

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第10期

Vol.33 No.10

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

淀山湖百年营养演化历史及营养物基准的建立 李小平, 陈小华, 董旭辉, 董志, 孙敦平 (3301)

矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性 席北斗, 张亚丽, 许秋瑾 (3308)

小波分析在湖泊常见浮游藻类荧光识别测定中的应用 张翠, 苏荣国, 宋志杰, 张珊珊, 王修林 (3314)

湖面亮温对巢湖水华影响的遥感监测分析 张红, 黄勇, 李莹 (3323)

基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究 姜林, 钟茂生, 贾晓洋, 夏天翔, 姚珏君, 樊艳玲, 张丽娜, 唐振强 (3329)

基于多生物标志物污染指数法的北部湾潮间带污染程度评价 杜秀萍, 孟范平, 王志峰, 李祥蕾, 杨菲菲, 程凤莲, 杨跃志, 李正炎 (3336)

东海无机氮排海通量年际变化估算 吴家林, 方倩, 石晓勇, 李克强, 张传松, 王修林 (3344)

海洋酸化对大型海藻生长以及磷酸盐、硝酸盐吸收利用的影响 于娟, 张瑜, 杨桂朋, 田延旺 (3352)

北黄海表层沉积物中颗粒态磷的形态分布 孟佳, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (3361)

湖泊疏浚对沉积物再悬浮及磷迁移影响的模拟研究 余居华, 钟继承, 张银龙, 范成新, 何伟, 张雷, 唐阵武 (3368)

降雨条件下岩溶泉水中悬浮颗粒物的运移特征及来源分析 杨平恒, 刘子琦, 贺秋芳 (3376)

三峡水库试验性蓄水前后大宁河富营养化状态比较 张佳磊, 郑丙辉, 刘录三, 王丽婧, 吴光应 (3382)

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 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 田耀武 (3390)

山地城市地表径流源区水质特征监测研究 李立青, 单保庆, 赵建伟, 郭树刚, 高勇 (3397)

唐山开滦煤矿区土壤及地表水中 Se 元素赋存状态及其生态效应研究 张秀芝, 马忠社, 王荫楠, 王志军, 谢伟民 (3404)

西藏地表水中砷的分布 王明国, 李社红, 王慧, 肖唐付, 郑宝山 (3411)

锡林河流域地表水痕量元素的时空分布 薛丽洋, 吴锦奎, 张明泉, 丁永建, 叶柏生 (3417)

天津滨海地区表层沉积物中持久性有机污染物的含量特征与生态风险 卢晓霞, 张姝, 陈超琪, 侯珍, 杨君君 (3426)

松花江流域河流沉积物中多氯联苯的分布、来源及风险评价 裴海峰, 赵传冬, 刘应汉, 彭敏, 李括, 杨柯, 刘飞 (3434)

长江口近岸表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 李涛, 侯立军, 刘敏, 赵迪, 尹国宇, 郑艳玲, 赵慧 (3443)

烟台四十里湾柱状沉积物氮形态地球化学特征 杨玉玮, 高学鲁, 李培苗 (3449)

黄河口湿地土壤中正构烷烃分子指标及物源指示意义 姚鹏, 尹红珍, 姚庆祯, 陈洪涛, 刘月良 (3457)

含藻水中壬基酚的光降解转化研究 彭章娥, 冯劲梅, 何淑英, 吴峰 (3466)

硝酸铁-过硫酸盐改性 GAC 催化 H₂O₂ 氧化橙黄 IV 张瑛洁, 徐淑芬, 廖霞, 曹天静, 杨榕, 李大鹏 (3473)

Pd/CMK-3 的合成、表征及对甲酸的电催化氧化性能研究 还中科, 宗恩敏, 魏丹, 万海勤, 郑寿荣, 许昭怡 (3479)

曝气稳定塘处理农村生活污水曝气控制条件研究 李怀正, 姚淑君, 徐祖信, 陈卫兵 (3484)

以亲水化改性聚氨酯为多孔载体的生物膜移动床反应器处理污水中试研究 王玉晓, 孔秀琴, 冯权, 卢海涛, 王德源, 唐黎明, 邢新会 (3489)

光催化降解渗滤液 DOM 不同组分的相对分子量变化特征 贾陈忠, 王焰新, 张彩香 (3495)

短程硝化-反硝化生物滤池脱氮机制研究 孙迎雪, 徐栋, 田媛, 李燕飞 (3501)

CANON 反应器运行稳定性及温度冲击的影响 付昆明, 张杰, 曹相生, 李冬, 孟雪征 (3507)

MUCT 工艺全程硝化和短程硝化模式下反硝化除磷研究 曾薇, 王向东, 张立东, 李博晓, 彭永臻 (3513)

活性污泥胞外聚合物 (EPS) 的分层组分及其理化性质的变化特征研究 袁冬琴, 王毅力 (3522)

有机负荷条件对间歇式气提内循环反应器中好氧颗粒污泥形成的影响 刘孟媛, 周丹丹, 高琳琳, 马德方, 张予萌, 李克宇 (3529)

厌氧污泥降解解动力学与生物多样性研究 曹新垵, 杨琦, 郝春博 (3535)

雌二醇在土壤/沉积物中的吸附特征及猪粪 DOM 对吸附的影响 张丰松, 李艳霞, 黄泽春, 杨明 (3542)

近海沉积物对粪固醇的等温吸附和热力学研究 张晓蕾, 薛文平, 徐恒振, 马新东 (3547)

甲苯在北京褐潮土中的运移分布及其 STOMP 模拟研究 韩春媚, 冉娟, 张慧, 李发生, 李雁, 谷庆宝 (3554)

聚丙烯酸钠为结合相的梯度扩散薄膜技术预测甘蔗田土壤中镉的生物有效性 王芳丽, 宋宁宁, 赵玉杰, 张长波, 沈跃, 刘仲齐 (3562)

土壤改良剂及其组合原位钝化果园土壤中的 Pb、Cd 汤民, 张进忠, 张丹, 陈舜, 张训, 刘万平, 余建 (3569)

基于不同通车时间的路旁土壤重金属健康风险: 以连霍高速郑州—商丘段为例 谷蕾, 仝致琦, 宋博, 马建华 (3577)

生活污水污泥制备的生物质炭对红壤酸度的改良效果及其环境风险 卢再亮, 李九玉, 姜军, 徐仁扣 (3585)

沉积物中多环芳烃对反硝化功能基因垂直分布的影响 吴艳阳, 吴群河, 黄珊, 叶嘉欣, 张恒军, 张仁铎 (3592)

阴离子黏土(层状双氢氧化物)对鲑鱼精 DNA 在重金属作用下的保护作用研究 唐旖旎, 吴平霄, 朱能武 (3598)

预处理后生物成因施氏矿物的矿物学特征及对 As(III) 吸附的影响 梁剑茹, 李浙英, 刘奋武, 周立祥 (3606)

铜绿假单胞菌 ZGKD2 的重金属耐性机制研究 张玉秀, 王姣, 柴团耀, 张倩, 刘金光, 李霞, 白志强, 苏增健 (3613)

1 株 1,2-二氯乙烷降解菌的分离及降解特性研究 王小春, 陈东之, 金小君, 陈建孟 (3620)

PCBs 降解菌的筛选及其降解特性研究 史舜燕, 冯流, 龚吉 (3627)

青草沙水库蓄水期间细菌群落结构变化的初步研究 彭青, 谢冰, 袁琦, 黄智婷, 崔璐璐, 王文婷 (3634)

华北平原玉米-小麦轮作农田 N₂O 交换通量的研究 裴淑玮, 张圆圆, 刘俊锋, 伦小秀, 牟玉静 (3641)

影响南京地区的两次典型空气污染过程分析 王飞, 朱彬, 康汉清, 高晋徽, 王瑛, 江琪 (3647)

济南市夏季环境空气 VOCs 污染特征研究 刘泽常, 张帆, 侯鲁健, 刘玉堂, 吕波 (3656)

活性炭分解臭氧机制研究 刘海龙, 张智辉, 张忠明, 焦媛媛, 王瑞军 (3662)

大气 O₃ 浓度升高对 2 种基因型矮菜豆丛枝菌根 (AM) 结构及球囊霉素蛋白产生的影响 王鹏腾, 刁晓君, 王曙光 (3667)

铝胁迫下外源钙对外生菌根真菌抗氧化保护酶活性的影响 王明霞, 黄建国, 袁玲, 周志峰 (3675)

锌冶炼不同群落生境蟋蟀汞污染 郑冬梅, 李昕馨, 罗庆 (3680)

《环境科学》征订启事 (3313) 《环境科学》征稿简则 (3322) 信息 (3328, 3512, 3561, 3640)

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

曾立雄¹, 黄志霖¹, 肖文发^{1*}, 田耀武^{1,2}

(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: 农业面源污染治理是库区生态环境建设亟待解决的问题。通过对三峡库区退耕还林后不同土地利用类型养分流失的监测, 分析不同退耕还林模式氮磷流失特征及其对环境因子的响应。结果表明: ①不同土地利用类型养分流失浓度的变异性较强, 速效养分浓度的变异性远高于全养分; ②退耕还林后各土地利用类型磷的年流失负荷降低了 84.53%~91.61%, 氮的年流失负荷则只有乔木林和板栗显著降低, 各土地利用类型的氮素流失负荷是磷素流失负荷的 4.85~38.62 倍; ③不同土地利用类型的磷主要以颗粒态流失, 而硝态氮则是氮流失的主要形态; ④茶园与竹林的养分流失负荷与降雨量呈较好的相关性, 磷素与降雨量的相关性优于氮素, 养分流失负荷与降雨强度没有明显的相关性; ⑤植被的总盖度、乔木层盖度以及凋落物层盖度对 TN 流失的影响程度较大。NO₃⁻-N 的流失负荷受土壤表层 NH₄⁺-N 含量影响程度较高。土壤 TP 含量和沙粒含量则是磷素流失的主要影响因素。

关键词: 兰陵溪小流域; 退耕还林; 养分流失; 环境因子

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)10-3390-07

Nitrogen and Phosphorus Loss in Different Land Use Types and Its Response to Environmental Factors in the Three Gorges Reservoir Area

ZENG Li-xiong¹, HUANG Zhi-lin¹, XIAO Wen-fa¹, TIAN Yao-wu^{1,2}

(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 control of agricultural non-point source pollution (AGNPS) is an urgent problem to be solved for the ecological environment construction in the Three Gorges Reservoir Area. We analyzed the nitrogen (N) and phosphorus (P) loss and its response to environmental factors through monitoring the nutrient loss in different land use types after returning farmland to forest. The results showed that: ①The variability of nutrient concentration loss was strong in different land use types under different rainfall conditions, and the variability in the concentration of available nutrient was much higher than that of total nutrient; ②Compared to farmland, the annual phosphorus loss of different land use types was reduced by 84.53%-91.61% after returning farmland to forest; the reduction of annual nitrogen loss was not significant except Chinese chestnut forest (*Castanea mollissima*) and arbor forest, and the nitrogen loss was much higher than the phosphorus loss in all land use types; ③The particle phosphorus and nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) were the main forms of the phosphorus and nitrogen loss, respectively; ④The nutrient loss of tea garden (*Camellia sinensis*) and bamboo forest (*Phyllostachys pubescens*) showed a good correlation with precipitation, and the correlation of phosphorus was better than that of nitrogen, but there was no significant relation with the rainfall intensity; ⑤The coverage of vegetation, tree layer and litter had a great influence on the loss of total nitrogen (TN). NO₃⁻-N loss was highly influenced by the ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) content in the surface soil, and P loss mainly by the total phosphorus (TP) and sand content in the soil.

Key words: Lanlingxi watershed; returning farmland to forest; nutrient loss; environmental factors

地表径流是农业非点源输出的主要途径, 在径流系数较高的山区这种现象更加突出^[1]。国内外对坡地土壤养分迁移与流失做了大量研究, 认为地表养分的流失主要受土壤理化性质、降雨强度、地形地貌、植被覆盖以及管理方式等因素的综合影响^[2-7]。降雨和径流是诱发养分流失的原始动力^[8], 降雨强度与流失的养分浓度呈显著的相关性^[9], 生长状况好的植被对控制面源污染的输出具

有重要作用^[10]。

低山丘陵的农林复合区是三峡库区的主要生态系统形态, 降雨径流过程是影响三峡库区干流氮磷

收稿日期: 2011-12-20; 修订日期: 2012-03-06

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B04); 长江三峡库区(秭归)森林生态定位站项目

作者简介: 曾立雄(1982~), 男, 助理研究员, 主要研究方向为生态系统管理与动态模拟、森林生态学, E-mail: zlxcaf@163.com

* 通讯联系人, E-mail: xiaowenf@caf.ac.cn

浓度的主要因素^[11-13], 农业面源污染的治理是库区生态环境建设亟待解决的问题^[14]. 退耕还林后, 土地的管理和施肥都发生了很大变化, 土壤中养分的积累也会随着管理方式的改变而改变, 因此不同退耕还林模式的氮磷流失风险也会有所差异^[15,16]. 本研究设置了不同土地利用类型的径流小区, 对径流小区的土壤理化性质、基本概况进行调查, 定量监测全年降雨过程中养分的流失, 分析小流域典型退耕还林模式地表径流养分流失的形态、浓度, 单位面积地表径流养分负荷, 影响地表径流养分流失的因子, 以期三峡库区退耕还林工程生态效益评价提供基础数据, 为库区农业面源污染的治理提供参考依据.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究地点为三峡库区兰陵溪小流域, 是国家林业局退耕还林示范区, 地处 110°56'E, 30°50'N, 面积约 1 600 hm². 小流域西高东低, 西部最高海拔 1 400 m, 土壤为花岗岩母质出露发育的石英砂土, 保水保肥性较差. 流域内 500 m 以下以茶园、板栗、柑橘和农田为主, 500 m 以上主要为灌木、马尾松 (*Pinus massoniana*) 次生林、松栎 (*Pinus and Quercus*) 混交林等.

1.2 研究方法

1.2.1 径流小区的设置

根据小流域内土地利用的方式和退耕还林的植被类型, 共修建径流小区 20 个, 每个径流小区的投影面积 5 m × 20 m. 涉及的土地利用方式有乔木林 (7 个)、板栗林 (5 个)、柑橘园 (2 个)、茶园 (2 个)、竹林 (2 个) 和农田 (2 个).

于 2009 年 8 月对所有径流小区的地理位置、坡度、坡位、植被覆盖度进行了调查, 并对所有径流小区 0 ~ 5 cm 土壤层采集 3 个环刀 (100 cm³) 样品分析物理性质, 同时收集 1 kg 混合土样样品分析化学性质.

1.2.2 样品的采集

对径流小区的监测时间为 2009 年 4 月 ~ 2009 年 10 月, 共采集到地表径流 28 次. 2009 年兰陵溪小流域 4 ~ 10 月的降水量占全年的 84%, 加上日降水量 > 10 mm, 且降水强度 > 5 mm · h⁻¹ 的降水事件全部发生在 6 ~ 10 月, 本研究认为 4 ~ 10 月的监测基本可以代表 2009 年兰陵溪小流域地表径流的主要特征.

每次降雨停止后立即到每个径流小区记录径流总量, 然后将集水池中的水样搅浑, 收集 1 L 泥沙混合样, 装入做有标记的塑料瓶中, 样品收集后迅速带回定位站的实验室并于 4℃ 恒温冰箱保存. 收集完所有样品后将集水池清扫干净, 以免对下次样品造成污染.

1.2.3 样品测定方法

500 mL 水样通过滤纸过滤, 测定水样中的泥沙含量. 另外 500 mL 水样测定养分, 所有指标在 48 h 内测定.

地表径流水样分析的指标有 pH 值、总磷 (TP)、正磷酸盐 (OP)、总氮 (TN)、铵态氮 (NH₄⁺-N)、硝态氮 (NO₃⁻-N) 和亚硝态氮 (NO₂⁻-N). pH 值用意大利 HANNA 公司的 pH 211A 型 pH 计测定; TP 采用过硫酸钾消化 (120℃, 200 kPa, 消化 30 min), 采用钼锑抗比色法; TN 采用过硫酸钾消化 (120℃, 200 kPa, 消化 30 min), 双波长比色; 水样经 0.45 μm 滤膜过滤后, 用意大利生产的 smartchem140 型化学间断分析仪测定 OP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N. 所有测定方法均参照标准方法进行^[17,18].

土壤物理性质测定的指标有毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、容重、粉粒含量、黏粒含量和粉粒含量, 化学性质测定的指标有 pH、总磷 (TP)、速效磷 (AP)、总氮 (TN)、铵态氮 (NH₄⁺-N) 和硝态氮 (NO₃⁻-N). 所有土壤物理化学性质的测定均按照标准方法进行测定^[19].

1.2.4 数据处理

(1) 不同土地利用类型养分流失年平均浓度计算

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

式中, c_{ij} 是指第 i 个径流场的第 j 个养分指标的年平均浓度, mg · L⁻¹; c_{ijk} 是指第 i 个径流场的第 j 个养分指标在第 k 场降雨中的浓度, mg · L⁻¹; R_{ik} 是指第 i 个径流场在第 k 场降雨中的地表径流量, m³ · hm⁻²; n 是指 2009 年的降雨次数.

不同土地利用类型的养分流失年平均浓度为土地利用方式相同的各径流场养分流失年平均浓度的均值.

(2) 径流场全年养分流失负荷计算

径流场全年的养分流失负荷是指一年中所有降

雨所引起的养分流失的总和,包括地表径流和土壤侵蚀. 本研究中主要是指 2009 年 4 ~ 10 月地表径流中的养分流失量,泥沙的养分流失没有计算在内. 计算公式为:

$$L_{ij} = \sum_{k=1}^n c_{ijk} R_{ik} \quad (2)$$

式中, L_{ij} 是指第 i 个径流场的第 j 个养分指标的年单位面积流失负荷, $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$; c_{ijk} 是指第 i 个径流场的第 j 个养分指标在第 k 场降雨中的浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; R_{ik} 是指第 i 个径流场在第 k 场降雨中的地表径流量, $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; n 是指 2009 年的降雨次数.

不同土地利用类型的年养分流失负荷为土地利用方式相同的各径流场年养分流失负荷的均值. 单次降雨产流量不够测定养分浓度的,以该径流场年

平均浓度代替进行计算.

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型地表径流的养分浓度

2.1.1 不同土地利用类型地表径流的养分浓度特征

如表 1 所示,地表径流的 pH 值都保持在 7 ~ 7.5 之间,各土地利用类型的变异系数也控制在 10% 以内,差异不大. 但其他各养分浓度的变异性则差异明显,不同土地利用类型中最高的浓度是最低的几十倍,有的甚至达到几百倍. 整体来看,氮素的变异性高于磷素,全量养分高于速效养分,其中以铵态氮和亚硝态氮的变异性最强,大部分都在 100% 以上,TP 和 TN 的变异系数大多保持在 50% 左右.

表 1 不同土地利用类型各形态养分浓度特征/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Nutrient concentration in soil of different land use/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

类型	指标	pH	OP	TP	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	TN
板栗林	mean	7.17	0.72	1.17	1.69	5.75	0.24	16.20
	max	7.79	3.33	3.63	9.90	31.66	0.84	45.26
	min	6.60	0.04	0.28	0.20	0.15	0.01	4.85
	st	0.30	0.73	0.95	2.06	6.58	0.26	12.60
	cv	4.15	102.19	81.54	121.53	114.50	109.38	77.74
茶园	mean	7.31	0.45	0.47	0.80	8.88	0.13	15.09
	max	7.63	1.47	1.29	3.53	12.86	1.08	37.33
	min	6.78	0.09	0.18	0.01	3.75	0.00	6.41
	st	0.22	0.27	0.30	0.87	2.57	0.24	6.90
	cv	3.04	60.55	63.36	108.41	28.98	190.25	45.73
柑橘园	mean	7.14	0.36	0.48	1.02	8.85	0.10	17.06
	max	7.46	0.75	0.84	3.98	24.05	0.22	40.65
	min	6.80	0.18	0.25	0.16	4.31	0.02	7.27
	st	0.16	0.19	0.18	1.03	6.93	0.08	11.26
	cv	2.21	51.87	38.57	101.18	78.32	73.48	66.03
农田	mean	7.44	0.54	0.70	1.01	6.51	0.19	7.94
	max	8.41	0.81	2.91	2.86	6.80	0.54	8.95
	min	7.03	0.07	0.21	0.06	1.10	0.04	1.84
	st	0.54	0.96	0.28	0.87	0.42	0.18	2.54
	cv	7.28	137.02	51.84	86.45	16.03	98.37	54.79
乔木林	mean	7.27	1.11	1.35	1.78	5.22	0.19	12.22
	max	7.90	3.31	3.33	9.29	14.11	1.16	35.99
	min	6.73	0.04	0.23	0.13	0.71	0.01	3.09
	st	0.28	0.76	0.76	2.13	3.81	0.21	8.59
	cv	3.91	68.58	56.35	119.97	73.05	109.02	70.27
竹林	mean	7.34	0.92	1.13	1.72	7.09	0.23	14.79
	max	7.82	2.14	2.23	9.29	14.05	0.69	37.30
	min	6.67	0.13	0.30	0.02	1.58	0.02	2.77
	st	0.33	0.59	0.56	2.55	4.18	0.20	9.29
	cv	4.46	64.19	48.94	148.67	58.96	88.42	62.83

不同土地利用类型地表径流中 TP 浓度的大小顺序依次为乔木林 ($1.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 板栗林 ($1.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 竹林 ($1.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 农田 (0.7

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 柑橘园 ($0.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 茶园 ($0.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). 不同径流小区内土壤养分的对比发现,地表径流中养分浓度与土壤养分含量间的关系差别

较大,农田 0~5 cm 土壤中总磷的含量达到 $1.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为所有土地利用类型中最高,但其地表径流中总磷的浓度却只有 $0.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,远低于乔木林、板栗林和竹林,其中竹林 0~5 cm 土壤中总磷的含量只有 $0.34 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,为所有土地利用类型中最低,而乔木林与茶园地表径流中总磷浓度与土壤总磷含量具有较好的相关性.表明总磷的流失除了土壤含量外还受到其他因素的影响.

不同土地利用类型地表径流中 TN 浓度的大小差别较小,大小顺序与 TP 有很大的差别,具体为柑橘园 ($17.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 板栗林 ($16.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 茶园 ($15.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 竹林 ($14.79 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 乔木林 ($12.22 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 农田 ($7.94 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).除农田外,其他土地利用类型 TN 的流失浓度都在 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,农田 TN 流失浓度低可能与它的地表径流特征有关,农田产流次数较少,但遇到大雨则水土流

失严重,大量的地表径流可能会对养分的浓度起到稀释的作用.乔木林很少受到人为干扰,也没有大量外界的营养输入,但其 TP 和 TN 流失浓度都比较高,而乔木林表层土壤养分含量也显著高于其他土地利用类型,可能是地表凋落物分解和其他因素的影响.

2.1.2 不同土地利用类型地表径流养分浓度的相关性

地表径流中各养分指标间存在良好的相关性(表 2).其中,铵态氮、硝态氮和亚硝态氮浓度随 pH 值的升高而显著降低,但地表径流的 pH 值对磷素的浓度影响较小.正磷酸盐的含量与总磷含量呈极显著的正相关.不同形态氮素之间的关系存在一定差异,硝态氮和亚硝态氮都随总氮的增加而增加,而铵态氮随硝态氮的增加而降低,亚硝态氮与铵态氮呈极显著的正相关.

表 2 不同形态养分浓度间的相关系数¹⁾

	pH	OP	TP	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	TN
pH	—	0.137	0.053	-0.453**	-0.446**	-0.394**	0.096
OP		—	0.907**	0.298*	0.351*	0.469**	0.637**
TP			—	0.448**	0.200	0.597**	0.543**
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$				—	-0.334**	0.490**	0.007
$\text{NO}_3^- \text{-N}$					—	-0.096	0.706**
$\text{NO}_2^- \text{-N}$						—	0.292*
TN							—

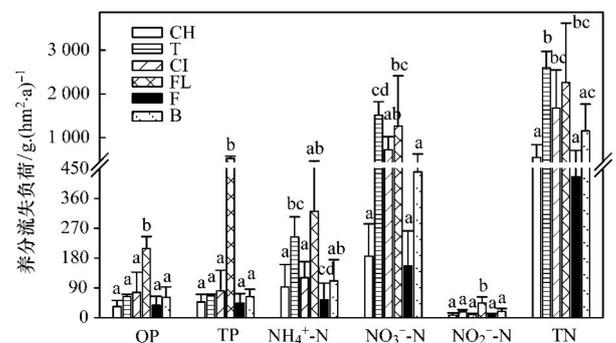
1) * 代表 $0.01 < P < 0.05$, ** 代表 $P < 0.01$,下同

2.2 不同土地利用类型年流失负荷特征

不同土地利用类型养分的年流失负荷是养分流失的主要研究指标,对养分流失的防治具有非常重要的指导意义.由图 1 可知,兰陵溪小流域不同土地利用类型总磷流失负荷的大小顺序为农田 ($521.55 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 柑橘园 ($80.66 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 茶园 ($67.30 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 竹林 ($63.58 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 板栗林 ($47.16 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 乔木林 ($43.78 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$),农田的总磷流失负荷显著地高于其他土地利用类型,尽管乔木林地表径流中 OP 和 TP 的浓度都非常高,但由于林地具有很好的水土保持功能,乔木林磷素的年流失负荷是所有土地利用类型中最低的.从流失的形态比例看,茶园、柑橘园和竹林正磷酸盐流失负荷的比例占全磷的 90% 左右,板栗林的比例也高达 70%,而农田的这一比例却只有 40%,说明农田总磷流失负荷大主要是颗粒态磷流失比重过高,对农田磷素流失的防治要以防治土壤侵蚀为主.

不同土地利用类型氮素的流失负荷明显要高于

磷素.总氮流失负荷的大小顺序为茶园 ($2598.99 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 农田 ($2267.03 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 柑橘园 ($1679.7 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 竹林 ($1151.66 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 板栗林 ($550.47 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 乔木林 ($426.10 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$).除了茶园的总氮流失负荷为所有土地利用类型中最



CH: 板栗林; T: 茶园; CI: 柑橘园; FL: 农田; F: 乔木林; B: 竹林. 下同; 不具有相同字母的处理间差异显著,具有相同字母的处理间差异不显著, $P < 0.05$, LSD, 检验

图 1 不同退耕还林模式养分流失负荷

Fig. 1 Nutrient loss load of different land use types

大外,其他的顺序与总磷一样.茶园的年地表径流量只有农田的一半,但流失负荷还比农田略高,主要是由于茶园常年使用大量的氮肥,总氮的浓度达到了 $15.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而农田的年均总氮流失浓度只有 $7.94 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.柑橘园和竹林的总氮流失量都接近总磷的 20 倍,而板栗林和乔木林也有 10 倍之多,可见在兰陵溪这样的小流域,养分流失主要是氮素方面的威胁,这也可能是三峡库区水质总氮含量偏高的重要原因之一,今后应加强这方面的防治工作和研究.

在氮素的流失中,硝态氮所占比重最高,其次为铵态氮,亚硝态氮最高的也只有 2%,对氮素流失影响较小.不同土地利用类型流失的形态有所差异,板栗林流失的铵态氮占总氮的 17%,为所有类型中最高,但其硝态氮的比重只有 34%,为所有类型中最低.茶园和农田的硝态氮比重占到了 58% 和 56%,是氮素流失的主要形态.亚硝态氮由于含量较低,各土地利用类型间差别不明显.所有土地利用类型的氮素流失都以无机氮为主,比重都接近或超过 50%,农田的无机氮流失比例达到总氮的

72%,为所有土地利用类型中最高.因此,氮素的流失主要以无机氮为主,特别是无机氮中的硝态氮.

2.3 降水特征对养分流失负荷的影响

选用线性模型、幂函数和指数函数分别对不同土地利用类型各养分指标每场降雨的流失负荷与降水量进行回归分析,选择效果最佳的模型,结果如表 3 所示.

从土地利用类型上来看,茶园和竹林产流次数多,流失负荷大,与降水量回归效果较好;板栗林和柑橘园与磷素回归效果较好;乔木林各径流场的养分流失负荷变异性太大,与降雨没有很好的相关性.

各养分指标间的回归精度差异较大,各土地利用类型 OP 和 TP 与降水量存在良好的相关性,且大部分都呈线性相关.除了茶园外,其他土地利用类型氮素与降水的回归效果不是很理想,所有利用类型的 NO_2^- -N 流失负荷与降水量间均无显著的相关性,这可能是由于 NO_2^- -N 的流失量太低,影响了回归效果.

不同土地利用类型各养分指标与降水强度间均无显著的相关性.

表 3 不同土地利用类型养分流失负荷与降水量的关系¹⁾

Table 3 Correlation coefficient between nutrient load in surface runoff and precipitation of different land use

类型	CH	T	CI	F	B
OP	$L = 6.42 + 0.34P$ $R^2 = 0.528^*$	$L = 1.18P^{0.72}$ $R^2 = 0.449^{**}$	$L = 5.28e^{0.025P}$ $R^2 = 0.66^*$	$L = 23.7 + 0.17P$ $R^2 = 0.095$	$L = 10.5 + 0.44P$ $R^2 = 0.378^*$
TP	$L = 11.6 + 0.56P$ $R^2 = 0.565^*$	$L = 3.89 + 0.41P$ $R^2 = 0.583^{**}$	$L = -15.1 + 1.05P$ $R^2 = 0.818^*$	$L = 35.9 + 0.16P$ $R^2 = 0.103$	$L = 13.2 + 0.34P$ $R^2 = 0.557^{**}$
NH_4^+ -N	$L = 11.5e^{0.02P}$ $R^2 = 0.347^*$	$L = 5.16e^{0.03P}$ $R^2 = 0.29^*$	$L = -82.7 + 4.1P$ $R^2 = 0.528$	$L = 5.16P^{0.59}$ $R^2 = 0.216$	$L = 6.39 + 1.41P$ $R^2 = 0.187$
NO_3^- -N	$L = 99.7P^{0.11}$ $R^2 = 0.049$	$L = 14.2P^{0.89}$ $R^2 = 0.695^{**}$	$L = 99e^{0.03P}$ $R^2 = 0.493$	$L = 56 + 1.83P$ $R^2 = 0.537^*$	$L = 40.7P^{0.4}$ $R^2 = 0.415^*$
NO_2^- -N	$L = 4.27e^{0.006P}$ $R^2 = 0.09$	$L = 2.61 + 0.07P$ $R^2 = 0.142$	$L = 0.028 + 0.16P$ $R^2 = 0.514$	$L = 3.04 + 0.4P$ $R^2 = 0.315$	$L = 1.14e^{0.02P}$ $R^2 = 0.175$
TN	$L = 275 + 0.63P$ $R^2 = 0.054$	$L = -13.7 + 19.5P$ $R^2 = 0.812^{**}$	$L = 125 + 12P$ $R^2 = 0.547$	$L = 184e^{0.1P}$ $R^2 = 0.255$	$L = 144 + 4.3P$ $R^2 = 0.581^{**}$

1) L 表示养分流失负荷, P 表示降水量

2.4 养分流失对环境因子响应的 CCA 分析

本文通过野外调查、室内分析等方法,收集与径流场相关的地形因子如坡度($^\circ$, SE)、坡向(SAP)、坡位(SP),植被因子如乔木层盖度(% , TLC)、灌草层盖度(% , SLC)、凋落物层盖(% , LLC)、植被总盖度(% , TC),土壤物理因子如 0~5 cm 层的毛管孔隙度(% , CP)、非毛管孔隙度(% , NCP)、总孔隙度(% , TPY)、容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, TPY)、粉粒含量(% , SI)、黏粒含量(% , CO)、沙粒含量(% , SG)以及土壤 0~5 cm 的化学性质如 pH 值

(pH)、速效磷($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, AP)、全磷($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, TP)、铵态氮($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, NH_4^+ -N)、硝态氮($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, NO_3^- -N)、全氮($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, TN)等因子.运用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)研究养分流失负荷对环境因子的响应规律,分析过程中,对坡向和坡位分别进行赋值,坡向的东、东南、南、西南、西、西北、北和东北分别赋予 1~8,上坡、中坡和下坡分别赋予 1、2 和 3,其余各指标以实际测定值进行计算.结果如图 2 所示.

不同养分类型年流失负荷所响应的环境因子有

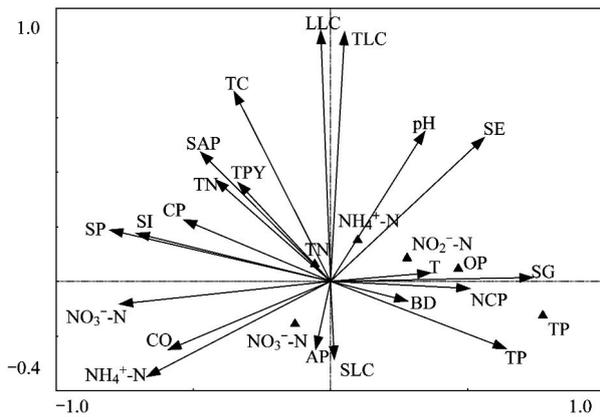


图2 不同土地利用类型养分年流失负荷的 CCA 分析

Fig. 2 CCA analysis of annual nutrient loss load with different land use types

所差异。一般而言,与环境因子的垂直距离越近则表示受此环境因子的影响越大^[20]。总体而言,影响氮素流失的环境因子较多,而影响磷素流失的环境因子较少。TN 主要受土壤表层 TN 含量、总孔隙度、坡向、总盖度、凋落物层盖度以及毛管孔隙度的影响。NO₃⁻-N 主要受土壤表层 NH₄⁺-N 含量和黏粒含量的影响。土壤 pH 值、乔木层盖度以及坡度则是影响 NH₄⁺-N 流失的重要因子。土壤表层 TP 含量、非毛管孔隙度、容重及沙粒含量是磷素流失的影响因子。从箭头的连线长度可以看出,植被的总盖度、乔木层盖度以及凋落物层盖度对 TN 和 NH₄⁺-N 流失的影响程度较大。NO₃⁻-N 的流失负荷受土壤表层 NH₄⁺-N 含量影响程度较高。土壤 TP 含量和沙粒含量则对磷素流失的影响程度较大。

3 结论

(1) 不同土地利用类型地表径流中硝态氮是氮素流失的主要形态,浓度为总氮的 40% ~ 60%,茶园、竹林、乔木林和柑橘园地表径流中正磷酸盐占总磷的比例达到了 70% 以上,而农田和板栗林则不到 50%。不同土地利用类型在不同降雨条件下养分流失浓度的变异性较强,速效养分浓度的变异性远高于全养分。

(2) 不同土地利用类型总磷流失负荷的大小顺序为农田 (521.55 g·hm⁻²) > 柑橘园 (80.66 g·hm⁻²) > 茶园 (67.30 g·hm⁻²) > 竹林 (63.58 g·hm⁻²) > 板栗林 (47.16 g·hm⁻²) > 乔木林 (43.78 g·hm⁻²), 乔木林、茶园、柑橘园和竹林正磷酸盐流失负荷的比例占全磷的 87.2% ~ 96.2%, 板栗林的比例也高达 71.6%, 而农田的这一比例却只有

40%, 说明农田总磷流失负荷大主要是颗粒态磷流失比重过高, 而退耕还林之后, 泥沙流失量大大减少, 从而有效地控制了磷素的流失。

(3) 不同土地利用类型氮素的流失负荷明显要高于磷素。总氮流失负荷的大小顺序为茶园 (2 598.99 g·hm⁻²) > 农田 (2 267.03 g·hm⁻²) > 柑橘园 (1 679.7 g·hm⁻²) > 竹林 (1 151.66 g·hm⁻²) > 板栗林 (550.47 g·hm⁻²) > 乔木林 (426.10 g·hm⁻²)。柑橘园和竹林的总氮流失量都接近总磷的 20 倍, 而板栗林和乔木林也有 10 倍之多, 可见在兰陵溪这样的小流域, 养分流失主要是氮素方面的威胁, 其中以硝态氮流失的比例最高, 这也可能是三峡库区水质总氮含量偏高的重要原因之一, 今后应加强这方面的防治工作和研究。

(4) 正磷酸盐和总磷的流失负荷与降水量呈较好的线性关系。茶园和竹林氮素各形态养分流失负荷与降雨量的相关性较强, 而其他土地利用类型氮素流失负荷与降雨量的相关性较差, 这可能与退耕还林后各土地利用类型的施肥方式和产流特征有关。不同土地利用类型各形态养分的流失负荷与降雨强度均无显著相关性。

(5) 不同养分类型年流失负荷所响应的环境因子有所差异。植被的总盖度、乔木层盖度以及凋落物层盖度对 TN 和 NH₄⁺-N 流失的影响程度较大。NO₃⁻-N 的流失负荷受土壤表层 NH₄⁺-N 含量影响程度较高。土壤 TP 含量和沙粒含量则是磷素流失的主要影响因素。

参考文献:

- [1] 王克勤, 宋泽芬, 李太兴, 等. 抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1321-1328.
- [2] Shigaki F, Sharpley A, Prochnow L I. Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays [J]. Science of the Total Environment, 2007, 373(1): 334-343.
- [3] Santhia C, Srinivasana R, Arnold J G, et al. A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas [J]. Environmental Modeling and Assessment, 2006, 21(8): 1141-1157.
- [4] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6091-6101.
- [5] 陈炎辉, 陈明华, 王果, 等. 不同坡度地表径流中污泥氮素流失规律的研究 [J]. 环境科学, 2010, 31(10): 2423-2430.
- [6] 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.
- [7] 梁颖颖, 王京文, 张奇春, 等. 毛竹林地磷素流失特征研究

- [J]. 环境科学, 2011, **32**(6): 1591-1595.
- [8] 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): 1-6.
- [9] 李瑞玲, 张永春, 刘庄, 等. 太湖缓坡丘陵地区雨强对农业非点源污染物随地表径流迁移的影响[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 1220-1226.
- [10] Correll D L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiveing water; a review[J]. *Journal of Environment Quality*, 1998, **27**(2): 261-266.
- [11] 林彬, 冯明磊, 胡荣桂, 等. 三峡库区小流域农户氮循环和排放特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(3): 632-638.
- [12] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出的动态变化[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 423-426.
- [13] 郭胜, 李崇明, 郭劲松, 等. 三峡水库蓄水后不同水位期干流氮、磷时空分异特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(5): 1266-1272.
- [14] 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等. 非点源污染模型 AnnAGNPS 在三峡库区林农复合小流域模拟效果评定[J]. 环境科学, 2009, **30**(10): 2872-2878.
- [15] 张展羽, 左长清, 刘玉含, 等. 水土保持综合措施对红壤坡地养分流失作用过程研究[J]. 农业工程学报, 2008, **24**(11): 41-45.
- [16] 韩建刚, 李占斌. 紫色土丘陵区不同土地利用类型小流域氮素流失规律初探[J]. 水利学报, 2011, **42**(2): 160-165.
- [17] EPA. Environmental indicators of water quality in the United States. EPA 841-R-96-002. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1996.
- [18] 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.
- [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] Ter Braak C J F. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis [J]. *Vegetation*, 1987, **69**(1-3): 69-77.

CONTENTS

Nutrient Dynamics over the Past 100 Years and Its Restoration Baseline in Dianshan Lake	LI Xiao-ping, CHEN Xiao-hua, DONG Xu-hui, <i>et al.</i> (3301)
Possibility of Total Dissolved Solid as one of Nutrient Baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau	XI Bei-dou, ZHANG Ya-li, XU Qiu-jin (3308)
Fluorescence Discrimination Technique for Phytoplankton Based on the Wavelet Analysis	ZHANG Cui, SU Rong-guo, SONG Zhi-jie, <i>et al.</i> (3314)
Analysis of Algae Bloom and Lake Surface Bright Temperature in Chaohu Lake Based on Remote Sensing Data	ZHANG Hong, HUANG Yong, LI Kun (3323)
Case Study on Groundwater Health Risk Assessment and Remediation Strategy Based on Exposure Pathway	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, JIA Xiao-yang, <i>et al.</i> (3329)
Pollution Assessment in the Intertidal Zone of Beibu Gulf Using Multi-biomarker Pollution Index	DU Xiu-ping, MENG Fan-ping, WANG Zhi-feng, <i>et al.</i> (3336)
Estimation of the Flux of Inorganic Nitrogen Flowing into the East China Sea	WU Jia-lin, FANG Qian, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (3344)
Effects of Ocean Acidification on Growth, Phosphate and Nitrate Uptake of Macroalgae	YU Juan, ZHANG Yu, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (3352)
Forms and Distributions of Particulate Phosphorus in the Surface Sediments of North Yellow Sea	MENG Jia, YAO Qing-zhen, CHEN Hong-tao, <i>et al.</i> (3361)
Influence of Dredging on Sediment Resuspension and Phosphorus Transfer in Lake: A Simulation Study	YU Ju-hua, ZHONG Ji-cheng, ZHANG Yin-long, <i>et al.</i> (3368)
Transportation and Sources of the Suspended Particle in a Karst Spring During a Storm Event	YANG Ping-heng, LIU Zi-qi, HE Qiu-fang (3376)
Comparison of Trophic Status Analysis of the Daning River Within the Three Gorges Reservoir Before and After Experimental Impoundment	ZHANG Jia-lei, ZHENG Bing-hui, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (3382)
Nitrogen and Phosphorus Loss in Different Land Use Types and Its Response to Environmental Factors in the Three Gorges Reservoir Area	ZENG Li-xiong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3390)
Research on Stormwater Runoff Quality of Mountain City by Source Area Monitoring	LI Li-qing, SHAN Bao-qing, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (3397)
Occurrence Form and Ecological Effect of Selenium in Soil and Surface Water of Kailuan Coalfield of Tangshan	ZHANG Xiu-zhi, MA Zhong-she, WANG Yin-nan, <i>et al.</i> (3404)
Distribution of Arsenic in Surface Water in Tibet	WANG Ming-guo, LI She-hong, WANG Hui, <i>et al.</i> (3411)
Spatial and Temporal Distribution of Trace Elements in Surface Water in the Xilin River Basin	XUE Li-yang, WU Jin-kui, ZHANG Ming-quan, <i>et al.</i> (3417)
Concentration Characteristics and Ecological Risk of Persistent Organic Pollutants in the Surface Sediments of Tianjin Coastal Area	LU Xiao-xia, ZHANG Shu, CHEN Chao-qi, <i>et al.</i> (3426)
Distribution, Sources and Ecological Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyl in Sediments from Songhua River Basin	NIE Hai-feng, ZHAO Chuan-dong, LIU Ying-han, <i>et al.</i> (3434)
Distributions of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of the Yangtze Estuary	LI Tao, HOU Li-jun, LIU Min, <i>et al.</i> (3443)
Geochemical Characteristics of Nitrogen in Core Sediments from Sishili Bay, China	YANG Yu-wei, GAO Xue-lu, LI Pei-miao (3449)
Composition of <i>n</i> -Alkanes in Soils of the Yellow River Estuary Wetlands and Their Potential as Organic Matter Source Indicators	YAO Peng, YIN Hong-zhen, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (3457)
Study on the Degradation and Transformation of Nonylphenol in Water Containing Algae	PENG Zhang-e, FENG Jin-mei, HE Shu-ying, <i>et al.</i> (3466)
Degradation of Orange IV Dye Solution Catalyzed by Fe(NO ₃) ₃ ·(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ Modified GAC in the Presence of H ₂ O ₂	ZHANG Ying-jie, XU Shu-fen, LIAO Xia, <i>et al.</i> (3473)
Synthesis, Characterization and Electrocatalytic Performance of Pd/CMK-3 for Formic Acid Oxidation	HUAN Zhong-ke, ZONG En-min, WEI Dan, <i>et al.</i> (3479)
Research of Controlling Condition for Aeration Stabilization Pond Dealing with Sanitary Waste of Countryside	LI Huai-zheng, YAO Shu-jun, XU Zu-xin, <i>et al.</i> (3484)
Pilot-Scale Study on Treatment of Municipal Sewage by Moving-Bed Biofilm Reactor with the Hydrophobically Modified Polyurethane Cubes as Biofilm Carriers	WANG Yu-xiao, KONG Xiu-qin, FENG Quan, <i>et al.</i> (3489)
Variation Characteristics of Relative Molecular Mass of Different Fractions of Dissolved Organic Matter from Landfill Leachate During Photocatalytic Degradation	JIA Chen-zhong, WANG Yan-xin, ZHANG Cai-xiang (3495)
Mechanism of Nitrogen Removal by Partial Nitrification-Denitrification Biological Filter	SUN Ying-xue, XU Dong, TIAN Yuan, <i>et al.</i> (3501)
Performance Stability of CANON Reactor and Temperature Impact	FU Kun-ming, ZHANG Jie, CAO Xiang-sheng, <i>et al.</i> (3507)
Denitrifying Phosphorus Removal in a Modified University of Cape Town (MUCT) Process Treating Domestic Wastewater Under Nitrification and Nitritation	ZENG Wei, WANG Xiang-dong, ZHANG Li-dong, <i>et al.</i> (3513)
Study on the Stratification Components of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Activated Sludge and Their Variation Characteristics in Physicochemical Properties	YUAN Dong-qin, WANG Yi-li (3522)
Influence of Organic Loading Rate on the Start-up of a Sequencing Airlift Aerobic Granular Reactor	LIU Meng-yuan, ZHOU Dan-dan, GAO Lin-lin, <i>et al.</i> (3529)
Degradation Kinetics of Naphthalene by Anaerobic Sludge and Analysis of the Bacterial Biodiversity	CAO Xin-kai, YANG Qi, HAO Chun-bo (3535)
Sorption of 17β-estradiol to Soils and Sediment and Influence of Pig Manure DOM	ZHANG Feng-song, LI Yan-xia, HUANG Ze-chun, <i>et al.</i> (3542)
Sorption Isotherms and Sorption Thermodynamics of Faecal Sterols on Offshore Sediment	ZHANG Xiao-lei, XUE Wen-ping, XU Heng-zhen, <i>et al.</i> (3547)
Research on the Characteristic of Toluene Migration and Distribution in Fluvio-Aquic Soil and Its Simulation Using STOMP Model	HAN Chun-mei, RAN Juan, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (3554)
Predicting the Cadmium Bioavailability in the Soil of Sugarcane Field Based on the Diffusive Gradients in Thin Films with Binding Phase of Sodium Polycrylate	WANG Fang-li, SONG Ning-ning, ZHAO Yu-jie, <i>et al.</i> (3562)
<i>In Situ</i> Immobilization of Pb and Cd in Orchard Soil Using Soil Ameliorants	TANG Min, ZHANG Jin-zhong, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3569)
Health Assessment of Heavy Metals in Roadside Soils at Different Operation Time; A Case Study of Zhengzhou-Shangqiu Section Along the Lianyungang-Horgas Highway	GU Lei, TONG Zhi-qi, SONG Bo, <i>et al.</i> (3577)
Amelioration Effects of Wastewater Sludge Biochars on Red Soil Acidity and Their Environmental Risk	LU Zai-liang, LI Jiu-yu, JIANG Jun, <i>et al.</i> (3585)
Effect of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on the Vertical Distribution of Denitrifying Genes in River Sediments	WU Yan-yang, WU Qun-he, HUANG Shan, <i>et al.</i> (3592)
Role of Layered Double Hydroxide (LDH) in the Protection of Herring Testis DNA from Heavy Metals	TANG Yi-ni, WU Ping-xiao, ZHU Neng-wu (3598)
Mineralogical Characteristics of Biogenic Schwertmannite Amended with Different Pretreatment Methods and the Effects on As(III) Absorption	LIANG Jian-ru, LI Zhe-ying, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (3606)
Mechanism of Heavy-Metal Tolerance in <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ZGKD2	ZHANG Yu-xiu, WANG Jiao, CHAI Tuan-yao, <i>et al.</i> (3613)
Isolation, Degradation Characteristics of a 1,2-Dichloroethane-Degrading Strain	WANG Xiao-chun, CHEN Dong-zhi, JIN Xiao-jun, <i>et al.</i> (3620)
Isolation and Degradation Characteristics of PCB-degrading Strain	SHI Shun-yan, FENG Liu, GONG Ji (3627)
Preliminary Study on the Changes of Bacterial Community Structure in Qingcaosha Reservoir During Water Storage Period	PENG Qing, XIE Bing, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3634)
N ₂ O Exchange Fluxes from Wheat-Maize Crop Rotation System in the North China Plain	PEI Shu-wei, ZHANG Yuan-yuan, LIU Jun-feng, <i>et al.</i> (3641)
Analysis of the Impact of Two Typical Air Pollution Events on the Air Quality of Nanjing	WANG Fei, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (3647)
Pollution Characteristics of VOCs in Ambient Air of Ji'nan City in Summer	LIU Ze-chang, ZHANG Fan, HOU Lu-jian, <i>et al.</i> (3656)
Effects and Mechanism of Catalytic Decomposition of Ozone by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhi-ye, ZHANG Zhong-ming, <i>et al.</i> (3662)
Effect of Elevated O ₃ on the Arbuscular Mycorrhizal (AM) Structure and Glomalin Production in Two Genotypes of Snap Bean	WANG Peng-teng, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang (3667)
Effect of Exogenous Calcium on the Activities of Antioxidative Protective Enzymes in Ectomycorrhizal Fungi Under Aluminum Stress	WANG Ming-xia, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3675)
Mercury Pollution in Cricket in Different Biotopes Suffering from Pollution by Zinc Smelting	ZHENG Dong-mei, LI Xin-xin, LUO Qing (3680)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年10月15日 33卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 10 Oct. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人