陈晓艺,皮玉宇,张睿麒,等.景观因子对赣江水体水质的影响分析[J].环境科学与技术,2024,47(S1):207-213. Chen Xiaoyi, Pi Yuyu, Zhang Ruiqi, et al. Influence of landscape factors on water quality of Ganjiang River[J]. Environmental Science & Technology,2024,47(S1):207-213.

景观因子对赣江水体水质的影响分析

陈晓艺[1,2], 皮玉宇[1,2], 张睿麒[1,2], 聂彩云[1,2],
胡春华[1,2], 徐金英[1,2*], 马志飞[1,2*]
(1.南昌大学资源与环境学院,江西 南昌 330031;
2.南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室,江西 南昌 330031)

摘 要:流域面源污染对水体水质的影响很难被识别。研究景观因子(土地利用类型和地形因子)对河流水质的影响有助于明晰面源污染对水质的影响以及更好地管理水资源。基于冗余分析方法(RDA)和偏冗余分析方法(pRDA),该研究分析赣江主干丰枯水期水质变化,并分析1 km缓冲区土地利用组成、景观指数和地形因子3类景观因子(环境变量)对水体水质的影响。结果显示,溶解氧和镉浓度季节性差异明显,丰水期明显低于枯水期(P<0.05),其余水质指标季节性差异不明显(P>0.05),不同水质指标空间变化的异质性较大。各类景观因子对水质的贡献依次为:景观指数(13.9%~14.4%)>地形因子(4.0%~15.9%)>土地利用组成(3.7%~4.9%),景观因子对水质的影响总体丰水期高于枯水期;最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)和平均斑块形状(SHMN)是影响赣江水质的主要景观指数,高程(HI)是影响水质的主要地形因子,未利用土地(UN)、草地(GRA)、林地(FOR)、建筑用地(BU)是影响水质变化的主要土地类型。研究结果可以为河流水质有效管理提供重要的理论依据。

关键词:景观因子; 冗余分析; 水质; 赣江
中图分类号:X824 **文献标志码:**A **doi:**10.19672/j.cnki.1003-6504.0426.23.338 **文章编号:**1003-6504(2024)S1-0207-07

Influence of Landscape Factors on Water Quality of Ganjiang River

CHEN Xiaoyi[1,2], PI Yuyu[1,2], ZHANG Ruiqi[1,2], NIE Caiyun[1,2],
HU Chunhua[1,2], XU Jinying[1,2*], MA Zhifei[1,2*]
(1. School of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
2. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: The impact of non-point source pollution on water quality is difficult to identify. Studying the impact of landscape factors (land use types and topographic factors) on river water quality helps to clarify the impact of non-point source pollution on water quality and better water resources management. Based on Redundancy Analysis (RDA) and Partial Redundancy Analysis (pRDA), this study analyzed the changes of water quality in the Ganjiang River during the wet and dry seasons, and analyzed the effects of three types of landscape factors (environmental variables) of land use composition, landscape index and topographic factors in the 1 km buffer zone on water quality. The results showed that the seasonal differences of dissolved oxygen and cadmium concentration were obvious, and the wet season was significantly lower than the dry season (P<0.05). The spatial heterogeneity of different water quality indicators is large. The contribution of various landscape factors to water quality is: landscape index (13.9%~14.4%)>topographic data (4.0%~15.9%)>land use type (3.7%~4.9%). The influence of landscape factors on water quality is higher in wet season than in dry season. The largest patch index (LPI), landscape shape index (LSI) and average patch shape (SHMN) were the main landscape indices affecting the water quality of Ganjiang River. Elevation (HI) was the main topographic factor affecting water quality. Unused land (UN), grassland (GRA), forest land (FOR) and building land (BU) were the main land types affecting water quality changes. The research results can provide important theoretical basis for the effective management of river water quality.

Key words: Landscape factors, redundancy analysis; water quality; Gan River

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com
收稿日期:2023-02-27;修回2023-04-24
基金项目:江西省自然科学基金资助项目(20224BAB213036)
作者简介:陈晓艺(2001-),女,学士,主要从事湿地污染物污染治理方面研究,(电子信箱)2245631607@qq.com;*通讯作者,徐金英,讲师,(电子信箱)xujy2020@ncu.edu.cn;马志飞,助理研究员,(电子信箱)zfma919@163.com。

河流生态系统在水资源和能源供应、调节气候、维持生物多样性、促进营养循环和减轻污染等各方面发挥重要作用。然而,随着人类活动干扰的不断加剧,河流水质恶化不断加速,河流水体功能不断受影响[1,2]。河流污染物的主要来源为点源和面源[3]。点源污染主要来自于工业和生活污水,很容易被识别[1,2]。但受季节性水文、地形因子、土地利用类型等景观因子复杂的交互影响,面源污染(如农业活动和街道径流)很难被识别和评价[2,4]。因此,研究由土地利用类型和地形因子等组成的景观因子对水质的影响具有重要意义,有助于更好地了解河流水质变化的原因以及更好地管理水资源。

土地利用类型包括土地利用组成(各种土地利用类型所占的比例)和景观格局(土地利用的结构),是影响河流水质的重要因子[5,6]。土地利用类型对水质的影响随季节和空间尺度(缓冲区尺度和子流域尺度)而变[6]。大量研究显示,缓冲区尺度土地利用类型对水体水质的影响更为明显[7]。但土地利用类型对水体水质的季节性影响依然不明晰,不能够明确其对水体水质影响在丰水期还是枯水期更为明显[2,7]。景观格局指在景观空间上排列的大小形状各不相同的景观斑块,是不同的时间、空间尺度多种自然或者人为因素所造成的结果[8-10]。一个区域的景观格局分析主要集中在景观格局指数(简称景观指数)、生态环境效应分析、景观格局优化分析、城市热岛效应耦合分析以及生态系统价值服务分析[11]。文章主要用景观指数代表景观格局来研究其对水质变化的影响。

地形因子包括坡度(Slope)、地形湿度指数(TWI)、河流流经长度(FPL)等,是决定河流水质的重要因子[7,8]。一方面,地形因子可以通过改变水流速度和汇流时间来影响河流水质[9],一般更为和缓的坡度会提供污染物进入河流更长的时间[10]。另一方面,地形会通过改变土地利用类型影响河流水质[9],例如农田经常分布在坡度较为平缓的地方[11]。已有研究探讨了地形对河流水质的影响[8]。但很少有研究关注某一区域河流水质是由地形因子、土地利用类型或是其交互作用决定。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,在洪水控制、生物多样性维护和污染缓解等方面发挥关键作用[12]。但是鄱阳湖水体水质也随人类活动的干扰不断恶化,其污染物主要来自于流域支流汇入。研究支流水体污染情况及影响因子对鄱阳湖水体污染物管理具有重要指导意义。赣江作为鄱阳湖五大支流中最大的支流,其污染情况对鄱阳湖水体健康的影响尤为突出[13]。目前,对赣江水体水质的研究主要集中于评价类工作,而很少关注土地利用类型、地形因子等景观因子影响下水体水质的季节性变化。因此,本研究选择赣江主干作为研究对象,分析量化1 km缓冲区内土地利用组成、景观格局、地形等景观因子对赣江水体水质的贡献,并识别赣江水体水质季节性变化的敏感性景观因子。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

赣江是中国江西省最大河流,长江下游最重要的支流之一,由南至北纵贯江西全境。赣江上游称贡水,发源于石城县石寮崇,主河道(干流)至吴城入湖口全长766 km,流域面积83 500 km^2,占鄱阳湖流域面积的51.5%。按流域面积居于长江八大支流的第7位,按水量仅次于岷江、湘江、沅江,居第4位,而单位面积产水量则居八大支流之首。赣江流域呈现山地丘陵为主体的地貌类型,山地丘陵占流域面积的64.7%,低丘(海拔200 m以下)岗地占31.5%,平原、水域等仅占3.9%。赣江流域属于亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充足,降水多集中在4-6月,非常适宜动植物生长,年均降水量1 400~1 800 mm。作为鄱阳湖流域5河之首,其水质对鄱阳湖的水质影响很大,水质安全也与人们的经济生活密切相关。

1.2 数据收集与整理

1.2.1 样品收集

赣江水体水质数据为赣江环境质量监测站19个站点的2016年逐月数据。根据赣江气候特征,将获取数据分为丰水期(4、5、6、7、8、9月)和枯水期(1、2、3、10、11、12月)。水质参数选取了溶解氧、高锰酸盐指数、总氮、总磷、汞、铜、镉、硫化物、粪大肠菌群、氨氮10个指标。

赣江流域土地利用类型数据提取自2017年Landsat 5遥感影像(30 m分辨率)。参照《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)中的土地分类方法,将研究区域分为农田用地(AGR)、林地 (FOR)、草地(GRA)、水域(WAT)、建筑用地(BU)和未利用土地(UN)6种土地利用类型。景观指数包括边缘密度(ED)、最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、平均斑块形状(SHMN)、蔓延度指数(CONTAG)、景观凝结度指数(COHESION)、斑块聚合度 (AI)、多样性指数(SHDI)。地形数据通过ArcGIS 10.0软件在高程(DEM)中提取得到,分别为面积高程积分(HI)、坡度(Slope)、地形湿度指数(TWI)、河道长度(FPL)4个指标。在1 km缓冲区空间尺度的土地利用指标结合DEM高程数据,对赣江流域水系进行提取,利用Frag-

stats 4.2.1软件对所提取的不同缓冲区的土地利用类型图计算得出景观格局。

1.2.2　数据统计与处理

利用Origin 8.5软件制作图片。利用T检验分析水质数据的季节性差异的显著性。通过冗余分析方法（RDA）分析所有环境变量对水质变化的影响；同时，利用偏冗余分析（pRDA）分析不同环境组（地形数据、土地利用组成、景观指数）对水质变化的贡献。RDA和pRDA分析通过Canoco 5.0实现。

2　结果

2.1　景观因子基本特征

表1显示了不同景观因子的基本特征。结果显示，FPL、LSI、LPI、ED和Slope的离散程度最大，其变化范围分别为100 985.5~10 418 806、16.93~182.75、1.15~11、36.66~50.72和4.43~14.44。

表1　不同景观因子的基本特征

指标	均值	方差	最小值	最大值
HI	0.16	0.03	0.08	0.20
Slope	10.82	2.05	4.43	14.44
TWI	5.31	0.53	4.68	7.04
FPL	4 165 908.38	3 538 322.25	100 985.52	10 418 805.71
AGR	0.34	0.07	0.29	0.58
FOR	0.50	0.10	0.12	0.61
GRA	0.06	0.03	0.00	0.13
WAT	0.05	0.04	0.02	0.20
BU	0.04	0.02	0.02	0.10
UN	0.000 136	0.000 301	0	0.001 37
ED	43.22	2.54	36.66	50.72
LPI	3.25	2.85	1.15	11.00
PD	2.15	0.15	1.79	2.52
LSI	104.71	52.00	16.93	182.75
SHMN	1.74	0.03	1.70	1.85
CONTAG	60.42	1.59	56.60	63.08
COHESION	98.38	0.20	98.04	98.66
AI	92.81	0.42	91.85	94.17
SHDI	1.90	0.07	1.72	2.01

2.2　赣江水质时间变化特征

图1显示了赣江水质的季节性变化特征。结果显示，溶解氧和镉含量丰水期明显低于枯水期（$P<0.05$），丰水期溶解氧含量为7.01 mg/L，而枯水期为8.63 mg/L；丰水期镉含量为8.22×10^{-5} mg/L，枯水期则为1.39×10^{-4} mg/L。其余的水质指标均季节性差异不明显（$P>0.05$）。

2.3　赣江水质空间变化特征

图2显示赣江丰枯水期水质变化特征。结果表明，从上游到下游：高锰酸盐指数、总磷、氨氮、Cu浓度呈先上升后下降的趋势，在14号点位浓度明显较高。总氮和粪大肠菌群含量呈波动上升下降的趋势，其在14号点位明显较高。镉浓度在枯水期呈下降趋势，在丰水期呈波动上升下降的趋势。溶解氧浓度丰水期整体呈上升趋势，枯水期变化不明显。汞浓度呈先上升后下降的趋势，在8号点位较高，分别为3.33×10^{-5} mg/L（丰水期）和4.5×10^{-5} mg/L（枯水期）。硫化物浓度呈先下降后上升的趋势，其在18号点位较高，分别为1.37×10^{-2} mg/L（丰水期）、9.83×10^{-3} mg/L（枯水期）。

2.4　景观因子对赣江水质影响分析

图3和表2显示了环境变量对水质影响的RDA分析结果。丰水期所有环境变量对水质变量的解释率为65.93%，前两轴的解释率分别为56.94%和7.27%。具体而言，UN和LPI解释率最高，分别为13.85%和12.7%。枯水期所有环境变量对水质的解释率为64.63%，前两轴的解释率分别为55.02%和6.32%，其中UN、LPI和HI解释率最高，分别为9.45%、9.1%和16.6%。

总氮和总磷浓度在丰水期与BU、FPL呈显著正相关，与SHMN呈显著负相关；枯水期则与BU、AGR、FPL、LSI和COHESION存在显著正相关，与Slope呈显著负相关。氨氮浓度在丰水期与CONTAG呈显著正相关，与ED呈显著负相关；枯水期则与BU、AGR、FPL、LSI和COHESION存在显著正相关，与Slope呈明显负相关。粪大肠菌群浓度丰水期与LPI、UN、PD呈显著负相关，枯水期则与LPI、UN、PD呈明显负相关。铜浓度丰水期与BU、AGR、COHESION、FPL呈明显正相关，与Slope呈明显负相关，枯水期则与TWI显著正相关，与HI显著负相关。高锰酸盐指数丰水期与BU、AGR、COHESION、FPL呈明显正相关，与GRA呈显著负相关，枯水期与TWI、COHESION呈显著正相关，与

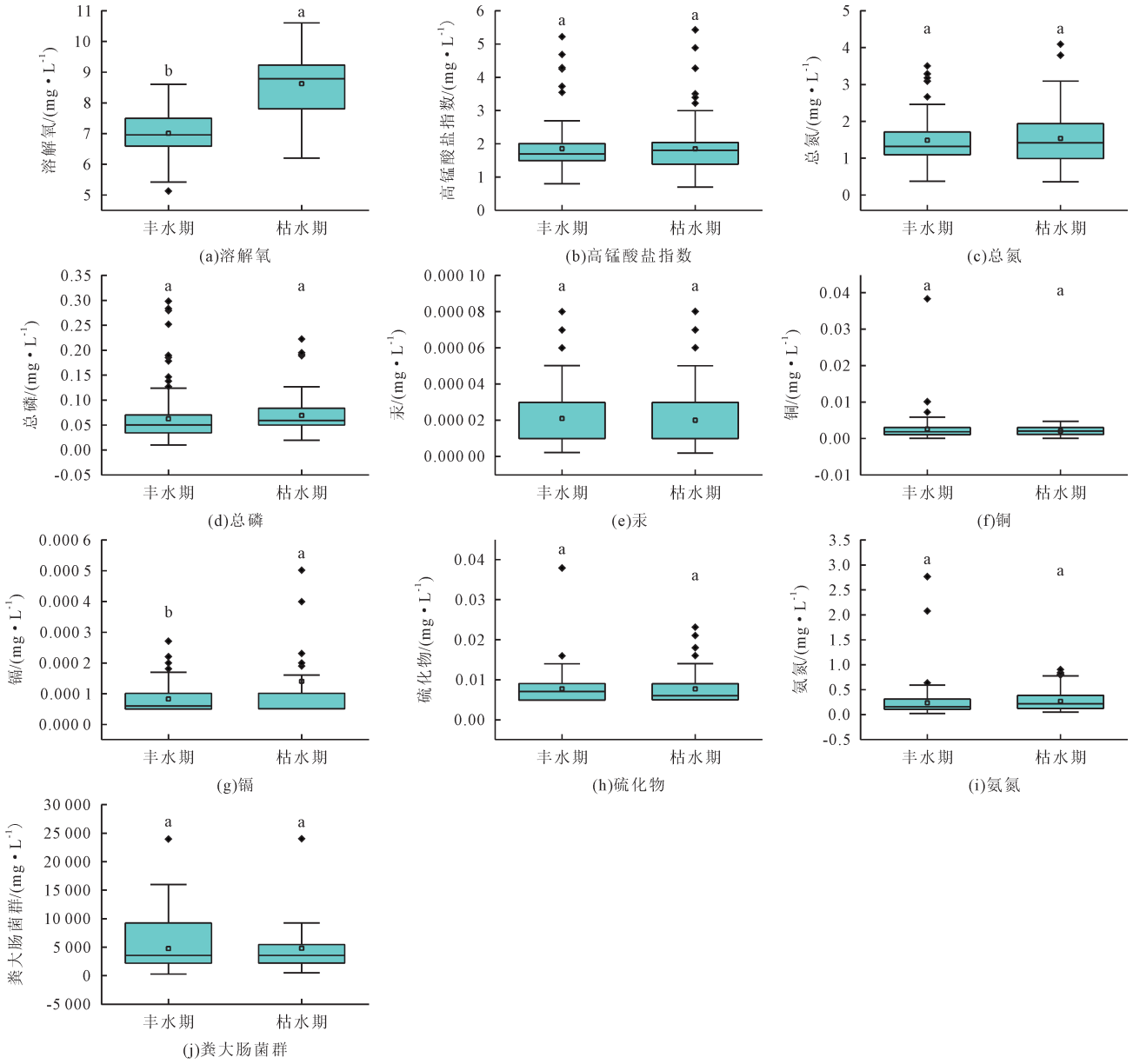


图1 水质的季节性变化

HI呈显著负相关。镉浓度丰水期与TWI、LPI存在明显的正相关,与HI呈显著负相关,枯水期与HI有显著正相关性,与TWI显著负相关。溶解氧浓度丰水期与PD、ED呈明显正相关,与CONTAG呈显著负相关,枯水期与环境变量相关性都不高。汞、硫化物浓度丰水期与环境变量相关性都不高,枯水期汞浓度与LPI呈显著正相关,硫化物浓度与HI有显著正相关,与COHESION有显著负相关。

图4显示pRDA分析土地利用组成因子、地形、景观等指数不同环境变量组对水质的贡献。各环境变量组对水质的贡献依次为:景观指数(13.9%~14.4%)>地形因子(2.9%~8.3%)>土地利用组成(3.7%~4.9%)。地形因子和景观指数对水质变化的综合影响最大(33.0%~36.1%)。各环境变量组对水质的影响均随季节而异,地形因子对水质整体变化的解释能力季节差异最大(5.4%),其次是土地利用类型(1.2%),最后是景观指数的季节性差异最小(0.5%)。

3 讨论

3.1 不同景观因子对水质的影响

明晰土地利用组成、景观指数和地形对水质的影响对改善河流水质十分重要。尽管很多研究已经分析了不同空间和时间尺度景观因子对水质的影响,但很少有研究在考虑地形因素的情况下量化分析各景观因子对水质的影响。本研究以RDA和pRDA统计方法相结合量化土地利用组成、景观指数和地形3类景观因子对赣江水质的影响。结果显示,景观指数对水质的影响最大,其解释了水质变化的13.9%~14.4%,这与已有研究相一致[14,15]。具体而言,LPI、LSI和SHMN是影响赣江水质的主要景观指数(表2)。SHMN值越

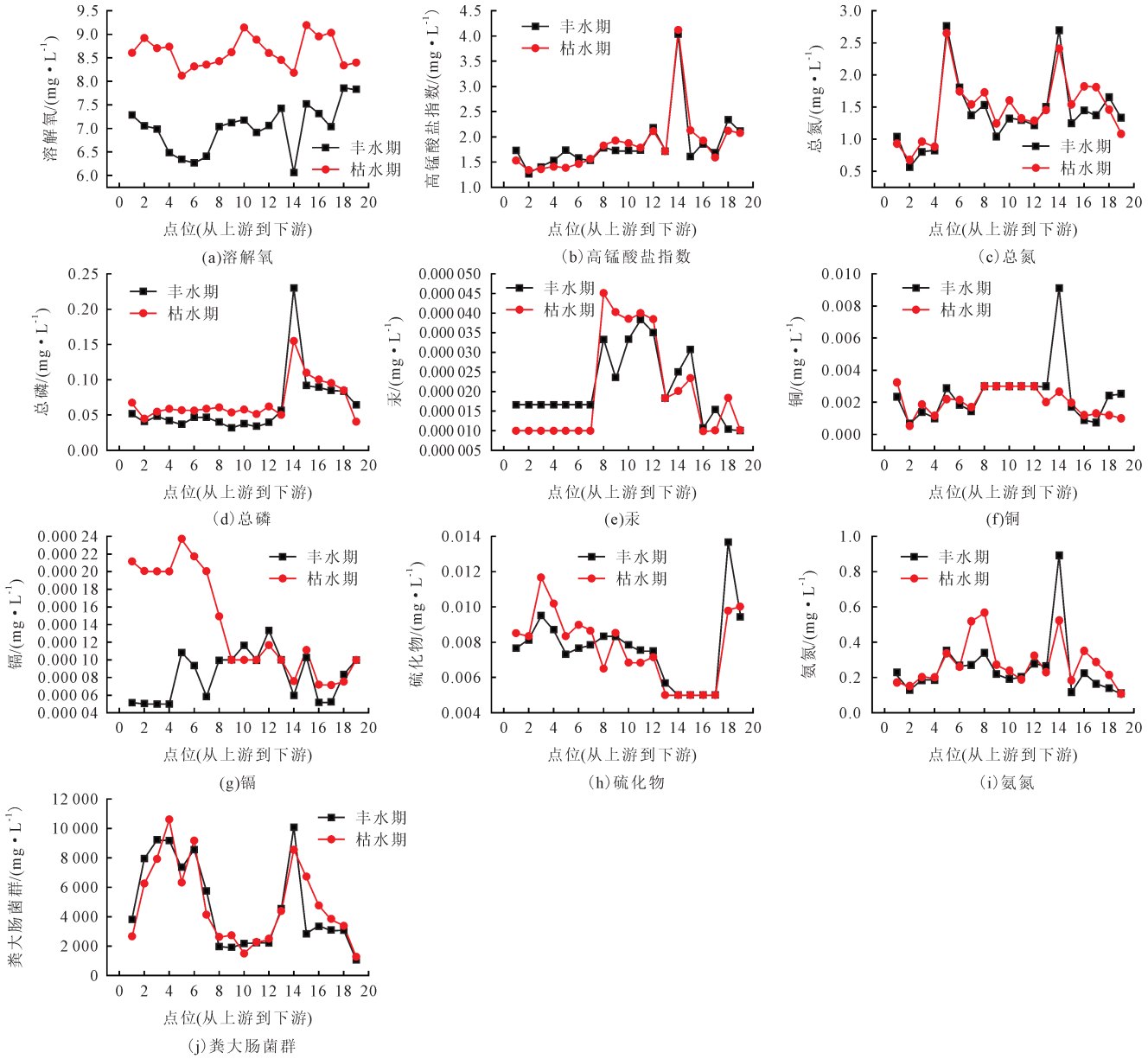


图2 赣江水质空间变化特征

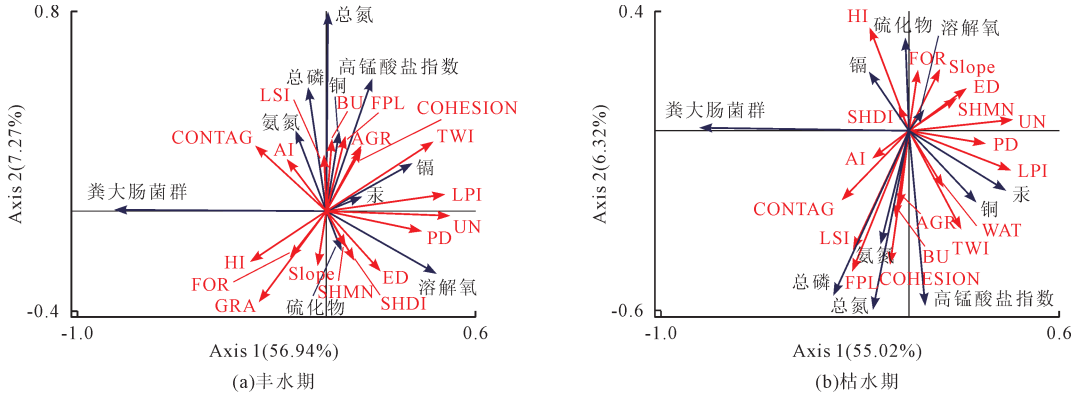
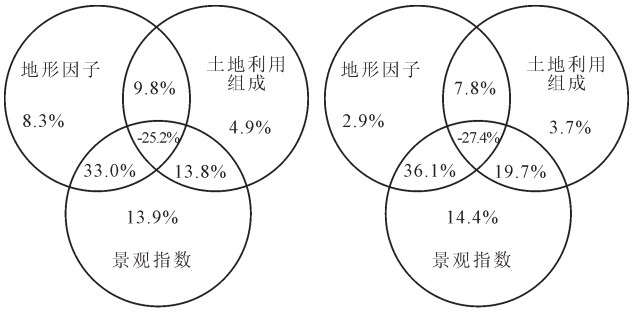


图3 不同环境变量对水质影响的RDA分析

高意味着更复杂的斑块形状和更低程度的人类活动的干扰,从而有利于水质的改善[4],这与本研究中SHMN与水质参数明显的负相关相一致(图3)。在本研究中,LPI与镉、汞、铜等重金属呈显著正相关(图3)。LPI量化了最大斑块的土地利用百分比,在本研究中林地是最大面积的斑块(表1),其能够过滤污染物,从而改善水质[1]。LSI表示景观形状复杂度,LSI值越大,景观形状越复杂,表示受人类活动干扰程度越低,

表2 RDA分析不同环境变量对水质变化的解释率

环境变量	丰水期		枯水期	
	解释率/%	显著性	解释率/%	显著性
UN	13.80	0.002	9.40	0.002
LPI	12.70	0.002	9.10	0.002
LSI	7.00	unknown	0.40	0.314
FPL	2.50	0.014	2.50	0.002
GRA	6.20	0.002		
BU	5.70	unknown	2.40	0.004
HI	4.90	0.002	16.60	0.002
SHDI	3.90	0.004	1.80	unknown
COHESION	1.70	0.032	0.20	0.634
PD	2.70	0.004	0.60	0.186
AI	1.00	unknown	0.10	0.794
TWI	1.90	0.006	2.80	0.02
FOR	0.60	0.206	4.10	0.004
SHMN	0.20	0.544	8.30	0.002
AGR	1.40	0.016	0.80	0.106
ED	0.70	0.104	0.30	unknown
CONTAG	0.70	0.104	1.70	unknown
Slope	0.10	0.68	<0.10	1
WAT			3.90	0.002



(a)丰水期 (b)枯水期

图4 pRDA量化不同类型景观因子对赣江水体水质的贡献

以森林草地等自然景观为主,越有利于水质的改善[7]。但本研究中,LSI与总氮、总磷、氨氮等水质参数呈明显正相关(图3)。有研究也显示,在离河流近的缓冲区范围内LSI与氮、磷等水质参数呈正相关[16]。这可能是因为缓冲区污染物超过森林等自然景观的纳污能力,从而与水质参数呈正相关。

地形是影响赣江水质的第二大景观因子,其解释了水质变化的4.0%~15.9%,且HI是影响水质的主要地形因子(表2),其分别解释了丰枯水期水质变化的4.9%和16.6%。HI越大,高程越低,越易于被人类利用,从而恶化河流水质[11,17],这可能解释了本研究中HI与大多数水质因子的显著负相关(图3)。土地利用组成是影响赣江水质变化的第三大景观因子,其解释了水质变化的3.7%~4.9%,其中,UN、GRA、FOR、BU是影响水质变化的主要土地类型(表2)。草地和森林人为干扰少,其能够增加下渗,从而减少污染物进入水体[1],这可能解释了本研究中森林和草地对水水质参数(如高锰酸盐指数、总磷、总氮等)的负面影响(图3)。而建筑用地可以硬化地面,加快地表径流的流速,从而使更多污染物进入河流恶化水质[2],这很好地解释了本研究中建筑用地与水质参数明显的正相关关系(图3)。未利用土地可能会增加水体中悬浮颗粒物,增加对污染物的吸附,从而降低水体中污染物,这可能是本研究中未利用土地与粪大肠杆菌群呈明显负相关的原因。

3.2 景观因子水质影响的季节性变化

景观因子对水质的影响依季节而变[2]。本研究中,RDA分析结果显示,景观因子对水质的影响丰水期高于枯水期。Pak等研究也显示土地利用对水质影响在丰水期更为明显[18]。丰水期降水较多,能够将农业、工业污染物汇集到河流,从而降低河流水质。然而有研究显示,景观因子对水质影响枯水期高于丰水期[2,19]。结果的不一致性可能与人类活动影响下研究区域地形、土地利用组成和景观指数的高度异质性有关。

4 结论

本研究在分析赣江水质时空变化的基础上,探讨1 km范围内不同景观因子对水质的影响及其影响的季节性差异。

(1)溶解氧和镉浓度季节性差异明显,丰水期明显低于枯水期(P<0.05),其余水质指标季节性差异不明显(P>0.05);不同水质指标空间变化的异质性较大。

(2)各环境变量组对水质的贡献依次为:景观指数(13.9%~14.4%)>地形因子(4.0%~15.9%)>土地利用组成(3.7%~4.9%)。其中,LPI、LSI和SHMN是影响赣江水质的主要景观指数,HI是影响水质的主要地形因子,UN、GRA、FOR、BU是影响水质变化的主要

土地类型。

(3)环境变量对水质变化的解释率总体丰水期大于枯水期,但各环境变量组对水质的影响均随季节而异。地形因子和土地利用组成对水质整体变化的解释能力季节差异较大(5.4%和1.2%),且其对水质变化的解释率丰水期大于枯水期;景观指数对水质整体变化的解释能力季节性差异较小(0.5%),其对水质变化的解释率枯水期大于丰水期。

[参考文献]

[1] 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.

[2] Zhang J, Li S Y, Dong R Z, et al. Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: a case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019,206:76-85.

[3] 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, 2021,122:107254.

[4] 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, 2019,102:633-643.

[5] Ding Y K, Wang S R, Zhang W Q, et al. A rule of hydrological regulating on nutritional status of Poyang Lake, since the operation of the Three Gorges Dam[J]. Ecological Indicators, 2019,104:535-542.

[6] Zhang J, Li 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, 2020,113:106226.

[7] Wu J H, Lu J. Spatial scale effects of landscape metrics on stream water quality and their seasonal changes[J]. Water Research, 2021,191:116811.

[8] 王耕,常畅,韩冬雪, 等. 老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化[J]. 生态学报, 2020,40(6):1910-1922.
Wang Geng, Chang Chang, Han Dongxue, et al. Temporal and spatial changes of landscape pattern and habitat quality in Laotieshan Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(6):1910-1922.

[9] 王芳,谢小平,陈芝聪. 太湖流域景观空间格局动态演变[J]. 应用生态学报, 2017,28(11):3720-3730.
Wang Fang, Xie Xiaoping, Chen Zhicong. Dynamic evolution of landscape spatial pattern in Taihu Lake Basin, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017,28(11):3720-3730.

[10] 王戈,于强,刘晓希,等. 包头市景观格局时空演变研究[J]. 农业机械学报, 2019,50(8):192-199.
Wang Ge, Yu Qiang, Liu Xiaoxi, et al. Temporal and spatial evolution of landscape pattern in Baotou City[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(8):192-199.

[11] 冯少茹,解华明,黄木易,等. 南京市景观格局与社会经济发展耦合动态分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2022,30(5):51-58.
Feng Shaoru, Xie Huaming, Huang Muyi, et al. Dynamic analysis of coupling between landscape pattern and socio-economic development in Nanjing[J]. Journal of Anhui Jianzhu University, 2022,30(5):51-58.

[12] 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, 2021,120:106940.

[13] 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.

[14] Shi W, Xia J, Zhang X. Influences of anthropogenic activities and topography on water quality in the highly regulated Huai River Basin, China[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2016,23(21):21460-21474.

[15] Li N X, Xu J F, Yin W, et al. Effect of local watershed landscapes on the nitrogen and phosphorus concentrations in the waterbodies of reservoir bays[J]. Science of the Total Environment, 2020,716:137132.

[16] Xu J Y, Wang X L, Liu J F, et al. The influence of water regime on cadmium uptake by Artemisia: a dominant vegetation in Poyang Lake wetland[J]. Journal of Environmental Management, 2021,297:113258.

[17] Jia J J, Gao Y, Lu Y, et al. Trace metal effects on gross primary productivity and its associative environmental risk assessment in a subtropical lake, China[J]. Environmental Pollution, 2020,259:113848.

[18] 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.

[19] Huang Z L, Han L Y, Zeng L X, et al. Effects of land use patterns on stream water quality: a case study of a small-scale watershed in the Three Gorges Reservoir Area, China [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2016,23(4):3943-3955.