

目次

中国省域差异化碳达峰评价方法与应用 .....刘润璞, 彭栓, 陈玉烁, 陈民, 张楠, Nihed Benani, 吕连宏, 阳平坚 (1233)

全生命周期视角下中国建筑碳排放空间关联网络演化及影响因素分析 .....任晓松, 李昭睿 (1243)

京津冀地区城市三生空间碳代谢效率特征及演进模式 .....田超, 程琳琳, 邵盈钊 (1254)

太原市“十四五”规划大气污染防治政策的CO<sub>2</sub>协同效益评估 .....肖婷玉, 束赧, 李慧, 王涵, 李俊宏, 严沁, 张文杰, 姜华 (1265)

湖南省工业领域碳减排与空气质量改善协同 .....李楠, 刘弯弯, 朱书涵, 邢晓雯, 汤克勤, 王松伟, 白露 (1274)

“双碳”背景下河南省电力行业中长期控煤降碳路径 .....张静, 杨萌, 张伟, 曹东, 赵静, 李勃, 薛英岚, 蒋洪强 (1285)

郑州市公交车队电动化减排降碳环境效益 .....邹超, 汪亚男, 吴琳, 何敬, 倪经纬, 毛洪钧 (1293)

长江中游城市群城市化对PM<sub>2.5</sub>浓度的多尺度驱动机制 .....张政, 周廷刚, 周志衡, 昌悦 (1304)

天山北坡城市群PM<sub>2.5</sub>浓度时空分布特征及影响因素分析 .....王相男, 张喆, 刘方青 (1315)

天津市PM<sub>2.5</sub>碳组分空间差异性来源解析 .....武甫亮, 吴建会, 戴启立, 肖致美, 冯银厂 (1328)

贵阳市花溪城区大气PM<sub>2.5</sub>中碳质气溶胶的变化特征及来源解析 .....桂佳群, 杨员, 王显钦, 李云武, 闫广轩, 徐鹏 (1337)

新乡市大气PM<sub>2.5</sub>中水溶性离子的污染特征、来源解析及气象影响分析 .....刘桓嘉, 李岚清, 李焕莉, 任言, 许梦源, 贾梦珂, 刘恒志, 杨莹, 宋天颂, 洪启航 (1349)

2017~2018年冬季菏泽大气PM<sub>2.5</sub>中金属元素特征及健康风险评估 .....杜虹萱, 任丽红, 赵明升, 韩慧霞, 徐义生 (1361)

北京市臭氧污染跳变型特征及影响因素分析 .....潘锦秀, 安欣欣, 刘保献, 李云婷, 李倩, 孙峰, 张章, 邱启鸿, 陈阳 (1371)

南京夏季大气臭氧光化学特征与敏感性分析 .....罗丽彤, 章炎麟, 林煜棋, Ahsan Mozaffar, 曹梦瑶 (1382)

苏州市初夏臭氧污染成因及年际变化 .....吴也正, 张鑫, 顾韵, 缪青, 魏恒, 熊宇, 杨倩, 吴斌, 沈文渊, 马强 (1392)

长江中游典型湖泊沉积物重金属分布特征、生态风险评估及溯源 .....卢洪斌, 卢少勇, 李响, 张霖霖, 黄张根 (1402)

基于PCA-APCS-MLR模型的乌梁素海表层沉积物重金属时空分布及来源解析 .....崔志谋, 史小红, 赵胜男, 卢俊平, 张昊, 刘莹慧, 郭鑫, 王彦隽 (1415)

重庆市长寿湖水表层水体重金属时空分布及风险评价 .....张瑞溪, 刘娅君, 罗泳楠, 李杰芹, 李彩霞, 李佳佳, 张成 (1428)

长江流域微塑料污染特征及生态风险评估 .....李思琼, 王华, 储林佑, 曾一川, 闫雨婷 (1439)

宜昌市东山运河微塑料污染评估及年排放量估算 .....丁爽, 李卫明, 张续同, 刘子健, 高雅坤, 李映成, 王芳炜 (1448)

汜水河(荥阳段)入河排污口水体微塑料赋存特征及风险评估 .....赵长民, 和兵, 李和通, 张瑞琪, 李银月, 张发文, 桂新, 马丽 (1457)

宁夏入黄排水沟中药物和个人护理品的污染特征与生态风险评估 .....高礼, 李凌云, 郑兰香, 吴海娟, 陶红, 刘邓超 (1468)

浙南瓯江流域水体抗生素污染特征及风险评估 .....钟奕昕, 李立湘, 吴鑫, 周施阳, 姚飞延, 董好刚 (1480)

鄱阳湖沉积物中多环芳烃的时空分布及源解析 .....马妍, 孙晨, 毕茹乐, 张波涛, 刘艳, 邵鹏, 刘统, 王圣瑞, 钟文军 (1492)

杭州湾南岸20a水质净化功能变化及预测 .....王珊珊, 曹公平, 徐明伟, 黄君宝, 曾剑 (1502)

不同缓冲区的土地利用方式对地表水水质的影响:以海河流域天津段为例 .....代孟均, 张兵, 杜倩倩, 孙季琰, 田蕾, 王义东 (1512)

长江流域安庆段浅层地下水水化学特征及控制因素 .....刘海, 宋阳, 李迎春, 魏伟, 赵国红, 王旭东, 黄健敏 (1525)

富营养化湖泊藻华腐解产生的溶解性有机质动态变化及其环境效应 .....张瑾, 陈明滢, 郝智能, 钟寰, 何欢, 雷沛 (1539)

紫外光活化亚硫酸盐降解水中卡马西平 .....林涛, 苑宇杰 (1553)

再生水消毒副产物的检测、生成与控制 .....廖雨枫, 王正, 潘昀, 李爱民 (1561)

3种人工湿地基质材料对氨氮的吸附特性 .....何强, 陈博文, 杨雨静, 周全, 刘彦君, 王志刚, 程呈 (1577)

基于改进遥感生态指数的青藏公路那(曲)安(多)段生态环境评估及驱动机制分析 .....傅楷翔, 贾国栋, 余新晓, 王旭 (1586)

基于AWRSEI的岱海流域生态环境质量时空演变及驱动因子分析 .....赵嘉丽, 李兴, 孙冰 (1598)

定量评估气候变化对长江中下游地区植被GPP<sub>GS</sub>变化的影响 .....徐勇, 盘钰春, 邹滨, 郑志威, 郭振东 (1615)

基于Meta分析的煤矿区植被恢复对土壤有机碳储量的影响 .....李健明, 康雨欣, 蒋福祺, 宋明丹, 祁凯斌, 卢素锦, 李正鹏 (1629)

连续周年轮作休耕对土壤团聚体稳定性及有机碳的影响 .....鲁泽让, 李永梅, 杨春怀, 夏梓泰, 程伟威, 王自林, 赵吉霞, 范茂攀 (1644)

4种改良剂对酸性紫色土肥力及活性有机碳组分的影响 .....丁馨茹, 严宁珍, 王子芳, 李志琦, 黄容, 王洋, 代文才, 高明 (1655)

不同植茶年限土壤氮素组分变化及其与环境因子关系 .....邵奇, 吴涛, 解雪峰, 徐梓晴, 李文琦, 蒋国俊, 张建珍, 徐飞 (1665)

黄河下游典型湿地土壤养分及其生态化学计量特征 .....王传盈, 王凯月, 王浩然, 张梦迪, 周云凯 (1674)

覆膜年限和有机肥施用对花生田耕层土壤微塑料赋存特征的影响 .....宋宁宁, 李梦佳, 王学霞, 刘君, 王芳丽, 宗海英, 黄小丽, 王斌, 梁丽娜 (1684)

秸秆还田和添加生物炭对热带地区稻菜轮作体系中淹水后土壤温室气体排放的影响 .....胡天怡, 车佳玥, 胡煜杰, 陈琦琦, 张冬明, 雷菲, 曾建华, 汤水荣, 伍延正, 孟磊 (1692)

耕作深度调控秸秆还田对农田土壤呼吸的影响 .....陈曦, 张彦军, 邹俊亮, 李天姿, 于媛, 李晶 (1702)

基于遥感时-空-谱特征及随机森林模型的土壤重金属空间分布预测 .....王泽强, 张冬有, 徐夕博, 王兆鹏, 杨东宇, 宋晓宁 (1713)

黄河流域农田土壤重金属污染特征及其优先控制源分析 .....李军, 李旭, 李开明, 焦亮, 台喜生, 臧飞, 曹素珍 (1724)

广西贺州市典型矿区周边耕层土壤Cd通量特征 .....杨烨宇, 李程, 杨忠芳, 张起钻, 邹胜章, 宋淑娟, 蔡贺清 (1739)

基于信息扩散模型的沔东地区土壤重金属潜在生态风险评估 .....杨楠楠, 韩玲, 刘明 (1749)

湘西地区土壤重金属污染溯源分析及环境质量评价 .....肖凯琦, 徐宏根, 甘杰, 戴亮亮, 李毅, 李凯, 许青阳, 张俊, 邓世民, 李颖 (1760)

典型行业再利用土壤重金属含量分布、来源解析及生态风险评估 .....沈城, 王文娟, 沙晨燕, 谢雨晴, 王敏, 吴健 (1769)

省级尺度土壤As迁移转化与水稻安全种植区划:以贵州省为例 .....董心月, 吴勇, 周子寒, 王佛鹏, 张云霞, 宋波 (1781)

谷壳灰硅肥改善土壤质量降低水稻镉累积的效应 .....易轩韬, 欧阳坤, 辜娇峰, 李倩, 游萍, 周航, 廖柏寒 (1793)

EDDS对土壤铜镉有效性及蓖麻吸收转运的影响 .....刘文英, 吴刚, 胡红青 (1803)

叶面凋制剂对复合污染农田小麦籽粒Cd、As和Pb累积的阻控效应 .....肖冰, 王秋实, 高培培, 赵全利, 杨威, 王钊, 刘文菊, 薛培英 (1812)

民勤绿洲退耕地土壤微生物群落结构与功能多样性特征 .....李常乐, 张富, 王理德, 赵赫然, 赵学成, 张恒平 (1821)

宏基因组揭示紫色土中邻苯二甲酸酯去除的微生物学机制 .....李雨桐, 余海, 刘坤, 柏宏成, 汪军, 朱正杰 (1830)

养鸡场空气微生物污染及工人呼吸暴露风险 .....白渔樵, 孙兴滨, 仇天雷, 郭雅志, 高敏, 王旭明 (1840)

玛瑙河多环境介质和铜锈环螺体内微塑料的赋存特征 .....高雅坤, 李卫明, 张续同, 刘子健, 李映成, 丁爽, 王芳炜, 刘流 (1849)

不同官能团微塑料对斑马鱼胚胎菌群和代谢功能的胁迫效应 .....闫振华, 张燕, 包旭辉, 朱培元, 陈玉芳 (1859)

# 不同缓冲区的土地利用方式对地表水水质的影响：以海河流域天津段为例

代孟均<sup>1,2</sup>, 张兵<sup>1\*</sup>, 杜倩倩<sup>1,2</sup>, 孙季琿<sup>1,2</sup>, 田蕾<sup>1,2</sup>, 王义东<sup>1</sup>

(1. 天津师范大学天津市水资源与水环境重点实验室, 天津 300387; 2. 天津师范大学地理与环境科学学院, 天津 300387)

**摘要:** 探明土地利用方式与水质的关系对改善地表水环境具有重要意义。基于 2021 年天津市 16 个国家地表水水质监测站的月数据及土地利用数据, 利用 GIS 空间分析和数理统计方法研究不同尺度缓冲区的土地利用方式对地表水水质的影响。结果表明: ①研究区土地利用类型以建设用地、耕地和水域为主, 对河流水质影响显著。除水温(WT)和 pH 外, 耕地、建设用地和水域与各水质指标均呈负相关; 林地和草地与溶解氧(DO)和总氮(TN)呈正相关, 与其他水质指标均呈负相关。②水质指标在不同季节表现出明显的空间差异。pH、DO 与 TN 浓度在旱季较高, 而高锰酸盐指数、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)与总磷(TP)浓度在雨季较高。③冗余分析(RDA)结果表明, 800 m 缓冲区土地利用对旱季水质变化具有最大的解释能力(50.4%), 而 3 000 m 缓冲区土地利用可以最大程度解释雨季水质变化情况(49.6%); 从旱雨季的平均解释率来看, 3 000 m 缓冲区是天津市土地利用对水质指标的最佳影响尺度(50.0%); ④偏最小二乘回归(PLSR)分析可知, 3 000 m 缓冲区内建设用地、耕地和水域是影响地表水水质变化最显著的地类。旱季大多数水质指标 PLSR 模型的预测能力比雨季强。在旱季, 除 WT 和 pH 外, 其余水质指标均受耕地的影响最大。在雨季, 建设用地对 WT 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的影响最大, 其余水质指标的最重要影响因子仍是耕地。研究表明合理规划河流或湖库 3 000 m 内的土地利用方式有利于改善地表水水环境质量。

**关键词:** 地表水; 水质; 土地利用; 偏最小二乘回归(PLSR); 天津

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)03-1512-13 DOI: 10.13227/j.hjxx.202303060

## Effects of Land Use Types on Water Quality at Different Buffer Scales: Tianjin Section of the Haihe River Basin as an Example

DAI Meng-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Bing<sup>1\*</sup>, DU Qian-qian<sup>1,2</sup>, SUN Ji-hui<sup>1,2</sup>, TIAN Lei<sup>1,2</sup>, WANG Yi-dong<sup>1</sup>

(1. Tianjin Key Laboratory of Water Resources and Environment, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 2. School of Geographic and Environmental Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** It is important to explore the relationship between land use types and water quality to improve the surface water environment. Based on monthly water quality monitoring data from 16 nationally controlled surface water quality monitoring stations in Tianjin and land use data in 2021, GIS spatial analysis and mathematical and statistical methods were used to study the influence of land use types on surface water quality in buffer zones at different scales. The results showed that: ① the land use types in the study area were mainly construction land, farmland, and water areas, which had significant effects on river water quality. Except for water temperature (WT) and pH, the farmland, construction land, and water areas were negatively correlated with each water quality indicator; forest land and grassland were positively correlated with dissolved oxygen (DO) and total nitrogen (TN) and negatively correlated with other water quality indicators. ② The water quality indicators showed obvious spatial differences in different seasons. The pH, DO and TN concentrations were higher in the dry season, whereas the permanganate index, ammonia nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), and total phosphorus (TP) concentrations were higher in the rainy season. ③ The results of the RDA analysis showed that the 800 m buffer zone land use had the greatest explanatory power for water quality changes in the dry season (50.4%), whereas the 3 000 m buffer zone land use could explain the water quality changes in the rainy season to the greatest extent (49.6%); from the average explanation rate of the dry and rainy seasons, the 3 000 m buffer zone was the best impact scale (50.0%) on water quality indicators in Tianjin. ④ The partial least squares regression (PLSR) analysis showed that the most important variables affecting surface water quality changes were construction land, farmland, and water areas. The predictive ability of the PLSR model of most water quality indicators was stronger in the dry season than that in the rainy season. In the dry season, all water quality indicators, except WT and pH, were most influenced by farmland. In the rainy season, construction land had the greatest influence on WT and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N concentrations, and the most important influencing factor for the remaining water quality indicators was still farmland. This study showed that the rational planning of land use types within 3 000 m of rivers or lakes was beneficial to improving the water quality of surface water.

**Key words:** surface water; water quality; land use; partial least squares regression (PLSR); Tianjin

水是人类赖以生存和实现可持续发展的重要资源。水质的好坏在保障生态环境安全和维持社会经济可持续发展方面发挥着至关重要的作用。然而,随着城市化和人口的快速增长,土地利用方式急剧转型,这些变化给世界各地的水生态环境带来了巨大的压力,使水质恶化成为了一个全球性的环境问题<sup>[1,2]</sup>。有研究表明,非点源污染是影响水质的关键因

素<sup>[3,4]</sup>,而土地利用方式对非点源污染的产生、迁移和转换过程起着决定性作用<sup>[5,6]</sup>。通过合理配置土地利用方式,可以控制非点源污染的输入、输出和转

收稿日期: 2023-03-07; 修订日期: 2023-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971037); 天津师范大学研究生科研创新项目(2022KYCX075Y)

作者简介: 代孟均(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向为土地利用变化的水文水质效应, E-mail: 2110080051@stu.tjnu.edu.cn

\* 通信作者, E-mail: zhangbing@tjnu.edu.cn

化,达到改善水质的目的<sup>[7]</sup>. 因此,探究土地利用与水质之间的关系,不仅对土地利用的管理与规划具有重要的指导意义,同时也为水质的改善提供重要的科学依据.

土地利用与地表水水质的关联关系已成为国内外研究的热点<sup>[8-10]</sup>. 土地利用与地表水水质的关联关系在内容上主要从自然属性角度(土地类型)或空间尺度角度(面积占比)进行研究. 如 Meneses 等<sup>[11]</sup>开展了 Zêzere 流域土地利用变化与水质的关系研究,王鹏等<sup>[12]</sup>对赣江流域土地利用方式与河流水质关系进行了研究,他们的研究结果均表明建设用地和农业用地增加会加剧水质恶化的风险,而林地和草地占比较高的区域能更好地保护水源,对污染物起“汇”的作用. 由于空间尺度效应存在地域差异性,土地利用对水质影响最强的空间尺度存在争议<sup>[13]</sup>. 项颂等<sup>[14]</sup>和 Pratt 等<sup>[15]</sup>均表明相对于缓冲区尺度,土地利用变化对河流水质的影响在流域尺度更显著,而 Tran 等<sup>[16]</sup>和王小平等<sup>[17]</sup>的研究则得出相反结论,前者发现 200 m 缓冲区尺度下土地利用格局对河流水质的影响更显著,后者认为 4 000 m 缓冲区尺度下两者关系较全流域尺度强. 此外,土地利用对地表水水质的影响存在季节性差异<sup>[18,19]</sup>. 彭勃等<sup>[20]</sup>发现清源河流域的土地-水质关联关系在枯水期强于丰水期,而 Huang 等<sup>[21]</sup>却在九龙江流域研究中得出相反结论. 受土地利用及其变化的复杂性与异质性影响,土地利用对水质影响的共性认识仍待进一步研究. 因此,需要在更广泛的地区开展不同时间和空间尺度的土地利用方式与地表水水质的关系研究,以期更深层次理解二者之间关系的影响机制.

天津市是“一带一路”倡议、京津冀协同发展和自由贸易试验区建设等国家战略叠加的重要城市. 处于海河下梢的天津市是永定河、北运河和南运河等诸河的汇合处,由于天然水资源禀赋不足,属于重度缺水地区,资源型和水质型短缺已严重影响了天津市的水资源供给,成为社会经济发展和生态环境改善的限制因素之一. 而引滦入津和南水北调工程建设和运行对流域土地利用和覆被变化影响较大,不合理的土地利用造成水土流失加剧,植被涵养水源功能下降以及生态环境遭到退化与破坏,导致区域地表水环境质量恶化<sup>[22]</sup>. 目前已有学者就海河流域土地利用变化和气候变化对地表径流的影响<sup>[23]</sup>、河流水质污染空间差异和影响因素<sup>[24]</sup>开展了研究,而流域内不同空间尺度土地利用方式对地表水产生的影响尚不明确. 因此,本研究基于天津市土地利用结构,结合中国环境监测总站的地表水水质监测融合数据,采用数理统计和空间分析方法,研究

天津市不同空间尺度土地利用结构与地表水质的响应关系,以期为天津市土地利用结构管理及流域水环境保护提供支撑.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

天津市(38°34'~40°15' N,116°43'~118°04' E),地处华北平原的东北部、海河流域下游,总面积 11 966.45 km<sup>2</sup><sup>[25]</sup>. 属于半湿润大陆性季风气候类型,年平均温度为 8~17 °C,年平均降水量约 550~680 mm 之间<sup>[26]</sup>. 天津市主要以平原为主,地势西北高东南低,河网复杂,分布较为密集,主要大型水库有于桥水库、北大港水库和团泊洼水库,主要河流有南运河、子牙河、大清河、永定河和北运河等,如图 1 所示. 土壤类型主要为棕壤、褐土、潮土和滨海盐土等,主要农作物有小麦、玉米、水稻和棉花等. 2021 年年末,全市户籍人口为 1 151.56 万人,其中城镇人口为 833.17 万人,城市化率为 72.35%,GDP 达 15 695.05 亿元,人均 GDP 为 11.37 万元,全市共有工业企业 5 222 家,其中规模以上工业企业 4 630 家<sup>[27]</sup>. 天津市主要污染源包括工业废水、城镇污水、农业和畜禽养殖业的复合污染.

### 1.2 数据来源

地表水水质数据为 2021 年 1~12 月的数据,来自中国环境监测总站地表水融合数据(<http://www.cnemc.cn>). 根据天津市月平均降雨量情况,确定 5~10 月为雨季,1~4 月与 11~12 月为旱季. 选取海河流域天津段的 16 个国家地表水水质监测站(1~16),监测站属性如表 1 所示. 监测数据包括 11 个水质指标:水温(WT)、酸碱度(pH)、溶解氧(DO)、电导率(EC)、浊度(TUB)、高锰酸盐指数、化学需氧量(COD)、5d 生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、总磷(TP)和总氮(TN).

遥感影像数据为 2020 年美国陆地卫星 Landsat-8 (30 m 分辨率),一般研究区一年内的土地利用受区域人类活动和社会经济发展等因素的影响较小,土地利用的分布和面积变化不大,因此从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)下载了 4 景影像质量较好的 Landsat-8 OLI 影像数据,其中 2 景是 2020 年 4 月 22 日,另外 2 景是 2020 年 4 月 29 日,对应行列号分别为 122-32、122-33、123-32 和 123-33. 本研究选取的 2020 年遥感影像数据基本能反映 2021 年前后一段时间的土地利用结构特征.

### 1.3 分析方法

#### 1.3.1 空间分析

基于 landsat-8 遥感影像,在 ENVI 5.3 软件中对

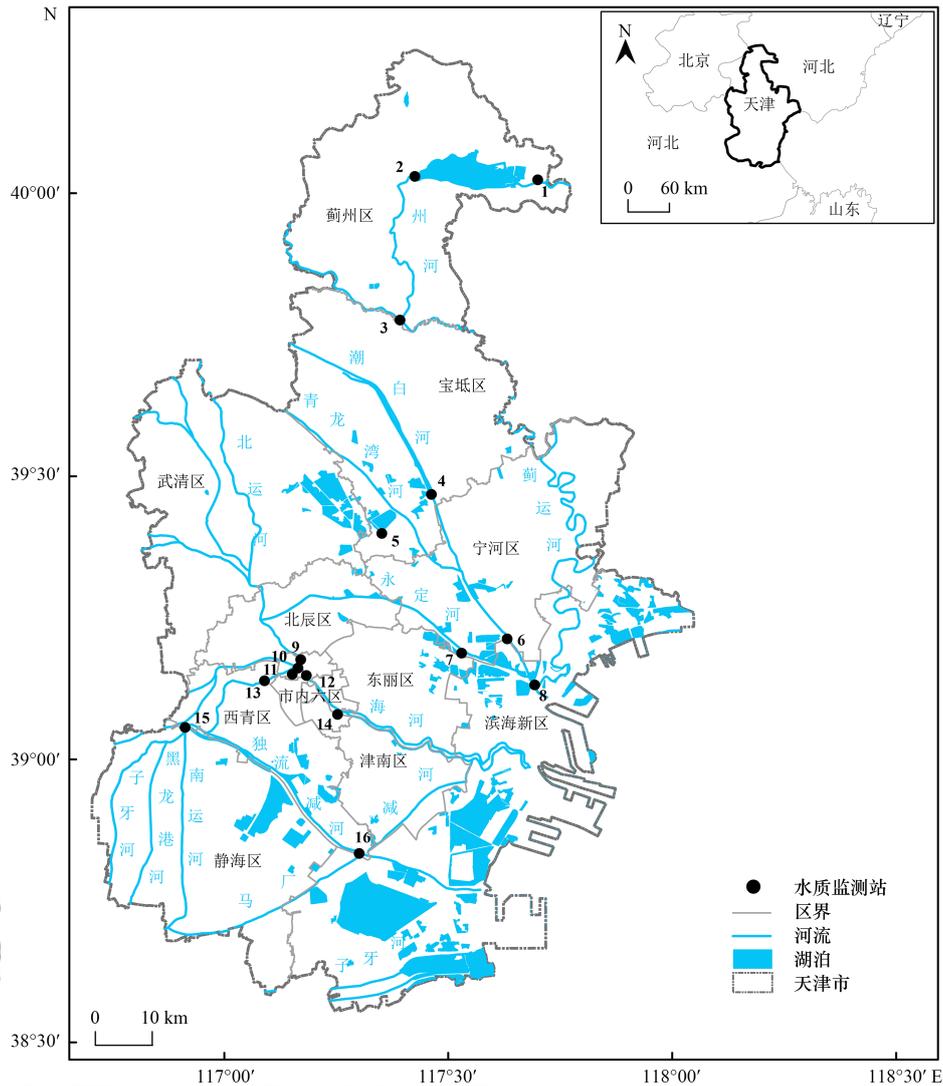


图 1 天津市监测站空间分布示意

Fig. 1 Schematic spatial distribution of monitoring stations in Tianjin

表 1 地表水监测站属性

Table 1 Surface water monitoring stations properties

监测站编号	监测站名称	监测站所在河流
1	果河桥	果河
2	于桥水库出口	引滦天津河
3	西屯桥	州河
4	黄白桥	潮白新河
5	尔王庄泵站	引滦天津河
6	于家岭大桥	潮白新河
7	永和大桥	永定新河
8	塘汉公路桥	永定新河
9	北洋桥	北运河
10	大红桥	子牙河
11	井冈山桥	南运河
12	三岔口	海河
13	曹庄子泵站	南水北调天津段
14	海津大桥	海河
15	大清河第六埠	大清河
16	万家码头	独流减河

影像进行了大气校正、几何校正和镶嵌裁剪等预处理,然后利用监督分类中的最大似然算法对土地利用进行分类,参照中国科学院资源环境科学与数据中心的土地利用分类系统<sup>[28]</sup>,结合研究区情况,将土地利用分为:耕地、建设用地、水域、林地、草地和未利用地,如图 2 所示.采用混淆矩阵评价土地利用分类的准确性,如表 2 所示,分类的总体准确度为 94.5%,Kappa 系数为 0.91.

研究区河网众多,分布密集,监测站水质受多方来水影响,因此宜采用以监测站为中心的圆形缓冲区作为分析单元<sup>[29]</sup>.缓冲区半径划分主要依据区域水环境与土地利用的尺度效应研究来确定,大多以 100~500 m 作为最小空间尺度,3 000~5 000 m 为最大空间尺度<sup>[8,30]</sup>.根据研究区的范围和河岸土地利用类型特征,以监测站为中心划定了 500、800、1 000、2 000、3 000 和 5 000 m 共 6 种缓冲区,然后计算各缓冲区范围内土地利用类型面积占比,如图 2 所示.

表 2 基于最大似然算法的土地利用覆盖分类精度评价<sup>1)</sup>

Table 2 Accuracy evaluation of land use cover classification based on maximum likelihood

地类	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用地	用户精度/%
建设用地	9 395	0	88	1 501	0	0	85.53
林地	0	1 854	0	16	14	0	98.41
水域	0	0	32 054	111	0	0	99.65
耕地	973	0	79	9 159	21	0	89.51
草地	2	0	0	175	199	0	52.93
未利用地	13	0	0	0	0	0	0
生产精度/%	90.48	1	99.48	83.55	85.04	0	

1) 总精度: 94.54%, Kappa 系数: 0.908

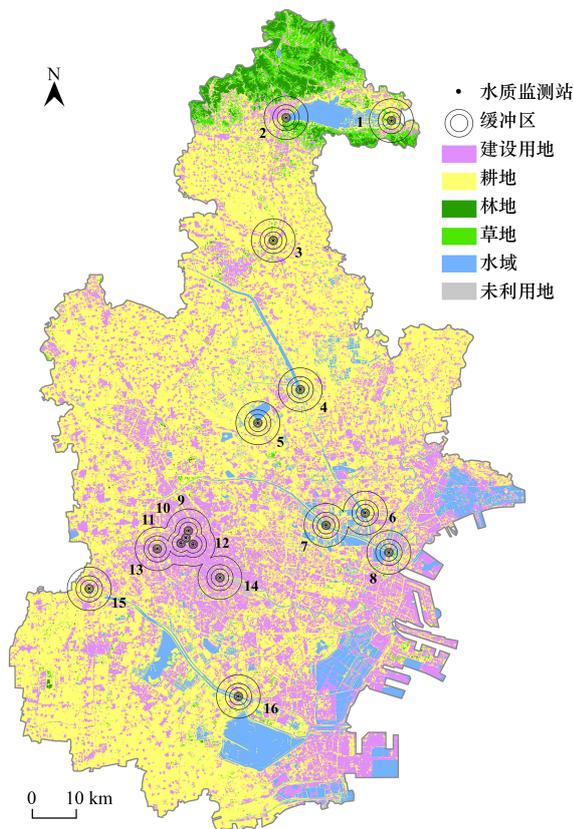


图 2 天津市土地利用类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of land use types in Tianjin

### 1.3.2 统计分析

用 Canoco 5 软件对各监测站不同水质指标进行趋势对应分析 (detrended correspondence analysis, DCA) 后发现, 水质指标数据的梯度值小于 3, 故选择冗余分析<sup>[17]</sup>, 将 5~10 月各水质指标的均值作为雨季水质指标, 1~4 月与 11~12 月各水质指标的均值作为旱季水质指标, 旱季和雨季水质指标均视为响应变量, 土地利用类型面积占比作为解释变量, 用于表达土地利用方式对旱、雨季多个水质指标变异的解释能力。

对土地利用和水质指标进行了 Pearson 相关分析, 表明土地利用和水质指标内部之间存在多重相

关性, 因此基于 SIMCA 14 软件, 采用偏最小二乘回归 (partial least squares regression, PLSR) 分析最佳缓冲区土地利用与水质指标之间的关系<sup>[31]</sup>. 以土地利用类型面积占比作为解释变量, 各个水质指标分别作为响应变量, 为每个响应变量构建最优 PLSR 模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 水质时空分布特征

对 16 个地表水水质监测站的主要水质指标进行了季节描述性统计和差异性检验, 结果如表 3 所示. 研究区主要水质指标 pH、DO、高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 和 TN 的时空分布如图 3 所示。

水质指标 DO、高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TP 具有明显的旱、雨季差异 ( $P < 0.05$ ), 而 pH 和 TN 旱、雨季差异不明显 ( $P > 0.05$ ) (表 3). 总体上, pH 值在 7.67~8.50 之间变化, 旱季均值为 8.16, 雨季均值为 8.05, 水质呈弱碱性.  $\rho(\text{DO})$  波动范围为 4.53~13.23  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 其均值在雨季低于旱季, 旱、雨季表现出极显著差异 ( $P < 0.01$ ). 高锰酸盐指数波动范围为 1.60~7.62  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$  范围在 0.02~1.59  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间变化, 两者浓度均具有显著的旱、雨季差异 ( $P < 0.05$ ), 且雨季均值都高于旱季均值.  $\rho(\text{TP})$  范围在 0.01~0.19  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间变化, 其浓度具有极显著的旱、雨季差异 ( $P < 0.01$ ), 雨季均值高于旱季均值.  $\rho(\text{TN})$  范围在 1.05~9.68  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间变化, 雨季均值低于旱季均值。

不同地区监测站的 pH 值和 DO 变化不大, 而不同地区高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 和 TN 差异较大 (图 3). 高锰酸盐指数在西青区监测站 15 (大清河第六埠)、宁河区监测站 6 (于家岭大桥)、7 (永和大桥) 和滨海新区监测站 8 (塘汉公路桥)、16 (万家码头) 污染浓度较高,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度在城市地区监测站 11 (井冈山桥) 和 14 (海津大桥) 污染浓度较高. 相对于其他水质指标, 天津市 TN 污染最严重, 尤其在蓟州区监测站 1 (果河桥), 旱季和雨季污染浓度分别为 9.68

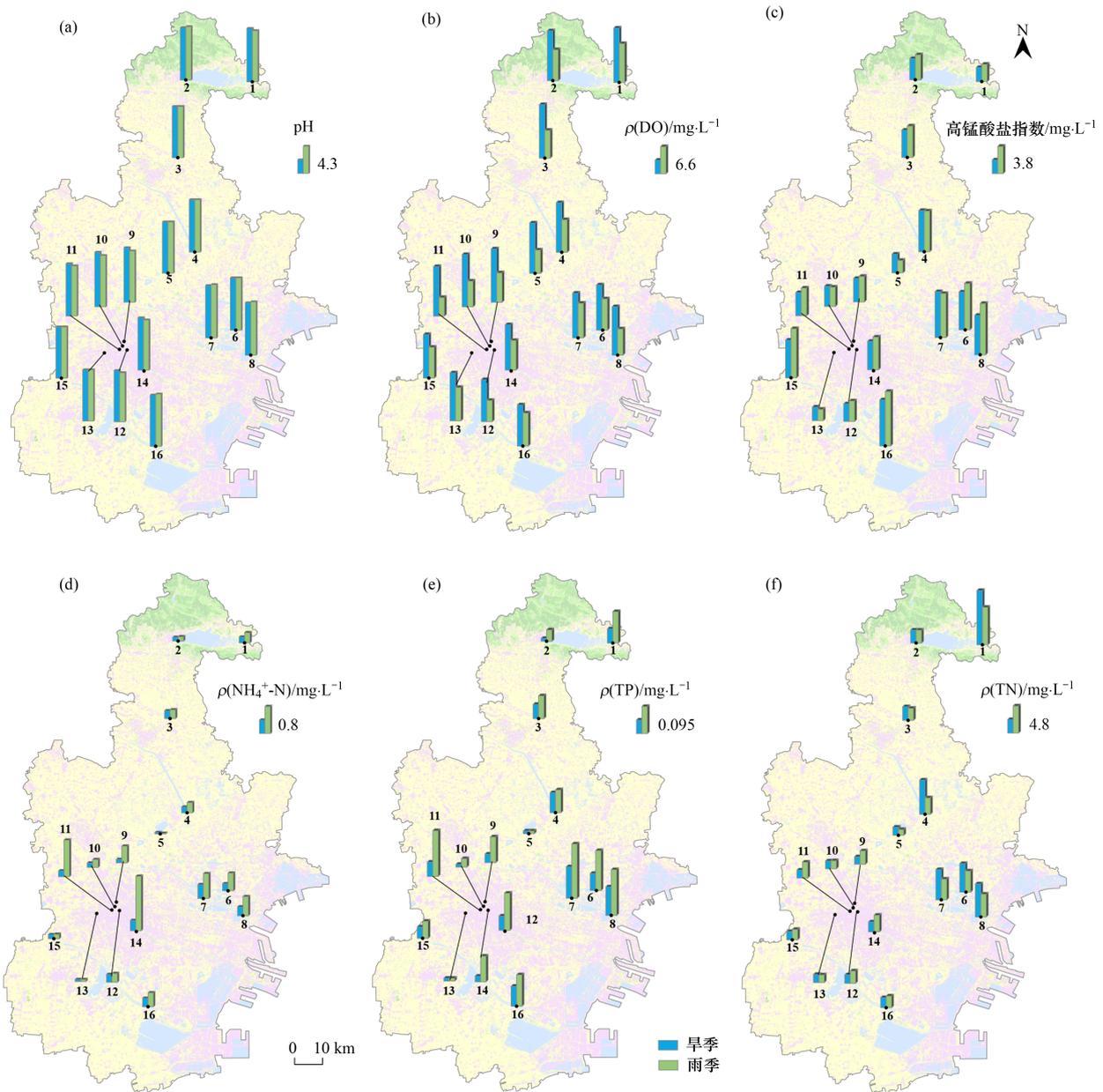


图3 旱季和雨季主要水质指标的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of major water quality indicators in the dry and wet seasons

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $6.69\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

## 2.2 土地利用特征分析

不同尺度缓冲区内土地利用面积组成的空间统计分析结果如图4所示. 研究区土地利用类型以建设用地、耕地和水域为主,且各类土地利用占比在不同空间尺度下存在差异. 随着缓冲区尺度的增加,建设用地、林地和草地占比平均值呈增大趋势,水域和其他用地占比平均值呈减小趋势,而耕地占比平均值先增大后减小,且总体仍呈现增大趋势. 城市地区监测站周边以建设用地为主,且面积占比均在50%以上. 远郊地区监测站周边以耕地为主,且多数面积占比在40%以上;水域主要集中在远郊地区和滨海新区监测站周边,面积占比多在20%以上,而林地和

草地主要集中在蓟州区监测站周边.

## 2.3 最佳缓冲区尺度的识别

探究研究区不同土地利用类型对季节性水质影响的尺度差异,结果如图5和图6所示;计算不同土地利用类型对水质变化的解释能力,结果如表4所示,从而筛选对水质影响最大的空间尺度.

在旱季,不同土地利用类型对河流水质影响的缓冲区尺度为: $800\text{ m}>3\ 000\text{ m}>1\ 000\text{ m}>5\ 000\text{ m}>500\text{ m}>2\ 000\text{ m}$ .  $800\text{ m}$ 缓冲区土地利用类型面积占比对水质指标的解释率最大,为 $52.7\%(P=0.036)$ ;在雨季,不同土地利用类型对河流水质影响的缓冲区尺度为: $3\ 000\text{ m}>5\ 000\text{ m}>1\ 000\text{ m}>2\ 000\text{ m}>800\text{ m}>500\text{ m}$ , $3\ 000\text{ m}$ 缓冲区土地利用类型面积占比对水质

表 3 水质参数季节性统计表(均值±标准差)<sup>1)</sup>

Table 3 seasonal table of water quality parameters (Mean ± SD)

季节	点位	pH	$\rho(\text{DO})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	高锰酸盐指数/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho(\text{TP})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho(\text{TN})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
旱季	1	8.33±0.47	13.23±2.0	1.97±0.87	0.17±0.07	0.05±0.01	9.68±2.15
	2	8.17±0.37	12.13±0.96	2.97±0.22	0.11±0.11	0.01±0.00	2.31±1.37
	3	8.00±0.00	13.03±2.39	3.82±0.69	0.23±0.21	0.05±0.02	2.43±1.38
	4	8.17±0.37	12.07±1.62	5.77±0.70	0.17±0.08	0.07±0.02	6.11±2.85
	5	8.00±0.00	12.25±1.09	2.62±0.74	0.04±0.02	0.01±0.01	1.47±0.48
	6	8.17±0.37	11.03±1.60	5.30±0.59	0.21±0.09	0.06±0.02	5.10±0.76
	7	8.17±0.37	10.90±1.97	6.43±0.96	0.41±0.23	0.11±0.03	5.39±1.17
	8	8.17±0.37	11.78±1.79	5.52±0.31	0.26±0.13	0.10±0.01	5.90±1.19
	9	8.50±0.50	13.00±1.43	3.28±0.40	0.10±0.04	0.03±0.00	1.34±0.39
	10	8.50±0.50	12.73±2.56	2.83±0.47	0.13±0.05	0.01±0.01	1.40±0.24
	11	8.17±0.37	12.05±2.48	3.23±0.37	0.17±0.14	0.05±0.01	1.41±0.53
	12	8.00±0.00	10.22±0.77	2.47±0.57	0.23±0.06	0.02±0.02	1.52±0.39
	13	8.00±0.00	11.67±0.76	1.90±0.08	0.06±0.02	0.01±0.00	1.46±0.21
	14	8.17±0.37	11.03±2.03	3.98±0.60	0.30±0.27	0.05±0.02	1.78±0.39
	15	8.00±0.00	10.60±1.36	5.27±1.35	0.12±0.07	0.04±0.02	1.50±0.75
	16	8.00±0.00	10.02±1.47	6.45±1.62	0.25±0.14	0.07±0.01	1.81±0.69
均值	8.16±0.16	11.73±0.98**	3.99±1.52*	0.19±0.09*	0.05±0.03**	3.16±2.41	
雨季	1	8.00±0.00	9.47±0.67	2.43±0.48	0.30±0.08	0.11±0.04	6.69±0.88
	2	8.33±0.47	7.55±1.58	3.50±0.29	0.13±0.08	0.04±0.00	2.30±1.27
	3	8.00±0.00	6.78±1.34	4.40±0.47	0.26±0.17	0.08±0.02	2.15±1.31
	4	8.17±0.37	7.93±1.02	5.70±1.13	0.30±0.12	0.08±0.02	2.95±0.64
	5	8.00±0.00	5.68±1.31	1.75±0.15	0.02±0.00	0.01±0.00	1.05±0.15
	6	8.17±0.37	7.65±2.18	6.50±1.89	0.52±0.66	0.14±0.07	3.78±1.22
	7	8.33±0.47	8.45±4.62	6.17±1.12	0.73±0.62	0.19±0.06	3.70±0.91
	8	8.33±0.47	6.38±2.42	7.18±0.89	0.56±0.38	0.16±0.04	4.07±0.45
	9	8.00±0.00	7.17±1.80	3.57±0.74	0.49±0.30	0.09±0.03	2.39±1.12
	10	8.00±0.00	6.27±1.69	2.70±0.82	0.23±0.14	0.03±0.02	1.44±0.47
	11	7.83±0.37	4.53±1.91	3.87±0.78	1.07±0.75	0.16±0.08	2.83±1.27
	12	7.67±0.47	5.17±1.66	2.88±0.63	0.26±0.20	0.09±0.03	2.22±1.14
	13	8.00±0.00	8.12±0.96	1.60±0.24	0.06±0.01	0.01±0.00	1.37±0.10
	14	7.83±0.37	7.20±1.29	4.58±1.27	1.59±1.38	0.13±0.11	2.97±1.71
	15	8.00±0.00	7.52±1.76	6.88±1.26	0.13±0.06	0.06±0.03	1.87±0.87
	16	8.17±0.37	8.05±0.98	7.62±1.83	0.41±0.14	0.11±0.04	2.09±0.88
均值	8.05±0.18	7.12±1.24**	4.46±1.92*	0.44±0.39*	0.09±0.05**	2.74±1.32	

1)旱季、雨季的最后一行\*表示  $P < 0.05$  水平的显著差异;\*\*表示  $P < 0.01$  水平的极显著差异,以表征水质指标的季节差异性

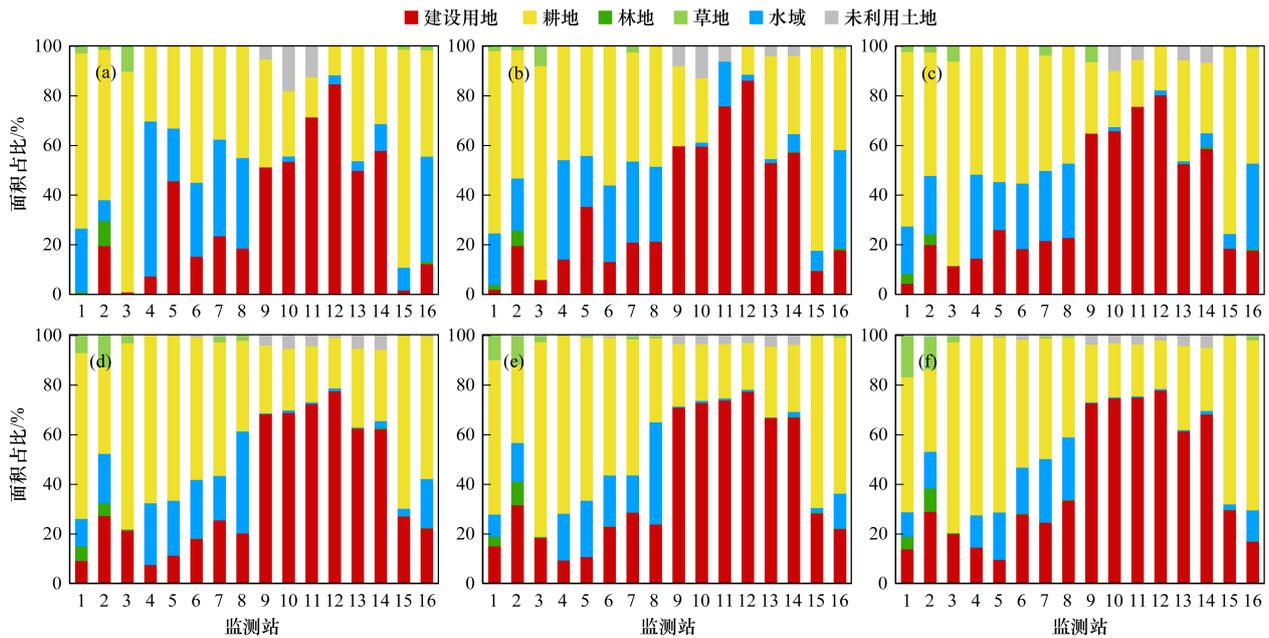
指标的解释率最大,为 49.6%( $P=0.030$ ). 从旱、雨季的平均解释率来看,3 000 m 是土地利用对地表水水质影响的最佳缓冲区尺度(旱季  $P=0.048$ ,雨季  $P=0.030$ ).

由 RDA 图可以看出,在各缓冲区尺度下,旱季(图 5)耕地和水域占比与 TP、TN、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、高锰酸盐指数、COD、 $\text{BOD}_5$ 、TUB 和 EC 均呈正相关;林地占比与 DO 和 pH 均呈正相关,且在 2 000~5 000 m 与 TN 存在较弱的正相关,草地占比在 500~800 m 缓冲区对水质变化影响较小,而在 1 000~5 000 m 与 DO、pH 和 TN 呈正相关;建设用地占比与 WT、DO 和 pH 呈正相关,与其他水质指标均为负相关. 雨季(图 6)耕地占比在较近距离缓冲区(500~1 000 m)与 DO、pH 和 TN

呈正相关,而在远距离缓冲区(2 000~5 000 m)还与 TP、EC、高锰酸盐指数、COD 和 TUB 呈正相关;水域面积占比在所有缓冲区尺度下与 pH、TN、TP、高锰酸盐指数、COD、 $\text{BOD}_5$ 、EC 和 TUB 呈正相关;林地和草地占比在各缓冲区内与 DO、pH 和 TN 呈正相关,与其他水质指标呈负相关;建设用地占比在各缓冲区内与 WT 和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  呈正相关,而与其他水质指标表现为不同程度的负相关关系.

2.4 3 000 m 缓冲区土地利用与季节水质的解析

3 000 m 缓冲区内土地利用对旱季和雨季水质影响的最优 PLSR 模型摘要如表 5 所示,包括每个模型的  $R^2$ 、 $Q^2$  和成分数. 成分数是通过交叉验证确定的,以达到  $R^2$  和  $Q^2$  之间的最小差异和更大的  $Q^{2[32]}$ ,  $R^2$  表示模型



(a)500 m缓冲区,(b)800 m缓冲区,(c)1 000 m缓冲区,(d)2 000 m缓冲区,(e)3 000 m缓冲区,(f)5 000 m缓冲区

图 4 不同尺度缓冲区内土地利用类型面积占比

Fig. 4 Proportion of land use type area in buffer zones at different scales

表 4 解释变量解释总体水质变化百分比的冗余分析结果

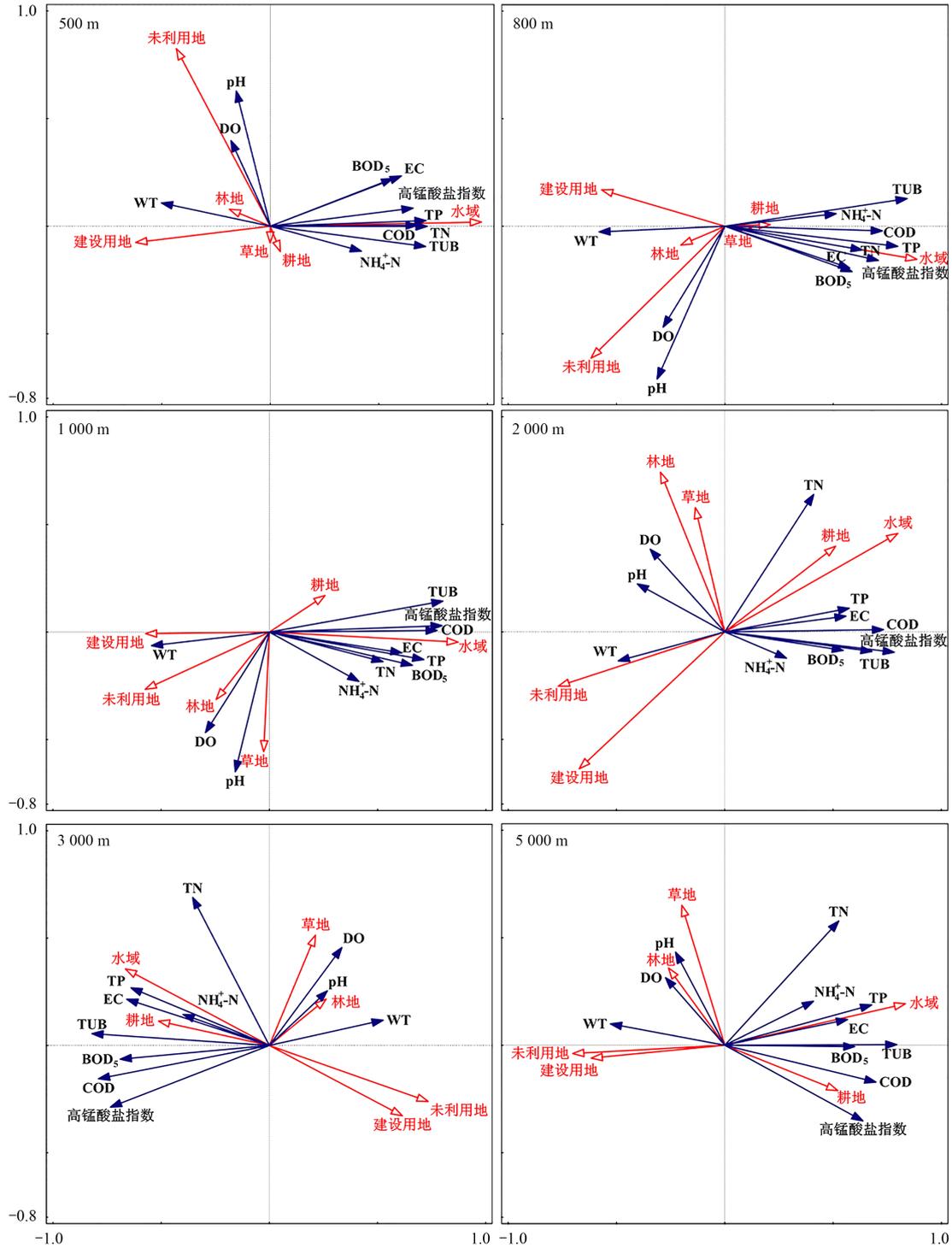
Table 4 Redundancy analysis results of percentage change in overall water quality explained by explanatory variables

季节	空间尺度/m	解释率/%			Pseudo-F	P
		轴 1	轴 2	所有轴		
旱季	500	32.74	6.33	45.0	1.6	0.130
	800	38.45	7.94	52.7	2.2	0.036
	1 000	36.81	7.15	50.4	2.0	0.062
	2 000	30.26	6.19	41.9	1.4	0.198
	3 000	35.43	9.21	50.4	2.0	0.048
	5 000	31.91	7.94	45.8	1.7	0.092
雨季	500	26.31	5.98	34.8	1.1	0.438
	800	26.3	10.09	39.5	1.3	0.278
	1 000	26.69	11.95	44.0	1.6	0.126
	2 000	18.62	15.28	41.5	1.4	0.190
	3 000	24.75	15.71	49.6	2.0	0.030
	5 000	19.47	15.97	46.6	1.8	0.064

的拟合优度,  $Q^2$  表示模型的预测优度. 当  $R^2 > 0.5$ ,  $Q^2 > 0.5$  时, 表明该模型具有良好的预测能力<sup>[33]</sup>. 除 pH 外, 其余水质指标的最优模型在两个季节都提取了一个或两个成分, 且模型预测能力均较好, 尤其是在两个季节的 DO、高锰酸盐指数和  $BOD_5$ , 它们的模型预测能力极好 ( $R^2 > 0.9$ ,  $Q^2 > 0.9$ ). 总体来看, 旱季大多数水质指标 PLSR 模型的显著性和预测能力比雨季强.

表 6 为雨季和旱季各水质指标最优模型的回归系数 (RC) 及其关键变量 ( $VIP > 1$ ), 回归系数 (RC) 表示 PLSR 模型中解释变量对响应变量的影响方向和强度, 变量投影重要性 (VIP) 表示每个解释变量在模型拟合中的贡献率<sup>[34]</sup>, 一般认为,  $VIP > 1$  时, 解释变量对响应变量存在程度较高的解释意义<sup>[35]</sup>. 在旱季, 大

多数水质指标都受建设用地、耕地和水域的重要影响, 并且这些土地利用类型与多数水质指标都呈正相关, 其中建设用地是 WT 变化的最重要变量, 而耕地对 DO、EC、TUB、高锰酸盐指数、COD、 $NH_4^+-N$ 、TP 和 TN 的贡献最大. 林地和草地与 DO 和 TN 呈正相关, 与其余水质指标均呈负相关. 在雨季, 水质指标受土地利用类型的影响与旱季类似. 除 WT、DO 和 EC 外, 其余水质指标受建设用地的影响比旱季略大, 而受耕地和水域的影响相比旱季略小, 且  $NH_4^+-N$  的 VIP 值最高的关键变量是建设用地, 其余水质指标 VIP 值最高的关键变量仍是耕地. 总体而言, 最优模型的 VIP 值最高的关键变量在雨季和旱季基本相同.



红色箭头表示土地利用类型(解释变量),蓝色箭头表示水质指标(响应变量),下同

图 5 旱季水质与土地利用类型 RDA 分析

Fig. 5 RDA analysis of water quality and land use type in the dry season

### 3 讨论

#### 3.1 土地利用对地表水水质的影响

不同的土地利用类型通过影响流域特征,如水文循环、生物多样性、土壤侵蚀、污染物迁移转化及人类活动等,最终影响水质变化<sup>[14]</sup>. 耕地、建设用地和水域是影响天津市水质最显著的土地利用类型

(表 6). 耕地主要集中在远郊地区(蓟州区、宝坻区、宁河区 and 静海区)和滨海新区(图 4),其与旱季和雨季的 TN、TP、高锰酸盐指数、COD 呈正相关(图 5 和图 6),这是由于耕作和施肥等农业活动,导致土壤中氮、磷、无机物和农药等残留含量高<sup>[36]</sup>,而未被吸收的养分和有机质等经过降雨径流冲刷后形成污染源进入附近的河流,此外,郊区还有许多畜牧场,由

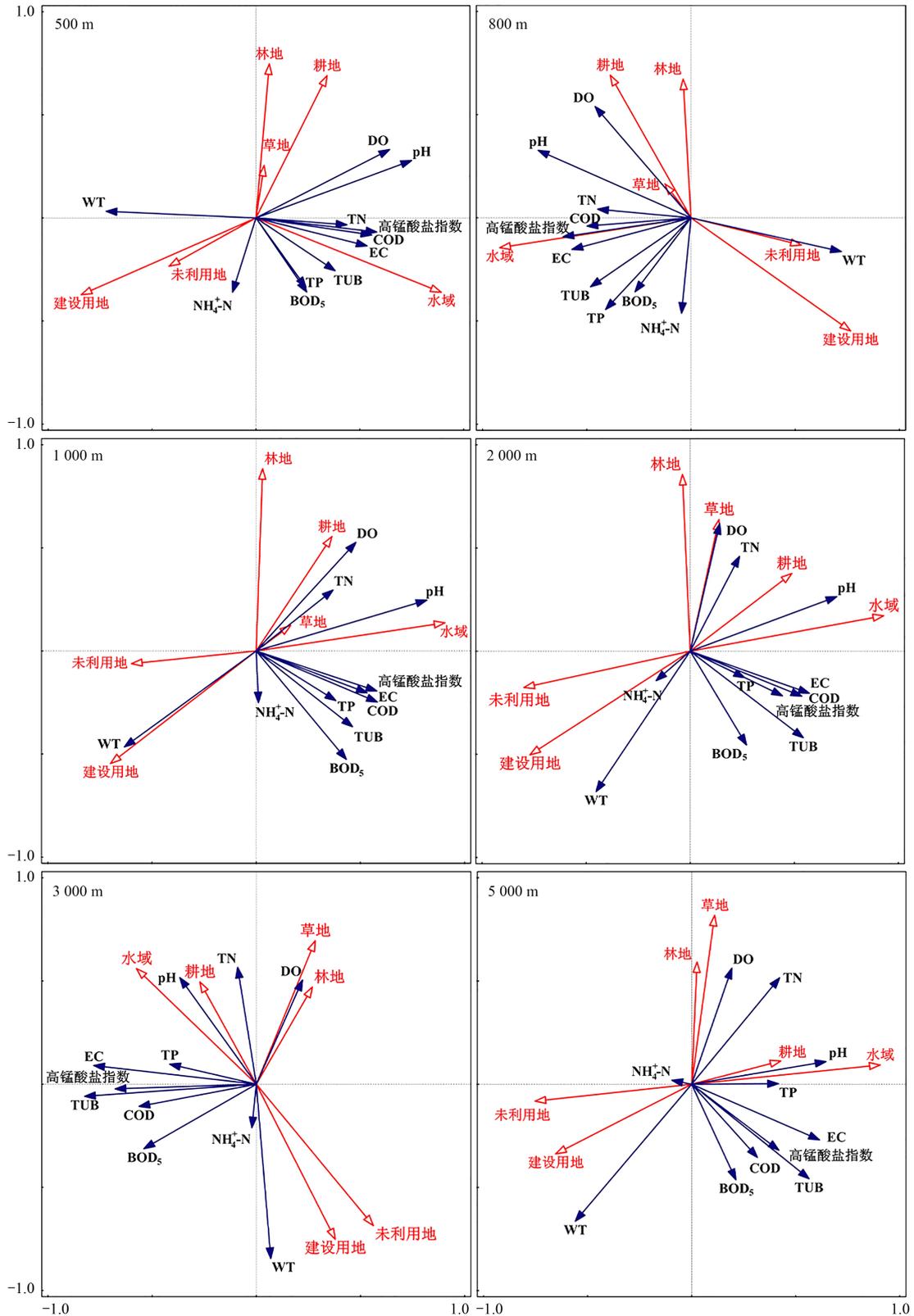


图 6 雨季水质与土地利用类型 RDA 分析

Fig. 6 RDA analysis of water quality and land use type in the wet season

于缺乏处理厂,大部分废物直接排入当地水道<sup>[37]</sup>,从而导致水体水质下降<sup>[38-40]</sup>. 建设用地多集中在城市地区(红桥区、河北区、河东区和河西区),且与雨季的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  呈正相关,一方面会使生活污水、生活垃圾等造成的非点源污染增加<sup>[41]</sup>,另一方面造成不

透水下垫面增加,加快径流的形成,从而导致降雨发生时污染物可随径流快速进入河流对水质造成污染<sup>[42]</sup>. 水域主要分布在宝坻区、宁河区和滨海新区,其与旱季和雨季大多数水质指标均呈正相关,一是较大的畜禽养殖规模和粗放的管理方式,使得禽畜

表 5 雨季和旱季水质指标的最优 PLSR 模型汇总<sup>1)</sup>

Table 5 Summary of optimal PLSR models for water quality indicators in the wet and dry seasons

水质指标	旱季			雨季		
	$R^2$	$Q^2$	成分数	$R^2$	$Q^2$	成分数
WT	0.673	0.549	1	0.837	0.762	1
pH	—	—	0	—	—	0
DO	0.990	0.984	2	0.974	0.956	2
EC	0.839	0.770	1	0.814	0.548	2
TUB	0.874	0.808	2	0.811	0.685	2
高锰酸盐指数	0.966	0.940	3	0.957	0.939	2
COD	0.950	0.936	2	0.890	0.822	2
BOD <sub>5</sub>	0.978	0.938	2	0.961	0.921	2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.899	0.848	2	0.627	0.469	2
TP	0.897	0.808	2	0.914	0.882	1
TN	0.875	0.710	1	0.933	0.814	1

1) “—”表示无数据

表 6 土地利用与雨季和旱季水质指标关系的最优 PLSR 模型回归系数<sup>1)</sup>

Table 6 Regression coefficients of the optimal PLSR model for the relationship between land use and water quality indicators in the wet and dry seasons

季节	水质指标	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用地
旱季	WT	<b>0.738</b>	-0.064	-0.324	<b>-0.576</b>	-0.099	0.202
	pH	—	—	—	—	—	—
	DO	<b>0.326</b>	0.056	0.257	<b>0.349</b>	0.064	0.260
	EC	<b>0.253</b>	-0.118	<b>0.290</b>	<b>0.301</b>	-0.146	0.175
	TUB	<b>0.247</b>	-0.117	<b>0.392</b>	<b>0.439</b>	-0.055	0.088
	高锰酸盐指数	<b>0.244</b>	-0.077	<b>0.400</b>	<b>0.546</b>	-0.063	0.017
	COD	<b>0.270</b>	-0.029	<b>0.359</b>	<b>0.444</b>	-0.005	-0.115
	BOD <sub>5</sub>	<b>0.302</b>	-0.037	<b>0.342</b>	<b>0.378</b>	-0.001	0.221
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	<b>0.300</b>	-0.086	<b>0.304</b>	<b>0.409</b>	0.001	0.201
	TP	<b>0.026</b>	-0.016	<b>0.192</b>	<b>0.218</b>	-0.002	-0.010
TN	0.168	<b>0.235</b>	<b>0.265</b>	<b>0.288</b>	<b>0.251</b>	0.094	
雨季	WT	<b>0.806</b>	-0.026	-0.487	<b>-0.559</b>	-0.047	0.201
	pH	—	—	—	—	—	—
	DO	<b>0.307</b>	0.069	0.259	<b>0.393</b>	0.087	0.194
	EC	0.194	-0.131	<b>0.574</b>	<b>0.325</b>	-0.050	0.031
	TUB	<b>0.298</b>	-0.085	<b>0.250</b>	<b>0.436</b>	-0.070	0.183
	高锰酸盐指数	<b>0.274</b>	-0.091	<b>0.399</b>	<b>0.481</b>	-0.062	0.092
	COD	<b>0.278</b>	-0.028	0.313	<b>0.432</b>	-0.029	0.149
	BOD <sub>5</sub>	<b>0.319</b>	-0.069	<b>0.312</b>	<b>0.367</b>	-0.048	0.257
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	<b>0.668</b>	-0.045	0.136	<b>0.245</b>	-0.048	0.143
	TP	<b>0.240</b>	0.016	0.127	<b>0.248</b>	0.030	0.038
TN	<b>0.234</b>	0.217	<b>0.236</b>	<b>0.290</b>	0.229	0.164	

1) 黑体字表示关键变量(VIP&gt;1);“—”表示无数据

粪便和水污染物流失成为水环境污染的重要来源之一<sup>[43]</sup>,二是作为严重缺水的华北平原地区,降雨是天津河流的主要水源,而由于暴雨径流冲刷作用,含有来自屋顶和道路的混合污染物进入河流<sup>[44]</sup>,因此,降雨也是天津河流的主要污染源.林地和草地主要集中在蓟州区,它们与大多数水质指标呈负相关,而在2 000~5 000 m与旱季和雨季的TN呈正相关,可能与植被的生长和生物活动促进植被-土壤-水体氮循环过程有关<sup>[45]</sup>,从而导致河流中TN含量

增加.

### 3.2 土地利用与地表水水质的尺度效应

在不同尺度下土地利用对河流水质具有差异性.不同土地利用类型主导的流域与水质指标的关系不同,由于空间范围的变化,在同一流域的土地利用结构与水质指标的关系也会发生变化<sup>[46]</sup>.本研究采用冗余分析进行土地利用与河流水质的空间效应研究发现,从旱、雨季的平均解释率来看,3 000 m尺度下土地利用对水质的解释率最高(50%).这与东江

流域<sup>[47]</sup>和抚仙湖<sup>[48]</sup>的研究结果不同,可能是不同地区的人为活动改变了土地利用格局,影响不同的水文特征、物质转移和能量流动,进而引起流域生态过程和水质空间分异<sup>[49,50]</sup>.海河流域天津段属于平原型河流,城镇和村庄多沿河分布,人口密度大,监测站周围3 000 m缓冲区内耕地和建设用地较大,人类活动胁迫强烈,是未来水环境保护的关键区域,建议农业生产过程中做到合理施肥及水土保持,减少农业活动对地表水的污染;在城市建设中提高污水处理效率,加强城市绿地建设等.

### 3.3 土地利用与地表水水质的季节效应

大量研究表明土地利用与河流水质的关系存在季节性差异<sup>[12,51,52]</sup>.本研究中旱季土地利用结构对水质的解释率均高于雨季(表4),且旱季大多数水质指标PLSR模型的 $R^2$ 和 $Q^2$ 都大于雨季,说明旱季PLSR模型的显著性和预测能力比雨季强(表5),这与渭河流域<sup>[53]</sup>、三峡库区<sup>[54]</sup>和河湟谷地<sup>[55]</sup>的研究结果相同,这是由于旱季的降雨量显著偏低,径流小,水质受自然因素的影响小<sup>[56]</sup>,人类活动成为旱季的主导干扰因素,土地利用作为人类活动的综合产物,农田耕作和灌溉、生活污水和工业废水的排放等对旱季水质的影响更为显著<sup>[39]</sup>,因此应加强人为活动对水环境的干扰管控.雨季建设用地与水质的回归关系较早季更强(表6),这主要是由于降雨形成的地表径流含有来自屋顶和道路的混合污染物,这些污染物被地表径流冲刷流入附近河流<sup>[4]</sup>,导致水质下降.因此,在土地利用管控上要严格限制雨季建设用地面积扩张与开展城市雨水收集和利用,以实现地表水水质的保护.

## 4 结论

(1)天津市土地利用类型以建设用地、耕地和水域为主,对河流水质有显著影响.耕地、建设用地和水域与各水质指标(除WT、pH外)均呈负相关,林地和草地与DO和TN呈正相关,与其他水质指标呈负相关.

(2)水质指标在不同的季节表现出明显的空间差异.pH、DO和TN浓度在旱季较高,而高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TP浓度在雨季较高.

(3)RDA分析结果表明,800 m缓冲区土地利用对旱季水质变化具有最大的解释能力,3 000 m缓冲区土地利用对雨季水质变化具有最大的解释能力;从旱、雨季的平均解释率来看,3 000 m是天津市土地利用对水质影响的最佳缓冲区尺度.

(4)PLSR分析结果表明,3 000 m缓冲区内影响地表水水质变化的最重要的变量是建设用地、耕地

和水域.旱季大多数水质指标PLSR模型的预测能力比雨季强.在旱季,除WT和pH外,其余水质指标均受耕地的影响最大.在雨季,建设用地对WT和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的影响最大,其余水质指标的最重要影响因子仍是耕地.

### 参考文献:

- [1] Giri S, Qiu Z Y. Understanding the relationship of land uses and water quality in twenty first century: a review [J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, **173**: 41-48.
- [2] 张柳柳,刘睿,张静,等.长江上游坡地景观特征对河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2022, **42**(16): 6704-6717.  
Zhang L L, Liu R, Zhang J, et al. The influence of sloping landscape features on riverine water quality in upper Yangtze River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(16): 6704-6717.
- [3] 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.
- [4] Chen X, Zhou W Q, Pickett S T A, et al. Spatial-temporal variations of water quality and its relationship to land use and land cover in Beijing, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, **13**(5). doi: 10.3390/ijerph13050449.
- [5] 吉冬青,文雅,魏建兵,等.流溪河流域景观空间特征与河流水质的关联分析[J]. *生态学报*, 2015, **35**(2): 246-253.  
Ji D Q, Wen Y, Wei J B, et al. Relationships between landscape spatial characteristics and surface water quality in the Liu Xi River watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(2): 246-253.
- [6] 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.
- [7] 王刚.西苕溪流域水质时空变异及其土地利用组成与格局影响分析[D].南京:南京农业大学,2016.  
Wang G. Analysis about the temporal and variation characteristics of water quality and its influence by land use composition and pattern in Xitiaoxi Watershed [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [8] 康文华,蔡宏,林国敏,等.不同地貌条件下景观对河流水质的影响差异[J]. *生态学报*, 2020, **40**(3): 1031-1043.  
Kang W H, Cai H, Lin G M, et al. Influences of landscape on river quality under different geomorphological conditions [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(3): 1031-1043.
- [9] Jayasiri M M J G C N, Yadav S, Dayawansa N D K, et al. Spatio-temporal analysis of water quality for pesticides and other agricultural pollutants in Deduru Oya River Basin of Sri Lanka [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, **330**. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129897.
- [10] Rajaei F, Sari A E, Salmanmahiny A, et al. Surface drainage nitrate loading estimate from agriculture fields and its relationship with landscape metrics in Tajan watershed [J]. *Paddy and Water Environment*, 2017, **15**(3): 541-552.
- [11] Meneses B M, Reis R, Vale M J, et al. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) - water quality implications [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **527-528**: 439-447.

- [12] 王鹏, 齐述华, 陈波. 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(13): 4326-4337.  
Wang P, Qi S H, Chen B. Influence of land use on river water quality in the Ganjiang Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(13): 4326-4337.
- [13] 张宇硕, 吴殿廷, 吕晓. 土地利用/覆盖变化对生态系统服务的影响: 空间尺度视角的研究综述[J]. 自然资源学报, 2020, **35**(5): 1172-1189.  
Zhang Y S, Wu D Y, Lyu X, *et al.* A review on the Impact of land use/land cover change on ecosystem services from a spatial scale perspective [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, **35**(5): 1172-1189.
- [14] 项颂, 庞燕, 储昭升, 等. 入湖河流水质对土地利用时空格局的响应研究: 以洱海北部流域为例[J]. 环境科学, 2016, **37**(8): 2947-2956.  
Xiang S, Pang Y, Chu Z S, *et al.* Response of inflow water quality to land use pattern in northern watershed of Lake Erhai [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(8): 2947-2956.
- [15] Pratt B, Chang H. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **209-210**: 48-58.
- [16] Tran C P, Bode R W, Smith A J, *et al.* Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA) [J]. *Ecological Indicators*, 2010, **10**(3): 727-733.
- [17] 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.
- [18] Kang J H, Lee S W, Cho K H, *et al.* Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan River Basin [J]. *Water Research*, 2010, **44**(14): 4143-4157.
- [19] Wang X L, Han J Y, Xu L G, *et al.* Spatial and seasonal variations of the contamination within water body of the Grand Canal, China [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(5): 1513-1520.
- [20] 彭勃, 付永胜, 赵君凤, 等. 小流域土地利用景观格局对水质的影响[J]. 生态科学, 2019, **38**(3): 90-99.  
Peng B, Fu Y S, Zhao J F, *et al.* Effect of land use landscape pattern on water quality in small watershed [J]. *Ecological Science*, 2019, **38**(3): 90-99.
- [21] Huang J L, Li Q S, Pontius R G, *et al.* Detecting the dynamic linkage between landscape characteristics and water quality in a subtropical coastal watershed, Southeast China [J]. *Environmental management*, 2013, **51**(1): 32-44.
- [22] 谭力. 南水北调中线核心水源地土地利用转型及其生态环境效应研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2021.  
Tan L. Study on land use transformation and its eco-environmental effects in the core area of middle route of South-to-North Water Transfer Project [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2021.
- [23] 黄葵, 卢毅敏, 魏征, 等. 土地利用和气候变化对海河流域蒸发散发时空变化的影响[J]. 地球信息科学学报, 2019, **21**(12): 1888-1902.  
Huang K, Lu Y M, Wei Z, *et al.* Effects of land use and climate change on spatiotemporal changes of evapotranspiration in Haihe River Basin [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019, **21**(12): 1888-1902.
- [24] 巨鑫慧, 高肖, 李伟峰, 等. 京津冀城市群土地利用变化对地表径流的影响[J]. 生态学报, 2020, **40**(4): 1413-1423.  
Ju X H, Gao X, Li W F, *et al.* Effects of land use change on surface runoff in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(4): 1413-1423.
- [25] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. 生态学报, 2014, **33**(2): 469-476.  
Xiao L, Tian G J. Eco-risk assessment of land use in Tianjin City [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(2): 469-476.
- [26] 肖致美, 李鹏, 陈魁, 等. 天津市大气降水化学组成特征及来源分析[J]. 环境科学研究, 2015, **28**(7): 1025-1030.  
Xiao Z M, Li P, Chen K, *et al.* Characteristics and sources of chemical composition of atmospheric precipitation in Tianjin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(7): 1025-1030.
- [27] 天津市统计局. 天津统计年鉴-2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.  
Tianjin Municipal Bureau of Statistics. Tianjin statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.
- [28] 谢芳, 邱国玉, 尹婧, 等. 泾河流域40年的土地利用/覆盖变化分区对比研究[J]. 自然资源学报, 2009, **24**(8): 1354-1365.  
Xie F, Qiu G Y, Yin J, *et al.* Comparison of land use/land cover change in three sections of the Jinghe River Basin between the 1970s and 2006 [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, **24**(8): 1354-1365.
- [29] 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.  
Yang J, Xu Y P, Gao B, *et al.* River water quality change and its relationship with landscape pattern under the urbanization: a case study of Suzhou city in Taihu Basin [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, **29**(4): 827-835.
- [30] Zhao J, Lin L Q, Yang K, *et al.* Influences of land use on water quality in a reticular river network area: a case study in Shanghai, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, **137**: 20-29.
- [31] Abdi H. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS regression) [J]. *WIREs Computational Statistics*, 2010, **2**(1): 97-106.
- [32] 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.
- [33] Cheng P X, Meng F S, Wang Y Y, *et al.* The impacts of land use patterns on water quality in a trans-boundary river basin in Northeast China based on eco-functional regionalization [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, **15**(9), doi: 10.3390/ijerph15091872.
- [34] 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): 1524-1540.  
Zhang Z M, Du J L, Chen D C, *et al.* Effects of land use and landscape pattern characteristics on seasonal surface water quality in a typical reticulated river network area—a case study of Liyang City, Jiangsu Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2022, **34**(5): 1524-1540.
- [35] 李琳琳, 张依章, 唐常源, 等. 基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应[J]. 环境科学, 2017, **38**(4): 1376-1383.  
Li L L, Zhang Y Z, Tang C Y, *et al.* Modeling of water quality response to land-use patterns in Taizi River Basin based on partial least squares [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(4): 1376-

- 1383.
- [36] Mishra A, Alnahit A, Campbell B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: a review and analysis [J]. *Journal of Hydrology*, 2021, **596**, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125707.
- [37] 李纪周. 天津市规模化畜禽养殖场粪污治理及资源化利用调查研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- Li J Z. Research on pollution prevention and resource utilization of excrement in large-scaled livestock and poultry farms in Tianjin [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [38] De Mello K, Taniwaki R H, de Paula F R, *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil [J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, **270**, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110879.
- [39] 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**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106226.
- [40] Wei W, Gao Y N, Huang J C, *et al.* Exploring the effect of basin land degradation on lake and reservoir water quality in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, **268**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122249.
- [41] 胡艳芳, 范中亚, 陈昭婷, 等. 汕头市练江流域景观格局与水质的关联分析 [J]. *中国环境监测*, 2021, **37**(3): 126-133.
- Hu Y F, Fan Z Y, Chen Z T, *et al.* Correlation analysis between landscape pattern and water quality in the Lianjiang River watershed in Shantou City [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2021, **37**(3): 126-133.
- [42] 赵银军, 梁日梅, 丁爱中, 等. 不同空间尺度景观特征对南流江水质的影响差异 [J]. *生态学报*, 2023, **43**(12): 4954-4964.
- Zhao Y J, Liang R M, Ding A Z, *et al.* Differences in the influence of landscape features on river water quality at different spatial scales [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43**(12): 4954-4964.
- [43] 王娟娟, 张素青, 王宝峰, 等. 渤海湾天津海区渔业生态环境质量评价 [J]. *河北渔业*, 2022, (7): 36-41.
- Wang J J, Zhang S Q, Wang B F, *et al.* Assessment of fishery eco-environmental quality for the sea area of Bohai Bay in Tianjin [J]. *Hebei Fisheries*, 2022, (7): 36-41.
- [44] Gilbert J K, Clausen J C. Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut [J]. *Water Research*, 2006, **40**(4): 826-832.
- [45] Liu X J, Duan L, Mo J M, *et al.* Nitrogen deposition and its ecological impact in China: an overview [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(10): 2251-2264.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] Dai X Y, Zhou Y Q, Ma W C, *et al.* Influence of spatial variation in land-use patterns and topography on water quality of the rivers inflowing to Fuxian Lake, a large deep lake in the plateau of southwestern China [J]. *Ecological Engineering*, 2017, **99**: 417-428.
- [49] Zhou T, Wu J G, Peng S L. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: a case study of the Dongjiang River watershed, China [J]. *Ecological Indicators*, 2012, **23**: 166-175.
- [50] Wang M H, Wang Y, Li Y, *et al.* Natural and anthropogenic determinants of riverine phosphorus concentration and loading variability in subtropical agricultural catchments [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, **287**, doi: 10.1016/j.agee.2019.106713.
- [51] 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.
- [52] 胡琳, 李思悦. 不同空间尺度土地利用结构与景观格局对龙川江流域水质的影响 [J]. *生态环境学报*, 2021, **30**(7): 1470-1481.
- Hu L, Li S Y. Scale effects of land use structure and landscape pattern on water quality in the Longchuan River Basin [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021, **30**(7): 1470-1481.
- [53] 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.
- [54] Xu J H, Liu R, Ni M F, *et al.* Seasonal variations of water quality response to land use metrics at multi-spatial scales in the Yangtze River Basin [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(28): 37172-37181.
- [55] 李好好, 黄懿梅, 郭威, 等. 河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响 [J]. *环境科学*, 2022, **43**(8): 4042-4053.
- Li H H, Huang Y M, Guo W, *et al.* Influence of land use and land cover patterns on water quality at different spatio-temporal scales in Hehuang valley [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(8): 4042-4053.
- [56] 李艳丽, 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.

## CONTENTS

Research on the Evaluation Method and Application of Provincial Differentiated Carbon Peaking in China .....	LIU Run-pu, PENG Shuan, CHEN Yu-shuo, <i>et al.</i> (1233)
Evolution and Influencing Factors of Spatial Correlation Network of Construction Carbon Emission in China from the Perspective of Whole Life Cycle .....	REN Xiao-song, LI Zhao-ru (1243)
Efficiency Characteristics and Evolution Patterns of Urban Carbon Metabolism of Production-Living-Ecological Space in Beijing-Tianjin-Hebei Region .....	TIAN Chao, CHENG Lin-lin, SHAO Ying-chao (1254)
Assessment of CO <sub>2</sub> Co-benefits of Air Pollution Control Policies in Taiyuan's 14th Five-Year Plan .....	XIAO Ting-yu, SHU Yun, LI hui, <i>et al.</i> (1265)
Coordinated Control of Carbon Emission Reduction and Air Quality Improvement in the Industrial Sector in Hunan Province .....	LI Nan, LIU Wan-wan, ZHU Shu-han, <i>et al.</i> (1274)
Coal Control and Carbon Reduction Path in Henan Province's Power Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target: A Medium- and Long-term Study .....	ZHANG Jing, YANG Meng, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (1285)
Environmental Benefits of Pollution and Carbon Reduction by Bus Fleet Electrification in Zhengzhou .....	ZOU Chao, WANG Ya-nan, WU Lin, <i>et al.</i> (1293)
Multi-scale Driving Mechanism of Urbanization on PM <sub>2.5</sub> Concentration in Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River .....	ZHANG Zheng, ZHOU Ting-gang, ZHOU Zhi-heng, <i>et al.</i> (1304)
Analysis of Spatio-temporal Distribution Characteristics and Influencing Factors of PM <sub>2.5</sub> Concentration in Urban Agglomerations on the Northern Slope of Tianshan Mountains .....	WANG Xiang-nan, ZHANG Zhe, LIU Fang-qing (1315)
Spatial Variability and Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> Carbon Components in Tianjin .....	WU Fu-liang, WU Jian-hui, DAI Qi-li, <i>et al.</i> (1328)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Aerosols in PM <sub>2.5</sub> in Huaxi District, Guiyang .....	GUI Jia-qun, YANG Yuan, WANG Xian-qin, <i>et al.</i> (1337)
Pollution Characteristics, Source Apportionment, and Meteorological Response of Water-soluble Ions in PM <sub>2.5</sub> in Xixiang, North China .....	LIU Huan-jia, LI Lan-qing, LI Huan-li, <i>et al.</i> (1349)
Characterization of Metal Elements in Atmospheric PM <sub>2.5</sub> and Health Risk Assessment in Heze in Winter from 2017 to 2018 .....	DU Hong-xuan, REN Li-hong, ZHAO Ming-sheng, <i>et al.</i> (1361)
Analysis of the Jumping Characteristics and Influencing Factors of Ozone Pollution in Beijing .....	PAN Jin-xin, AN Xin-xin, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1371)
Analysis of Photochemical Characteristics and Sensitivity of Atmospheric Ozone in Nanjing in Summer .....	LUO Li-tong, ZHANG Yan-lin, LIN Yu-qi, <i>et al.</i> (1382)
Ozone Pollution in Suzhou During Early Summertime: Formation Mechanism and Interannual Variation .....	WU Ye-zheng, ZHANG Xin, GU Jun, <i>et al.</i> (1392)
Distribution Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Tracing of Heavy Metals in the Sediments of Typical Lakes in the Middle Reaches of the Yangtze River .....	LU Hong-bin, LU Shao-yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (1402)
Spatiotemporal Distribution and Source Analysis of Heavy Metals in Surface Sediments in Lake Ulansuhai Based on PCA-APCS-MLR Model .....	CUI Zhi-mou, SHI Xiao-hong, ZHAO Sheng-nan, <i>et al.</i> (1415)
Spatial and Temporal Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Changshou Lake Reservoir, Chongqing .....	ZHANG Rui-xi, LIU Ya-jun, LUO Yong-nan, <i>et al.</i> (1428)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Microplastics in the Yangtze River Basin .....	LI Si-qiong, WANG Hua, CHU Lin-you, <i>et al.</i> (1439)
Assessment of Microplastic Pollution and Estimation of Annual Emission Volume in the Dongshan Canal of Yichang City .....	DING Shuang, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1448)
Occurrence Characteristic and Risk Assessment of Microplastics in Sishui River (Xingyang Section) .....	ZHAO Chang-min, HE Bing, LI He-tong, <i>et al.</i> (1457)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Drains Flowing into the Yellow River of Ningxia .....	GAO Li, LI Ling-yun, ZHENG Lan-xiang, <i>et al.</i> (1468)
Characteristics and Risk Assessment of Antibiotic Contamination in Oujiang River Basin in Southern Zhejiang Province .....	ZHONG Yi-xin, LI Li-xiang, WU Xin, <i>et al.</i> (1480)
Spatial-temporal Distribution and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Poyang Lake .....	MA Yan, SUN Chen, BI Jia-le, <i>et al.</i> (1492)
Change and Prediction of Water Purification Function in the South Bank of Hangzhou Bay in the Past 20 Years .....	WANG Shan-shan, CAO Gong-ping, XU Ming-wei, <i>et al.</i> (1502)
Effects of Land Use Types on Water Quality at Different Buffer Scales: Tianjin Section of the Haihe River Basin as an Example .....	DAI Meng-jun, ZHANG Bing, DU Qian-qian, <i>et al.</i> (1512)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Shallow Groundwater in Anqing Section of the Yangtze River Basin .....	LIU Hai, SONG Yang, LI Ying-chun, <i>et al.</i> (1525)
Dynamic Changes of Dissolved Organic Matter Derived from Algal Decomposition and the Environmental Effects in Eutrophic Lakes .....	ZHANG Jin, CHEN Ming-ying, HAO Zhi-neng, <i>et al.</i> (1539)
Degradation of Carbamazepine in Water by UV-activated Sulfite Process .....	LIN Tao, YUAN Yu-jie (1553)
Detection, Generation, and Control of Disinfection By-products of Reclaimed Water .....	LIAO Yu-feng, WANG Zheng, PAN Yang, <i>et al.</i> (1561)
Absorption of Ammonium by Three Substrates Materials in Constructed Wetland System .....	HE Qiang, CHEN Bo-wen, HAN Ling, LIU Ming, <i>et al.</i> (1577)
Ecological Environment Assessment and Driving Mechanism Analysis of Nagqu and Amdo Sections of Qinghai-Xizang Highway Based on Improved Remote Sensing Ecological Index .....	FU Kai-xiang, JIA Guo-dong, YU Xin-xiao, <i>et al.</i> (1586)
Spatial-temporal Evolution and Driving Factors Analysis of Ecological Environment Quality in Daihai Basin based on AWRSEI .....	ZHAO Jia-li, LI Xing, SUN Bing (1598)
Quantitative Assessment of the Impact of Climate Change on the Growing Season of Vegetation Gross Primary Productivity in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River .....	XU Yong, PAN Yu-chun, ZOU Bin, <i>et al.</i> (1615)
Effect of Vegetation Restoration on Soil Organic Carbon Storage in Coal Mining Areas Based on Meta-analysis .....	LI Jian-ming, KANG Yu-xin, JIANG Fu-zhen, <i>et al.</i> (1629)
Effects of Continuous Annual Crop Rotation and Fallow on Soil Aggregate Stability and Organic Carbon .....	LU Ze-rang, LI Yong-mei, YANG Chun-huai, <i>et al.</i> (1644)
Effects of Four Amendments on Fertility and Labile Organic Carbon Fractions of Acid Purple Soil .....	DING Xin-ru, YAN Ning-zhen, WANG Zi-fang, <i>et al.</i> (1655)
Changes in Soil Nitrogen Components and Their Relationship with Environmental Factors with Different Tea Plantation Ages .....	SHAO Qi, WU Tao, XIE Xue-feng, <i>et al.</i> (1665)
Nutrients and Ecological Stoichiometry Characteristics of Typical Wetland Soils in the Lower Yellow River .....	WANG Chuan-ying, WANG Kai-yue, WANG Hao-ran, <i>et al.</i> (1674)
Effect of Film Mulching Age and Organic Fertilizer Application on the Distribution Characteristics of Microplastics in the Soil of a Peanut Field .....	SONG Ning-ning, LI Meng-jia, WANG Xue-xia, <i>et al.</i> (1684)
Effects of Straw Returning and Biochar Addition on Greenhouse Gas Emissions from High Nitrate Nitrogen Soil After Flooding in Rice-vegetable Rotation System in Tropical China .....	HU Tian-yi, CHE Jia-yue, HU Yu-jie, <i>et al.</i> (1692)
Tillage Depth Regulation and the Effect of Straw Return on Soil Respiration in Farmland .....	CHEN Xi, ZHANG Yan-jun, ZOU Jun-liang, <i>et al.</i> (1702)
Distribution Prediction of Soil Heavy Metals Based on Remote Sensing Temporal-Spatial-Spectral Features and Random Forest Model .....	WANG Ze-qiang, ZHANG Dong-you, XU Xi-bo, <i>et al.</i> (1713)
Characteristics and Identification Priority Source of Heavy Metals Pollution in Farmland Soils in the Yellow River Basin .....	LI Jun, LI Xu, LI Kai-ming, <i>et al.</i> (1724)
Characteristics of Cd Flux in Topsoil Around Typical Mining Area in Hezhou, Guangxi .....	YANG Ye-yu, LI Cheng, YANG Zhong-fang, <i>et al.</i> (1739)
Potential Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Fengdong New District Based on Information Diffusion Model .....	YANG Nan-nan, HAN Ling, LIU Ming (1749)
Traceability Analysis and Environmental Quality Assessment of Soil Heavy Metal Pollution in West Hunan Province .....	XIAO Kai-qi, XU Hong-gen, GAN Jie, <i>et al.</i> (1760)
Distribution Characteristics, Source Analysis and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Typical Industry Reclaimed Soil .....	SHEN Cheng, WANG Wen-juan, SHA Chen-yan, <i>et al.</i> (1769)
Provincial-scale Soil As Migration and Transformation and Rice Safe Planting Zoning: A Case Study of Guizhou Province .....	DONG Xin-yue, WU Yong, ZHOU Zi-han, <i>et al.</i> (1781)
Effect of Silica Fertilizer (Husk Ash) to Improve Soil Quality and Reduce Cd and As Accumulation in Rice .....	YI Xuan-tao, OUYANG Kun, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (1793)
Effect of EDDS Application on Soil Cu/Cd Availability and Uptake/transport by Castor .....	LIU Wen-ying, WU Gang, HU Hong-qing (1803)
Blocking Effects of Foliar Conditioners on Cadmium, Arsenic, and Lead Accumulation in Wheat Grain in Compound-contaminated Farmland .....	XIAO Bing, WANG Qiu-shi, GAO Pei-pei, <i>et al.</i> (1812)
Soil Microbial Community Structure and Functional Diversity Character of Abandoned Farmland in Minqin Oasis .....	LI Chang-le, ZHANG Fu, WANG Li-de, <i>et al.</i> (1821)
Microbial Mechanisms of Removal of Phthalic Acid Esters in Purple Soils Revealed Using Metagenomic Analysis .....	LI Yu-tong, YU Hai, LIU Kun, <i>et al.</i> (1830)
Air Microbial Contamination and Risk of Respiratory Exposure of Workers in Chicken Farms .....	BAI Yu-qiao, SUN Xing-bin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (1840)
Occurrence Characteristics of Microplastics in Multi-environmental Media and <i>Bellamyia aeruginosa</i> of Manao River .....	GAO Ya-kun, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1849)
Biological Effect of Microplastics with Different Functional Groups on the Bacterial Communities and Metabolic Functions of Zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ) Embryos .....	YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, BAO Xu-hui, <i>et al.</i> (1859)