

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

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

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响

胡和兵^{1,2}, 刘红玉^{1*}, 郝敬锋¹, 安静¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 池州学院资源环境与旅游系, 池州 247000)

摘要: 定量探讨不同景观格局与水质关系对于指导城市景观规划、保护周边水环境具有重要意义. 以南京市九乡河流域为研究区域, 基于 2009 年的 Quick Bird 影像和 2009 年 10 月~2010 年 9 月的水质实时监测数据, 利用 GIS 空间分析技术以及统计分析的方法, 从景观水平和类型水平 2 个方面分析了流域景观格局空间分异对河流总氮 (TN)、总磷 (TP)、高锰酸盐指数和氨氮 (NH_4^+-N) 的影响. 结果表明, 流域的大部分景观类型与河流 TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+-N 浓度存在显著的相关关系; 建设用地和未利用地的面积比例与 TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+-N 浓度显著正相关, 林地的面积比例与这些指标呈显著负相关, 而耕地的面积比例与 TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+-N 浓度相关性不显著; 从景观水平上看, 流域景观以少数类型大斑块为主或同一类型的斑块高度连接时, 河流中 TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+-N 浓度较低, 水质较好; 但针对具体的景观类型有所不同, 建设用地、未利用地以及耕地的集中连片分布会引起 TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+-N 浓度的上升, 而林地的大面积分布则对这些指标具有相反的效应.

关键词: 景观格局; 河流水质; 空间分异; 相关; 九乡河流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0794-08

Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing

HU He-bing^{1,2}, LIU Hong-yu¹, HAO Jing-feng¹, AN Jing¹

(1. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China; 2. Department of Resources Environmental and Tourism, Chizhou College, Chizhou 247000, China)

Abstract: Exploring the quantitative relationship between landscape characteristics and surface water quality indicators can provide important information to urban landscape planning and water environment protection. Jiuxiang River watershed in Nanjing city, being as a typical case study area, its landscape classification maps was conducted in 2009 by remote sensing digital images interpretation. Based on the remote sensing images and real-time monitoring data from October 2009 to September 2010, geospatial analysis and statistical analysis were integrated to explore the relationship between landscape composition, landscape pattern (landscape-level and class-level) and river water quality at the subwatershed scale. Results showed that most of landscape compositions influenced river water quality. Percentage of built-up land and unused land was positively related to total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen (NH_4^+-N) and permanganate index, while percentage of forestland showed a negative relationship. At the landscape level, the water quality was good when the size of patch was big. But at class-level, the aggregated distribution of the built-up land, unused land and arable land might cause TN, TP, permanganate index and NH_4^+-N concentration increased. But the aggregated distribution of the forestland had the opposite effect on water quality indicators.

Key words: landscape pattern; river water quality; spatial difference; correlation; Jiuxiang River watershed

景观格局是生态过程的载体^[1], 景观格局的变化影响着地表径流、生物地球化学循环等一系列生态和水文过程, 由此改变进入河流、湖泊污染物的数量^[2,3], 进而对水质产生重要影响. 因此, 流域的景观组成和空间分布格局与河流、湖泊的水质密切相关^[4~8]. 景观格局与地表水水质之间的关系已成为国内外研究的热点^[4]. 自 20 世纪 70 年代以来, 国外学者从点位、河段、河岸带以及流域尺度对景观格局和地表水水质之间关系开展了广泛的研究^[5~8], 形成了较为完善的理论和方法体系^[9]. 2000 年后土地利用景观格局与水质间的关系也日益引起国内学者

的重视^[4,10~17]. 早期的相关研究主要集中在景观类型的面积与水质的关系方面^[18~20]. 随着研究的逐步深入, 以及 3S 技术的发展, 景观的空间分布格局对水质的影响逐渐受到关注^[4,10,21,22].

城市化是土地转化最直接的表现形式, 并深刻改变一个地区的自然景观, 使生态系统的结构、过

收稿日期: 2011-04-22; 修订日期: 2011-07-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871084, 41071119); 江苏省“青蓝工程”项目 (184080H10240); 江苏省高校优势学科建设工程项目

作者简介: 胡和兵 (1973~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为湿地景观生态学, E-mail: huhebing@163.com

* 通讯联系人, E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

程和功能受到影响或发生不可逆转的变化^[23]. 地表水生态系统对城市化过程非常敏感^[2]. 随着城市化过程的推进, 城市化区域水质状况也趋于恶化^[24,25]. 利用景观生态学的基本原理, 研究流域尺度上不同景观要素对水体质量的影响程度, 继而从景观格局入手进行非点源污染防治是一种非常有效的措施^[11]. 因此, 定量探讨不同景观格局与水质间关系对于指导城市景观规划、保护周边水环境具有重要意义. 但以往的研究大多集中在景观水平上探讨景观格局与水质间的关系, 从宏观景观水平、微观斑块水平上的结合性研究较少.

本研究以快速城市化的南京市九乡河流域为研究区域, 以 2009 年的 Quick Bird 影像为基本信息源, 利用 GIS 空间分析技术, 结合 2009 年 10 月 ~ 2010 年 9 月跟踪监测的水质数据, 从流域景观水平和类型水平 2 个方面来分析城市化过程中九乡河流域景观格局对河流水质的影响, 以期为九乡河流域景观规划与水环境保护提供借鉴.

1 研究区域

九乡河流域(118°52' ~ 119°01'E, 32°01' ~ 32°10'N)位于南京市东部(图 1), 南北长 18.50 km, 东西平均宽约 5.74 km, 总面积 106.21 km². 地势南高北低, 南部丘陵、岗地连绵起伏, 北部沿江平原, 地势低平, 汛期常受洪水威胁, 是南京市重点防洪区之一. 北部的仙林大学城是南京市重要的科技和人才集中区, 栖霞山风景区被誉为“金陵第一名秀山”. 中部和南部农业基础雄厚, 是南京市重要的农副产品生产基地. 2003 年以前, 该地区是比较典型的农业景观, 在近几年, 随着南京仙林新市区的不断扩展, 北部大量的自然和农业景观类型被改造成非农业景观类型, 景观结构逐渐显示出强烈的快速城市化色彩, 区域生态系统所承受的人为改造压力不断增加^[26].

2 研究方法

2.1 子流域划分

以 1:50 000 的 DEM 数据为基础, 利用 ArcGIS9.2 的水文分析功能, 经过 DEM 洼地填充, 汇流累积量计算, 水流长度和河网提取, 流域分割, 形成 45 个子流域. 在此基础上, 根据水系的实际分布, 最终将 45 个子流域合并为 12 个(图 1). 在每个子流域的出口处设置 1 个监测断面. 每个子流域的范围包括监测断面上游的整个区域.

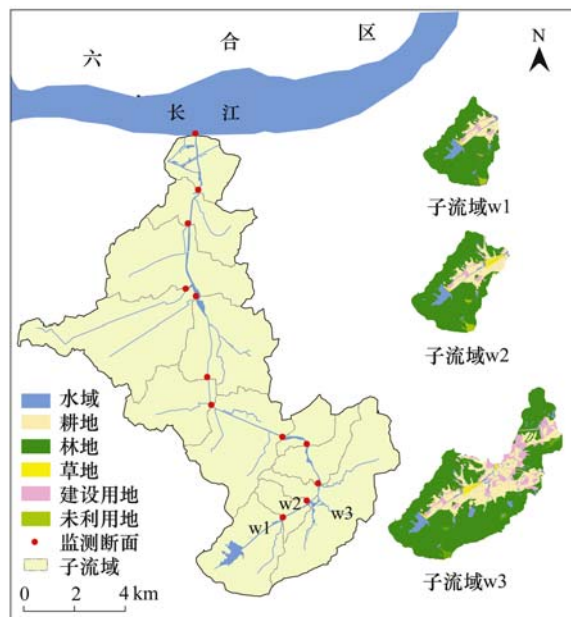


图 1 九乡河流域子流域的划分及监测断面的位置

Fig. 1 Location of the water quality sampling sites and the delineated subwatershed areas in the Jiuxiang River watershed

2.2 水质数据

从 2009 年 10 月 ~ 2010 年 9 月, 每月月末对 12 个监测点进行了每月 1 次的水质监测. 参考地表水环境质量标准 (GB 3838-2002), 本研究选择了其中的总磷 (TP)、总氮 (TN)、氨氮 (NH₄⁺-N) 和高锰酸盐指数 4 个主要指标来反映九乡河的水质状况. 其中高锰酸盐指数采用高锰酸钾法测得, 总磷采用钼酸铵分光光度法, 总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, 氨氮采用水杨酸分光光度法. 实验采取 1 个对照, 3 个平行, 取平均值得到各指标值.

2.3 景观信息提取与指数选择

以 2009 年 Quick Bird 影像为基础信息源, 首先以南京市 1:50 000 地形图作为参考图像, 在 ArcGIS 9.2 中对影像进行配准, 让其具有相同的地理坐标, 配准时 RMS (配准残差) 控制在半个象元之内; 然后在 ArcGIS 9.2 环境下进行人工目视解译, 获得 2009 年九乡河流域景观类型图. 参照全国土地利用分类方法, 结合当地的实际情况, 将研究区的景观类型分为耕地、林地、水域、建设用地、草地和未利用地 6 种类型. 在遥感解译的过程中, 结合每月 1 次的水质采样, 通过多次实地调查和数据纠正, 解译精度达 98% 以上.

景观指数能够高度浓缩景观格局信息, 并反映其结构组成和空间配置某些方面特征^[27], 是景观生

态学中广泛使用的定量研究方法. 在排除了和流域面积相关性较高(相关系数 $r > 0.85$)指数的基础上^[28],本研究从数量/面积、形状/聚散性以及多样性等方面考虑,在类型水平上(Class-level)选择了7

个指数,在景观水平上(Landscape-level)选择了9个指数(表1).在ArcGIS 9.2中进行一系列的数据处理与格式转换后,利用软件Fragstats 3.3获得各指数值.

表 1 研究中使用的景观指数
Table 1 Metrics used in the present study

水平	景观指数	指数描述	范围
景观 类型	蔓延度指数(CONTAG)	描述景观不同斑块类型的团聚程度或延展趋势, %	0 ~ 100
	香农多样性指数(SHDI)	基于信息理论的测量指数,反映景观异质性	≥ 0
	斑块密度(PD)	单位面积上的斑块数,反映景观破碎化程度, $10^{-2} \cdot \text{个} \cdot \text{hm}^{-2}$	> 0
	边缘密度(ED)	单位面积上各斑块类型边界长度或总边界长度, $\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$	≥ 0
	平均斑块面积(MPS)	景观或各类型中斑块的平均面积, km^2	> 0
	聚集度(AI)	反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度, %	0 ~ 100
	平均斑块形状(SHMN)	经过某种数学转化的斑块边长与面积之比,反映斑块形状的复杂性	≥ 1
	散布与并列指数(IJI)	与景观类型相邻的其它类型的多少,反映景观分离度, %	0 ~ 100
	斑块结合度指数(COHE)	反映相应斑块类型之间的物理连通性	0 ~ 100

3 结果与分析

3.1 流域景观组成

将提取的子流域与整个流域的景观类型图在ArcGIS中进行叠合,得到各子流域的景观类型面积比例(表2).在划分的12个流域中,除流域w9外,各流域中林地所占的比例最大,占流域的38.96%~75.04%,其次是耕地和建设用地,面积比例最小的是草地,不到流域的3%.从流域w1~w12,总体

表 2 子流域各景观类型的面积比例/%

Table 2 Percentage of landscape composition in subwatershed/%					
子流域	林地	耕地	未利用地	建设用地	草地
w1	75.04	11.75	2.26	3.61	0.45
w2	70.71	15.08	1.87	3.68	2.16
w3	63.08	20.28	1.58	8.44	1.03
w4	62.93	20.25	0.75	8.91	1.03
w5	61.87	18.93	2.10	10.87	0.92
w6	53.74	23.70	2.55	13.76	1.10
w7	49.56	26.50	2.98	14.89	0.99
w8	45.35	28.04	5.00	15.12	1.14
w9	20.14	7.01	9.27	51.42	4.61
w10	38.07	21.19	7.09	25.43	2.82
w11	38.35	20.21	8.20	25.18	2.76
w12	38.96	19.67	8.02	25.38	2.68

上,林地所占的比例逐渐减少,建设用地以及未利用地所占的比例逐渐增加,尤其是建设用地的面积比例明显增加,从w1流域的3.61%迅速上升到w12流域的25.38%,这反映出从九乡河流域的上游至下游,流域受城市化影响的程度在逐渐加强.而耕地则在w6、w7、w8这3个流域所占的比例相对较大,其他各流域差别不大,这说明九乡河流域的耕地主要集中在流域的中部,上游和下游耕地的分布相对较少.从上游至下游,流域草地的面积比例有所增加,但由于草地在各流域中所占的比例大部分在3%以下,所以在后续的分析中没有考虑草地.

3.2 河流水质变化

从表3可以看出,TP、TN、 NH_4^+ -N和高锰酸盐指数在上游的平均浓度都要比下游低,其中 NH_4^+ -N的平均浓度在上下游差别最大,分别为0.12和4.08,表明从九乡河的上游至下游,各指标的浓度呈增加趋势,河流上游(W1~W5)的水质明显要优于下游(W6~W12).从各指标的标准差的大小差异看,下游各监测点指标浓度的波动范围也比上游大.以《地表水环境质量标准》(GH 3838-2002)中的Ⅳ类水质标准评价,在12个监测断面中,TN的超标率达

表 3 水质指标的描述性统计¹⁾/mg·L⁻¹

Table 3 Descriptive statistics of water quality parameters/mg·L ⁻¹					
指标	最小值	最大值	平均值	标准差	Ⅳ类 ²⁾
TP	0.07/0.63	0.14/1.40	0.1/1.01	0.03/0.3	0.30
TN	1.77/5.51	2.91/10.14	2.41/7.99	0.46/1.57	1.50
NH_4^+ -N	0.06/2.01	0.17/5.34	0.12/4.08	0.04/1.25	1.50
高锰酸盐指数	7.89/4.93	5.52/11.12	5.09/9.66	0.25/1.24	10.00

1) $n = 144$,表中数值表示:上游/下游,上游为W1~W5,下游为W6~W12; 2) 地表水环境质量标准 GB 3838-2002

100%,TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为 58.25%,高锰酸盐指数为 25.34%,说明河流水质较差,且以氮、磷污染为主.

3.3 流域景观类型与水质的关系

在分析景观格局和水质的关系之前,将 4 种景观类型的面积比例分别与 4 个水质指标进行线性回归分析,结果见图 2. 由于同一土地利用类型和 4 个水质指标回归分析的结果基本类似,限于篇幅,本研

究仅列出了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和高锰酸盐指数的回归分析结果. 可以看出,不同景观类型对水质的影响存在明显的差异:建设用地和未利用地对水质指标存在正效应,林地对水质指标存在负效应,而耕地的面积百分比与各水质指标间没有显著的线性关系. 说明在城市化地区建设用地和未利用地的广泛分布会导致水质恶化,而林地的大面积分布却有助于净化水质.

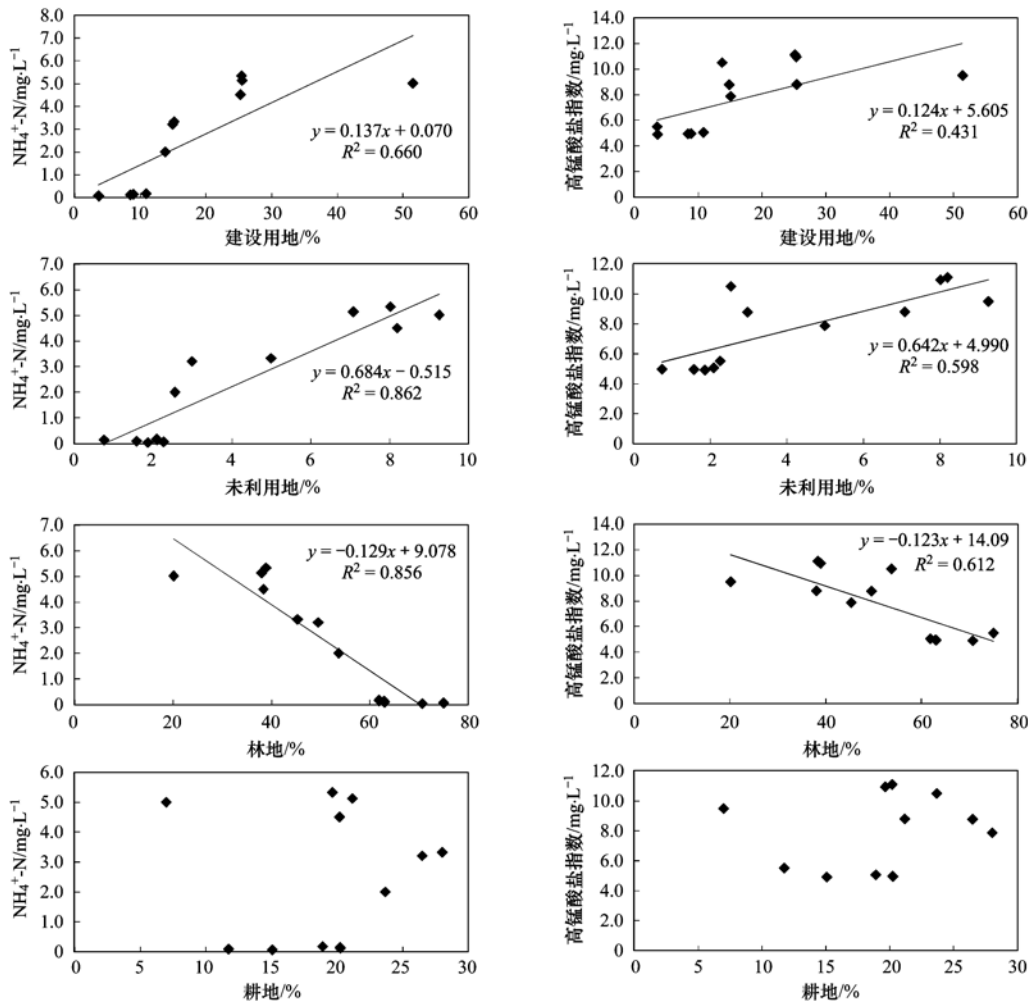


图2 景观类型与水质间的关系
Fig. 2 Relation between landscape composition and water quality

3.4 流域景观水平格局和水质的分析

九乡河流域景观水平景观格局和水质的相关分析见表 4. 从中可以看出,高锰酸盐指数、TN、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 AI、CONTAG 显著负相关,与 ED、SHDI 呈显著正相关,其中各个水质指标与 SHDI 的相关性最大,与 PD、MPS、SHMN 以及 COHE 没有表现出明显的相关性,除此以外,TP 还与 IJI 显著正相关. 而 ED、SHDI 越大, AI、CONTAG 越小,表明景观受人类的干扰越大,景

观越破碎. 由此说明流域景观的破碎化将导致河流污染物浓度的升高,相反流域景观格局若由少数团聚的大斑块组成,河水中污染物的浓度可能较低,水质较好.

3.5 流域类型水平格局与水质的关系

进一步利用空间分析与相关分析的方法,分别从建设用地、林地、耕地和未利用地 4 种景观类型水平上分析景观格局与水质指标的关系,结果如表 5 所示.

表 4 景观水平景观格局和水质的相关分析¹⁾

Table 4 Correlation coefficients between landscape pattern and water quality parameters at landscape level

指标	PD	IJI	AI	ED	MPS	SHMN	COHE	CONTAG	SHDI
高锰酸盐指数	-0.361	0.552	-0.688 *	0.787 **	0.356	0.398	-0.204	-0.839 **	0.860 **
TN	-0.302	0.563	-0.812 **	0.905 **	0.312	0.363	-0.266	-0.935 **	0.950 **
TP	-0.229	0.576 *	-0.742 **	0.822 **	0.215	0.250	-0.191	-0.876 **	0.896 **
NH ₄ ⁺ -N	-0.326	0.545	-0.809 **	0.905 **	0.349	0.411	-0.315	-0.928 **	0.940 **

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

表 5 类型水平景观格局和水质的相关分析

Table 5 Correlation coefficients between landscape pattern and water quality parameters at class level

景观类型	指标	PD	ED	SHMN	IJI	AI	MPS	COHE
建设用地	高锰酸盐指数	-0.298	0.844 **	-0.270	0.633 *	0.756 **	0.556	0.799 **
	TN	-0.447	0.908 **	-0.038	0.640 *	0.845 **	0.588 *	0.885 **
	TP	-0.292	0.813 **	-0.168	0.658 *	0.684 *	0.443	0.759 **
	NH ₄ ⁺ -N	-0.435	0.919 **	-0.085	0.632 *	0.841 **	0.626 *	0.881 **
林地	高锰酸盐指数	0.713 **	-0.105	-0.615 *	-0.342	-0.689 *	-0.786 **	-0.665 *
	TN	0.757 **	-0.083	-0.613 *	-0.383	-0.750 **	-0.868 **	-0.724 **
	TP	0.652 *	-0.024	-0.532	-0.423	-0.624 *	-0.788 **	-0.599 *
	NH ₄ ⁺ -N	0.785 **	-0.090	-0.627 *	-0.369	-0.786 **	-0.878 **	-0.753 **
耕地	高锰酸盐指数	-0.649 *	-0.014	-0.156	-0.026	0.199	0.363	-0.006
	TN	-0.786 **	0.090	-0.113	-0.051	0.121	0.507	0.087
	TP	-0.772 **	0.111	-0.005	-0.098	0.146	0.529	0.186
	NH ₄ ⁺ -N	-0.759 **	0.060	-0.123	-0.029	0.118	0.476	0.010
未利用地	高锰酸盐指数	0.532	0.667 *	0.289	0.734 **	0.308	0.711 **	0.606 *
	TN	0.540	0.686 *	0.311	0.862 **	0.196	0.751 **	0.567
	TP	0.418	0.603 *	0.314	0.772 **	0.337	0.836 **	0.652 *
	NH ₄ ⁺ -N	0.569	0.706 *	0.313	0.864 **	0.221	0.752 **	0.584 *

(1) 建设用地

从表 5 可以看出,高锰酸盐指数、TP、TN 和 NH₄⁺-N 与 ED、COHE、AI 以及 IJI 都呈现出显著的正相关关系.其中与 ED、AI 和 COHE 呈极显著正相关,与 IJI 呈显著正相关. TN 和 NH₄⁺-N 除了与以上几个景观指数显著相关以外,还与 MPS 显著正相关.各水质指标与 PD、SHMN 相关不显著.说明在流域中建设用地集中、大面积彼此相邻的连片分布可能会引起河流中高锰酸盐指数、TP、TN、NH₄⁺-N 浓度的升高.这是由于城镇建设用地大面积集中分布造成不透水面的增加,以及生产、生活污染的聚集性释放,会进一步导致径流量增加和污染物浓度升高,加大受纳水体的污染负荷,进而引起水质退化^[24, 29].

(2) 林地

林地大部分景观格局指标与水质指标呈负相关(表 5),表明林地具有较好的消减污染物的效用.其中 TN、NH₄⁺-N 与 AI、MPS 和 COHE 呈极显著负相关,高锰酸盐指数、TP 与 MPS 呈极显著负相关,与 AI 和 COHE 也呈显著负相关.除此以外,高锰酸盐指数、TN 以及 NH₄⁺-N 还与 SHMN 显著负相关.仅

PD 与 4 个水质指标呈显著正相关,其中与高锰酸盐指数、TN、NH₄⁺-N 的相关性达到极显著的水平.表明城市化地区林地景观的破碎化会导致河流中污染物浓度的升高,引起河流水质的下降.在以上各指标中,林地的平均斑块面积指数和水质指标的相关性最大,因此,从另一方面看,流域内大面积连片分布的林地有助于净化水质.

(3) 耕地

对耕地而言,多数景观指数和水质指标并未表现出显著的相关性.表明流域中耕地的景观格局对水质的影响并不显著.在各景观指数中,仅耕地的斑块密度和水质指标间存在显著的负相关,说明流域中耕地斑块的密度越大,耕地分布得越零散,可能越有利于阻止污染物进入河流^[16].

尽管在图 2 中耕地的面积比例和水质指标之间未呈现出显著的相关性,但从表 5 的分析中可以看出,河流的水质显著相关于耕地的斑块密度(PD),这也说明,忽略耕地的空间分布格局,仅从耕地的面积比例来分析耕地对水质的影响可能不全面.

(4) 未利用地

未利用地大部分景观结构指数和水质指标间呈现正相关,说明未利用地存在污染物的输出效应。其中高锰酸盐指数、TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 IJI、MPS 呈极显著正相关,此外高锰酸盐指数、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 还与 COHE、ED 呈显著正相关,表明未利用地的斑块面积、边缘以及聚合程度影响河流的水质,流域内大面积相互连接的未利用地分布会引起各水质指标值的升高。

4 讨论

4.1 景观类型对水质的影响

景观类型和水体污染物浓度之间存在着显著的相关关系^[10, 18~20]。这是由于土地利用方式和人类活动强度的差异,不同类型景观上污染物负荷有所不同^[30]。降雨时,地表污染物随地表径流流入水体的过程中,流经不同性质的土地利用类型时污染物可能被沉积、吸收和再析出^[12]。

城镇建设用地污染物的输出贡献较大^[13],对水质存在负效应,其原因是城镇建设用地造成的不透水面导致径流量增加和污染物浓度升高^[29],所以城镇建设用地的比重越大,水体的水质往往越差。由于城镇地区的未利用地大多受到人类活动的干扰,也往往逐渐成为具有非点源污染输出特征的斑块类型^[1]。因此,本研究中未利用地对水质的影响与城镇建设用地相似。

除此之外,研究表明,林地和水质指标间呈显著负相关。因为林地有较好的截流和消减污染物的能力,对缓解水质退化有重要作用^[10, 15]。很多实验研究都表明在林地以及草甸植被和土壤系统的作用下,可以减少降雨径流对土壤的侵蚀程度以及降低径流中固体污染物的输出,从而净化水质^[13]。所以在林地占优势的流域中,水体的水质也往往较好^[1, 15]。因此,从截流污染物,保护水环境的角度出发,应尽量增加林地景观的数量,同时控制建设用地、未利用地等景观的数量。

在本研究中尽管耕地与水质指标间表现为正相关,但相关关系并不显著。这和文献[2, 21, 22]的研究结果一致。其实,由于研究区域的差异,对于耕地对水质的影响还没有一致的结论。如文献[14, 18, 20]的研究表明耕地与水质指标间呈负相关。出现这种差异的原因,可能与耕作方式,农药化肥施用量,灌溉方式等农田管理措施^[31]以及耕地的面积大小,与受纳水体的距离、地形等有关^[16]。对于快速城市化中的九乡河流域来说,耕地以种植蔬菜、花卉的

塑料大棚为主,由于塑料大棚阻隔了降水对地表土壤的冲刷,极大地削弱了流域农业面源污染物的输出^[32],因而耕地对水质的影响不明显。

4.2 景观水平景观格局对水质的影响

本研究中,边缘密度(ED)与水质指标有极显著的正相关性。ED反映的是土地利用格局的复杂程度。斑块的边缘调控着斑块之间的相互作用。高的ED意味着更大强度的人类干扰,景观更加破碎,流域水质污染的风险也相应升高。

而各水质指标与聚集度指数(AI)和蔓延度指数(CONTAG)呈显著的负相关^[2, 21]。AI是对流域中不同斑块类型的聚集程度的度量,可反映景观组分的空间配置状况^[27]。蔓延度指数(CONTAG)是对流域中不同景观类型的团聚程度的度量,反映景观的分离和散布程度^[33]。因此,AI和CONTAG越小,人类的干扰越大,流域景观越离散,水质受人类活动的影响越大。但也有研究表明,CONTAG与水质指标呈现出了比较明显的正相关^[4, 16]。这可能与研究区的优势斑块类型有关。以具有污染输出效应的建设用地、耕地为优势斑块的景观,其优势斑块的聚集和良好联通会加剧污染物输出的集中,对河流水质的影响也越显著^[4]。而本研究区以具有污染物削减效应的林地优势斑块(图1),林地约占整个流域的40%(表2),而林地的大面积分布则有助于净化水质^[10, 15]。

IJI仅和TP显著正相关,和其他水质指标相关性不显著。散布与并列指数(IJI)是描述景观分离度的指数之一,其值的大小,反映与该景观相邻的其他类型的多少^[33]。高的IJI表明流域内各斑块类型的空间邻接分布越复杂,TP的浓度往往较高。

因此,从景观水平来看,当流域景观中以少数大斑块为主或同一类型的斑块高度连接时,河流中污染物的浓度越低,水质较好。

4.3 类型水平景观格局对水质的影响

斑块密度反映的是景观的破碎化程度^[10]。建设用地和耕地的斑块密度和水质指标呈负相关,而林地的斑块密度和水质指标呈正相关。表明建设用地和耕地破碎化空间分布,其污染物输出被边界或其它斑块拦截的概率也会提高,因此,建设用地和耕地的小块破碎化分布将对水质改善有利,而林地的破碎化会引起河流中污染物浓度的升高。

建设用地和未利用地的ED与水质指标显著正相关。考虑到ED与斑块的数目有关,说明流域内建设用地和未利用地斑块数量越多,对河流水质的负

效应越大,而对林地则具有相反的效应^[22]。

本研究中林地的斑块形状与高锰酸盐指数、TN和 NH_4^+ -N呈负相关。斑块形状对斑块内外物质和能量流通有重要影响。斑块的形状与地表径流过程和污染负荷相关,进而影响河流的水质^[21]。Hwang^[34]和 Uuemaa^[35]等的研究也表明,斑块形状影响水文过程和受纳水体的水质。

斑块的平均大小在自然景观(林地)和人为景观(建设用地和未利用地)中对水质呈现出相反的影响。平均斑块面积的大小影响着污染物输出的多少,因此,流域中建设用地和未利用地的斑块面积越大,水体中污染物的浓度也越高。而对于具有污染物消减效应的林地来说,其效果恰恰相反。

斑块的聚集度(AI)和连接度(COHE)也是衡量景观格局的2个常用指标,反映景观斑块的聚集程度和连通性^[33]。其中,AI与建设用地显著正相关,与林地显著负相关;COHE与建设用地、未利用地显著正相关,与林地负相关。建设用地和耕地的聚集程度以及连通性越高,往往斑块的面积也越大,污染物的输出也较多,从而引起水质下降。林地对缓解水质退化有重要作用^[10,15],因而林地的聚集度和连通性越高,水质往往较好。随着城市化进程的加快,建设用地仍会继续扩张,与之伴生的区域水体污染、水质恶化等问题仍会非常突出^[4]。因此,对于正处在快速城市化中的九乡河流域来说,要尽量减少城市建设用地的大面积集中分布,同时保护好林地,减少对林地等自然景观的干扰,避免其景观破碎化。

5 结论

(1)流域的景观组成对河流TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+ -N浓度存在显著影响。建设用地和未利用地的面积比例与各指标浓度间存在显著正相关,林地与各指标浓度存在显著负相关,而耕地的面积比例与各水质指标浓度的相关性不明显。

(2)从流域的景观水平看,流域景观以少数大斑块为主或同一类型的斑块高度连接时,河流中TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+ -N浓度较低,水质较好,这与林地为流域的优势景观类型有关。但各类型的景观结构对河流中TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+ -N浓度影响不同。建设用地、未利用地以及耕地的集中、大面积彼此相邻的连片分布会导致河流中TN、TP、高锰酸盐指数和 NH_4^+ -N浓度的升高,而林地则具有相反的效应。

参考文献:

- [1] 徐延达,傅伯杰,吕一河. 基于模型的景观格局与生态过程研究[J]. 生态学报, 2010, **30**(1): 212-220.
- [2] Xiao H G, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques[J]. Journal of Environmental Management, 2007, **82**(1): 111-119.
- [3] 傅伯杰,陈利顶,马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报, 1999, **54**(3): 241-246.
- [4] 张大伟,李杨帆,孙翔,等. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析[J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1775-1783.
- [5] Nash M S, Heggem D T, Ebert D, *et al.* Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2009, **156**(1-4): 343-360.
- [6] Maillarda P, Santosb N A P. A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed-Brazil[J]. Journal of Environmental Management, 2008, **86**(1): 158-170.
- [7] Alberti M, Booth D, Hill K, *et al.* The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis in Puget lowland sub-basins[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, **80**(4): 345-361.
- [8] Moerke A H, Lambertil G A. Scale-dependent influences on water quality, habitat, and fish communities in streams of the Kalamazoo River Basin, Michigan (USA) [J]. Aquatic Sciences, 2006, **68**(2): 193-205.
- [9] 赵军,杨凯,邵俊,等. 区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展[J]. 生态学报, 2011, **31**(11): 3180-3189.
- [10] 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.
- [11] 岳隽,王仰麟,李贵才,等. 深圳市西部库区景观格局与水质的关联特征[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(1): 203-207.
- [12] 郭青海,马克明,张易. 城市土地利用异质性与湖泊水质的影响[J]. 生态学报, 2009, **29**(2): 776-788.
- [13] 岳隽,王仰麟,李贵才,等. 不同尺度景观空间分异特征对水体质量的影响——以深圳市西丽水库流域为例[J]. 生态学报, 2007, **27**(12): 5271-5280.
- [14] 张殷俊,陈爽,彭立华. 平原河网地区水质与土地利用格局关系——以江苏吴江为例[J]. 资源科学, 2009, **31**(12): 2150-2156.
- [15] 郝敬锋,刘红玉,胡俊纳,等. 城市湿地小流域尺度景观空间分异及其对水体质量的影响——以南京市紫金山东郊典型湿地为例[J]. 生态学报, 2010, **30**(15): 4154-4161.
- [16] 孙芹芹,黄金良,洪华生,等. 基于流域尺度的农业用地景观-水质关联分析[J]. 农业工程学报, 2011, **27**(4): 54-59.
- [17] 夏翥,李云梅,王桥,等. 京杭大运河无锡段水质和土地利用的响应关系[J]. 自然资源学报, 2011, **26**(3): 364-372.

- [18] Tong S T Y, Chen W L. Modeling the relationship between land use and surface water quality [J]. *Journal of Environmental Management*, 2002, **66**(4): 377-393.
- [19] Lenat D R, Crawford J K. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina piedmont streams [J]. *Hydrobiologia*, 1994, **294**(3): 185-200.
- [20] Slive L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, **35**(14): 3462-3472.
- [21] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, **92**(2): 80-89.
- [22] Amiri B J, Nakane K. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan [J]. *Water Resources Management*, 2009, **23**(5): 931-956.
- [23] Luck M, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA [J]. *Landscape Ecology*, 2002, **17**(4): 327-339.
- [24] 戴科伟, 高超, 朱继业, 等. 太湖流域磷排放对区域城市化过程的响应——以宜兴市为例 [J]. *地理科学*, 2007, **27**(2): 237-242.
- [25] 周海丽, 史培军, 徐小黎. 深圳城市化过程与水环境质量变化研究 [J]. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, 2003, **39**(2): 272-278.
- [26] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 流域景观结构的城市化影响与生态风险评价 [J]. *生态学报*, 2011, **31**(12): 3432-3440.
- [27] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度和等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007. 106-115.
- [28] Kearns F R, Kelly N M, Carter J L, *et al.* A method for the use of landscape metrics in freshwater research and management [J]. *Landscape Ecology*, 2005, **20**(1): 113-125.
- [29] 杨柳, 马克明, 郭青海, 等. 城市化对水体非点源污染的影响 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(6): 32-39.
- [30] 杨柳, 马克明, 郭青海, 等. 汉阳非点源污染控制区划 [J]. *环境科学*, 2006, **27**(1): 31-36.
- [31] 陈利顶, 傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制 [J]. *环境科学*, 2000, **21**(2): 98-100.
- [32] 石峰, 杜鹏飞, 张大伟, 等. 滇池流域大棚种植区面源污染模拟 [J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2005, **45**(3): 363-366.
- [33] 李传哲, 于福亮, 刘佳. 分水后黑河干流中游地区景观动态变化及驱动力 [J]. *生态学报*, 2009, **29**(11): 5832-5842.
- [34] Hwang S J, Lee S W, Son J Y, *et al.* Moderating effects of the geometry of reservoirs on the relation between urban land use and water quality [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, **82**(4): 175-183.
- [35] Uuemaa E, Roosaare J, Mander ü. Scale dependence of landscape metrics and their indicator value for nutrient and organic matter losses from catchments [J]. *Ecological Indicators*, 2005, **5**(4): 350-369.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《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3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 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

国内外公开发行人