

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2008 ~2010年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O₃ 生成潜势 曹函玉,潘月鹏,王辉,谭吉华,王跃思(2065)

利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态 牟莹莹,楼晟荣,陈长虹,周敏,王红丽,周振,乔利平,黄成,李梅,李莉,王倩,黄海英,邹兰军(2071)

沈阳市降水化学成分及来源分析 张林静,张秀英,江洪,张清新(2081)

秦皇岛大气污染物浓度变化特征 刘鲁宁,申雨璇,辛金元,吉东生,王跃思(2089)

禽类肉鸡生长过程 NH₃、N₂O、CH₄ 和 CO₂ 的排放 周忠凯,朱志平,董红敏,陈永杏,尚斌(2098)

碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能 王晓晖,卜龙利,刘海楠,张浩,孙剑宇,杨力,蔡力栋(2107)

生物滴滤塔净化多组分废气的研究 张定丰,房俊逸,叶杰旭,邱松凯,钱东升,戴启洲,陈东之(2116)

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气 金圣,黄立维,李国平(2121)

模拟大气 CO₂ 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响 赵旭辉,汤龙升,史小丽,杨州,孔繁翔(2126)

一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法 华祖林,汪靛(2134)

HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究 李燕,李兆富,席庆(2139)

基于非点源污染的水质监测方案研究 吴喜军,李怀恩,李家科,李强坤,董雯(2146)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究 陈玲,刘德富,宋林旭,崔玉洁,张革(2151)

春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征 李鸿妹,石晓勇,陈鹏,张传松(2159)

三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布 张永生,郑丙辉,王坤,姜霞,郑浩(2166)

湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性 冯伟莹,张生,焦立新,王圣瑞,李畅游,崔凤丽,付绪金,甄志磊(2176)

刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响 侯金枝,魏权,高丽,孙卫明(2184)

反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换 李大鹏,王晶,黄勇(2191)

三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征 李昆,赵高峰,周怀东,刘晓茹,余丽琴,文武,张盼伟(2198)

UV 和 H₂O₂ 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究 张一清,周玲玲,张吉(2205)

臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素 于丽,张培龙,侯甲才,庞立飞,李越,贾寿华(2210)

硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响 毛雯,孙荣国,王定勇,马明,张成(2218)

炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究 王斌楠,刘国强,孔德洋,陆隽鹤(2225)

金属离子对 δ-MnO₂ 去除对叔辛基酚抑制作用的研究 李非里,牟华倩(2232)

核壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除 刘建明,李红,熊振湖(2240)

有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究 闫梦玥,庞志华,李小明,赵建宇,罗隽(2249)

纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征 于红蕾,霍守亮,杨周生,席北斗,答逢宇,张靖天(2256)

改性水凝胶的制备及其对 Pb²⁺、Cd²⁺ 吸附性能研究 吴宁梅,李正魁(2263)

直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色 魏红,李克斌,李娟,陈经涛,张涛(2271)

基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究 张磊,刘平,马锦,张静,张明,吴根(2277)

Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究 郭庆稳,张敏,王炜,杨治中,吴东雷(2283)

二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响 李永峰,王艺璇,程国玲,刘春妍(2290)

进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究 陈志强,邓毅,黄龙,温沁雪,郭子瑞(2295)

接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究 刘文如,沈耀良,丁玲玲,丁敏(2302)

聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究 杨敏,卢龙,冯涌,方超,李雄清(2309)

体积分数传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析 李志华,范长青,王晓昌(2314)

我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价 汪浩,冯承莲,郭广慧,张瑞卿,刘跃丹,吴丰昌(2319)

麦穗鱼物种敏感性评价 王晓南,刘征涛,闫振广,张聪,何丽,孟双双(2329)

不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究 雷炳莉,文育,王艺陪,康佳,刘倩(2335)

桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究 钱建平,张力,李成超,黄栋(2344)

直流电场处理后降线藻趋光性对 Cl⁻ 和 Hg²⁺ 的响应 王飞翔,袁玲,黄建国(2350)

UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响 宋新章,卜涛,张水奎,江洪,王志坤,赵明水,刘永军(2355)

7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征 刘玲,方炎明,王顺昌,谢影,杨聃聃(2361)

溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析 于皓,陈川,张莉,王爱杰(2368)

不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroRespTM 方法 陈晓娟,吴小红,刘守龙,袁红朝,李苗苗,朱捍华,葛体达,童成立,吴金水(2375)

典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 陈建刚,曹雪(2383)

三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究 刘意章,肖唐付,宁增平,贾彦龙,黎华军,杨菲,姜涛,孙旻(2390)

北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征 陈志凡,赵焯,郭廷忠,王永锋,田青(2399)

季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响 李晓燕(2407)

东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征 王登阁,崔兆杰,傅晓文,殷永泉,许宏宇(2416)

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响 段雷,马萧萧,余德祥,谭炳全(2422)

甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究 孙明明,滕应,骆永明,李振高,贾仲君,张满云(2428)

胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤铜含量及土壤酶活性影响 杨榕,李博文,刘微(2436)

长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征 吴小莲,向垒,莫测辉,姜元能,严青云,李彦文,黄献培,苏青云,王纪阳(2442)

有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究 张旭,席北斗,赵越,魏自民,李洋,赵昕宇(2448)

北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析 王昭,李振山,冯亚斌,焦安英,薛安(2456)

氨对垃圾焚烧飞灰浸出特性的影响及地球化学模拟 官贞珍,陈德珍,Thomas Astrup(2464)

焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究 朱芬芬,高冈昌辉,大下和傲,姜惠民,北岛义典(2473)

富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能 李坤权,李焯,郑正,张雨轩(2479)

生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估 姜志翔,郑浩,李锋民,王震宇(2486)

基于物质流分析的钾素流动与循环研究 白桦,曾思育,董欣,陈吉宁(2493)

《环境科学》征订启事(2115) 《环境科学》征稿简则(2224) 信息(2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知(2478)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究

陈玲¹, 刘德富^{1,2*}, 宋林旭¹, 崔玉洁¹, 张革¹

(1. 三峡大学水利与环境学院, 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 宜昌 443002; 2. 湖北工业大学资源与环境学院, 武汉 430072)

摘要: 为揭示三峡库区坡耕地在不同雨强下氮、磷养分随地表径流和壤中流的输出规律, 在香溪河流域选择具有代表性的黄棕壤坡耕地进行原位人工模拟降雨试验. 结果表明, 在降雨总量一定的情况下, 随雨强的增大, 地表径流量、径流总量、泥沙侵蚀量均呈明显的增加趋势, 而壤中流流量减少. 不同雨强下地表径流中 TN、DN、DP 均存在明显的初期径流冲刷效应, TP 在整个降雨过程中波动较大, 呈微弱降低的变化趋势; 壤中流中 TN、DN、DP 随降雨持续输出浓度无明显变化, TP 在径流初期出现浓度峰值, 之后减少并趋于稳定. 雨强对磷素的影响更直接, 雨强越大, 磷素径流浓度也越大, 氮、磷养分的平均浓度均远超出水体富营养化阈值. 随雨强的增大, TN 径流流失量减小, TP 流失量增大, TN 随地表径流流失贡献率随雨强的增大由 36.5% 增加至 57.6%, 磷素以地表径流为主, 贡献率达 90.0% 以上, 因此, 控氮关键是减少壤中流的产生, 控磷则需防止土壤侵蚀. 随雨强的减小, 地表径流中以溶解态流失的氮素比例升高, 壤中流中均以溶解态为主, 磷素的流失在不同雨强和径流形式下均以颗粒态为主.

关键词: 三峡水库; 香溪河; 雨强; 氮磷流失; 壤中流

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2151-08

Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities

CHEN Ling¹, LIU De-fu^{1,2}, SONG Lin-xu¹, CUI Yu-jie¹, ZHANG Ge¹

(1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. College of Resources and Environment Sciences, Hubei University of Technology, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to investigate the loss characteristics of N and P through surface flow and interflow under different rainfall intensities, a field experiment was conducted on the sloping arable land covered by typical yellow-brown soils in Xiangxi River watershed by artificial rainfall. The results showed that the discharge of surface flow, total runoff and sediment increased with the increase of rain intensity, while the interflow was negatively correlated with rain intensity under the same total rainfall. TN, DN and DP were all flushed at the very beginning in surface flow under different rainfall intensities; TP fluctuated and kept consistent in surface flow without obvious downtrend. While TN, DN and DP in interflow kept relatively stable in the whole runoff process, TP was high at the early stage, then rapidly decreased with time and kept steady finally. P was directly influenced by rainfall intensity, its concentration in the runoff increased with the increase of the rainfall intensity, the average concentration of N and P both exceeded the threshold of eutrophication of freshwater. The higher the amount of P loss was, the higher the rain intensity. The change of N loss was the opposite. The contribution rate of TN loss carried by surface flow increased from 36.5% to 57.6% with the increase of rainfall intensity, but surface flow was the primary form of P loss which contributed above 90.0%. Thus, it is crucial to control interflow in order to reduce N loss. In addition, measures should be taken to effectively manage soil erosion to mitigate P loss. The proportion of dissolved nitrogen in surface flow elevated with the decrease of rainfall intensity, but in interflow, dissolved form was predominant. P was exported mainly in the form of particulate under different rainfall intensities and runoff conditions.

Key words: Three Gorges Reservoir; Xiangxi Bay; rainfall intensities; nitrogen and phosphorus loss; interflow

坡耕地是三峡库区主要的农业种植土地利用类型之一, 频繁的耕作和不合理的管理措施不仅造成严重的水土流失使坡耕地生产力下降^[1, 2], 而且农田径流中的氮、磷养分的大量输出, 成为导致地表水体富营养化的主要原因^[3]. 土壤养分随径流的输出方式主要包括: 一是随地表径流和沉积物相的横向迁移即养分流失, 二是随水流下渗的纵向迁移即养分淋失^[4]. 目前, 已有的研究多集中在养分随地

表径流和泥沙的迁移转化规律以及不同的植被覆

收稿日期: 2012-09-27; 修订日期: 2012-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179095, 51179205); 国家杰出青年科学基金项目(50925932); 国家自然科学基金青年基金项目(51009080, 51009081, 51209123); 三峡大学研究生科研创新基金项目(2011CX009); 水利部公益性行业科研专项(201201030); 三峡大学人才科研启动基金项目(KJ2012B038)

作者简介: 陈玲(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为非点源污染输出机制, E-mail: wwwchenling@126.com

* 通讯联系人, E-mail: dliu@ctgu.edu.cn

盖、土地利用和施肥措施等对养分流失的影响^[5-7],对养分的淋失,特别是硝氮淋失的研究近年来也得到了广泛关注^[8],但通常把养分淋失与养分流失过程分开研究,使全面评估农田养分损失对非点源污染的影响受到局限.本研究区域位于三峡水库香溪河流域,该区雨量丰富并相对集中,土层浅薄,土壤水分饱和度高,壤中流易形成并在整个径流成分中占有比例,养分淋失对氮、磷污染物输出的影响不容忽视.降雨是非点源污染发生的源动力,也是养分输出的溶剂和载体^[9],研究在不同雨强下氮、磷养分输出的过程和特征,对探讨农田径流由土壤向水体的迁移机制,制定相应的非点源控制措施具有重要的现实意义.

本研究通过人工模拟降雨试验,在典型原位径流小区内观察不同雨强下地表径流和壤中流的产流过程,分析不同水文形式下各形态氮磷养分输出过程、流失量以及形态组成特征,以期进一步明确不同雨强下坡耕地养分的输出机制,为农业非点源污染的有效防治提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况及试验点布设

香溪河流域为三峡水库湖北省境内的最大支流.地形地貌为丘陵低山区,呈现岩多坡陡,流域内

坡度小于 15° 占18.3%,大于 25° 占51.2%,坡耕地为当地农业种植的主要利用类型.多年平均降水量1067 mm,多集中在夏季,约占全年总降雨量的41%.主要的耕地利用类型为黄棕壤,占总面积的34.1%,经济作物主要包括玉米和小麦,其土地利用模式及小流域农业结构在三峡库区极具代表性.

试验地位于香溪河流域兴山县峡口镇建阳坪村($110^\circ 8' 17'' E, 31^\circ 12' 22'' N$),试验小区顺坡种植玉米,植被覆盖度40%,土壤类型为黄棕壤,坡度为 15° .在原始坡面上顺坡修建两相邻小区,试验小区前期人为管理措施相同,降雨前小区的土壤理化背景可视作基本一致,其理化性质采用常规分析法确定^[10],基本情况见表1.小区面积为 $2\text{ m} \times 5\text{ m}$,小区边界(除出水侧)修建隔水墙,深度大约为1.5 m,隔水墙顶部高出地面0.2 m,用砖砌墙,用水泥抹平以防渗漏和相邻小区影响.出水一侧紧挨剖面堆积30 cm宽的碎石墙,分别在地表和距离地表130 cm(该部位具有明显的土壤结构分层)的地方修建集水沟,用水泥砂浆抹平,使两边高中间低,以利于地表径流和壤中流的流出,紧挨碎石墙外侧修建砖砌墙,以稳定小区剖面 and 封闭降雨径流小区,分别在地表和距离地表130 cm的地方修建地表径流和壤中流导流沟槽,安置导流管,便于收集壤中流和地表径流.试验装置见图1.

表1 试验地土壤样品物理化学性质

Table 1 Physicochemical properties of experimental soil

层次/cm	容重/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	前期含水量/%	孔隙度/%	土壤颗粒组成/%			阳离子代换量/ $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
				砂砾($>0.05\text{ mm}$)	粉砾($0.05 \sim 0.002\text{ mm}$)	黏砾($<0.002\text{ mm}$)			
表层(0~20)	1.27	20.34	51.7	24.08	55.91	20.01	22.74	1.68	1.43
底层(100~120)	1.41	10.40	41.1	15.42	56.02	28.56	20.21	0.86	0.38

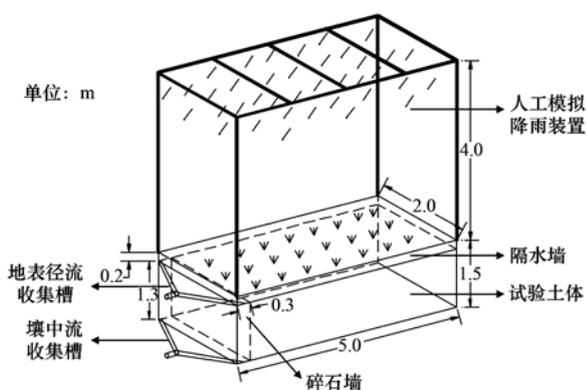


图1 试验小区示意

Fig. 1 Map of the experimental plot

1.2 试验设计与样品采集

2012年5月中旬在小区内进行人工模拟降雨

试验,降雨器为TSJY-081侧喷式人工模拟降雨器,降雨高度为4 m,降雨均匀系数90%,以保证模拟降雨与自然降雨相似.依据当地多年的降雨资料率定试验雨强为 $1.5\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $2.2\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,设定降雨总量为60 mm,人工降雨历时分别为40 min和27 min.模拟降雨前以相同的降雨量在小雨强下充分润湿试验土体但不产流,降雨开始后,记录降雨开始时间、地表径流和壤中流出流时间,每间隔1 min~2 min采集地表径流和壤中流各一次,每次采集径流样2瓶,共计560 mL,并记录采样历时,计算得出不同时刻的径流量.记录降雨停止时间、径流停止时间,采样直至降雨径流结束,最后测量地表径流和壤中流集流桶中径流总量.采集人工模拟降雨试验用水作为空白样,径流分析结果扣除该空白.

供试玉米于4月初播种,种植密度为 $6 \text{株} \cdot \text{m}^{-2}$,在降雨前半个月,按照当地的施肥量在小区土壤表面均匀喷洒尿素($200 \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和重过磷酸钙($75 \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),并小心翻耕5 cm厚的表土,使肥料与表土混合均匀。

1.3 样品分析

水样采集后现场加酸保存,并于24 h内进行室内分析。室内样品分析在香溪河水生态与环境野外监测站进行。采集的两瓶径流水相样品充分混合摇匀后,一瓶直接用于径流水样总氮(total nitrogen, TN)和总磷(total phosphorus, TP)的测定,另一瓶经 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后测定溶解性总氮(dissolved nitrogen, DN)和溶解性总磷(dissolved phosphorus, DP)。TN和DN采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,TP和DP采用过硫酸钾氧化-钼酸盐比色法;颗粒态氮(particulate nitrogen, PN)和颗粒态磷(particulate phosphorus, PP)采用差减法求出,计算方法为: $\text{PN} = \text{TN} - \text{DN}$, $\text{PP} = \text{TP} - \text{DP}$ 。

2 结果与分析

2.1 不同雨强下径流输出过程和分配特征

在人工模拟降雨条件下,供试土壤产生两种径

流模式:地表径流和壤中流。对其产流过程分析发现(图2),径流曲线均基本表现为单峰型,不同雨强下初始产流时间和流量峰值均存在明显差异,地表径流和壤中流的产流过程也明显不同,随着雨强增大,地表径流过程曲线由“矮胖型”向“高瘦型”转变。在降雨初期,土壤入渗能力大于雨强,雨水以入渗的方式进入土壤中,无地表径流产生,随着表层含水率逐渐增大,土壤入渗能力逐渐下降,入渗率等于或小于雨强时,地表开始产生径流并逐渐升高达到最大流量后趋于稳定,随着降雨过程的结束,地表径流迅速消失^[11]。壤中流在降雨一段时间后产生,随着地表径流的消退逐渐升高达到流量峰值,与地表径流相比有较长时间的消退过程。

不同雨强下的降雨径流分配特征存在较大的差异(表2),随雨强的增大,地表径流量、径流总量、泥沙侵蚀量均呈明显的增加趋势,而壤中流流量减少。对不同雨强下累积径流量进行统计发现,大雨强下地表径流和壤中流占总径流的比例约为91.1%和8.9%,中雨强下则分别为74.5%和25.5%。这主要是因为雨强越大,降雨对地表的冲刷越严重,容易形成坡面小细沟,大部分雨水来不及入渗,形成超渗产流使地表径流量明显提高,进而随

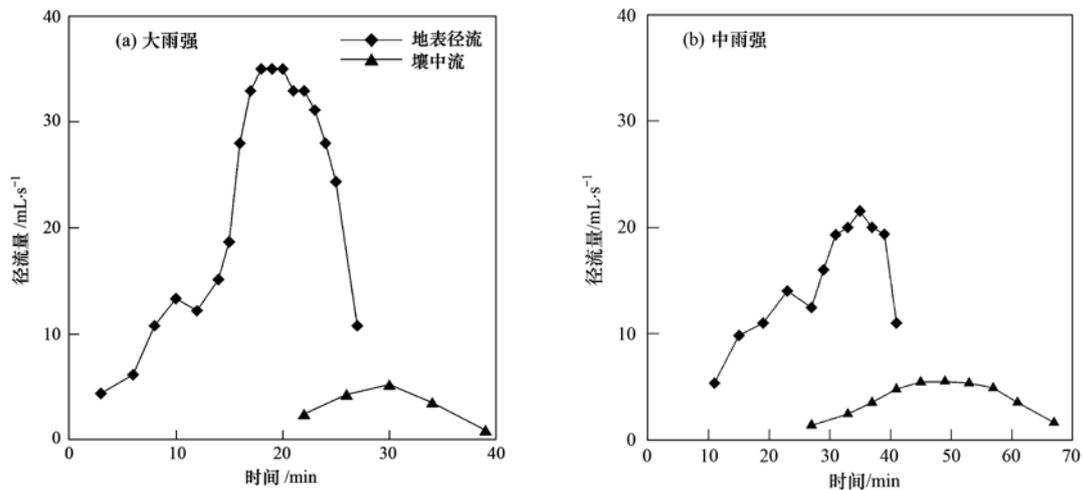


图2 不同雨强下地表径流和壤中流产流过程

Fig. 2 Generation processes of surface flow and interflow under different rainfall intensities

表2 不同雨强下地表径流和壤中流径流特征

Table 2 Characteristics of surface flow and interflow under different rainfall intensities

雨强	径流形式	初始产流时间 /min	产流历时 /min	径流总量 /L	径流系数 /%	平均流量 /mL·min ⁻¹	泥沙含量 /g·L ⁻¹
大雨 ($2.2 \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	地表径流	3	24	38.02	6.34	1 584.17	8.46
	壤中流	22	16	3.74	0.62	233.75	—
中雨 ($1.5 \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	地表径流	11	29	26.07	4.35	898.97	2.83
	壤中流	27	40	8.92	1.49	223.00	—

径流流失的侵蚀泥沙含量也增加. 在中雨强下, 雨水入渗率较大, 降雨初期以入渗为主, 随着入渗率的降低逐渐形成地表径流, 因此初始产流时间明显滞后于大雨条件下. 在相同雨量条件下雨强越大降雨历时越短, 雨水入渗时间越短, 入渗地下的雨水越少, 形成壤中流流量也就越少.

2.2 不同雨强下径流养分输出过程

降雨是非点源污染产生的源动力, 形成的径流是氮、磷污染物输出的载体和溶剂, 主要以地表径流和壤中流两种径流形式损失. 依据本次模拟降雨的试验结果, 分析发现在不同的雨强下, 不同形态的氮、磷养分随地表径流和壤中流的输出过程遵循一定的规律. 无论在大雨或中雨条件下, 地表径流中 TN、DN、DP 均表现为初期浓度较高, 之后随降雨的持续迅速减小并逐步趋于稳定, TP 在整个降雨过程中波动较大, 呈微弱降低的变化趋势; TN、DN、DP 随壤中流的流失过程则与地表径流存在明显不同, 除 TP 随壤中流径流过程明显降低外, 其它随降

雨过程输出浓度无明显变化(图 3 和图 4).

在地表径流形成初期, 土壤表层受长期施肥耕作的影响土壤松散并有大量的氮磷养分富集, 在雨滴击打及径流的冲刷作用下, 养分富集率较高的细颗粒和一部分易溶性的养分首先随径流流失, 因此在初期出现氮磷养分流失的浓度峰值, 即存在初期冲刷效应^[12]. 而随着降雨过程的持续, 表层土壤中养分含量逐渐降低, 地表径流与土壤间的交换作用趋于平衡, 再加上降雨径流的稀释作用, 径流中的流失浓度逐渐减小, 并趋于稳定. TP 的流失过程与其他形态存在明显不同, 呈波浪式起伏, 降低趋势并不显著, 与杨丽霞等^[13]对太湖流域蔬菜地的人工模拟降雨试验研究结论基本一致, 原因可能是磷主要以泥沙结合态随地表径流流失^[14], 在初期径流量较小, 泥沙携带能力有限, 但坡面松散土粒富集程度较高, 易随降雨径流流失, TP 浓度在初期较高并呈降低趋势; 之后雨滴对地表的击溅使土壤大颗粒被击碎分散成为细小的颗粒, 与径流对泥沙的搬运处于

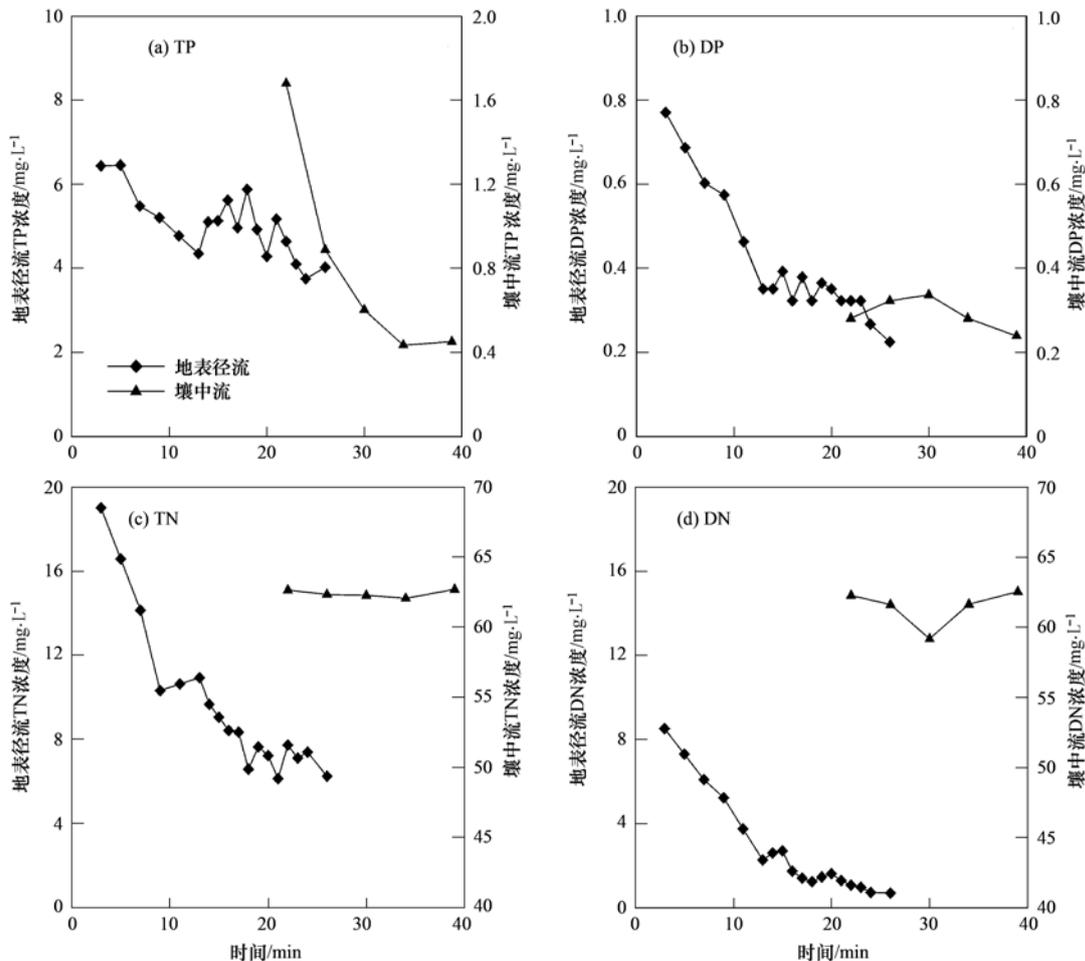


图 3 大雨强下氮磷养分随地表径流和壤中流的变化过程

Fig. 3 Concentration dynamics of nutrient in surface flow and interflow under heavy rain intensity

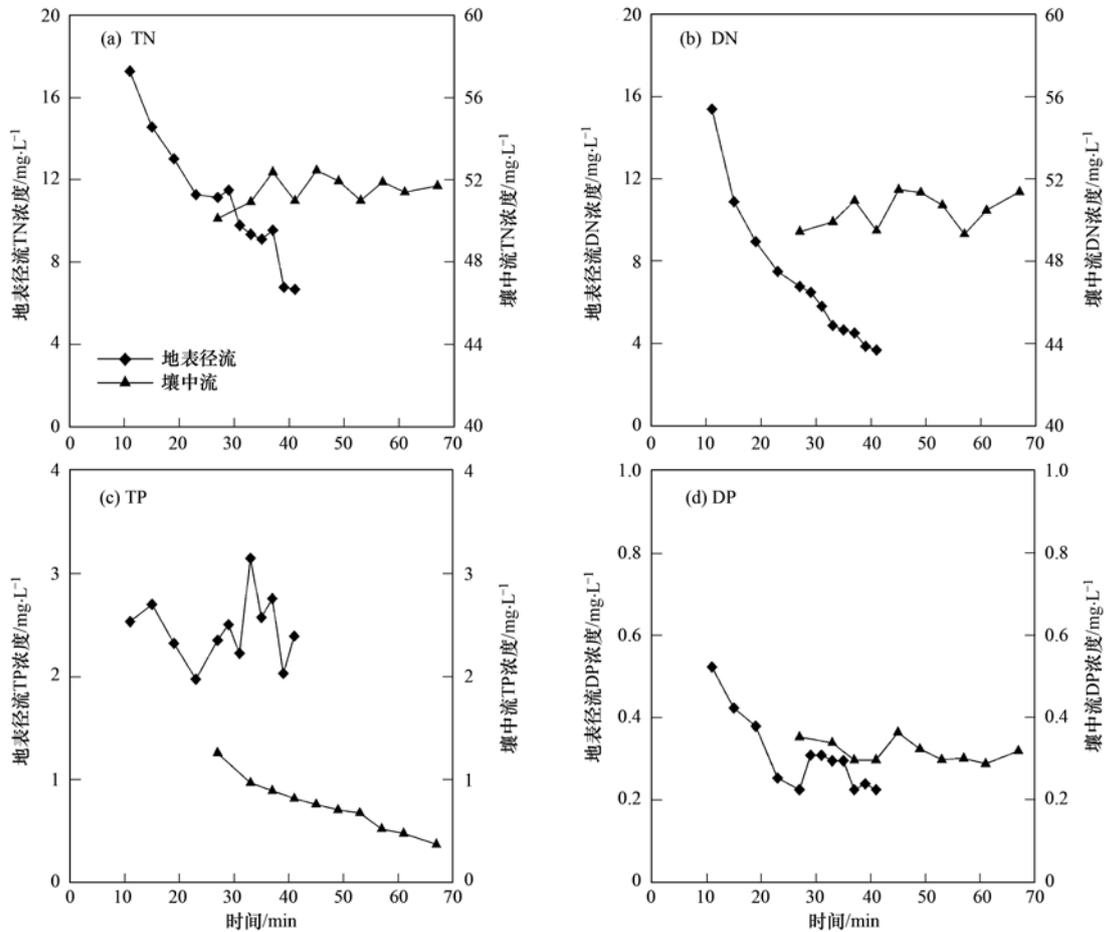


图4 中雨强下氮磷养分随地表径流和壤中流的变化过程

Fig. 4 Concentration dynamics of nutrient in surface flow and interflow under moderate rain intensity

动态平衡中,使 TP 的流失浓度呈波浪式起伏. 由此可见,在小流域中有针对性的建立坑塘、沟渠等截留措施截获一定比例的初期径流对非点源污染物的减控有重要意义,也可使泥沙颗粒物逐渐沉降,减少以泥沙为载体的污染物流失量^[15].

壤中流是土壤水分在下渗的过程中,由于下层阻水造成的水分侧向运动,输出过程受土壤内部物理结构和降雨入渗特征的影响. 在径流形成的初期土壤内部少量的细颗粒沿孔隙随优势水流迁移,造成在初期以泥沙结合态流失为主的 TP 浓度较高,但随着降雨过程的持续,土壤内部的细颗粒运移减少再加之径流量的增加,浓度逐渐下降并趋于稳定,由于土壤内部束缚氮、磷养分的溶解释放相对均一,而径流下渗过程中与土壤进行了充分的相互作用,因此壤中流中其他形态的养分在整个降雨过程中浓度随时间延长无明显变化.

利用流量加权平均法,估算在不同雨强下地表径流和壤中流氮、磷养分流失的平均浓度,其结果见表 3,分析发现在不同的雨强下地表径流中 TN、

DN 的浓度明显低于壤中流,而 TP 随地表径流流失的浓度高于壤中流,DP 在不同的径流形式下浓度差异不明显. 有研究发现,70% ~ 90% 的氮素是以溶解态的硝氮形式流失^[16],而硝氮带负电荷,不易被带负电荷的土壤胶体吸附,其淋溶现象较显著,主要随壤中流流失,造成壤中流中 TN 和 DN 浓度都明显高于地表径流. 地表径流流量大,流速快,具有较大的动能,能够携带大量的颗粒态的磷,而壤中流是在内部水分充分饱和和后通过重力作用流出,流速缓慢,受土壤物理结构的影响,极大地消减了颗粒态磷素的输出浓度,因此以颗粒态流失为主的 TP 在地表径流中的浓度远高于壤中流. 晏维金等^[17]的研究发现:一定水土混合比例的土壤所解吸的磷的浓度相当,造成地表径流和壤中流 DP 的浓度差异并不明显.

雨强对氮、磷的流失浓度也有一定影响,大雨条件下地表径流 TN、DN 浓度小于中雨,TP、DP 则相反;而壤中流在大雨条件下 TN、DN、TP 均高于中雨,DP 无明显差异. 雨强越大,对地表的冲刷越

表 3 不同雨强下各形态养分的平均浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Table 3 Mean concentration of different nutrient forms under different rainfall intensities/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

雨强	径流方式	TN	DN	TP	DP
大雨 ($2.2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	地表径流	8.32	1.96	4.93	0.36
	壤中流	62.17	61.02	0.78	0.30
中雨 ($1.5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	地表径流	10.16	6.10	2.47	0.29
	壤中流	51.60	50.52	0.71	0.32

剧烈,更多的泥沙细颗粒随径流流失,导致以泥沙结合态为主的磷素流失浓度增高,而雨强减小时,流速变缓,氮素养分与径流充分作用后溶出,同时,大雨时径流稀释作用加剧使氮素输出浓度降低. 由于壤中流在土壤内部形成,雨强主要是通过影响其径流量改变养分输出浓度,雨强越大,壤中流流量越小,其输出浓度越大. 不同雨强下的养分流失浓度均远超出了水体富营养化的阈值(TN $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP $0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[18],对周边水体水质的威胁不容忽视.

2.3 不同雨强下氮磷负荷输出特征

氮、磷随地表径流和壤中流的流失过程存在明显差异,对比研究不同雨强下各形态养分的流失特征,为进一步明确雨强对养分流失的影响和农业非点源的有效防治提供重要的理论指导. 从表 4 中分析发现:随雨强的增大,TN 的输出负荷减小,TP 的输出负荷增大,地表径流对 TN 的输出份额随雨强的增大呈增加趋势,在中雨时占流失贡献率的 36.5%,大雨时增加至 57.6%,TP 的输出在大雨和中雨条件下均以地表径流为主,贡献率达 90.0% 以上. 本研究中 TN 的流失量随雨强的增加呈减小的趋势,与已有的研究结论存在差异^[19,20],主要是因为已有的研究多考虑地表径流而忽略了径流中普遍存在的壤中流对养分流失的贡献,有研究发现,壤中流的存在不仅改变了降雨径流关系,而且对坡面养

分的流失产生一定的影响^[21]. 本试验中壤中流中氮素的浓度是地表径流的 5~8 倍,氮素随壤中流的流失占较大份额,径流携带的养分流失量取决于径流中的养分浓度和坡面径流量^[22],在不同雨强下壤中流中氮素流失浓度相当,而中雨时壤中流的径流量是大雨的 2.4 倍,导致中雨时养分随壤中流的流失量成倍增加,使中雨时 TN 的流失量增加. 在大雨条件下,TP 随地表径流的流失浓度高,径流量也大,共同作用下使 TP 的流失量增加,而随壤中流的流失浓度和径流量均明显低于地表径流,因此流失量也较低,TP 主要通过地表径流流失,可见土壤对磷素具有较强的滤减作用.

林超文等^[23]的研究发现,氮素损失的载体主要是壤中流,本研究中氮素通过壤中流的流失在不同的雨强下均占 42.4% 以上,雨强越小,壤中流所占的比例越高,因此在雨量丰富的香溪河坡耕地地区,对氮素流失的控制关键要减少壤中流的产生. 一方面应减免在坡耕地上的种植,或进行梯田改造,使上一个梯田形成的壤中流汇入下一层梯田中,则可以减少壤中流进入地表水,并增加氮素的利用率;另一方面增加有机质等措施改善土壤保水蓄肥的能力减少壤中流形成. 而磷素主要通过地表径流流失,增加植被覆盖、采用横坡垄作等措施控制土壤侵蚀可在一定程度上减小土壤磷素的损失.

表 4 不同雨强下径流养分流失量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ Table 4 Load of nutrient loss carried by runoff under different rainfall intensities/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

养分形态	大雨强				中雨强			
	地表径流	壤中流	总负荷	地表径流总负荷/%	地表径流	壤中流	总负荷	地表径流总负荷/%
TN	0.316	0.233	0.550	57.58	0.265	0.460	0.725	36.52
DN	0.075	0.228	0.303	24.63	0.159	0.451	0.610	26.09
TP	0.188	0.003	0.191	98.36	0.064	0.006	0.071	91.00
DP	0.014	0.001	0.015	93.39	0.008	0.003	0.010	72.90

氮、磷养分的流失形式主要包括溶解态和颗粒态,溶解态是直接能够被浮游植物吸收利用的,而颗粒态需在适宜的条件下,通过在界面和介质中的吸附、转化后才能被吸收利用,是污染物输出的潜在源,两者都与水体富营养化密切相关^[24]. 通过对不

同雨强下氮、磷随径流的损失形态分析发现(图 5):TN 的流失在大雨时颗粒态占优,中雨时以溶解态占优,壤中流中均以溶解态占优;无论在大雨或中雨下,TP 在地表径流中均以颗粒态为主,贡献率达 88.3% 以上,而在壤中流中溶解态比例略有升

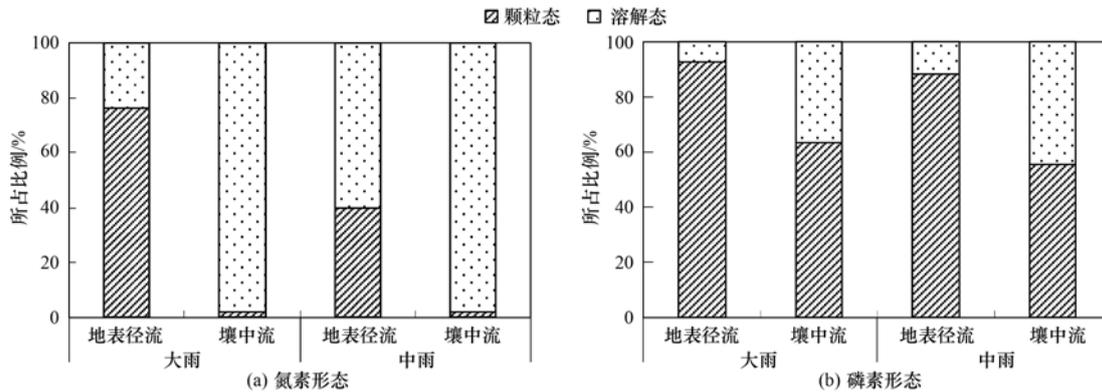


图5 不同雨强下养分组成特征分析

Fig. 5 Composition characteristics of nutrient under different rainfall intensities

高,但颗粒态比例仍占55.8%以上。当雨强较小时,流速较缓,土壤中可溶性的养分与径流充分作用后溶出,因此雨强越小,溶解态的养分流失比例就越高。反之,雨强较大时,流速较快,颗粒态养分由于物理作用易被径流冲刷携带,表现出雨强越大颗粒态的流失贡献率就越高^[25]。而壤中流的形成受土壤内部结构的影响,颗粒态的物质只在径流初期随优势流有少量的流失,主要以溶解态为主,因此在壤中流中溶解态的流失比例均有不同程度的提高,而氮素由于受到硝氮易淋溶的影响,溶解态所占的比例达97.9%以上。

3 结论

(1)在人工模拟降雨条件下,供试土壤产生两种径流模式:地表径流和壤中流,在降雨总量一定的情况下,随雨强的增大,地表径流量、径流总量、泥沙侵蚀量均呈明显的增加趋势,而壤中流流量减少。

(2)不同雨强下,地表径流中TN、DN、DP均表现为初期浓度较高,之后随降雨的持续迅速减小并逐步趋于稳定,TP在整个降雨过程中波动较大,呈微弱降低的变化趋势;壤中流中TN、DN、DP随降雨过程输出浓度无明显变化,而TP在径流初期出现浓度峰值,之后迅速减少并趋于稳定。

(3)不同的雨强下地表径流中TN、DN的浓度明显低于壤中流,而TP随地表径流流失的浓度高于壤中流,DP在不同的径流形式下浓度差异不明显;雨强对磷素的影响更直接,雨强越大,磷素径流浓度越大。各形态养分的平均浓度均远超出水体富营养化阈值。

(4)随雨强的增大,TN流失负荷减小,TP流失负荷增大,TN随地表径流流失贡献率随雨强的增大

由36.5%增加至57.6%;磷素以地表径流为主,贡献率达90.0%以上。

(5)随雨强的减小,地表径流中以溶解态流失的氮素比例升高,壤中流中均以溶解态为主;磷素的流失在不同雨强和径流形式下均以颗粒态为主。

参考文献:

- [1] Evans J E, Levine N S, Roberts S J, *et al.* Assessment using GIS and sediment routing of the proposed removal of Ballville dam, Sandusky river, ohio [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2002, **38**(6): 1549-1565.
- [2] 傅涛,倪九派,魏朝富,等. 坡耕地土壤侵蚀研究进展[J]. *水土保持学报*, 2001, **15**(3): 123-128.
- [3] Oenema O, Roest C W J. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters; the effects of policies and measures in the Netherlands[J]. *Water Science and Technology*, 1998, **37**(3): 19-30.
- [4] Ahuja L R, Sharpley A N, Yamamoto R G M, *et al.* The depth of rainfall-runoff-soil interaction as determined by ³²P[J]. *Water Resources Research*, 1981, **17**(4): 969-974.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 王云,徐昌旭,汪怀建,等. 施肥与耕作对红壤坡地养分流失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, **30**(3): 500-507.
- [8] 贾海燕,雷阿林,雷俊山,等. 紫色土地区水文特征对硝态氮流失的影响研究[J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(10): 1658-1664.
- [9] Ramos M C, Martinez-Casasnovas J A. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain) [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, **113**(1-4): 356-363.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 147-160.
- [11] 陈洪松,邵明安. 黄土区坡地土壤水分运动与转化机理研究

- 进展[J]. 水科学进展, 2003, **14**(4): 513-520.
- [12] 曹杰君, 高扬, 黄海波, 等. 长三角典型村域次降雨条件下氮素非点源输出特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(11): 2587-2593.
- [13] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征[J]. 环境科学, 2007, **28**(8): 1763-1769.
- [14] 黄利玲, 王子芳, 高明, 等. 三峡库区紫色土旱坡地不同坡度土壤磷素流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2011, **25**(1): 30-33.
- [15] 蒋锐, 朱波, 唐家良, 等. 紫色丘陵区典型小流域暴雨径流氮磷迁移过程与通量[J]. 水利学报, 2009, **40**(6): 659-666.
- [16] Pionke H B, Gburek W J, Schnabel R R, *et al.* Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed [J]. *Journal of Hydrology*, 1999, **220**(1-2): 62-73.
- [17] 晏维金, 亢宇, 章申, 等. 磷在土壤中的解吸动力学[J]. 中国环境科学, 2000, **20**(2): 97-101.
- [18] Thomann R V, Mueller J A. Principles of surface water quality modeling and control[M]. New York: Harper and Row, 1987.
- [19] 张丽萍, 张锐波, 吴希媛. 不同管理方式竹林坡地降雨径流中氮磷流失特性模拟试验[J]. 水土保持学报, 2011, **25**(6): 1-6.
- [20] 黄满湘, 章申, 张国梁, 等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报, 2003, **58**(1): 147-154.
- [21] Zheng F L, Huang C H, Norton L D. Effects of near-surface hydraulic gradients on nitrate and phosphorus losses in surface runoff[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, **33**(6): 2174-2182.
- [22] 傅涛, 倪九派, 魏朝富, 等. 不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, **9**(1): 71-74, 101.
- [23] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同雨强和施肥方式对紫色土养分损失的影响[J]. 中国农业科学, 2011, **44**(9): 1847-1854.
- [24] 郑丙辉, 王丽婧, 龚斌. 三峡水库上游河流入库面源污染负荷研究[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(2): 125-131.
- [25] 吴希媛, 张丽萍, 张妙仙, 等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报, 2007, **27**(11): 4576-4582.

CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ and CO ₂ Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO ₂ Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Hui-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, CAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Hui-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H ₂ O ₂ Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrain the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by δ -MnO ₂	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Posphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe ²⁺ on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxial Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr ⁶⁺ and Hg ²⁺	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp TM	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- β -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHANG Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

《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)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

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