

百方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

- 主办 中国科学院生态环境研究中心
- 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.12
第40卷 第12期

目次(卷终)

研究报告

京津冀秋冬季 PM_{2.5} 污染概况和预报结果评估 朱媛媛,高愈霄,刘冰,王晓彦,朱莉莉,许荣,汪巍,丁俊男,李健军,段小丽(5191)

2016~2017年采暖期华北平原东部 PM_{2.5} 组分特征及来源解析 张逸琴,王杰,高健,徐仲均,车飞,马彤,杨艳,刘素,闫璐璐(5202)

霾不同发展阶段下污染气体和水溶性离子变化特征分析 王振彬,刘安康,卢文,杨晓旻,王红磊,陈魁,夏丽(5213)

上海郊区家庭妇女 PM_{2.5} 重金属组分暴露水平、来源与健康风险 罗燃燃,戴海夏,张蕴晖,乔利平,马英歌,周敏,夏斌,朱清扬,赵迎亚,黄成(5224)

固定污染源可凝结颗粒物测量方法 蒋靖坤,邓建国,王刚,张莹,李妍菁,段雷,郝吉明(5234)

家具企业挥发性有机物排放特征及其环境影响 张嘉妮,曾春玲,刘锐源,姚懿娟,柯云婷,范丽雅,叶代启(5240)

抗生素企业 VOCs 排放清单及影响范围模拟 竹涛,吕怡蓉,边文璟,牛文凤,袁前程,段二红,于洋,林军(5250)

新乡市机动车排放对道路灰尘中重金属与多环芳烃污染的影响 李琦路,吴锦涛,张颖,孙玉静,乔泓钦,张子伟,裴梦园,张孟琼,任明浩(5258)

成都市道路积尘中全氟化合物的污染特征及暴露风险评估 方淑红,朱和祥,叶芝祥,印红玲,孙静(5265)

祁连山北坡中段降水稳定同位素特征及水汽来源分析 张百娟,李宗省,王昱,李永格,吕越敏,袁瑞丰,桂娟(5272)

长江南京段水源水中抗生素的赋存特征与风险评估 封梦娟,张芹,宋宁慧,卜元卿,杨正标,刘艳华,郭瑞昕,陈建秋,张圣虎(5286)

夏秋季混凝剂对复合锰氧化膜去除地表水中氨氮和锰的影响 程丽杰,黄廷林,程亚,张莎莎,阮昭意,卢磊(5294)

浙江省 H 市供水系统消毒副产物及其健康风险评价 刘俊萍,于建全,李青松,马晓雁,杨玉龙,贾佳(5302)

三峡库区城镇化背景下河流 DOM 的吸收及荧光光谱特征 陈昭宇,李思悦(5309)

川西高原河流水体 CDOM 的光化学降解特性 刘堰杨,孙辉,刘琛,王小沁(5318)

三峡库区典型紫色土小流域径流及氮磷流失特征 曹瑞霞,刘京,邓开开,先宇,王伟,方芳,欧阳文娟,郭劲松(5330)

九龙江流域河流磷输出对土地利用模式及水文状况的响应 黄亚玲,唐莉,黄金良,肖才荣(5340)

不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响 方娜,刘玲玲,游清徽,田娜,吴燕平,阳文静(5348)

太湖草藻型湖区磷赋存特征及其环境意义 耿雪,文帅龙,孙培荣,徐楚天,李大鹏,黄勇(5358)

太湖竺山湾沉积物碳氮磷分布特征与污染评价 方家琪,祁闯,张新厚,韩睿明,黄和笑,王卓森,王国祥(5367)

降雨强度对洱海流域凤羽河氮磷排放的影响 李晓虹,雷秋良,周脚根,张亦涛,李影,胡万里,武淑霞,翟丽梅,王洪媛,刘宏斌(5375)

外源 Ca²⁺ 和 K⁺ 作用下河口区碱蓬水质净化效果和耐盐碱提高机制 吴丹,孙萍,陈广琳,陈友媛,彭昌盛(5384)

泽泻(*Alisma orientale*) 对全氟化合物的吸收和传输特征-浓度的影响 王团团,李贝贝,王赛,华佩,陈军,应光国(5394)

复合人工湿地中反硝化除磷作用的发生及其稳定性 刘冰,郑煜铭,李清飞,赵承美,魏巍,张凯(5401)

铅、镉和铜改性沸石添加控制底泥磷释放的对比 刘婷,赵钰颖,林建伟,詹艳慧,秦琴(5411)

生物炭结构性质对氨氮的吸附特性影响 陈梅,王芳,张德俐,易维明(5421)

溶解氧对悬浮与附着生长系统短程硝化反应的影响机制 王嗣禹,刘灵婕,王芬,季民(5430)

间歇恒定/梯度曝气对 SNAD 工艺启动的影响 李冬,刘志成,徐贵达,李帅,张杰(5438)

共基质模式下铁盐脱氮反应器的运行性能及微生物学特征 王茹,刘梦瑜,刘冰茵,赵治国,袁林江(5446)

阶梯曝气对城市污水好氧颗粒污泥系统的影响 李冬,魏子清,劳会妹,李帅,张杰(5456)

酵母菌降解胞外聚合物提升剩余活性污泥的脱水性能 俞心怡,向金豪,刘英,龚天翼,张彬辉,吕文洲(5465)

基于 GEE 的 1998~2018 年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响 娄佩卿,付波霖,林星辰,闭璐,马瑞雪,唐廷元(5473)

基于 MDS 与 TOPSIS 模型的滨海滩涂围垦区土壤质量评价 解雪峰,濮励杰,朱明,吴涛,许艳(5484)

淹水增加对闽江河口淡水潮汐湿地孔隙水地球化学特征及 CO₂ 和 CH₄ 排放通量的影响 李敬,黄佳芳,罗敏,刘育秀,谭季,朱爱菊,王声钰,仝川(5493)

养殖塘 CH₄ 排放特征及其影响因素 王娇,肖薇,张秀芳,张弥,张文庆,刘强,陈争,董保华,李旭辉(5503)

施肥对高粱地土壤呼吸及其温度敏感性的影响 严俊霞,张媛,焦晓燕(5515)

高硒高镉区土地安全区划方法 王锐,侯宛苓,李雨潼,余涛,陈娟(5524)

不同配比复合材料对农田镉污染土壤的修复效果 陈树兰,许晨阳,耿增超,王强,祝乐,龚园,拓卫卫(5531)

水铝钙石对不同镉污染农田重金属的钝化效果及机制 吴秋梅,刘刚,王慧峰,胡文友,黄标(5540)

狮子山矿区不同土地利用类型对土壤微生物群落多样性的影响 黄健,朱旭炎,陆金,孙雨,赵兴青(5550)

林地转型耕地对东北丘陵区白浆土 *cbbL* 细菌群落丰度和结构的影响 王蕊,吴宪,李刚,修伟明,王丽丽,张贵龙(5561)

粤港澳大湾区场地污染特征、治理修复与环境管理研究专辑

粤港澳大湾区污染场地土壤风险管控制度体系建设与思考 常春英,董敏刚,邓一荣,肖荣波,刘丽丽(5570)

粤港澳大湾区土壤污染问题计量及可视化分析 张宁,张盛,杨海超,张建通(5581)

城市生活垃圾填埋场的物质存量特征及其环境影响:以粤港澳大湾区为例 马仕君,周传斌,杨光,赵志岚,刘懿颀(5593)

粤港澳大湾区丘陵区地带某电镀场地重金属污染特征与迁移规律分析 侯文隽,龚星,詹泽波,刘锋,黄子航,杨立宏,林晓琛(5604)

粤港澳大湾区典型化工场地苯系物污染特征及迁移规律 邓一荣,陆海建,董敏刚,程洲,庄长伟,肖荣波,钟音,彭平安(5615)

针铁矿-富里酸复合材料对铅镉污染土壤的钝化修复性能 刘千钧,李想,周阳媚,唐杰鹏,林亲铁,姚琨(5623)

广东大宝山矿区土壤植物体系重金属迁移过程及风险评价 陈洁宜,刘广波,崔金立,肖唐付(5629)

Hydrus-1D 模型在推导基于保护地下水的土壤风险控制值中的应用 林挺,罗飞,朱艳,杨坤,郝秀平(5640)

《环境科学》第 40 卷(2019 年)总目录 (5649)

《环境科学》征订启事(5233) 《环境科学》征稿简则(5285) 信息(5357, 5420, 5429)

不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响

方娜^{1,2,3}, 刘玲玲^{1,2,3}, 游清徽⁴, 田娜⁵, 吴燕平^{1,2,3}, 阳文静^{1,2,3*}

(1. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022; 2. 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022; 3. 江西师范大学江西省鄱阳湖综合治理与资源开发重点实验室, 南昌 330022; 4. 江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022; 5. 江西财经大学生态经济研究院, 南昌 330032)

摘要: 基于鄱阳湖湿地 30 个采样点的实测水质数据, 分析鄱阳湖湿地水质的现状及其与周边不同尺度土地利用方式的相关性。结果表明, 鄱阳湖湿地水质介于Ⅲ类至Ⅴ类之间, 平均处于Ⅳ类的状态。湿地水体主要污染物是总氮(TN)和总磷(TP), 叶绿素 a(Chl-a) 质量浓度和高锰酸盐指数值相对较低。不同尺度的土地利用方式与水质参数之间均存在显著的关联性, 500 m 缓冲区内的土地利用方式对高锰酸盐指数空间分异的解释度最大, 而 1 km 缓冲区对 Chl-a、TN、TP 及总体水质空间分异的解释度最大。缓冲区尺度的土地利用方式对水质的解释度要高于小流域尺度。居民用地与所有水质参数呈显著正相关, 耕地与 TN、TP 呈显著正相关。200 m 缓冲区内的河流与 TN、TP 呈显著正相关, 表明河流入湖口附近采样点的氮磷质量浓度较高, 河流输入可能是鄱阳湖氮磷的重要来源。湖泊与 Chl-a、TN 和 TP 之间呈显著负相关, 表明相对于鄱阳湖的主湖区, 周边湿地起着污染物“源”的作用。该研究表明, 控制小尺度(≤1 km)的土地利用格局、特别是居民用地和耕地的面积占比及河流污染物输入对于鄱阳湖的水质保护十分重要。

关键词: 水质; 土地利用; 空间尺度; 鄱阳湖湿地; 多元线性回归

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)12-5348-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.201903267

Effects of Land Use Types at Different Spatial Scales on Water Quality in Poyang Lake Wetland

FANG Na^{1,2,3}, LIU Ling-ling^{1,2,3}, YOU Qing-hui⁴, TIAN Na⁵, WU Yan-ping^{1,2,3}, YANG Wen-jing^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. College of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Poyang Lake Comprehensive Management and Resources Exploitation, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 4. College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 5. Institute of Ecological Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032, China)

Abstract: Water is a crucial environmental element that affects various ecological processes in wetlands. Poyang Lake is the largest freshwater lake in China, where seasonal variation in water level generates a unique landscape of wetland in the dry season—a critical habitat for Siberian migratory birds. Nevertheless, the water quality of the Poyang Lake wetland has not been systematically and rigorously studied. In this study, we analyzed the spatial pattern of water quality in the Poyang Lake wetland based on four key physicochemical parameters [i. e. chlorophyll-a (Chl-a), chemical oxygen demand using permanganate index, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP)] at 30 randomly selected sample sites. We also investigated the relationships between water quality parameters and land use types at different spatial scales. We found that water quality at the sample sites varied from level III (fair) to level V (very poor), with an average of level IV (poor). TN and TP were the main pollutants in the water of Poyang Lake wetland, while Chl-a content and permanganate index were comparatively low. There were significant correlations between water quality parameters and land use types at different spatial scales. Land use types within a 500 m buffer zone had the strongest explanatory power on the spatial variation of permanganate index, while those within a 1 km buffer zone had the strongest relationships with Chl-a, TN, TP, and the overall water quality. Land use types in buffer zones exhibited stronger explanatory power than those at watershed scales. Built-up land was positively correlated with all water quality parameters, while farmland had positive relationships with TN and TP. Rivers within a 200 m buffer zone were positively correlated with TN and TP, indicating that the river input might be an important source of nitrogen and phosphorus in Poyang Lake. The percentage of lake area had negative relationships with Chl-a, TN, and TP, suggesting that wetland was a source of pollutants compared with the main region of Poyang Lake. Our study shows that controlling the land use patterns within small spatial scales (≤1 km), especially minimizing the area of built-up land and farmland, is important for the protection of water resources in the Poyang Lake wetland.

Key words: water quality; land use; spatial scale; Poyang Lake wetland; multiple linear regressions

收稿日期: 2019-03-29; 修订日期: 2019-07-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41561097); 江西省教育厅科学研究项目(GJJ170199, GJJ150334); 江西省自然科学基金项目(20142BAB213023); 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室开放基金项目(PK2017004, PK2019004)

作者简介: 方娜(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为人类活动与生态环境, E-mail: fangna1610@163.com

* 通信作者, E-mail: yangwenjing@jxnu.edu.cn

湿地是介于陆地与水生生态系统之间的过渡地带,具有涵养水源、调节径流、降解污染及保护生物多样性等重要功能,是最重要的生态系统之一,被誉为“地球之肾”^[1,2]。湿地水环境是湿地核心环境要素之一,对湿地的形成和演化起到了主导作用^[3],是湿地生物重要的栖息环境。随着人类活动对湿地的干扰增强,围垦利用、污水排放等人类活动使湿地水质不断下降,导致湿地环境的恶化、生物多样性降低、湿地生态服务功能减弱甚至丧失等问题^[4,5]。

大量研究结果表明,人为因素驱动的土地利用方式能够通过各种复杂的途径对地表水质造成直接影响,是影响湿地水质的重要因素^[6-9],分析土地利用方式对水环境的影响已成为近年来国内外水生态系统研究和管理的关注热点^[10-14]。然而,由于不同研究区域内的土地利用格局及其他环境因素(如地形、气候和土壤质地等)存在差异,土地利用方式与水质之间关系的研究往往存在不同的结论^[15-17]。此外,哪个尺度的土地利用格局对于水质的影响最大一直存在争议^[18,19]。例如,王鹏等^[19]认为流域尺度的土地利用方式对水质的影响大于缓冲区,而 Johnson 等^[20]发现缓冲区的土地利用面积比例与河流水质的关联更为显著。

鄱阳湖是典型的浅水型湖泊,在平水期、枯水期洲滩大片裸露,形成大面积的湿地,以其独特的生境与复杂的气候、水文条件形成了鄱阳湖极具特色的湿地生态系统^[21,22]。近年来,受周边居民生活、养殖业及流域内工农业排污等人类活动的影响,鄱阳湖水质不断下降^[23,24]。目前有关鄱阳湖水质状况的研究主要集中在主湖区^[25,26],而对鄱阳湖周边湿地水质状况的研究还较少。本研究聚焦于鄱阳湖丰水期被水淹没、枯水期裸露的湿地洲滩,该区域是鄱阳湖动植物资源最丰富的区域,特别是越冬候鸟的重要栖息地及许多鱼类的产卵场所,湿地水质直接影响着生物的生境质量^[27]。本研究通过大范围的野外采样,分析鄱阳湖湿地水质的空间异质性及其与不同尺度土地利用方式的关联性,以期对鄱阳湖湿地水环境管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖位于我国江西省北部,长江中下游南岸,是中国第一大淡水湖,拥有两个国家级自然保护区,其承接赣、抚、信、饶、修五大河流的来水,汇入长江。鄱阳湖是具有过水性、季节性的浅水型湖泊,属亚热带湿润性季风型气候,光照充足,年均气温

18℃左右,无霜期长。鄱阳湖流域降水丰沛,年降水量为1 350~1 900 mm^[24],但季节分布不均,降水主要集中在春夏两季。春夏两季为鄱阳湖的丰水期,4~8月受降雨及长江来水影响,水位逐渐上升,7~8月达到最高,直至8月下旬水位开始下降;秋冬两季为枯水期,10月下旬至次年3月水位最低^[28]。丰、枯季节的水面面积、蓄水容积悬殊极大,形成“高水是湖、低水似河”的独特湿地景观^[29]。鄱阳湖北部和东北部地形多为丘陵山地,西部及南部多为河口三角洲平原,历史上鄱阳湖河口三角洲地区的围垦活动频繁,使得河口三角洲耕地广布,人类活动频繁^[30]。鄱阳湖周边主要的土地利用类型是耕地,近年来居民用地面积增加最多^[31]。

1.2 数据采集与处理

本研究在鄱阳湖随机选取了30个典型湿地进行采样(图1),于2016年9月下旬至10月上旬(即丰、枯水期的过渡时期)完成水样采集工作。丰水期时,鄱阳湖周边湿地水体与主湖区连成一片,而枯水期时湿地以草洲为主,水域面积较小或无水域。9~10月既有利于采样活动的顺利开展,又能较好地反映湿地本身的水质特征。该段时间也是鄱阳湖湿地生物生长旺盛的季节,水质对很多生物(如沉水植物、底栖动物)的生长有重要影响。水样采集过程中,如遇降雨则在雨停2~3 d后进行采样,以减少土地利用方式对湿地水质影响的滞后效应。每个样点采集3份250 mL的水样,用冷藏保温箱保存后带回实验室,进行叶绿素a(Chl-a)、高锰酸盐指数、总磷(TP)和总氮(TN)等水质参数的测定。Chl-a采用丙酮萃取法测定,参考文献[32]。高锰酸盐指数采用碱性高锰酸钾法测定,高锰酸钾氧化水中有机物以及还原性物质,计算求出水样所消耗高锰酸钾的量来测定化学需氧量。TP质量浓度测定选用钼酸铵分光光度法(GB 11893-1989),TN质量浓度测定选用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-1989)。

基于30 m精度的DEM数据,利用ArcGIS 10.2软件的水文分析模块划分采样点对应的子流域。以往的研究表明,200 m~10 km缓冲区内的土地利用方式对河流、湖泊水质有显著影响^[19,33,34]。为了研究不同缓冲区尺度的土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响,以各个采样点为中心分别做半径为200 m、500 m、1 km、2 km、5 km和10 km的缓冲区。土地利用数据由2014年Landsat卫星数据经ERDAS软件目视解译获得,将土地利用类型分为耕地、河流、湖泊、湿地、水库坑塘、居民用地、林地、草地及未利用土地等共9类,提取子流域和缓

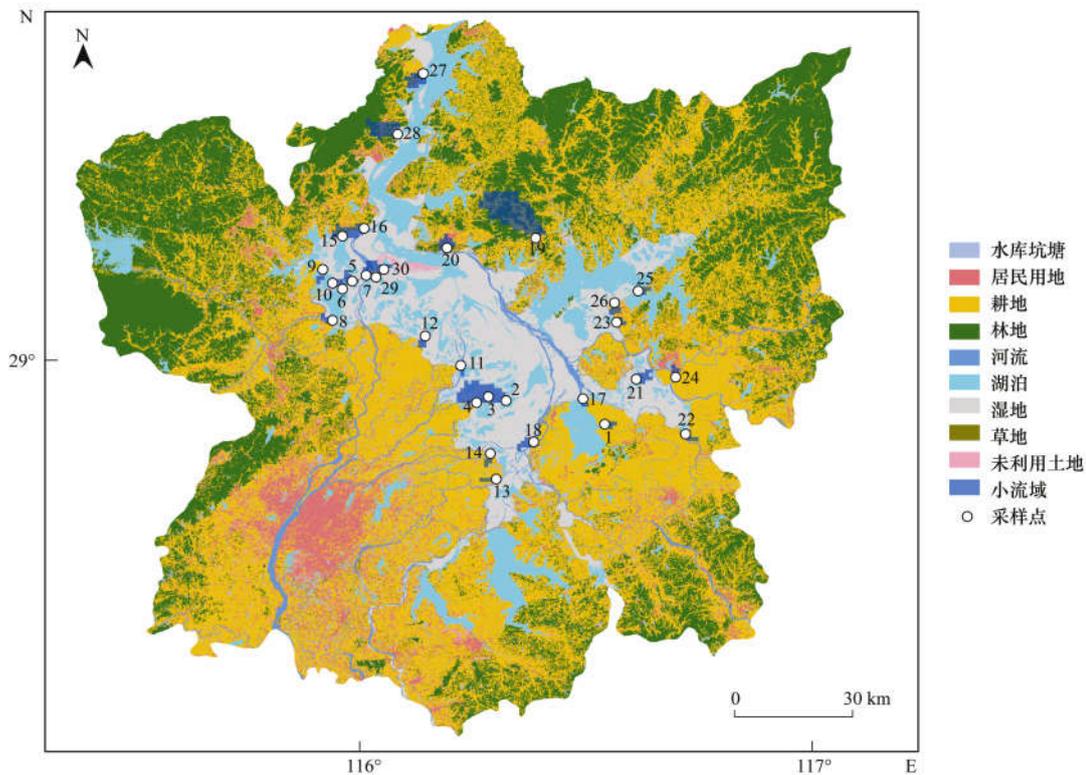


图1 鄱阳湖区土地利用状况、采样点的空间分布及其小流域

Fig. 1 Land use pattern of Poyang Lake area, locations, and watersheds of sample sites

冲区内各土地利用类型面积,计算各土地利用类型面积所占的百分比。

1.3 数据分析

首先,采用 K-S 检验对所有变量进行正态分布检验,将不符合正态分布的变量进行转换使其尽量呈正态分布,计算不同尺度下的土地利用类型面积占比与各个水质参数之间的 Pearson 相关系数。其次,以不同尺度下的土地利用类型面积占比作为解释变量,各个水质参数分别作为响应变量构建多元线性回归模型,基于赤池信息量法则 (akaike information criterion, AIC) 筛选出每个水质参数的最简约模型^[35],模型的 adjusted R^2 值代表土地利用方式对水质参数的解释度。此外,还采用冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 方法分析土地利用方式对多个水质参数变异的解释能力,并采用蒙特卡罗方法检验(随机抽样 500 次) RDA 分析结果的显著度。所有数据分析在统计软件 R 中完成。

2 结果与分析

2.1 水质特征

鄱阳湖湿地水体 Chl-a 质量浓度在 $2.20 \sim 28.80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间变化,均值为 $10.94 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (表 1),在空间分布上差异较大[图 2(a)],较大值多出现在人类活动较少的自然保护区内,较小值多位于赣江、饶河等河口位置[图 2(a)]。高锰酸盐指数

波动范围为 $1.83 \sim 5.46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为 $3.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。TN 波动范围为 $0.43 \sim 2.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为 $1.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中 3 个采样点处于 II 类标准,14 个 III 类标准,7 个 IV 类标准,5 个 V 类标准,1 个超过 V 类标准[图 2(c)]。TP 质量浓度在 $0.02 \sim 0.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间波动,平均为 $0.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中 3 个采样点处于 II 类标准,3 个 III 类标准,19 个 IV 类标准,5 个 V 类标准[图 2(d)]。由此可见,鄱阳湖湿地水体主要的污染物为 TN、TP,而有机污染物和 Chl-a 质量浓度不高。基于上述各项水质参数,5 个采样点的综合水质为 III 类,15 个 IV 类,9 个 V 类,1 个超过了 V 类标准,平均为 IV 类水质[图 2(e)]。

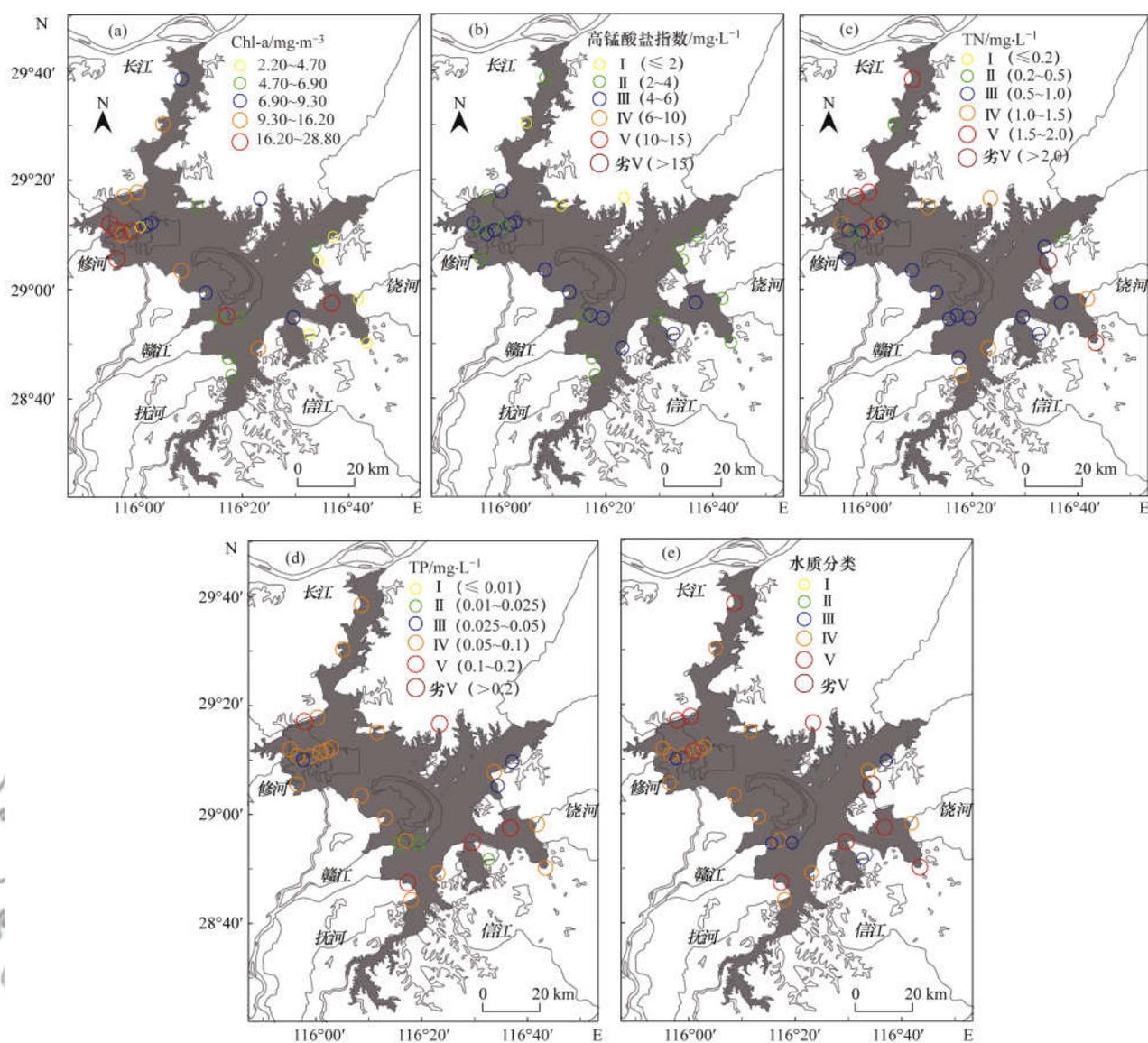
表 1 鄱阳湖湿地水质指标描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of water quality parameters

in Poyang Lake wetland				
参数	最大值	最小值	均值	标准差
Chl-a/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	28.80	2.20	10.94	7.67
高锰酸盐指数/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	5.46	1.83	3.62	1.01
TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.08	0.43	1.04	0.46
TP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.12	0.02	0.08	0.03

2.2 土地利用状况

各采样点 200 m、500 m、1 km、2 km、5 km 和 10 km 缓冲区及子流域内的土地利用类型面积所占比例如图 3 所示。湿地、耕地和湖泊这 3 种土地利用类型的面积占比较大,其他土地利用类型面积占



Chl-a 采用分位数分类法

图2 鄱阳湖湿地水质状况

Fig. 2 Water quality at 30 sample sites in Poyang Lake wetland

比较小. 换言之, 采样点周边以湿地、湖泊和耕地为主. 湖泊、居民用地、林地、坑塘和河流面积占比随空间尺度的增大而增加, 湿地面积占比随空间尺度的增大而减少.

2.3 土地利用与水质的关联性

在缓冲区尺度, Chl-a 与耕地、河流、湖泊、草地呈显著负相关, 而与居民用地呈显著正相关(表2), 其中与 200 m 缓冲区内的湿地相关度最高($r = 0.63$, $P < 0.001$). 高锰酸盐指数与湿地、居民用地呈显著正相关, 而与耕地、林地、草地呈负相关, 其中与 500 m、1 km 缓冲区内的湿地和居民用地相关度较高($r \geq 0.65$, $P < 0.001$), 与 1 ~ 10 km 的林地也有较高的相关度. TN 与 200 m ~ 2 km 缓冲区内的耕地、200 ~ 500 m 缓冲区内的河流、1 ~ 5 km 缓冲区水库坑塘、1 ~ 2 km 缓冲区内居民用地呈正相

关, 而与湖泊、林地、草地呈负相关, 其中与 200 m 缓冲区内的河流相关度最高($r = 0.56$, $P < 0.001$). TP 与 200 m ~ 2 km 缓冲区内的耕地、200 m 缓冲区内的河流、5 ~ 10 km 缓冲区内的水库坑塘、1 ~ 2 km 缓冲区内的居民用地呈显著正相关, 而与 1 km 缓冲区内的湖泊呈负相关. 总体而言, 水质参数与土地利用的相关度在小空间尺度上(200 m ~ 2 km)要高于大空间尺度(5 ~ 10 km).

在小流域尺度, Chl-a 与湿地、居民用地呈显著正相关, 而与湖泊、林地、草地呈显著负相关(表3). 高锰酸盐指数与湿地、居民用地呈显著正相关, 而与河流、林地和草地呈显著负相关. TN 与耕地、河流和居民用地呈显著正相关, 而与湖泊和林地呈显著负相关. TP 与耕地、河流和居民用地呈显著正相关, 与湖泊呈显著负相关.

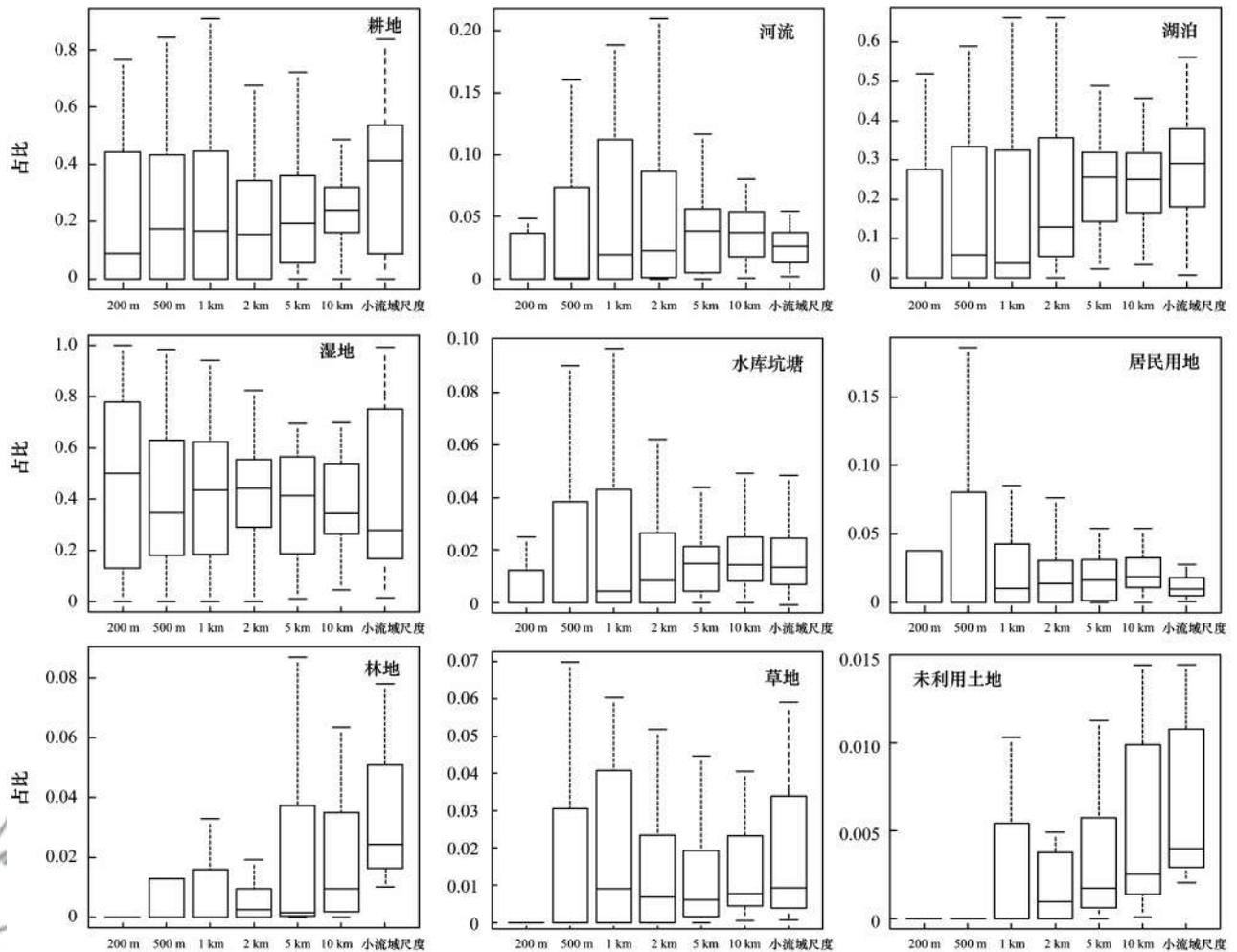


图3 不同尺度下的土地利用类型面积占比

Fig. 3 Percentages of land use types in different spatial scales

多元回归分析显示,土地利用方式对水质参数的解释度随着缓冲区尺度变化呈现出先升高后降低的趋势(图4)。其中,Chl-a、TN 和 TP 的多元回归模型 R^2 值在 1 km 缓冲区内达到最大 (R^2 值分别为 0.48、0.56、0.36, $P < 0.01$),而高锰酸盐指数多元回归模型的 R^2 值在 500 m 缓冲区内达到最大 ($R^2 = 0.62$, $P < 0.001$),大尺度缓冲区内(5 km 和 10 km)的土地利用方式对水质参数空间分异的解释度较弱但依然显著。总体而言,土地利用类型对高锰酸盐指数空间分异的解释度要高于其他参数,而对 TP 质量浓度的解释度最低。小流域尺度 Chl-a、高锰酸盐指数、TN 和 TP 的多元回归模型 R^2 值分别为 0.45、0.55、0.42 和 0.32 ($P < 0.01$),均小于对应水质参数缓冲区尺度最大的 R^2 值(图4)。

RDA 分析结果表明,耕地、居民用地在各个缓冲区尺度与水质均存在显著的相关性,而水库坑塘对水质的作用在各个尺度均不显著(表4)。湿地、草地对水质的作用在小缓冲区尺度(200 m ~ 1 km)更显著,而林地与水质的相关性在较大缓冲区尺度

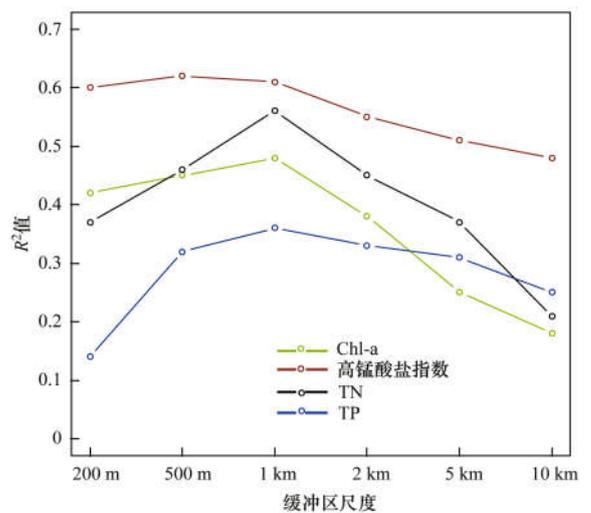


图4 不同缓冲区尺度的土地利用方式多元线性回归模型对水质参数的解释度 (R^2 值)

Fig. 4 The R^2 values of multivariate linear regression models for different water quality parameters using the percentages of land use types in different buffer zones as the explanatory variables

(2 ~ 10 km) 更显著。湖泊与水质在 500 m ~ 5 km 缓冲区尺度存在显著的相关性,而河流与水质的相关

性仅在 200 m 缓冲区尺度显著. 在小流域尺度, 除水库坑塘以外其他所有的土地利用类型与水质都存在显著的相关性. 总体上, 土地利用方式对水质空

间分异的解释度随空间尺度的增加呈先升后降的趋势, 其中 1 km 缓冲区内的土地利用方式对水质的解释度最大.

表 2 缓冲区尺度水质参数与土地利用类型之间的 Pearson 相关系数¹⁾

Table 2 Pearson's correlations between water quality parameters and land use types in different buffer zones

水质参数	缓冲区尺度	土地利用类型							
		耕地	河流	湖泊	湿地	水库坑塘	居民用地	林地	草地
Chl-a	200 m	-0.38 *	0.58 ***		0.63 ***		0.38 *		-0.36 *
	500 m	-0.42 *		-0.54 **	0.57 ***		0.38 *		-0.46 **
	1 km	-0.44 *		-0.54 **	0.42 *		0.41 *		-0.41 *
	2 km	-0.41 *		-0.41 *			0.41 *		
	5 km	-0.39 *							
	10 km								
高锰酸盐指数	200 m		-0.38 *		0.65 ***		0.47 **	-0.49 **	
	500 m	-0.39 *			0.70 ***		0.67 ***	-0.48 **	-0.49 **
	1 km	-0.36 *			0.65 ***		0.68 ***	-0.64 ***	-0.46 **
	2 km				0.62 ***		0.61 ***	-0.72 ***	
	5 km				0.56 ***		0.53 **	-0.66 **	
	10 km				0.59 ***		0.45 *	-0.69 ***	
TN	200 m	0.39 *	0.56 ***						-0.41 *
	500 m	0.42 *	0.47 **	-0.36 *					-0.39 *
	1 km	0.46 **		-0.54 **		0.44 *	0.39 *	-0.36 *	-0.55 **
	2 km	0.40 *		-0.40 *		0.38 *	0.37 *	-0.45 *	-0.54 *
	5 km			-0.50 **		0.37 *		-0.42 *	-0.48 **
	10 km								
TP	200 m	0.38 *	0.42 *						
	500 m	0.41 *							
	1 km	0.44 *		-0.37 *			0.42 *		
	2 km	0.37 *					0.40 *	-0.38 *	
	5 km					0.40 *		-0.42 *	
	10 km					0.41 *		-0.39 *	

1) 只列出了相关性显著的解释变量, * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$, 下同

表 3 小流域尺度水质参数与土地利用类型之间的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson's correlations between water quality parameters and land use types at watershed scales

水质参数	耕地	河流	湖泊	湿地	水库坑塘	居民用地	林地	草地
Chl-a			-0.49 **	0.58 ***		0.46 **	-0.41 *	-0.42 *
高锰酸盐指数		-0.39 *		0.56 ***		0.67 ***	-0.52 **	-0.50 **
TN	0.42 *	0.52 **	-0.46 **			0.37 *	-0.45 *	
TP	0.41 *	0.42 *	-0.38 *			0.39 *		

表 4 基于冗余分析 (RDA) 的多尺度土地利用类型对水质空间分异的解释结果

Table 4 Proportion of variation in all water quality parameters explained by land use types at multiple spatial scales based on redundancy analysis (RDA)

尺度	耕地	河流	湖泊	湿地	水库坑塘	居民用地	林地	草地	所有土地利用类型
200 m	0.23 **	0.34 ***		0.37 ***		0.20 *		0.15 *	0.50 *
500 m	0.24 **		0.30 ***	0.34 ***		0.22 **		0.25 **	0.53 *
1 km	0.30 ***		0.35 ***	0.27 **		0.23 **		0.26 **	0.57 **
2 km	0.25 **		0.22 **	0.14 *		0.21 *	0.22 **	0.11 *	0.45 *
5 km	0.19 *		0.15 *	0.11 *		0.16 *	0.23 **		0.41
10 km	0.17 *					0.14 *	0.20 *		0.33
小流域	0.15 *	0.24 **	0.26 **	0.22 **		0.32 ***	0.27 **	0.13 *	0.54 *

3 讨论

本研究显示, 鄱阳湖湿地水质介于 III 类与 V 类

之间, 大多数采样点的水质处于 IV 类. 以往在鄱阳湖主湖区的研究表明, 鄱阳湖水质介于 II 类与 IV 类之间, 总体处于 III 类的状态^[26]. 相比之下, 洲滩湿

地的水质状况更差,这可能是因为鄱阳湖周边人类活动较频繁,周边湿地受到的干扰和污染要比主湖区更严重. 再者,鄱阳湖是通江湖泊,主湖区水体流速较快^[36],周边湿地水体流动性相对较差,污染物更容易积累. 鄱阳湖湿地水体主要的污染物是氮磷等营养盐(表 1 和图 2),TN 和 TP 的质量浓度已经超过了可能发生水华现象的条件($TN > 0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $TP > 0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[37]. 尽管如此,鄱阳湖却较少发生水华^[38],可能是由于鄱阳湖平均换水周期较短(平均 20.9 d)^[39],水体较浑浊,泥沙含量较高^[25],不利于浮游藻类的生长,因此水体叶绿素质量浓度不高(表 1 和图 2).

TN、TP 与 1 km 缓冲区和流域内的耕地呈显著正相关(表 2 和表 3),与以往的研究结果较一致^[19,40],但与更小或更大缓冲区内的耕地相关性不显著,可能因为小尺度(200 ~ 500 m)缓冲区内的耕地面积占比较小(图 1 和图 2),而大尺度 TN、TP 在输移过程中可能被吸附、吸收或沉积. 本研究中,Chl-a、高锰酸盐指数与耕地呈负相关,与以往研究结果不同^[19,40]. Chl-a 质量浓度不仅受水中营养盐含量的影响,还受其他水环境条件的影响. Chl-a 质量浓度高的采样点多位于鄱阳湖周边的碟形湖内(如采样点 3、9 和 10),水体较静止,有利于浮游藻类的生长;而在主湖道或河口附近(如采样点 22、24 和 25),水体流速较快,不利于藻类的生长. 碟形湖周边以湿地为主,耕地面积较小,主湖道及河口附近耕地、居民用地较多,因此 Chl-a 质量浓度与耕地呈现出负相关,而与湿地呈正相关. 高锰酸盐指数度量的是水中有机污染物的含量,水中有机污染物既可以从外界输入的,也可以是藻类光合作用的产物. 本研究中,高锰酸盐指数与 Chl-a 呈显著正相关($r=0.43$, $P < 0.05$),说明藻类的生长对于高锰酸盐指数值的提高有显著影响.

TN、TP 与 200 m 缓冲区内的河流呈显著正相关(表 2). 200 m 缓冲区内有河流表明采样点位于河流入湖口附近,通过河流输入是鄱阳湖氮磷的重要来源,减少河流携带的污染是鄱阳湖水资源保护的必要措施. 与此相反,Chl-a、高锰酸盐指数与 200 m 缓冲区内的河流呈负相关,可能是由于河流入湖口附近水流速较快,不利于浮游藻类的生长. 湖泊面积占比与 Chl-a、TN、TP 呈显著负相关(表 2),即采样点周边湖面面积越大、与主湖区连通性越好,其 Chl-a、TN、TP 质量浓度越低,表明相对于主湖区,周边湿地起着污染物“源”的作用,这与以往有关鄱阳湖水质的认识较一致^[41]. 水库坑塘与各项水质参数之间的关联性较弱(表 2),可能是由于水

库坑塘与鄱阳湖之间缺乏直接的联系,且其面积占比较小.

居民用地与 Chl-a、高锰酸盐指数、TN 呈正相关(表 2 和表 3),表明居民用地对鄱阳湖水水质有显著的负面影响. 高锰酸盐指数与 500 m ~ 2 km 缓冲区内居民用地的相关度较高($r \geq 0.61$, $P < 0.001$),表明居民生活排污是鄱阳湖水水质有机污染的重要来源. 与此同时,高锰酸盐指数与 200 m ~ 2 km 缓冲区的湿地有较高的相关度(表 2),可能是由于湿地中藻类的生长使水体有机物含量升高. 高锰酸盐指数与各个尺度的林地均成显著的负相关,表明林地能有效地减少鄱阳湖水体的有机物污染^[42,43]. 草地与 Chl-a、高锰酸盐指数、TN 呈显著的负相关,表明草地同样地起到改善水质的作用(表 2 和表 3). 与此相反,于松延等^[44]在北洛河流域发现氮含量与草地呈显著正相关关系,认为是由于流域草地管理不当引起土壤侵蚀所致.

多元回归分析表明土地利用类型对高锰酸盐指数的解释度最高,而对 TP 的解释度最低(图 4). Huang 等^[45]在九龙江流域建立了土地利用类型与水质的回归模型,同样认为模型对高锰酸盐指数的解释度要好于其他水质参数,可能是由于相对于有机污染物,无机污染物(如氮、磷)在输移过程中更容易被土壤颗粒吸收、被植被利用或在微生物作用下发生反应变成气体(如硝化和反硝化作用)或其他不易溶解的物质(如可溶性磷酸盐变成微溶或不溶的磷酸盐). 土地利用与水质参数在各个尺度上都有显著的关联性,对高锰酸盐指数的解释度在 500 m 缓冲区内达到最大,而对 TN、TP 和 Chl-a 的解释度均在 1 km 缓冲区内达到最大(图 4). 洪超等^[46]在江苏北部的灌河流域通过分析不同观测尺度上的土地利用和河流水质发现,化学需氧量(COD)与较小尺度上的土地利用构成相关,而 TN 和 TP 等营养盐质量浓度多与较大尺度上的土地利用构成相关,与本研究结果一致. 该研究结果表明,小尺度($\leq 1 \text{ km}$)的土地利用格局对于鄱阳湖水水质有重要的影响.

RDA 分析表明,1 km 缓冲区内的土地利用方式对总体水质空间变异的解释度最大(表 4),且在不同的空间尺度起主导作用的土地利用类型不同. 例如,在 200 m 缓冲区内,河流和湿地与水质的相关性最大,而在 1 km 缓冲区内,湖泊、耕地与水质的相关性更强. 耕地、居民用地与总体水质在各个尺度均有显著的相关性(表 4),表明控制耕地和居民用地的面积占比有助于保护鄱阳湖水湿地的水质. 有研究认为,流域尺度上的土地利用格局比缓冲区尺度

能更好地解释水质的空间差异^[19,43]。本研究表明,缓冲区内的土地利用方式对水质空间差异的解释度要好于小流域尺度(图4和表4),可能是由于小流域面积相对较大,鄱阳湖周边地势较平缓、微地形复杂且植被丰富,污染物在输移过程中可能通过底泥吸附、微生物作用、植物吸收和沉积作用等方式被有效截留和转化^[40]。

4 结论

(1) 鄱阳湖湿地水质介于Ⅲ类至Ⅴ类之间,平均处于Ⅳ类的状态,主要的污染物是TN和TP,Chl-a质量浓度和高锰酸盐指数值相对较低。

(2) 不同缓冲区尺度的土地利用方式与水质参数之间均存在显著的关联性,其中500 m缓冲区内的土地利用方式对高锰酸盐指数的解释度最大,而1 km缓冲区对Chl-a、TN、TP及总体水质空间分异的解释度最大。缓冲区尺度的土地利用方式对水质的解释度要高于小流域尺度。上述结果表明,小尺度(≤1 km)的土地利用格局对于鄱阳湖湿地水质有重要的影响。

(3) 200 m缓冲区内的河流与TN、TP呈显著正相关,表明河流入湖口附近采样点的氮磷质量浓度较高,河流输入可能是鄱阳湖氮磷的重要来源;湖泊与Chl-a、TN、TP之间呈显著负相关,表明相对于鄱阳湖主湖区,周边湿地起着污染物“源”的作用;居民用地与所有水质参数呈显著正相关,耕地与TN、TP呈显著正相关,且耕地、居民用地与总体水质在各个尺度均有显著的相关性,表明控制居民用地和耕地面积占比有助于鄱阳湖湿地水资源的保护。

参考文献:

- [1] McInnes R J. Recognizing ecosystem services from wetlands of international importance: an example from Sussex, UK [J]. *Wetlands*, 2013, **33**(6): 1001-1017.
- [2] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2002, **21**(2): 111-120.
Yang Y X. Main characteristics, progress and prospect of international wetland science research [J]. *Progress in Geography*, 2002, **21**(2): 111-120.
- [3] 陈宜瑜, 吕宪国. 湿地功能与湿地科学的研究方向[J]. *湿地科学*, 2003, **1**(1): 7-11.
Chen Y Y, Lv X G. The wetland function and research tendency of wetland science[J]. *Wetland Science*, 2003, **1**(1): 7-11.
- [4] 徐丽婷, 阳文静, 游清徽, 等. IBI应用于湿地生态健康评价的研究进展[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2017, **41**(1): 104-110.
Xu L T, Yang W J, You Q H, *et al.* The recent advances in applications of index of biotic integrity on the assessment of wetland ecological health [J]. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science)*, 2017, **41**(1): 104-110.
- [5] 刘红玉, 李兆富. 小三江平原湿地水质空间分异与影响分析[J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(10): 933-937.
Liu H Y, Li Z F. Spatial characteristics of wetland water quality and land use impacts at spring in the small Sanjiang Plain, China [J]. *China Environmental Science*, 2008, **28**(10): 933-937.
- [6] De Mello K, Valente R A, Randhir O T, *et al.* Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone [J]. *CATENA*, 2018, **167**: 130-138.
- [7] You Q H, Fang N, Liu L L, *et al.* Effects of land use, topography, climate and socio-economic factors on geographical variation pattern of inland surface water quality in China [J]. *PLoS One*, 2019, **14**(6): e0217840.
- [8] Mirhosseini M, Farshchi P, Noroozi A A, *et al.* Changing land use a threat to surface water quality: a vulnerability assessment approach in Zanjanroud Watershed, Central Iran [J]. *Water Resources*, 2018, **45**(2): 268-279.
- [9] Nöges T. Relationships between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **633**(1): 33-43.
- [10] Liu W Z, Li S Y, Bu H M, *et al.* Eutrophication in the Yunnan plateau lakes: the influence of lake morphology, watershed land use, and socioeconomic factors [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(3): 858-870.
- [11] Yu X B, Hawley-Howard J, Pitt A L, *et al.* Water quality of small seasonal wetlands in the Piedmont ecoregion, South Carolina, USA: effects of land use and hydrological connectivity [J]. *Water Research*, 2015, **73**: 98-108.
- [12] 蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 等. 南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究[J]. *环境科学*, 2014, **35**(8): 2920-2927.
Cai C X, Liu H Y, Li Y F, *et al.* Research on the influence of urban land use structure and pattern on nitrogen, phosphorus of wetland water environment in Xianlin New Town of Nanjing [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(8): 2920-2927.
- [13] 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, Ayinigeer · Yalikun, *et al.* Relationship between landscape pattern and water quality in the Ebinur Lake Region [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1568-1577.
- [14] 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响[J]. *环境科学*, 2014, **35**(3): 1091-1097.
Han L Y, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Effects of land use and landscape pattern on nitrogen and phosphorus exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(3): 1091-1097.
- [15] Ahearn D S, Sheibley R W, Dahlgren R A, *et al.* Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California [J]. *Journal of Hydrology*, 2005, **313**(3-4): 234-247.
- [16] 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.
- [17] 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*, 2010, **221**(4): 693-702.
- [18] Tu J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression [J]. *Applied Geography*, 2011, **31**(1):

- 376-392.
- [19] 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.
- [20] Johnson L, Richards C, Host G, *et al.* Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1997, **37**(1): 193-208.
- [21] Han X X, Chen X L, Feng L. Four decades of winter wetland changes in Poyang Lake based on landsat observations between 1973 and 2013 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, **156**: 426-437.
- [22] Yang W J, You Q H, Fang N, *et al.* Assessment of wetland health status of Poyang Lake using vegetation-based indices of biotic integrity[J]. *Ecological Indicators*, 2018, **90**: 79-89.
- [23] 夏少霞, 于秀波, 刘宇, 等. 鄱阳湖湿地现状问题与未来趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2016, **25**(7): 1103-1111.
Xia S X, Yu X B, Liu Y, *et al.* Current issues and future trends of Poyang Lake wetland[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, **25**(7): 1103-1111.
- [24] 徐丽婷, 阳文静, 吴燕平, 等. 基于植被完整性指数的鄱阳湖湿地生态健康评价[J]. 生态学报, 2017, **37**(15): 5102-5110.
Xu L T, Yang W J, Wu Y P, *et al.* Assessing the ecological health of Poyang Lake wetland using a vegetation-based index of biotic integrity (V-IBI) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(15): 5102-5110.
- [25] 陈晓玲, 张媛, 张琨, 等. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征[J]. 湖泊科学, 2013, **25**(5): 643-648.
Chen X L, Zhang Y, Zhang L, *et al.* Distribution characteristic of nitrogen and phosphorus in Lake Poyang during high water period[J]. *Journal of Lake Science*, 2013, **25**(5): 643-648.
- [26] 王圣瑞, 舒俭民, 倪兆奎, 等. 鄱阳湖水污染现状调查及防治对策[J]. 环境工程技术学报, 2013, **3**(4): 342-349.
Wang S R, Shu J M, Ni Z K, *et al.* Investigation on pollution situation and countermeasures in Poyang Lake [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2013, **3**(4): 342-349.
- [27] 齐述华, 张起明, 江丰, 等. 水位对鄱阳湖湿地越冬候鸟生境景观格局的影响研究[J]. 自然资源学报, 2014, **29**(8): 1345-1355.
Qi S H, Zhang Q M, Jiang F, *et al.* Study on the effects on the landscape spatial pattern of the wintering birds' habitat from lake level in Poyang Lake wetland[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, **29**(8): 1345-1355.
- [28] 淦峰, 唐琳, 郭怀成, 等. 湖泊生态水位计算新方法与应用[J]. 湖泊科学, 2015, **27**(5): 783-790.
Gan F, Tang L, Guo H C, *et al.* New method and application of estimating ecological water level of the Lake Poyang[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, **27**(5): 783-790.
- [29] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(6): 597-605.
Hu Z P, Ge G, Liu C L, *et al.* Structure of Poyang Lake wetland plants ecosystem and influence of lake water level for the structure [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(6): 597-605.
- [30] 王晓鸿. 鄱阳湖湿地生态系统评估[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [31] 刘木生, 鄢帮有, 方豫, 等. 基于GIS的鄱阳湖流域土地利用动态变化研究[J]. 江西科学, 2018, **36**(1): 60-65, 78.
Liu M S, Yan B Y, Fang Y, *et al.* GIS-based dynamic evaluation of land use in Poyang Lake watershed [J]. *Jiangxi Science*, 2018, **36**(1): 60-65, 78.
- [32] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [33] 项颂, 庞燕, 窦嘉顺, 等. 不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响[J]. 生态学报, 2018, **38**(3): 876-885.
Xiang S, Pang Y, Dou J S, *et al.* Impact of land use on the water quality of inflow river to Erhai Lake at different temporal and spatial scales [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(3): 876-885.
- [34] 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.
- [35] Johnson J B, Omland K S. Model selection in ecology and evolution[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2004, **19**(2): 101-108.
- [36] 张琨, 陈晓玲, 张媛, 等. 水文地貌分区下鄱阳湖丰水期水质空间差异及影响机制[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(10): 2637-2645.
Zhang L, Chen X L, Zhang Y, *et al.* Spatial distribution of water quality and its impacting factor in the wet season of Poyang Lake using the hydro-geomorphological partitions [J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(10): 2637-2645.
- [37] 黄玉瑶. 内陆水体污染生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 37.
- [38] 王艺兵, 侯泽英, 叶碧碧, 等. 鄱阳湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(5): 1310-1317.
Wang Y B, Hou Z Y, Ye B B, *et al.* The characteristics of spatial and temporal variations of phytoplankton in Poyang Lake and their influencing factors[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(5): 1310-1317.
- [39] 顾平, 王金保. 鄱阳湖水文特征及其对水质的影响研究[J]. 环境污染与防治, 2011, **33**(3): 15-19.
Gu P, Wan J B. Hydrology character of Poyang Lake and its influence on water quality [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2011, **33**(3): 15-19.
- [40] 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.
Ou Y, Wang X Y, Geng R Z. The influences of different landscape characteristics on water quality in the upper watershed of Miyun Reservoir[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(5): 1219-1226.
- [41] 胡春华, 张培, 曾思苗, 等. 鄱阳湖不同形态氮的时空分布特征[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2012, **36**(2): 213-217.
Hu C H, Zhang P, Zeng S M, *et al.* The temporal and spatial distribution characteristics of different species nitrogen in Poyang Lake [J]. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science)*, 2012, **36**(2): 213-217.
- [42] Nielsen A, Trolle D, Søndergaard M, *et al.* Watershed land use effects on lake water quality in Denmark [J]. *Ecological Applications*, 2012, **22**(4): 1187-1200.
- [43] Sliva 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.
- [44] 于松延, 徐宗学, 武玮, 等. 北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(5): 1309-1315.
- Yu S Y, Xu Z X, Wu W, *et al.* Spatial variation of water quality and its response to landuse in the Beiluo River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(5): 1309-1315.
- [45] Huang J L, Li Q S, Pontius Jr 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.
- [46] 洪超, 刘茂松, 徐驰, 等. 河流干支流水质与土地利用的相关关系[J]. *生态学报*, 2014, **34**(24): 7271-7279.
- Hong C, Liu M S, Xu C, *et al.* Comparative analysis of correlation between water quality and land use pattern of different river hierarchies [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(24): 7271-7279.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2019年11月19日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2018年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示《环境科学》2018年度总被引频次11 644,影响因子2.130,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.



CONTENTS

Concentration Characteristics and Assessment of Model-Predicted Results of PM _{2.5} in the Beijing-Tianjin-Hebei Region in Autumn and Winter	ZHU Yuan-yuan, GAO Yu-xiao, LIU Bing, <i>et al.</i> (5191)
Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} During the Heating Period of 2016-2017 in the Eastern Part of the North China Plain	ZHANG Yi-qin, WANG Jie, GAO Jian, <i>et al.</i> (5202)
Change in Characteristics of Pollution Gas and Water-soluble Ions at Different Development Stages of Haze	WANG Zhen-bin, LIU An-kang, LU Wen, <i>et al.</i> (5213)
Exposure Levels, Sources, and Health Risks of Heavy Metal Components of PM _{2.5} in Housewives in Rural Shanghai	LUO Ran-ran, DAI Hai-xia, ZHANG Yun-hui, <i>et al.</i> (5224)
Measuring the Condensable Particle Matter from a Stationary Source	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, WANG Gang, <i>et al.</i> (5234)
Volatile Organic Compound Emission Characteristics of Furniture Manufacturing Enterprises and the Influence on the Atmospheric Environment	ZHANG Jia-mi, ZENG Chun-ling, LIU Rui-yuan, <i>et al.</i> (5240)
VOCs Emission Inventory and Impact Range Simulation of Antibiotic Enterprises	ZHU Tao, LÜ Yi-rong, BIAN Wen-jing, <i>et al.</i> (5250)
Effects of Vehicle Emissions on Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Pollution in Road Dust in Xinxiang	LI Qi-lu, WU Jin-tao, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (5258)
Pollution Characteristics and Exposure Risk Assessment of Perfluoroalkyl Substances in Road Dust, Chengde	FANG Shu-hong, ZHU He-xiang, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (5265)
Characteristics of Stable Isotopes and Analysis of Water Vapor Sources of Precipitation at the Northern Slope of the Qilian Mountains	ZHANG Bai-juan, LI Zong-xing, WANG Yu, <i>et al.</i> (5272)
Occurrence Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics in Source Water of the Nanjing Reach of the Yangtze River	FENG Meng-juan, ZHANG Qin, SONG Ning-hui, <i>et al.</i> (5286)
Effects of Different Coagulants on Co-manganese Oxides Filter Media for Removing Ammonium and Manganese from Surface Water in Summer and Autumn	CHENG Li-jie, HUNAG Ting-lin, CHENG Ya, <i>et al.</i> (5294)
Disinfection By-products and the Relevant Health Risk in the Water Supply System in H City of Zhejiang Province	LIU Jun-ping, YU Jian-quan, LI Qing-song, <i>et al.</i> (5302)
Absorption and Fluorescence Spectra of Dissolved Organic Matter in Rivers of the Three Gorges Reservoir Area Under the Background of Urbanization	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue (5309)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Natural Rivers of Western Sichuan Plateau	LIU Yan-yang, SUN Hui, LIU Chen, <i>et al.</i> (5318)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Losses and Runoff in a Typical Purple Soil Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CAO Rui-xia, LIU Jing, DENG Kai-kai, <i>et al.</i> (5330)
Responses of Riverine Phosphorus Exports to Land Use and Hydrological Regime in the Jiulong River Watershed	HUANG Ya-ling, TANG Li, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (5340)
Effects of Land Use Types at Different Spatial Scales on Water Quality in Poyang Lake Wetland	FANG Na, LIU Ling-ling, YOU Qing-hui, <i>et al.</i> (5348)
Environmental Significance of Phosphorus Fractions of Phytoplankton-and Macrophyte-Dominated Zones in Taihu Lake	GENG Xue, WEN Shuai-long, SUN Pei-rong, <i>et al.</i> (5358)
Spatial Distribution and Pollution Evaluation of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Sediments of Zhushan Bay at Taihu Lake	FANG Jia-qi, QI Chuang, ZHANG Xin-hou, <i>et al.</i> (5367)
Effect of Rainfall Intensity on the Content of Nitrogen and Phosphorus Components in Plateau Areas: A Case Study of the Fengyu River Watershed	LI Xiao-hong, LEI Qiu-liang, ZHOU Jiao-gen, <i>et al.</i> (5375)
Water Purification Effect and Saline-alkali Tolerance Improvement Mechanism of <i>Suaeda salsa</i> in the Estuary Area	WU Dan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i> (5384)
Concentration-dependent Accumulation and Translocation of PFASs by Wetland Plant <i>Alisma orientale</i>	WANG Tuan-tuan, LI Bei-bei, WANG Sai, <i>et al.</i> (5394)
Occurrence of Denitrifying Dephosphatation in a Hybrid Constructed Wetland System and Its Stability	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, LI Qing-fei, <i>et al.</i> (5401)
Comparison of the Control of Sedimentary Phosphorus Release Using Zirconium-, Lanthanum-, and Lanthanum/Zirconium-Modified Zeolites as Sediment Amendments	LIU Ting, ZHAO Yu-ying, LIN Jian-wei, <i>et al.</i> (5411)
Effect of Biochar Structure on Adsorption Characteristics of Ammonia Nitrogen	CHEN Mei, WANG Fang, ZHANG De-li, <i>et al.</i> (5421)
Effect of Dissolved Oxygen on Partial Nitrification of Suspended and Attached Growth Systems	WANG Si-yu, LIU Ling-jie, WANG Fen, <i>et al.</i> (5430)
Effects of Different Intermittent Aeration Strategies on the Start-up of SNAD Process	LI Dong, LIU Zhi-cheng, XU Gui-da, <i>et al.</i> (5438)
Operational Performance and Microbiological Characteristics of an Iron-Salt Denitrification Reactor in Co-substrate Mode	WANG Ru, LIU Meng-yu, LIU Bing-yin, <i>et al.</i> (5446)
Effect of Step Aeration on a Municipal Sewage Aerobic Granular Sludge System	LI Dong, WEI Zi-qing, LAO Hui-mei, <i>et al.</i> (5456)
Improvement of the Dewaterability of Excess Activated Sludge with Mixed Yeasts by Degrading Extracellular Polymeric Substances	YU Xin-yi, XIANG Jin-hao, LIU Ying, <i>et al.</i> (5465)
Influence of Land Use Change on Ecosystem Service Value Based on GEE in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 1998 to 2018	LOU Pei-qing, FU Bo-lin, LIN Xing-chen, <i>et al.</i> (5473)
Assessment of Soil Quality in Coastal Tidal Flat Reclamation Areas Based on MDS-TOPSIS Model	XIE Xue-feng, PU Li-jie, ZHU Ming, <i>et al.</i> (5484)
Effect of Increasing Tidewater Inundation on Porewater Geochemistries and CO ₂ and CH ₄ Effluxes in the Tidal Freshwater Marshes of the Minjiang River Estuary, Southeast China	LI Jing, HUANG Jia-fang, LUO Min, <i>et al.</i> (5493)
Methane Emission Characteristics and Its Influencing Factors over Aquaculture Ponds	WANG Jiao, XIAO Wei, ZHANG Xiu-fang, <i>et al.</i> (5503)
Effect of Fertilization on Soil Respiration and Its Temperature Sensitivity in a Sorghum Field	YAN Jun-xia, ZHANG Yuan, JIAO Xiao-yan (5515)
Land Safety Zoning Method in High-Selenium and High-Cadmium Areas	WANG Rui, HOU Wan-ling, LI Yu-tong, <i>et al.</i> (5524)
Remediation Effects of Different Composite Materials on Cadmium-Contaminated Farmland Soil	CHEN Shu-lan, XU Chen-yang, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (5531)
Hydrocalumite Passivation Effect and Mechanism on Heavy Metals in Different Cd-Contaminated Farmland Soils	WU Qiu-mei, LIU Gang, WANG Hui-feng, <i>et al.</i> (5540)
Effects of Different Land Use Types on Microbial Community Diversity in the Shizishan Mining Area	HUANG Jian, ZHU Xu-yan, LU Jin, <i>et al.</i> (5550)
Effects of Conversion of Forest to Arable Land on the Abundance and Structure of the <i>cblL</i> -Harboring Bacterial Community in Albic Soil of the Hilly Region of Northeast China	WANG Rui, WU Xian, LI Gang, <i>et al.</i> (5561)
Thoughts on and Construction of a Risk Management and Control System for Contaminated Sites in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	CHANG Chun-ying, DONG Min-gang, DENG Yi-rong, <i>et al.</i> (5570)
Visualized Quantitative Research of Soil Pollution in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	ZHANG Ning, ZHANG Sheng, YANG Hai-chao, <i>et al.</i> (5581)
Characteristics and Environmental Impacts of Materials Stored in Municipal Solid Waste Landfills: A Case Study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	MA Shi-jun, ZHOU Chuan-bin, YANG Guang, <i>et al.</i> (5593)
Heavy Metal Contamination and Migration in Correspondence of an Electroplating Site on the Hilly Lands of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China	HOU Wen-juan, GONG Xing, ZHAN Ze-bo, <i>et al.</i> (5604)
Pollution Characteristics and Migration of BTEX at a Chemical Contaminated Site in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	DENG Yi-rong, LU Hai-jian, DONG Min-gang, <i>et al.</i> (5615)
Immobilization Impact of Goethite-Fulvic Acid Composites on Pb-Cd Contaminated Soil	LIU Qian-jun, LI Xiang, ZHOU Yang-mei, <i>et al.</i> (5623)
Mobilization of Heavy Metals in a Soil-Plant System and Risk Assessment in the Dabaoshan Mine Area, Guangdong Province, China	CHEN Jie-yi, LIU Guang-bo, CUI Jin-li, <i>et al.</i> (5629)
Calculation of the Soil Risk Control Value through a Hydrus-1D Model for Groundwater Protection	LIN Ting, LUO Fei, ZHU Yan, <i>et al.</i> (5640)
INDEX HUANJING KEXUE CONTENTS 2019, Vol. 40	(5659)