

目 次

基于时间序列分解的京津冀区域PM _{2.5} 和O ₃ 空间分布特征	姚青, 丁净, 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹	(2487)
基于随机森林的北京城区臭氧敏感性分析	周红, 王鸣, 柴文轩, 赵昕	(2497)
基于随机森林模型的四川盆地臭氧污染预测	杨晓彤, 康平, 王安怡, 臧增亮, 刘浪	(2507)
海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估	符传博, 林建兴, 唐家翔, 丹利	(2516)
京津冀地区2015~2020年臭氧浓度时空分布特征及其健康效益评估	高冉, 李琴, 车飞, 张艳平, 祖永刚, 刘芬	(2525)
2022年北京市城区PM _{2.5} 水溶性离子含量及其变化特征	陈圆圆, 崔迪, 赵泽熙, 常森, 景宽, 沈秀娥, 刘保献	(2537)
郑州市冬春季PM _{2.5} 中金属元素污染特征、来源及健康风险评估	陶杰, 闫慧姣, 徐艺斐, 荆海涛	(2548)
淄博市供暖前后PM _{2.5} 中多环芳烃及其衍生物污染特征、来源及健康风险	孙港立, 吴丽萍, 徐勃, 高玉宗, 赵雪艳, 姬亚芹, 杨文	(2558)
西安市采暖季过渡期高时间分辨率细颗粒物组分特征及来源解析	李萌津, 张勇, 张倩, 田杰, 李丽, 刘卉昆, 冉伟康, 王启元	(2571)
天津冬季两个典型污染过程高浓度无机气溶胶成因及来源分析	卢苗苗, 韩素芹, 刘可欣, 唐晓, 孔磊, 丁净, 樊文雁, 王自发	(2581)
基于空间尺度效应的山东省PM _{2.5} 浓度时空变化及空间分异地理探测	徐勇, 韦梦新, 邹滨, 郭振东, 李沈鑫	(2596)
我国典型化工行业VOCs排放特征及其对臭氧生成潜势	武婷, 崔焱文, 肖成德, 翟增秀, 韩萌	(2613)
廊坊秋季大气污染过程中VOCs二次气溶胶生成潜势及来源分析	张敬巧, 刘铮, 丁文文, 朱瑶, 曹婷, 凌德印, 王淑兰, 王宏亮	(2622)
景观格局对河流水质影响的尺度效应Meta分析	王玉仓, 杜晶晶, 张禹, 吴昊, 胡敏娟, 陈丁江	(2631)
白洋淀夏季汛期入淀河流水体溶解性有机物的光谱特征及来源	孟佳靖, 宴红, 陈哲, 周石磊, 底怡玲, 武辰彬, 王晨光, 张家丰, 崔建升	(2640)
北京市丰台区永定河以东浅层地下水水化学演变规律及成因分析	胡昱欣, 周瑞静, 宋炜, 杨全合, 王鑫茹	(2651)
庐庐断裂带(安徽段)浅层地下水水化学特征、控制因素及水质评价	刘海, 魏伟, 宋阳, 徐洁, 管政亭, 黄健敏, 赵国红	(2665)
农药施用对兴凯湖水中农药残留的影响及其风险评价	王蔚青, 徐雄, 刘权震, 林利华, 吕婧, 王东红	(2678)
黄河兰州段河岸带土壤中微生物与耐药基因的赋存特征	韦程宸, 魏枫沂, 夏慧, 黄魁	(2686)
基于多源数据的巢湖蓝藻水华时空分布及驱动因素分析	金晓龙, 邓学良, 戴睿, 徐倩倩, 吴月, 范裕祥	(2694)
再生水构建水环境中沉水植物附着细菌群落特征	贺赞, 李雪梅, 李宏权, 魏琳琳, 姜春晖, 姜大伟, 李魁晚	(2707)
水位波动和植被恢复对三峡水库消落带土壤原核微生物群落结构的交互影响	梅渝, 黄平, 王鹏, 朱凯	(2715)
银川市典型湖泊沉积物细菌群落结构及其对重金属的响应关系	蒙俊杰, 刘双羽, 邱小琼, 周娟娟	(2727)
热水解时间对污泥厌氧消化系统微生物群落结构影响分析	张含, 张涵, 王佳伟, 高金华, 文洋, 李相昆, 任征然	(2741)
市政污水中吗啡来源辨析	邵雪婷, 赵悦彤, 蒋冰, 裴伟, 李彦莹, 谭冬芹, 王德高	(2748)
滦河流域生态环境动态遥感评价	李艳翠, 袁金国, 刘博涵, 郭豪	(2757)
黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素	王奕洪, 孙学堂	(2767)
基于贝叶斯网络的生态系统服务权衡协同关系强度及其空间格局优化:以汾河流域为例	蔡进, 危小建, 江平, 梁玉琦	(2780)
贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因	李月, 冯霞, 吴路华, 罗光杰, 罗红芬	(2793)
2000~2021年黄土高原生态分区NEP时空变化及其驱动因子	周怡婷, 严俊霞, 刘菊, 王瑛	(2806)
基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量	崔伟, 董燕, 张露尹, 王荣臻	(2817)
京津冀城市群建设用地扩张多情景模拟及其对生态系统碳储量的影响	武爱彬, 陈辅国, 赵艳霞, 秦彦杰, 刘欣, 郭小平	(2828)
西南岩溶区土地利用变化对团聚体稳定性及其有机碳的影响	江可, 贾亚男, 杨琰, 陈坚淇, 禹朴家	(2840)
不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析	黄世威, 赵一锴, 朱馨雨, 刘贺雷, 刘姣姣, 陈稍, 陈佳永, 张阿凤	(2848)
基于改进麻雀搜索算法优化BP神经网络的土壤有机质空间分布预测	胡志瑞, 赵万伏, 宋根先, 王芳, 林妍敏	(2859)
不同有机物料施用对菜地磷累积和转化的影响	孙凯, 崔玉涛, 李顺晋, 魏冰丽, 王媛, 杨宏博, 王孝忠, 张伟	(2871)
集约化柑橘种植抑制土壤磷循环微生物活性	周连吴, 曾全超, 梅唐英泽, 汪明霞, 谭文峰	(2881)
控释掺混肥对麦玉米轮作体系作物产量和温室气体排放的影响	高玮, 王学霞, 谢建治, 陈延华, 倪小会, 王甲辰, 董艳芳, 李子双, 曹兵	(2891)
生物炭对黄绵土中NO ₃ -N运移过程影响及模拟	白一茹, 刘旭, 张钰涵, 张睿媛, 马艳, 王幼奇	(2905)
中国农田土壤重金属污染分析与评价	杨雳, 白宗旭, 薄文浩, 林静, 杨俱佳, 陈涛	(2913)
城市土壤和地表灰尘重金属污染研究进展与展望	王晓雨, 刘恩峰, 杨祥梦, 王碧莲, 林锦阔, 颜梦霞, 毕世杰	(2926)
场地重金属污染土壤固化及MICP技术研究进展	陈玥如, 高文艳, 陈虹任, 薛生国, 吴川	(2939)
黄河流域山东段近河道煤矿区土壤重金属污染特征及源解析	戴文婷, 张晖, 吴霞, 钟鸣, 段桂兰, 董霁红, 张培培, 樊洪明	(2952)
拒马河流域河流沉积物与土壤重金属含量及风险评价	韩双宝, 袁磊, 张秋霞, 郑焰, 李甫成	(2962)
银川市黄河滩区土壤重金属污染特征、生态风险评估及来源解析	于路加, 马海军, 王翠平	(2971)
基于源导向和蒙特卡洛模型的广东省某城市土壤重金属健康风险评估	陈莲, 邹子航, 张培珍, 王雨菡, 王振江, 林森, 唐翠明, 罗国庆, 钟建武, 李智毅, 王圆	(2983)
西南典型碳酸盐岩高地背景区农田重金属化学形态、影响因素及回归模型	唐瑞玲, 徐进力, 刘彬, 杜雪苗, 顾雪, 于林松, 毕婧	(2995)
贵州省水田土壤-水稻Hg含量特征与安全种植区划	韦美溜, 周浪, 黄燕玲, 庞瑞, 王佛鹏, 宋波	(3005)
柠檬酸辅助甜高粱对南方典型母质土壤的镉修复效应	刘梦宇, 罗绪锋, 辜娇峰, 易轩韬, 周航, 曾鹏, 廖柏寒	(3016)
改性酒糟生物炭对紫色土壤镉形态及水稻吸收镉的影响	肖乃川, 王子芳, 杨文娜, 谢永红, 代文才, 高明	(3027)
生物炭对四环素和铜复合污染土壤生菜生长及污染物累积的影响	郑晨格, 裴欢欢, 张亚珊, 李嘉欣, 刘奋武, 乔星星, 秦俊梅	(3037)
基于Meta分析的蚯蚓堆肥对堆肥质量和重金属的影响效应	姜继韶, 侯睿, 崔慧林, 闫广轩, 刘栋	(3047)
微塑料对土壤N ₂ O排放及氮素转化的影响研究进展	刘一戈, 杨安琪, 陈舒欣, 牛英奕, 卢瑛, 李博	(3059)
土地利用对洱海罗时江小流域土壤微塑料污染的影响	戴柳云, 侯磊, 王化, 符立松, 王艳霞, 李晓琳, 王万宾, 梁启斌	(3069)
养殖海湾淤泥质海岸沉积物微塑料污染特征	宋可心, 贺金成, 李昌文, 解思琦, 刘宝堃, 黄伟, 冯志华	(3078)
聚乙烷微塑料对盐渍化土壤微生物群落的影响	李志超, 李哲, 李嘉晨, 屈忠义, 杨文煊, 李卫平	(3088)
鄱阳湖候鸟栖息地微塑料表面细菌群落结构特征与生态风险预测	俞锦丽, 赵俊凯, 罗思琦, 朱颖婷, 张文慧, 胡启武, 刘淑丽	(3098)
粤闽浙沿海重点城市道路交通节能减排路径	徐艺诺, 翁大维, 王硕, 胡喜生, 王占永, 张园园, 张兰怡	(3107)
电动重卡替代柴油重卡的全生命周期碳减排效益分析	徐圆圆, 龚德鸿, 黄正光, 杨浪	(3119)

景观格局对河流水质影响的尺度效应 Meta 分析

王玉仓^{1,2}, 杜晶晶^{1,2}, 张禹^{1,2}, 吴昊^{1,2}, 胡敏鹏^{1,2}, 陈丁江^{1,2,3*}

(1. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2. 环境修复与生态健康教育部重点实验室, 杭州 310058; 3. 浙江省农业资源与环境重点实验室, 杭州 310058)

摘要: 景观格局决定了陆域污染物的源汇过程, 是影响河流水质状况的关键因素。由于尺度效应, 不同尺度下景观格局与河流水质关系的研究结果不尽相同。然而, 景观格局对河流水质影响的尺度效应问题尚缺乏系统研究。收集了国内外 4 041 条研究数据, 采用 Meta 分析法定量分析了不同尺度下景观格局对河流水质的作用特征, 识别了影响河流水质的关键时间和空间尺度以及景观指数。结果表明, 相对于降水事件、平水期和年际尺度, 丰水期下景观格局对河流水质的影响最大; 相对于流域尺度, 缓冲区尺度的景观格局对河流水质的影响更大; 丰水期-缓冲区尺度是景观格局影响河流水质的关键时空耦合尺度。与耕地、水域、草地以及流域整体景观相比, 林地和城镇用地的景观格局对河流水质的影响更大; 破碎度是影响河流水质最重要的景观格局因子。在河流水质治理中, 应重点考虑缓冲区的景观配置, 增加缓冲区林地面积、减少林地和水域的斑块密度和减少城镇用地的面积占比和聚集度, 以有效保护河流水质。

关键词: 景观格局; 河流水质; 尺度效应; 破碎度; 土地利用

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)05-2631-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202306180

Scale Effects of Landscape Pattern on Impacts of River Water Quality: A Meta-analysis

WANG Yu-cang^{1,2}, DU Jing-jing^{1,2}, ZHANG Yu^{1,2}, WU Hao^{1,2}, HU Min-peng^{1,2}, CHEN Ding-jiang^{1,2,3*}

(1. College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory of Environment Remediation and Ecological Health, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The landscape pattern determines water pollution source and sink processes and plays an important role in regulating river water quality. Due to scale effects, studies on the relationship between landscape pattern and river water quality showed variance at different scales. However, there is still a lack of integrated study on the scale effect of landscape pattern and river water quality dynamics. This study collected 4 041 data from results of previous publications to address the characteristics of landscape pattern and river water quality dynamics at different scales and to identify the key temporal and spatial scales as well as landscape pattern indices for regulating river water quality. The results indicated that, compared to precipitation events, base flow periods, and interannual scales, the high-flow period was the key temporal scale for linking landscape pattern on river water quality. Compared to the watershed scale, the landscape pattern of buffer zones had a greater impact on river water quality. The high-flow period-buffer zone scale was the key spatiotemporal coupling scale for linking landscape pattern and river water quality. Compared to croplands, water bodies, grasslands, and the overall landscape of the watershed, the landscape pattern of forests and urban areas had a greater impact on river water quality. Fragmentation degree was the most important landscape pattern factor regulating river water quality. In river water quality management, it is important to focus on the landscape configuration of buffer zones, increase forest area, reduce patch density of forests and water bodies, and decrease the aggregation degree of urban areas.

Key words: landscape pattern; river water quality; scale effect; fragmentation; land use

景观格局是指景观组成单元的类型、数目以及空间分布的配置特征, 陆域景观格局的变化深刻影响着河流水质状况^[1-5]。相较于土地利用和地形因子, 景观格局是影响河流水质变化的重要因素^[6-9]。景观格局与河流水质关系的研究开始于 20 世纪 90 年代, Johnson 等^[10]应用冗余分析方法, 探究了美国密歇根州中东部萨吉诺湾流域不同季节下景观格局与河流水质的关系, 发现夏季的流域景观格局对河流水质影响大于其它季节。我国景观格局与河流水质关系的研究主要开始于 21 世纪初, 陈利顶等^[11-13]研究发现, 在河流水质污染的形成过程中, “源”和“汇”景观类型的空间分布格局起着重要作用。随着景观生态学和数学分析方法的发展, 景观格局与河流水质关系的研究也不断深入。在研究内容上, 景

观多样性指数、景观优势度指数和景观聚集度指数等越来越多的景观指数被用于评价景观格局对河流水质的影响; 在研究方法上, 深度学习和机器学习等方法也逐渐被引入到景观格局与河流水质的作用关系分析中^[14]。

景观格局与河流水质关系存在明显的尺度效应。尺度效应是指随着时间或空间的尺度改变, 研究对象的综合性、概括性和影响研究对象的主导分异因子的级别等会随之改变的现象^[13,15,16]。景观的结构、功能和变化本身依赖于其尺度的大小, 而影响

收稿日期: 2023-06-21; 修订日期: 2023-07-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42177352); 国家重点研发计划项目(2021YFD1700802)

作者简介: 王玉仓(1997~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为景观格局对河流水质影响的尺度效应. E-mail: w_yucang@163.com

* 通信作者, E-mail: chendj@zju.edu.cn

河流水质的污染物在流失强度、形态、分布和规律等也随着尺度变化而变化.因此,景观格局在不同季节^[8,9]、年份^[14]以及降雨前后^[17]等不同时间尺度上对河流水质的影响程度不同,在河岸缓冲区和流域等空间尺度上也存在明显差异^[18-20].例如 Nash 等^[18]对美国俄勒冈州流域研究发现,河岸 60 m 缓冲区范围内城市土地利用率较高的地区,河流水质恶化的概率较高. Hurley 等^[21]对加拿大中西部 4 个流域的研究指出,河水中大肠杆菌空间变异性仅与河岸缓冲区尺度上的景观格局相关,但浊度和总有机碳浓度与流域尺度的景观格局特征相关. Shi 等^[8]在中国丹河的研究发现,在平水期流域尺度上,最大斑块指数和连通度对河流水质的影响最大;丰水期流域尺度上景观形状指数对河流变化的解释率最高,而缓冲区尺度上则是林地的面积对河流水质的影响最大.目前有关景观格局与河流水质关系的尺度效应研究大多集中在单个流域、单一时间尺度研究,尚鲜见跨流域、多时间尺度研究结果的综合分析报道,对尺度效应问题尚缺乏系统认识.

本研究应用 Meta 分析方法,汇总了国内外不同时空尺度下景观格局对河流水质影响的研究结果,分析了时间尺度、空间尺度和时空耦合尺度上景观格局对河流水质的影响特征,识别了景观格局影响

河流水质的关键时空尺度及其主要景观类型和具体景观因子.本研究结果对提升景观格局对河流水质影响的尺度效应问题具有较强的理论意义,对指导河流水质综合治理具有重要实际意义.

1 材料与方法

1.1 数据收集

本研究基于中国知网和 Web of Science 核心期刊数据库,首先以“景观格局(landscape)”或“土地利用(land use)”与“河流水质(water quality)”为关键词对文章的题目、摘要和关键词进行文献检索,共检索出中文核心期刊文献 127 篇、SCI 论文 812 篇,然后对检索结果依据研究要求进行文献筛选.文献筛选方法如下:①在所检索到的文献中依次以“景观格局(landscape)”和“尺度(scale)”为关键词精炼检索结果,筛选出以“景观格局对河流水质影响的尺度效应”为主题的研究,中文 53 篇、英文 127 篇;②去除综述类文章;③逐一阅读原文,去除原文中未给出景观格局对河流水质变化影响量化关系的文章.最终,研究收集了中国、美国、芬兰等在内的 10 个国家的 51 个流域在 1997~2023 年间发表的 61 篇文章研究数据(图 1),其中包括中文文献 12 篇,英文文献 49 篇.

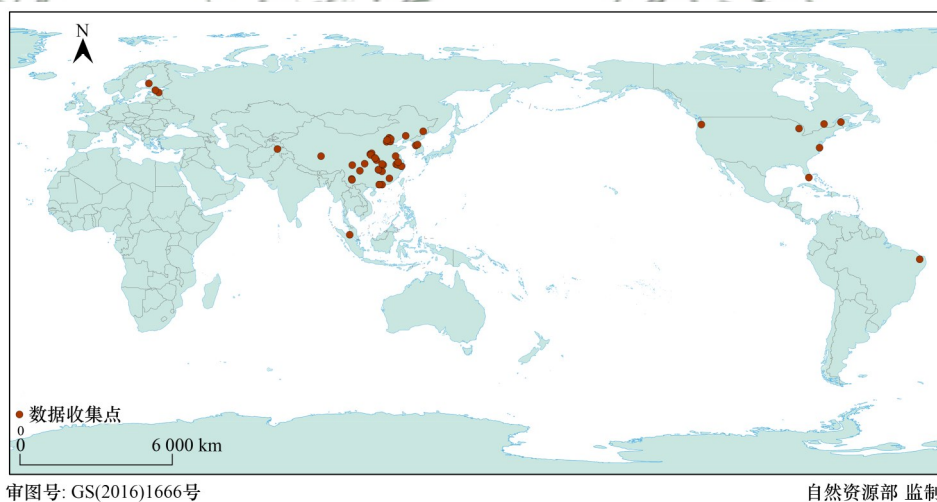


图 1 收集数据河流空间分布示意

Fig. 1 Spatial distribution of rivers where data were collected

本研究主要收集了不同尺度下景观指标对水质指标变化影响的量化值.由于不同研究中所使用的研究方法不同,所得到的景观格局对河流水质变化影响的量化值的形式也不一致,因此,研究收集的数据主要为景观指标对河流水质变化解释率以及景观指标与河流水质指标的相关系数和影响系数这 3 类.在景观指标方面,研究收集了文献内所涉及的所有景观指标;在水质指标方面,收集文献报道结

果中重点关注氮、磷指标(占总数据 50% 以上).最终收集数据总计 4 041 条,收集的不同尺度数据分布如表 1 所示.

1.2 数据处理

在所收集的研究数据中,景观格局对河流水质的影响系数与相关系数等数据范围不一致.为此,采用数据标准化处理方法,消除原始数据的量纲影响,并转化为无量纲和数量级差异的易比较指标.

表 1 不同尺度的景观格局与河流水质关系研究结果数据分布

Table 1 Data distribution of the results of the study on the relationship between landscape patterns and river water quality at different scales

指标类型	时间尺度/个				空间尺度/个		时空耦合尺度/个			
	降雨事件	平水期	丰水期	年际	缓冲区	流域	平水期 缓冲区	平水期 流域	丰水期 缓冲区	丰水期 流域
相关系数	—	305	565	573	231	678	28	234	202	334
解释率	—	101	122	41	157	63	54	25	103	32
影响系数	55	—	—	84	—	54	—	—	—	—
总计	55	406	687	698	388	795	82	259	305	366

1) “—”表示无数据

在各类标准化方法中，极差标准化因其相对有效性较高、适用性广而得到广泛使用^[22]。本研究首先将所收集到的影响系数利用极差标准化方法将数据范围归一化至[-1,1]区间内，标准化公式为：

$$Y = -1 + [2 / (Max - Min)] (x - Min)$$
 (1)

式中，Max 表示所有影响系数数据集中最大值，Min 表示所有影响系数数据集中最小值，x 表示影响系数。

为了量化景观指标对河流水质的影响程度，研究构建了相对重要指数(Q)。Q 的计算基于同一景观指标在不同文献中出现的次数，次数越多则表明该景观指标对河流水质的影响可能性越大，计算公式如下：

$$Q = [(n_i - n_{min}) / (n_{max} - n_{min})] / 2$$
 (2)

式中，Q 表示相对重要指数， n_i 表示第 i 个景观指标的数据个数， n_{max} 和 n_{min} 分别表示所有景观指标中数据个数的最大值和最小值。

然后，根据相对重要指数 Q 计算综合解释率和综合相关系数 E：

$$E = 1/2(e_i \times Q)$$
 (3)

式中，E 表示综合解释率、综合相关系数或综合影响系数， e_i 表示第 i 个景观指数的具体解释率、相关系数或标准化影响系数。

本研究数据的标准化处理和相对重要指数的计

算使用 Python 3.7(Anaconda Inc., USA)完成，统计分析采用 SPSS 23.0(SPSS Inc., USA)软件实现。图表的制作使用 ArcGIS 10.7(ESRI Inc., USA)和 Prism 8.0(GraphPad Software Inc., USA)软件完成。

2 结果与讨论

2.1 时间尺度效应

丰水期尺度下景观格局对河流水质变化的综合累积解释率显著高于其他时间尺度[图 2(a)]，其中丰水期尺度下景观格局对河流水质变化的综合累积解释率为 69%、平水期尺度为 53%，降雨事件尺度(37%)和年际尺度(42%)的景观格局对河流水质变化的综合累积解释率相近。这主要是由于丰水期中，在密集的降水和地表径流的淋洗和冲刷下，土壤中的泥沙与其所携带的有害物质随径流迁移到水体中，导致水质浑浊恶化^[6,8,23-25]。降雨事件尺度下虽然也有降雨对土壤的冲刷和淋洗过程，但降雨事件尺度关注于单个降雨事件，相较于持续时间长、降雨次数多的丰水期尺度，降雨事件尺度景观格局对河流水质变化的解释率低于丰水期尺度。因此，丰水期景观格局对河流水质变化的综合累积解释率高于其它时间尺度。在丰水期条件下，与草地和流域整体景观相比，林地(21%)、耕地(18%)和城镇用地(16%)的景观因子对河流水质变化的平均解

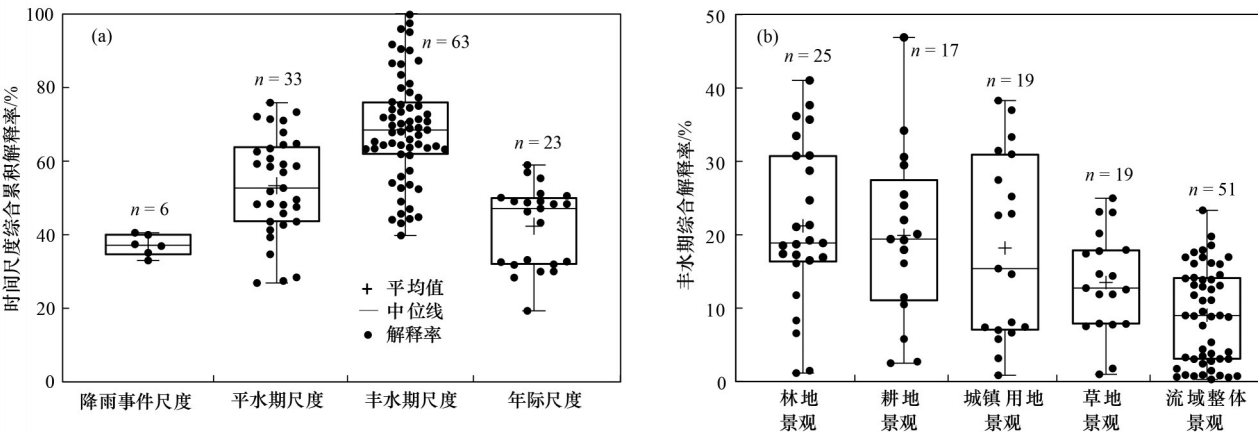


图 2 不同时间尺度与景观类型的景观格局对河流水质变化的综合解释率

Fig. 2 Combined explanatory rates of changes in river water quality by landscape patterns at different time scales and landscape types

释率相对较高[图 2(b)].因此,林地、耕地和城镇用地是丰水期影响河流水质变化的主要景观类型^[26~29].

从具体景观指标来看,丰水期林地景观的斑块密度、面积占比和最大斑块指数对河流水质变化的综合解释率高于其它林地景观指标,分别为 35%、31%和 20%(图 3).这表明林地景观的斑块密度、面积占比和最大斑块指数综合调控了丰水期林地污染

物的动态变化.斑块密度是指单位面积上林地斑块分布的数量,代表着林地景观的破碎化程度^[30].林地斑块密度与河流水质污染程度呈正相关(图 3),丰水期的连续降雨会产生大量地表径流,林地具有减缓地表径流速度的作用,但破碎化的林地大大降低了林地减缓地表径流速度的效果,使得高斑块密度的林地会增加河流水质污染风险^[26,27].林地面积占比与河流水质污染程度呈负相关(图 4),有研究表

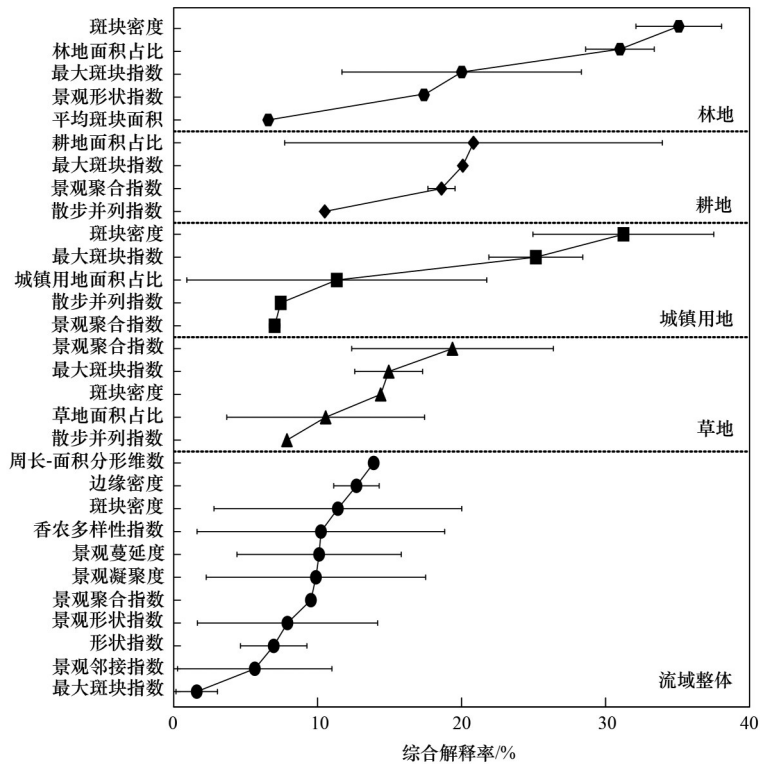


图 3 丰水期景观因子对河流水质变化的综合解释率

Fig. 3 Combined explanatory rates of changes in river water quality by landscape factors during the water abundance period

明,高林地面积占比的流域水质污染程度往往较低^[26~29].这是由于地表径流流经林地过程中所携带的泥沙和有害物质被截留和净化,从而减少了河流水质污染^[8,23].与斑块密度相反,最大斑块指数代表景观聚集程度^[30].在丰水期条件下,林地最大斑块指数与河流水质之间存在负相关关系(图 4).有研究发现,当林地的最大斑块指数值超过 52%时,流域河流水质污染程度明显降低^[31].因此,减少林地斑块密度、增加林地面积占比和提高林地聚集度能更好地改善河流水质状况^[6,31,32].在耕地景观格局中,耕地景观的面积占比(21%)、最大斑块指数(20%)和景观聚合指数(19%)对河流水质变化的平均解释率高于其它耕地景观指数(图 3),其中,耕地面积占比在不同研究中对河流水质变化影响的差异较大(3%~34%)(图 3),意味着农业面源污染对河流水质的影响存在较大的区域差异性^[31].最大斑块指数和聚合度指数均是表示

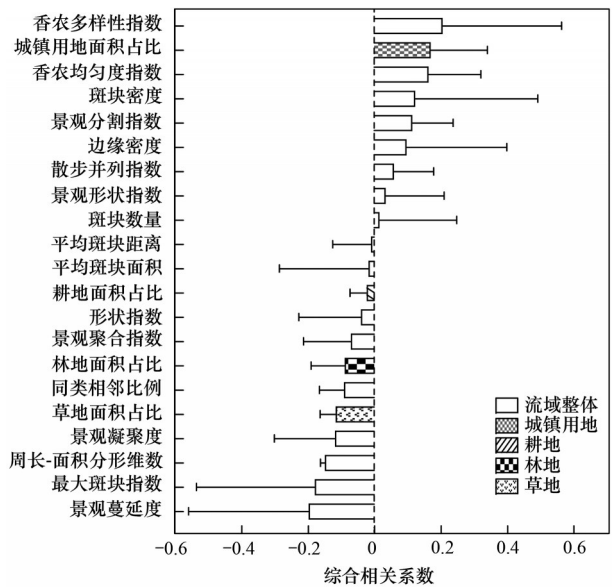


图 4 丰水期景观因子与河流水质变化的综合相关系数

Fig. 4 Correlation coefficients between landscape factors and changes in river water quality during the water abundance period

耕地景观聚集程度的景观指数,二者均与河流水质污染程度呈负相关,耕地面积占比与河流水质污染程度正相关,因此,提高流域内耕地的聚集度、减少耕地面积占比能有效减少河流水质恶化风险.在城镇用地景观中,城镇用地的斑块密度和最大斑块指数对河流水质变化的综合解释率较高,分别是 31% 和 25%(图 3).城镇用地和斑块密度均与河流水质污染程度的含量呈正相关(图 4),高破碎度的城镇用地代表该地区的城镇化水平较

低,可能是以农村居民点为主,其污水集中处理设施较为缺乏,使得对河流水质污染的贡献较大^[19,20,25].因此,在丰水期尺度上,林地、耕地和城镇用地的聚集度是影响河流水质变化的主要景观特征,林地和城镇用地的斑块密度以及耕地的面积占比是影响河流水质的重要景观因子.在河流水质改善中,增加林地面积、减少耕地与城镇用地面积的同时,增加林地、耕地和城镇用地的聚集程度,可以有效提高改善效果.

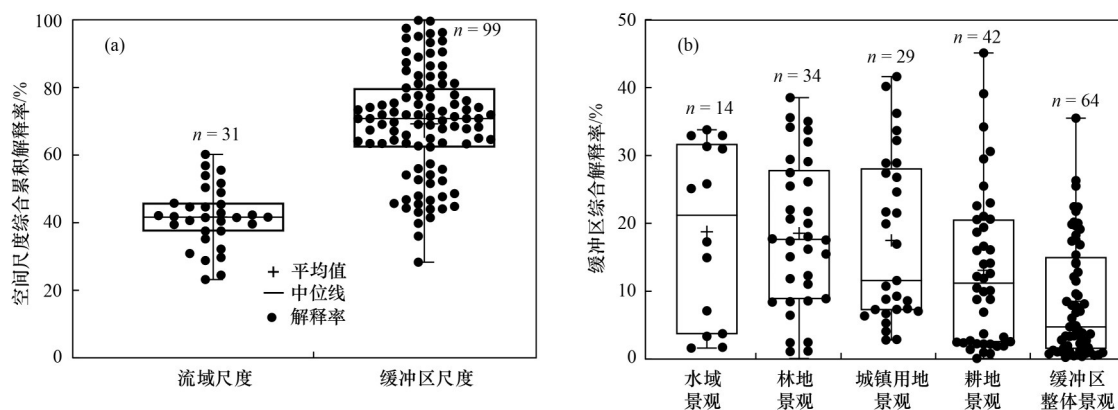


图 5 不同空间尺度与景观类型的景观格局对河流水质变化的综合累积解释率

Fig. 5 Integrated cumulative explanatory rate of changes in river water quality by landscape patterns at different spatial scales and landscape types

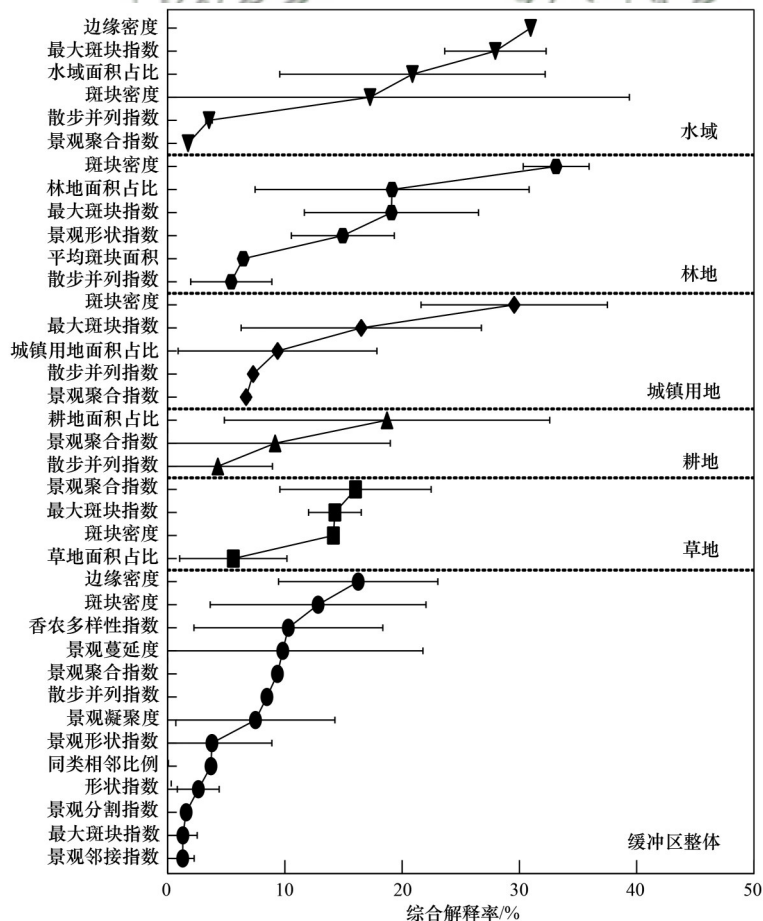


图 6 缓冲区景观因子对河流水质变化的综合解释率

Fig. 6 Combined explanatory rates of changes in stream water quality by landscape factors in buffer zones

2.2 空间尺度效应

缓冲区尺度下景观格局对河流水质变化的综合累积解释率(69%)明显高于流域尺度的(42%) [图 5(a)], 表明缓冲区尺度的景观格局配置对于水质的调控更为显著^[33,34]. 与流域尺度相比, 缓冲区离河距离近, 缓冲区内滞留的污染物能够在较短的时间内进入河流并影响河流水质^[6,23]. 流域尺度的景观影响更为复杂, 污染物由陆域输移到河流系统需经过较长输移时长, 同时会受流域中的林地和草地等景观的消耗与滞留作用及人居地景观的补给作用影响, 使得最终进入河流的污染物在含量、形态等方面产生较大的变异^[31,32]. 为此, 相较于整个流域尺度而言, 缓冲区尺度上的景观格局对河流水质的影响更大. 在缓冲区尺度下, 与耕地景观和缓冲区整体景观相比, 水域(19%)、林地(19%)和城镇用地(17%)景观格局对河流水质变化的平均综合解释率更高[图 5(b)]. 因此, 水域、林地和城镇用地是缓冲区尺度下影响河流水质的主要景观类型.

在缓冲区尺度的水域景观中, 边缘密度、最大斑块指数、水域面积占比和斑块密度对河流水质变

化的综合解释率明显高于其它景观指数, 分别为 31%、28%、21% 和 17%. 边缘密度、最大斑块指数和斑块密度均是表示水域景观破碎化程度的景观指标^[30], 边缘密度、斑块密度和水域面积占比与河流水质污染程度呈正相关(图 6). 这是由于河岸缓冲区尺度的面积一般较小, 池塘、堰塘等水域景观作为河流污染物的“汇”景观, 大量破碎化水域景观的存在会增加陆域景观与水体的接触面积, 增加了河流污染物直接进入水体的概率^[7,8,14]. 因此, 在缓冲区尺度下整合水域景观, 减少水域的破碎度和面积占比能够更好地改善河流水质. 在林地景观格局中, 林地斑块密度对河流水质变化的解释率明显高于其它林地景观指标, 解释率为 33%. 这与丰水期林地景观表现相似, 因此, 林地景观在时间和空间尺度均对河流水质具有明显的调控作用, 并且高面积占比、低破碎度的林地景观对河流水质的改善作用更好^[6,31,32]. 在城镇用地景观中, 斑块密度(30%)和最大斑块指数(17%)对河流水质变化的综合解释率高于其它景观指标. 斑块密度代表城镇用地的分散程度, 最大斑块指数表示城镇用地的聚集程度^[30]. 在缓冲区尺度上, 城镇用地斑块密度与河流水质污染程度呈

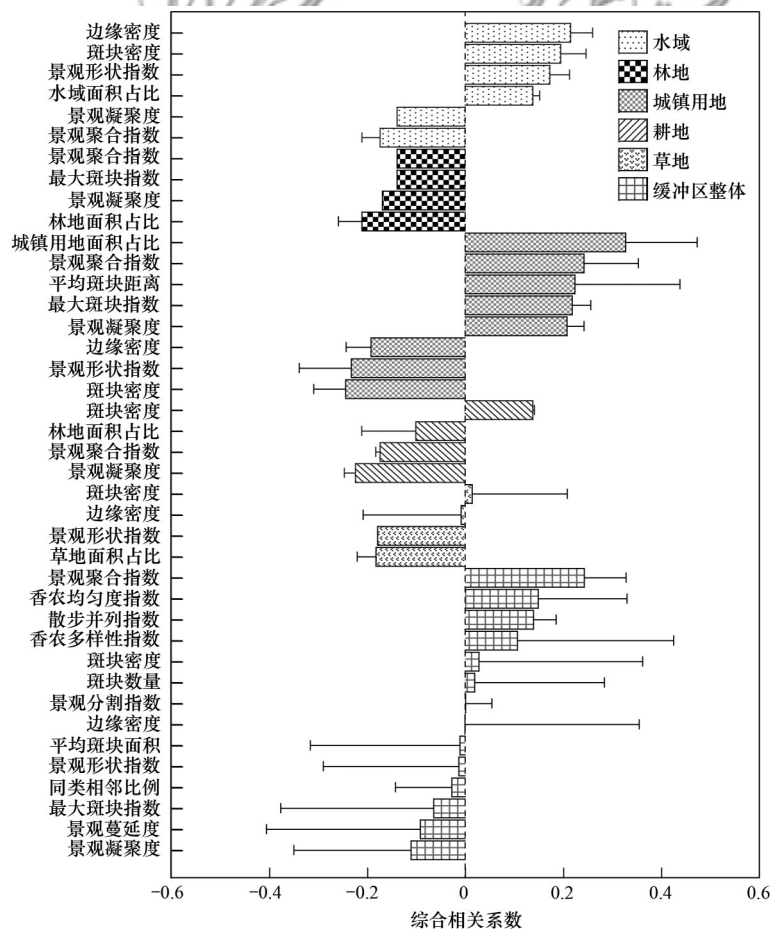


图 7 缓冲区景观因子与河流水质变化的综合相关系数

Fig. 7 Combined correlation coefficients between landscape factors and river water quality changes in the buffer zone

负相关, 最大斑块指数与河流水质污染程度正相关 (图7). 这可能是由于高聚集度的城镇用地往往具有更高的城镇化水平、更大的城镇用地面积, 使得缓冲区内生活污水排放等点源污染对河流水质的影响较大^[35-39], 因此, 缓冲区尺度上分散的城镇用地能更好地保护河流水质^[6,8,24]. 为此, 在缓冲区尺度

上, 水域、林地和城镇用地的聚集度是影响河流水质变化的主要景观特征, 水域景观边缘密度、林地斑块密度和城镇用地斑块密度是影响河流水质的重要景观因子. 减少缓冲区内水域和城镇用地景观的面积, 增加二者景观在缓冲区的分散程度, 同时增加林地面积和聚集度, 能较为有效保护河流水质.

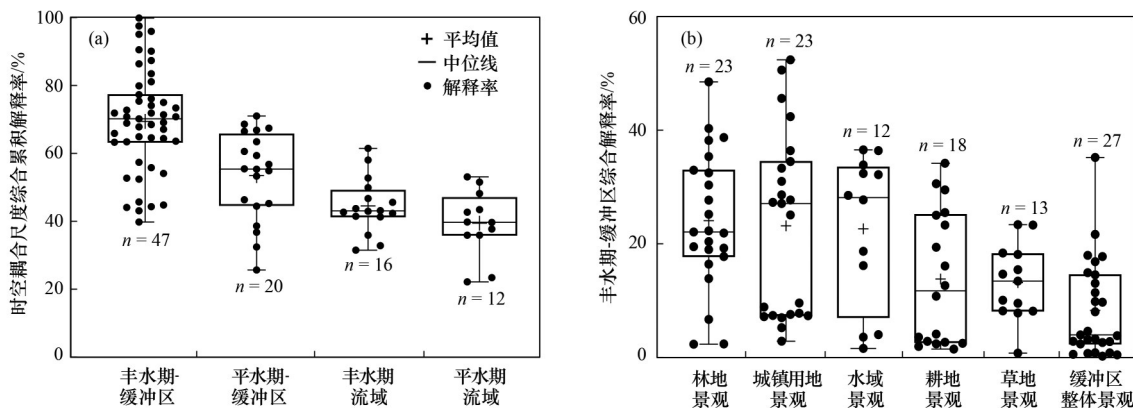


图8 不同时空耦合尺度与景观类型的景观格局对河流水质变化的综合累积解释率

Fig. 8 Integrated cumulative explanatory rate of river water quality change by landscape patterns at different spatio-temporal coupling scales and landscape types

2.3 时空耦合尺度效应

不同时空耦合尺度分析的结果表明, 丰水期-缓冲区尺度(69%)的景观格局对河流水质变化的综合累积解释率高于平水期-缓冲区尺度(53%), 高于流域尺度下的丰水期(45%)与平水期尺度(39%) (图8). 缓冲区尺度下丰水期和平水期景观格局对河流

水质变化的综合累积解释率均大于流域尺度的平水期和平水期, 这表明在时空耦合尺度中, 景观格局对河流水质影响的空间依赖性要大于时间依赖性. 这是由于缓冲区是直接影响河流水质的关键空间尺度, 而丰水期则加强了这种调控效应. 二者耦合而成的丰水期-缓冲区尺度在具有缓冲区污染物快速入

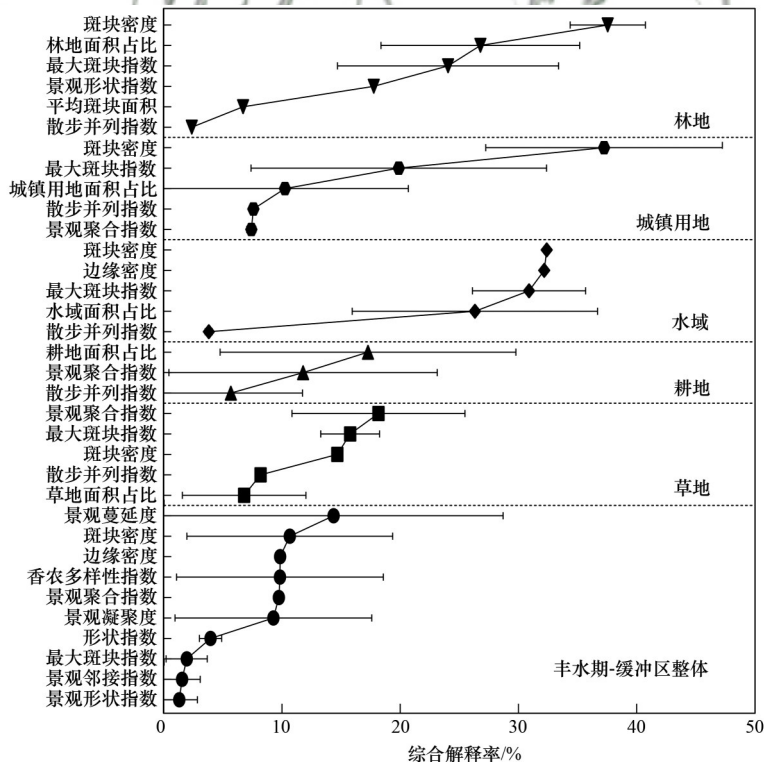


图9 丰水期-缓冲区时空耦合尺度景观因子对河流水质变化的综合解释率

Fig. 9 Integrated rate of explanation of river water quality changes by spatially and temporally coupled spatial and temporal scale landscape factors in the abundance-buffer zone

河的特征下,且丰水期的水文连通性强,使得其景观格局对河流水质变化的影响最大^[6,8,33].在丰水期-缓冲区尺度下,林地、城镇用地和水域的景观因子对河流水质变化的平均解释率高于其它景观类型,分别是24%、23%和23%(图8).因此,林地、城镇用地和水域是影响丰水期-缓冲区尺度下河流水质变化的主要景观类型.

在丰水期-缓冲区尺度中,林地景观的斑块密度、斑块面积占比和最大斑块指数对河流水质变化的综合解释率高于其它林地景观指数,分别为38%、27%和24%(图9).这与单一时间和空间尺度下的林地和城镇用地景观对河流水质的影响特征相似(图10),高面积占比、高聚合度和低破碎度的林地景观能够减少河流水质污染程度^[4,6,7].城镇用地的斑块密度和最大斑块指数对河流水质变化的综合解释率高于其它城镇用地景观指数,分别为37%和20%(图9);水域景观的斑块密度、边缘密度、最大斑块指数和面积占比对河流水质变化的综合解释率高于其它水域景观指数,分别为32%、32%、31%和26%(图9);这与缓冲区尺度下城镇用地和水域景观对河流水质影响的特征相似(图10),高破碎度、低面积占比的城镇用地和水域景观更有利于缓冲区河流水质改善^[40,41].因此,丰水期-缓冲区尺度中林地、城镇用地和水域景观的聚集度是影响河流水质变化的主要景观特征,林地、城镇用地和水域景观的斑块密度是影响河流水质的重要景观因子.在缓冲区尺度上,分散水域和城镇用地、增加二者斑块密度

和景观面积,同时尽量增加林地景观面积占比、减少林地斑块密度,能更好地改善河流水质状况.

3 结论

(1)相对于降水事件、平水期和年际尺度,丰水期尺度下景观格局对河流水质的影响最大.丰水期尺度下林地、耕地和城镇用地是影响河流水质的关键景观类型,林地、城镇用地的斑块密度以及耕地面积占比是影响河流水质的重要景观格局指标.

(2)相对于流域尺度,空间尺度的缓冲区尺度上的景观格局对河流水质的影响更大.缓冲区内水域、林地和城镇用地景观类型以及水域景观边缘密度、林地斑块密度和城镇用地斑块密度是影响河流水质的主要景观因素.景观格局对河流水质影响的空间依赖性要大于时间依赖性.

(3)在时空耦合尺度中,丰水期-缓冲区耦合尺度是影响河流水质的关键时空耦合尺度.林地、城镇用地和水域景观以及3种景观的斑块密度是影响时空耦合尺度下河流水质变化的主要景观因素.

(4)为了改善河流水质,在流域尺度上,增加林地面积、减少城镇用地面积的同时,应减少林地和城镇用地的分散度;在缓冲区尺度上,增加林地面积、减少水域和城镇用地面积的同时,应减少林地和水域的分散度、增强城镇用地分散度.

参考文献:

- [1] Forman R T T, Godron M. Landscape ecology [M]. New York: Wiley, 1986.
- [2] 邹建国.景观生态学—格局、过程、尺度与等级[M].(第二版).北京:高等教育出版社,2007.
- [3] Turner M G. Landscape Ecology: The effect of pattern on process [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989, **20**: 171-197.
- [4] Ramalho C E, Laliberté E, Poot P, et al. Complex effects of fragmentation on remnant woodland plant communities of a rapidly urbanizing biodiversity hotspot [J]. Ecology, 2014, **95**(9): 2466-2478.
- [5] Strohbach M W, Haase D. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city [J]. Landscape and Urban Planning, 2012, **104**(1): 95-104.
- [6] 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.
- [7] Ai L, Shi Z H, Yin W, et al. Spatial and seasonal patterns in stream water contamination across mountainous watersheds: Linkage with landscape characteristics [J]. Journal of Hydrology, 2015, **523**: 398-408.
- [8] 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.
- [9] Allafra H, Opp C. Spatio-temporal variability and pollution sources identification of the surface sediments of Shatt Al-Arab River, Southern Iraq [J]. Scientific Reports, 2020, **10**(1), doi: 10.1038/

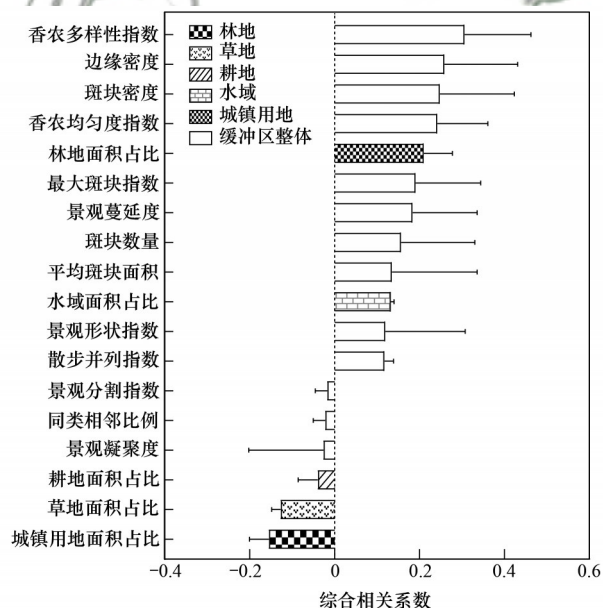


图10 丰水期-缓冲区时空耦合尺度景观因子与河流水质变化的综合相关系数

Fig. 10 Combined correlation coefficients between landscape factors and stream water quality changes at the temporal and spatial coupling scales of abundance-buffer zone

- s41598-020-63893-w.
- [10] Johnson L, Richards C, Host G, *et al.* Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems [J]. *Freshwater Biology*, 1997, **37**(1): 193-208.
 - [11] 陈利顶, 傅伯杰, 张淑荣, 等. 异质景观中非点源污染动态变化比较研究[J]. *生态学报*, 2002, **22**(6): 808-816.
 - Chen L D, Fu B J, Zhang S R, *et al.* Comparative study on the dynamics of non-point source pollution in a heterogeneous landscape[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(6): 808-816.
 - [12] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数[J]. *生态学报*, 2003, **23**(11): 2406-2413.
 - Chen L D, Fu B J, Xu J Y, *et al.* Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(11): 2406-2413.
 - [13] 陈利顶, 李秀珍, 傅伯杰, 等. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J]. *生态学报*, 2014, **34**(12): 3129-3141.
 - Chen L D, Li X Z, Fu B J, *et al.* Development history and future research priorities of landscape ecology in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(12): 3129-3141.
 - [14] Stets E G, Sprague L A, Oelsner G P, *et al.* Landscape Drivers of dynamic change in water quality of U.S. rivers[J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, **54**(7): 4336-4343.
 - [15] Goodchild M F. Scale in GIS: An overview [J]. *Geomorphology*, 2011, **130**(1-2): 5-9.
 - [16] 王飞, 李锐, 杨勤科, 等. 水土流失研究中尺度效应及其机理分析[J]. *水土保持学报*, 2003, **17**(2): 167-169, 180.
 - Wang F, Li R, Yang Q K, *et al.* Effect of scale and its mechanism in soil and water loss research [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, **17**(2): 167-169, 180.
 - [17] Park J H, Inam E, Abdullah M H, *et al.* Implications of rainfall variability for seasonality and climate-induced risks concerning surface water quality in East Asia[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, **400**(3-4): 323-332.
 - [18] Nash Maliha S, Heggem Daniel T, Ebert Donald, *et al.* Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **156**(1-4): 343-360.
 - [19] Zorzal-Almeida S, Salim A, Andrade M R M, *et al.* Effects of land use and spatial processes in water and surface sediment of tropical reservoirs at local and regional scales [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **644**: 237-246.
 - [20] Vreys N, Amé M V, Filippi I, *et al.* Effect of landscape changes on water quality and health status of *Heptapterus mustelinus* (Siluriformes, Heptapteridae) [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2019, **76**(3): 453-468.
 - [21] Hurley T, Mazumder A. Spatial scale of land-use impacts on riverine drinking source water quality [J]. *Water Resources Research*, 2013, **49**(3): 1591-1601.
 - [22] 张立军, 袁能文. 线性综合评价模型中指标标准化方法的比较与选择[J]. *统计与信息论坛*, 2010, **25**(8): 10-15.
 - Zhang L J, Yuan N W. Comparison and selection of index standardization method in linear comprehensive evaluation model [J]. *Statistics & Information Forum*, 2010, **25**(8): 10-15.
 - [23] Van Vliet M T H, Flörke M, Wada Y. Quality matters for water scarcity[J]. *Nature Geoscience*, 2017, **10**(11): 800-802.
 - [24] Foley J A, Defries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, **309**(5734): 570-574.
 - [25] 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): 185-199.
 - [26] Baker A. Land use and water quality [J]. *Hydrological Processes*, 2003, **17**(12): 2499-2501.
 - [27] Ding J, Jiang Y, Liu Q, *et al.* Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **551-552**: 205-216.
 - [28] Xu G C, Li P, Lu K X, *et al.* Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin [J]. *CATENA*, 2019, **173**: 131-140.
 - [29] 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.
 - [30] McGarigal K, Marks B J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [R]. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.
 - [31] Wu J H, Lu J. Landscape patterns regulate non-point source nutrient pollution in an agricultural watershed [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **669**: 377-388.
 - [32] Piaggio M, Siikamäki J. The value of forest water purification ecosystem services in Costa Rica [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **789**: 147952.
 - [33] Cheng X, Song J P, Yan J Z. Influences of landscape pattern on water quality at multiple scales in an agricultural basin of western China [J]. *Environmental Pollution*, 2023, **319**, doi: 10.1016/j.envpol.2022.120986.
 - [34] Zhong X C, Xu Q L, Yi J H, *et al.* Study on the threshold relationship between landscape pattern and water quality considering spatial scale effect—a case study of Dianchi Lake Basin in China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, **29**(29): 44103-44118.
 - [35] Meynenonckx J, Heuvelmans G, Muys B, *et al.* Effects of watershed and riparian zone characteristics on nutrient concentrations in the River Scheldt Basin [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006, **10**(6): 913-922.
 - [36] Casson N J, Eimers M C, Watmough S A, *et al.* The role of wetland coverage within the near - stream zone in predicting of seasonal stream export chemistry from forested headwater catchments [J]. *Hydrological Processes*, 2019, **33**(10): 1465-1475.
 - [37] 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.
 - [38] Sponseller R A, Benfield E F, Valett H M. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities [J]. *Freshwater Biology*, 2001, **46**(10): 1409-1424.
 - [39] Li K, Chi G Q, Wang L, *et al.* Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **93**: 741-752.
 - [40] Stepenuck K F, Crunkilton R L, Wang L Z. Impacts of urban landuse on macroinvertebrate communities in southeastern Wisconsin streams [J]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2002, **38**(4): 1041-1051.
 - [41] Paul M J, Meyer J L. Streams in the urban landscape [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, **32**: 333-365.

CONTENTS

Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} and O ₃ in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Time Series Decomposition	YAO Qing, DING Jing, YANG Xu, <i>et al.</i>	(2487)
Ozone Sensitivity Analysis in Urban Beijing Based on Random Forest	ZHOU Hong, WANG Ming, CHAI Wen-xuan, <i>et al.</i>	(2497)
Prediction of Ozone Pollution in Sichuan Basin Based on Random Forest Model	YANG Xiao-tong, KANG Ping, WANG An-yi, <i>et al.</i>	(2507)
Establishment and Effective Evaluation of Haikou Ozone Concentration Statistical Prediction Model	FU Chuan-bo, LIN Jian-xing, TANG Jia-xiang, <i>et al.</i>	(2516)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Ozone Concentration and Health Benefit Assessment in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2015 to 2020	GAO Ran, LI Qin, CHE Fei, <i>et al.</i>	(2525)
Water-soluble Inorganic Ion Content of PM _{2.5} and Its Change Characteristics in Urban Area of Beijing in 2022	CHEN Yuan-yuan, CUI Di, ZHAO Ze-xi, <i>et al.</i>	(2537)
Pollution Characteristics, Source, and Health Risk Assessment of Metal Elements in PM _{2.5} Between Winter and Spring in Zhengzhou	TAO Jie, YAN Hui-jiao, XU Yi-fei, <i>et al.</i>	(2548)
Characteristics, Sources Apportionment, and Health Risks of PM _{2.5} -bound PAHs and Their Derivatives Before and After Heating in Zibo City	SUN Gang-li, WU Li-ping, XU Bo, <i>et al.</i>	(2558)
Components Characteristic and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Transition Period of Heating Season in Xi'an with High Time Resolution	LI Meng-jin, ZHANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i>	(2571)
Source and Cause Analysis of High Concentration of Inorganic Aerosol During Two Typical Pollution Processes in Winter over Tianjin	LU Miao-miao, HAN Su-qin, LIU Ke-xin, <i>et al.</i>	(2581)
Spatial-temporal Variation and Spatial Differentiation Geographic Detection of PM _{2.5} Concentration in the Shandong Province Based on Spatial Scale Effect	XU Yong, WEI Meng-xin, ZOU Bin, <i>et al.</i>	(2596)
Characteristics of VOCs Emissions and Ozone Formation Potential for Typical Chemicals Industry Sources in China	WU Ting, CUI Huan-wen, XIAO Xian-de, <i>et al.</i>	(2613)
Formation Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources of Volatile Organic Compounds During an Air Pollution Episode in Autumn, Langfang	ZHANG Jing-qiao, LIU Zheng, DING Wen-wen, <i>et al.</i>	(2622)
Scale Effects of Landscape Pattern on Impacts of River Water Quality: A Meta-analysis	WANG Yu-cang, DU Jing-jing, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(2631)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter in Inflow Rivers of Baiyangdian Lake Water in Summer Flood Season	MENG Jia-jing, DOU Hong, CHEN Zhe, <i>et al.</i>	(2640)
Analysis on Hydrochemical Evolution of Shallow Groundwater East of Yongding River in Fengtai District, Beijing	HU Yu-xin, ZHOU Rui-jing, SONG Wei, <i>et al.</i>	(2651)
Hydrochemical Characteristics, Controlling Factors and Water Quality Evaluation of Shallow Groundwater in Tan-Lu Fault Zone (Anhui Section)	LIU Hai, WEI Wei, SONG Yang, <i>et al.</i>	(2665)
Effects of Pesticides Use on Pesticides Residues and Its Environmental Risk Assessment in Xingkai Lake (China)	WANG Wei-qing, XU Xiong, LIU Quan-zhen, <i>et al.</i>	(2678)
Characteristics of Microorganisms and Antibiotic Resistance Genes of the Riparian Soil in the Lanzhou Section of the Yellow River	WEI Cheng-chen, WEI Feng-yi, XIA Hui, <i>et al.</i>	(2686)
Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Algal Blooms and Its Driving Factors in Chaohu Lake Based on Multi-source Datasets	JIN Xiao-long, DENG Xue-liang, DAI Rui, <i>et al.</i>	(2694)
Characteristics of Epiphytic Bacterial Community on Submerged Macrophytes in Water Environment Supplemented with Reclaimed Water	HE Yun, LI Xue-mei, LI Hong-quan, <i>et al.</i>	(2707)
Effects of Water Level Fluctuations and Vegetation Restoration on Soil Prokaryotic Microbial Community Structure in the Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	MEI Yu, HUANG Ping, WANG Peng, <i>et al.</i>	(2715)
Bacterial Community Structure of Typical Lake Sediments in Yinchuan City and Its Response to Heavy Metals	MENG Jun-jie, LIU Shuang-yu, QIU Xiao-cong, <i>et al.</i>	(2727)
Effect of Thermal Hydrolysis Pretreatment Time on Microbial Community Structure in Sludge Anaerobic Digestion System	ZHANG Han, ZHANG Han, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(2741)
Source Apportionment of Morphine in Wastewater	SHAO Xue-ting, ZHAO Yue-tong, JIANG Bing, <i>et al.</i>	(2748)
Ecological Environment Dynamical Evaluation of Hutuo River Basin Using Remote Sensing	LI Yan-cui, YUAN Jin-guo, LIU Bo-han, <i>et al.</i>	(2757)
Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Ecosystem Service Value in the Yellow River Basin	WANG Yi-qi, SUN Xue-ying	(2767)
Ecosystem Service Trade-off Synergy Strength and Spatial Pattern Optimization Based on Bayesian Network: A Case Study of the Fenhe River Basin	CAI Jin, WEI Xiao-jian, JIANG Ping, <i>et al.</i>	(2780)
Spatial-temporal Evolution and Quantitative Attribution of Habitat Quality in Typical Karst Counties of Guizhou Plateau	LI Yue, FENG Xia, WU Lu-hua, <i>et al.</i>	(2793)
Spatio-temporal Variation in NEP in Ecological Zoning on the Loess Plateau and Its Driving Factors from 2000 to 2021	ZHOU Yi-ting, YAN Jun-xia, LIU Ju, <i>et al.</i>	(2806)
Land Change Simulation and Grassland Carbon Storage in the Loess Plateau Based on SSP-RCP Scenarios	CUI Xie, DONG Yan, ZHANG Lu-yin, <i>et al.</i>	(2817)
Multi-scenario Simulation of Construction Land Expansion and Its Impact on Ecosystem Carbon Storage in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration	WU Ai-bin, CHEN Fu-guo, ZHAO Yan-xia, <i>et al.</i>	(2828)
Effects of Land Use Change on Soil Aggregate Stability and Soil Aggregate Organic Carbon in Karst Area of Southwest China	JIANG Ke, JIA Ya-nan, YANG Yan, <i>et al.</i>	(2840)
Integrated Analysis of Soil Organic Matter Molecular Composition Changes Under Different Land Uses	HUANG Shi-wei, ZHAO Yi-kai, ZHU Xin-yu, <i>et al.</i>	(2848)
Prediction Spatial Distribution of Soil Organic Matter Based on Improved BP Neural Network with Optimized Sparrow Search Algorithm	HU Zhi-rui, ZHAO Wan-fu, SONG Yin-xian, <i>et al.</i>	(2859)
Effects of Application of Different Organic Materials on Phosphorus Accumulation and Transformation in Vegetable Fields	SUN Kai, CUI Yu-tao, LI Shun-jin, <i>et al.</i>	(2871)
Intensive Citrus Cultivation Suppresses Soil Phosphorus Cycling Microbial Activity	ZHOU Lian-hao, ZENG Quan-chao, MEI Tang-ying-ze, <i>et al.</i>	(2881)
Effects of Controlled-release Blended Fertilizer on Crop Yield and Greenhouse Gas Emissions in Wheat-maize Rotation System	GAO Wei, WANG Xue-xia, XIE Jian-zhi, <i>et al.</i>	(2891)
Effect of Biochar on NO ₃ ⁻ -N Transport in Loessial Soil and Its Simulation	BAI Yi-ru, LIU Xu, ZHANG Yu-han, <i>et al.</i>	(2905)
Analysis and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil in China: A Meta-analysis	YANG Li, BAI Zong-xu, BO Wen-hao, <i>et al.</i>	(2913)
Critical Review on Heavy Metal Contamination in Urban Soil and Surface Dust	WANG Xiao-yu, LIU En-feng, YANG Xiang-meng, <i>et al.</i>	(2926)
Research Progress on Solidification and MICP Remediation of Soils in Heavy Metal Contaminated Site	CHEN Yue-ru, GAO Wen-yan, CHEN Hong-ren, <i>et al.</i>	(2939)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metal in Coal Mine Area near the Yellow River in Shandong	DAI Wen-ting, ZHANG Hui, WU Xia, <i>et al.</i>	(2952)
Heavy Metal Content and Risk Assessment of Sediments and Soils in the Juma River Basin	HAN Shuang-bao, YUAN Lei, ZHANG Qiu-xia, <i>et al.</i>	(2962)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Apportionment of Soil Heavy Metals in the Yellow River Floodplain of Yinchuan City	YU Lu-jia, MA Hai-jun, WANG Cui-ping	(2971)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils of a City in Guangdong Province Based on Source Oriented and Monte Carlo Models	CHEN Lian, ZOU Zi-hang, ZHANG Pei-zhen, <i>et al.</i>	(2983)
Chemical Speciation, Influencing Factors, and Regression Model of Heavy Metals in Farmland of Typical Carbonate Area with High Geological Background, Southwest China	TANG Rui-ling, XU Jin-li, LIU Bin, <i>et al.</i>	(2995)
Hg Content Characteristics and Safe Planting Zoning of Paddy Soil and Rice in Guizhou Province	WEI Mei-liu, ZHOU Lang, HUANG Yan-ling, <i>et al.</i>	(3005)
Cadmium Phytoremediation Effect of Sweet Sorghum Assisted with Citric Acid on Typical Parent Soil in Southern China	LIU Meng-yu, LUO Xu-feng, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(3016)
Effects of Modified Distillers' Grains Biochar on Cadmium Forms in Purple Soil and Cadmium Uptake by Rice	XIAO Nai-chuan, WANG Zi-fang, YANG Wen-na, <i>et al.</i>	(3027)
Effects of Biochar on Growth and Pollutant Accumulation of Lettuce in Soil Co-contaminated with Tetracycline and Copper	ZHENG Chen-ge, PEI Huan-huan, ZHANG Ya-shan, <i>et al.</i>	(3037)
Effects of Vermicomposting on Compost Quality and Heavy Metals: A Meta-analysis	JIANG Ji-shao, HOU Rui, CUI Hui-lin, <i>et al.</i>	(3047)
Advances in the Effects of Microplastics on Soil N ₂ O Emissions and Nitrogen Transformation	LIU Yi-ge, YANG An-qi, CHEN Shu-xin, <i>et al.</i>	(3059)
Effects of Land Use Patterns on Soil Microplastic Pollution in the Luoshijiang Sub-watershed of Erhai Lake Basin	DAI Liu-yun, HOU Lei, WANG Hua, <i>et al.</i>	(3069)
Characteristics of Microplastic Pollution in Sediment of Silty Coast in Culture Bay	SONG Ke-xin, HE Jin-cheng, LI Chang-wen, <i>et al.</i>	(3078)
Effect of Polyethylene Microplastics on the Microbial Community of Saline Soils	WANG Zhi-chao, LI Zhe, LI Jia-chen, <i>et al.</i>	(3088)
Characterization of Microplastic Surface Bacterial Community Structure and Prediction of Ecological Risk in Poyang Lake, China	YU Jin-li, ZHAO Jun-kai, LUO Si-qi, <i>et al.</i>	(3098)
Energy-saving and Emission Reduction Path for Road Traffic in Key Coastal Cities of Guangdong, Fujian and Zhejiang	XU Yi-nuo, WENG Da-wei, WANG Shuo, <i>et al.</i>	(3107)
Life Cycle Carbon Reduction Benefits of Electric Heavy-duty Truck to Replace Diesel Heavy-duty Truck	XU Yuan-yuan, GONG De-hong, HUANG Zheng-guang, <i>et al.</i>	(3119)