

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

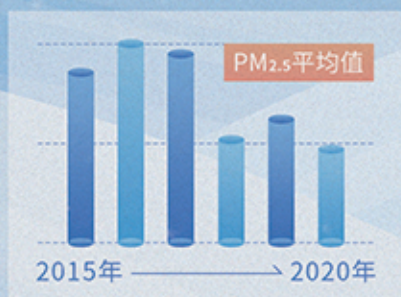
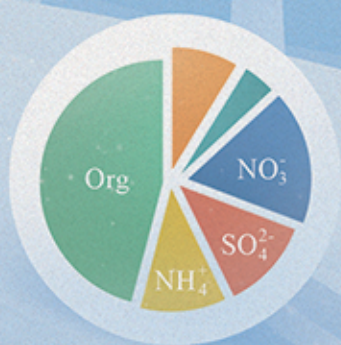
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

北京冬季奥运会历史同期大气PM_{2.5}污染特征分析

刘玥晨, 满睿琪, 裴彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意,
曾立民, 吴志军, 胡敏



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年8月

第43卷 第8期
Vol.43 No.8

目次

北京冬季奥运会历史同期大气 PM _{2.5} 污染特征分析·····	刘玥晨, 满睿琪, 袁彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意, 曾立民, 吴志军, 胡敏 (3895)
天津城区 2019 年 2~3 月气溶胶粒径分布特征观测分析·····	郝团, 蔡子颖, 刘敬乐, 王晓佳, 姚青 (3903)
长江中游地区 PM _{2.5} 重污染过程的典型天气环流分型及区域传输影响·····	王莹, 智协飞, 白永清, 董甫, 张玲 (3913)
滇中典型工矿城市大气干湿沉降重金属等元素特征及健康风险评价·····	范晨子, 刘永兵, 袁继海, 郭威, 孙冬阳, 刘成海 (3923)
典型工业城市夏季 VOCs 污染特征及反应活性·····	秦涛, 李丽明, 王信梧, 杨文, 王晓丽, 徐勃, 耿春梅 (3934)
大连市夏季 VOCs 化学反应活性及来源·····	朱轲欣, 刘立忠, 刘焕武, 罗静期, 高冉冉 (3944)
河南省 18 个城市大气污染物分布特征、区域来源和传输路径·····	刘光瑾, 苏方成, 徐起翔, 张瑞芹, 王克 (3953)
京津冀臭氧污染特征、气象影响及基于神经网络的预报效果评估·····	朱媛媛, 刘冰, 桂海林, 李健军, 汪巍 (3966)
2006~2020 年中国大气本底站 BC 气溶胶的时空分布特征·····	王红磊, 颜雪, 沈利娟, 柳竞先, 赵天良, 管小彬, 赵德龙 (3977)
钢铁生产行业二噁英污染特征变化及其排放因子·····	杨艳艳, 谢丹平, 付建平, 陈晓燕, 尹文华, 韩静磊, 张素坤, 张璐, 肖滔 (3990)
长江流域着生藻类群落结构的格局及其生态评价·····	胡愈忻, 曹亮, 屈仁超, 黄杰, 胡圣, 周正, 王英才, 张静 (3998)
基于蒙特卡洛模拟与 PMF 模型的黄河流域沉积物重金属污染评价及源解析·····	庞阔, 李敏, 刘璐, 杨璐, 赵洪军 (4008)
梯级拦河堰对典型山地城市河流重金属元素的滞留效应: 以重庆市梁滩河为例·····	王超, 贾伯阳, 潘成勇, 何文战, 叶秋, 罗杉山, 张夏武 (4018)
基于土壤流失的农业面源 TN 和 TP 排海系数估算·····	王有霄, 黄翀, 刘高焕, 赵忠贺, 李贺, 刘庆生 (4032)
河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响·····	李好好, 黄懿梅, 郭威, 侯宏洋, 范梦苑, 齐照平, 贾鹏辉, 郭庆波 (4042)
联合 PMF 模型与稳定同位素的地下水污染溯源·····	张涵, 杜昕宇, 高菲, 曾卓, 程思茜, 许懿 (4054)
江西锦江流域抗生素污染特征与生态风险评价·····	李佳乐, 王萌, 胡发旺, 董一慧, 孙占学, 王瑶, 卫承芳, 燕雯 (4064)
天津市地表水中新型优先污染物筛选与管控对策·····	吴颜岐, 宋帅, 史雅娟, 刘莹, 杨胜杰 (4074)
宁夏第三排水沟中药物和个人护理品 (PPCPs) 的污染特征与生态风险评估·····	李富娟, 高礼, 李凌云, 郑兰香, 马兰, 杨桂钦 (4087)
再生水河道浮游生物多样性季节变化分析: 以北运河为例·····	袁训超, 王敏, 郭道宇, 吴东丽 (4097)
太湖草、藻湖区沉积物 WSOM 组成和分子结构分析·····	杜瑛珣, 戴家如, 张巧颖, 刘静静, 黄秀琳, 安世林, 文帅龙 (4108)
太湖氧化亚氮 (N ₂ O) 排放特征及潜在驱动因素·····	刘朝荣, 朱俊羽, 李宇阳, 俞晓琴, 陈慧敏, 杨艳, 周永强 (4118)
海绵城市生物滞留带重金属污染特征及风险评价·····	雷晓玲, 邱丽娜, 魏泽军, 杨程, 何博 (4127)
玉米芯和稻草秸秆强化潜流人工湿地对低 C/N 污水的处理效果·····	胡曼利, 郝庆菊, 马容真, 陈柯沁, 罗师旭, 江长胜 (4136)
环境 pH 条件下 Fe ²⁺ 活化过二硫酸盐降解有机污染物的效能与影响因素·····	刘颖, 郭依玮, 乔俊莲, 孙远奎 (4146)
新疆沙雅县不同植物类型农田环境中典型农药残留及其风险评价·····	谢宣宣, 艾力江·努尔拉, 买合木提·巴拉提, 仲乃福, 李南鑫 (4154)
宁夏养鸡场粪污和周边土壤中抗生素及抗生素抗性基因分布特征·····	沈聪, 张俊华, 刘吉利, 韩新宁, 尚天浩, 代金霞 (4166)
宁夏石嘴山市农用地土壤硒的富集因素·····	王莹, 刘海燕, 王泽晶, 张晓东, 王登红 (4179)
地块尺度重金属污染风险耕地安全利用区划方法·····	王锐, 余京, 李瑜, 周蛟, 贾中民, 余飞, 张云逸, 蒋玉莲 (4190)
姜湖贡米产地土壤重金属空间分布、源解析及生态风险评价·····	于林松, 万方, 范海印, 康桂玲, 刘辉, 王东平, 徐佳 (4199)
基于特定源风险评估模型的小麦籽粒铅超标风险预测·····	杨阳, 李艳玲, 牛硕, 陈卫平, 王天齐, 王美娥 (4212)
柳州地源性镉异常区稻米重金属累积效应与健康风险·····	朱亮亮, 王佛鹏, 唐乐斌, 肖乃川, 董心月, 韦美溜, 宋波 (4219)
不同玉米品种 Cd、Pb、Zn 和 As 积累与转运特性·····	任超, 肖建辉, 李竞天, 杜倩倩, 朱利文, 王浩, 朱瑞颖, 赵海洋 (4232)
橡胶草 (TKS) 对铅镉污染农田土壤的修复潜力·····	张恒, 熊明彪, 王乾鑫, 孙博文, 饶逸驰, 程章, 徐小逊, 杨占彪, 鲜骏仁, 朱雪梅, 杨绍平, 杨远祥 (4253)
3 种地被竹对重金属复合污染农田土壤的修复潜力·····	张颖, 赵欣, 张圣虎, 漆丹, 王博, 陈引, 陆建刚 (4262)
连续施肥对双季稻镉硅累积效应的影响·····	彭华, 邓凯, 石宇, 魏维, 柳赛花, 纪雄辉 (4271)
改性壳聚糖负载氧化硅调控水稻对砷吸收与转运的影响·····	杨嘉仪, 孙梦强, 肖羽堂, 韦行, 张建强, 陈志良 (4282)
不同螯合剂和有机酸对苍耳修复镉复合污染土壤的影响·····	张雅睿, 黄益宗, 保琼莉, 魏祥东, 铁柏清, 张盛楠, 韩甘, 黄永春 (4292)
水分管理对稻田土壤铁氧化物形态转化的影响及其与酶活性变化的耦合关系·····	李明远, 张小婷, 刘汉斌, 魏世强 (4301)
外源 Fe 调控根系微生物群落结构和功能对水稻 Cd 积累的影响·····	郑沈, 黄道友, 李波, 马天池, 许超, 朱奇宏, 朱捍华, 张泉 (4313)
不同降水下覆盖与缓释肥减量对油菜土壤微生物群落结构的影响·····	冯军, 石超, Hafiz Athar Hussain, 刘永波, 刘天朋, 李永洪, 刘俊峰, 王龙昌 (4322)
基于高通量测序和代谢组学解析重金属污染对农田微生物群落组成和功能的影响·····	庞发虎, 李晓琦, 段莉阳, 陈彦, 姬明飞, 张浩, 韩辉, 陈兆进 (4333)
汞矿区周边农田土壤微生物群落结构特征及其环境驱动因子·····	陈芬, 余高, 孙约兵, 张红丽, 田霞, 夏蓓 (4342)
岩溶湿地与稻田土壤团聚体细菌群落结构的比较·····	冷蒙, 靳振江, 肖筱怡, 熊丽媛, 李雪松 (4353)
戴云山土壤微生物碳源利用效率的海拔变异规律及影响因素·····	吕坤, 王晶晶, 吴国朋, 林思诺, 苏延桂, 黄刚 (4364)
长期秸秆还田对水稻根系碳矿化与激发效应的影响·····	刘峰, 王云秋, 张昀, 祝贞科, 吴金水, 葛体达, 李宇虹 (4372)
秸秆还田配施生物炭对关中平原夏玉米产量和土壤 N ₂ O 排放的影响·····	白金泽, 刘镇远, 宋佳杰, 李娜, 于琦, 郝嘉琪, 许宏伟, 程博豪, 王兴, 冯永忠 (4379)
聚苯乙烯纳米塑料对大蒜生长生理的影响·····	邱陈陈, 李国新, 李青松, 颜昌宙 (4387)
微塑料对土壤水分入渗和蒸发的影响·····	王志超, 张博文, 倪嘉轩, 杨文焕, 李卫平 (4394)
氢燃料电池汽车动力系统生命周期评价及关键参数对比·····	陈轶嵩, 兰利波, 郝卓, 付佩 (4402)
《环境科学》征订启事 (4211) 《环境科学》征稿简则 (4312) 信息 (3922, 4031, 4107)	

河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响

李好好, 黄懿梅*, 郭威, 侯宏洋, 范梦苑, 齐熙平, 贾鹏辉, 郭庆波

(西北农林科技大学资源与环境学院, 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100)

摘要: 基于青海省河湟谷地湟源县、互助土族自治县和民和回族土族自治县内湟水河各级支流平水期和丰水期实测水质数据, 结合遥感技术和数理统计等方法, 分析土地利用结构及其空间格局对区域季节性水质的影响。结果表明: ①河湟谷地地表水中总氮、总磷浓度偏高, IV和V类水质多集中于河流下游和各支流交汇处。②河湟谷地平水期土地利用对水质的解释率高于丰水期, 平水期最优尺度为200 m缓冲区, 耕地和城镇为主要的的影响因子; 丰水期最优尺度为5 km缓冲区尺度, 主要的影响因子为林地。③平水期耕地面积占比与总氮、高锰酸盐指数浓度呈正相关, 而与总磷浓度呈负相关; 城镇面积占比与污染物浓度基本呈正相关; 丰水期草地面积占比与河流高锰酸盐指数呈正相关; 林地面积占比在两个时期均与污染物浓度呈负相关。耕地、草地和城镇是污染物“源”景观, 但耕地在一定程度上也起到拦截污染物的作用; 林地是污染物的“汇”景观。④平水期200 m缓冲区尺度下林地空间格局对水质的解释率较高, 其中LPI(最大斑块占景观面积比例)和PD(斑块密度)等指标为主要的的影响因子, 与污染物浓度呈负相关。研究表明, 合理规划居民用地和耕地面积占比, 提高河岸带周边的林地覆盖率及聚集度, 是净化河湟谷地地表水水质的重要措施。

关键词: 河湟谷地; 土地利用结构; 空间格局; 随机森林模型; 水质评价

中图分类号: X522; X824 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)08-4042-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.202110065

Influence of Land Use and Land Cover Patterns on Water Quality at Different Spatio-temporal Scales in Hehuang Valley

LI Hao-hao, HUANG Yi-mei*, GUO Wei, HOU Hong-yang, FAN Meng-yuan, QI Xi-ping, JIA Peng-hui, GUO Qing-bo

(Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Natural Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Based on the measured water quality data of Huangyuan County, Huzhu Tu Autonomous County, and Minhe Hui Tu Autonomous County in Hehuang Valley of Qinghai province in the normal and wet seasons, the effects of land use and land cover patterns on regional seasonal water quality were analyzed using remote sensing technology and mathematical statistics. The results showed that: ① the concentrations of total nitrogen and total phosphorus in the surface water of Hehuang Valley were high. Water pollution areas (Class IV and V) were mainly concentrated in the lower reaches of the river and the junction of tributaries. ② The explanation rate of land use to water quality in the normal season was higher than that in the wet season. The optimal scale was the 200 m buffer scale in the normal season, and farmland and towns were the main influencing factors. The optimal scale in the wet season was the 5 km buffer scale, and the main influencing factor was the forest. ③ In the normal season, the proportion of farmland was positively correlated with the concentration of total nitrogen and permanganate index but negatively correlated with the concentration of total phosphorus. The proportion of town area was positively correlated with the water quality index. The proportion of grassland area in the wet season was positively correlated with the permanganate index. The proportion of forestland area was negatively correlated with water quality index in both periods. Farmland, grassland, and town areas were the “source” landscape of pollutants, but farmland also played a role in intercepting pollutants to a certain extent. Forest land was the “sink” landscape of pollutants. ④ The pattern of forestland in the 200 m buffer zone in the normal season had a high explanatory rate for water quality, and the largest patch index (LPI) and patch density (PD) were the main factors. The study showed that it is an important measure to purify the surface water quality of Hehuang Valley by rationally planning the proportion of residential land and cultivated land and improving the coverage rate and aggregation degree of forestland around the riparian zone.

Key words: Hehuang Valley; land use structure; land cover patterns; random forest model; water quality evaluation

土地利用方式反映了人类生产活动对自然环境的影响^[1], 不合理的土地利用结构可能造成水体富营养化和藻类生长, 从而降低水质^[2,3]。空间格局是指任何特定景观中物体的结构、排列和位置^[4], 土地利用的空间格局也会影响水质^[5]。污染物在进入水体之前, 其迁移和转化过程中会受到空间格局的影响, 而景观组成和配置不当同样会增加营养物质向水体的转移^[6]。因此, 研究土地利用结构及其空间格局与河流水质之间的关系对水资源保护以及土地利用规划管理具有重要意义。

然而, 土地利用结构和空间格局对水质的影响是复杂的, 并且取决于空间尺度和季节^[7]。首先, 空间尺度是指不同的地域范围, 如缓冲区和子流域尺度。有研究指出, 土地利用结构和空间格局对水质的影响会随缓冲区大小的扩大而改变, 且存在一个最

收稿日期: 2021-10-11; 修订日期: 2021-12-30

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目 (2019QZKK0603)

作者简介: 李好好(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用变化的水文水质效应, E-mail: lhh1996@nwfau.edu.cn

* 通信作者, E-mail: ymhuang1971@nwsuaf.edu.cn

优的缓冲区^[5]. 但是,对于哪种空间尺度土地利用结构与空间格局对水质影响最大,目前尚无共识. 如在太湖流域,缓冲区大小在 500 ~ 100 m 之间的城市用地面积占比与溶解氧、化学需氧量和总磷等许多污染物浓度显著相关^[8];而在洱海流域,小流域尺度下建设用地对河流水质的影响更显著^[9]. 其次,季节变化在一定程度上影响着土地利用特征与水质变量之间的联系^[10]. 例如,有研究发现在亚热带盆地的旱季和雨季,点源污染和非点源分别是主要污染类型^[11];而三峡库区旱季的水质和土地利用指标之间的相关性比雨季更强^[12]. 以上研究的不同结果可归因于各流域水文气候条件和农业活动的差异^[9].

河湟谷地位于青藏高原东北部,是青海省主要农业生产基地^[13],同时也是该省人口最密集的地区^[14],河湟谷地内湟水河作为黄河在青海省最大的一级支流,影响着流域经济社会可持续发展^[15]. 由于当地人类活动导致土地利用强度增加,目前的土地利用结构及空间格局对地表水产生的影响尚不明确. 因此,本文通过野外采样监测、数理统计分析和利用遥感技术进行空间分析等方法,探讨当地不同季节各水系地表水水质情况与不同空间尺度下土地利用结构及其空间布局之间的关系,旨在为区域生态可持续提供科学依据和理论基础.

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样品采集

河湟谷地 (35° ~ 38°N, 100° ~ 103°E) 位于青藏高原与黄土高原的过渡地带,同时也是黄河与湟水河流域的三角地带^[16],属高原干旱、半干旱大陆性气候,降水年内变化较大,包含西宁、互助、湟源、民和和化隆等 14 个市、县,是青海省的政治、经济与文化集中区. 在此区域,黄河流经贵德县、尖扎县、循化撒拉族自治县和民和县等地,湟水河发源于青海省海北藏族自治州海晏县,流经湟源、湟中、西宁、互助、平安、乐都、民和等县、区、市. 湟水河流域总面积 13 435.7 km²,各子流域面积范围为 0.2 ~ 1 157.5 km²;支流众多,水系分布呈羽状和树枝状;支流上游多为水源区,中下游附近多为农田和城镇用地. 径流以降水补给为主,除流域面积大于 500 km² 的较大支流全年有流水外,其他多为时令河^[17]. 研究区内河流在 11 月至次年 2 月降雨量小,为断流期;3、4 和 10 月为平水期;5 ~ 9 月是全年降雨量最大的时期,为丰水期. 近五年研究区不同时期降雨量及径流量见图 1.

研究区位于湟水河流域和黄河流域的民和段,

主要集中在湟源县(湟源)、互助土族自治县(互助)以及民和回族土族自治县(民和)内,三地分别位于湟水流域的上、中、下游,土地利用类型较丰富. 区域内的主要地表水域有:湟水河在湟源县内的一级支流为药水河,二级支流包括申中河、大高岭村河、寺滩河和白水河;湟水河在互助县内的一级支流包括沙塘川河、哈拉直沟和红崖子沟,二级支流包括柏木峡、林川河和姚家沟;湟水河在民和县内一级支流包括松树沟、米拉沟、巴州沟和隆治沟;民和县内重要河流还包括黄河(民和段). 监测断面主要布设在上述干流和支流的上游、中游、下游和交汇处(图 2).

于丰水期(2020 年 8 月 17 至 2020 年 9 月 2 日)和平水期(2021 年 4 月 16 日至 2021 年 4 月 28 日)进行水质监测工作,野外使用哈希 HQ30d 数字化多参数分析仪现场测定 pH、溶解氧、电导率和溶解性总固体(TDS),并采集代表性地表水,每个采样点用聚乙烯瓶取 1.5 L 水样保存并带回实验室用于测定总氮(GB 11894-1989)、氨氮(HJ 535-2009)、总磷(GB 11893-1989)、硝酸盐氮(GB 7480-1987)、高锰酸盐指数(GB 11892-1989)、硫酸盐(HJ/T 342-2007)和氯化物. 丰水期监测采集野外地表水样点 69 个,平水期监测采集野外地表水样点 65 个.

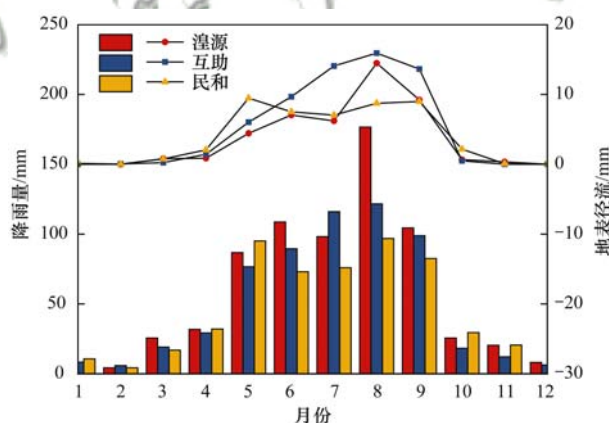


图1 研究区近五年平均降雨量及地表径流情况

Fig. 1 Average rainfall and surface runoff in the study area in recent five years

1.2 水质评价方法

在目前常用的地表水水质评价方法中,国内传统的评价方法不能解决复杂的非线性和不确定问题^[18],而随机森林模型(RF)是一种以决策树为基础模型的集成学习模型^[19],对大规模复杂非线性动态系统具有较强的处理能力^[20]. 该模型通过自助重采样技术(bootstrap)获取样本,生成新的训练样本集合,然后根据基尼值从集合中选择最佳特征进行分割. 最终输出结果通过对所有决策树的输出进行

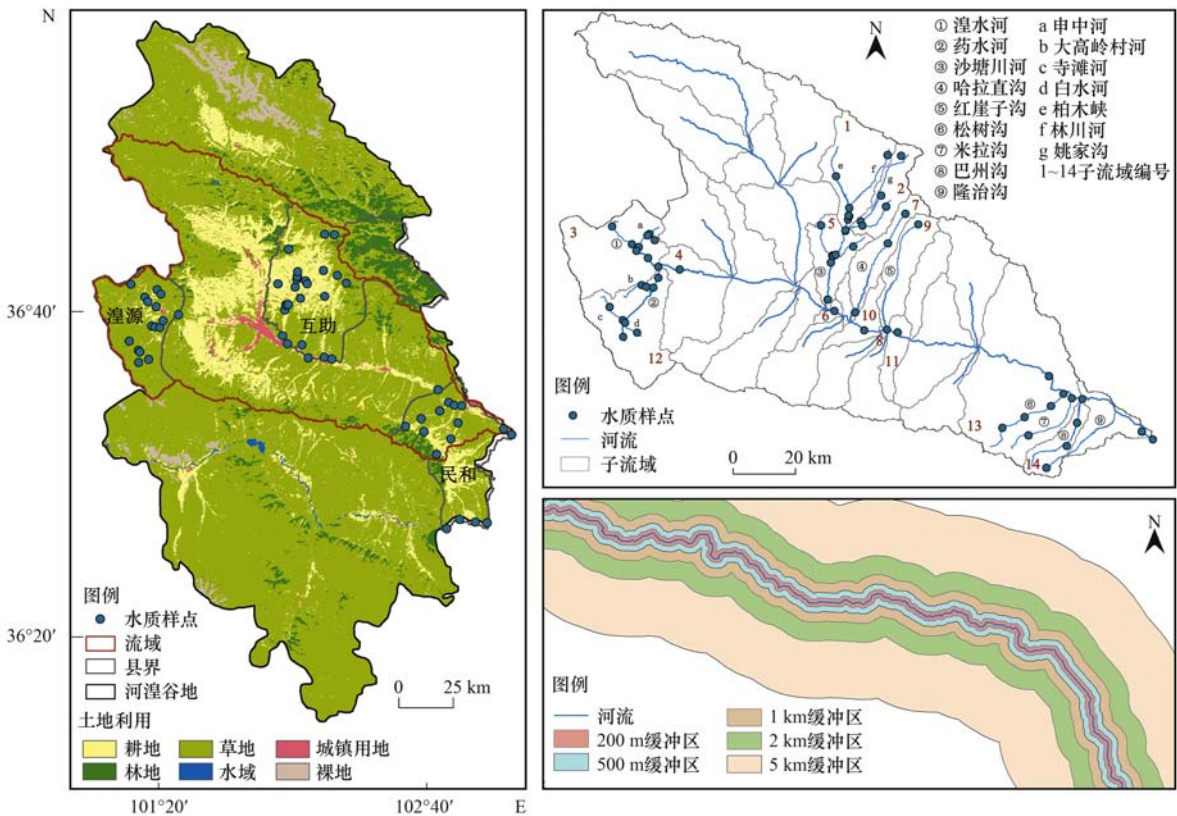


图 2 研究区子流域及缓冲区划分及采样点分布情况示意

Fig. 2 Subwatershed, buffer division, and distribution of sampling points in the study area

投票获得^[21,22]. 本文水质评价模型中的数据来自国家地表水自动监测网站 (<http://106.37.208.243:8068/GJZ/Business/Publish/Main.html>), 共收集了 1 432 个水质数据, 其中 1 000 个水质数据作为训练数据, 432 个数据作为测试数据, 选择 pH、溶解氧、氨氮、总氮、总磷和高锰酸盐指数这 6 个水质参数, 基于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 对水质进行分类, 将水质分为 I ~ V 类水, 并考虑了劣 V 类水的存在. 采用 RMSE、 R^2 、NSE 和 MAE 值对模型的训练结果进行检验. 模型精度检验公式如下:

$$RMSE = \sqrt{n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y - \bar{y})(\hat{y} - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^N (\hat{y} - \bar{\hat{y}})^2}} \right]^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - \hat{y}| \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad (4)$$

式中, y 为真实值, $\bar{y}$ 为真实值的平均值, $\hat{y}$ 为预测值. 检验数据的训练结果见图 3, 其中 $RMSE = 0.37$,

$R^2 = 0.83$, $MAE = 0.11$, $NSE = 0.82$, 因此随机森林算法对水质的预测效果较好, 能够完成对水质的预测工作.

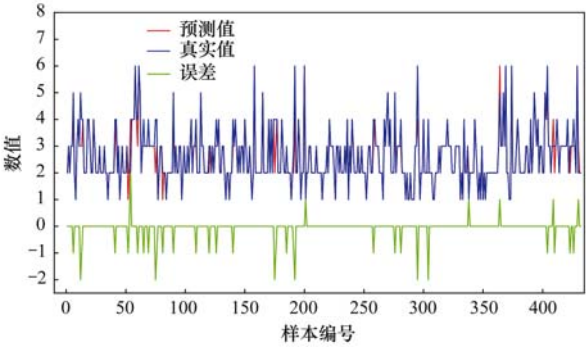


图 3 随机森林模型精度检验结果

Fig. 3 Random forest model accuracy test results

1.3 景观格局指数选取

本文参考国内外已有研究^[23~26], 从表征景观边缘指标、形状指标和聚散性指标中选取了 4 个景观指标如表 1 所示.

1.4 数据处理与统计分析方法

Spearman 相关性分析采用 SPSS 22.0 进行, 各指标用平均值进行计算, 采用 Origin 2018 进行作图, 冗余分析采用 Canoco5 进行, 其中蓝线表示水质指标浓度(变量), 红色表示土地利用面积和景观指数(环境因子), 箭头的长度越长表示该环境因子影

表 1 研究所选取景观指数			
Table 1 Landscape index selected in this study			
指标类型	景观指数	全称	表征含义
边缘指标	LPI	largest patch index	最大斑块占景观面积比例
形状指标	CONTIG_MN	contiguity index	邻近指数
聚散性指标	COHESION	patch cohesion index	整体性(斑块凝聚度)指数
聚散性指标	PD	patch density	斑块密度

响程度越高,环境因子箭头方向与水质指标浓度方向夹角的余弦表示两者的相关程度.文中提到的地表水标准均为国家《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002).土地利用数据来自国家青藏高原科学数据中心的30 m 栅格数据,其中,裸地占比极低,在分析中不作研究.子流域由 ArcGIS 10.5 中 SWAT 插件进行划分,缓冲区由 ArcGIS 10.5 中的 Buffer Wizard 工具进行划分.景观指数是由 ArcGIS 10.5 中提取子流域、缓冲区的栅格地图,并在 Fragstats 4.2 软件中计算获得.

2 结果与分析

2.1 主要水系水质时空分布特征

由图 4 可知,河湟谷地地表水 pH 值全年在 7 ~ 10 之间变化,但是丰水期的值高于平水期;溶解氧(DO)范围主要集中在 6 ~ 12 mg·L⁻¹,平水期的浓

度略高于丰水期;高锰酸盐指数范围为 0.23 ~ 14.17 mg·L⁻¹,共有 6.6% 的样点超过Ⅲ类标准,平水期各样点浓度差异较大; ρ [总氮(TN)]范围为 0.17 ~ 7.87 mg·L⁻¹,平均值为 2.14 mg·L⁻¹,超过Ⅲ类标准; ρ [氨氮(NH₄⁺-N)]范围主要集中在 0.07 ~ 1.96 mg·L⁻¹,共有 10.2% 的样点超过Ⅲ类标准,丰水期浓度略高于平水期,平水期互助县各样点浓度变异系数较大; ρ [硝酸盐氮(NO₃⁻-N)]范围主要集中在 0.02 ~ 7.81 mg·L⁻¹,平水期浓度略高于丰水期,且在互助和民和地区内各样点浓度变异系数大; ρ [总磷(TP)]范围为 0 ~ 4.73 mg·L⁻¹,共有 19.7% 的样点超过Ⅲ类标准,12.4% 的样点超出 V 类标准,相比其他地区,丰水期民和地区总磷浓度变异系数更大;地表水中 ρ [硫酸盐(SO₄²⁻)]范围为 0.27 ~ 535.21 mg·L⁻¹,丰水期互助和民和各样点浓度变异系数较大,平水期的浓度范围更为集中

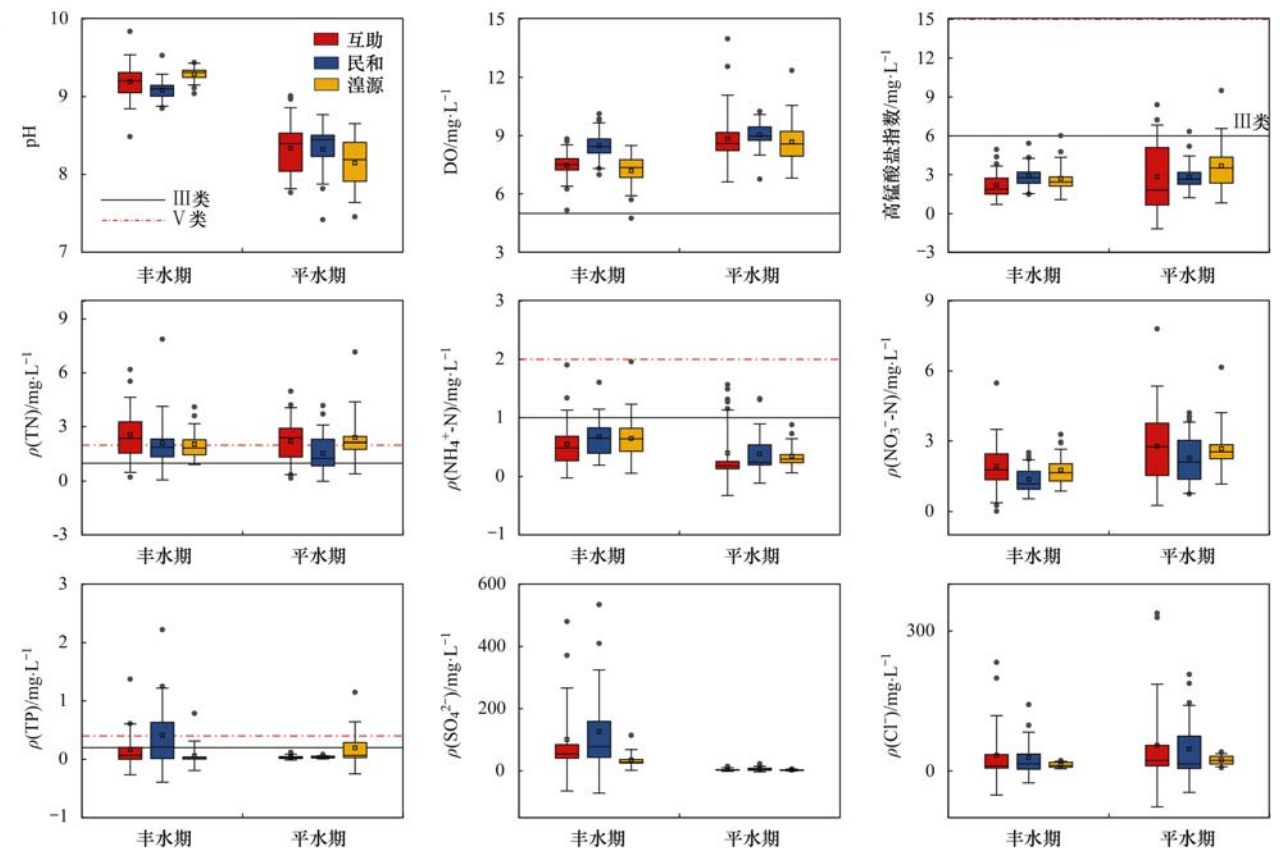


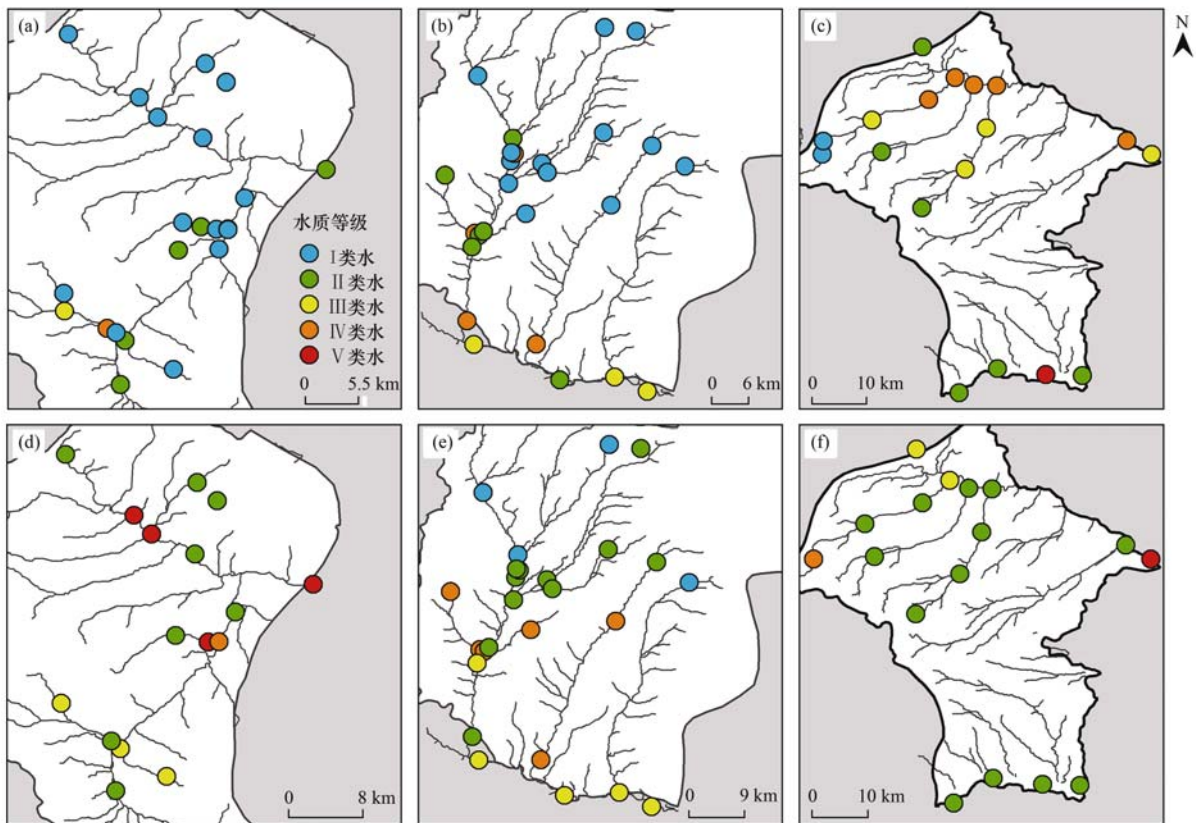
图 4 河湟谷地丰水期及平水期地表水水质指标特征

Fig. 4 Characteristics of surface water quality parameters in Hehuang Valley during wet and normal seasons

($0.27 \sim 23.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); ρ [氯化物(Cl^-)]范围为 $0 \sim 338.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平水期民和地区各样点浓度变异系数较大. 由上述结果可知, 河湟谷地水体中最主要的污染物是总氮和总磷.

随机森林模型对水质评价的结果如图 3 所示, 河湟谷地主要地表水系的水质指标在丰水期和平水期分别共有 32% 和 21% 的样点超过 III 类水标准. 从不同时期来看, 湟源县地表水系丰水期[图 5(a)]

的水质优于平水期[图 5(d)], 互助和民和县的地表水系丰水期[图 5(b)和 5(c)]水质较平水期[图 5(e)和 5(f)]差. 此外, IV、V 类水质多集中于各子河流的下游以及它们与支流的交汇处, 如丰水期互助县 IV 水质多集中于沙塘川河支流交汇处和下游, 民和县 IV 和 V 类水质多出现于松树沟、米拉沟、巴州沟下游和县内湟水河下游; 平水期湟源县 IV 和 V 类水质集中于申中河和大高陵村河下游.



(a) ~ (c) 为丰水期地表水水质评价结果, (d) ~ (f) 为平水期地表水水质评价结果

图 5 随机森林水质评价结果

Fig. 5 Random forest water quality evaluation results

2.2 河湟谷地的土地利用现状

如图 6 所示, 河湟谷地土地利用类型主要以草地和耕地为主, 在河流近距离缓冲区 (200 m、500 m 和 1 km), 耕地占地面积最大; 随着空间尺度变大 (2 km 和 5 km), 河湟谷地土地利用类型变为草地占地面积最大. 与大尺度缓冲区相比, 城镇和水体在近缓冲区占比略大, 并且城镇在流域下游面积占比比较大; 而林地主要集中在该流域的上游和下游地区.

2.3 区域土地利用结构与主要水系水质指标的相关性

RDA 分析结果表明, 在子流域水系中, 丰水期 (图 7) 耕地面积占比与 NH_4^+ -N、TN、 NO_3^- -N 和高锰酸盐指数呈负相关; 草地面积占比与 TP 和高锰

盐指数呈正相关, 与 NO_3^- -N 和 TN 呈负相关; 水域和林地面积占比与 TN、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 呈负相关, 与 TP 呈正相关; 城镇面积占比与水域和林地结果相反. 在平水期 (图 8), 耕地面积占比与 TN 和高锰酸盐指数呈正相关, 与 TP 和 NH_4^+ -N 呈负相关; 林地面积占比与 TP、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 呈负相关; 草地面积占比与 NO_3^- -N、TP 和 NH_4^+ -N 呈负相关; 水域面积占比与 TP、 NO_3^- -N 和 TN 呈负相关; 城镇面积占比与 TN 和高锰酸盐指数呈显著正相关, TP 和 NH_4^+ -N 呈显著负相关.

在各缓冲区尺度下, 丰水期 (图 7) 耕地面积占比在较近距离缓冲区 (200 m ~ 1 km) 与所有污染物浓度呈正相关, 在远距离缓冲区 (2 ~ 5 km) 与污染物浓度呈负相关; 在平水期 (图 8) 各缓冲区内与

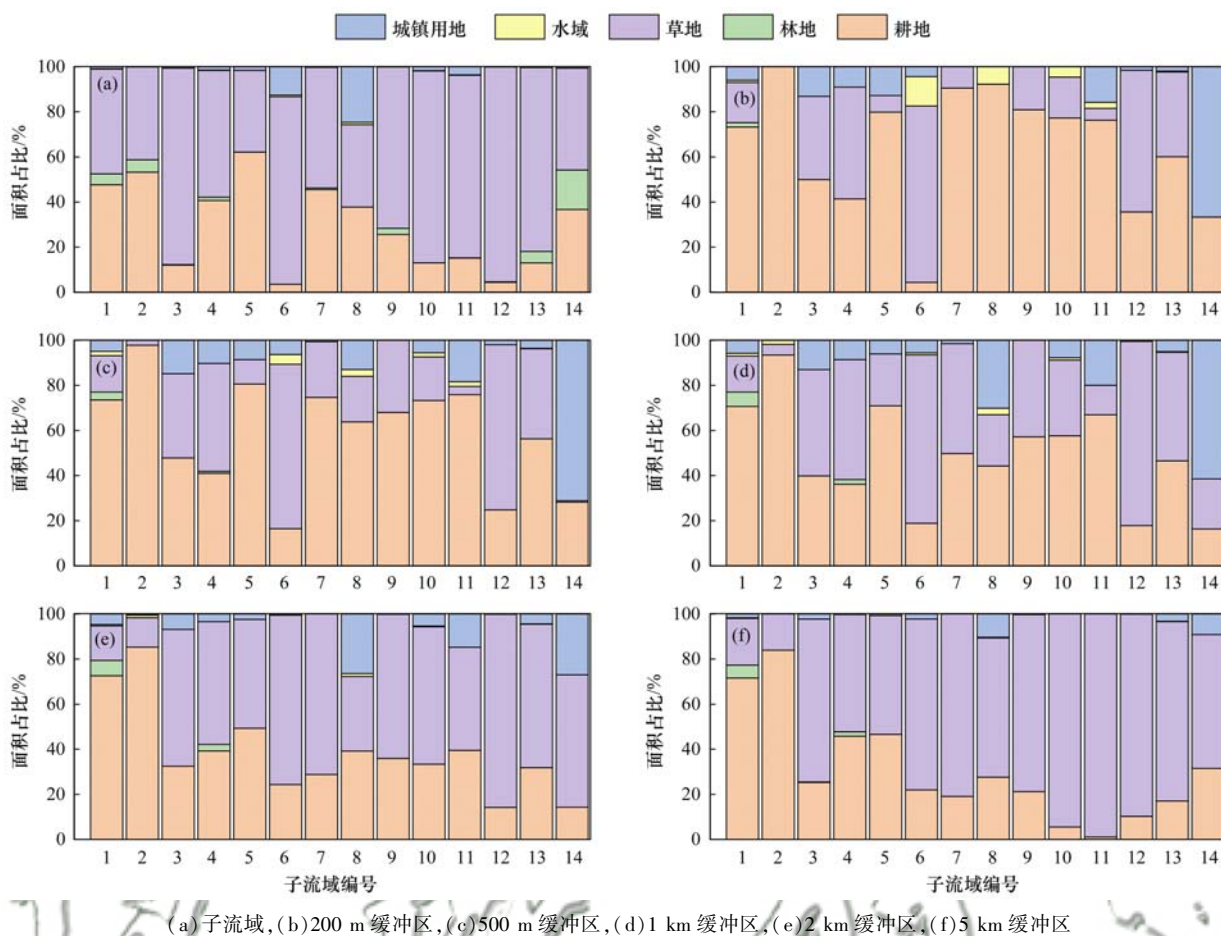


图6 河湟谷地流域上游至下游土地利用类型分布情况

Fig. 6 Distribution of land use types from upstream to downstream in Hehuang Valley basin

TN 和高锰酸盐指数均呈正相关,但相关性逐渐减弱,而与 TP 呈负相关.林地面积占比在两个时期所有缓冲区尺度下与所有水质参数浓度呈负相关.草地面积占比在丰水期 200 m 缓冲区尺度上与高锰酸盐指数呈正相关,与 TN 呈负相关;在 500 m 缓冲区尺度上,与高锰酸盐指数和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈正相关,在远距离缓冲区尺度上(1~5 km),与 TP 和高锰酸盐指数呈正相关;而在平水期,草地面积占比在各缓冲区内与 TP 呈正相关;从近距离缓冲区至远距离缓冲区,与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的相关性由无变为正相关,与 TN 和高锰酸盐指数的相关性由负相关转为正相关.

水域面积占比在丰水期 200 m 缓冲区尺度上与 TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈正相关;在 500 m 缓冲区尺度上与高锰酸盐指数和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈负相关,在远距离缓冲区尺度上(1~5 km),与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和高锰酸盐指数呈负相关,与 TP 的相关性从较弱变为正相关;而在平水期,水域面积占比在各缓冲区内与高锰酸盐和 TN 相关性极弱,与其他指标浓度均为负相关.城镇面积占比在丰水期近距离缓冲区尺度上(200~500 m)与所有污染物浓度呈正

相关,在 1 km 缓冲区尺度上与 TP 和高锰酸盐指数呈正相关,与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 呈负相关,在远距离缓冲区尺度上(2~5 km)与 TP 呈正相关,与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 呈负相关;在平水期近距离缓冲区内(200~500 m)与高锰酸盐指数、TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TP 呈正相关;在远距离缓冲区内(1~5 km),与高锰酸盐指数、TN 均呈正相关,但在 1~5 km 缓冲区内与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 由较弱的相关性变为负相关,与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 呈负相关.

2.4 尺度选取对相关性的影响

由图 9 可知,在所有空间尺度下,丰水期 5 km 缓冲区尺度对河流水质的总解释率最高,平水期 200 m 缓冲区尺度对河流水质的总解释率最高,且平水期解释率高于丰水期.其中,丰水期主要的土地利用类型为林地和草地,平水期主要的耕地利用类型为耕地和城镇.

2.5 景观格局与水质指标的相关性

通过 RDA 分析,耕地、林地、草地、水域和城镇空间格局特征对水质的解释率结果表明(表 2),平水期土地利用类型的空间格局对水质的解释率高于丰水期,最优尺度为 200 m 和 500 m 缓冲区尺度,

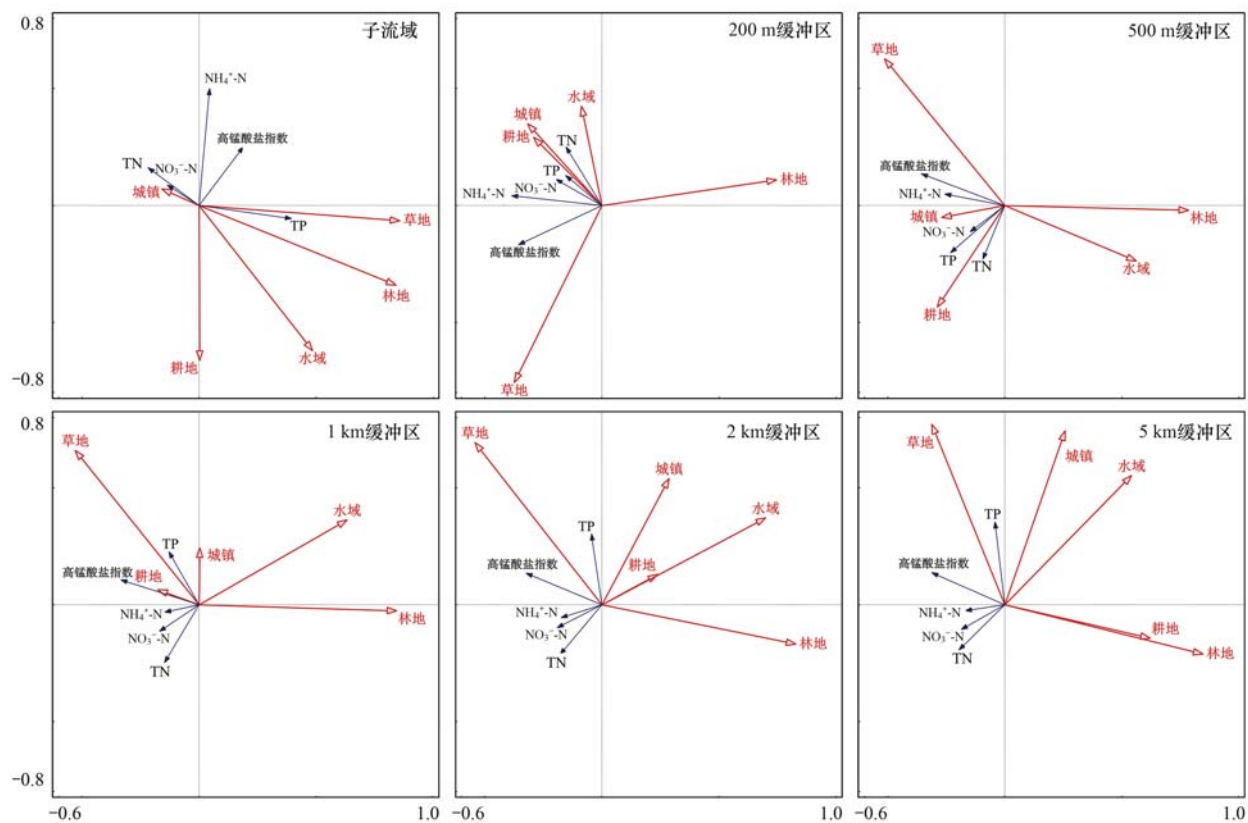


图 7 丰水期水质与土地利用类型 RDA 分析
Fig. 7 RDA analysis of water quality and land use type in wet season

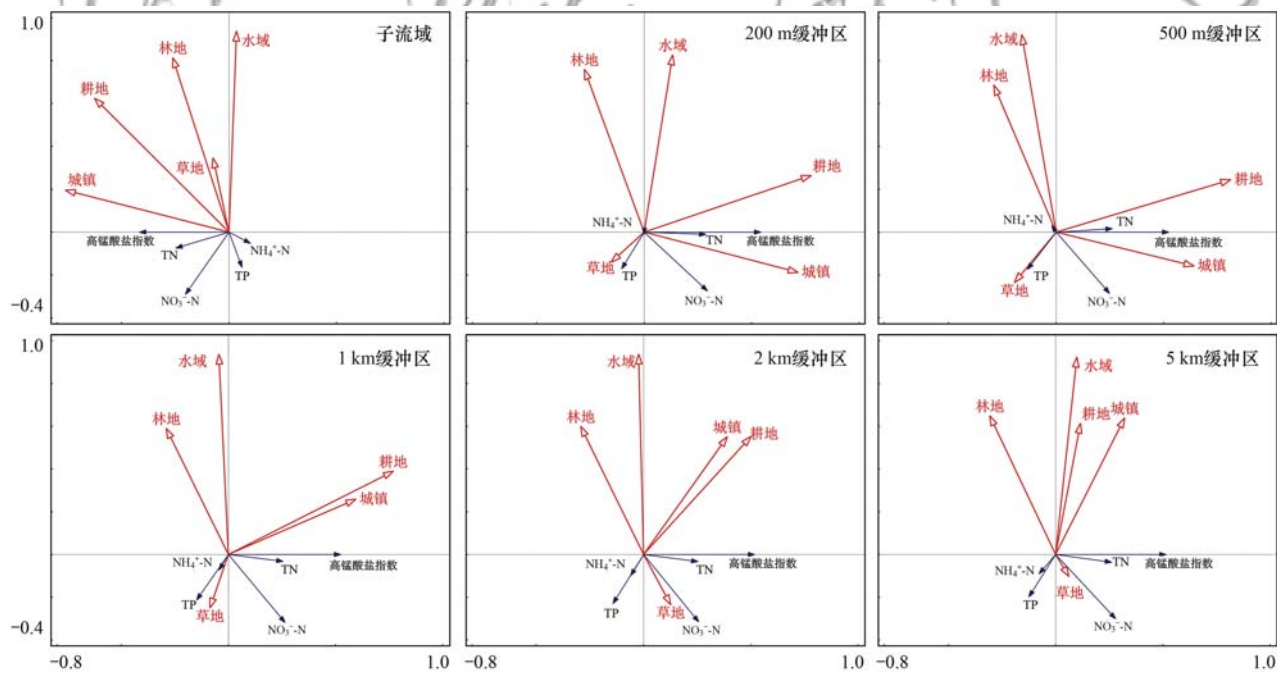


图 8 平水期水质与土地利用类型 RDA 分析
Fig. 8 RDA analysis of water quality and land use type in normal season

且随着缓冲区尺度的增加,解释率变小.在 200 m 缓冲区尺度下,林地的空间格局特征对水质变化的解释能力最高,且 LPI、PD 和 COHESION 为主要的影

响因子,与污染物浓度呈负相关;其次为草地的 CONTIG_MN 指标和水域的 CONTIG_MN 和

COHESION 指标.其中,草地的 CONTIG_MN 指标与高锰酸盐指数、总氮和氨氮浓度呈正相关;水域的 CONTIG_MN 和 COHESION 指标与污染物浓度呈负相关.而在 500 m 缓冲区尺度下,除了林地的 PD 指标与硝酸盐氮、总氮浓度呈正相关,与高锰酸盐

表 2 不同时空尺度土地利用类型的空间格局特征对水质的解释率/%

Table 2 Interpretation rate of spatial pattern characteristics of land use types at different spatial and temporal scales to water quality/%													
土地利用类型	类型指数	丰水期						平水期					
		子流域	200 m	500 m	1 km	2 km	5 km	子流域	200 m	500 m	1 km	2 km	5 km
耕地	LPI	3.4	4.8	4.8	4.8	4.4	3.6	2.2	5.2	5.3	4.9	4.5	3.8
	CONTIG_MN	2.8	0.2	0.8	0.6	0.2	1.7	10.3	4.7	6.6	2.6	3.5	4.8
	COHESION	2	1.9	1.8	1.8	1.8	2.1	3.3	1.9	1.9	1	2.4	3
	PD	1.9	2.3	2.1	2.2	1.7	2.2	3.3	2.3	2.4	0.1	2.4	3.1
	合计	10.1	9.2	9.5	9.4	8.1	9.6	19.1	14.1	16.2	8.6	12.8	14.7
林地	LPI	2.8	3.4	2	2.2	2.4	4.1	3.6	15.9	8.3	5.5	2.8	2
	CONTIG_MN	5	3.8	4	5.4	6.1	5.6	2.4	2.6	2.7	2.4	5.1	3.2
	COHESION	6.5	3.9	3.9	6	6.9	6.3	0.5	6.9	6.9	7.6	9	5.3
	PD	7	4.2	1.6	2.7	3.8	3.8	8.3	10.6	3.8	2.5	1.8	0.8
	合计	21.3	15.3	11.5	16.3	19.2	19.8	14.8	36	21.7	18	18.7	11.3
草地	LPI	1.7	3.5	3.4	3.2	2.9	2.6	2.3	4.1	3.9	5.1	0.2	3.7
	CONTIG_MN	3.4	3.9	6.1	6.3	2	1.5	4.5	11.7	13.2	8.2	1	1.7
	COHESION	3.1	1.1	1.3	2	2.9	1.5	2.9	2.2	2.1	2.4	9	3.6
	PD	3.2	3.6	3.6	3.5	4.2	2.7	2.3	5.6	5.6	7.4	0.7	4
	合计	11.4	12.1	14.4	15	12	8.3	12	23.6	24.8	23.1	10.9	13
水域	LPI	2.1	1.9	2.1	2.1	1.7	1.8	0.9	3.3	3	3.7	4.3	7.2
	CONTIG_MN	0.4	6	6.4	6.2	5.6	5.1	4.3	11.4	11.4	12.7	14.8	9.7
	COHESION	0.2	5.9	6.1	6	5.4	4.8	2.9	9.6	9.5	10.5	12.5	8.4
	PD	2.7	2.7	2.6	2.9	2.2	2.5	0.7	2.5	2.7	2.7	2.3	1.2
	合计	5.4	16.5	17.2	17.2	14.9	14.2	8.8	26.8	26.6	29.6	33.9	26.5
城镇	LPI	4.5	0.6	1	1.2	2.3	4.5	0.7	2.2	2.6	2.4	2.5	0.7
	CONTIG_MN	2.8	2.6	1.1	1	0.7	2.9	3.3	7	3.7	3.1	3.3	14.3
	COHESION	0.7	1.5	3.6	0.7	1.5	0.7	0.8	3.3	0.8	1.7	1	1.8
	PD	4.6	2.7	3.2	3.3	4.3	5	1.5	1	0.9	1	1.7	1.8
	合计	12.6	7.4	8.9	6.2	8.8	13.1	6.3	13.5	8	8.2	8.5	18.6
总计		60.8	60.5	61.5	64.1	63	65	61	114	97.3	87.5	84.8	84.1

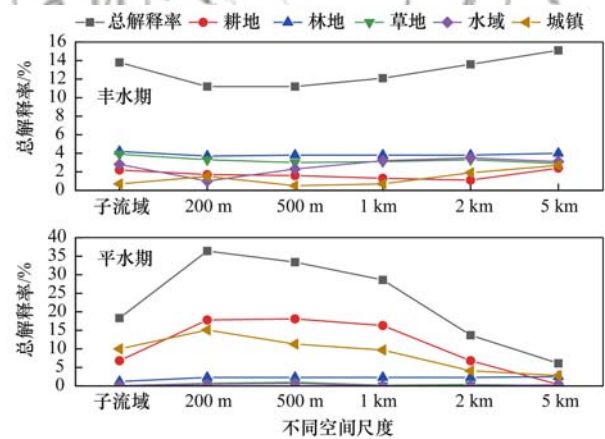


图 9 不同时空尺度下土地利用类型的解释度

Fig. 9 Explained variance of land use types at different spatio-temporal scales

指数无相关性外,其他指标与 200 m 缓冲区尺度结果一致(图 10)。

在平水期,1~5 km 缓冲区尺度下林地、草地和水域的空间格局对水质的解释能力较高。林地在子流域尺度下解释率最高,PD 和 COHESION 为主要的影

响因子。CONTIG_MN 和 COHESION 指标为主要的影

3 讨论

3.1 区域水质对土地利用结构的响应

本研究中,耕地面积占比在平水期与总氮浓度和高锰酸盐指数呈正相关,说明耕地是水体潜在污染物的“源”。由于耕作和施肥等农业活动,土壤中氮、无机物和农药等残留含量高^[27],其中大量的污染物经过降雨或者灌溉冲刷后随径流输入河流,导致水体水质下降^[28,29]。值得注意的是,在平水期远距离缓冲区耕地与总磷呈负相关,这与已有研究结果相反^[30]。这主要是因为大部分磷不易淋溶流失,且土壤具有吸附养分的能力,从而截留纳污,且平水期降雨少,随着耕地距河流的距离增加,更多的磷被保留和累积在土壤中^[31,32]。本研究还发现,林地面积占比在丰水期和平水期均与污染物呈负相关,城镇面积占比在平水期 200~500 m 缓冲区尺度下与多数污染物浓度呈正相关,与芦山县清源河流域^[29]、流溪河流域^[33]和赣江流域^[34]等地的研究结果相同,这说明林地对水质有很好的净化作用,是水体污染物的“汇”,而城镇会产生大量工业或者生活

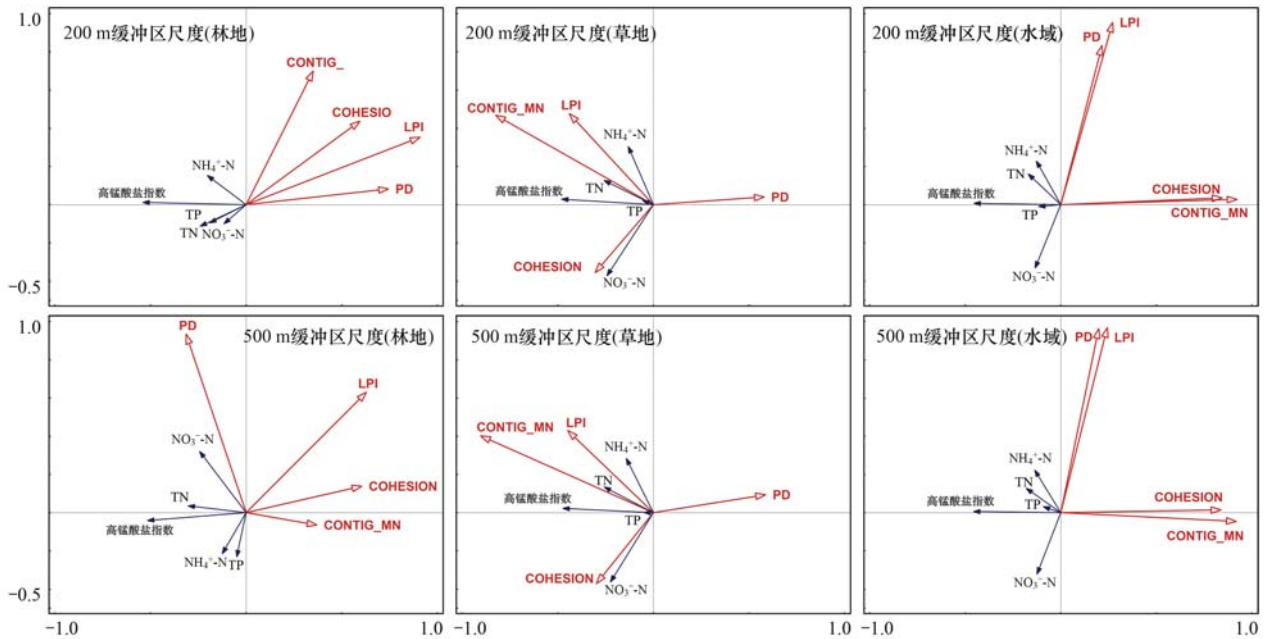


图 10 平水期 200 m 和 500 m 缓冲区尺度下林地、草地和水域的景观指数与水质的 RDA 分析

Fig. 10 RDA analysis of landscape index and water quality of forestland, grassland, and watershed at 200 m and 500 m buffer scales in normal season

废物^[1],这些废物可能含有有机污染物、重金属和营养物质,从而影响水质^[35]。

此外,尚有一些土地利用与水质的相关性存在一定的不确定性.本文结果发现,草地在丰水期解释率较高的子流域以及 5 km 缓冲区尺度下,均与高锰酸盐指数呈正相关.然而,有研究将草地这一土地利用类型视为“汇”景观,认为其对水质中的污染物能起到截留纳污的作用^[36];也有研究与本文的结论一致,由于草地管理方式不当或者水土流失等问题,污染物经过降雨或径流冲刷进入水体,造成水质恶化^[37,38],即草地是水体污染物的“源”.结合河湟谷地的具体情况,该地区存在放牧的现象,由于密集放牧,土壤结构变得松散,破坏了草地净化径流的效果^[10].另外,在本研究中,水域面积占比在丰水期与氮类浓度呈负相关,这与赣江流域及袁河流域等地的研究结果不同^[30,34],他们认为水域是总磷、高锰酸盐指数和氨氮等污染物的重要来源.而本文中的负相关关系可以解释为水域面积增加,同时丰水期降雨量也在增加,水体通过自净作用可降解和稀释污染物,从而改善水质^[39]。

3.2 水质对景观格局的响应关系

在本研究流域内,不同土地利用类型的景观指数对河湟谷地水质的总解释率均大于 60%,其中平水期 200 m 缓冲区尺度下景观格局指数对水质变化总解释值甚至超过 100%,这是由于此处的解释率为影响因子的单独效应,即每个环境因子单独做解释变量时的解释率(校正 R^2),如果解释变量之间存在

共线性,那么解释变量之间便存在共同解释部分^[40].由此可知土地利用的空间格局与水质最相关的空间尺度为 200 m 缓冲区,该尺度的缓冲区内林地的 LPI 和 PD、草地和水域的 CONTIG_MN 对水质影响最大.本文中林地 LPI 和 PD 指数均与水质呈负相关,这说明在河湟谷地,林地作为重要“汇”景观,其高聚集度的空间结构特征能对入河径流起到一定的净化作用^[28,41].而草地的 CONTIG_MN 指标与污染物浓度呈正相关,说明在河湟谷地,草地作为污染物的“源”景观,草地的聚集度越高,水质越差.因此,提高河岸带周边的林地覆盖率可以有效提升该类土地利用类型对地表径流中污染物质的沉淀、过滤和降解的效果,是净化水质的重要措施。

3.3 土地利用结构和景观格局与水质关系的季节效应

考虑到降水及地表径流对水质的影响,本研究统计了 3 个县市 2015 ~ 2020 年的平均月降水量和径流量(图 1),对比发现,3 个县市近五年降雨量及径流不存在显著差异,即湟源县、互助县和民和县具有相同的气候条件,地理位置的差异不会对季节效应产生影响。

本文结果发现,平水期土地利用结构和景观格局指数对水质的解释率均高于丰水期,这与洱海流域^[42]、潭江流域^[36]和鄱阳湖^[26]的研究结果不同,可能与不同流域物理性质、土地利用和人类活动的差异^[43]有关.结合河湟谷地气候及农业耕作实际情况来看,4 月是当地的平水期,而此时正是密集农

业活动以及灌溉的时期^[44], 耕地使用强度增加, 人类活动的干扰更为强烈. 同时, 在本区域, 平水期的降雨量显著偏低, 径流小, 水质受气候等自然因素的影响小^[45], 主要受人为因素干扰.

本研究中, 湟源县平水期水质劣于丰水期, IV 和 V 类水质多出现在支流下游, 通过 RDA 分析得出, 平水期耕地和城镇为主要的因子. 这与样点附近土地利用结构和格局有关. 在平水期, 湟源县上游因存在冰雪融水, 径流相对增加, 且林地较为集中, 水质状况较好. 在下游地区, 土地利用类型多为耕地和城镇, 平水期为当地施肥、播种以及灌溉的时期, 农业耕作产生了氮、磷等污染物, 而灌溉不当可能使这些营养物质流入河流; 城镇面积占比较大, 生活污水处理不当也可能使流域内水质变差. 同时由于降水显著偏低, 污染物的稀释作用降低, 径流流速相对较慢, 在下游地区一定程度上导致了污染物的滞留^[46].

互助县和民和县丰水期水质劣于平水期, IV 和 V 类水质多出现在沙塘川河支流下游、哈拉直沟中游和民和县干流下游, 且景观格局中林地的 LPI 和 PD 指数为主要影响因素. 这是因为, 在互助县和民和县, 林地主要集中在该流域的上游, 下游林地面积占比小且格局破碎. 因此, 在丰水期径流增加时, 植被无法及时拦截、吸附径流中携带的污染物^[10], 从而削弱了丰水期土地利用空间格局对污染物的调节作用.

可见, 发展绿色农业, 调整河岸周边的土地利用结构和提高河岸带林地覆盖率有望进一步提高河湟谷地区域水质.

4 结论

(1) 河湟谷地水体中总氮、总磷浓度偏高, 丰水期和平水期分别共有 32%、21% 的样点超过 III 类水标准, IV 和 V 类水质多集中于河流下游和各支流交汇处.

(2) 河湟谷地平水期土地利用对水质的解释率高于丰水期, 且耕地和城镇为主要的因子. 丰水期子流域与 5 km 缓冲区尺度下, 林地与水质的联系较强; 平水期 200 m 和 500 m 缓冲区尺度下, 耕地和城镇与水质的联系较强.

(3) 平水期, 耕地作为污染物“源”景观的同时, 在一定程度上也起到拦截污染物的作用; 城镇中居民生活或工业产生的污染物对水质存在负面影响. 丰水期由于流域内草地管理方式不当或者土壤侵蚀, 导致污染物进入水体; 下游林地破碎度增加使其净化作用减弱.

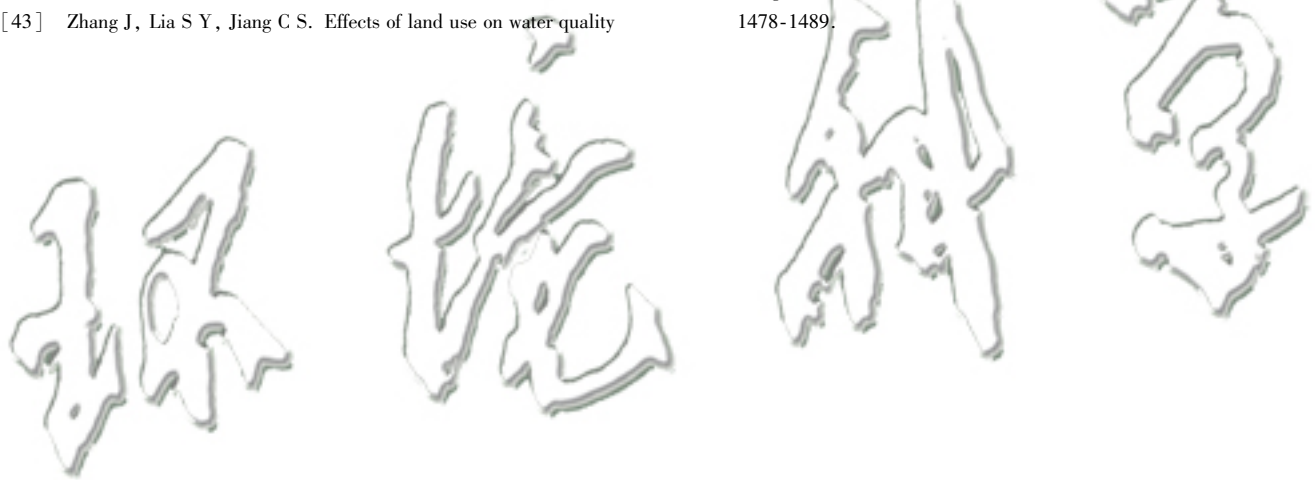
(4) 植被高聚集度的空间结构特征能对入河径流起到一定的净化作用. 提高河岸带周边的林地覆盖率是净化河湟谷地地表水水质的重要措施.

参考文献:

- [1] Gu Q, Hu H, Ma L G, *et al.* Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach [J]. *Ecological Indicators*, 2019, **102**, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.03.017.
- [2] Nobre R L G, Caliman A, Cabral C R, *et al.* Precipitation, landscape properties and land use interactively affect water quality of tropical freshwaters [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **716**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137044.
- [3] 姜畅, 刘鸿雁, 陈竹, 等. 基于 GIS 的红枫湖流域土地利用变化与水质响应 [J]. *农业环境科学学报*, 2018, **37** (6): 1232-1239.
- [4] Jiang C, Liu H Y, Chen Z, *et al.* Response relationship between land-use change and water quality in Hongfeng Lake basin based on GIS [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, **37** (6): 1232-1239.
- [5] Shehab Z N, Jamil N R, Aris A Z, *et al.* Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia [J]. *Ecological Indicators*, 2021, **122**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107254.
- [6] Guo Q H, Ma K M, Yang L, *et al.* Testing a dynamic complex hypothesis in the analysis of land use impact on lake water quality [J]. *Water Resources Management*, 2010, **24** (7): 1313-1332.
- [7] Shi P, Zhang Y, Li Z B, *et al.* Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales [J]. *CATENA*, 2017, **151**: 182-190.
- [8] Wu J H, Lu J. Spatial scale effects of landscape metrics on stream water quality and their seasonal changes [J]. *Water Research*, 2021, **191**, doi: 10.1016/j.watres.2021.116811.
- [9] Deng X J. Influence of water body area on water quality in the southern Jiangsu Plain, eastern China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, **254**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120136.
- [10] 项颂, 庞燕, 窦嘉顺, 等. 不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响 [J]. *生态学报*, 2018, **38** (3): 876-885.
- [11] Xiang S, Pang Y, Dou J S, *et al.* Impact of land use on the water quality of inflow river to Erhai Lake at different temporal and spatial scales [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38** (3): 876-885.
- [12] Yu S Y, Xu Z X, Wu W, *et al.* Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin, China [J]. *Ecological Indicators*, 2016, **60**: 202-212.
- [13] Bu H M, Meng W, Zhang Y, *et al.* Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China [J]. *Ecological Indicators*, 2014, **41**: 187-197.
- [14] Xu J H, Liu R, Ni M F, *et al.* Seasonal variations of water quality response to land use metrics at multi-spatial scales in the Yangtze River basin [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28** (28): 37172-37181.
- [15] 陈有禄, 周强, 陈琼, 等. 近 20 年河湟谷地粮食作物种植结构对气候变化的响应 [J]. *干旱地区农业研究*, 2018, **36** (5): 223-229, 241.
- [16] Chen Y L, Zhou Q, Chen Q, *et al.* The response of grain crops in Hehuang Valley to the climate change nearly 20 years [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, **36** (5): 223-229, 241.

- [14] 张懿铨, 刘林山, 王兆锋, 等. 青藏高原土地利用与覆被变化的时空特征[J]. 科学通报, 2019, **64**(27): 2865-2875.
Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F, *et al.* Spatial and temporal characteristics of land use and cover changes in the Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2019, **64**(27): 2865-2875.
- [15] 李桂珍. 湟水流域水环境综合治理的对策思考[J]. 青海环境, 2017, **27**(1): 17-19.
- [16] 赵丹阳, 曾永年. 青海高原东部河湟谷地生态风险评价——以海东市为例[J]. 中国沙漠, 2016, **36**(4): 1190-1197.
Zhao D Y, Zeng Y N. Land use changes and ecological risk assessment in eastern Qinghai Plateau: a case study in Haidong, Qinghai, China[J]. Journal of Desert Research, 2016, **36**(4): 1190-1197.
- [17] 谢有仁. 湟水流域水系组成及分布特征[J]. 水利科技与经济, 2011, **17**(1): 72-73.
- [18] Oladipo J O, Akinwumiju A S, Aboyeji O S, *et al.* Comparison between fuzzy logic and water quality index methods: a case of water quality assessment in Ikare community, Southwestern Nigeria[J]. Environmental Challenges, 2021, **3**, doi: 10.1016/j.enve.2021.100038.
- [19] Breiman L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, **45**(1): 5-32.
- [20] 吴敏, 温小虎, 冯起, 等. 基于随机森林模型的干旱绿洲区张掖盆地地下水水质评价[J]. 中国沙漠, 2018, **38**(3): 657-663.
Wu M, Wen X H, Feng Q, *et al.* Assessment of groundwater quality based on Random Forest model in arid oasis area[J]. Journal of Desert Research, 2018, **38**(3): 657-663.
- [21] Chen K Y, Chen H X, Zhou C L, *et al.* Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data[J]. Water Research, 2020, **171**, doi: 10.1016/j.watres.2019.115454.
- [22] Bui D T, Khosravi K, Tiefenbacher J, *et al.* Improving prediction of water quality indices using novel hybrid machine-learning algorithms[J]. Science of the Total Environment, 2020, **721**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137612.
- [23] Liu H Y, Meng C, Wang Y, *et al.* From landscape perspective to determine joint effect of land use, soil, and topography on seasonal stream water quality in subtropical agricultural catchments[J]. Science of the Total Environment, 2021, **783**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147047.
- [24] Wang Y D, Liu X L, Wang T, *et al.* Relating land-use/land-cover patterns to water quality in watersheds based on the structural equation modeling[J]. CATENA, 2021, **206**, doi: 10.1016/j.catena.2021.105566.
- [25] Chen Z K, An C J, Tan Q, *et al.* Spatiotemporal analysis of land use pattern and stream water quality in southern Alberta, Canada[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2021, **242**, doi: 10.1016/j.jconhyd.2021.103852.
- [26] 徐启渝, 王鹏, 王涛, 等. 土地利用结构与景观格局对鄱阳湖流域赣江水质的影响[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(4): 1008-1019.
Xu Q Y, Wang P, Wang T, *et al.* Investigation of the impacts of land use structure and landscape pattern on water quality in the Ganjiang River, Lake Poyang Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(4): 1008-1019.
- [27] Mishra A, Alnahit A, Campbell B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: a review and analysis[J]. Journal of Hydrology, 2021, **596**, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125707.
- [28] 王杰, 李鹏, 高海东, 等. 丹江上游土地利用/景观指数与水质关系初探[J]. 水土保持研究, 2018, **25**(6): 383-389.
Wang J, Li P, Gao H D, *et al.* Preliminary study on the relationship between land use/landscape index and water quality in the upper reaches of Danjiang River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, **25**(6): 383-389.
- [29] 彭勃, 付永胜, 赵君凤, 等. 小流域土地利用景观格局对水质的影响[J]. 生态科学, 2019, **38**(3): 90-99.
Peng B, Fu Y S, Zhao J F, *et al.* Effect of land use landscape pattern on water quality in small watershed[J]. Ecological Science, 2019, **38**(3): 90-99.
- [30] 黄益平, 王鹏, 徐启渝, 等. 袁河流域土地利用方式对河流水体碳、氮、磷的影响[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(9): 2132-2142.
Huang Y P, Wang P, Xu Q Y, *et al.* Influence of land use on carbon, nitrogen and phosphorus in water of Yuan river basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2021, **34**(9): 2132-2142.
- [31] Zhang W S, Swaney D P, Hong B, *et al.* Anthropogenic phosphorus inputs to a river basin and their impacts on phosphorus fluxes along its upstream-downstream continuum[J]. Journal of Geophysical Research, 2017, **122**(12): 3273-3287.
- [32] Li Y, Yen H, Lei Q L, *et al.* Impact of human activities on phosphorus flows on an early eutrophic plateau: a case study in Southwest China[J]. Science of the Total Environment, 2020, **714**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136851.
- [33] 吉冬青, 文雅, 魏建兵, 等. 流溪河流域景观空间特征与河流水质的关联分析[J]. 生态学报, 2015, **35**(2): 246-253.
Ji D Q, Wen Y, Wei J B, *et al.* Relationships between landscape spatial characteristics and surface water quality in the Liu Xi river watershed[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, **35**(2): 246-253.
- [34] 王鹏, 齐述华, 陈波. 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(13): 4326-4337.
Wang P, Qi S H, Chen B. Influence of land use on river water quality in the Ganjiang Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, **35**(13): 4326-4337.
- [35] Zhang Y Y, Xia J, Yu J J, *et al.* Simulation and assessment of urbanization impacts on runoff metrics: insights from landuse changes[J]. Journal of Hydrology, 2018, **560**, doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.03.031.
- [36] 唐廉, 胡晓辉, 权冠中, 等. 潭江流域水质时空分布特征及其与土地利用的相关性分析[J]. 地球与环境, 2018, **46**(4): 364-372.
Tang L, Hu X H, Quan G Z, *et al.* Spatiotemporal distribution of water quality in the Tanjiang river and its correlation with the land use[J]. Earth and Environment, 2018, **46**(4): 364-372.
- [37] 于松延, 徐宗学, 武玮, 等. 北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(5): 1309-1315.
Yu S Y, Xu Z X, Wu W, *et al.* Spatial variation of water quality and its response to landuse in the Beiluo River Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, **34**(5): 1309-1315.
- [38] 李艳利, 徐宗学, 李艳粉. 浑太河流域多尺度土地利用/景观格局与水质响应关系初步分析[J]. 地球与环境, 2012, **40**(4): 573-583.
Li Y L, Xu Z X, Li Y F. A preliminary study on the relationship between multi-scale land use & landscape and river water quality response in the Huntai watershed[J]. Earth and Environment, 2012, **40**(4): 573-583.

- [39] 曹晓峰, 孙金华, 黄艺. 滇池流域土地利用景观空间格局对水质的影响[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(2): 364-369.
Cao X F, Sun J H, Huang Y. The impact of landscape pattern on water quality in Lake Dianchi watershed [J]. Ecology and Environment Sciences, 2012, **21**(2): 364-369.
- [40] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco5 介绍[J]. 生物多样性, 2013, **21**(6): 765-768.
Lai J S. Canoco 5: a new version of an ecological multivariate data ordination program [J]. Biodiversity Science, 2013, **21**(6): 765-768.
- [41] Lei C G, Wagner P D, Fohrer N. Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment [J]. Ecological Indicators, 2021, **120**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106940.
- [42] 庞燕, 项颂, 储昭升, 等. 洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究[J]. 环境科学, 2015, **36**(11): 4005-4012.
Pang Y, Xiang S, Chu Z S, *et al.* Relationship between agricultural land and water quality of inflow river in Erhai Lake basin [J]. Environmental Science, 2015, **36**(11): 4005-4012.
- [43] Zhang J, Lia S Y, Jiang C S. Effects of land use on water quality in a River Basin (Daning) of the Three Gorges Reservoir Area, China: watershed versus riparian zone[J]. Ecological Indicators, 2020, **113**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106226.
- [44] 陈锐杰, 周强, 刘峰贵, 等. 气候变化对青海河湟谷地粮食产量的贡献[J]. 湖北农业科学, 2018, **57**(12): 114-119.
Chen R J, Zhou Q, Liu F G, *et al.* Contribution of climate change to food yield in Yellow River-Huangshui River valley[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, **57**(12): 114-119.
- [45] 项颂, 庞燕, 储昭升, 等. 入湖河流水质对土地利用时空格局的响应研究: 以洱海北部流域为例[J]. 环境科学, 2016, **37**(8): 2947-2956.
Xiang S, Pang Y, Chu Z S, *et al.* Response of inflow water quality to land use pattern in Northern watershed of Lake Erhai [J]. Environmental Science, 2016, **37**(8): 2947-2956.
- [46] 范雅双, 于婉晴, 张婧, 等. 太湖上游水源区河流水质对景观格局变化的响应关系——以东苕溪上游为例[J]. 湖泊科学, 2021, **33**(5): 1478-1489.
Fan Y S, Yu W Q, Zhang J, *et al.* Response of water quality to landscape pattern change in the water source area of upper reaches of Lake Taihu: a case study in the upper reaches of Dongtiaoxi River[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, **33**(5): 1478-1489.



CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution in Beijing During the Historical Period of the 2022 Olympic Winter Games	LIU Yue-chen, MAN Rui-qi, QIU Yan-ting, <i>et al.</i> (3895)
Observation Analyses of Aerosol Size Distribution Properties from February to March, 2019 in Tianjin Urban Area	HAO Jian, CAI Zi-ying, LIU Jing-le, <i>et al.</i> (3903)
Analysis of Typical Weather Circulation Patterns of Heavy PM _{2.5} Pollution and the Transport Pattern in the Yangtze River Middle Basin	WANG Ying, ZHI Xie-fei, BAI Yong-qing, <i>et al.</i> (3913)
Characteristics of Heavy Metals and Other Elements in Atmospheric Dry and Wet Deposition and Health Risk Assessment of a Typical Industrial and Mining City in Central Yunnan	FAN Chen-zi, LIU Yong-bing, YUAN Ji-hai, <i>et al.</i> (3923)
Characteristics and Reactivity of VOCs in a Typical Industrial City in Summer	QIN Tao, LI Li-ming, WANG Xin-wu, <i>et al.</i> (3934)
Chemical Reaction Activity and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Summer in Dalian	ZHU Ke-xin, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3944)
One-year Simulation of Air Pollution in Central China, Characteristics, Distribution, Inner Region Cross-transmission, and Pathway Research in 18 Cities	LIU Guang-jin, SU Fang-cheng, XU Qi-xiang, <i>et al.</i> (3953)
Characteristics of Ozone Pollution, Meteorological Impact, and Evaluation of Forecasting Results Based on a Neural Network Model in Beijing-Tianjin-Hebei Region	ZHU Yuan-yuan, LIU Bing, GUI Hai-lin, <i>et al.</i> (3966)
Temporal and Spatial Variations in Black Carbon Aerosol in Different Atmospheric Background Stations in China from 2006 to 2020	WANG Hong-lei, YAN Xue, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (3977)
Pollution Characteristics and Emission Factors of PCDD/Fs from Iron and Steel Industry	YANG Yan-yan, XIE Dan-ping, FU Jian-ping, <i>et al.</i> (3990)
Community Composition and Assessment of the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae in the Yangtze River Basin	HU Yu-xin, CAO Liang, QU Ren-chao, <i>et al.</i> (3998)
Evaluation and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Sediments of the Yellow River Basin Based on Monte Carlo Simulation and PMF Model	PANG Kuo, LI Min, LIU Lu, <i>et al.</i> (4008)
Retention Effect of Heavy Metals in Rivers of a Typical Mountainous City by Cascade Weirs; A Case Study of Liangtan River in Chongqing	WANG Chao, JIA Bo-yang, PAN Cheng-yong, <i>et al.</i> (4018)
Estimation of Agricultural Non-point Source TN and TP Export Coefficients Based on Soil Loss	WANG You-xiao, HUANG Chong, LIU Gao-huan, <i>et al.</i> (4032)
Influence of Land Use and Land Cover Patterns on Water Quality at Different Spatio-temporal Scales in Hehuang Valley	LI Hao-hao, HUANG Yi-mei, GUO Wei, <i>et al.</i> (4042)
Groundwater Pollution Source Identification by Combination of PMF Model and Stable Isotope Technology	ZHANG Han, DU Xin-yu, GAO Fei, <i>et al.</i> (4054)
Antibiotic Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment in Jinjiang River Basin, Jiangxi Province	LI Jia-le, WANG Meng, HU Fa-wang, <i>et al.</i> (4064)
Screening and Control Measures for New Priority Pollutants in Surface Water of Tianjin	WU Yan-qi, SONG Shuai, SHI Ya-juan, <i>et al.</i> (4074)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Third Drain of Ningxia	LI Fu-juan, GAO Li, LI Ling-yun, <i>et al.</i> (4087)
Analysis of the Seasonal Changes in Planktonic Microbial Diversity in Urban River Supplied with Reclaimed Water: A Case Study of the North Canal River	YUAN Xun-chao, WANG Min, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (4097)
Spectroscopic and Molecular Characterization of Water Soluble Organic Matter from Sediments in the Macrophyte-dominated and Algae-dominated Zones of Taihu Lake	DU Ying-xun, DAI Jia-ru, ZHANG Qiao-ying, <i>et al.</i> (4108)
Emission of Nitrous Oxide (N ₂ O) from Lake Taihu and the Corresponding Potential Driving Factors	LIU Chao-rong, ZHU Jun-yu, LI Yu-yang, <i>et al.</i> (4118)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Bioretention Systems of Sponge Cities	LEI Xiao-ling, QIU Li-na, WEI Ze-jun, <i>et al.</i> (4127)
Treatment Effect of Corncob and Rice Straw Enhanced Subsurface Flow Constructed Wetland on Low C/N Ratio Wastewater	HU Man-li, HAO Qing-ju, MA Rong-zhen, <i>et al.</i> (4136)
Investigation of the Performance of Organic Contaminant Degradation by Fe ²⁺ /PDS Under Environmentally Relevant pH Conditions	LIU Ying, GUO Yi-wei, QIAO Jun-lian, <i>et al.</i> (4146)
Typical Pesticide Residues and Their Risk Assessment in Farmland Environment of Different Plant Types in Shayu County, Xinjiang	XIE Xuan-xuan, NUERLA Ailijiang, BALATI Maihemuti, <i>et al.</i> (4154)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Manure and Surrounding Soil of Poultry Farm in Ningxia	SHEN Cong, ZHANG Jun-hua, LIU Ji-li, <i>et al.</i> (4166)
Enrichment Factors of Soil-Se in the Farmland in Shizuishan City, Ningxia	WANG Ying, LIU Hai-yan, WANG Ze-jing, <i>et al.</i> (4179)
Zoning and Safe Utilization Method of Heavy Metal Contaminated Cultivated Land at Block Scale	WANG Rui, YU Jing, LI Yu, <i>et al.</i> (4190)
Spatial Distribution, Source Apportionment, and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Jiangshugongmi Producing Area, Shandong Province	YU Lin-song, WAN Fang, FAN Hai-yin, <i>et al.</i> (4199)
Assessing the Lead Accumulation Risks of Wheat Grain by Developing a Source-Specific Accumulation Risk Assessment Model	YANG Yang, LI Yan-ling, NIU Shuo, <i>et al.</i> (4212)
Accumulation Effects and Health Risks of Heavy Metals in Rice in Location-based Cadmium Anomaly Area in Liuzhou	ZHU Liang-liang, WANG Fu-peng, TANG Le-bin, <i>et al.</i> (4219)
Accumulation and Transport Characteristics of Cd, Pb, Zn, and As in Different Maize Varieties	REN Chao, XIAO Jian-hui, LI Jing-tian, <i>et al.</i> (4232)
Remediation Potential of <i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin on Lead and Cadmium Contaminated Farmland Soil	ZHANG Heng, XIONG Ming-biao, WANG Qian-xin, <i>et al.</i> (4253)
Remediation Potential of Three Dwarf Bamboos on Farmland Soils Contaminated with Mixed Heavy Metals	ZHANG Ying, ZHAO Xin, ZHANG Sheng-hu, <i>et al.</i> (4262)
Impacts of Uptake and Accumulation of Cd on Double Rice-Paddy Soil by Silicon Fertilizer Continuous Application	PENG Hua, DENG Kai, SHI Yu, <i>et al.</i> (4271)
Effect of Modified Chitosan Loaded with Silica on Arsenic Uptake and Transport in Rice	YANG Jia-yi, SUN Meng-qiang, XIAO Yu-tang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Chelating Agents and Organic Acids on Remediation of Cadmium and Arsenic Complex Contaminated Soil Using <i>Xanthium sibiricum</i>	ZHANG Ya-rui, HUANG Yi-zong, BAO Qiong-li, <i>et al.</i> (4292)
Effects of Water Management on the Transformation of Iron Oxide Forms in Paddy Soils and Its Coupling with Changes in Cadmium Activity	LI Ming-yuan, ZHANG Xiao-ting, LIU Han-yi, <i>et al.</i> (4301)
Effects of Iron Intensity-regulated Root Microbial Community Structure and Function on Cadmium Accumulation in Rice	ZHENG Shen, HUANG Dao-you, LI Bo, <i>et al.</i> (4313)
Effects of Mulching and Slow-release Fertilizer Application Reduction on Soil Microbial Community Structure in Rapeseed Field Under Two Different Rainfall Conditions	FENG Jun, SHI Chao, Hafiz Athar Hussain, <i>et al.</i> (4322)
High-Throughput Sequencing Combined with Metabonomics to Analyze the Effect of Heavy Metal Contamination on Farmland Soil Microbial Community and Function	PANG Fa-hu, LI Xiao-qi, DUAN Li-yang, <i>et al.</i> (4333)
Characteristics of Microbial Community Structure in the Surrounding Farmlands of a Mercury Mining Area and Its Environmental Driving Factors	CHEN Fen, YU Gao, SUN Yue-bing, <i>et al.</i> (4342)
Comparison of Bacterial Community Structure in Soil Aggregates Between Natural Karst Wetland and Paddy Field	LENG Meng, JIN Zhen-jiang, XIAO Xiao-yi, <i>et al.</i> (4353)
Elevational Pattern and Control Factors of Soil Microbial Carbon Use Efficiency in the Daiyun Mountain	LÜ Kun, WANG Jing-jing, WU Guo-peng, <i>et al.</i> (4364)
Effect of Long-term Straw Returning on the Mineralization and Priming Effect of Rice Root-carbon	LIU Feng, WANG Yun-qiu, ZHANG Yun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Straw Returning and Biochar Application on Summer Maize Yield and Soil N ₂ O Emission in Guanzhong Plain	BAI Jin-ze, LIU Zhen-yuan, SONG Jia-jie, <i>et al.</i> (4379)
Effects of Polystyrene Nanoplastics (PS-NPs) on the Physiology of <i>Allium sativum</i> L.	QIU Chen-chen, LI Guo-xin, LI Qing-song, <i>et al.</i> (4387)
Effect of Microplastics on Soil Water Infiltration and Evaporation	WANG Zhi-chao, ZHANG Bo-wen, NI Jia-xuan, <i>et al.</i> (4394)
Life Cycle Assessment and Key Parameter Comparison of Hydrogen Fuel Cell Vehicles Power Systems	CHEN Yi-song, LAN Li-bo, HAO Zhuo, <i>et al.</i> (4402)