

苏南城区土地景观格局与河流水质关联分析

林小明¹, 徐 慧², 谭梦圆², 赵 文³

(1. 溧阳市水利局, 江苏 常州 213399; 2. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

3. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213022)

摘要:以2021年溧阳城区土地利用和骨干河道6个水质断面逐月监测数据为基础,以监测断面为中心建立缓冲区,采用缓冲区划分、景观格局指数计算和冗余分析方法(RDA),探讨4个不同空间尺度缓冲区的土地利用结构、景观格局指数与水质的关联关系。

关键词:土地利用; 景观指数; 河流水质; 冗余分析; 溧阳城区

中图分类号:F301.24;X144 文献标识码:A 文章编号:1007-7839(2023)07-0017-0007

Analysis of the relationship between land use and landscape spatial characteristics and river water quality in southern Jiangsu urban area

LIN Xiaoming¹, XU Hui², TAN Mengyuan², ZHAO Wen²

(1. Liyang Water Conservancy Bureau, Changzhou 213399, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Changzhou Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Changzhou 213022, China)

Abstract: The study was based on the Liyang urban area land use and the monthly monitoring data of 6 water quality cross-sections of backbone rivers in 2021, and buffer zones were established with the monitoring cross-sections as the center. Using buffer zone division, landscape index calculation and redundancy analysis method (RDA), the correlation between land use structure, landscape pattern index and water quality in four different spatial scale buffer zones were discussed.

Key words: land use; landscape index; river water quality; redundancy analysis; Liyang urban area

人类活动是土地利用变化的主要驱动力,景观空间结构、格局变化是人类活动的综合表征^[1-2]。土地利用和景观格局变化会引起水文过程改变,导致非点源污染物的发生位置、迁移路径和转化过程发生改变,从而影响水质^[3-4]。土地利用和景观格局与水质之间关系复杂,土地利用类型的改变可以影响土壤养分的变化^[5]。虽然点源污染得到控制,但非点源污染治理的问题日渐突出,逐渐成为影响地表水质的主要因素^[6-7]。水质和土地利用及景观结构关系研究的常用方法包括统计方法和模型模拟方法,其中,统计方法因所需数据较为简单,能够反

映多种类型要素的影响,普遍得到应用。常用的多元分析技术包括Pearson相关性分析、灰色关联、t检验等方法,具体路径为运用多元回归等方法确定主要参数以及各参数在系统中对因变量的控制方向及控制程度,再通过排序分析(CA/CCA/RDA)等方法计算各参数的贡献率,确定影响因子的贡献能力。针对不同流域、河岸带等空间尺度的研究^[8]以及时间尺度差异的研究正逐步受到重视^[9]。随着城镇化的加速,流域城镇化景观格局对水质的影响逐渐加剧^[10],岸边带尺度景观对于水质的解释能力大于流域尺度^[11]。目前学术界对河岸带范围没有统

收稿日期: 2023-04-07

作者简介: 林小明(1980—),男,工程师,本科,主要从事水资源保护和管理研究。E-mail: 379314953@qq.com

一的界定,不同岸带尺度景观对水质影响效果的研究仍需加强。

通过分析土地利用和景观格局与河湖水质的关系,可以为识别影响水质的主要因素、改善河湖水环境提供依据^[12]。本研究以溧阳城区为研究区,根据2021年逐月水质监测数据和土地利用现状,以水质断面为中心划分不同尺度的缓冲区,采用冗余分析方法分析土地利用和景观格局与水质的关联关系,探讨土地利用和景观格局对河流水质影响的空间分异特征,旨在为制定该地区河流水污染防治对策措施提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

研究区范围选择溧阳城区作为苏南城区的典型代表,具体范围根据2020年《江苏省政府关于同意变更溧阳市部分行政区划的批复》文件,以新设立的溧城街道、昆仑街道和古县街道作为研究区,该区域面积232.11 km²,占溧阳市总面积的15%,属于北亚热带季风气候,降水充沛,地形以平原圩区为主,区内河道纵横交错,东西向的南河、中河和南北向的丹金溧漕河、溧戴河、竹箴河构成区域骨干河网。

1.2 数据来源

研究所涉及的数据主要为土地利用和水质。土地利用通过对2021年10月的Landsat 8 OLI的遥感影像数据进行解译提取得到,该数据空间分辨率为30 m。根据研究区土地利用特点,将土地利用类型分为耕地、林地、建设用地、坑塘和水系。使用ENVI软件,在对遥感影像预处理之后,依次选取不同土地利用类型样本,以最大似然法进行分类,同时检验样本离散程度,输出shp文件导入ArcGIS

中,并验证其精度,总体分类精度91.92%,Kappa系数为0.84,土地分类数据精度符合要求。水质数据为研究区内的濠水桥、夏宗悍大桥、昆仑桥、玉泰桥、东平桥和长木桥6个常规监测断面2021年各月监测数据。

2 研究方法

2.1 缓冲区划分方法

研究区为平原圩区,河流呈往复流态,上下游关系不明显,同一断面水质可能受多个方向来水影响,因此采用以水质监测断面为中心的圆形缓冲区作为水文单元^[13]。以2021年土地利用数据为基础,以水质监测断面为中心,选取300 m、500 m、1 000 m和1 500 m共4个尺度建立圆形缓冲区,缓冲区范围界定通过ArcGIS实现。

2.2 景观指数选取和计算方法

基于能够反映景观格局特征的研究需求,选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(AREA_MN)、最大斑块指数(LPI)4个斑块水平指数,以及香浓多样性指数(SHDI)、香浓均匀度指数(SHEI)、蔓延度指数(CONTAG)、景观形状指数(LSI)和聚合度指数(AI)5个景观水平指数表征景观格局特征,见表1。使用Fragstats 4.2计算不同缓冲区的景观指数值。

2.3 冗余分析方法

冗余分析方法(RDA)可以揭示单个景观变量对河流水质变化的贡献率,用二维排序图直观展示景观指数与水质参数之间的关系^[14]。为了直观显示土地景观结构特征对河流水质的影响,采用冗余分析法(RDA)对不同空间尺度缓冲区土地利用和景观格局与水质指标的关系进行分析。在采用该方法之前,需使用Canoco 5对水质数据进行降趋势

表1 景观格局指数及含义

| 类型 | 景观格局指数 | 意义 |
|------|-----------------|--------------------------|
| 斑块水平 | 斑块数量(NP) | 反映景观的异质性和破碎度 |
| | 斑块密度(PD) | 反映斑块在空间上的均匀分布程度 |
| | 平均斑块面积(AREA_MN) | 反映景观的破碎程度 |
| | 最大斑块指数(LPI) | 某种景观类型的最大斑块面积占该景观总面积的百分比 |
| 景观水平 | 香浓多样性指数(SHDI) | 反映景观类型的多样性和复杂性 |
| | 香浓均匀度指数(SHEI) | 反映景观受到多少种优势斑块类型的支配 |
| | 蔓延度指数(CONTAG) | 表示景观类型的斑块集聚程度或延展趋势 |
| | 景观形状指数(LSI) | 反映景观斑块形状的复杂程度和斑块之间的分离程度 |
| | 聚合度指数(AI) | 反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度 |

对应分析(DCA),得到4个轴中最大梯度值小于3,表明可以使用该方法进行分析。根据冗余分析的排序图分析土地利用类型、景观格局指标与水质之间的相关性,指标同向代表变量之间呈正相关,反向则呈负相关。响应变量与解释变量之间的角度余弦近似于变量之间的相关系数,即两个指标夹角越接近 90° ,相关系数越小;越偏离 90° ,相关系数越大^[15]。

3 结果与分析

3.1 水质现状评价

采用单因子评价法对竹箦河(濠水桥断面)、南河(昆仑桥、东平桥、玉泰桥断面)、丹金溧漕河(夏宗埤大桥断面)、溧戴河(长木桥断面)4条骨干河道6个监测断面的月水质数据进行评价,选取溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(I_{Mn})、五日生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)6项指标为评价指标,得到评价结果见图1。

竹箦河2021年1月、8月、10月、11月水质为Ⅲ

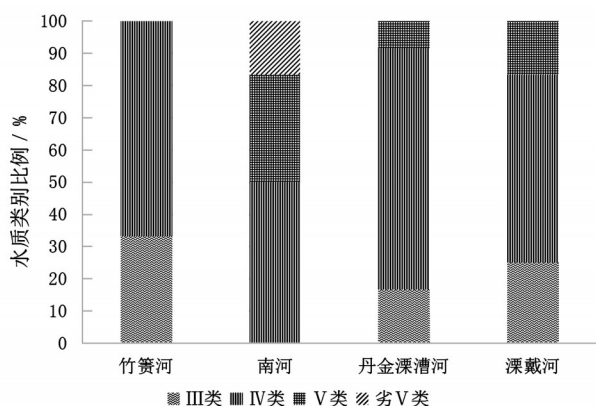


图1 研究区骨干河道2021年月均单因子评价水质类别比例

类,2-7月、9月和12月为Ⅳ类。南河2021年上半年水质较差,以Ⅴ类为主,从7月起稳定在Ⅳ类水。丹金溧漕河水水质基本稳定在Ⅳ类以上。溧戴河水水质以Ⅳ类为主,2月和4月为Ⅴ类。总体上研究区水质以Ⅳ类水为主,主要污染因子为 BOD_5 和 NH_3-N ,主要在南河,丹金溧漕河、溧戴河少数月份偶有超标。南河水质较差主要是因为3个监测断面中,东平桥、玉泰桥断面位于城区内河,为南河改道之前流经的河流,南河现已改道成为城市外河。

3.2 土地利用对水质的影响分析

3.2.1 缓冲区土地利用结构变化

研究区现状土地利用结构为耕地56%、建设用地25%、坑塘8%、林地6%、水系5%,仍以农业景观

为主,同时面临快速城市化进程的推进。为了探讨土地利用对水质的影响,使用ArcGIS分别计算濠水桥、夏宗埤大桥、昆仑桥、玉泰桥、东平桥和长木桥水质监测断面300 m、500 m、1 000 m和1 500 m这4个空间尺度缓冲区的土地利用结构并对其进行对比分析(图2)。由于缓冲区内基本没有林地,坑塘面积占比较小,故重点探讨建设用地、水系和耕地在各缓冲区内的面积占比及其对河流水质的影响。从图3可见,东平桥断面各缓冲区均为建设用地面积占比最大;昆仑桥和玉泰桥断面各缓冲区的耕地面积占比最大;长木桥断面随着缓冲区范围的扩大,耕地占比逐渐增加,最后超过建设用地占比;夏宗埤大桥断面在300 m和500 m缓冲区范围内水系面积占主导地位,在1 000 m和1 500 m缓冲区内建设用地占比不断增加;濠水桥断面建设用地占比最大,随着缓冲区范围的扩大,耕地占比逐渐增加。

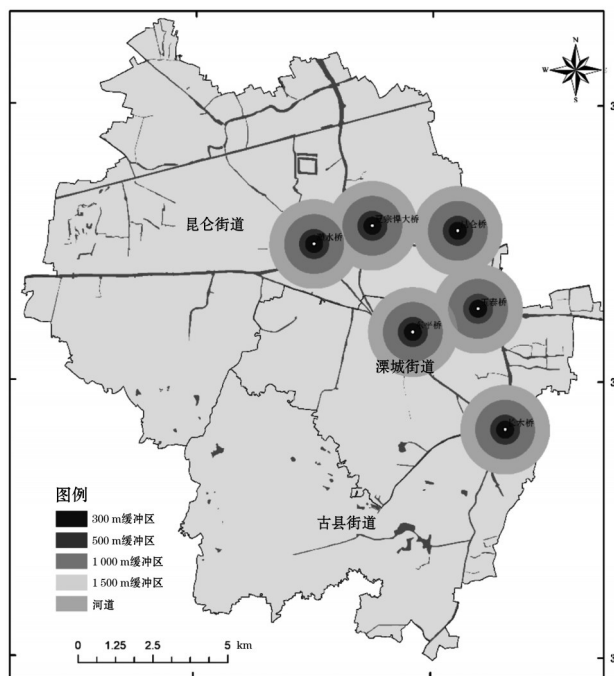


图2 研究区监测断面缓冲区示意

3.2.2 土地利用对水质的影响

将土地利用类型设置为解释变量,水质指标设置为响应变量,使用Canoco5进行分析,结果见图4,建设用地位于300 m和500 m缓冲区,与 NH_3-N 的相关性最强;在1 000 m和1 500 m缓冲区,与 COD_{Cr} 和 NH_3-N 均保持较强的相关性。此外,建设用地与DO呈负相关,与DO以外的其他水质指标呈正相关,表明建设用地对水质污染的影响具有综合性特

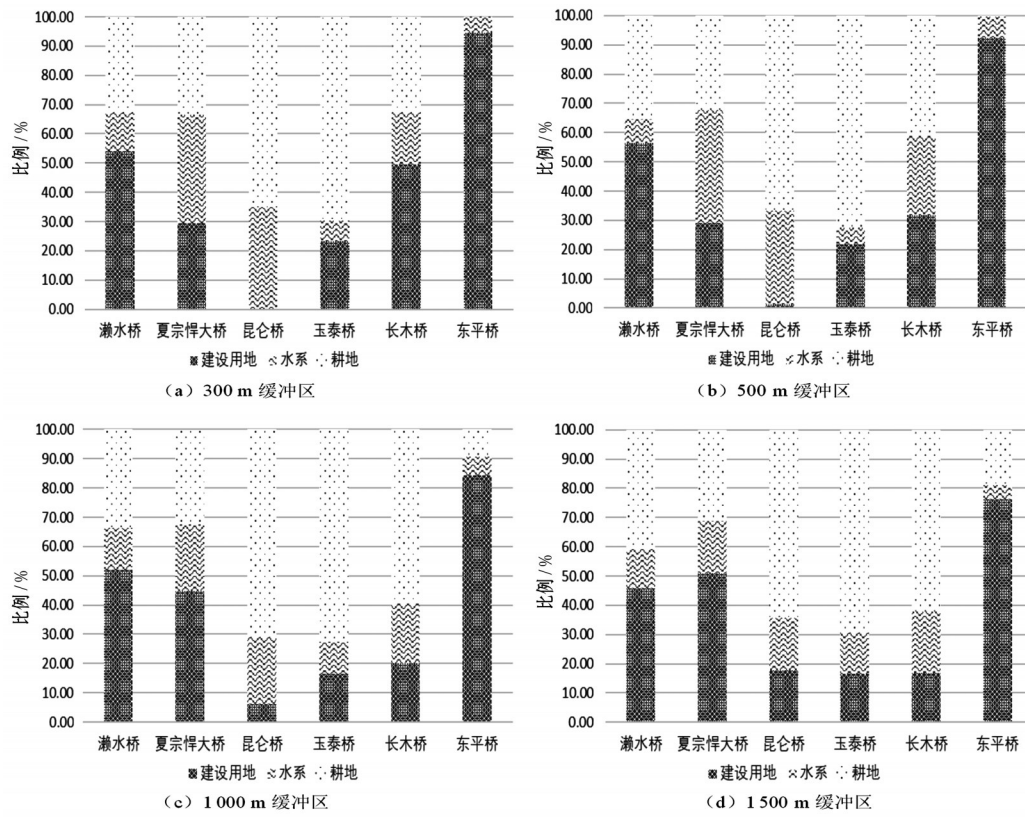


图3 不同尺度缓冲区土地利用结构

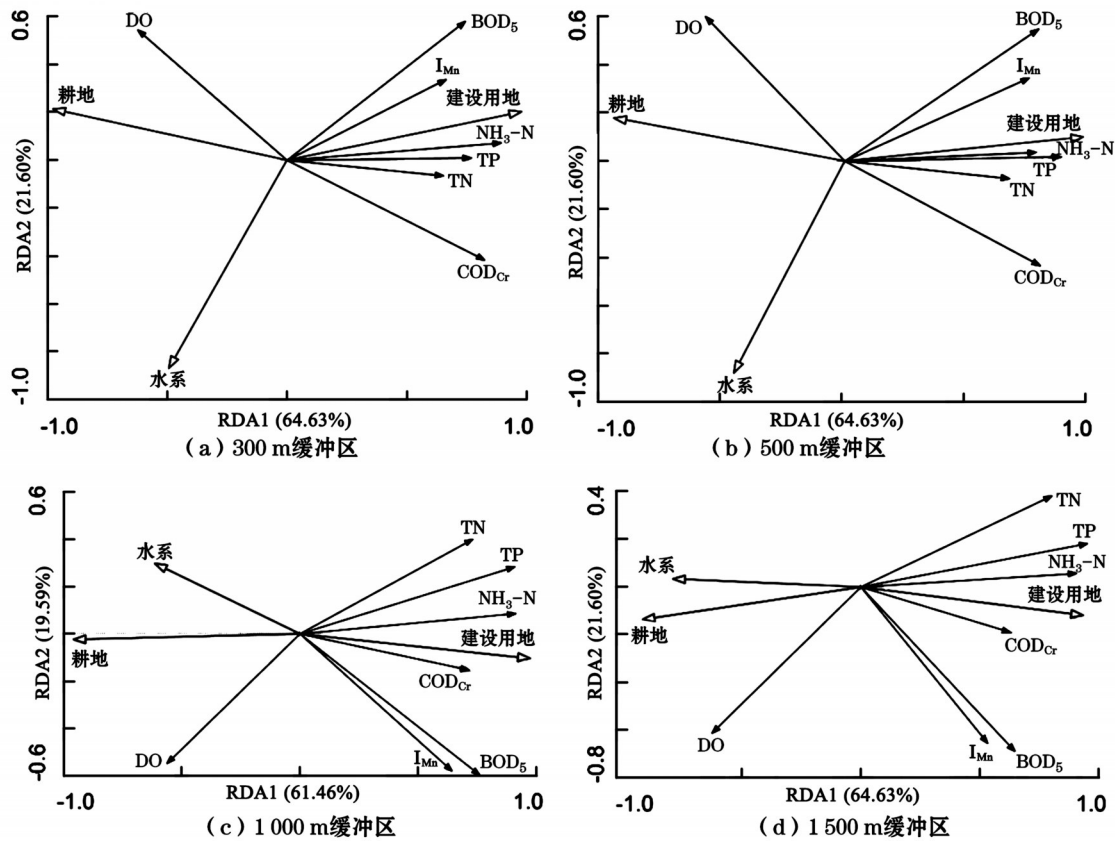


图4 不同尺度缓冲区土地利用类型和水质指标冗余分析排序

征。水系面积与DO质量浓度呈正相关,与其他水质指标呈负相关,表明水系对于水质的净化具有重要作用。随着缓冲区面积扩大,水域面积不断增加,对于氮、磷等水污染物的稀释净化作用也不断提高,与水质指标的相关性逐渐增强。耕地面积与DO质量浓度呈正相关,与其他的水质指标呈负相关,尤其是和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP呈较强的负相关。

建设用地对水质影响的空间尺度特征的研究结果与汪昱昆等^[16]的研究结果相似,即建设用地是水质恶化的主要影响因素。一般来说,耕地是氮、磷等污染物的主要来源,2 000 m以上尺度,耕地相对占比的增加,以及水域面积的减小与水质恶化密切相关^[17]。本文虽然得到耕地与水质指标呈较为显著的负相关的结果,但并不能说明耕地能够缓解水质污染^[18],出现这样的结果是因为建设用地在300 m、500 m、1 000 m和1 500 m缓冲区对水质指标分别有78.2%、77.2%、64.4%和57.4%的贡献率,在3种土地景观中贡献率最大,从而弱化了耕地对水质影响能力。因此,在城区这一特定范围内,建设用地面积的增加意味着耕地面积的减少,在总面积相同的情况下,耕地面积多、建设用地少的空间单元水质相较于建设用地多、耕地面积少的空间单元

更好。

3.3 景观格局与河流水质的关系

3.3.1 不同尺度缓冲区景观格局指数差异

使用Fragstats4.2软件分别计算6个水质监测断面不同尺度缓冲区的景观格局指数,结果见图5。PD随着缓冲区尺度增加而减小,AREA_MN随着缓冲区尺度增加而增加,表明缓冲区尺度越大,景观破碎度越低。CONTAG的最大值随着缓冲区尺度变化先增加后减少,最小值和中位数随着缓冲区尺度增加而增加,表明景观中的优势斑块在缓冲区尺度为1 500 m时形成了良好连接。NP随着缓冲区尺度增加而增加,表明缓冲区越大,景观的异质性越强。LPI中位数随着缓冲区尺度的变化先增加后减少,300 m缓冲区的LPI最小,表明300 m缓冲区的景观优势最弱,受人类活动干扰最大。LSI随着缓冲区尺度增加而增加,表明缓冲区范围越大,斑块形状越复杂,分离度越高。SHDI和SHE变化趋势一致但在不同尺度的缓冲区范围内没有出现规律变化。AI随着缓冲区尺度增加而增加,表明缓冲区尺度越大,各类型斑块越聚集。

3.3.2 景观格局与水质灰色关联分析

将景观格局指数设置为解释变量,水质指标设

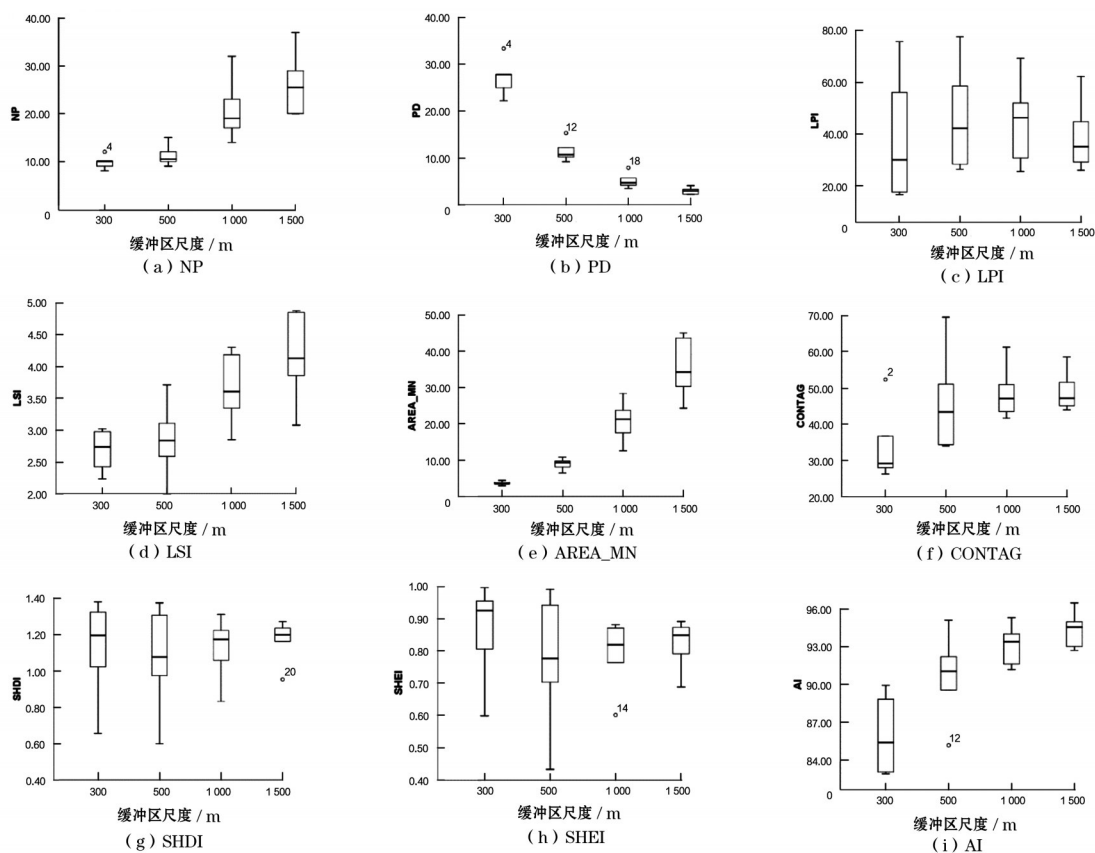


图5 不同尺度缓冲区景观格局指数箱线

置为响应变量,使用Canoco5进行冗余分析,并将相关性综合排序,结果见图6。(1)300 m缓冲区中,LPI、CONTAG与TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Cr} 呈相关性较好的正相关;SHDI与DO呈相关性较好的正相关;AREA_MN与 BOD_5 和 I_{Mn} 呈相关性较好的负相关;SHEI与TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Cr} 呈相关性较好的负相关。其中LPI与各水质指标的相关性系数为0.054,相关性最强,但无显著性;CONTAG、LPI和AREA_MN贡献率较高,NP、PD、LSI和AI贡献率小于0.1%。(2)500 m缓冲区中,AREA_MN、AI和CONTAG与TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈相关性较好的正相关;LSI和NP与DO呈相关性较好的正相关, COD_{Cr} 、 BOD_5 和 I_{Mn} 与景观指数相关性较低。其中LSI对水质指标的贡献率高达47.5%,且与各水质指标的相关系数为0.05,呈显著性相关;PD、LPI、SHDI和SHEI贡献率小于0.1%。(3)1 000 m缓冲区中,SHDI、SHEI与DO呈相关性较好的正相关;PD和NP与TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Cr} 呈负相关;AREA_MN与DO

呈负相关。其中NP与水质指标的相关系数为0.08,相关性较强;SHEI和NP的贡献率较高,LPI、LSI、CONTAG和AI贡献率小于0.1。(4)1 500 m尺度缓冲区中,LSI和NP与DO呈相关性较好的正相关,AI、LPI与TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈相关性较好的正相关,AREA_MN与DO呈相关性较好的负相关,与 BOD_5 和 I_{Mn} 呈较弱的相关性,其中LSI对水质指标的贡献率为46.5%,且相关系数为0.038,呈显著性相关;PD、CONTAG、SHDI和SHEI贡献率小于0.1。

由图6可知,不同尺度的缓冲区内LPI、AI和CONTAG与TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均呈正相关,表明景观优势度、聚集度提高会加剧TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 污染,主要原因在于随着缓冲区范围扩大,缓冲区内的耕地和建设用地面积增长多于水系面积增长,带来的污染物大于河流水系的净化能力;SHEI、SHDI和LSI与DO呈正相关,与TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均呈负相关,表明景观的多样性、分布均匀度以及斑块之间的分离度提高都有助于改善水质。景观指数与水

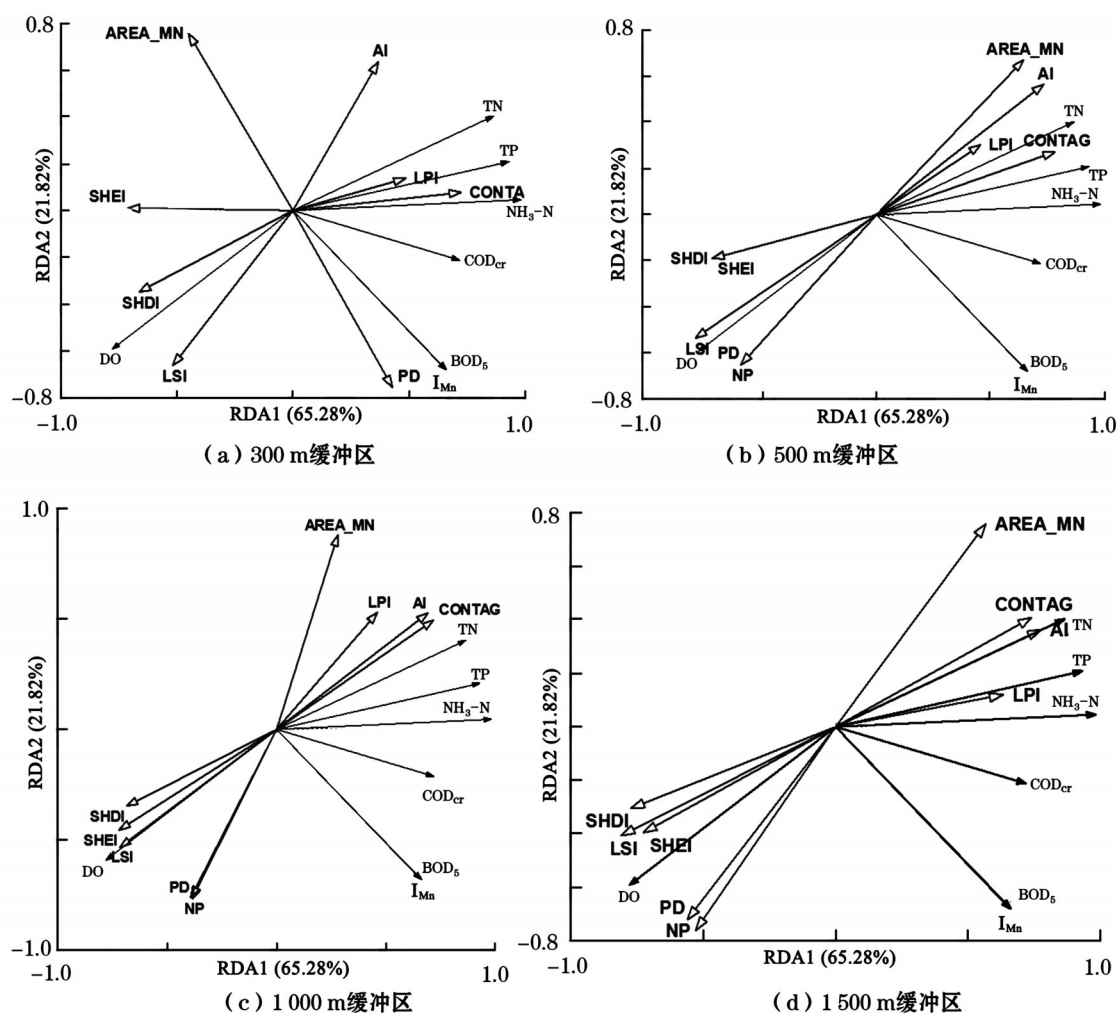


图6 不同尺度缓冲区景观指数与水质指标冗余分析排序

质指标的相关程度在大范围缓冲区相较于小范围缓冲区更为显著。张志敏等^[19]对溧阳市域的研究认为,2 500 m缓冲区内土地利用和景观指数对水质变化具有最大解释能力,本文与其在1 500 m缓冲区范围内研究结论基本一致,即随着缓冲区的增大景观指数同水质的相关关系越来越显著。

4 结 语

平原圩区河湖水污染来源复杂,研究不同空间尺度土地利用和景观格局对水质的影响不仅可为河流污染防治和管理提供科学参考,对于国土空间规划、水域空间管控与水环境保护亦具有重要意义。本研究以溧阳城区为例,设置不同空间尺度缓冲区,分析土地利用和景观格局对水质影响的空间尺度特征。主要结论如下:

(1)溧阳城区2021年骨干河道水质80%以上的月份达到Ⅳ类及以上标准,少数超标的主要污染因子为 BOD_5 和 NH_3-N ,且主要分布在南河改道之前的老河道。

(2)土地利用类型对河流水质污染的影响机制较为复杂。建设用地与除DO以外的其他水质指标呈正相关;水系面积与DO质量浓度呈正相关,与其他水质指标呈负相关,且随着缓冲区面积的扩大,相关性逐渐增加;耕地与除DO之外的其他水质指标呈负相关,耕地带来的水质污染影响小于建设用地。

(3)景观指数中,最大斑块指数、聚集度指数和蔓延度指数与TN、TP和 NH_3-N 均呈正相关,主要是因为缓冲区范围扩大,耕地和建设用地面积增长大于水系面积增长,河流污染物程度大于河流自净能力;香浓多样性指数、香浓均匀度指数和景观形状指数与DO呈正相关,与TN、TP和 NH_3-N 均呈负相关,表明提高景观多样性、分布均匀度以及斑块之间的分离度有助于改善水质。

参考文献:

- [1] 范雅双,于婉晴,张婧,等.太湖上游水源区河流水质对景观格局变化的响应关系:以东苕溪上游为例[J].湖泊科学,2021,33(5):1478-1489.
- [2] 彭娜,周立志.基于地理探测器的菜子湖群湿地景观格局变化及驱动因子分析[J].水资源保护,2021,37(6):168-176.
- [3] 刘剋,郭畅,王玉静.基于高分二号的白洋淀土地利用与水质响应关系研究[J].中国农村水利水电,2019(8):186-191.
- [4] 王一舒,吴仁人,荣楠,等.西江下游流域水质与不同空间尺度土地利用的响应关系[J].水资源保护,2021,37(4):97-104.
- [5] 赵军,杨凯,邵俊,等.区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展[J].生态学报,2011,31(11):3180-3189.
- [6] 申晓云,党晨席.我国水源地非点源污染现状分析与对策建议[J].中国农村水利水电,2014(10):30-32,38.
- [7] 黄维,贾仰文,黄国如,等.红枫湖流域非点源污染时空分布及管理措施[J].水资源保护,2022,38(5):190-195,203.
- [8] BUCK O, NIYOGI D K, TOWNSEND C R. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments[J]. Environmental Pollution, 2004, 130(2):287-299.
- [9] SHI PENG, ZHANG YAN, LI ZHANBIN, et al. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales[J]. Catena, 2016(151):182-190.
- [10] 张亚娟,李崇巍,胡蓓蓓,等.城镇化流域“源-汇”景观格局对河流氮磷空间分异的影响——以天津于桥水库流域为例[J].生态学报,2017,37(7):2437-2446.
- [11] 欧洋,王晓燕,耿润哲.密云水库上游流域不同尺度景观特征对水质的影响[J].环境科学学报,2012,32(5):1219-1226.
- [12] 方神光,江佩轩.景观格局及其对河湖水环境与水生态影响研究进展[J].人民珠江,2020,41(9):70-78.
- [13] 杨洁,许有鹏,高斌,等.城镇化下河流水质变化及其与景观格局关系分析——以太湖流域苏州市为例[J].湖泊科学,2017,29(4):827-835.
- [14] JHHNSON L B, R ICHARDS C, HOST G E, et al. Landscape influences on water chemistry in midwestern stream ecosystems[J]. Freshwater Biology, 1997, 37(1):193-208.
- [15] 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.
- [16] 汪昱昆,程锐辉,曾鹏,等.上海地区河网水质空间分异及对河岸带土地利用的响应[J].生态与农村环境学报,2019,35(7):925-932.
- [17] 王雪松,李琪,高俊峰,等.常州市河流水质对滨岸带土地利用响应的初步分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(12):2915-2924.
- [18] GRIFFITH J A. The role of landscape pattern analysis in understanding concepts of land cover change[J]. Journal of Geographical Sciences, 2004, 14(1):15.
- [19] 张志敏,杜景龙,陈德超,等.典型网状河网区域土地利用和景观格局特征对地表季节水质的影响——以江苏省溧阳市为例[J].湖泊科学,2022,34(5).