

方知库  
Eco-Environmental  
Knowledge Web

# 环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

肆秩芳华担使命 踔厉扬帆向未来  
——庆祝厦门大学环境学科创立40周年



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年11月

第43卷 第11期  
Vol.43 No.11

目次

厦门大学环境学科创立40周年专栏

新污染物共排放对生态环境监测和管理的挑战 ..... 王佩, 黄欣怡, 曹致纬, 吴朝阳, 吕永龙(4801)

河口-近海环境新污染物的环境过程、效应与风险 ..... 王新红, 于晓璇, 王思权, 殷笑晗, 钱韦旭, 林晓萍, 吴越, 刘畅(4810)

海水痕量营养盐和金属的分子光谱分析方法研究进展 ..... 袁东星, 黄勇明, 王婷(4822)

环境水体中硫化物的分析方法:从实验室分析到原位监测 ..... 李鹏, 林坤德, 袁东星(4835)

环境水体中无机砷现场分析方法研究进展 ..... 薄光永, 陈钊英, 弓振斌, 马剑(4845)

海洋痕量元素采样技术和分析方法的发展及展望:厦门大学痕量元素平台建设进展 ..... 黄勇明, 周宽波, 陈耀瑾, 张楠, 杨俊波, 戴民汉, 曹知勉, 蔡毅华(4858)

聚乙烯微塑料的微生物降解研究进展 ..... 骆苑蓉, 钱义谦, 齐雅楠(4869)

水稻土中氮素对微生物固砷的扰动及效应机制 ..... 王锋, 张静, 周少余, 王鸿辉, 李建, 赵聪媛, 黄鹏, 陈铮(4876)

中国海洋生态毒理学研究中的毒性测试生物 ..... 史天一, 洪海征, 王明华, 谭巧国, 史大林(4888)

中国油气系统甲烷逸散排放估算 ..... 陈春赐, 吕永龙, 贺桂珍(4905)

2015~2020年厦漳泉地区大气氨排放清单及分布特征 ..... 李香, 吴水平, 姜炳祺, 刘怡靖(4914)

九龙江口微塑料与抗生素抗性基因污染分布特征 ..... 程宏, 陈荣(4924)

厦门湾沙滩沉积物微塑料污染特征 ..... 姚蕊, 刘花台, 李永玉, 刘潇雅, 吴海波, 王新红(4931)

九龙江口-厦门湾海域中溶解态痕量金属的时空分布特征与影响机制 ..... 戚柳倩, 岳新利, 钟灏文, 王棋, 王德利, 陈能汪(4939)

福建省流域-近海溶解氧时空格局与低氧调控机制 ..... 杨艾琳, 杨芳, 李少斌, 余其彪, 陈能汪(4950)

厦门西溪河口沉积物活性磷的分布特征及迁移转化机制 ..... 潘峰, 蔡宇, 郭占荣, 王新红(4961)

改性生物炭固定床对模拟湖水体中  $Mn^{2+}$  的吸附 ..... 赵浩, 叶志隆, 王佳妮, 蔡冠竟(4971)

基于表面增强拉曼光谱技术的饮用水中痕量恩诺沙星和环丙沙星快速检测 ..... 徐婧, 郑红, 卢江龙, 刘国坤(4982)

紫外驱动高级氧化法降解水体中的磷酸三苯酯 ..... 徐子文, 印红玲, 熊远明, 宋娇娇, 谯扬(4992)

研究报告

2019年秋季海南省4次臭氧污染过程特征及潜在源区分析 ..... 符传博, 陈红, 丹利, 徐文帅(5000)

伊犁河谷夏季  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  中水溶性无机离子浓度特征和形成机制 ..... 陈巧, 谷超, 徐涛, 周春华, 张国涛, 赵雪艳, 吴丽萍, 李新琪, 杨文(5009)

城区与郊区  $PM_{2.5}$  污染及传输特征差异性 ..... 齐鹏, 周颖, 程水源, 白伟超(5018)

南京北郊 BTEX 特征及健康风险评估 ..... 冯悦政, 安俊琳, 张玉欣, 王俊秀(5030)

我国陆域水体系统表层水中微塑料生态风险评估 ..... 孙晓楠, 陈浩, 贾其隆, 朱弈, 马长文, 叶建锋(5040)

东江流域不同空间尺度景观格局对水质影响分析 ..... 陈优良, 邹文敏, 刘星根, 曾金凤, 李丹, 郑汉奕(5053)

长江与黄河源丰水期地表水中汞的分布特征、赋存形态及来源解析 ..... 刘楠涛, 吴飞, 袁巍, 王训, 王定勇(5064)

青藏高原湖泊水环境特征及水质评价 ..... 刘智琦, 潘保柱, 韩语, 李刚, 王韬轶(5073)

基于水化学与硫同位素的卡林型金矿区岩溶水地球化学特征及控制因素 ..... 查学芳, 吴攀, 李学先, 陈世万, 黄家琰, 李清光, 陈思睿(5084)

丹江口水库真核浮游植物群落分布特征及其与环境因子的关系 ..... 贺玉晓, 买思婕, 任玉芬, 李卫国, 赵同谦, 马寅男(5096)

镉沸石对磷和重金属的吸附与底泥钝化性能 ..... 王哲, 朱俊, 李雯, 闫德馨, 董雯, 刘玉玲, 李家科(5106)

基于宏基因组与宏转录组分析石化废水生物处理系统脱氮功能菌群 ..... 章旭, 周佳佳, 周珉, 罗西子, 严新杰, 刘勇弟, 厉巍(5115)

寒冷地区 IFAS + 磁混凝污水厂菌群结构和抗生素抗性基因分析 ..... 杜文琰, 姚俊芹, 马辉英, 胡渊鑫, 张春雷, 陈银广(5123)

中国旱作农田一氧化氮排放及减排:Meta分析 ..... 田政云, 吴雄伟, 吴媛媛, 魏佳楠, 白鹤, 顾江新(5131)

硝化抑制剂对我国蔬菜生产产量、氮肥利用率和氧化亚氮减排效应的影响:Meta分析 ..... 刘发波, 马笑, 张芬, 梁涛, 黎亮武, 王军杰, 陈新平, 王孝忠(5140)

不同施肥措施对热带地区稻菜轮作体系土壤  $CH_4$  和  $N_2O$  排放的影响 ..... 邵晓辉, 汤水荣, 孟磊, 伍延正, 李金秋, 缙广林(5149)

不同水分条件下土地利用方式对我国热带地区土壤硝化过程及  $NO$  和  $N_2O$  排放的影响 ..... 唐瑞杰, 胡煜杰, 赵彩悦, 赵炎, 袁新生, 汤水荣, 伍延正, 孟磊(5159)

基于文献计量分析的长江经济带农田土壤重金属污染特征 ..... 刘孝严, 樊亚男, 刘鹏, 吴秋梅, 胡文友, 田康, 黄标(5169)

基于 EBK 插值预测和 GDM 模型的襄州区耕地土壤重金属时空分布及来源变化分析 ..... 高浩然, 周勇, 刘甲康, 程晓明, 郭嵩, 江衍, 谭恒鑫(5180)

基于 GIS 对宁夏某铜银矿区周边土壤重金属来源解析 ..... 张扣扣, 贺婧, 钟艳霞, 魏琪琪, 陈锋(5192)

老化作用对生物炭钝化白云鄂博矿区碱性土壤中  $Cd^{2+}$  的影响 ..... 王哲, 程俊丽, 卞园, 郑春丽, 王维大, 姜庆宏(5205)

磁性氧化铁/桑树杆生物炭的制备及其对砷污染土壤溶解性有机碳和砷形态的影响 ..... 芦琳, 颜利玲, 梁美娜, 成官文, 朱宗强, 朱义年, 王敦球(5214)

牡蛎壳粉和石灰改良酸性水稻土对磷有效性、形态和酶活性的影响 ..... 赵丽芳, 黄鹏武, 杨彩迪, 卢升高(5224)

磷、锌和镉交互作用对小白菜生长和镉累积的影响 ..... 帅祖革, 刘汉斌, 崔浩, 魏世强(5234)

重庆开州区菜地土壤抗生素污染特征及潜在生态环境风险评估 ..... 方林发, 叶莘莘, 方标, 范晓霞, 高坤鹏, 李士洋, 陈新平, 肖然(5244)

基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应 ..... 侯建坤, 陈建军, 张凯琪, 周国清, 尤号田, 韩小文(5253)

黄土丘陵区不同恢复植被类型的固碳特征 ..... 许小明, 张晓萍, 何亮, 郭晋伟, 薛帆, 邹亚东, 易海杰, 贺洁, 王浩嘉(5263)

土壤多功能性对微生物多样性降低的响应 ..... 陈桂鲜, 吴传发, 葛体达, 陈剑平, 邓扬悟(5274)

氮添加对不同坡度退化高寒草甸土壤真菌多样性的影响 ..... 苏晓雪, 李希来, 李成一, 孙华方(5286)

碳减排背景下我国与世界主要能源消费国能源消费结构与模式对比 ..... 李辉, 庞博, 朱法华, 孙雪丽, 徐静馨, 王圣(5294)

中国能源消费碳排放的空间化与时空动态 ..... 郝瑞军, 魏伟, 刘春芳, 顾斌斌, 杜海波(5305)

京津冀及周边地区“2+26”城市结构性调整政策的  $CO_2$  协同减排效益评估 ..... 杨添祺, 王洪昌, 张辰, 朱金伟, 崔宇韬, 谭玉玲, 束樞(5315)

我国塑料污染防治政策分析与建议 ..... 李欢, 朱龙, 沈茜, 贺亚楠, 邓义祥, 安立会(5326)

《环境科学》征订启事(4821) 《环境科学》征稿简则(5213) 信息(5052, 5191, 5273)

# 东江源流域不同空间尺度景观格局对水质影响分析

陈优良<sup>1,2</sup>, 邹文敏<sup>2</sup>, 刘星根<sup>2</sup>, 曾金凤<sup>3</sup>, 李丹<sup>2</sup>, 郑汉奕<sup>2</sup>

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410000; 2. 江西理工大学土木与测绘工程学院, 赣州 341000; 3. 赣江上游水文水资源监测中心, 赣州 341000)

**摘要:** 以东江源流域为研究区, 基于水质监测和土地利用类型数据, 综合运用景观指数法、相关性分析和冗余分析, 研究了2017~2019年水质空间变化特征, 揭示了东江源流域景观格局与水质的响应关系。结果表明: ① 东江源流域水质整体偏好, 但寻乌水总氮污染仍旧严重, 截至2019年, 全部监测点总氮年均浓度都超过Ⅲ类水质标准限值。② 景观水平上, 水质与景观形状指数、斑块个数和香农多样性指数呈正相关, 与最大斑块指数和聚集度指数呈负相关。类型水平上, 建设用地是东江源流域总氮和总磷输出的主要来源; 林地景观形状指数和斑块个数与氨氮呈正相关, 林地斑块个数与总磷呈正相关, 林地最大斑块指数和聚集度指数与总磷呈负相关; 草地斑块个数与总磷呈正相关, 草地聚集度指数与总磷呈负相关。③ 重视监测点2000 m缓冲区范围内景观格局的优化, 增强林草地连通性, 合理配置城镇污水集中处理设施, 强化废弃矿区治理, 加强耕地集约化处理, 在耕地集中分布区域增强其岸边防护林建设, 有助于提高东江源流域水生态功能。

**关键词:** 东江源; 水质; 景观格局; 景观指数; 空间尺度

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)11-5053-11 DOI: 10.13227/j.hjx.202201128

## Scale Effects of Landscape Pattern on Water Quality in Dongjiang River Source Watershed

CHEN You-liang<sup>1,2</sup>, ZOU Wen-min<sup>2</sup>, LIU Xing-gen<sup>2</sup>, ZENG Jin-feng<sup>3</sup>, LI Dan<sup>2</sup>, ZHENG Han-yi<sup>2</sup>

(1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410000, China; 2. School of Civil and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China; 3. Monitoring Centre for Hydrology and Water Resources Upstream Ganjiang River, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** Based on water quality monitoring data and land use data, Dongjiang River source watershed water quality variation characteristics from 2017 to 2019 and the relationships between the landscape pattern of the Dongjiang River source watershed and water quality were analyzed using spatial analysis, correlation analysis, and redundancy analysis. The results showed that: ① the water quality of the Dongjiang River source watershed improved overall, but the total nitrogen pollution was still severe. As of 2019, the annual average concentration of total nitrogen in all sampling points exceeded the type III water quality standard. ② At the landscape level, water quality was positively correlated with landscape shape index, number of patches, and Shannon's diversity index but negatively correlated with largest patch index and aggregation index. Considering the land use type, construction land was the primary source of total nitrogen and total phosphorus. Landscape shape index and number of forest patches were positively correlated with  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ . The number of forest patches was positively correlated with total phosphorus. However, the largest patch index and aggregation index of the forest were negatively correlated with total phosphorus. The number of patches of grassland was positively correlated with total phosphorus. The aggregation index of grassland was negatively correlated with total phosphorus. ③ It is suggested that management departments should focus on the optimization of the landscape pattern within the 2000 m buffer zone of monitoring points. The reasonable allocation of urban sewage-centralized treatment facilities, strengthening management of abandoned mining areas, improvement of intensive treatment of cultivated land, and construction of shelterbelt in areas where cultivated land is concentrated are beneficial for the water quality of Dongjiang River source watershed.

**Key words:** Dongjiang River source watershed; water quality; landscape pattern; landscape index; spatial scale

水资源是人类生存与发展的基础, 是国家长治久安的关键。目前, 世界上有近 80% 的人口仍面临着严重的水安全威胁<sup>[1]</sup>。我国作为世界缺水大国, 一直致力于水资源保护工作, 并将水环境保护作为国家环境建设的重点。2015 年, 国务院颁发实施了以改善水生态质量为核心的“水污染防治行动计划”, 加快推进了我国水环境保护工作。截至 2020 年底, 我国水质优良断面比例高达 87%, 同比增长 2.1%, 表明我国水污染治理到达了新的高度<sup>[2]</sup>。但部分地区由于受到人类活动强烈的干扰, 地表破坏严重, 水质状况仍旧不乐观<sup>[3]</sup>。有研究发现景观生态可以通过作用于污染物发生、迁移和转化等过程来影响河流水质<sup>[4]</sup>, 因此, 探讨地面景观格局与水

质的响应规律及其影响机制是水文环境治理及优化管理的关键。

景观格局是指地表景观要素以一定的空间配置方式进行排列和组合<sup>[5]</sup>, 其服务于特定的水文生态环境。受人类活动与自然属性等多项因素的影响, 景观格局与水质的响应关系存在显著的地域性<sup>[6,7]</sup>和时序效应<sup>[8,9]</sup>, 研究方法主要集中于冗余分析法、Spearman 秩相关和多元回归分析等<sup>[10~12]</sup>。空间尺度类型主要有流域尺度、河岸带缓冲区尺度和圆形

收稿日期: 2022-01-14; 修订日期: 2022-03-07

基金项目: 江西省水利厅科考项目(2019F000235217); 赣州市科技局重点研发计划项目(赣市科发[2018]50号)

作者简介: 陈优良(1978~), 男, 博士研究生, 副教授, 主要研究方向为环境 GIS 与时空大数据挖掘, E-mail: gis\_public@163.com

缓冲区尺度,目前普遍认为景观格局对水质的影响存在空间尺度效应,但对于最佳空间尺度的确定仍受具体分析区域影响<sup>[13,14]</sup>,如曹灿等<sup>[15]</sup>研究发现艾比湖区 300 m 河流缓冲区内的景观格局对水质的解释最佳. Sliva 等<sup>[16]</sup>的研究发现安大略省南部流域景观特征与水质的相关性最强. 朱颖等<sup>[17]</sup>的研究发现 800 m 圆形缓冲区内阳澄湖小流域景观格局与水质相关性最好. 因此,探讨更多典型区域空间尺度景观格局对水质影响仍具有重要的现实意义.

东江源流域是东江流域的源头区域,是粤港澳大湾区生产生活安全供水的保障,其景观格局的建设对维护东江源流域水质安全起着极其重要的作用. 以往学者主要从宏观角度研究整个东江流域对水质的影响,研究的重点偏向于流域中下游<sup>[18]</sup>,空间尺度主要集中于河岸带缓冲区和子流域尺度,内容侧重于景观类型组成对水质影响<sup>[18,19]</sup>,对于综合景观结构和景观类型信息在不同空间尺度景观格局对水质影响的研究较为缺乏. 因而,为了进一步探讨东江源流域不同空间尺度景观格局与水质的关系,本研究选取东江源流域作为实验区,结合 GIS 空间分析方法研究东江源流域 2017~2019 年水质空间变化特征;在划分多个圆形缓冲区的基础上,运用相关分析和冗余分析方法,分析东江源流域不同空间尺度景观格局与水质的关系. 通过探寻东江源流域何种空间尺度的景观格局对水质的影响较大以及景观格局对水质的影响规律,以期东江源流域水质管理提供科学参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

东江是珠江流域四大水系之一,位于珠江三角洲的东北端,其北部与江西省南部相接. 其中,江西省寻乌、安远和定南三县位于珠江流域东江水系的流域面积为 3 524 km<sup>2</sup>,属于东江流域的河源地区,简称东江源流域,位于江西省赣州市境东南部,与广东省接壤. 占东江全流域面积的 13.3%,以山地和丘陵为主,林地资源丰富,蕴藏稀土、钨、铀和铁等矿产资源,是江西省稀土资源主要产地之一. 水系主要包括寻乌水和定南水(图 1),二者在广东省的龙川县合河坝汇合,然后流经河源、惠州和东莞三市汇入珠江.

### 1.2 数据来源及预处理

水质数据来源于赣州市水文局,主要包括 2017~2019 年的月监测水质数据. 共有 18 个监测点,寻乌水(1~9)和定南水(11~18)分别有 9 个(图 1). 选取 5 个水质指标展开分析,包括 pH 值、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、总磷(TP)、总氮(TN)和高锰酸盐指数,

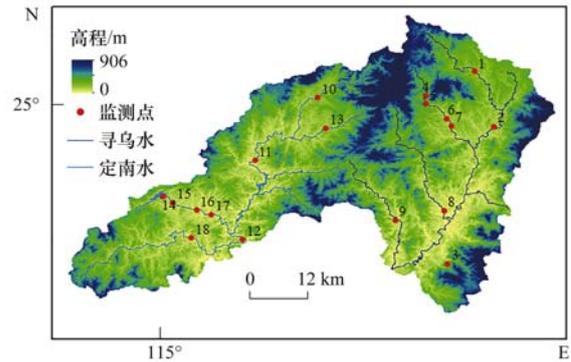


图 1 东江源流域位置、水系和监测点位置分布示意

Fig. 1 Distribution of Dongjiang River source watershed, water system, and monitoring site locations

对 5 个水质指标的月监测数据取平均值获得 2017~2019 年的年监测水质数据. 土地利用数据来源于地理国情监测平台 (<http://www.globallandcover.com>),为 2018 年 30 m 精度的二级分类数据. 将原数据中的二级分类土地利用数据重新合并为一级分类土地利用数据,分为水田、旱地、林地、草地、水域和建设用地六大类别(图 2). 运用 ArcGIS10.2 建立 18 个监测点的缓冲区,在分析前人研究的基础上<sup>[5~10]</sup>,缓冲半径选取 200、500、1 000、1 500、2 000 和 2 500 m,并与土地利用类型数据叠加获得不同空间尺度的土地利用类型数据,并通过 FRAGSTATS 4.2 软件计算监测点在不同空间尺度的景观水平景观指数和类型水平景观指数. 选取 2018 年的年监测水质数据与计算获得的景观指数,运用相关分析和冗余分析方法探究东江源流域不同尺度空间景观格局与水质的关系.

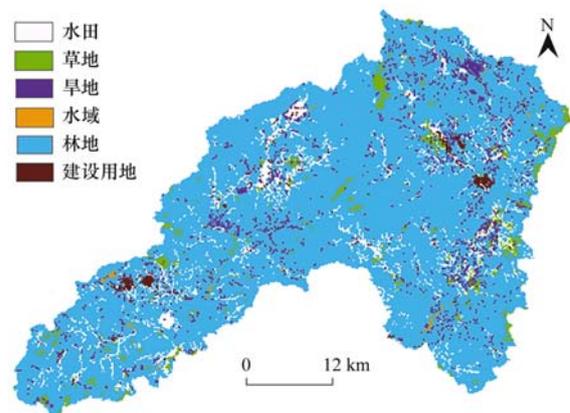


图 2 东江源流域 2018 年土地利用类型

Fig. 2 Land use types of Dongjiang River watershed source in 2018

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 景观指数法

参考已有研究<sup>[7~12]</sup>,从破碎度、丰富度、聚集度和优势度选取 6 个景观指数,包括香农多样性指数

(SHDI)、最大斑块指数(LPI)、聚集度指数(AI)、景观形状指数(LSI)、斑块个数(NP)和类型斑块占景观面积的比例(PLAND)。其中,NP和LSI反映景观破碎度,SHDI反映景观类型丰富度,AI反映景观聚集度,

LPI和PLAND反映景观优势度。景观水平上选取SHDI、LPI、AI、LSI和NP;类型水平上选取LPI、PLAND、AI、LSI和NP。各个景观指数的生态含义如表1所示。

表1 景观指数及其生态意义

Table 1 Landscape index and its ecological significance

景观指数	生态意义
聚集度指数(AI)	AI值趋向于0时,表明该类型斑块的聚合度低,当AI值趋向于100时,说明该类型斑块的聚合度高
景观形状指数(LSI)	LSI值越大,表示景观斑块不规则化程度越高,空间异质特征越高
斑块个数(NP)	NP值越大,表示景观破碎度越大,空间异质特征越强
最大斑块指数(LPI)	用于确定景观组成中的优势类型,也可反映人类活动的干扰程度,LPI值越大,人类干扰程度越高
香农多样性指数(SHDI)	SHDI值越大,景观类型越丰富,空间异质特征越强
类型斑块占景观面积比例(PLAND)	当PLAND值趋于0时,说明该斑块类型在整个景观中占比非常少;当PLAND值趋于100时,表示该斑块类型在整个景观中占比大

### 1.3.2 Pearson 相关系数分析

采用 Pearson 相关系数分析水质指标与类型水平景观指数的相关程度。具体公式为:

$$r = \frac{\sum_{j=1}^m (a_j - A)(b_j - B)}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (a_j - A)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m (b_j - B)^2}} \quad (1)$$

式中,  $a_j$  为水质指标值;  $b_j$  为景观指数数值;  $r$  为水质指标与景观指数的相关系数,介于  $-1 \sim 1$  之间。当  $0 < r < 1$  时,水质指标与景观指数呈正相关;当  $-1 < r < 0$  时,水质指标与景观指数呈负相关;当  $r = 0$  时,两者间不存在相关性。相关系数绝对值越大表明水质指标与景观指数的相关性越强。

### 1.3.3 典型对应分析与冗余分析

对水质数据与不同空间尺度的景观水平景观指数进行约束排序分析、典型对应分析(CCA)和冗余分析(RDA)是约束排序分析法中的两种方法,这两种方法都可获得景观格局对水质指标的解释能力<sup>[9]</sup>。在排序分析之前需对水质数据进行除趋势对应分析(DCA),以此判断4个轴中的梯度最大值,

若梯度最大值小于3,则采用冗余分析方法;梯度最大值大于4时,典型对应分析方法更适合;梯度值介于3和4之间,两种方法皆适用。

本研究以水质指标为因变量和景观指数为解释变量,分析景观指数对水质指标的解释能力,并制作二维排序图将二者间的解释关系直观地表示出来。箭头长度反映景观指数对水质指标的解释力度,长度越长表示景观指数解释度越强。景观指数箭头方向与水质指标箭头方向夹角小于  $90^\circ$  时,表示两者呈正相关,夹角大于  $90^\circ$  时,则呈负相关,若夹角接近或等于  $90^\circ$ ,说明两者不存在任何关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 东江源流域水质统计特征分析

表2描述了2017~2019年东江源流域水质指标统计特征。2017~2019年间,  $\text{NH}_4^+$ -N和TN均值总体下降,  $\text{NH}_4^+$ -N均值都满足Ⅲ类水质标准, TN均值都属于V类水质标准;变异系数都有所降低,且均大于36,属于强变异范畴<sup>[6]</sup>,说明东江源流域

表2 水质指标的描述性统计特征

Table 2 Descriptive statistical characteristics of water quality indicators

项目	年份	最小值 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	最大值 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	均值 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	标准差 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	变异系数 / %
TN	2017	0.55	5.12	1.929	1.13	58
	2018	0.58	3.8	1.722	0.81	47
	2019	0.51	2.82	1.816	0.65	37
$\text{NH}_4^+$ -N	2017	0.17	5.62	0.840	1.42	170
	2018	0.14	6.00	0.869	1.57	180
	2019	0.17	0.57	0.263	0.11	43
TP	2017	0.02	0.1	0.051	0.02	44
	2018	0.02	0.13	0.053	0.03	55
	2019	0.04	0.08	0.055	0.01	21
高锰酸盐指数	2017	1.55	3.18	1.956	0.41	21
	2018	1.48	3.29	1.984	0.48	24
	2019	1.58	2.42	1.959	0.22	11

$\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 TN 的分布存在强烈的空间分异. 高锰酸盐指数与 TP 均值略微增加,但整体变化不大,均满足 II类水质要求; 变异系数都是 2018 年最大,2019 年最小,2019 年 TP 和高锰酸盐指数的变异系数分别是 21 和 11,可见东江源流域高锰酸盐指数与 TP 空间变异性有所下降.

## 2.2 东江源流域水质空间变化特征

参考我国地表水质评价标准(GB 3838-2002,表 3),对 2017~2019 年 5 个年监测水质指标进行可视化(图 3). 从空间上看,除 16 和 17 监测点外,其余监测点水质总体偏弱碱性且波动较小; 相对其它水质指标,东江源流域 TN 污染较为严重,38% 以上监

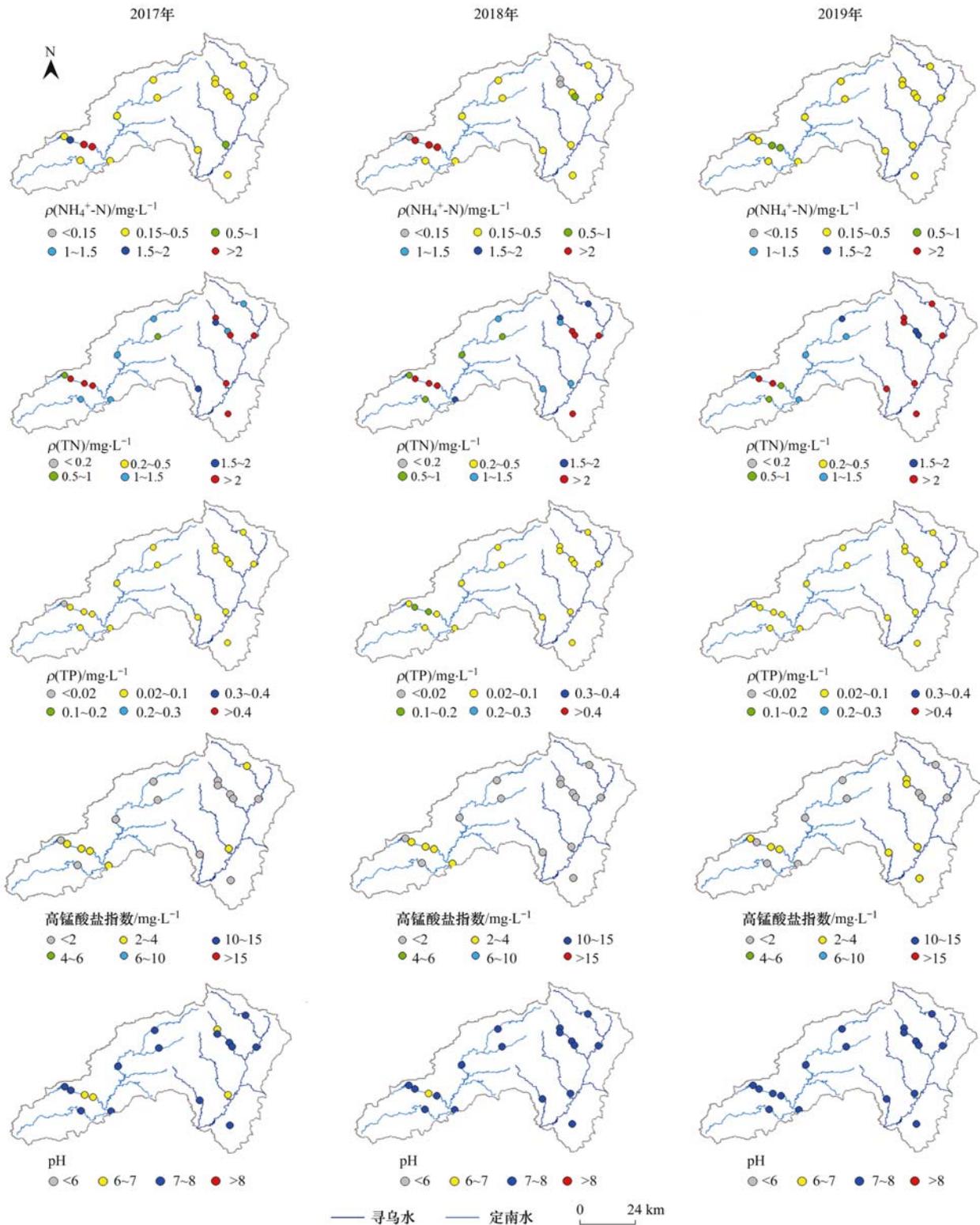


图 3 2017~2019 年东江源流域水质空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of water quality in Dongjiang River source watershed from 2017 to 2019

测点 TN 浓度超过 V 类以上水质标准, 寻乌水 TN 污染程度强于定南水. 从时间上看, 寻乌水 TN 污染具有加重的趋势;  $\text{NH}_4^+$ -N 污染逐渐改善, 除 16 和 17 监测点外, 其余监测点  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度都满足 II 类水质要求; 定南水下游 TP 污染有所上升, 但总体波动不大, 寻乌水下游高锰酸盐指数略微增加, 水质指标均达到 II 类以内水质标准. 综上所述, 东江源流域水质整体偏好, 寻乌水 TN 污染仍旧严重, 2、3、8、9、15、16 和 17 监测点 TN 污染程度较高.

表 3 地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)<sup>1)</sup>/mg·L<sup>-1</sup>

Table 3 Surface water environmental quality standards (GB 3838-2002)/mg·L<sup>-1</sup>

参数	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
TN	0.2	0.5	1	1.5	2
高锰酸盐指数	2	4	6	10	15
$\text{NH}_4^+$ -N	0.15	0.5	1	1.5	2
TP	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4

1) 数值为水质指标浓度达到水质标准的最大限值

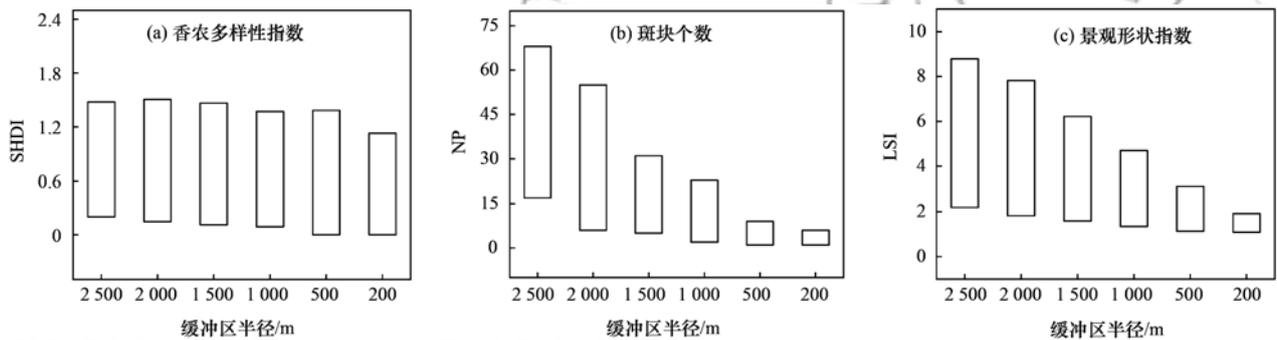


图 4 不同空间尺度的景观指数值

Fig. 4 Landscape indices at different spatial scales

2.3.2 不同空间尺度类型水平的景观异质性分析

由图 5 可知, 各个缓冲区内的土地利用类型主要以林地、建设用地和水田为主, 其它土地利用类型为辅. 随着缓冲半径的增加, 林地和草地面积比例呈逐渐上升的趋势, 建设用地面积比例则明显减少, 水田面积比例变化较小, 旱地面积比例有所波动, 整体呈上升的态势. 各景观组成类型的 LSI 和 NP 整体表现随着缓冲半径增加而增加, 说明建设用地、旱

2.3 景观空间异质性分析

2.3.1 不同空间尺度景观水平的景观异质性分析

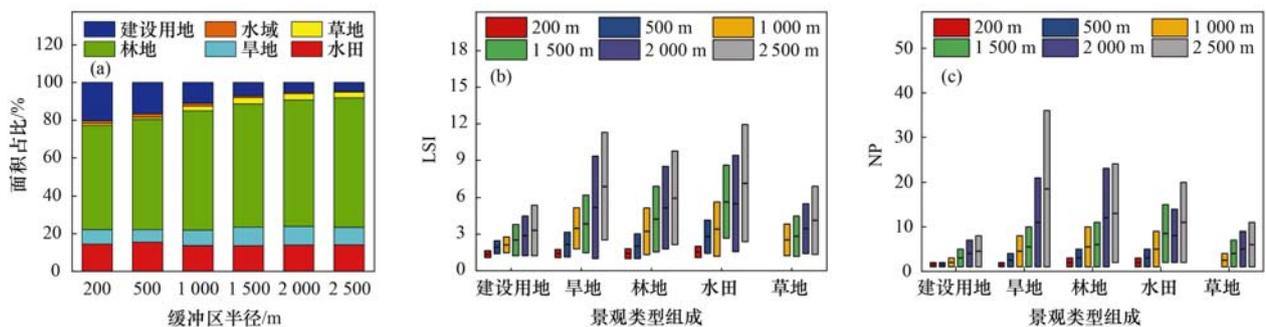
SHDI 属于敏感性指标, 其值越高代表土地利用类型越丰富, 景观类型趋于均衡化. 随着缓冲区半径的增加, SHDI 值呈逐渐上升的趋势, 说明大尺度空间的景观多样性较高, 空间异质性较强. 200 m 缓存区内 SHDI 的最小值、最大值和中位数都是最小的, 所以该缓冲区内的空间异质性最弱 [图 4(a)]. 随着缓冲区半径的增加, NP 值逐渐增大, 斑块个数变多, 土地利用破碎度越高, 空间异质性增强 [图 4(b)]. LSI 反映了景观斑块形状的规则化程度, 随着空间尺度的增加, LSI 值呈逐渐上升的趋势, 说明景观形状复杂度随着研究尺度增加而不断变大, 形状多样性增大 [图 4(c)]. 总体而言, 小尺度的研究区景观异质特征较弱, 土地破碎化程度较低.

地、林地、水田和草地的景观异质性在逐渐变高.

2.4 水质与景观格局关系分析

2.4.1 不同空间尺度类型水平景观指数与水质相关性分析

基于 SPSS 软件计算景观指数与水质指标的相关性. 如图 6 所示, 200 m 缓冲区内, 水田 PLAND 和 AI 与 TP 呈显著负相关, 建设用地 LPI 与 TP 呈显著正相关, 旱地 LSI 与 pH 和高锰酸盐指数, NP



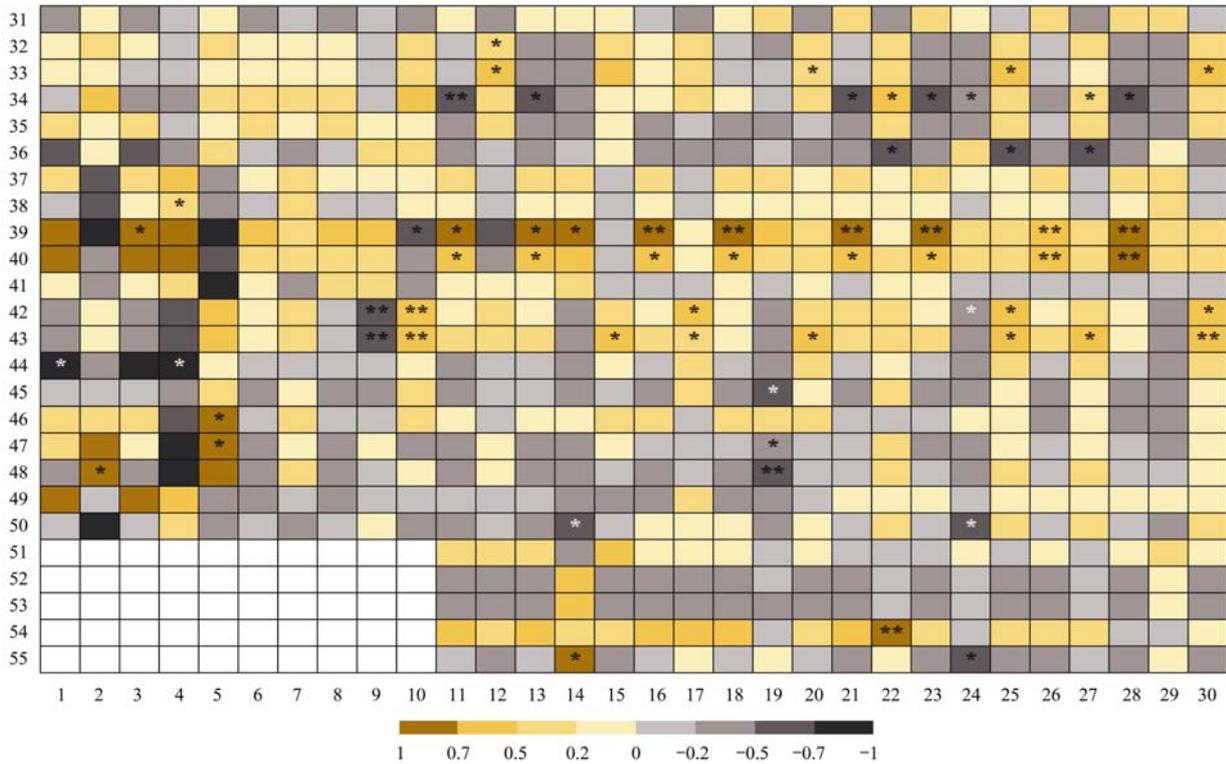
(a) 不同尺度景观组成类型面积占比, (b) 景观形状指数, (c) 斑块个数

图 5 不同尺度空间类型水平景观指数和景观组成类型面积占比分析

Fig. 5 Analysis of landscape index types and the proportion of landscape composition types at different spatial scales

与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关. 500 m 缓冲区内,水田 AI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和高锰酸盐指数呈显著负相关, LSI 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和高锰酸盐指数呈显著正相关, 建设用地 LSI 与 TP 呈现显著负相关. 1 000 m 缓冲区内,水田 LSI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关,旱地 AI 与 TN 呈

显著负相关,林地 LPI 和 PLAND 与 TP 呈显著负相关, NP 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和高锰酸盐指数呈显著正相关. 草地 AI 与 TN 呈显著正相关,建设用地 PLAND 和 LPI 与 TP 和 TN 都呈显著正相关, AI 与 TP 呈显著正相关.



1. PLAND(200 m), 2. NP(200 m), 3. LPI(200 m)4. AI(200 m), 5. LSI(200 m), 6. PLAND(500 m), 7. NP(500 m), 8. LPI(500 m), 9. AI(500 m), 10. LSI(500 m), 11. PLAND(1 000 m), 12. NP(1 000 m), 13. LPI(1 000 m), 14. AI(1 000 m), 15. LSI(1 000 m), 16. PLAND(1 500 m), 17. NP(1 500 m), 18. LPI(1 500 m), 19. AI(1 500 m), 20. LSI(1 500 m), 21. PLAND(2 000 m), 22. NP(2 000 m), 23. LPI(2 000 m), 24. AI(2 000 m), 25. LSI(2 000 m), 26. PLAND(2 500 m), 27. NP(2 500 m), 28. LPI(2 500 m), 29. AI(2 500 m), 30. LSI(2 500 m), 31. pH(林地), 32. 高锰酸盐指数(林地), 33. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(林地), 34. TP(林地), 35. TN(林地), 36. pH(建设用地), 37. 高锰酸盐指数(建设用地), 38. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(建设用地), 39. TP(建设用地), 40. TN(建设用地), 41. pH(水田), 42. 高锰酸盐指数(水田), 43. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(水田), 44. TP(水田), 45. TN(水田), 46. pH(旱地), 47. 高锰酸盐指数(旱地), 48. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(旱地), 49. TP(旱地), 50. TN(旱地), 51. pH(草地), 52. 高锰酸盐指数(草地), 53. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(草地), 54. TP(草地), 55. TN(草地); \* 表示相关性显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关性显著 ( $P < 0.01$ )

图 6 水质与类型水平景观指数相关性

Fig. 6 Correlation between water quality and type level landscape indexes

1 500 m缓冲区内,水田 NP 与高锰酸盐指数和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关, LSI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关, AI 与 TN 呈显著负相关,旱地 AI 与高锰酸盐指数和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著负相关、林地 LSI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关. 建设用地 PLAND 和 LPI 与 TP 和 TN 都呈显著正相关. 2 000 m缓冲区内,水田 LSI 与高锰酸盐指数和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关, AI 与高锰酸盐指数呈显著负相关;旱地 AI 与 TN 呈显著负相关;林地 PLAND、LPI 和 AI 与 TP 呈显著负相关, NP 与 TP 呈显著正相关, LSI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关,林地 NP 和 LSI 与 pH 呈显著负相关;草地 NP 与 TP 呈显著正相关, AI 与 TN 呈显著负相关;建设用地

PLAND 和 LPI 与 TP 和 TN 都呈显著正相关,建设用地 NP 和 LSI 与 pH 呈显著负相关. 2 500 m缓冲区内,林地 NP 和 LPI 与 TP 呈显著正相关和负相关, LSI 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关,建设用地 PLAND 和 LPI 与 TN 和 TP 均呈显著正相关,建设用地 NP 与 pH 呈显著负相关,水田 LSI 与高锰酸盐指数和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关, NP 与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N呈显著正相关.

2.4.2 不同空间尺度景观水平景观指数与水质冗余分析

运用 CANOCO5.0 软件分析景观指数与水质指标的关系. 2018 年水质指标的除趋势对应分析 (DCA)结果显示,所有排序轴中的最大梯度值是

0.22(小于3),因此选用冗余分析的方法研究水质指标与景观水平景观指数的关系,其分析结果如表4所示. 2 000 m缓冲区的景观水平景观指数对水质指标的解释率最高为50.5%,其特征值和相关系数分别为0.43和0.729,说明该尺度下的排序图可以较好地反映景观水平景观指数与水质指标的关系<sup>[14]</sup>.如图7所示,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TP、TN和高锰酸盐指数均与LSI、NP和SHDI呈正相关,与LPI和AI呈负相关.从排序图中可以看出(图7),TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和高锰酸盐指数的箭头相对较长,说明景观水平的景观指数对3个水质指标的影响更大.

表4 不同空间尺度排序轴特征值及对总方差的解释比例

Table 4 Eigenvalues of ordination axes and their explained ratio of total variance at different spatial scales

缓冲半径/m	第一轴特征值	相关系数	总解释度/%
200	0.2	0.507	25.7
500	0.17	0.502	25
1 000	0.22	0.586	32.1
1 500	0.26	0.612	35.2
2 000	0.43	0.729	50.5
2 500	0.30	0.606	38.7

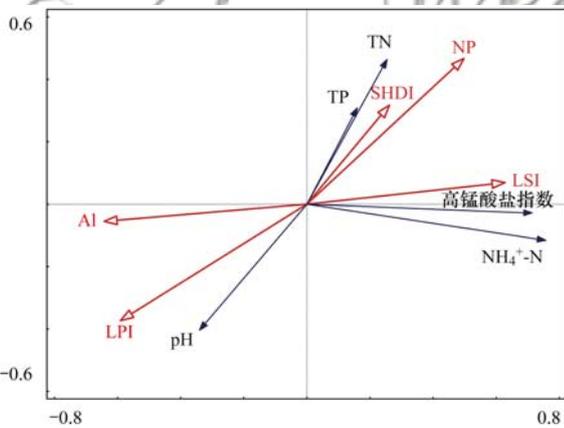


图7 水质指标与景观水平景观指数的排序分析

Fig. 7 Sorting analysis graph of water quality index and landscape level landscape indexes

### 3 讨论

#### 3.1 类型水平景观指数对水质影响分析

林地在2 000m缓冲区内与更多水质指标的相关性通过显著性检验.从表5可以得出,林地PLAND、LPI和AI越大,TP浓度就越低,林地NP和LSI越大,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和TP浓度就越高,这与刘婉锐等<sup>[11]</sup>、刘成建等<sup>[20]</sup>和田皓予等<sup>[21]</sup>的研究结论一致.这是因为林地作为汇景观类型,其冠层下的土壤层可对地表径流过程中携带的污染要素进行截留吸附,达到净化水质的效果<sup>[22,23]</sup>.当林地斑块间的连通性变差时,林地对污染物质的汇集能力会减弱,可能会发生污染物“泄漏”.早期东江源流域当地居民

生态保护意识薄弱,对森林资源不加节制地开采破坏,使得森林斑块连通度直线下降,导致东江源流域水质严重下降,森林涵养水源和保持水土的功能严重退化<sup>[24,25]</sup>.随后东江源流域开展生态环境建设,采取禁止森林乱砍滥伐、实施森林保护重点工程等措施,东江源流域水质才得到明显改善<sup>[26]</sup>.东江源流域林地面积比例高达70%以上,科学地利用其与水质的负效应,确保林地资源总量不受影响,禁止人为干扰对林地团聚性造成破坏,才是有效提高东江源流域水质的良策.

表5 林地景观指数与水质相关性(2 000m)<sup>1)</sup>

Table 5 Correlation between forest landscape indexes and water quality (2 000m)

	pH	高锰酸盐指数	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP	TN
PLAND	0.257	-0.113	-0.16	-0.512 *	-0.225
NP	-0.206	0.262	0.255	0.545 *	0.299
LPI	0.412	-0.357	-0.399	-0.534 *	-0.348
LSI	-0.121	0.437	0.52 *	0.393	0.288
AI	0.164	-0.365	-0.435	-0.479 *	-0.296

1) \*为P<0.05, \*\*为P<0.01,下同

水田在500 m缓冲区内与水质指标的相关性更强(表6),旱地在200 m缓冲区内与更多水质指标的相关性通过显著性检验(表7).水田LSI越大、AI越小,旱地NP和LSI越大,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和高锰酸盐指数浓度就越高,即耕地斑块破碎度越大,水质污染风险就越高,该结果与吕乐婷等<sup>[19]</sup>的结论不一致,原因可能与研究区城市化水平较低有关,城镇区域导致的水域污染不足以覆盖耕地对水质的负面影响<sup>[27]</sup>,由此说明景观类型面积比例不同会使得主导水质污染的源景观类型具有区域性.东江源流域耕地大多分布在河流沿岸,耕地聚集分布的区域沿河流岸边

表6 水田景观指数与水质相关性(500 m)

Table 6 Correlation between paddy field landscape indexes and water quality(500 m)

	pH	高锰酸盐指数	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP	TN
PLAND	0.11	0.01	0.05	-0.11	-0.35
NP	-0.2	0.3	0.33	-0.1	0.05
LPI	0.23	-0.16	-0.1	-0.12	-0.38
LSI	-0.41	0.68 **	0.69 **	0.19	0.21
AI	0.45	-0.68 **	-0.64 **	-0.08	-0.43

表7 旱地景观指数与水质相关性(200 m)

Table 7 Correlation between dry land landscape indexes and water quality(200 m)

	pH	高锰酸盐指数	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP	TN
PLAND	0.43	0.24	-0.33	0.87	-0.11
NP	0.22	0.74	0.94 *	-0.19	-0.73
LPI	0.38	0.12	-0.45	0.86	-0.01
AI	-0.62	-0.77	-0.84	0.52	0.44
LSI	0.87 *	0.89 *	0.7	-0.22	-0.46

一般都种植有成排的防护林,集中布局的耕地携带的污染物质在径流过程中先流经林地,使得污染物质在未抵达河流之前就被林地吸附住.而一些零星的耕地如果分布在离岸边较近但不具备防护林的区域,就会对河流水质产生较大的威胁.寻乌县和安远县从2019年起相继开展高标准农田建设,高标准农田建设是指通过改造土地布局,将土地建设成集中连片、设施配套、高产稳产、生态良好和抗灾能力强的基本农田<sup>[28]</sup>,该项目的建设势必会对东江源流域水质的进一步改善起到很大的促进作用.

建设用地在2 000 m 范围内与更多水质指标的相关性通过显著性检验.从表8可以得出,建设用地 PLAND 和 LPI 越大,TP 和 TN 的浓度就越高,这与匡文慧等<sup>[29]</sup>、项颂等<sup>[30]</sup>和吕志强等<sup>[31]</sup>的研究结论一致.这是因为东江源流域的工业主要是以稀土、钨开采冶炼为主的矿业和加工制造业<sup>[32]</sup>,工业生产产生的废水集中排入河流,污水处理配套设施的不完善<sup>[33]</sup>,使得未经处理的居民生活污水直接流入河流,加之建筑材料具有不透水特质,雨水冲刷建筑物后,形成的径流会携带污染物质进入河流,都会加剧河流水质恶化.为加强东江源流域生态环境保护,当地政府自2004年起就采取了关闭部分矿山、治理污染工业和建立污水处理厂与垃圾中转站等措施,有关措施的实施对东江源流域水质的改善起了很大的作用<sup>[34]</sup>.虽然近年废弃矿山治理政策得到有效落实,但由于以往不合理的矿山开采,废弃矿山治理难度较大,矿区污染对水质仍有较大的影响,如监测点16和17所在区域是东江源流域有名的矿区,相较于其它监测点,其水质状况显然是最差的.因而,需继续完善污水废料处理设备的建立与实施,严格把控污水排放,进一步加大对废弃矿山的治理力度,才能从根本上改善东江源流域水质.

表8 建设用地景观指数与水质相关性(2 000 m)

Table 8 Correlation between construction land landscape indexes and water quality (2 000m)

	pH	高锰酸盐指数	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP	TN
PLAND	-0.347	0.234	0.088	0.738 **	0.626 *
NP	-0.539 *	0.082	0.112	0.181	0.231
LPI	-0.308	0.222	0.066	0.737 **	0.635 *
LSI	-0.542 *	0.165	0.175	0.46	0.438
AI	0.231	0.185	-0.008	0.282	0.303

草地与水质在2 000 m 范围内与更多水质指标的相关性通过显著性检验.从表9可以得出,草地 AI 越大、NP 越小,TP 和 TN 浓度就越低,这与范志平等<sup>[6]</sup>和张晓伦等<sup>[35]</sup>的研究结论相同.草地的聚集可以增强草地对 TP 和 TN 的阻碍作用,从而达到降低河流污染的风险.也有相关研究表明草地对水质

起到“源”的作用<sup>[36]</sup>,究其原因可能是草地种植方式存在差异<sup>[27]</sup>、管理方式不当<sup>[6]</sup>或草地面积占比较少,受到“源”类型景观的干扰,减弱了对污染物质的吸附功能.东江源流域草木资源丰富,对水质具有很好的涵养作用,加强对草地资源的有效管理,增强草地间的连接度,可有效阻止氮磷物质流入河流,起到净化水质的作用.

表9 草地景观指数与水质相关性(2 000m)

Table 9 Correlation between grassland landscape indexes and water quality (2 000m)

	pH	高锰酸盐指数	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP	TN
PLAND	-0.05	-0.42	-0.36	-0.5	-0.27
NP	-0.08	-0.04	-0.01	0.75 **	0.17
LPI	-0.04	-0.46	-0.4	0.23	-0.44
LSI	-0.1	-0.32	-0.25	0.49	-0.22
AI	0.1	-0.14	-0.18	-0.13	-0.6 *

### 3.2 景观水平景观指数对水质影响分析

根据结果显示,东江源流域景观组成类型斑块的聚集度和连通性越强,水质状况越好;相反,景观组成类型斑块破碎度和异质性越高,水质越差. LPI 反映的是最大斑块面积占比,是优势度的表征,结果显示 LPI 与东江源流域水质指标呈负相关,这与东江源流域的优势景观类型是林地有关,优势景观类型是“汇”类型时,水质状况会得到较大的提高<sup>[37]</sup>. SHDI 表示景观类型的丰富度,景观多样性增加,汇流过程中经过的土地类型越多,流经源景观的概率越大,水质下降的风险也相应增加<sup>[36]</sup>.而且,SHDI 值越高意味着人类活动干扰程度越大<sup>[38]</sup>,表明河流水质的恶化与人类活动具有很大的关系.

AI 反映了景观类型斑块的聚合度,说明紧密的景观类型斑块更有利于水质的改善,东江源流域优势景观类型是林地,景观斑块团聚效果好,有利于对污染物质进行截留过滤. NP 和 LSI 反映了地表景观的破碎度和复杂度,景观组成类型斑块分裂度高、破碎化严重会加剧东江源流域水质污染,这与吕乐婷等<sup>[19]</sup>的研究结论一致.东江源流域早期粗放式发展严重地破坏了地表景观结构,如不加节制地开展退林为耕、矿山开采和果园开发等活动<sup>[25]</sup>,则地表景观破裂化程度加重,导致河流水质恶化.

### 3.3 空间尺度土地景观格局对水质影响分析

河流水质特征是受景观格局制约的物质和能量再分配过程<sup>[39]</sup>,本研究发​​现东江源流域不同空间尺度的景观指数对水质影响具有明显差异,这也与已有的研究结论一致<sup>[37,40]</sup>,由此说明通过规划土地格局来实施对水质的管理要重点考虑土地景观格局的空间尺度性,以期达到水质管理效益最大化.根据结果显示,类型水平上,林地、建设用地和草地均是

2 000 m 缓冲区内的景观格局对水质影响较大,而水田和旱地则显示较小缓冲区内的景观格局对水质影响更强.景观水平上,2 000 m 缓冲区内的景观格局对水质影响最大.综合本研究结果,应重点关注 2 000 m 缓冲区内景观的规划与配置,增强林地和草地的连通性,禁止人为干扰破坏林草地的聚集度;合理安排建设用地面积与加强城镇污水集中处理设施的建设和使用,进一步加大对废弃矿区的治理力度;加强耕地集约化处理,在耕地集中分布的区域加强其岸边防护林建设,对劣质耕地采取退耕还林还草方式,有助于增强东江源流域水环境生态功能,实现对东江源流域水资源的有效管理.

#### 4 结论

(1) 东江源流域水质整体好转,但 TN 污染仍旧严重,TN 和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  呈现更加显著的空间变异性.截至 2019 年,全部监测点 TN 年均浓度都超过 III 类水质标准限值,其余水质指标年均浓度都达到 II 类以内水质标准.

(2) 景观水平上, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、TN 和高锰酸盐指数与 LSI、NP 和 SHDI 呈正相关,与 LPI 和 AI 呈负相关.类型水平上,建设用地是东江源流域 TN、TP 输出的主要来源,类型水平上,建设用地是东江源流域 TN 和 TP 输出的主要来源,建设用地 LPI 与 TP 和 TN 呈显著正相关;林地 LSI 和 NP 与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  呈正相关,林地 NP 与 TP 呈正相关,林地 LPI 和 AI 与 TP 呈负相关;草地 NP 与 TP 呈正相关,草地 AI 与 TP 呈负相关.

(3) 应重点关注 2 000 m 缓冲区范围内景观的规划与配置,通过增强林草地连通性、城镇污水控制排放与集中处理设施的合理配置及废弃矿区的强化治理,来提高东江源流域水生态功能.另外,对耕地进行集约化处理,在耕地集中区域加强其岸边防护林的建设也有助于增强东江源流域水生态功能.

#### 参考文献:

[ 1 ] 任嘉衍. 伊河流域景观格局对水质的影响[D]. 开封: 河南大学, 2018.  
Ren J Y. The effects of landscape pattern on water quality in Yihe River basin[D]. Kaifeng: Henan University, 2018.

[ 2 ] 生态环境部. 生态环境部通报 2021 年 12 月和 1-12 月全国地表水、环境空气质量状况[EB/OL]. [https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202201/t20220131\\_968703.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202201/t20220131_968703.shtml), 2022-01-31.

[ 3 ] 陈仁祥, 高杨, 宋勇, 等. 龙南足洞稀土矿区地下水水质特征及健康风险评估[J]. 有色金属(矿山部分), 2021, 73(3): 111-118.  
Chen R X, Gao Y, Song Y, et al. Groundwater quality characteristics and health risk assessment in Longnan Zudong rare earth mine[J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2021, 73

(3): 111-118.

[ 4 ] 蔡莹, 杨旭, 万鲁河, 等. 北方寒冷地区冻融期河岸缓冲区土地利用结构对河流水质的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 679-687.  
Cai Y, Yang X, Wan L H, et al. Influence of land use structure in riparian buffers on river water quality during the freezing and thawing period in northern cold region [ J ]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(3): 679-687.

[ 5 ] 刘绿怡, 丁圣彦, 任嘉衍, 等. 景观空间异质性地表水质服务的影响研究——以河南省伊河流域为例[J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1527-1541.  
Liu L Y, Ding S Y, Ren J Y, et al. Effects of landscape spatial heterogeneity on surface water quality service: a case study in Yihe River basin, Henan Province [ J ]. Geographical Research, 2019, 38(6): 1527-1541.

[ 6 ] 范志平, 刘建治, 赵悦, 等. 蒲河水水质空间异质性特征及其对流域土地利用方式的响应[J]. 生态学杂志, 2018, 37(4): 1144-1151.  
Fan Z P, Liu J Z, Zhao Y, et al. Spatial heterogeneity of water quality and its response to land use in Puhe River basin [ J ]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(4): 1144-1151.

[ 7 ] Zhang J J, Gurkan Z, Jørgensen S E. Application of eco-exergy for assessment of ecosystem health and development of structurally dynamic models [ J ]. Ecological Modelling, 2009, 221(4): 693-702.

[ 8 ] 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.

[ 9 ] 郭羽羽, 李思悦, 刘睿, 等. 黄河流域多时空尺度土地利用与水质的关系[J]. 湖泊科学, 2021, 33(3): 737-748.  
Guo Y Y, Li S Y, Liu R, et al. Relationship between landscape pattern and water quality of the multi-scale effects in the Yellow River basin [ J ]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(3): 737-748.

[ 10 ] 王小平, 张飞, 李晓航, 等. 艾比湖区域景观格局空间特征与地表水质的关联分析[J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7438-7452.  
Wang X P, Zhang F, Li X H, et al. Correlation analysis between the spatial characteristics of land use/cover-landscape pattern and surface-water quality in the Ebinur Lake area [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(22): 7438-7452.

[ 11 ] 刘婉锐, 朱卫红, 姜明, 等. 布尔哈通河流域景观格局与河流水质关系研究[J]. 湿地科学, 2020, 18(6): 750-758.  
Liu W R, Zhu W H, Jiang M, et al. Relationship between landscape pattern of Buerhatong River basin and water quality of Buerhatong River [ J ]. Wetland Science, 2020, 18(6): 750-758.

[ 12 ] 于磊, 赵彦伟, 汪思慧, 等. 不同时空尺度下流域景观格局与水质的相关性研究——以嫩江右岸典型子流域为例[J]. 水土保持通报, 2011, 31(5): 254-258.  
Yu L, Zhao Y W, Wang S H, et al. Correlation between landscape pattern and river water quality at various temporal and spatial scales—a case study of typical sub-watersheds of Nenjiang River right bank [ J ]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(5): 254-258.

[ 13 ] 方娜, 刘玲玲, 游清徽, 等. 不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响[J]. 环境科学, 2019, 40(12): 5348-5357.  
Fang N, Liu L L, You Q H, et al. Effects of land use types at different spatial scales on water quality in Poyang Lake wetland

- [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(12): 5348-5357.
- [14] 张微微, 李晓娜, 王超, 等. 密云水库上游白河地表水质对不同空间尺度景观格局特征的响应[J]. *环境科学*, 2020, **41**(11): 4895-4904.  
Zhang W W, Li X N, Wang C, *et al.* Water quality response to landscape pattern at different spatial scales in Baihe River in the upper reaches of the Miyun Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(11): 4895-4904.
- [15] 曹灿, 张飞, 阿依尼格·亚力坤, 等. 艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨[J]. *环境科学*, 2018, **39**(4): 1568-1577.  
Cao C, Zhang F, Yalikun A, *et al.* Relationship between landscape pattern and water quality in the Ebinur Lake region [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1568-1577.
- [16] Shiva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, **35**(14): 3462-3472.
- [17] 朱颖, 王怡, 贺凤春, 等. 景观格局对阳澄湖小流域水质变化影响的空间尺度效应[J]. *水土保持通报*, 2021, **41**(2): 105-113.  
Zhu Y, Wang Y, He F C, *et al.* Spatial scale effect of landscape pattern on water quality change in Yangcheng Lake watershed [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, **41**(2): 105-113.
- [18] 刘旭拢, 邓孺孺, 秦雁, 等. 东江流域地表水功能区水质对土地利用的响应[J]. *热带地理*, 2016, **36**(2): 296-302.  
Liu X L, Deng R R, Qin Y, *et al.* Water quality response on land use pattern in the water function area of the Dongjiang River basin [J]. *Tropical Geography*, 2016, **36**(2): 296-302.
- [19] 吕乐婷, 高晓琴, 刘琦, 等. 东江流域景观格局对氮、磷输出的影响[J]. *生态学报*, 2021, **41**(5): 1758-1765.  
Lü L T, Gao X Q, Liu Q, *et al.* Influence of landscape pattern on nitrogen and phosphorus output in the Dongjiang River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(5): 1758-1765.
- [20] 刘成建, 夏军, 宋进喜, 等. 汉江中下游水质时空特征与土地利用类型响应识别研究[J]. *环境科学研究*, 2021, **34**(4): 910-919.  
Liu C J, Xia J, Song J X, *et al.* Spatial and temporal characteristics of water quality and response identification of land use patterns in middle and downstream of Hanjiang River [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, **34**(4): 910-919.
- [21] 田皓予, 佟玲, 余国安, 等. 不同空间尺度河流水质与土地利用关系分析——以泰国蒙河流域为例[J]. *农业环境科学学报*, 2020, **39**(9): 2036-2047.  
Tian H Y, Tong L, Yu G A, *et al.* Relationship between water quality and land use at different spatial scales: a case study of the Mun River basin, Thailand [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, **39**(9): 2036-2047.
- [22] 李艳利, 李艳粉, 徐宗学, 等. 浑太河上游流域河岸缓冲区景观格局对水质的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2015, **31**(1): 59-68.  
Li Y L, Li Y F, Xu Z X, *et al.* Impact of landscape pattern of riparian buffers on water quality in the upper reaches of Huntai River basin [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2015, **31**(1): 59-68.
- [23] 郝守宁, 董飞, 刘晓波, 等. 尼洋河流域土地利用结构对水质的关联分析[J]. *环境科学与技术*, 2020, **43**(1): 194-200.  
Hao S N, Dong F, Liu X B, *et al.* Effects of land use structure on water quality in Niyang River [J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, **43**(1): 194-200.
- [24] 胡细英, 熊小英. 东江源头县——寻乌县水环境生态保护研究[J]. *经济地理*, 2004, **24**(5): 588-591.  
Hu X Y, Xiong X Y. On ecological protect of water environment in Xunwu County locating at the source of Dongjiang River [J]. *Economic Geography*, 2004, **24**(5): 588-591.
- [25] 胡小华, 方红亚, 刘足根, 等. 建立东江源生态补偿机制的探讨[J]. *环境保护*, 2008, **388**(2): 39-43.
- [26] 曾金凤, 刘祖文, 刘友存, 等. 2007~2019年东江流域赣粤出境水质评价与成因分析[J]. *水土保持通报*, 2020, **40**(4): 140-147.  
Zeng J F, Liu Z W, Liu Y C, *et al.* Water quality evaluation and cause analysis of Dongjiang River basin in Jiangxi-Guangdong outbound during 2007-2019 [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, **40**(4): 140-147.
- [27] 李昆, 王玲, 孙伟, 等. 城市化下景观格局对河流水质变化的空间尺度效应分析[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(1): 343-352.  
Li K, Wang L, Sun W, *et al.* Spatial effect of landscape pattern on river water quality under urbanization [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(1): 343-352.
- [28] 国土资源部. 高标准基本农田建设规范(试行)[EB/OL]. <http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp?NewsID=16112>, 2012-06-15.
- [29] 匡文慧, 刘纪远, 陆灯盛. 京津唐城市群不透水地表增长格局以及水环境效应[J]. *地理学报*, 2011, **66**(11): 1486-1496.  
Kuang W H, Liu J Y, Lu D S. Pattern of impervious surface change and its effect on water environment in the Beijing-Tianjin-Tangshan metropolitan area [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, **66**(11): 1486-1496.
- [30] 项颂, 万玲, 庞燕. 土地利用驱动下洱海流域入湖河流水质时空分布规律[J]. *农业环境科学学报*, 2020, **39**(1): 160-170.  
Xiang S, Wan L, Pang Y. Spatial-temporal variation of inflow river water quality under land use effect [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, **39**(1): 160-170.
- [31] 吕志强, 庆旭瑶, 任玉芬, 等. 山地城市河流土地利用结构对水质的影响——以重庆市为例[J]. *湖泊科学*, 2016, **28**(2): 319-327.  
Lü Z Q, Qing X Y, Ren Y F, *et al.* Effects of land use pattern on water quality in mountainous city - a case study of Chongqing City [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, **28**(2): 319-327.
- [32] 曾金凤. 东江源寻乌县水资源开发利用问题与对策建议[J]. *江西水利科技*, 2016, **42**(2): 115-119.  
Zeng J F. Problems and suggestions in development and utilization of water resources in Xunwu River of Dongjiang River [J]. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology*, 2016, **42**(2): 115-119.
- [33] 王云峰, 甄育才, 王国, 等. 寻乌县东江源生态清洁型小流域治理思路及措施[J]. *中国水运(下半月)*, 2016, **16**(9): 192-193.
- [34] 曾金凤. 东江源水功能区水质时空变化与环境保护政策分析[J]. *江西水利科技*, 2015, **41**(3): 172-178.  
Zeng J F. Correlation analysis between Dongjiang source's spatial and temporal variation of water quality and protection policy [J]. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology*, 2015, **41**(3): 172-178.
- [35] 张晓伦, 邵妍妍, 陈占, 等. 星云湖流域土地利用变化与水质响应分析[J]. *昆明冶金高等专科学校学报*, 2020, **36**(1): 77-82, 117.  
Zhang X L, Shao Y Y, Chen Z, *et al.* Response analysis

- between land use change and water quality in Xingyun Lake basin [J]. *Journal of Kunming Metallurgy College*, 2020, **36**(1): 77-82, 117.
- [36] 徐启渝, 王鹏, 舒旺, 等. 土地利用结构与空间格局对袁河水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(7): 2611-2620.  
Xu Q Y, Wang P, Shu W, *et al.* Investigation of the impacts of land use structure and spatial pattern on water quality in the Yuan River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(7): 2611-2620.
- [37] 杨强强, 徐光来, 杨先成, 等. 青弋江流域土地利用/景观格局对水质的影响[J]. *生态学报*, 2020, **40**(24): 9048-9058.  
Yang Q Q, Xu G L, Yang X C, *et al.* Responses of water quality to land use & landscape pattern in the Qingyijiang River watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(24): 9048-9058.
- [38] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 66-72.  
Huang J L, Li Q S, Hong H S, *et al.* Preliminary study on linking land use & landscape pattern and water quality in the Jiulong River watershed [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(1): 66-72.
- [39] 乔郭亮, 周寅康, 顾铮鸣, 等. 苏南地区景观格局特征与坑塘水质关联关系[J]. *农业工程学报*, 2021, **37**(10): 224-234.  
Qiao G L, Zhou Y K, Gu Z M, *et al.* Analysis of the linkage between landscape pattern and the water quality of ponds in Southern Jiangsu of China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, **37**(10): 224-234.
- [40] 张勇荣, 周忠发, 蒋翼, 等. 筑坝河流不同尺度土地利用结构对库区水质的影响——以平寨水库为例[J]. *水利水电技术*, 2019, **50**(4): 138-145.  
Zhang Y R, Zhou Z F, Jiang Y, *et al.* Effects of multi-scale land use structure on water quality of damming rivers—a case study of Pingzhai Reservoir [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2019, **50**(4): 138-145.

环境科学

## CONTENTS

Challenges Regarding the Co-emission of Emerging Pollutants to Eco-environmental Monitoring and Management .....	WANG Pei, HUANG Xin-yi, CAO Zhi-wei, <i>et al.</i> (4801)
Environmental Process, Effects and Risks of Emerging Contaminants in the Estuary-Coastal Environment .....	WANG Xin-hong, YU Xiao-xuan, WANG Si-quan, <i>et al.</i> (4810)
Research Progress of Analytical Methods with Molecular Spectroscopy for Determination of Trace Nutrients and Metals in Seawaters .....	YUAN Dong-xing, HUANG Yong-ming, WANG Ting (4822)
Research Progress on the Determination of Sulfide in Natural Waters: From Laboratory Analysis to In-Situ Monitoring .....	LI Peng, LIN Kun-de, YUAN Dong-xing (4835)
Advances in On-site Analytical Methods for Inorganic Arsenic in Environmental Water .....	BO Guang-yong, CHEN Zhao-ying, GONG Zhen-bin, <i>et al.</i> (4845)
Advances and Prospect of Sampling Techniques and Analytical Methods for Trace Elements in the Ocean; Progress of Trace Element Platform Construction in Xiamen University .....	..... HUANG Yong-ming, ZHOU Kuan-bo, CHEN Yao-jin, <i>et al.</i> (4858)
Biodegradation of Polyethylene Microplastic: A Review .....	..... LUO Yuan-rong, QIAN Yi-qian, QI Ya-nan (4869)
Mechanism and Environmental Effect on Nitrogen Addition to Microbial Process of Arsenic Immobilization in Flooding Paddy Soils .....	WANG Feng, ZHANG Jing, ZHOU Shao-yu, <i>et al.</i> (4876)
Toxicity Testing Organisms for Marine Ecotoxicological Research in China .....	SHI Tian-yi, HONG Hai-zheng, WANG Ming-hua, <i>et al.</i> (4888)
Estimating Methane Fugitive Emissions from Oil and Natural Gas Systems in China .....	CHEN Chun-ci, LÜ Yong-long, HE Gui-zhen (4905)
Atmospheric NH <sub>3</sub> Emission Inventory and Its Tempo-spatial Changes in Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou Region from 2015 to 2020 .....	LI Xiang, WU Shui-ping, JIANG Bing-qi, <i>et al.</i> (4914)
Distribution of Microplastic and Antibiotic Resistance Gene Pollution in Jiulong River Estuary .....	..... CHENG Hong, CHEN Rong (4924)
Pollution Characteristics of Microplastics in Sediments of Xiamen Bay Beach .....	..... YAO Rui, LIU Hua-tai, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (4931)
Spatial and Temporal Distribution and Influencing Factors of Dissolved Trace Metals in Jiulong River Estuary and Xiamen Bay .....	..... QI Liu-qian, YUE Xin-li, ZHONG Hao-wen, <i>et al.</i> (4939)
Spatiotemporal Characteristics of Dissolved Oxygen and Control Mechanism of Hypoxia (Low Oxygen) in the Watershed-Coastal System in Fujian Province .....	..... YANG Ai-lin, YANG Fang, LI Shao-bin, <i>et al.</i> (4950)
Distribution, Migration, and Transformation Mechanism of Labile Phosphorus in Sediments of Xixi River Estuary, Xiamen .....	..... PAN Feng, CAI Yu, GUO Zhan-rong, <i>et al.</i> (4961)
Adsorption of Mn <sup>2+</sup> by Modified Biochar Fixed Bed in Simulated Lakes and Reservoir Waters .....	..... ZHAO Jie, YE Zhi-long, WANG Jia-ni, <i>et al.</i> (4971)
Rapid Detection of Trace Enrofloxacin and Ciprofloxacin in Drinking Water by SERS .....	..... XU Jing, ZHENG Hong, LU Jiang-long, <i>et al.</i> (4982)
Degradation of Triphenyl Phosphate in Water by UV-driven Advanced Oxidation Processes .....	..... XU Zi-wen, YIN Hong-ling, XIONG Yuan-ming, <i>et al.</i> (4992)
Characteristics and Potential Sources of Four Ozone Pollution Processes in Hainan Province in Autumn of 2019 .....	..... FU Chuan-bo, CHEN Hong, DAN Li, <i>et al.</i> (5000)
Characterization and Formation Mechanism of Water-soluble Inorganic Ions in PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> in Summer in the Urban Agglomeration of the Ili River Valley .....	..... CHEN Qiao, GU Chao, XU Tao, <i>et al.</i> (5009)
Difference in PM <sub>2.5</sub> Pollution and Transport Characteristics Between Urban and Suburban Areas .....	..... QI Peng, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (5018)
Characteristics and Health Risk Assessment of BTEX in the Northern Suburbs of Nanjing .....	..... FENG Yue-zheng, AN Jun-lin, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (5030)
Ecological Risk Assessment of Microplastics Occurring in Surface Water of Terrestrial Water Systems across China .....	..... SUN Xiao-nan, CHEN Hao, JIA Qi-long, <i>et al.</i> (5040)
Scale Effects of Landscape Pattern on Water Quality in Dongjiang River Source Watershed .....	..... CHEN You-liang, ZOU Wen-min, LIU Xing-gen, <i>et al.</i> (5053)
Mercury Speciation, Distribution, and Potential Sources in Surface Waters of the Yangtze and Yellow River Source Basins of Tibetan Plateau During Wet Season .....	..... LIU Nan-tao, WU Fei, YUAN Wei, <i>et al.</i> (5064)
Water Environmental Characteristics and Water Quality Assessment of Lakes in Tibetan Plateau .....	..... LIU Zhi-qi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, <i>et al.</i> (5073)
Karst Hydrogeochemical Characteristics and Controlling Factors of Carlin-type Gold Mining Area Based on Hydrochemistry and Sulfur Isotope .....	..... ZHA Xue-fang, WU Pan, LI Xue-xian, <i>et al.</i> (5084)
Characteristics of Eukaryotic Phytoplankton Community Structure and Its Relationship with Environmental Factors in Danjiangkou Reservoir .....	..... HE Yu-xiao, MAI Si-jie, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (5096)
Adsorption of Phosphate and Heavy Metals by Lanthanum Modified Zeolite and Its Performance in Sediment Inactivation .....	..... WANG Zhe, ZHU Jun, LI Wen, <i>et al.</i> (5106)
Metagenomic and Metatranscriptomic Analysis of Nitrogen Removal Functional Microbial Community of Petrochemical Wastewater Biological Treatment Systems .....	..... ZHANG Xu, ZHOU Jia-jia, ZHOU Min, <i>et al.</i> (5115)
Bacterial Community Structure and Antibiotic Resistance Gene Changes in IFAS + Magnetic Coagulation Process Wastewater Treatment Plant in Cold Regions .....	..... DU Wen-yan, YAO Jun-qin, MA Hui-ying, <i>et al.</i> (5123)
Nitric Oxide Emissions from Chinese Upland Cropping Systems and Mitigation Strategies: A Meta-analysis .....	..... TIAN Zheng-yun, WU Xiong-wei, WU Yuan-yuan, <i>et al.</i> (5131)
Impact of Nitrification Inhibitors on Vegetable Production Yield, Nitrogen Fertilizer Use Efficiency and Nitrous Oxide Emission Reduction in China: Meta Analysis .....	..... LIU Fa-bo, MA Xiao, ZHANG Fen, <i>et al.</i> (5140)
Effect of Different Fertilization Treatments on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Rice-Vegetable Rotation in a Tropical Region, China .....	..... SHAO Xiao-hui, TANG Shui-rong, MENG Lei, <i>et al.</i> (5149)
Effects of Land-use Conversion on Soil Nitrification and NO & N <sub>2</sub> O Emissions in Tropical China Under Different Moisture Conditions .....	..... TANG Rui-jie, HU Yu-jie, ZHAO Cai-yue, <i>et al.</i> (5159)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil of the Yangtze River Economic Belt Based on Bibliometric Analysis .....	..... LIU Xiao-yan, FAN Ya-nan, LIU Peng, <i>et al.</i> (5169)
Spatial and Temporal Distribution and Source Variation of Heavy Metals in Cultivated Land Soil of Xiangzhou District Based on EBK Interpolation Prediction and GDM Model .....	..... GAO Hao-ran, ZHOU Yong, LIU Jia-kang, <i>et al.</i> (5180)
Identification of Soil Heavy Metal Sources Around a Copper-silver Mining Area in Ningxia Based on GIS .....	..... ZHANG Kou-kou, HE Jing, ZHONG Yan-xia, <i>et al.</i> (5192)
Effect of Aging on Stabilization of Cd <sup>2+</sup> Through Biochar Use in Alkaline Soil of Bayan Obo Mining Area .....	..... WANG Zhe, CHENG Jun-li, BIAN Yuan, <i>et al.</i> (5205)
Preparation of Magnetic Iron Oxide/Mulberry Stem Biochar and Its Effects on Dissolved Organic Carbon and Arsenic Speciation in Arsenic-Contaminated Soils .....	..... LU Lin, YAN Li-ling, LIANG Mei-na, <i>et al.</i> (5214)
Effects of Oyster Shell Powder and Lime on Availability and Forms of Phosphorus and Enzyme Activity in Acidic Paddy Soil .....	..... ZHAO Li-fang, HUANG Peng-wu, YANG Cai-di, <i>et al.</i> (5224)
Effects of Interaction of Zinc and Cadmium on Growth and Cadmium Accumulation of <i>Brassica campestris</i> L. ....	..... SHUAI Zu-ping, LIU Han-yi, CUI Hao, <i>et al.</i> (5234)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in Vegetable Field in Kaizhou, Chongqing .....	..... FANG Lin-fa, YE Ping-ping, FANG Biao, <i>et al.</i> (5244)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of Carbon Storage in the Source Region of the Yellow River Based on InVEST and GeoSoS-FLUS Models and Its Response to Different Future Scenarios .....	..... HOU Jian-kun, CHEN Jian-jun, ZHANG Kai-qi, <i>et al.</i> (5253)
Carbon Sequestration Characteristics of Different Restored Vegetation Types in Loess Hilly Region .....	..... XU Xiao-ming, ZHANG Xiao-ping, HE Liang, <i>et al.</i> (5263)
Response of Soil Multifunctionality to Reduced Microbial Diversity .....	..... CHEN Gui-xian, WU Chuan-fa, GE Ti-da, <i>et al.</i> (5274)
Effect of Nitrogen Addition on Soil Fungal Diversity in a Degraded Alpine Meadow at Different Slopes .....	..... SU Xiao-xue, LI Xi-lai, LI Cheng-yi, <i>et al.</i> (5286)
Comparative Energy Consumption Structure and Mode between China and Major Energy-Consuming Countries Under the Background of Carbon Emission Reduction .....	..... LI Hui, PANG Bo, ZHU Fa-hua, <i>et al.</i> (5294)
Spatialization and Spatio-temporal Dynamics of Energy Consumption Carbon Emissions in China .....	..... HAO Rui-jun, WEI Wei, LIU Chun-fang, <i>et al.</i> (5305)
Carbon Dioxide Mitigation Co-effect Analysis of Structural Adjustment Measures in the "2+26" Cities in the Jing-Jin-Ji Region and Its Surroundings .....	..... YANG Tian-qi, WANG Hong-chang, ZHANG Chen, <i>et al.</i> (5315)
Policy Analysis in Plastic Pollution Governance and Recommendations in China .....	..... LI Huan, ZHU Long, SHEN Qian, <i>et al.</i> (5326)