

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

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

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 白举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭气污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铈在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响

杨峰¹, 王鹏举², 杨珊珊², 吴金水³, 胡荣桂^{2*}

(1. 湖北省林业调查规划院, 武汉 430079; 2. 华中农业大学资源与环境学院, 农业部亚热带农业资源与环境重点开放实验室, 武汉 430070; 3. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

摘要: 以位于湖南省长沙市城郊农业区的金脱河流域为研究区域, 通过解译 2009 年的 Spot-5 卫星遥感图获取了小流域的土地利用图; 结合流域的 DEM 图, 利用 ArcGIS 9.3 的水文、空间分析模块将流域划分为若干个子流域, 分析各子流域的土地利用结构。从 2009 年 12 月~2010 年 11 月在各子流域出口处采取水样, 分析其 TN、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 输出浓度、输出量的时空变化特征以及与土地利用结构、施肥等因素之间的关系。结果表明, 流域径流氮素污染严重, 其 TN、 NH_4^+ -N 输出浓度呈明显的季节变化特征, 为冬季>春季>夏、秋季, 而 NO_3^- -N 的输出浓度的季节差异较小。流域内的土地利用结构对 NO_3^- -N 的输出浓度起着重要的控制作用, 林地、水面表现为源作用, 水田、旱地、居民地为汇作用; 不同的时间尺度上土地利用结构对其影响不同, 年度尺度上对 NO_3^- -N 输出影响最大的为旱地, 春夏季为林地, 秋冬季为旱地。TN、 NH_4^+ -N 的输出浓度与土地利用结构的相关性较差, 各形态氮素的输出量与纯氮施用量、人口数、养猪量表现为极显著正相关。

关键词: 城郊农业区; 小流域; 土地利用结构; 氮素输出; 时空变化

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2652-07

Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions

YANG Feng¹, WANG Peng-ju², YANG Shan-shan², WU Jin-shui³, HU Rong-gui²

(1. Hubei Institute of Forestry Survey and Design, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of Subtropical Agriculture and Environment, Ministry of Agriculture, College of Resources and Environmental, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: This study was conducted in Jintuo watershed of Changsha City, Hunan Province, in the suburban agriculture regions, by selecting 8 sub-basins to examine the effect of land use on watershed runoff nitrogen output. The land use map of watershed was interpreted from Spot-5 image of 2009, and by using hydraulic analysis function and spatial analysis extensions of ArcGIS 9.3, the catchment areas were delineated from DEM. Water sampling was carried out from Dec. 2009 to Nov. 2010, and the relationships between different types of nitrogen export and land use were analyzed. The results showed that nitrogen pollution in the watershed was extremely serious. There was a distinct seasonal variation in the following order: $\text{WI} > \text{SP} > \text{SU} \approx \text{FA}$ in the output concentration of total nitrogen and ammonium nitrogen which was not observed in the nitrate output. Moreover, land use was a dominant factor that determined the export of nitrogen, and especially a significant correlation was figured out between the nitrate output concentration and the land use structure. Forest and water body had a negative impact on nitrate output concentration while dry land, paddy field and habitation road had a positive effect. However, the effects varied with time. Dry land had the most significant important effect on nitrate output concentration in winter and fall, but in spring and summer was the forest land. The correlation between land use structure and the output concentration of total nitrogen and ammonium nitrogen was not found. The resident number, pig number and fertilization also had a major impact on nitrogen output quantity.

Key words: suburban agriculture regions; watershed; land use structure; nitrogen output; temporal and spatial variation

随着经济发展和人类活动的不断加剧, 由河流、湖泊、水库等水体氮、磷营养元素浓度升高引起的水体富营养化已成为水环境治理的重要问题之一。目前, 公认农业面源污染是引起水体富营养化的重要原因, 主要包括农田化肥与农药的施用、农村畜禽养殖废水和城乡结合部地带的生活排污^[1~3]。小流域往往是一些河流、湖泊、水库的源头, 流域内农村人口众多、农业发达, 径流中携带的富营养物质会造成下游水体的水质恶化^[4~9]。因此, 控制小流域的农业面源污染输出意义重大^[10~12]。大量研究表

明, 土地利用类型与结构可综合反映人类活动对环境的作用, 是影响农业非点源污染的关键因子^[13~17], 定量研究小流域内土地利用对富营养化元素输出的影响, 不仅是当前流域污染修复治理的重要内容, 而且对流域最佳管理模式的制定有重要的意义^[18,19]。

收稿日期: 2011-10-26; 修订日期: 2012-03-04

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BADA7B01)

作者简介: 杨峰(1963~), 男, 高级工程师, 主要研究方向林业生态及林业资源调查, E-mail: YF0289@163.com

* 通讯联系人, E-mail: hronggui@163.com

城郊农业区地理条件优越、农业基础设施发达,集约化与产业化程度高,是我国农业的精华地带,担负着农产品生产和城市生态环境保护的双重功能.但是,由于城郊农业区化肥和农药的长期大量施用,集约化畜禽养殖业废弃物的大量排放,以及城镇生活污水处理设施的缺乏,导致城郊农业区水污染极为严重和复杂,对农产品质量和城市生态环境构成严重的威胁^[20,21].鉴于此,本研究选取位于湖南省长沙市城郊农业区的金脱河流域为对象,通过对多个子流域的氮素输出浓度进行连续的定位监测,分析各形态氮素输出的时空变化特征,并结合子流域内的土地利用数据,重点探讨土地利用结构对氮素输出的影响,以期为城郊区农业面源污染的治理、最佳管理模式的建立提供科学依据.

1 小流域概况

金脱河流域位于湖南省长沙市东北方 60 km 处,属于长衡丘陵盆地北段($E113^{\circ}18'22.1'' \sim 113^{\circ}26'44.7''$, $N28^{\circ}29'36.0'' \sim 28^{\circ}38'9.7''$),属山地丘陵地貌,地势东北向西南倾斜,流域面积为 $5\,142.23\text{ km}^2$,共有居民 21 776 人.该地属亚热带季风性湿润气候,雨量充沛,日照丰富,冬寒期短.年平均气温 18.0°C ,年日照时数 $1\,536.9\text{ h}$,无霜期 345 d,年平均降雨量 $1\,181.5\text{ mm}$,降水主要集中在 3~7 月.该流域土地利用类型以林地、旱地、水田为主,植被主要有杉木、马尾松、毛竹等.由于地理位置优越,根据《长沙市国民经济与社会发展第十一个五年规划纲要》中对农业布局的要求,该流域已成为典型的城郊农业区,流域内金井镇为湖南省重点镇,已形成了以“金茶、金米、金薯、金菜”为主的特色农业产业体系,畜禽养殖以猪为主,全镇年出栏瘦肉型猪达 30 万头以上.

2 研究方法

2.1 土地利用图以及各子流域土地利用结构的获取

以 2009 年 1 月的法国 Spot-5 卫星影像图(四波段,分辨率 10 m)为底图,结合野外实地调查,利用 ERDAS IMAGINE 9.2 对影像解译、监督分类获取小流域的土地利用现状图(图 1).土地利用类型包括旱地、水田、林地、居民地道路、水面(包括水塘、小水库、沟渠等)5 种类型.基于流域的 DEM 图,利用 ArcGIS 的水文分析模块,提取流域的河网水系并将其分割为若干个子流域,结合流域土地利用现状图,利用 ArcGIS 的空间分析模块,提取、分

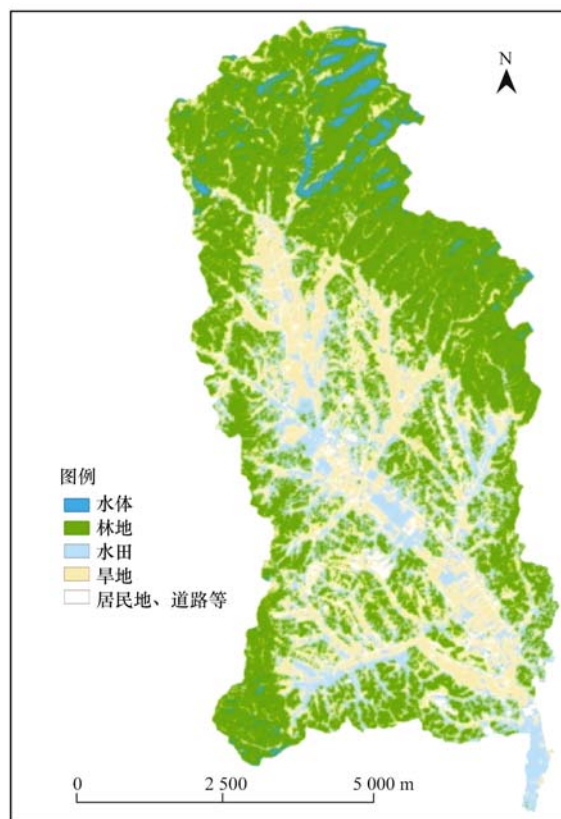


图 1 金脱河流域土地利用现状图

Fig. 1 Land use map of Jintuo watershed

析子流域内的土地利用结构.

2.2 社会经济调查

根据金脱河流域所包括的区域,于 2009 年 8~9 月,以农户为单位进行随机抽样调查,结合当地政府的统计资料,获得了流域的人口数、化肥使用种类和总量(以纯氮计)、畜禽养殖量等相关数据(见表 1).该地区化肥使用历史较久,水田一般施用复合肥、碳铵以及磷肥,纯氮施用量约为 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;旱地种植红薯、蔬菜、西瓜等作物,多使用尿素、碳铵以及农家肥,纯氮施用量约为 $252\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.

2.3 野外布点

根据小流域地形特征、子流域内土地利用状况以及由 DEM 图生成的河网图等资料,结合实地踏勘共布设 8 个监测点,具体布设情况如图 2.其中 1、2 号采样点控制小流域上游的 2 条支流,3~7 号采样点分别位于中下游各支流的出口处,8 号监测点位于金脱河小流域的出口处,采样点的位置均利用手持 GPS 定位.此外,1~7 号监测点所控制的子流域土地利用状况均具有代表性,8 号点的监控面积为整个流域.

表 1 各子流域土地利用结构和社会经济调查数据

子流域	监控面积 /hm ²	用地面积百分比/%					居民数 /人	养猪数 /头	施纯氮量 /kg
		林地	水体	水田	旱地	居民地			
1	271.10	73.12	5.56	5.29	15.40	0.64	1 482	32 929	36 512.9
2	655.88	68.37	16.99	2.91	11.55	0.18	400	235	10 416.8
3	290.07	58.18	4.65	12.76	23.51	0.89	2 671	13 247	63 654.7
4	257.26	42.63	0.03	26.94	28.11	2.28	1 835	4 000	53 056.9
5	807.59	51.28	2.08	16.13	28.75	1.76	4 918	12 647	233 202.2
6	522.58	48.23	0.76	23.42	24.75	2.84	1 671	5 847	51 957.0
7	963.53	40.12	1.45	22.45	32.06	3.92	1 329	3 776	36 149.3
8	5 142.23	45.92	3.43	19.86	27.87	2.92	21 776	83 200	519 982.5

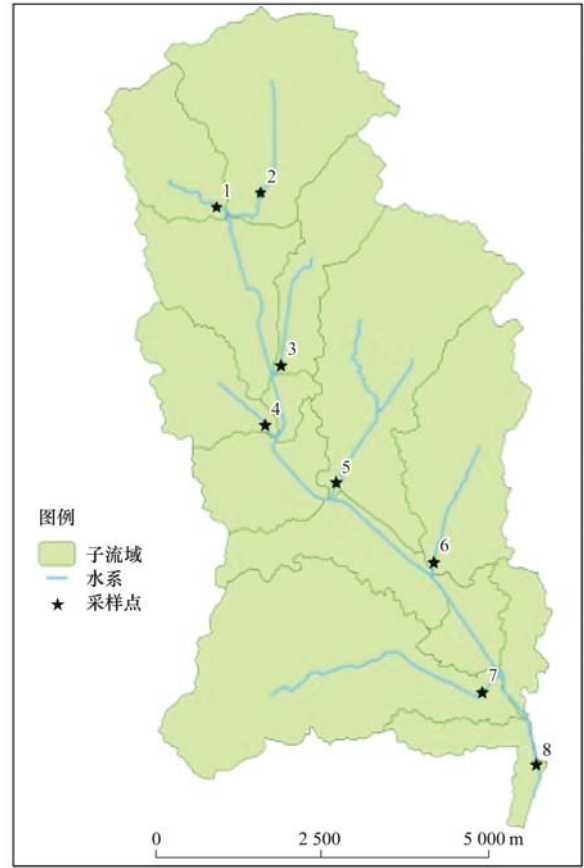


图 2 金脱河流域监测点与水系分布示意

Fig. 2 Distribution of monitored sites and river system in Jintuo watershed

2.4 水样的采集、测定及结果分析

采样时间为 2009 年 12 月~2010 年 11 月,每月月底采样.每次每点采水 500 mL,用聚乙烯塑料瓶密封带回实验室及时测定.在采样的同时,测量监测点处的流量、水温、气温、溶解氧和 pH 值等. TN 的测定采用过硫酸钾消煮-紫外分光光度法,水样过 0.45 μm 孔径滤膜后,采用靛酚蓝紫外分光光度法测定 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 的测定采用离子色谱仪测定 (ICS-1100,美国 DIONEX).

以每月测定的各形态氮素浓度作为该月的输出浓度,并根据流域的气候状况,以 9、10、11 月作为秋季计算秋季氮素平均输出浓度,其他季节依次类推.根据野外测定的流量,计算氮素的月输出量、季节输出量和年输出量以及相应的输出负荷^[22].土地利用类型与氮素含量间的关系以及氮素输出量与人口、施肥、养猪量之间的关系均采用 Pearson 单相关分析.土地利用结构对氮素输出的影响采用指数模型表征以减少数据的不对称分布^[22,23],即:

$$NPS_i = \alpha \cdot \exp(\beta_1 \text{林地}_i + \beta_2 \text{水域}_i + \beta_3 \text{水田}_i + \beta_4 \text{旱地}_i + \beta_5 \text{居民地}_i)$$

式中,α 为系数,β₁~β₅ 分别为 5 种土地利用类型与氮素输出浓度的相关性,根据相关系数的正负可将土地利用类型划分为氮素输出的“源”与“汇”^[24],并利用多元逐步回归分析,筛选变量来构建最优回归模型^[25].以上分析均在 SPSS 软件中完成.

3 结果与讨论

3.1 流域土地利用结构分析

各子流域面积、不同土地利用类型及其数量结构见表 1.金脱河小流域土地利用类型以林地和旱地为主,共占小流域总面积的 73.79%,耕地(包括水田和旱地)面积占总面积的 47.73%.在各个子流域内,土地利用数量结构存在较大差异,位于上游的 1 和 2 号子流域主要的土地利用类型为林地,约占各子流域面积的 70%,耕地面积比例约为 13%,且以旱地为主;从流域上游往下游林地和水体的面积比例逐渐减小,水田、旱地、道路的比例逐渐增大,位于流域下游的 7 号子流域林地所占面积最小,仅为 40.12%,耕地面积比例高达 54.51%,旱地比例稍高于水田.与 1 号子流域相比,7 号子流域林地和水域面积比例分别减少 45% 和 74%,水田、旱地和道路分别增加 324%、108% 和 512%.

3.2 流域不同形态氮素的径流输出特征

对监测期内流域 8 个监测点 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、TN 年均输出浓度、年输出量、年输出负荷进行统计,结果列于表 2.从流域整体来看,径流 TN 平均浓度为 $5.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NH_4^+ -N 为 $2.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NO_3^- -N 为 $1.26 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中 TN 与 NH_4^+ -N均高于地表水环境质量标准 GB 3838-2002^[26]中 V 类水标准限值 2

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.其中,位于流域出口处的 8 号监测点 TN 年均浓度高达 $5.82 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TN 年输出量为 148 587.84 kg,相当于 323 t 尿素,严重影响下游水体的使用功能.对比前人的研究结果可知,该流域 TN 年均输出浓度高于太湖、巢湖、三峡库区等大型水体中的监测结果,也高于文献中报道的一些小流域的研究结果^[3~9,11~17,22,25].

表 2 流域各监测点不同形态氮素输出情况

子流域	年均输出浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			年输出量/ $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$			年输出负荷/ $\text{kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$		
	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	TN	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	TN	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	TN
1	0.67	6.95	8.56	716.38	3 432.72	4 757.99	2.64	12.66	17.55
2	0.78	1.37	2.61	910.10	741.84	2 226.34	1.39	1.13	3.39
3	1.45	3.19	5.95	2 926.53	3 329.84	8 138.88	10.09	11.48	28.06
4	1.64	3.11	6.14	7 063.64	4 958.33	14 835.62	27.46	19.27	57.67
5	1.59	1.86	4.33	6 608.82	3 278.07	13 398.64	8.18	4.06	16.59
6	1.08	1.48	3.13	3 359.94	2 154.61	7 075.53	6.43	4.12	13.54
7	1.51	2.29	4.77	8 965.89	3 639.62	15 854.27	9.31	3.78	16.45
8	1.33	3.20	5.82	45 145.34	75 446.67	148 587.84	8.78	14.67	28.90
均值	1.26	2.93	5.16	9 462.08	12 122.71	26 859.39	9.29	8.90	22.77

由表 2 可知,流域氮素输出以 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N为主,可占到 TN 的 80%,且以 NH_4^+ -N占优.但是 8 个监测点不同形态氮素的输出浓度存在显著差异, NO_3^- -N为 $0.67 \sim 1.64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NH_4^+ -N为 $1.48 \sim 6.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,位于流域上游的 1~4 号监测点, NH_4^+ -N浓度显著高于 NO_3^- -N;中下游的 5~7 号监测点, NH_4^+ -N浓度略高于 NO_3^- -N.对比各监测点不同形态氮素的输出量可知,除 1 和 8 号监测点外, NO_3^- -N输出量高于 NH_4^+ -N输出量,这与段水旺等^[4]、杨金玲等^[22]的研究结果相同.而由于 1 号监测点靠近养猪场废水排放口,养殖废水的排放导致水体中 NH_4^+ -N浓度较高,其输出量高于 NO_3^- -N输出量;8 号监测点控制整个小流域,且金井城镇位于监测点所在子流域,大量生活污水的排放使得水体中 NH_4^+ -N浓度显著升高, NH_4^+ -N、TN 的输出量显著高于 1~7 号监测点的输出量之和.

图 3 是各子流域不同形态氮素径流输出浓度、流量的季节变化图,从中可知各子流域 TN 与 NH_4^+ -N的输出浓度均表现为:冬季的输出浓度显著高于其它 3 季,春季输出浓度略高于夏秋两季,且夏秋两季的输出浓度空间差异较小;流域各监测点冬季 TN 与 NH_4^+ -N平均浓度为 $11.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $7.97 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,显著高于其它 3 季的平均浓度 $3.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.这主要是由于冬季为枯水季节,且流域河道沟渠中设有闸坝以调控存水,水体流

动缓慢,水体自净能力下降,随着污水的大量排入使得 NH_4^+ -N浓度表现为高值^[27].除 3 和 5 号监测点外,各监测点全年 NO_3^- -N输出较稳定,均小于 $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,春季的 NO_3^- -N的输出浓度略高于其他 3 季,这是因为春季施入土壤中的肥料铵被土壤矿化为 NO_3^- -N,易于流失和淋溶^[28,29];其次,春季降雨量充沛,河道闸坝开启以调节流速,水体自净能力提高.

3.3 土地利用结构对径流氮素浓度的影响

众多研究结果表明,土地利用结构是影响流域氮素浓度输出时空变化的关键因素.将各子流域水体中氮素的年均浓度与各土地利用类型面积比例的 Pearson 单相关分析结果列于表 3.从表中可以看出水面面积比例与径流中各形态氮素输出浓度为负相关,且与 NO_3^- -N之间达到显著负相关,说明水面面积的增加能显著减小水体中 NO_3^- -N的浓度,这与水体的厌氧脱氮作用以及泥沙沉积作用有关.此外,各土地利用类型与 NO_3^- -N输出浓度相关性较好,林地面积比例与 NO_3^- -N浓度达到显著负相关,这是因为林地可通过拦截地表径流、根系的生物吸收作用来滞留、吸附氮素;旱地、水田等与 NO_3^- -N表现为正相关,这与两种土地利用类型的农事活动有关,而由于水田较频繁的人为扰动其相关性较弱.在本研究区域内,农业、畜牧业集约化程度较高,含有 NH_4^+ -N的养殖废水、生活污水均未经处理就直接就近排入河

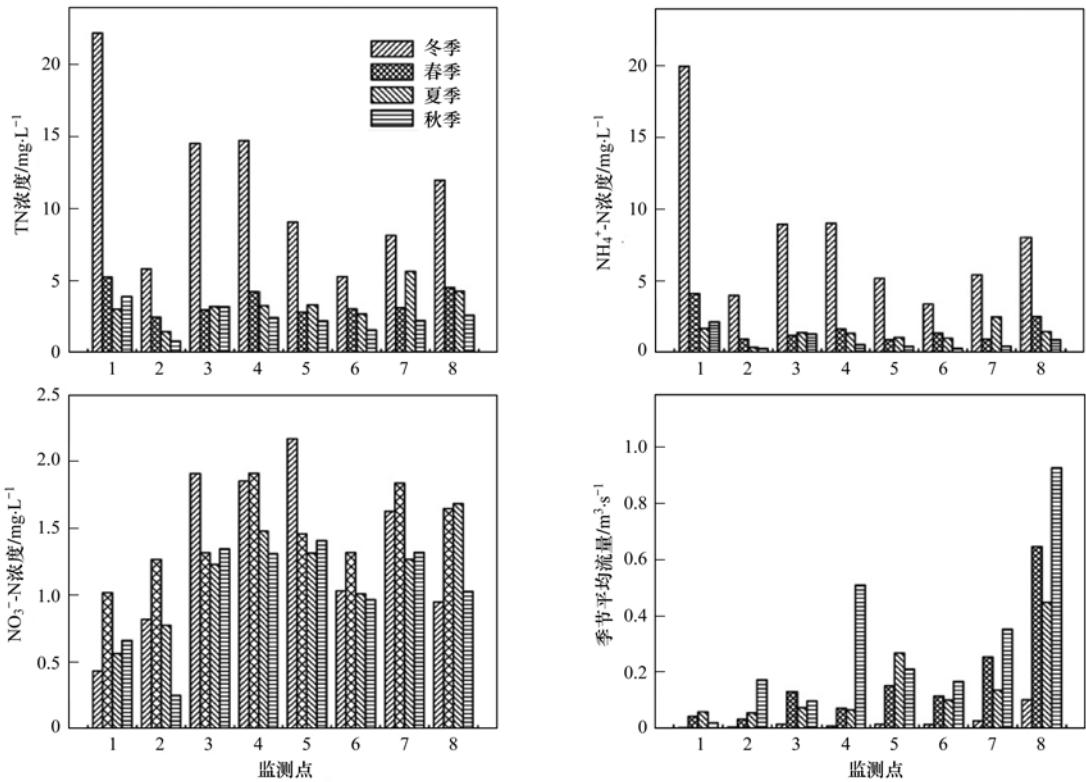


图3 各子流域氮素输出浓度的时空变化

Fig. 3 Temporal and spatial variation of nitrogen output in the sub-basin

道,强烈的人为扰动使得 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 与各土地利用类型相关性较差.

表3 氮素含量与土地利用类型之间的 Pearson 相关系数¹⁾

Table 3 Pearson correlation coefficient between nitrogen concentration and the land use types

土地利用类型	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TN
林地	-0.817 *	0.474	0.217
水面	-0.654 *	-0.093	-0.311
水田	0.741	-0.326	-0.087
旱地	0.883 *	-0.281	0.001
居民地道路	0.559	-0.296	-0.130

1) * 为 $P < 0.05$,表示两变量相关性显著

将各子流域不同时间尺度上各形态氮素的输出浓度与土地利用结构的多元逐步回归分析结果列于表4. 从中可知,导致金脱河小流域中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 输出浓度空间差异的主要土地类型为旱地和林地,结合表3 结果可知,林地对子流域 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度输出起“汇”作用,旱地起“源”作用. 而相关性较好的水面未进入回归模型,这与各土地利用类型的空间分布有关. 由图1 知,水面集中分布在子流域的上游地区,距河道较远;而林地、旱地为各子流域主要的土地利用类型,在河道两侧均有大量分布,导致林地、旱地对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的输出起主导作用.

在不同时间尺度上,小流域土地利用结构对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的输出影响存在差异,秋冬季节起主导作用的土地利用类型为旱地,这是由于秋冬季旱地主要种植油菜和蔬菜、瓜果等经济作物,氮肥施用量明显增加,极易流失和淋溶;春夏季节起主导作用的为林地,这是因为春夏季降雨集中,在流域广泛分布的林地可以拦截、吸收地表径流中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$. 而子流域 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TN 输出浓度与土地利用结构的逐步回归结果较差,只在夏季建立了回归方程,这是由于水体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的主要来源是降雨、农田排水等地表径流,受气候、农事活动、下垫面的物理性质等因素的影响; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 来源包括生活污水、养殖废水以及农田排水等,其输出浓度受人为活动的干扰较大,而土地利用数量结构并不能合理、准确地概括这些因素,回归方程的建立需要进一步研究与验证.

3.4 人口、养猪和施肥对氮素径流输出量的影响

基于上述多元逐步回归结果,将调查所获的各子流域人口、养猪量、纯氮施用量的数据,与径流中各形态氮素的年输出量做 Pearson 单相关分析,以期定性地了解该流域人类活动对氮素输出的影响,结果见表5. 结果表明,人口数量、养猪量、纯氮施用量对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 径流输出量的影响均

表 4 土地利用结构与氮素输出浓度的逐步回归分析

Table 4 Regression analysis between land use structure and nitrogen concentration				
氮素形态	时间	回归方程	R^2	P
NO_3^- -N	冬季	$\ln(\text{NO}_3^- - \text{N}) = -1.150 + 5.551\text{area 旱地}$	0.425	0.048
	春季	$\ln(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 1.123 - 1.582\text{area 林地}$	0.788	0.002
	夏季	$\ln(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 1.478 - 2.574\text{area 林地}$	0.693	0.006
	秋季	$\ln(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 0.355 - 9.929\text{area 旱地}$	0.824	0.001
	全年	$\ln(\text{NO}_3^- - \text{N}) = -0.861 + 4.338\text{area 旱地}$	0.770	0.003
NH_4^+ -N	夏季	$\ln(\text{NH}_4^+ - \text{N}) = 0.517 - 8.319\text{area 水体}$	0.536	0.024
TN	夏季	$\ln(\text{TN}) = 0.028 + 4.652\text{area 旱地}$	0.654	0.009

表 5 流域氮素年输出量与人口、养猪量和施肥量的关系¹⁾

Table 5 Relationship between nitrogen annual output with the number of resident population, the cultivation number of swine and fertilized amount in the watershed						
影响因子	NO_3^- -N		NH_4^+ -N		TN	
	Pearson	P	Pearson	P	Pearson	P
人口数	0.975 **	0.000	0.984 **	0.000	0.986 **	0.000
养猪数量	0.879 **	0.004	0.933 **	0.001	0.915 **	0.001
施肥量	0.928 **	0.001	0.921 **	0.001	0.930 **	0.001

1) ** 为 $P < 0.01$, 表示两变量相关性极显著

达到极显著正相关. 若将子流域 TN 年输出量与流域纯氮施用量比较, 可以发现随径流流出的氮占施肥量的 6% ~ 44%, 全流域为 27% 左右. 特别是在 7 号子流域, 耕地面积比例最高, 氮素输出量占施肥量的比例高达 44%, 表明施用氮肥对流域氮素流失有重要的贡献. 此外, 生活污水、养殖废水缺乏收集处理设施, 显著地增加了流域径流的氮素输出量. 由此可见, 人类活动对径流各形态氮素的输出影响显著. 由于城郊农业区小流域所呈现的不合理的基础设施布局和产业布局、物质高度集约化的生产模式加剧了农业与生态环境的矛盾, 如果不进一步改变农业生产的增长模式, 对化肥、农药的投入量日趋增加, 将导致更严重的环境与生态问题^[20].

4 结论

- (1) 位于城郊农业区金脱河小流域径流水体氮素污染严重, 除 1 和 8 号监测点外, 氮素的输出以 NO_3^- -N 为主. 各子流域 NH_4^+ -N、TN 输出浓度呈现季节变化, 冬季 > 春季 > 夏秋季; NO_3^- -N 输出季节差异较小.
- (2) 各子流域土地利用结构是影响 NO_3^- -N 输出浓度空间差异的主要因素, 林地、水面起显著“汇”作用, 水田、旱地、居民地道路表现为“源”作用. 在不同的时间尺度上, 土地利用结构对 NO_3^- -N 的输出浓度影响不同, 春夏季节对其输出浓度影响最大的为林地, 秋冬季节对其输出浓度影响最大的为旱地;

在年际尺度上, 对 NO_3^- -N 输出浓度影响最大的为旱地. 此外, 回归模型的结果也与土地利用类型的空间分布有关.

(3) 各子流域 NH_4^+ -N 与 TN 的输出浓度与各土地利用类型的相关性较差, 除夏季外, 未能与土地利用结构建立最优回归方程, 这与水体中 NH_4^+ -N 的来源受人为活动的干扰较大有关. 流域 TN、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 年输出量与人口数、养猪量、施肥量之间均表现为极显著正相关, 其中各子流域径流 TN 的输出量占子流域施肥量的 6% ~ 44%, 占全流域为 27%.

参考文献:

[1] 杨爱玲, 朱颜明. 地表水环境非点源污染研究[J]. 环境科学进展, 1999, 7(5): 60-67.

[2] 鲍全盛, 王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 66-71.

[3] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 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.

[4] 段水旺, 章申, 陈喜保, 等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计[J]. 环境科学, 2000, 21(1): 53-56.

[5] Woli K P, Naguma T, Hatano R. Evaluating impact of land use and N budgets on stream water quality in Hokkaido, Japan[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2-3): 175-184.

[6] Zhu Q, Schmidt J P, Buda A R, et al. Nitrogen loss from a mixed land use watershed as influenced by hydrology and seasons[J]. Journal of Hydrology, 2011, 405(3-4): 307-315.

[7] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 188-198.

- [8] 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.
- [9] 郑丙辉, 曹承进, 秦延文, 等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J]. 环境科学, 2008, **29**(1): 1-6.
- [10] 苑韶峰, 吕军. 流域农业非点源污染研究概况[J]. 土壤通报, 2004, **35**(4): 507-511.
- [11] 陈利顶, 李俊然, 郭旭东, 等. 蓟运河流域地表水质时空变化特征分析[J]. 环境科学, 2000, **21**(6): 61-64.
- [12] 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.
- [13] Schilling K E, Libra R D. The relationship of nitrate concentrations in streams to row crop land use in Iowa [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, **29**(6): 1846-1951.
- [14] Catsillo M M, Allan J D, Brunzell S. Nutrient concentrations and discharges in a midwestern agricultural catchment[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, **29**(4): 1142-1151.
- [15] 王晓燕, 王一岫, 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.
- [16] 李恒鹏, 刘晓政, 黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出[J]. 地理学报, 2004, **59**(3): 401-408.
- [17] 李兆富, 杨桂山, 李恒鹏. 西苕溪流域土地利用对氮素输出影响研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(3): 498-502.
- [18] 曹丽萍, 王晓燕, 广新菊. 非点源污染控制管理政策及其研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2004, **20**(1): 90-94.
- [19] 张维理, 冀宏杰, Kolbe H, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策Ⅱ. 欧美国家农业面源污染状况及控制[J]. 中国农业科学, 2004, **37**(7): 1018-1025.
- [20] 吴金水. 城郊环境保育农业理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2011. 1-28.
- [21] 宋志军, 刘黎明. 我国现代城郊农业区的功能演变及规划方法研究[J]. 中国农业大学学报, 2010, **15**(6): 90-94.
- [22] 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.
- [23] Basnyat P, Teeter L D, Flynn K M, *et al.* Relationships between landscape characteristics and nonpoint source pollution inputs to coastal estuaries [J]. *Environmental Management*, 1999, **23**(4): 539-549.
- [24] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义[J]. 生态学报, 2006, **26**(5): 1444-1449.
- [25] 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.
- [26] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [27] 单保庆, 营宇翔, 唐文忠, 等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 352-358.
- [28] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 3-27, 145-167.
- [29] Wei W, Chen L D, Fu B J, *et al.* The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, **335**(3-4): 247-258.

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-jiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《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8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 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. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行