高,地表枯落物层较好,且人为扰动少,表层土壤有机质含量高,有利于降雨下渗并降低地表径流流速,使地表径流与泥沙侵蚀量大大减少,从而降低土壤养分输出^[29,30]。相对于

坡耕地,茶园地茶树低矮,灌丛状密植,地面覆盖度高,养分流失控制效应更强。坡耕地以玉米、红薯等农作物种植为主,由于翻耕、播种、除草和收割等人为管理活动频繁,表层土壤有机质含量低,土壤结构遭到破坏且容易板结,入渗能力差^[31],因此地表径流与土壤侵蚀量大,土壤养分氮磷流失量也远远高于其他退耕模式(茶园地和板栗林地)。另外在收获后和播种前(8月底到9月初)呈现出裸地状态,径流、溅蚀及其携带表层土壤颗粒增加,加剧了土壤侵蚀和土壤养分流失。坡耕地和茶园管理过程中存在多次施肥的情况,但农作物和茶树的化肥利用率很低,氮肥利用率更是只有 30%~50%,有大约一半的氮肥在施入土壤后通过不同途径而损失掉^[32]。施肥量增大时,虽然作物生长旺盛,在一定程度上减少了水土和养分流失,但急剧增加了泥沙养分富集,从而增加了土壤养分流失量^[33]。因此,改变化学肥料类型、减少氮磷肥料施肥量、合理安排施肥时间、改进施肥方式等是减少土壤养分氮磷流失的重要手段。

氮磷养分流失途径的差异,给水土保持和养分流失控制措施提出优先选项。土壤侵蚀所造成的总氮输出所占比例超过 86%,总磷输出更是高于 98%,而且总氮、总磷流失量与泥沙输出量表现出极显著相关关系,说明氮磷流失以颗粒态(难溶性形态或紧密吸附于土壤,尤其是磷素)为主,并以泥沙为载体,这与前人相关研究结论一致^[34~36]。通过地表径流输出的硝态氮和铵态氮所占比例分别为 91.4% 和 92.2%,因此该地区土壤养分速效态氮主要通过溶解于径流并伴随径流流失。相比较而言,总氮总磷输出量要远远高于速效态氮,该地区氮磷营养物输出以吸附态为主,尤其是磷,泥沙携带占绝

对优势,因此该地区氮磷养分流失的主要途径是土壤侵蚀. 要加强对土壤养分氮磷输出的控制,必须采取合理的措施以控制该地区的土壤侵蚀,如植被覆盖和植被结构的调整,耕作措施的改进以及化学肥料施用方式的改变等.

4 结论

(1)与坡耕地比较,退耕模式土壤养分氮磷年流失量(包括泥沙和地表径流)显著降低,养分流失量大小次序为坡耕地 > 茶园地 > 板栗林地,退耕后土壤养分总氮和总磷年输出载荷大大降低,退耕还林措施有效地降低和控制了土壤养分氮磷养分输出.

(2)土壤养分速效态氮方面,退耕模式相对于坡耕地也有所减少,硝态氮年输出总量大小顺序依次为坡耕地 > 茶园地 > 板栗林地;铵态氮养分年输出次序为茶园最大,坡耕地次之,板栗林地最小.

(3)不同形态养分流失途径差异明显:土壤总氮和总磷以土壤颗粒输移为主要途径,通过土壤侵蚀的氮磷输出量的比例占绝大多数,且与泥沙输出量之间极显著相关;速效土壤养分硝态氮和铵态氮主要通过径流输出,由径流输出的硝态氮和氨态氮所占比例极高,且硝态氮输出量与径流量极显著相关. 因土壤侵蚀而造成的氮磷输出是该流域氮磷流失的最主要途径,减少向三峡水库水体输送氮磷及沉积物应采取土壤保持的农业耕作措施和植物控制措施.

参考文献:

- [1] 金慧芳, 韦杰, 贺秀斌. 三峡库区面向水土保持的土地利用模式[J]. 中国水土保持, 2011, (10): 36-38.
- [2] 潘磊, 唐万鹏, 肖文发, 等. 三峡库区不同退耕还林模式林地水文效应[J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 103-106, 112.
- [3] 王晓荣, 万伏红, 崔鸿侠, 等. 三峡库区不同退耕还林模式水土保持效益定位监测[J]. 湖北林业科技, 2014, 43(4): 1-4.
- [4] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 15(12): 2292-2296.
- [5] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299.
- [6] 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.
- [7] 沈连峰, 苗蕾, 韩敏, 等. 河南省淮河流域不同土地利用类型氮磷流失的特征分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 77-80.
- [8] Dunj6 G, Pardini G, Gispert M. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain[J]. Catena, 2003, 52(1): 23-37.
- [9] 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.
- [10] Carey R O, Migliaccio K W, Li Y C, 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] 曾立雄, 肖文发, 黄志霖, 等. 三峡库区不同退耕还林模式水土流失特征及其影响因子[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(1): 146-152.
- [12] 曾立雄, 肖文发, 黄志霖, 等. 兰陵溪小流域主要退耕还林植被土壤渗透特征[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 199-202.
- [13] 田耀武, 肖文发, 黄志霖. 基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区黑沟小流域退耕还林生态服务价值[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 670-676.
- [14] 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等. 农业管理措施对三峡库区流域非点源污染削减效果评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1530-1536.
- [15] 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 等. 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[J]. 环境科学, 2014, 35(3): 1091-1097.
- [16] 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等. 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7487-7495.
- [17] 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应[J]. 环境科学, 2012, 33(10): 3390-3396.
- [18] EPA. Environmental indicators of water quality in the United States [R]. EPA 841-R-96-002. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1996.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 徐畅, 谢德体, 高明, 等. 三峡库区小流域旱坡地氮磷流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 1-5, 10.
- [22] 马东, 杜志勇, 吴娟, 等. 崂山水库流域不同土地利用类型地表径流的氮磷流失特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 31-33, 39.
- [23] 张燕, 张洪, 彭补拙, 等. 不同土地利用方式下农地土壤侵蚀与养分流失[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 23-26.
- [24] 朱继业, 高超, 朱建国, 等. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2006, 42(6): 621-627.
- [25] 宋泽芬, 王克勤, 杨云华, 等. 澄江尖山河小流域不同土地利用类型面源污染输出特征[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 98-101, 158.
- [26] 赵宇, 陈晓燕, 康静雯. 人工模拟降雨条件下紫色土坡面养分流失特征分析[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 31-34, 40.
- [27] 韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展

- [J]. 植物生态学报, 2002, **26**(4): 489-496.
- [28] 冯明磊, 胡荣桂, 许克翠, 等. 三峡小流域水体硝态氮含量变化特征及其影响因素研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(1): 13-18.
- [29] Gao C, Zhu J G, Zhu J Y, *et al.* Nitrogen export from an agriculture watershed in the Taihu Lake area, China [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, **26**(2): 199-207.
- [30] 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.
- [31] 高超, 朱继业, 朱建国, 等. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(11): 1543-1549.
- [32] 崔玉亭. 化肥与生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 25-30.
- [33] 张兴昌, 郑剑英, 吴瑞浚, 等. 氮磷配合对土壤氮素径流流失的影响[J]. 土壤通报, 2001, **32**(3): 110-112.
- [34] 倪九派, 魏朝富, 高明, 等. 三峡库区坡耕地土壤养分流失的实验研究[J]. 水土保持学报, 2008, **22**(5): 38-42.
- [35] 黄丽, 张光远, 丁树文. 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, (1): 35-39.
- [36] 许峰, 蔡强国, 吴淑安. 坡地农林复合系统土壤养分过程研究进展[J]. 水土保持学报, 2000, **14**(1): 82-87.

CONTENTS

Source Contribution Analysis of the Fine Particles in Shanghai During a Heavy Haze Episode in December, 2013 Based on the Particulate Matter Source Apportionment Technology	LI Li, AN Jing-yu, YAN Ru-sha (3543)
Transformation Mechanism and Sources of Secondary Inorganic Components in PM _{2.5} at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer	CHEN Shi-yi, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (3554)
Pollution Level and Sources of Organic Phosphorus Esters in Airborne PM _{2.5} in Chengdu City	YIN Hong-ling, LI Shi-ping, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (3566)
Simulation Study of the Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Sugar Alcohols from Biomass Burning	HUANG Shuai, HUANG Xin-yi, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (3573)
Characteristics and Parameterization for Atmospheric Extinction Coefficient in Beijing	CHEN Yi-na, ZHAO Pu-sheng, HE Di, <i>et al.</i> (3582)
Photocatalytic Degradation of Gaseous Toluene by a Photo-Fenton Reaction	ZHENG Si-can, CHEN Tian-hu, LIU Hai-bo, <i>et al.</i> (3590)
Emission of PCDD/Fs from Crematories and Its Influencing Factors	YIN Wen-hua, YU Xiao-wei, HAN Jing-lei, <i>et al.</i> (3596)
Odor Emission Characteristics from Biochemical Treatment Facilities of Kitchen Waste in China	ZHANG Yan, WANG Yuan-gang, LU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3603)
Temporal and Spatial Characteristics of Lake Taihu Surface Albedo and Its Impact Factors	CAO Chang, LI Xu-hui, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (3611)
Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient in Lake Taihu Based on the GOCI Images	WANG Shan-shan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (3620)
Porewater Dissolved Methane in <i>Cyperus malaccensis</i> Marshes Along Salinity Gradient in the Minjiang River Estuary	YANG Ping, ZHANG Zi-chuan, DU Wei-ning, <i>et al.</i> (3633)
Stable Isotopes Characters of Soil Water Movement in Shijiazhuang City	CHEN Tong-tong, CHEN Hui, HAN Lu, <i>et al.</i> (3641)
Seasonal Variations in Vertical Profile of Hg Species and the Influential Factors in Changshou Reservoir	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, TANG Zhen-ya, <i>et al.</i> (3649)
Nutrient Characteristics and Nitrogen Forms of Rhizosphere Soils Under Four Typical Plants in the Littoral Zone of TGR	WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, LIU Hong, <i>et al.</i> (3662)
Exchange Fluxes and Coupling Relationship of Dissolved Inorganic Carbon and Dissolved Organic Carbon Across the Water-Sediment Interface in Lakes	WANG Wei-ying, LÜ Chang-wei, HE Jiang, <i>et al.</i> (3674)
Mass Transport in Porous Sediments During a Turbulent Disturbance	LI Shao-long, CHEN Dao-yi (3683)
Characterization of Pollutant Wash-off in the Urban Stormwater	WU Jun-liang, REN Yu-fen, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (3691)
Research of the Stormwater Runoff and Pollution Characteristics in Rural Area of Yuhang District, Hangzhou	DUAN Sheng-hui, ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (3697)
Formation and Variation of Brominated Disinfection By-products in A Combined Ultrafiltration and Reverse Osmosis Process for Seawater Desalination	YANG Zhe, SUN Ying-xue, SHI Na, <i>et al.</i> (3706)
Effect of Natural Organic Matter and Electrolytes on the Aggregation of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, JING Jie, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (3715)
Efficiency of Sediment Amendment with Zirconium-Modified Kaolin Clay to Control Phosphorus Release from Sediments in Heavily Polluted Rivers	WANG Hong, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (3720)
Transformation of Nitrogen Nutrients in the Urban Sewage Pipe Network	JIN Peng-kang, JIAO Ding, REN Wu-ang (3730)
Application of Micro-aerobic Hydrolysis Acidification in the Pretreatment of Petrochemical Wastewater	ZHU Chen, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3738)
Efficacy of A ² /O- <i>MBR</i> Combined Process in Wastewater Treatment and the Characteristics of Membrane Fouling	WANG Xu-dong, MA Ya-bin, WANG Lei, <i>et al.</i> (3743)
Effect of High Ammonium on Nitrogen Removal in an Partial Nitrification-ANAMMOX Process with Reflux System	LI Xiang, CUI Jian-hong, YUAN Yan, <i>et al.</i> (3749)
Reductive Dechlorination of Trichloroethylene by Benzoate-Enriched Anaerobic Cultures	LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, HU An-yi, <i>et al.</i> (3756)
2,4,6-Trichlorophenol Mineralization Promoted by Anaerobic Reductive Dechlorination of Acclimated Sludge and Extracellular Respiration Dechlorination Pathway	SONG Jia-xiu, LI Ling, SHENG Fan-fan, <i>et al.</i> (3764)
Short or Long Term Influence of Phenol on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	YANG Peng-bing, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (3771)
Process Optimization of Aerobic Granular Sludge Continuous-Flow System for the Treatment of Low COD/N Ratio Sewage	LU Lei, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (3778)
Long-Term Inhibition of FNA on Aerobic Phosphate Uptake and Variation of Phosphorus Uptake Properties of the Sludge	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (3786)
Performance and Factors Analysis of Sludge Dewatering in Different Wastewater Treatment Processes	LIU Ji-bao, LI Ya-ming, LÜ Jian, <i>et al.</i> (3794)
Effect of Residual Hydrogen Peroxide on Hydrolysis Acidification of Sludge Pretreated by Microwave -H ₂ O ₂ -Alkaline Process	JIA Rui-lai, LIU Ji-bao, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3801)
Vertical Distribution Characteristics of Typical Forest Soil Organic Nitrogen in Dawei Mountain	DING Xian-qing, MA Hui-jing, ZHU Xiao-long, <i>et al.</i> (3809)
Effects of Different Land Uses on Soil Active Organic Carbon and Nitrogen Fractions in Jinyun Mountain	QI Xin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (3816)
Control of Soil Nutrient Loss of Typical Reforestation Patterns Along the Three Gorges Reservoir Area	WU Dong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3825)
Effects of Slope Position and Soil Horizon on Soil Microbial Biomass and Abundance in Karst Primary Forest of Southwest China	FENG Shu-zhen, SU Yi-rong, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3832)
Effects of Different Plantation Type on the Abundance and Diversity of Soil Microbes in Subtropical Red Soils	SHEN Bing-jie, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i> (3839)
Accumulation of Mercury in Soil-maize System of Non-ferrous Metals Smelting Area and Its Related Risk Assessment	Ji Xiao-feng, ZHENG Na, WANG Yang, <i>et al.</i> (3845)
Effects of Different Modifier Concentrations on Lead-Zinc Tolerance, Subcellular Distribution and Chemical Forms for Four Kinds of Woody Plants	CHEN Yong-hua, ZHANG Fu-yun, WU Xiao-fu, <i>et al.</i> (3852)
Isolation, Purification and Identification of Antialgal Activity Substances of Ethyl Acetate Extracts from the Submerged Macrophytes <i>Potamogeton crispus</i>	SUN Ying-ying, SU Zhen-xia, PU Yin-fang, <i>et al.</i> (3860)
Distribution Characteristics and Potential Risk of CBs in Aquatic Organisms from Typical Epidemic Areas of Schistosomiasis Prevalence	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3866)
Application of Whole-cell Biosensor ADP1_pWHlux for Acute Toxicity Detection in Water Environment	TANG Hui, SONG Yi-zhi, JIANG Bo, <i>et al.</i> (3872)
Application of Rainbow Trout CYP1 Gene Expression Patterns in Gill and Liver for Haihe River Bio-monitoring	GAO Kai, YAN Pei, TAN Cui-ling, <i>et al.</i> (3878)
Toxic Effect of Nano-ZnO in Liver of Zebrafish	LIU Lin, ZHAO Qun-fen, JIN Kai-xing, <i>et al.</i> (3884)
Acute Toxicity of <i>Coptis chinensis</i> Rhizome Extracts to <i>Daphnia carinata</i>	CHEN Ya-nan, YUAN Ling (3892)
Adsorption-desorption Characteristics of Fermented Rice Husk for Ferrous and Sulfur Ions	XIE Xiao-mei, LIAO Min, HUA Jia-yuan, <i>et al.</i> (3896)
Application of Stir Bar Sorptive Extraction and Gas Chromatograph Mass Spectrometer to the Phthalic Acid Esters Analysis in Seawater	GAO Chen-chen, LI Feng-min, LU Lun, <i>et al.</i> (3906)
Experimental Conditions and Reliability Analysis of Results of COD Components	LI Zhi-hua, ZHANG Yin, HAN Xing, <i>et al.</i> (3913)
Method for Simultaneous Determination of 11 Veterinary Antibiotics in Piggery Wastewater and Sludge and Its Application in Biological Treatment	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i> (3918)
Research Progress in Technology of Using Soil Micro-organisms to Generate Electricity and Its Potential Applications	DENG Huan, XUE Hong-jing, JIANG Yun-bin, <i>et al.</i> (3926)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年10月15日 第36卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 10 Oct. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人