

环境科学

(HUANJING KEXUE)

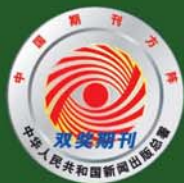
ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第6期

Vol.37 No.6

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

双级虚拟撞击采样器应用于固定污染源 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放测量 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 马子珍, 周伟, 张强, 段雷, 郝吉明 (2003)

黄山夏季气溶胶吸湿性及与化学组分闭合 陈卉, 杨素英, 李艳伟, 银燕, 张泽锋, 于兴娜, 康娜, 严殊祺, 夏航 (2008)

沈阳大气气溶胶中水溶性无机离子的观测研究 苗红妍, 温天雪, 王璐, 徐慧 (2017)

南京夏秋季节大气干沉降水溶性离子特征及来源分析 秦阳, 朱彬, 邹嘉南, 庞博 (2025)

太原市大气颗粒物粒径和水溶性离子分布特征 曹润芳, 闫雨龙, 郭利利, 郭文帝, 何秋生, 王新明 (2034)

2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系 程念亮, 李云婷, 张大伟, 陈添, 王欣, 邹宁, 陈晨, 孟凡 (2041)

机动车尾气烟尘中烷烃和有机酸的组成 袁佳雯, 刘刚, 李久海, 徐慧 (2052)

DOC/CCRT 老化对柴油公交车气态物排放特性的影响 楼狄明, 贺南, 谭丕强, 胡志远 (2059)

紫外辐照改性生物炭对 VOCs 的动态吸附 李桥, 雍毅, 丁文川, 侯江, 高屿涛, 曾晓岚 (2065)

三峡库区内陆腹地典型水库型湖泊中 DOM 吸收光谱特征 江韬, 卢松, 王齐磊, 白薇扬, 张成, 王定勇, 梁俭 (2073)

三峡库区典型农业小流域水体中溶解性有机质的光谱特征 王齐磊, 江韬, 赵铮, 梁俭, 木志坚, 魏世强, 陈雪霜 (2082)

高分辨率降水氧同位素变化及洞穴水响应: 以河南鸡冠洞为例 孙喆, 杨琰, 张萍, 刘肖, 梁沙, 张娜, 聂旭东, 梁胜利, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (2093)

不同雨强条件下河流水质对流域土地利用类型与格局空间响应 季香, 刘红玉, 李玉凤, 皋鹏飞, 孙一鸣, 李玉玲 (2101)

丹江口水库沉积物重金属背景值的确定及潜在生态风险评估 赵丽, 王雯雯, 姜霞, 王书航, 李佳璐, 陈俊伊 (2113)

滴水湖及其环湖水系沉积物、土壤中多氯联苯的空间分布特征及风险评价 王薛平, 黄星, 毕春娟, 贾晋璞, 郭雪, 陈振楼 (2121)

粤桂水源地有机氯农药的污染特征及生态风险 阳宇翔, 刘昕宇, 詹志薇, 解启来, 汤嘉骏, 欧阳培毓, 陈镇新, 徐晨 (2131)

鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应 刘霞, 刘宝贵, 陈宇炜, 高俊峰 (2141)

周期性的温度扰动对藻类群落结构演替的影响 贡丹丹, 刘德富, 张佳磊, 杨正健, 朱晓明, 谭纤茹 (2149)

溴酸盐对普通小球藻的生长以及生理特性的影响 王执伟, 刘冬梅, 张文娟, 崔福义 (2158)

微囊藻水华对水体中氮转化及微生物的影响 李洁, 张思凡, 肖琳 (2164)

城市污染河道沉积物碳氮赋存对有机质分解的影响 唐千, 刘波, 王文林, 邢鹏, 袁婧雯, 嵇玮, 沈晓宇, 季家乐 (2171)

两亲性共聚物共混 PVDF 超滤膜的界面性质与抗蛋白质污染的研究 孟晓荣, 鲁冰雪, 付东会, 辛晓强, 唐卫婷 (2179)

巯基改性海泡石吸附水中的 Hg(II) 谢婧如, 陈本寿, 张进忠, 刘江 (2187)

改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征 唐登勇, 黄越, 胥瑞晨, 胡洁丽, 张聪 (2195)

UiO-66 对废水中二氯苯氧乙酸的吸附特性 任天昊, 杨智临, 郭琳, 陈海, 杨琦 (2202)

对硝基苯酚在高炉水淬渣上的吸附机制及表面形研究 王哲, 黄国和, 安春江, 陈莉荣, 张思思 (2211)

高岭石、针铁矿及其二元体对胡敏酸的吸附特性 牛鹏举, 魏世勇, 方敦, 但悠梦 (2220)

硫铁比对再生水深度脱氮除磷的影响 周彦卿, 郝瑞霞, 王珍, 朱晓霞, 万京京 (2229)

单质硫颗粒尺寸及反应器类型对硫自养反硝化反应器启动的影响 马航, 朱强, 朱亮, 李祥, 黄勇, 魏凡凯, 杨朋兵 (2235)

钛盐混凝剂调理对活性污泥絮体理化性质的影响作用机制 王彩霞, 张伟军, 王东升, 王庆飞, 喻德忠 (2243)

城市污水管网中产甲烷菌的分布特性规律 孙光溪, 金鹏康, 宋吉娜, 王先宝, 杨柯瑶 (2252)

低 DO 下 AGS-SBR 处理低 COD/N 生活污水长期运行特征及种群分析 信欣, 管蕾, 姚艺朵, 羊依金, 郭俊元, 程庆锋 (2259)

微丝菌 (*Microthrix parvicella*) 原位荧光杂交 (FISH) 定量过程的条件优化 王润芳, 张红, 王琴, 王娟, 顾剑, 齐嵘, 杨敏 (2266)

基于高通量测序解析碳化温度对麻杆电极微生物群落影响 吴义诚, 贺光华, 郑越, 陈水亮, 王泽杰, 赵峰 (2271)

1 株高效去除氨氮的红假单胞菌的分离鉴定及特性 黄雪娇, 杨冲, 倪九派, 李振刚 (2276)

长期保护性耕作制度下紫色土剖面无机磷变化特征 韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳 (2284)

有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响 张名蒙, 卢吉文, 赵秀兰 (2291)

生物质炭和秸秆配合施用对土壤有机碳转化的影响 张婷, 王旭东, 逢萌雯, 刘思新, 白如霞, 黎妮, 王钰莹 (2298)

多元统计与铅同位素示踪解析旱地垂直剖面土壤中重金属来源 孙境蔚, 胡恭任, 于瑞莲, 苏光明, 王晓明 (2304)

苏南某镇土壤重金属污染的景观格局特征 陈昕, 潘剑君, 王文勇, 李炳亚 (2313)

河南洛阳市不同功能区土壤重金属污染特征及评价 刘亚纳, 朱书法, 魏学锋, 苗娟, 周鸣, 关凤杰 (2322)

杭州蔬菜基地重金属污染及风险评价 龚丹丹, 朱维琴, 顾燕青, 李淑英, 加那提·吐尼克 (2329)

土壤溶解性有机质荧光特征及其与铜的络合能力 田雨, 王学东, 陈潇霖, 华珞 (2338)

添加稳定剂对尾矿土中砷形态及转换机制的影响 陈志良, 赵述华, 钟松雄, 桑燕鸿, 蒋晓璐, 戴玉, 王欣 (2345)

应用 SHIME 模型研究肠道微生物对土壤中镉、铬、镍生物可给性的影响 尹乃毅, 都慧丽, 张震南, 蔡晓琳, 李泽烽, 孙国新, 崔岩山 (2353)

不同基因型杨树的光合特征与臭氧剂量的响应关系 辛月, 高峰, 冯兆忠 (2359)

芘胁迫对 5 种羊茅属植物根系分泌的几类低分子量有机物的影响 潘声旺, 袁馨, 刘灿, 李亚闾, 杨婷, 唐海云, 黄方玉 (2368)

维管束植物樟树和马尾松叶组织氮、硫含量指示贵阳地区大气氮、硫沉降的空间变化 徐宇, 肖化云, 郑能建, 张忠义, 瞿玲露, 赵晶晶 (2376)

苏北潮滩温室气体排放的时空变化及影响因素 许鑫王豪, 邹欣庆, 刘晶茹 (2383)

g-C₃N₄/Bi₂S₃ 复合物的制备及可见光催化降解 MO 张志贝, 李小明, 陈飞, 杨麒, 钟宇, 徐秋翔, 杨伟强, 李志军, 陈寻峰, 谢伟强 (2393)

海南省淘汰落后产能政策的污染物协同减排效应评价 耿静, 任丙南, 吕永龙, 王铁宇 (2401)

《环境科学》征订启事(2130) 《环境科学》征稿简则(2251) 信息(2178,2344)

不同雨强条件下河流水质对流域土地利用类型与格局空间响应

季香, 刘红玉*, 李玉凤, 皋鹏飞, 孙一鸣, 李玉玲

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

摘要: 以七乡河流域为研究区域, 基于 2015 年 4、5、6 月 3 次不同雨强条件下的河流水质实时监测数据, 以及区域 DEM 数据和遥感数据, 根据高程与坡度将流域划分 5 级河流缓冲区, 研究不同雨强条件下各缓冲区内土地利用类型、格局与河流水质之间的响应关系。结果表明: ①不同空间单元土地利用类型与格局存在差异。低缓区域、中缓区域和高缓区域优势土地利用类型为建设用地; 中陡区域和高陡区域林地优势土地利用类型。②低缓区域是不同雨强条件下, 土地利用类型对河流水质影响最大的空间单元。③低缓区域建设用地对水质的影响最大; 中缓区域湿地对小雨强时水质影响最大; 建设用地对中等雨强和大雨强时水质影响最大。中陡和高缓缓冲区, 建设用地对小雨强时水质影响最大; 而中等雨强和大雨强时林地对水质影响最大。④土地利用格局对河流水质影响比较复杂。平均斑块形状指数对低缓区域水质影响最大; 斑块密度、平均斑块形状、多样性指数分别是中缓区域 3 种雨强时对水质影响最大的格局因子; 高缓区域 3 种雨强条件下平均斑块形状指数、多样性指数和斑块密度对水质影响最大; 平均斑块形状指数和蔓延度是中陡区域和高陡区域小雨强和大雨强时对水质影响最大, 蔓延度和多样性指数是中等雨强时影响最大土地利用格局因子。

关键词: 土地利用类型与格局; 水质; 缓冲区; RDA 分析; 七乡河流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)06-2101-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.06.013

Spatial Response of River Water Quality to Watershed Land Use Type and Pattern Under Different Rainfall Intensities

Ji Xiang, Liu Hong-yu*, Li Yu-feng, Gao Peng-fei, Sun Yi-ming, Li Yu-ling

(College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Qixiang River watershed, as a typical case study area, was divided into five types of buffer zones according to elevation and slope. Based on the remote sensing images, DEM and real-time monitoring data in April, May, June 2015, the relationship between land use type and pattern in all buffer zones and water quality under different rainfall intensities was explored. The results showed that land use type and pattern in different buffer zones had obvious discrepancies. The proportion of construction land was the highest in low flat area, secondary flat area and high flat area. The main land use type of moderately steep area and high steep area was forest land. Secondly, the low flat area appeared to have the greatest influence on the water quality. Thirdly, construction land had a greater influence on water quality than other land use types in low flat area. In addition, in secondary flat area, wetland was the key factor under small rainfall intensity. However, construction land was the key factor under moderate rainfall intensity and large rainfall intensity. In moderately steep area and high buffer zones, construction land influenced the water quality most under small rainfall intensity but forest land was the greatest factor under moderate rainfall intensity and large rainfall intensity. Fourthly, the relationship between the land use pattern and water quality was complicated. SH-MN had the greatest influence on water quality and the influence increased with increasing rainfall intensity in low flat area. Furthermore, PD, SH-MN and SHDI were the key factors in secondary flat area while SH-MN, SHDI and PD were the key factors in high flat area under all the three types of rainfall intensity. SH-MN and CONTAG influenced the water quality most in moderately steep area and high steep area under small and high rainfall intensity. CONTAG influenced the water quality most in moderately steep area and SHDI was the key factor in high steep area under moderate rainfall intensity.

Key words: land use type and pattern; water quality; buffer zone; RDA analysis; Qixiang River watershed

随着土地利用/覆被变化(LUCC)成为全球变化领域的核心研究计划以来,国内外学者通过实例对土地利用/覆被变化的环境效应进行了广泛探讨^[1-3]。2000年后土地利用景观格局与水质间的关系研究也日益引起重视^[4-13],尤其在流域土地利用类型与格局对河流水质的影响方面进行了较多研究^[14-19],取得了丰硕的成果。降雨是产生径流的先决条件,径流

量的大小不仅取决于降雨强度及降雨量,而且土地利用结构与格局也有决定性影响^[20]。但是,目前针对不

收稿日期: 2015-09-14; 修订日期: 2016-01-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401205,31570459); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD); 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心项目

作者简介: 季香(1992~),女,硕士研究生,主要研究方向为景观生态学与水环境,E-mail:782596700@qq.com

* 通讯联系人,E-mail:liuhongyu@njnu.edu.cn

同雨强条件下,河流水质对流域土地利用类型与格局的空间响应的研究还不多见. 而该方面研究对深入认识降雨、土地利用类型与格局、河流水质之间的响应关系具有重要的理论与现实意义.

目前,针对流域土地利用与水质的响应主要选择集水区尺度开展研究^[21~23],但是丘陵和平原区域由于汇流界限不明显,集水区划分往往存在许多不确定性问题,划分的界线也仅限于理论上的,因此多数研究采用缓冲区划分方法^[24]. 即在流域界限不明显的平原地区多以监测断面(点)为中心画圆形缓冲区^[9, 12],而在流域界限比较明显的区域多以流域为边界,沿河流监测点上溯,在河流两侧划定不同宽度的带状缓冲区^[25, 26]. 这些传统缓冲区划分方法具有盲目性和不确定性,缓冲区宽度的确定也缺乏科学依据. 地形是水径流过程的一个最主导的因素,根据地形划分缓冲区具有科学性. 本研究以南京市七乡河流域为案例区域,根据地形划分缓冲区,并从不同降雨条件和不同空间单元揭示河流水质对流域土地利用类型与格局的响应,以期为流域水环境保护提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域

七乡河流域(32°04' ~ 32°10' N, 118°57' ~ 119°06'E)地处南京与镇江交接处,主体部分位于南京市东郊,面积大约为 80.21 km². 地貌类型可以大致分为丘陵区和平原区 2 类. 地形南高北低,南部丘陵起伏,北部地势低平属于沿江平原. 该区属于亚热带季风气候,降雨充沛,年平均降水量 1106 mm,主要集中在春、夏季. 近年来,受城市化影响,七乡河流域下游逐渐被开发为城市用地,土地利用结构与格局发生变化,河流水环境也发生相应改变.

1.2 研究方法

1.2.1 不同空间单元土地利用类型数据

采用 2013 年的 Quick Bird 影像为基本信息源,以 1980 年 1:50 000 地形图为基准,对照遥感影像选取控制点,对遥感影像进行几何校正和镶嵌处理,按照研究区边界裁剪,获得研究区的遥感影像,然后进行遥感影像的目视解译和矢量化,并进行了土地利用数据的更新,最终获得 2015 年研究区的土地利用类型图(图 1). 根据研究需要,将研究区的土地利用类型划分 6 类:湿地、耕地、林地、草地、建设用地、道路. 在 ArcGIS 10.0 下,对 1:50 000 地形图进行数字化,获得该区域的 5 m 空间分辨率数字高程

模型(DEM). 利用 DEM 提取等高线,叠加上坡度图,结合土地利用、遥感影像,综合分析判断,确定将七乡河流域划分成 5 个级别的缓冲区. 低缓区域:高程 0.826 ~ 13 m、平均坡度 1.61°;中缓区域:高程 13.001 ~ 20 m、平均坡度 2.79°;高缓区域:高程 20.001 ~ 30 m、平均坡度 4.96°;中陡区域:高程 30.001 ~ 99 m、平均坡度 12.14°;高陡区域:99.001 ~ 420.565 m、平均坡度 21.18°(图 2).

将 3 次降雨水质数据输入 Canoco 4.5 来检测趋势对应分析(DCA). 结果表明,趋势对应分析的 4 个轴中梯度长度的最大值分别为 0.701、1.416 和 0.633,均小于 3,因此,本研究采用线性模型的冗余分析(RDA).

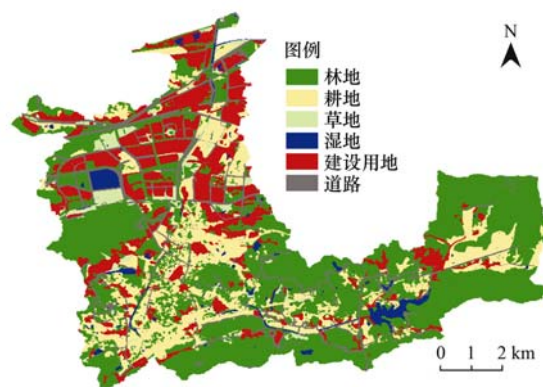


图 1 七乡河流域土地利用类型

Fig. 1 Land use types in Qixiang River watershed

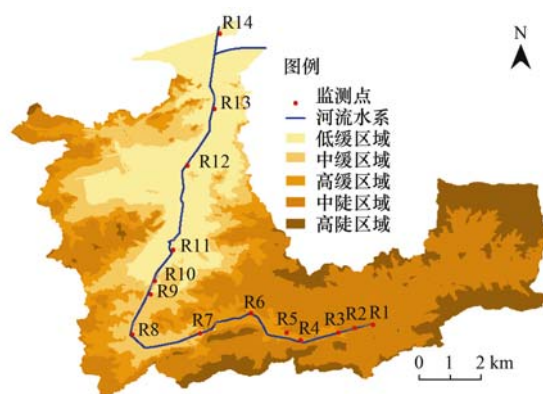


图 2 七乡河流域缓冲区和监测点

Fig. 2 Buffer zones and monitoring sites in Qixiang River watershed

1.2.2 水质数据

2015 年 4 月连续 5 d 降雨(总降雨量: 74.6 mm)、5 月一次小雨(降雨量: 6.6 mm)、6 月一次特大暴雨(降雨量: 135.5 mm)之后,对七乡河河道内的 14 个监测点进行了野外采样. 水质数据根据野外采样和实验室分析得出,选取浊度、TN、TP、高锰酸盐指数这 4 个水质指标表征河流水质质量(表 1).

表 1 七乡河流域监测点水质

Table 1 Water quality in monitoring sites of Qixiang River watershed

监测点	4 月水质				5 月水质				6 月水质			
	浊度 /NTU	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	高锰酸 盐指数 /mg·L ⁻¹	浊度 /NTU	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	高锰酸 盐指数 /mg·L ⁻¹	浊度 /NTU	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	高锰酸 盐指数 /mg·L ⁻¹
R1	9.4	0.88	0.05	4.87	0.9	1.90	0.05	7.45	13.0	5.245	0.398	6.652
R2	3.9	0.91	0.05	4.35	8.1	1.52	0.05	6.21	38.2	2.349	0.062	6.612
R3	7.7	1.01	0.06	4.86	14.2	1.45	0.05	6.83	57.4	2.892	0.084	6.018
R4	11.8	1.33	0.07	4.02	8.7	2.09	0.06	6.31	44.3	3.163	0.101	6.810
R5	6.4	1.19	0.08	4.82	3.2	1.39	0.06	5.99	70.6	2.921	0.091	7.761
R6	20.0	1.48	0.08	1.42	15.4	1.86	0.09	6.31	89.3	2.950	0.092	7.523
R7	13.6	1.36	0.13	4.10	47.3	1.53	0.04	6.48	102.9	3.461	0.128	7.682
R8	12.9	1.28	0.10	4.40	3.4	1.31	0.04	7.05	98.3	3.181	0.122	7.048
R9	12.1	1.24	0.07	4.54	1.3	1.09	0.07	7.20	96.7	3.695	0.146	7.404
R10	11.3	1.31	0.08	5.05	6.1	1.24	0.08	7.62	97.2	4.062	0.154	7.602
R11	10.0	1.15	0.07	4.43	2.2	1.26	0.06	7.43	114.5	3.427	0.140	7.761
R12	26.7	2.37	0.00	5.67	121.1	4.50	0.53	9.29	148.5	3.685	0.169	7.365
R13	14.5	2.47	0.25	5.26	8.4	12.00	0.67	9.67	132.1	4.067	0.224	7.444
R14	19.6	1.69	0.25	4.61	18.4	7.77	0.41	8.85	116.96	3.540	0.170	7.200

1.2.3 景观指数选择

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,是景观生态学中广泛使用的定量研究方法^[27]。但是景观指数众多,并且不断推陈出新,因此要根据研究的实际情况合理选择景观指数。相关研究表明,由于城市区域土地利用类型与格局复杂多样,度量其景观特征指数很多。其中景观类型面积、斑块数量、形状、多样性、分离度、连通性等景观指数对

湿地水环境影响较为敏感^[28]。为了更好地揭示不同空间单元河流水质对流域土地利用类型与格局的响应关系,研究通过分析 10 个景观指数与河流水质影响关系,筛选出斑块密度(PD)、平均斑块形状(SH_MN)、香农多样性指数(SHDI)、散布与并列指数(IJI)、斑块结合度指数(COHE)以及蔓延度指数(CONTAG)这 6 个景观指数,揭示其与河流水质之间关系。这些景观指数的生态学意义见表 2。

表 2 研究中使用的景观指数

Table 2 Landscape metrics used in the study

景观指数	指数描述	范围
斑块密度(PD)	单位面积上的斑块数,反映景观破碎化程度 $\times 10^{-2}/\text{个}\cdot\text{hm}^{-2}$	>0
平均斑块形状(SH_MN)	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
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
散布与并列指数(IJI)	与景观类型相邻的其他类型的多少,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
蔓延度指数(CONTAG)	描述景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势/%	0 ~ 100

2 结果与分析

2.1 不同空间单元土地利用类型及其格局差异

七乡流域不同空间单元土地利用类型差异较大(表 3)。整体看,低缓区域、中缓区域和高缓区域

均是建设用地占比最大,耕地、林地占比次之,草地最少,表明这三类缓冲区的人类干扰较强。中陡区域内林地呈大面积分布,耕地、建设用地次之。高陡区域内林地所有土地利用类型中占绝对优势,耕地和建设用地占比相似,属于流域内优势土地利用类型。

表 3 不同空间单元土地利用类型的面积比/%

Table 3 Area ratio of land use types in different spatial units/%

空间单元	湿地	耕地	林地	草地	建设用地	道路
低缓区域	7.19	22.43	22.66	3.22	34.63	9.87
中缓区域	6.30	26.02	21.40	5.06	32.33	8.89
高缓区域	5.67	26.73	24.46	4.74	29.84	8.56
中陡区域	4.88	21.74	42.39	3.29	21.51	6.19
高陡区域	4.18	18.81	50.11	2.82	18.61	5.47

从表 4 可以看出,流域不同空间单元土地利用格局也有较大不同. 斑块密度在低缓区域和中缓区域值较大,表明该缓冲区破碎化程度高. 高陡区域蔓延度指数最大,平缓区域蔓延度指数较低,表明高陡区域受人类活动干扰最小,平缓区域反之. 散布与并列指数从低缓区域至高陡区域越来越小,表明从低缓区域至高陡区域的景观分离度逐渐降低. 斑

块结合度在不同空间单元变化不大. 多样性指数在高陡区域取得最小值,在平缓区域较高,表明平缓区域受人类干扰大,高陡区域反之. 低缓区域至高缓区域的平均斑块形状指数相近,中陡区域平均斑块形状指数与高陡区域相近,表明低缓区域至高缓区域斑块形状的复杂性差异不大,中陡区域和高陡区域斑块形状的复杂性类似.

表 4 不同空间单元土地利用格局

Table 4 Land use pattern of the different spatial units

空间单元	PD	CONTAG/%	IJI/%	COHE	SHDI	SH_MN
低缓区域	0.007 0	53.996 7	89.314 6	99.712 8	1.567 5	1.761 1
中缓区域	0.007 1	53.390 5	88.773 8	99.771 7	1.585 6	1.707 6
高缓区域	0.006 5	53.586 8	87.326 0	99.771 5	1.575 6	1.739 2
中陡区域	0.003 8	57.198 4	84.545 6	99.788 6	1.457 9	1.818 6
高陡区域	0.003 2	60.013 1	84.167 3	99.802 5	1.365 7	1.823 3

2.2 不同雨强条件下各个空间单元土地利用与河流水质的关系

2.2.1 低缓区域土地利用与河流水质的响应关系

将低缓区域土地利用类型与河流水质进行 RDA 分析(图 3),结果反映出所有雨强条件下,建设用地、道路、草地与水质指标呈正相关,湿地、林地、耕地则与之呈负相关,但是各土地利用类型与河流水质的相关性随雨强不同存在显著差异. 图 4 为不同雨强条件下,低缓区域土地利用类型对河流水质的解释率. 从中可以看出,低缓区域内建设用地对河流水质的解释率最高. 湿地、林地、草地以及建设用地对水质的影响随雨强增大而增大,并在大雨强时对水质影响最强. 耕地和道路在中等雨强时对水质的影响最大.

低缓区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析结果见图 5. 从中可知,所有雨强条件下,土地利用的 SHDI、SH_MN、COHE、IJI 与水质指标呈正相关,PD 与之呈负相关,并且格局因子与河流水质的相关性随雨强不同而不同. CONTAG 与水质指标的相关性不强. 不同雨强时低缓区域土地利用格局对河流水质的解释率见图 6. SH_MN、CONTAG、IJI 以及 SHDI 对水质影响随雨强增大而增大. 低缓区域 SH_MN 对河流水质的影响最大,尤其大暴雨时,其对水质的解释能力达到 24%.

2.2.2 中缓区域土地利用与河流水质的响应关系

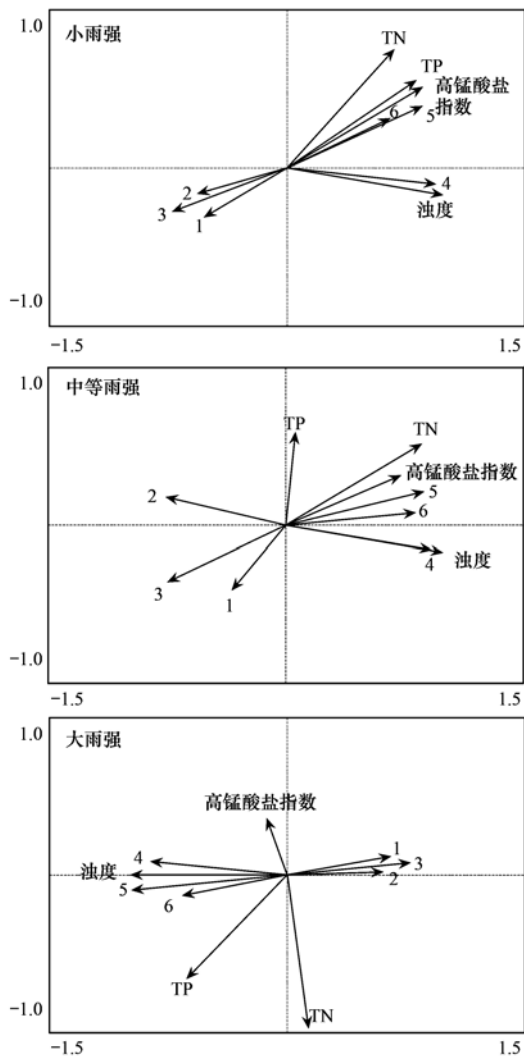
中缓区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析结果表明(图 7),所有雨强条件下,建设用地、道路与水质指标呈正相关,湿地、耕地则与之呈负相关. 草地在大雨强时与水质呈弱正相关. 小雨强时

林地与除浊度外水质指标呈正相关;中等雨强和大雨强时林地与所有水质指标呈显著正相关,表明中缓区域内的林地对于净化水质作用不明显. 图 8 反映了不同雨强中缓区域土地利用类型对河流水质的解释率. 小雨强时湿地对河流水质的影响最大;中雨和大雨强时,建设用地对水质的影响最大,并且大雨强时建设用地的影响高于中等雨强. 耕地、林地、建设用地以及道路对于水质的影响随雨强增大而增大.

对中缓区域土地利用格局与河流水质进行 RDA 分析(图 9). 小雨强和中等雨强时 SH_MN、SHDI 与水质指标正相关,COHE、IJI 与之弱正相关,CONTAG 与之负相关. PD 小雨强时与浊度以外水质指标负相关,中等雨强时与 TP 以外水质指标负相关. 大雨强时,PD、CONTAG 与所有水质指标负相关,其余格局因子则与之正相关. 从不同雨强时中缓区域土地利用格局对河流水质解释率(图 10)看出,小雨强、中等雨强和大雨强条件下,PD、SH_MN、SHDI 分别是影响河流水质的最关键格局因子. SH_MN、CONTAG、SHDI 以及 IJI 对河流水质的影响随着雨强的增加而增加. COHE 对水质的影响在小雨强条件下最大.

2.2.3 高缓区域土地利用与河流水质的响应关系

图 11 是高缓区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析结果,3 种雨强条件下,建设用地、草地与水质指标呈正相关,湿地、耕地则与之呈负相关. 雨强越大,林地与水质指标的相关性越强. 道路在小雨强和中雨强时对水质具有明显负效应,但大雨强时负效应不明显. 雨强不同,各土地利用类型对



1. 湿地; 2. 耕地; 3. 林地; 4. 草地; 5. 建设用地; 6. 道路
 图 3 低缓区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析
 Fig. 3 RDA analysis of land use type and river water quality in low flat area

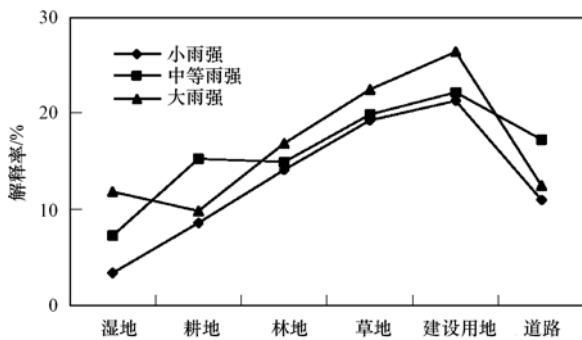


图 4 土地利用类型在低缓区域对水质的解释率
 Fig. 4 Explanation rate of land use type in low flat area

河流水质的影响不同(图 12). 小雨强时建设用
 地对水质的影响最大; 中等雨强和
 大雨强时林地是该缓冲区影响河流水
 质的最关键因子, 并且大雨强时林地
 对水质的影响大于中雨强. 湿地、耕
 地、林地

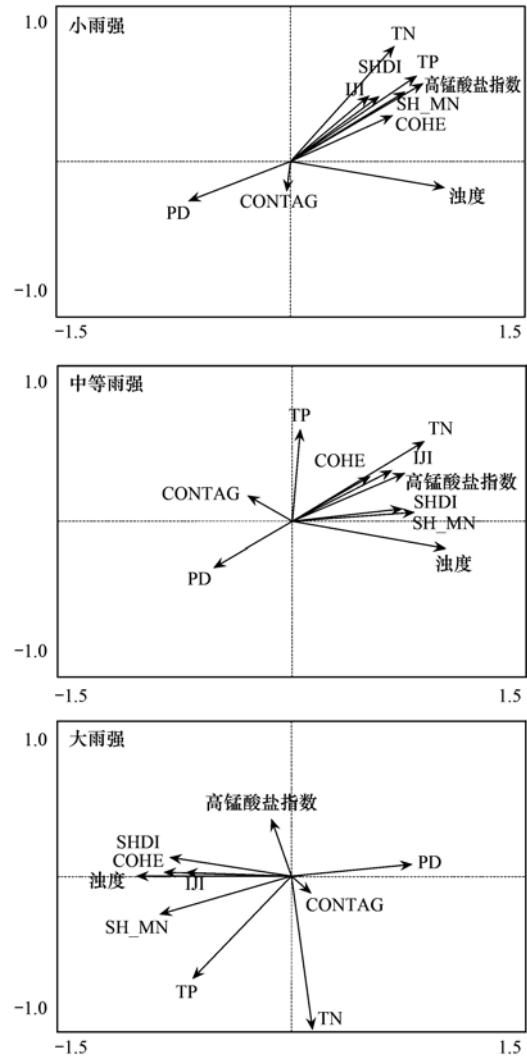


图 5 低缓区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析
 Fig. 5 RDA analysis of land use pattern and river water quality in low flat area

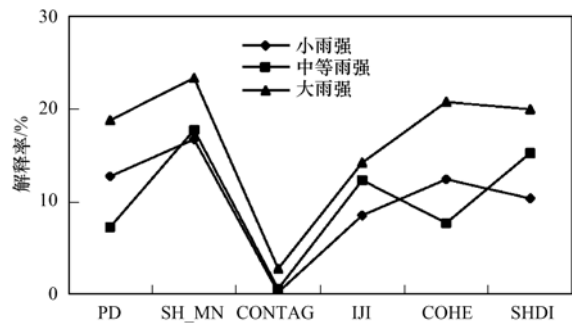
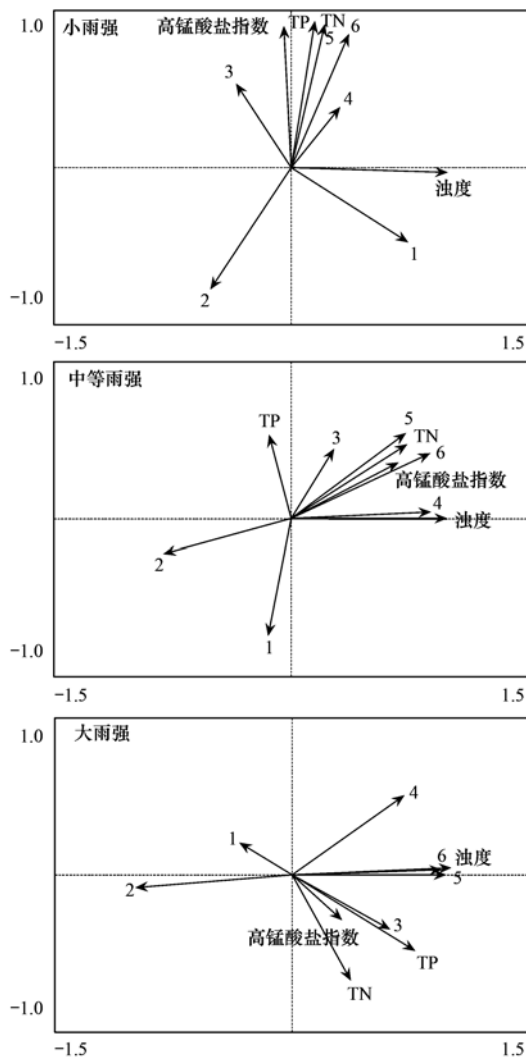


图 6 土地利用格局在低缓区域对水质的解释率
 Fig. 6 Explanation rate of land use pattern in low flat area

以及建设用
 地对水质的影响随雨强增大而增大. 草
 地和道路中等雨强时对水质影响最大.

高缓区域土地利用格局与河流水质的 RDA
 分析结果, 如图 13 所示, 所有雨强条件
 下, PD、CONTAG 与水质指标呈负相关;
 其余格局因子与之



1. 湿地; 2. 耕地; 3. 林地; 4. 草地;
5. 建设用地; 6. 道路; TP、TN 共线

图 7 中缓区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析
Fig. 7 RDA analysis of land use type and river water quality in secondary flat area

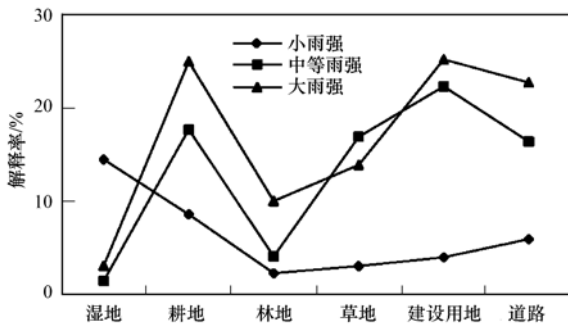
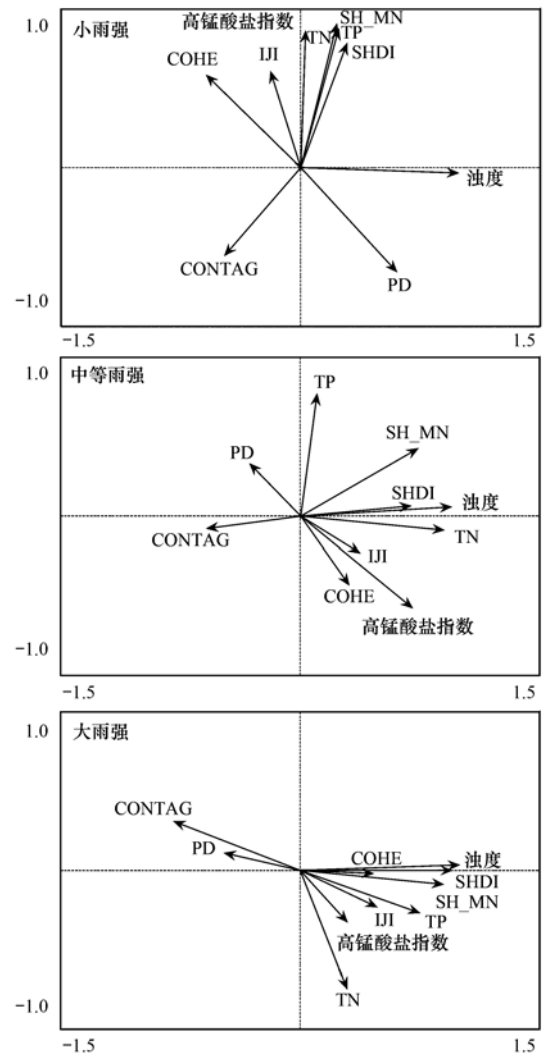


图 8 土地利用类型在中缓区域对水质的解释率

Fig. 8 Explanation rate of land use type in secondary flat area

呈正相关. 各格局因子对河流水质的影响随雨强增加而增加(图 14). SH_MN、SHDI 和 PD 分别是小雨强、中等雨强和大雨强时对水质影响最大.



TP、TN 共线

图 9 中缓区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析
Fig. 9 RDA analysis of land use pattern and river water quality in secondary flat area

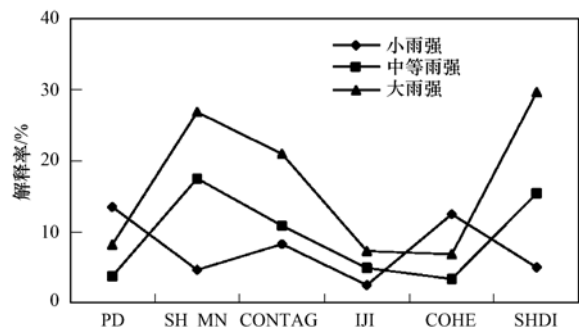
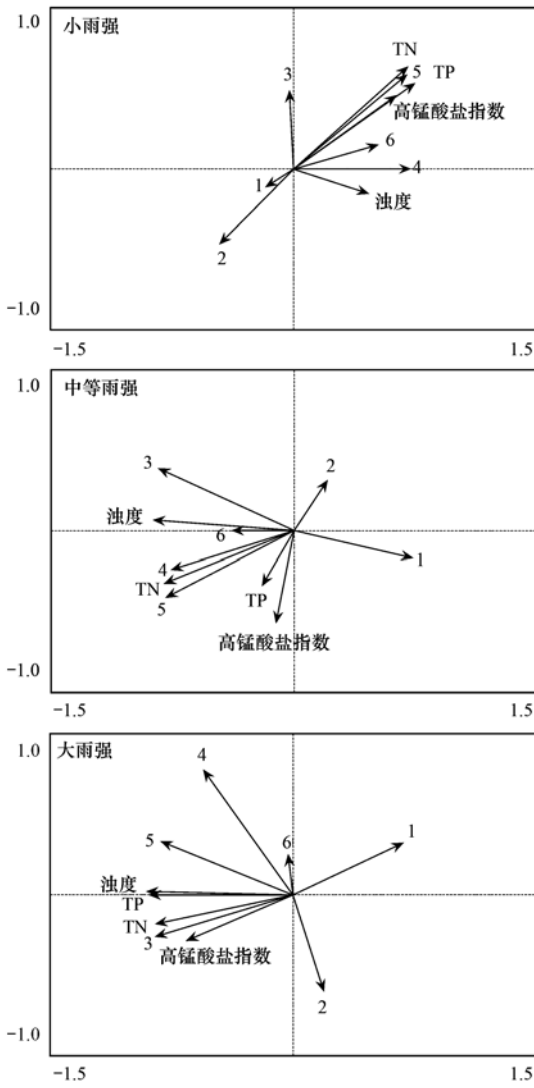


图 10 土地利用格局在中缓区域对水质的解释率

Fig. 10 Explanation rate of land use pattern in secondary flat area

2.2.4 中陡区域土地利用与河流水质的响应关系

中陡区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析结果表明(图 15),小雨强和中等雨强时建设用地、道路和草地与水质指标呈正相关,林地、耕地



1. 湿地; 2. 耕地; 3. 林地; 4. 草地; 5. 建设用地; 6. 道路

图 11 高缓区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析

Fig. 11 RDA analysis of land use type and river water quality in high flat area

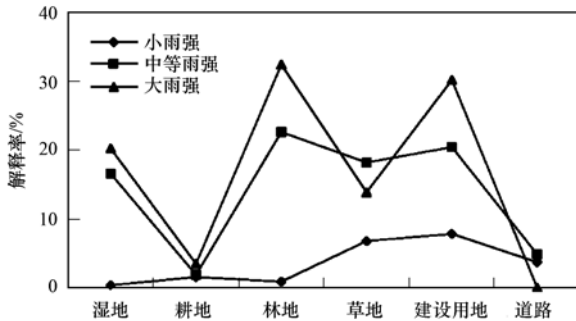


图 12 土地利用类型在高缓区域对水质的解释率

Fig. 12 Explanation rate of land use type in high flat area

则与之呈负相关. 湿地在小雨强时与浊度呈负相关,在中等雨强时与除浊度外水质指标呈负相关.大雨强时林地与所有水质指标呈显著负相关;建设

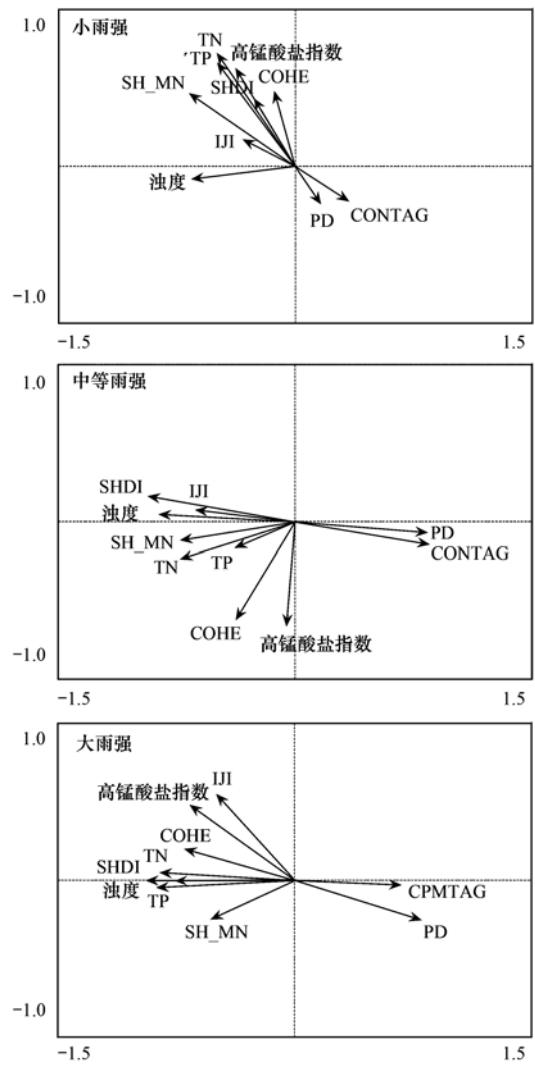


图 13 高缓区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析

Fig. 13 RDA analysis of land use pattern and river water quality in high flat area

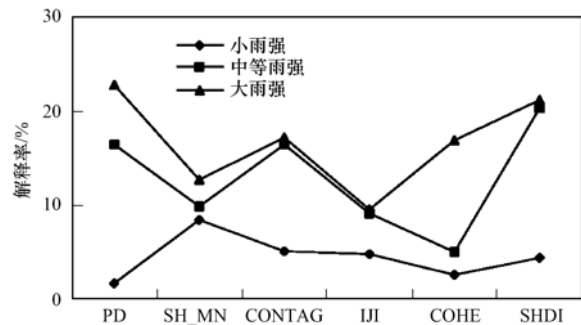


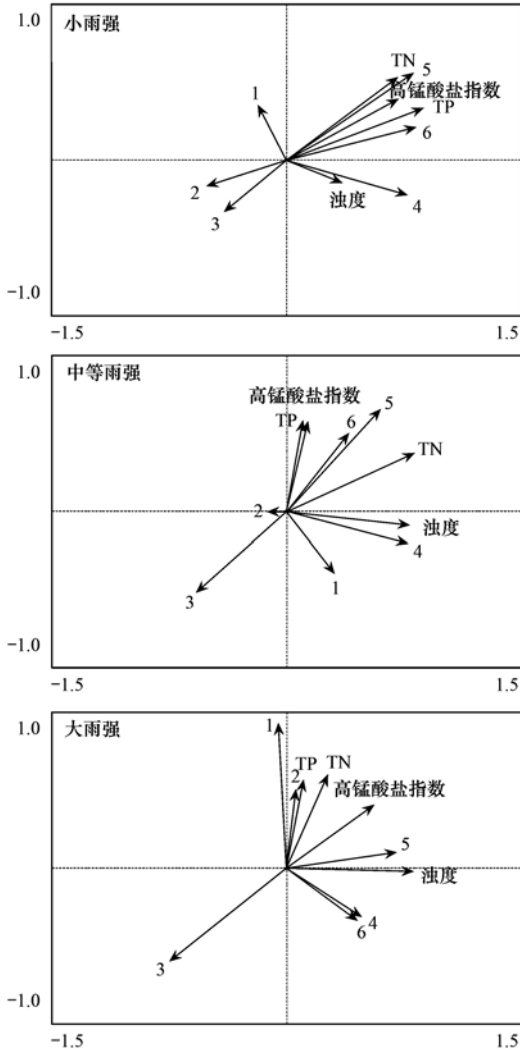
图 14 土地利用格局在高缓区域对水质的解释率

Fig. 14 Explanation rate of land use pattern in high flat area

用地和耕地则与之呈正相关;草地、道路和湿地与水质呈弱的正相关. 从中陡区域土地利用类型对河流水质的解释率看(图 16),小雨强时对水质解释能力最大的是建设用地;中等雨强和大雨强时林地对水质的解释率最大,并且大雨强时其值大于中等雨

强. 耕地、林地、建设用地和道路对水质的影响随雨强增大而增强,在大雨强时影响最强. 湿地和草地在中等雨强时对水质影响最大.

对中陡区域土地利用格局与河流水质进行



1. 湿地; 2. 耕地; 3. 林地; 4. 草地; 5. 建设用地; 6. 道路
图 15 中陡区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析

Fig. 15 RDA analysis of land use type and river water quality in moderately steep area

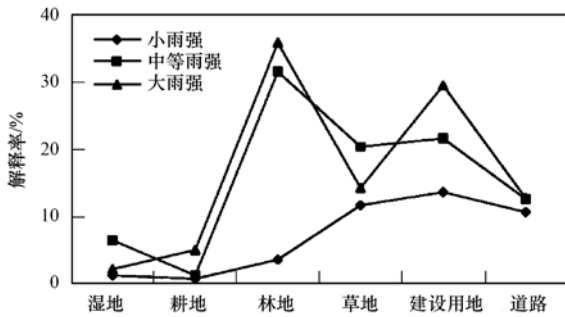


图 16 土地利用类型在中陡区域对水质的解释率

Fig. 16 Explanation rate of land use type in moderately steep area

RDA 分析,从结果(图 17)可以看出,小雨强时 PD、CONTAG 与水质指标负相关; SH_MN、COHE 和 SHDI 与之呈正相关; IJI 与之呈弱正相关. 中等雨强时 CONTAG 与水质指标呈显著负相关; COHE 和 SHDI 与之呈正相关; PD、SH_MN、IJI 则与之呈弱正相关. 大雨强时 CONTAG、SH_MN 与水质指标呈负相关; PD、COHE 和 SHDI 与之呈正相关; IJI 与水质指标呈弱的正相关. 由不同雨强中陡区域土地利用格局对河流水质的解释率(图 18)可知,CONTAG、IJI、COHE 和 SHDI 对河流水质的影响随雨强增加而增加,大暴雨时对河流水质影响最大. 小雨强时水质受 SH_MN 影响最大; 大雨强和中等雨强时 CONTAG 是影响河流水质的最键因子,且大雨强时 CONTAG 对水质的影响更大.

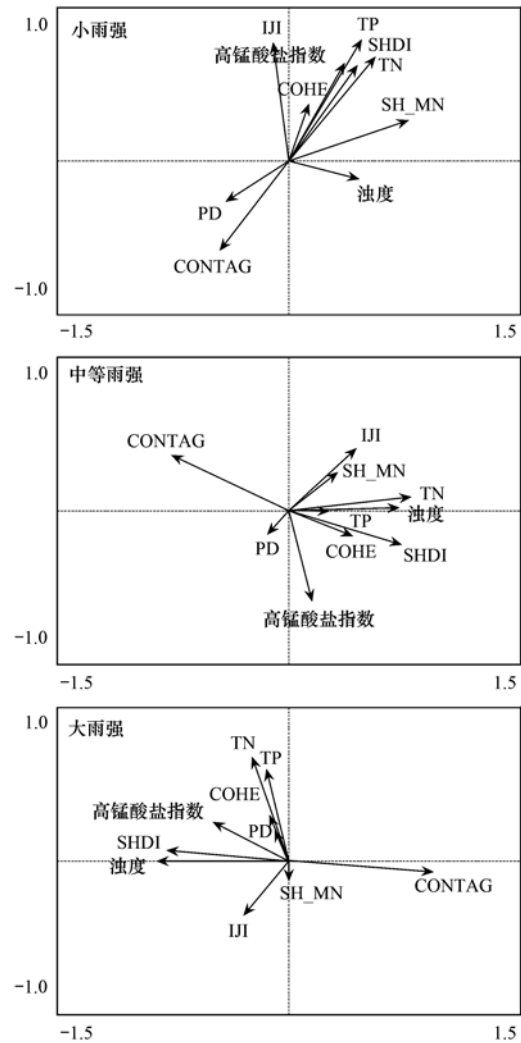


图 17 中陡区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析

Fig. 17 RDA analysis of land use pattern and river water quality in moderately steep area

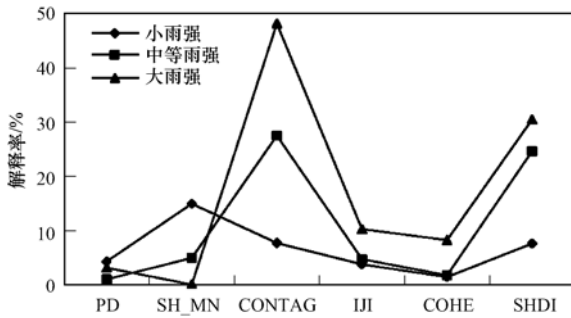
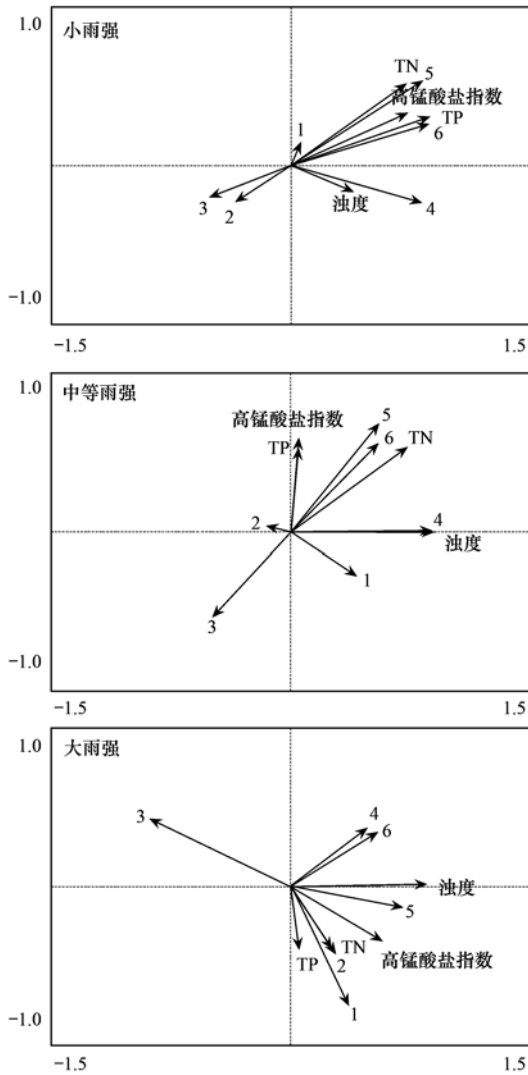


图 18 土地利用格局在中陡区域对水质的解释率
Fig. 18 Explanation rate of land use pattern in moderately steep area

2.2.5 高陡区域土地利用与河流水质的响应关系
图 19 为高陡区域土地利用类型与河流水质的



1. 湿地; 2. 耕地; 3. 林地; 4. 草地; 5. 建设用地; 6. 道路
图 19 高陡区域土地利用类型与河流水质的 RDA 分析
Fig. 19 RDA analysis of land use type and river water quality in high steep area

RDA 分析结果. 从中可知,所有雨强条件下,建设用地、草地和道路与水质指标呈正相关,林地与之呈负相关,并且随着雨强增大,草地和道路对水质的负效应减弱,而林地与水质的负相关性增强. 这可能与高陡区域内大面积分布的林地有截留污染物净化水质的作用,雨强越大,林地对水质的净化效应越明显有关. 随着雨强增大,耕地与水质指标的关系由负相关逐渐转变为正相关,这可能与 6 月该缓冲区的农田已经种植了水稻,因而农药化肥使用量增加有关. 湿地在小雨强和大雨强时均与水质指标呈正相关,但是大雨强时湿地对水质的负效应比小雨强显著. 中等雨强时湿地与除浊度外其余水质指标呈负相关. 图 20 反映了不同雨强时高陡区域土地利用类型对河流水质的解释率. 建设用地对小雨强时水质的解释能力最大;中等雨强和大雨强时林地对水质的影响最大,尤其大雨强时林地的解释能力高达 39%. 耕地、林地、建设用地和道路对水质的影响随雨强增大而增大. 湿地和草地在中等雨强时对水质影响最大.

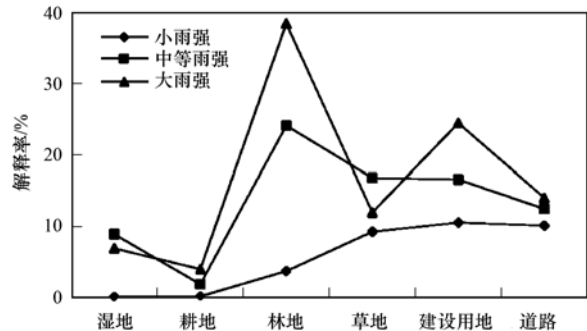


图 20 土地利用类型在高陡区域对水质的解释率
Fig. 20 Explanation rate of land use type in high steep area

高陡区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析结果如图 21 所示. 小雨强时 PD 和 CONTAG 与水质指标呈负相关; SH_MN 和 SHDI 与之呈正相关; IJI、COHE 与之呈弱正相关. 中等雨强时 CONTAG 与水质指标呈负相关; COHE 和 SHDI 与之呈正相关; PD、SH_MN、IJI 与之呈弱的正相关. 大雨强时 CONTAG 与水质指标呈负相关; PD、SHDI 则与之呈正相关; SH_MN、COHE 及 IJI 与水质指标呈弱的正相关. 图 22 为不同雨强时高陡区域土地利用格局对河流水质的解释率. SH_MN、SHDI 和 CONTAG 分别是 3 种雨强时对水质影响最大的格局因子. CONTAG、IJI、COHE 和 SHDI 对河流水质的影响随雨强增加而增强.

图 23 为不同雨强时各级缓冲区内土地利用类

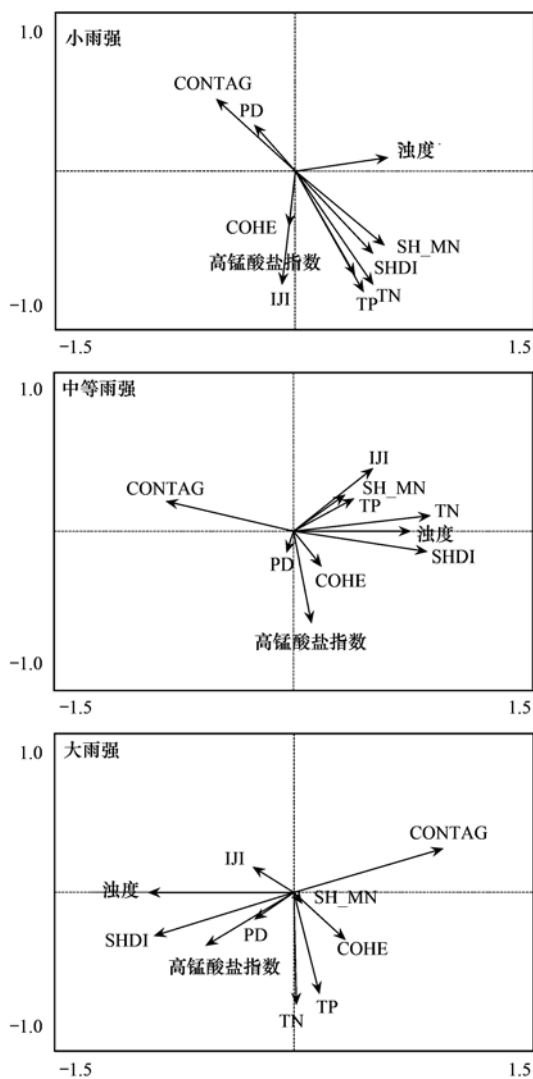


图 21 高陡区域土地利用格局与河流水质的 RDA 分析
Fig. 21 RDA analysis of land use pattern and river water quality in high steep area

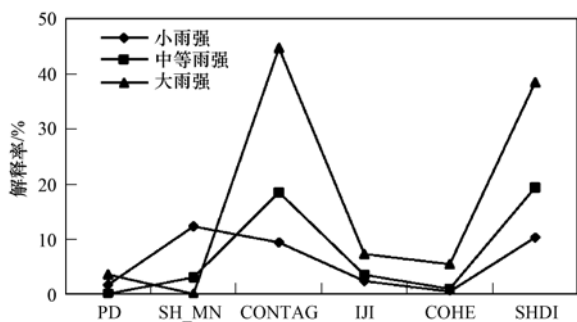


图 22 土地利用格局在高陡区域对水质的解释率

Fig. 22 Explanation rate of land use pattern in high steep area

型对河流水质的解释率。图 24 为不同雨强时各级缓冲区内土地利用格局对河流水质的解释率。从中可以看出,低缓区域是对研究区域内河流水质影响最大的空间单元。

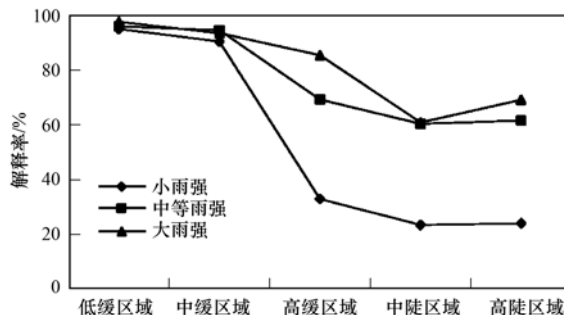


图 23 各级缓冲区内土地利用类型对水质的解释率

Fig. 23 Explanation rate of land use type in different buffer zones

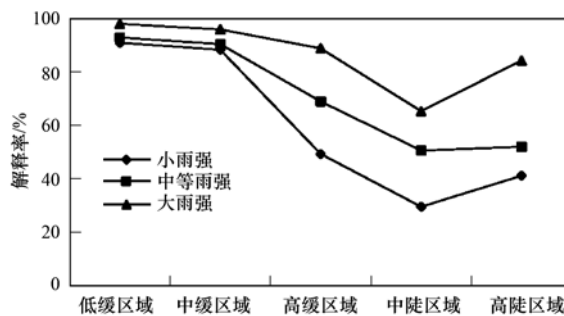


图 24 各级缓冲区内土地利用格局对水质的解释率

Fig. 24 Explanation rate of land use pattern in different buffer zones

3 讨论

3.1 不同空间单元土地利用类型与格局对河流水质的影响

对于不同空间单元与河流水质影响的大小,由于区域差异性,不同学者研究结果存在较大差异。胡和兵^[29]的研究表明,岸边 100m 内的土地利用格局对河流水质影响最大;李艳丽等^[30]的研究表明,岸边 300m 缓冲区所有景观变量对水质空间分异的解释能力最强。本研究基于 RDA 分析结果,筛选出低缓区域是对河流水质影响最大的空间单元。低缓区域内建设用地是对河流水质影响最大的土地利用类型,平均斑块形状是对河流水质影响最大的格局因子。因此,对于七乡河流域河流水质改善应重点强调低缓区域范围,实现研究区域内土地利用的合理配置以及科学规划。在低缓区域内合理安排建设用地的数量与形状对河水环境质量的改善和维护具有重要意义。

3.2 不同雨强对河流水质的影响

河流水质同时还受降雨影响。雨强越大,历时越长,形成的径流量越多,对地表的冲刷也更厉害,势必携带累积于地表上的各种污染物通过下水道或者直接排入江河湖泊,对地表水和地下水造成了污染^[31]。

本研究中河流水质与土地利用类型的相关性随雨强增大而增大,但中缓区域、高缓区域、中陡区域以及高陡区域的草地与水质的相关性在中等雨强时最强. 这可能与这些缓冲区内草地以人工绿化草坪为主,大暴雨时截流效应差有关. 中缓区域内,湿地在小雨强条件下对河流水质的方差贡献率最高,表明湿地对污染物的“汇”作用明显,能够充分发挥蓄水和净化水源作用,对河流水质影响显著.

土地利用格局与水质的相关性随雨强增大而增大,但本研究中低缓区域和中缓区域,斑块密度和斑块结合度在小雨强时较大;中陡区域和高陡区域平均斑块形状指数在小雨强时取得最大值. 这可能与小雨强时,地表径流小,低缓区域和中缓区域,土地利用的破碎化程度和物理连通性对水质影响显著;中陡区域和高陡区域土地利用形状的复杂性对水质影响显著有关.

4 结论

(1)七乡河流域不同空间单元土地利用类型与格局存在明显不同特征. 低缓区域、中缓区域和高缓区域存在大量建设用地并且土地利用的形状复杂、破碎化程度高. 中陡区域和高陡区域内,林地呈大面积分布,土地利用异质性和分离度都较小.

(2)流域土地利用类型对河流水质具有显著影响. 低缓区域土地利用类型在 3 种雨强条件下,对河流水质影响最大,其中建设用地对河流水质影响最大,并且影响随雨强的增大而增大. 中缓区域小雨强时,湿地对水质影响最大,中等雨强和大雨强时,建设用地对水质具有显著负效应. 高缓区域、中陡区域和高陡区域小雨强时,建设用地是影响河流水质的最关键因子,中等雨强和大雨强时,林地对改善水质发挥重要作用,且大雨强时林地对河流水质的影响最强烈.

(3)流域土地利用格局对河流水质具有一定影响. 低缓区域是 3 种雨强条件下土地利用格局对河流水质影响最大的空间单元,其中平均斑块形状指数对河流水质影响最大,并且影响随雨强增大而增大. 中缓区域 3 种雨强条件下对河流水质影响最大的格局因子分别为 PD、SH_MN 和 SHDI. 高缓区域小雨强、中等雨强、大雨强时 SH_MN、SHDI、PD 对水质影响最大. 中陡区域内,小雨强时 SH_MN 是影响水质的关键格局因子;中等雨强和大雨强时 CONTAG 对水质影响最大,并且大雨强时其影响大于中等雨强时的影响. 高陡区域小雨强、中等雨强

和大雨强对河流水质影响最大的格局因子分别为 SH_MN、SHDI 和 CONTAG.

参考文献:

- [1] Liegel L, Cassell D, Stevens D, *et al.* Regional characteristics of land use in Northeast and Southern Blue Ridge Province: associations with acid rain effects on surface-water chemistry[J]. *Environmental Management*, 1991, **15**(2): 269-279.
- [2] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎. 湿地景观变化过程与累积环境效应研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, **22**(1): 60-70.
- [3] 于兴修, 杨桂山. 典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响——以太湖上游浙江西苕溪流域为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2003, **12**(3): 211-217.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] 郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响[J]. *生态学报*, 2009, **29**(2): 776-787.
- [8] 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): 5271-5281.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 夏韵, 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.
- [13] 赵军, 杨凯, 郜俊, 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.
- [14] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. *生态学报*, 2012, **32**(8): 2331-2341.
- [15] 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 等. 流域水质时空分布特征及其影响因素初析[J]. *环境科学*, 2012, **33**(4): 1098-1107.
- [16] 李燕, 李恒鹏. 太湖上游流域下垫面因素对面源污染物输出强度的影响[J]. *环境科学*, 2008, **29**(5): 1319-1324.
- [17] 王娇, 马克明, 张育新, 等. 土地利用类型及其社会经济特征对河流水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(1): 57-65.
- [18] 王璞, 张建锋, 陈光才, 等. 基于“源-汇”景观的太湖宜兴段入湖港口水质时空变化[J]. *生态学杂志*, 2012, **31**(2): 399-405.
- [19] 孙金华, 曹晓峰, 黄艺. 滇池流域土地利用对入湖河流水质的影响[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(12): 2052-2057.

- [20] 李广, 黄高宝. 雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J]. 农业工程学报, 2009, **25**(11): 85-90.
- [21] 曹芳芳, 李雪, 王东, 等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2582-2587.
- [22] 杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 等. 城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. 环境科学, 2012, **33**(8): 2652-2658.
- [23] 郝敬锋. 城市化区域景观多功能特征与湿地水环境效应研究——以南京仙林新市区为例[D]. 南京: 南京师范大学, 2012.
- [24] Shen Z Y, Hou X S, Li W, *et al.* Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: a case study in a typical urbanised watershed in China[J]. *Ecological Indicators*, 2015, **48**: 417-427.
- [25] Zampella R A, Procopio N A, Lathrop R G, *et al.* Relationship of land-use/land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin[J]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2007, **43**(3): 594-604.
- [26] Sliva 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.
- [27] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响[J]. 环境科学, 2012, **33**(3): 794-801.
- [28] 蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 等. 南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(8): 2920-2927.
- [29] 胡和兵. 城市化背景下流域土地利用变化及其对河流水质影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [30] 李艳利, 李艳粉, 徐宗学, 等. 浑太河上游流域河岸缓冲区景观格局对水质的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2015, **31**(1): 59-68.
- [31] 杨凯, 袁林江, 赵丙良. 降雨对泮河水质和污染特征的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2011, **22**(2): 50-54.

CONTENTS

Application of a Two-stage Virtual Impactor in Measuring of PM ₁₀ and PM _{2.5} Emissions from Stationary Sources	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2003)
Hygroscopic Properties and Closure of Aerosol Chemical Composition in Mt. Huang in Summer	CHEN Hui, YANG Su-ying, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (2008)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Shenyang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Lu, <i>et al.</i> (2017)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Ions in Dry Deposition in the Summer and Autumn of Nanjing	QIN Yang, ZHU Bin, ZOU Jia-nan, <i>et al.</i> (2025)
Distribution Characteristics of Water-soluble Ions in Size-segregated Particulate Matters in Taiyuan	CAO Run-fang, YAN Yu-long, GUO Li-li, <i>et al.</i> (2034)
Characteristics of Ozone over Standard and Its Relationships with Meteorological Conditions in Beijing City in 2014	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2041)
Chemical Composition of Alkanes and Organic Acids in Vehicle Exhaust	YUAN Jia-wen, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (2052)
Effect of DOC/CCRT Aging on Gaseous Emission Characteristics of an In-used Diesel Engine Bus	LOU Di-ming, HE Nan, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (2059)
Studies of Dynamic Adsorption Behavior of VOCs on Biochar Modified by Ultraviolet Irradiation	LI Qiao, YONG Yi, DING Wen-chuan, <i>et al.</i> (2065)
Absorption Spectral Characteristic Dynamics of Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake in Inland of Three Gorges Reservoir Areas: Implications for Hg Species in Waters	JIANG Tao, LU Song, WANG Qi-lei, <i>et al.</i> (2073)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Waters of Typical Agricultural Watershed of Three Gorges Reservoir Areas	WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2082)
High-resolution Variations of Oxygen and Hydrogen Isotopes of Precipitation and Feedback from Cave Water: An Example of Jiguan Cave, Henan	SUN Zhe, YANG Yan, ZHANG Ping, <i>et al.</i> (2093)
Spatial Response of River Water Quality to Watershed Land Use Type and Pattern Under Different Rainfall Intensities	JI Xiang, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2101)
Determination of Background Value and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Danjiangkou Reservoir	ZHAO Li, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (2113)
Spatial Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments and Soils from the Dishui Lake and Its River System	WANG Xue-ping, HUANG Xing, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (2121)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water Source Areas of Guangdong and Guangxi	YANG Yu-xiang, LIU Xin-yu, ZHAN Zhi-wei, <i>et al.</i> (2131)
Responses of Nutrients and Chlorophyll a to Water Level Fluctuations in Poyang Lake	LIU Xia, LIU Bao-gui, CHEN Yu-wei, <i>et al.</i> (2141)
Influence of Periodic Temperature Disturbance on the Succession of Algal Community Structure	GONG Dan-dan, LIU De-fu, ZHANG Jia-lei, <i>et al.</i> (2149)
Effects of Bromate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (2158)
Effect of Water Bloom on the Nitrogen Transformation and the Relevant Bacteria	LI Jie, ZHANG Si-fan, XIAO Lin (2164)
Effect of Carbon and Nitrogen Forms on Decomposition of Organic Matter in Sediments from Urban Polluted River	TANG Qian, LIU Bo, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (2171)
Interfacial Property of Amphiphilic Copolymer Blending PVDF UF Membrane and Protein Anti-fouling	MENG Xiao-rong, LU Bing-xue, FU Dong-hui, <i>et al.</i> (2179)
Adsorption of Hg(II) in Water by Sulfhydryl-Modified Sepiolite	XIE Jing-ru, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2187)
Adsorption Behavior of Low Concentration Phosphorus from Water onto Modified Reed Biochar	TANG Deng-yong, HUANG Yue, XU Rui-chen, HU Jie-li, <i>et al.</i> (2195)
Adsorption Characteristics of 2,4-D on UiO-66 from Wastewater	REN Tian-hao, YANG Zhi-lin, GUO Lin, <i>et al.</i> (2202)
Mechanism and Surface Fractal Characteristics for the Adsorption of <i>p</i> -nitrophenol on Water-quenched Blast Furnace Slag	WANG Zhe, HUANG Guo-he, AN Chun-jiang, <i>et al.</i> (2211)
Adsorption Characteristics for Humic Acid by Binary Systems Containing Kaolinite and Goethite	NIU Peng-ju, WEI Shi-yong, FANG Dun, <i>et al.</i> (2220)
Effects of Sulfur/sponge Iron Ratio for Deep Denitrification and Phosphorus Removal of Reclaimed Water	ZHOU Yan-qing, HAO Rui-xia, WANG Zhen, <i>et al.</i> (2229)
Effect of Element Sulfur Particle Size and Type of the Reactor on Start-up of Sulfur-based Autotrophic Denitrification Reactor	MA Hang, ZHU Qiang, ZHU Liang, <i>et al.</i> (2235)
Influencing Mechanism of Titanium Salt Coagulant Chemical Conditioning on the Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Floes	WANG Cai-xia, ZHANG Wei-jun, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (2243)
Distribution Characteristics of Methanogens in Urban Sewer System	SUN Guang-xi, JIN Peng-kang, SONG Ji-na, <i>et al.</i> (2252)
Long-term Performance and Bacterial Community Composition Analysis of AGS-SBR Treating the Low COD/N Sewage at Low DO Concentration Condition	XIN Xin, GUAN Lei, YAO Yi-duo, <i>et al.</i> (2259)
Optimization for <i>Microthrix parvicella</i> Quantitative Processing of Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization (FISH)	WANG Run-fang, ZHANG Hong, WANG Qin, <i>et al.</i> (2266)
Influence of Carbonization Temperature on Bacterial Community of the Biological Carbon Electrode Based on High-throughput Sequencing Technology	WU Yi-cheng, HE Guang-hua, ZHENG Yue, <i>et al.</i> (2271)
Isolation, Identification and Characteristics of a <i>Rhodospseudomonas</i> with High Ammonia-nitrogen Removal Efficiency	HUANG Xue-jiao, YANG Chong, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (2276)
Variation Characteristics of Inorganic Phosphorus in Purple Soil Profile Under Different Conservation Tillage Treatments	HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2284)
Effect of Different Organic Materials on Nitrogen Mineralization in Two Purple Soils	ZHANG Ming-hao, LU Ji-wen, ZHAO Xiu-lan (2291)
Impacts of Biochar and Straw Application on Soil Organic Carbon Transformation	ZHANG Ting, WANG Xu-dong, PANG Meng-wen, <i>et al.</i> (2298)
Tracing Sources of Heavy Metals in the Soil Profiles of Drylands by Multivariate Statistical Analysis and Lead Isotope	SUN Jing-wei, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2304)
Landscape Patterns Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution in a Town of Southern Jiangsu	CHEN Xin, PAN Jian-jun, WANG Wen-yong, <i>et al.</i> (2313)
Assessment and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Soil of Different Functional Areas in Luoyang	LIU Ya-na, ZHU Shu-fa, WEI Xue-feng, <i>et al.</i> (2322)
Evaluation on Heavy Metal Pollution and Its Risk in Soils from Vegetable Bases of Hangzhou	GONG Meng-dan, ZHU Wei-qin, GU Yan-qing, <i>et al.</i> (2329)
Fluorescence Spectroscopic Characteristics and Cu ²⁺ -complexing Ability of Soil Dissolved Organic Matter	TIAN Yu, WANG Xue-dong, CHEN Xiao-lin, <i>et al.</i> (2338)
Effect of Stabilizer Addition on Soil Arsenic Speciation and Investigation of Its Mechanism	CHEN Zhi-liang, ZHAO Shu-hua, ZHONG Song-xiong, <i>et al.</i> (2345)
Effects of Human Gut Microbiota on Bioaccessibility of Soil Cd, Cr and Ni Using SHIME Model	YIN Nai-yi, DU Hui-li, ZHANG Zhen-nan, <i>et al.</i> (2353)
Photosynthetic Characteristics and Ozone Dose-response Relationships for Different Genotypes of Poplar	XIN Yue, GAO Feng, FENG Zhao-zhong (2359)
Effects of Pyrene on Low Molecule Weight Organic Compounds in the Root Exudates of Five Species of <i>Festuca</i>	PAN Sheng-wang, YUAN Xin, LIU Can, <i>et al.</i> (2368)
N% and S% in Leaves of Vascular Plants <i>Cinnamomum camphora</i> and <i>Pinus massoniana</i> Lamb. for Indicating the Spatial Variation of Atmospheric Nitrogen and Sulfur Deposition	XU Yu, XIAO Hua-yun, ZHENG Neng-jian, <i>et al.</i> (2376)
Temporal and Spatial Dynamics of Greenhouse Gas Emissions and Its Controlling Factors in a Coastal Saline Wetland in North Jiangsu	XU Xin-wanghao, ZOU Xin-qing, LIU Jing-ru (2383)
Preparation of Visible-light-induced g-C ₃ N ₄ /Bi ₂ S ₃ Photocatalysts for the Efficient Degradation of Methyl Orange	ZHANG Zhi-bei, LI Xiao-ming, CHEN Fei, <i>et al.</i> (2393)
Estimation of Co-benefits from Pollution Emission Reduction by Eliminating Backward Production Capacities in Hainan Province	GENG Jing, REN Bing-nan, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (2401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年6月15日 第37卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 6 Jun. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行