

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第4期

Vol.39 No.4

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

京津冀地区钢铁行业污染物排放清单及对 PM _{2.5} 影响	段文娇, 郎建全, 程水源, 贾佳, 王晓琦 (1445)
京津冀内陆平原区 PM _{2.5} 浓度时空变化定量模拟	郝静, 孙成, 郭兴宇, 王卫, 刘方田, 党海燕 (1455)
成都市冬季相对湿度对颗粒物浓度和大气能见度的影响	刘凡, 谭钦文, 江霞, 蒋文举, 宋丹林 (1466)
华山地区 PM _{2.5} 中无机离子垂直分布特征	曹聪, 王格慧, 吴灿, 李建军, 刘浪, 李瑾, 余兴 (1473)
烟花爆竹集中燃放的大气细颗粒物 (PM _{2.5}) 成分图谱	谢瑞加, 侯红霞, 陈永山 (1484)
长三角地区中小燃煤锅炉 PM _{2.5} 成分谱特征	徐健, 黄成, 李莉, 陈勇航, 楼晟荣, 乔利平, 王鸿宇 (1493)
民用燃煤排放分级颗粒物中重金属排放因子	严沁, 孔少飞, 刘海彪, 王伟, 吴剑, 郑明明, 郑淑睿, 杨国威, 吴方琪 (1502)
冬、春季青岛大气气溶胶中乙二酸的分布特征及影响因素	张帅, 石金辉, 姚小红, 高会旺 (1512)
青岛大气降水中微量元素的浓度及溶解度	李茜, 石金辉, 李鹏志, 姚小红, 高会旺 (1520)
辽东湾大气中多环芳烃的含量组成及气粒分配	张玉凤, 宋永刚, 田金, 赵海勃, 杨爽, 吴金浩 (1527)
典型地区大气新型卤代阻燃剂污染特征、来源分析及人体暴露	李琦路, 杨孔, 李军, 张干 (1537)
苏州工业园区室内外颗粒物中多溴联苯醚污染特征及人体暴露水平	王俊霞, 顾海东, 张占恩, 钱飞跃 (1544)
上海市大气污染对感冒疾病相对危险度的影响	杨丝絮, 马玉霞, 周建丁, 周骥 (1552)
城镇化河流溶解性有机质的荧光特性与水质相关性: 以宁波市北仑区芦江为例	曹昌丽, 梁梦琦, 何桂英, 纵亚男, 唐剑锋 (1560)
艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨	曹灿, 张飞, 阿依尼格·亚力坤, 朱世丹, 郭苗, 阿丽米热·塔力甫江, Kung Hsiangte (1568)
三峡澎溪河水华期间水体 CH ₄ 浓度及其通量变化特征初探	秦宇, 张渝阳, 李哲, 马健荣 (1578)
漓江段地表水体旱季硝酸盐动态变化特征及其来源	苗迎, 章程, 肖琼, 赵海娟, 李成习 (1589)
柳江流域饮用水源地重金属污染与健康风险评价	张清华, 韦永著, 曹建华, 于爽 (1598)
黄柏河流域梯级水库沉积物磷形态特征及磷释放通量分析	刘佳, 雷丹, 李琼, 王亮, 张平, 肖尚斌 (1608)
白洋淀典型持久性有机污染物污染特征与风险评估	高秋生, 焦立新, 杨柳, 田自强, 杨苏文, 安月霞, 贾海斌, 崔志丹 (1616)
典型有机氯农药在珠三角地区多介质环境中的归趋模拟	高梓闻, 徐月, 亦如瀚 (1628)
河道水旁路处理中试工艺中 PPCPs 的去除效果及机制	李力, 朱楦, 白瑶, 赵健, 曹之淇, 郭泓利, 李凌云, 左剑思 (1637)
蔡普生在氯消毒过程中的去除、转化与风险评价	樊鑫鑫, 杜尔登, 李佳琦, 赵丽丽, 王聿琳, 彭明国 (1645)
真空紫外/氯处理饮用水典型致嗅物质	孙昕, 张焱, 史路肖, 陈笑涵, 唐晓 (1654)
热活化过硫酸盐降解三氯生	蒋梦迪, 张清越, 季跃飞, 陆鸢鹤 (1661)
水体模拟颗粒物对四环素的吸附特性及基本规律	徐龙凤, 魏群山, 吕强, 唐立朋, 刘亚男, 柳建设 (1668)
海水优化 ANAMMOX 包埋固定化及其处理含海水污水的脱氮性能	单晓静, 于德爽, 李津, 陈光辉, 冯莉, 吕廷廷, 邵青 (1677)
外源甜菜碱投加增强高盐废水厌氧氨氧化脱氮性能	于德爽, 吴国栋, 李津, 周同, 王晓静 (1688)
硝化污泥富集及其强化高氨氮冲击的中试研究	盛晓琳, 崔灿灿, 王家德, 刘锐, 徐峰, 陈吕军 (1697)
分段进水对改良 A ² /O-BAF 双污泥系统反硝化除磷脱氮的影响	南彦斌, 彭永臻, 曾立云, 赵智超, 刘宏, 李慧, 陈永志 (1704)
不同温度下应用比值控制实现连续流好氧颗粒污泥短程硝化	梁东博, 卞伟, 阚睿哲, 王文啸, 赵青, 孙艺齐, 李军 (1713)
智能化曝气控制 A/O 工艺活性污泥特性演化对内源反硝化脱氮的作用机制	徐旻昶, 胡湛波, 张穗生, 李昊航 (1720)
温度对一体式厌氧流化床膜生物反应器运行效能及微生物群落结构的影响	李玥, 胡奇, 高文 (1731)
污泥臭原位置量工艺中抗生素的去除	汪鲁, 黄伟伟, 李彦刚, 强志民 (1739)
零价铁对污泥厌氧消化过程中四环素抗性基因水平转移的作用影响	杨帆, 徐雯丽, 钱雅洁, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (1748)
环境因子对全自养脱氮颗粒污泥功能菌协同效应的影响	陈希, 钱飞跃, 王建芳, 高军军, 沈耀良, 贾珣 (1756)
后置固相反硝化滤池工艺沿程微生物特性	张千, 吉芳英, 徐璇 (1763)
复合菌株 YH01 + YH02 强化 SBR 好氧反硝化脱氮及菌群结构分析	陈海升, 曹刚, 张迪, 黄郑郑, 莫测辉 (1773)
氮磷失衡下膨胀污泥性能及膨胀菌群落结构变化	贺雪濛, 丁丽丽, 张璐璐, 顾卓江, 任洪强 (1782)
1 株铜绿假单胞菌对砷的降解特性及代谢途径	李想, 张雪英, 周俊, 宋军, 王建刚, 雍晓雨, 贾红华 (1794)
铜尾矿库坝面土壤微生物群落动态的驱动因子	李磊, 景炬辉, 刘晋仙, 柴宝峰 (1804)
垦殖对桂林会仙喀斯特湿地土壤养分与微生物活性的影响	黄科朝, 沈育伊, 徐广平, 黄玉清, 张德楠, 孙英杰, 李艳琼, 何文, 周龙武 (1813)
黄土丘陵区退耕还林还草对土壤细菌群落结构的影响	陈孟立, 曾全超, 黄懿梅, 倪银霞 (1824)
河岸带表层土壤的铁氨氧化 (Feammox) 脱氮机制的探究	丁帮琛, 李正魁, 朱鸿杰, 陈湜, 覃云斌, 杨建华, 胡优优 (1833)
藏猪扰动作用下的高寒草甸土壤退化特征及微生物群落结构变化	展鹏飞, 肖德荣, 闫鹏飞, 刘振亚, 马金成, 陈志明, 格茸, 田伟, 王行 (1840)
深圳湾典型红树植物根表铁膜及其重金属富集特征	沈小雪, 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉 (1851)
香港周边海域野生鱼体内 DDTs 和 PCBs 的含量分布和食用风险评估	苏杨, 鲍恋君, 曾永平 (1861)
偏远高山湿地土壤中 PAHs 污染特征: 以神农架大九湖为例	胡天鹏, 邢新丽, 柯艳萍, 毛瑶, 黎荧, 郑煌, 喻月, 张家泉, 祁士华 (1872)
西南地区典型森林水库土壤和沉积物汞的迁移转化特征	孙涛, 马明, 王永敏, 安思危, 王定勇 (1880)
广西西江流域土壤镉含量特征及风险评估	宋波, 杨子杰, 张云霞, 王佛鹏, 周浪, 李黎, 钟雪梅 (1888)
长期施肥对旱地红壤及作物中砷累积的影响	张蓉, 余光辉, 李亚青 (1901)
三元土壤调理剂对田间水稻镉累积转运的影响	辜娇峰, 周航, 贾润语, 王倩倩, 李虹呈, 张平, 彭佩钦, 廖柏寒 (1910)
稻田土壤性质与水稻镉含量的定量关系	王梦梦, 何梦媛, 苏德纯 (1918)
钙基膨润土辅助对堆肥及土壤 Cu、Zn 形态转化和白菜吸收的影响	赵军超, 王权, 任秀娜, 李荣华, Mukesh Kumar Awasthi, Altaf Hussain Lahori, 张增强 (1926)
外源碳和氮输入对降水变化下土壤呼吸的短期影响	贺云龙, 齐玉春, 彭琴, 董云社, 郭树芳, 闫钟清, 李兆林, 王丽芹 (1934)
模拟降水量减少对大豆-冬小麦轮作农田土壤呼吸的影响	王朝辉, 陈书涛, 孙鹭, 胡正华 (1943)
紫色土丘陵区农田源头沟渠一氧化氮排放的季节差异及影响因素	田琳琳, 任光前, 朱波 (1952)
季节非对称升温对喀斯特土壤 CO ₂ 释放的影响	唐国勇, 张春华, 刘方炎, 李昆, 马艳 (1962)
《环境科学》征订启事 (1472) 《环境科学》征稿简则 (1511) 信息 (1755, 1839, 1925)	

艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨

曹灿¹, 张飞^{1,2*}, 阿依尼格尔·亚力坤¹, 朱世丹^{1,2}, 郭苗¹, 阿丽米热·塔力甫江¹, Kung Hsiangte³

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 智慧城市与环境建模普通高校重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 3. 美国孟菲斯大学地球科学系, 孟菲斯 38152, 美国)

摘要: 为进一步明确景观格局对河流水质的影响, 本研究选择新疆艾比湖区域为研究对象, 以 28 个水质采样点为中心, 建立 100、200、300、400 m 的河流缓冲区, 并提取土地利用/覆被-景观格局数据。首先, 通过主成分分析获得水环境的主要水质变量。其次, 利用多元线性回归探讨研究区不同宽度缓冲区土地利用/覆被-景观格局变化对河流水质的影响, 获得水质管理的有效缓冲区。结果表明: ①2015 年 5 月, 在艾比湖区域测得的 18 个地表水水质指标中提取 TDS、 SO_4^{2-} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 HCO_3^- 、 Na^+ 和 TP 这 6 个水质指标。②对斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)进行统计分析, 发现人类活动在 4 个缓冲区内强弱不均。③本文在不同尺度的缓冲区下, 将 PD、LPI、ED、LSI、CONTAG 和 TDS、 SO_4^{2-} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、TP 分别进行相关性分析, 发现 300m 缓冲区相关性最为显著。④在 300m 缓冲区内, 通过多元线性回归分析, 将 TDS、 HCO_3^- 与其各自对应的景观指数的关系进行量化表达, 进一步探明区域流域地表水与周围一定缓冲区范围内的景观格局的内在关系。

关键词: 艾比湖; 景观格局; 空间尺度; 水质; 多元线性回归

中图分类号: X144; X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)04-1568-10 DOI: 10.13227/j.hj.kx.201704102

Relationship Between Landscape Pattern and Water Quality in the Ebinur Lake Region

CAO Can¹, ZHANG Fei^{1,2*}, Ayinigeer·Yalikun¹, ZHU Shi-dan^{1,2}, GUO Miao¹, Alimire·Talifujiang¹, Kung Hsiangte³

(1. Key Laboratory of Xinjiang Wisdom City and Environment Modeling, College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. Department of Earth Sciences, University of Memphis, Memphis 38152, USA)

Abstract: To understand the effects of regional landscape patterns on water quality of rivers, we selected the Ebinur Lake area in Xinjiang as the research site. We selected and used eighteen water quality sampling points as the center, established the buffer areas based on four ranges, and extracted the land use/cover data. Firstly, the major water quality of the water collected from the Ebinur Lake area was analyzed by principal component analysis. Secondly, the effects of land use/cover on the water quality of river/lake were studied using multivariate linear analysis. Following results were obtained: ① according to the six principal component analysis and eighteen surface water quality parameters collected on May 18, 2015, the coefficients were closely related. The identified water quality parameters were: total dissolved solids(TDS), SO_4^{2-} , HCO_3^- , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Na^+ , and total phosphorus(TP); ② according to the five landscape indices, i. e. Patch Density (PD), Largest Patch Index (LPI), Edge Density (ED), Landscape Shape Index (LSI), and Contagion Index (CONTAG) in four different ranges (100 meters, 200 meters, 300 meters, and 400 meters), human activities and their impacts were uneven in the four buffer areas; ③ PD, LSI, and CONTAG showed strong positive correlations with $\text{NH}_4^+\text{-N}$, HCO_3^- , and TDS, PD showed strong positive correlations with $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and HCO_3^- , while LPI showed strong positive correlation with TDS only, in the 300m buffer area. ④ in the 300 m buffer area, the relationships between TDS and HCO_3^- and their respective landscape indices were quantified by multiple linear regression analysis. The relationships between the surface water quality parameters and land uses/land covers were proved to be significant.

Key words: Ebinur Lake; landscape pattern; spatial scale; water quality; multiple linear regressions

景观格局与生态过程的研究一直是景观生态学的关键论题^[1]。景观格局的变化影响着地表径流、生物地球化学等一系列的水文过程, 并由此改变进入河流、湖泊污染物的数量^[2], 研究景观格局变化与水文环境效益之间的关系已成为当前资源环境科学领域的热点问题之一^[3]。河流是景观的重要组成

类型, 其水质受到流域景观格局的重要影响^[4]。河

收稿日期: 2017-04-11; 修订日期: 2017-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361045); 自治区科技人才培养项目(QN2016JQ0041); 2016 年新疆大学大学生创新训练计划重点项目(201610755057)

作者简介: 曹灿(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为干旱区资源遥感应用, E-mail: m13677624207@163.com

* 通信作者, E-mail: zhangfei3s@163.com

流汇水区景观格局与河流水质变化有密切的联系^[5]。景观格局与地表水水质之间的关系已成为国内外研究的热点^[6]。自 20 世纪 70 年代以来, 国外学者从点位、河段、河岸带以及流域尺度对景观格局和地表水水质之间关系开展了广泛的研究^[7], 形成了较为完善的理论和方法体系^[8]。2000 年后土地利用景观格局与水质间的关系也日益引起国内学者的重视^[9~11]。随着人类活动的增加, 流域内的土地覆盖逐渐从自然植被转变为以人类活动为主导的农业、城镇用地, 从而导致河流水质的退化^[12,13]。在许多地区点源污染已经得到有效控制的情况下, 非点源污染因其污染的广泛性、不确定性成为影响河流水质的重要原因之一, 而景观格局是影响非点源污染负荷的主要因素之一^[14]。目前关于景观格局对水质影响的相关研究主要集中在景观类型的面积与水质的关系方面^[15], 将流域水质状况进行综合分析, 并且在斑块类型水平上来研究景观格局对水质状况影响的较少^[16]。有研究表明^[17,18], 河流水质与流域内耕地、建设用地以及林地面积所占比例有很大关联。对于景观格局与河流水质空间耦合关系的研究主要有景观组成属性, 即土地利用类型百分比与河流水质之间的关系^[19,20]; 景观空间结构, 即应用景观指数研究不同土地利用方式的布局特点与水质之间的关系^[21]; 不同景观空间尺度、涉及流域、河岸带等尺度景观格局对水质的影响^[22]。目前, 景观格局与水质关系研究采用的方法包括相关分析、主成分分析、多元线性回归分析、典范对应分析和模型模拟分析等^[23], 但研究结论在不同的地区, 不同的景观指标和水质指标相关关系方面仍存在不确定性, 需要在更广泛的地区针对所存在的问题展开更多的研究, 为进一步理解二者之间关系机制和构建景观-水质模型奠定基础。

本研究以艾比湖流域为研究区域, 以 2015 年 5 月 Landsat OLI 数据为基础数据源, 在 ENVI 5.1 平台下进行人工目视解译, 获得 2015 年 5 月艾比湖区域的景观类型图来分析艾比湖流域景观格局变化与水质的关系, 以期艾比湖流域景观规划与环境保护提供借鉴, 并为该区域水环境保护及艾比湖流域景观格局调控提供提供科学依据。

1 研究区域概况

艾比湖流域位于 E 79°53' ~ 85°02'; N 43°38' ~ 45°52' 之间, 流域地跨博尔塔拉蒙古自治州的博乐市、温泉县和精河县, 塔城地区的乌苏和托里县南部, 伊犁直属的奎屯市和克拉玛依的独山子区^[24]。主要包括三大区域: 赛里木湖风景区、艾比湖绿洲和乌奎绿洲。流域面积 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是准噶尔西部的低洼地和水盐汇集中心, 远离海洋, 常年多风沙天气, 蒸发量大, 降水稀少, 年平均气温 $6.6 \sim 7.8^\circ\text{C}$, 年降水量 $116.0 \sim 169.2 \text{ mm}$ ^[25]。由于湖水量的减少, 艾比湖湖面急剧萎缩, 湖面曾缩至不足 500 km^2 , 湖滨地区荒漠化程度加剧, 成为中国西部沙尘暴主要策源地之一, 直接威胁到天山北坡经济带的可持续发展和新亚欧大陆桥的安全运行^[26]。此地是准噶尔盆地西部最低洼地和水盐汇集中心, 处于亚欧大陆腹地, 集湿地和荒漠为一体, 是指征准噶尔盆地生态环境变化的关键地区^[27]。流域包括四个河区: 博尔塔拉河、精河、奎屯河和阿克齐苏河, 研究区如图 1 所示。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及数据预处理

本研究选取研究区 2015 年 5 月美国陆地卫星 Landsat-8 OLI (Operational Land Image) 遥感影像 (<http://glovis.usgs.gov/>), 提取土地利用/覆被信

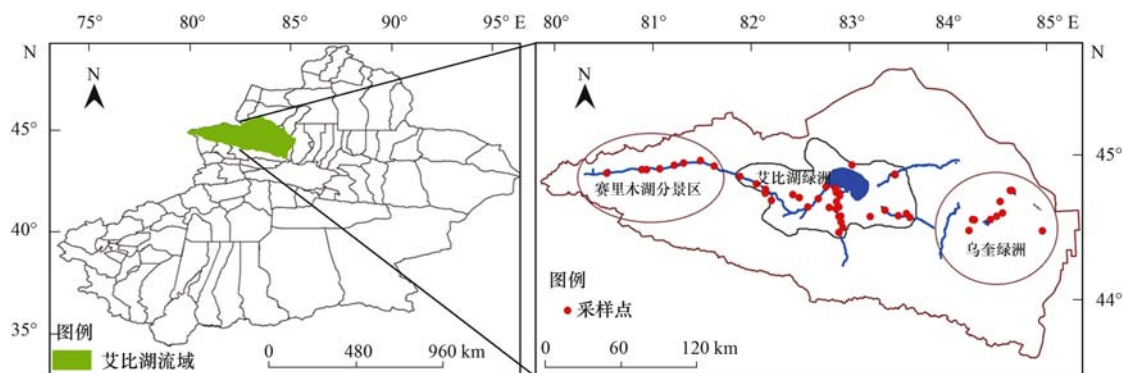


图 1 研究区示意及采样点分布

Fig. 1 Map of the study area and the distribution points

息. 因为受传感器和大气的影 响, 多时相遥感影像上同一目标的光谱特征差异很大, 影响了影像信息的提取, 必须对影像进行大气校正处理. 首先利用 ENVI5.1 的辐射定标工具及 Landsat OLI 数据头文件中的增益和偏移系数, 对 Landsat OLI 数据进行辐射定标, 再利用 ENVI5.1 的 FLAASH 大气校正模块对影像进行了大气校正^[28].

2.2 土地利用分类

本研究参考文献[29]的标准进行分类, 在此基础上将流域内的土地利用类型划分为耕地、林草地、水体、盐渍地、裸露湖床和未利用地这 6 种土地利用/覆被类型. 利用遥感数据处理软件 ENVI 5.1 对影像进行分类选择 5、4、3 波段进行假彩色合成. 根据相关资料, 利用最大似然法进行监督分类, 最后根据研究区的土地利用现状图对分类后影

像进行修正, 得到艾比湖平原区景观类型分布.

2.3 水质采样与分析

根据 2015 年 5 月艾比湖不同用地类型在艾比湖干、支流分别选取 28 个断面进行采样, 通过简易水体采样装置, 获取水面 0.5 cm 以下的水样 1 L, 低温保存并快速运回实验室对水体理化参数进行测试. 在实地勘察中, 取水样的同时用便携式 GPS (G350, UniStrong, 中国) 记录采样点经纬度坐标, 利用水质检测仪 (YSI600, 美国), 现场测量河水的 pH 值、溶解氧 (DO). 在实验室对各个指标均按照国家标准进行测定, 运用 3 次重复实验法, 将其结果去平均值. 本文选用了 COD、BOD₅、悬浮物、TP、TN、NH₄⁺-N、色度、浊度、TDS、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺、Ca⁺、K⁺、Na⁺ 等 16 个水化学指标, 测定方法如表 1 所示.

表 1 水质指标与实验方法
Table 1 Water indices and experimental methods

水质指标	测定方法
COD	根据重铬酸钾法 (GB 1914-1989) 采用标准 COD 消解仪 (K-100) 测定 COD
BOD ₅	根据恒温箱稀释接种法 (HJ 505-2009 和 HWS-150 type) 测定 BOD ₅ 的含量
SS	重量法测定水中悬浮物
TP	根据钼酸铵 (HJ 636-2012) 用分光光度计 722 N 测定 TP 含量
TN	根据紫外分光光度计 (HJ 535-2009) 的紫外-可见分光光度法, 在 UV-6100 下测定 TN 含量
NH ₄ ⁺ -N	根据纳氏试剂分光光度法与可见光光度计 722 N 测定 NH ₄ ⁺ -N 含量
色度	根据色度测试仪
浊度	根据浊度测试仪
HCO ₃ ⁻	用双标试剂滴定法测定
Cl ⁻	用 AgNO ₃ 标准溶液滴定法滴定
SO ₄ ²⁻	用茜素红做试剂, 用氯化钡标准溶液滴定
Ca ²⁺ 和 Mg ²⁺	用 EDTA 滴定法测得
K ⁺ 和 Na ⁺	用减差法测定
TDS	利用各离子含量总和计算

2.4 水样点空间分布特征

通过空间分布图不仅可以很明显地看出各项水化学参数在整个流域的空间分布状况, 而且有助于了解湖区的水质参数异常区域^[30]. 本文为了直观地反映艾比湖流域地表水水化学参数的分布及空间变异, 选择艾比湖绿洲区域为研究对象, 因为对于整个艾比湖流域而言, 西边的赛里木湖区属于高山景区, 下垫面几乎不受人 类生产活动的干扰, 东边属于乌奎绿洲的一部分, 人类活动相对于艾比湖绿洲较小, 艾比湖绿洲是整个流域人类活动的集中区, 区域内有精河、博河、阿克齐苏河和奎屯河, 加之有精河县、博乐市和阿拉山口市 的分布, 因此该区域属于流域的人类活动影响下的绿洲典型区,

故而选择其艾比湖绿洲的 28 个水样点进行研究.

2.5 土地利用信息及景观指数缓冲区分析

本研究根据艾比湖流域的土地利用/覆被以及农业经济发展的实际状况, 在缓冲区选择时以 100 m 为起点, 100 m 为增长半径, 在 ArcGIS 10.0 中, 将 53 个水质点导入到土地利用分类图上并从中挑取 28 个分布于艾比湖周围的点生成缓冲区, 如图 2 缓冲区距离从 100 ~ 400 m, 各缓冲区之间相隔为 100 m. 在各缓冲区内, 使用 Fragstats 软件进行计算. 本文中主要使用的景观指数如表 2 分别为: 斑块密度 (PD)、边缘密度 (ED)、最大斑块指数 (LPI)、景观形状指数 (LSI)、蔓延度指数 (CONTAG) 这 5 个景观指数, 以此表征景观格局特征.

表 2 研究中使用的景观指数			
Table 2 Landscape indices used in the study			
水平	项目	景观指数	指数描述
景观类型	破碎度	斑块密度 (PD)	单位面积上的斑块数, 反映景观破碎化程度
		边缘密度 (ED)	景观总体单位面积异质景观要素斑块间的边缘长度, 说明各干扰类型的景观破碎化
	面积	最大斑块指数 (LPI)	景观的最大斑块的面积
	形状	景观形状指数 (LSI)	反映景观结构的复杂性
	蔓延度	蔓延度指数 (CONTAG)	描述景观不同斑块类型的团聚程度或延展趋势

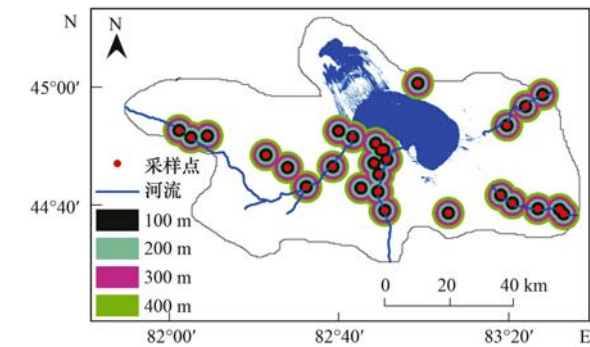


图 2 缓冲区示意
Fig. 2 Buffer diagram

2.6 多元统计分析法

主成分分析是一种降维处理方式,可以有效提取指标;相关性分析是 SPSS 软件通过计算对两个或多个具有相关性的变量要素进行分析,从而衡量两个变量元素之间的相关密切程度,指出两个因素之间存在怎样程度的关联.使用统计分析软件 SPSS 分别对每个缓冲区下的水化学指标和景观指数进行主成分分析,确定其中的主要指标,然后对水化学特征和景观的主要指标进行相关性分析,从而确定两者的相关性和相关性较明显的缓冲区,最后对选取出来的缓冲区下的指标进行多元线性回归分析,以此来表征景观格局与水质的关系^[6].

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆被信息提取

本研究以 2015 年 5 月 Landsat OLI 数据为基础

数据源,在 ENVI 5.1 平台下进行人工目视解译,获得 2015 年 5 月艾比湖区域的景观类型(图 3).参照全国土地利用分类方法,结合当地的实际情况,将研究区的景观类型分为耕地、林草地、水体、湖床、盐渍地、未利用地 6 种土地利用类型.在遥感解译的过程中,结合多次实地考察经验,通过多次实地调查和数据纠正,并按照实证点进行验证,每个土地利用类型选择 100 个样点左右,获得影像分类的混淆矩阵如表 3.解译精度均达到 80% 以上,满足后续分析要求.从研究区分类图可以看出耕地和未利用地是艾比湖平原的主要土地利用/覆被类型,其中耕地主要分布在艾比湖平原的西侧的精河绿洲区域,未利用地主要分布在艾比湖平原的东侧库木塔格沙漠周围以及阿拉套山.根据对艾比湖流域进行分类,将六类土地利用/覆被所占面积进行统计如图 4 所示,耕地与未利用地的面积均超过 2 000

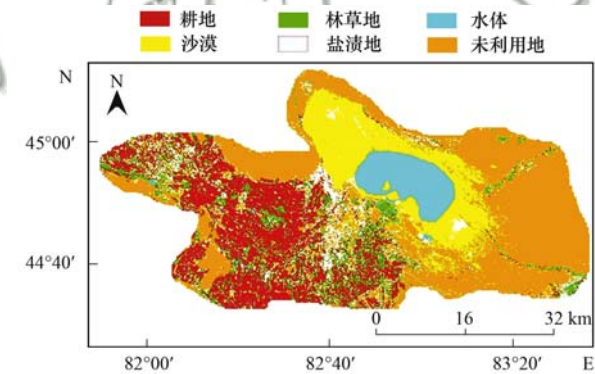


图 3 土地利用/覆被分类
Fig. 3 Land use/cover classification

表 3 最大似然监督分类混淆矩阵								
Table 3 Calculation of confusion matrix by maximum likelihood supervised classification								
	水体	盐渍地	林草地	沙漠	湖床	其他用地	总体精度	用户精度/%
水体	144	0	0	0	0	0	144	100
盐渍地	0	57	0	0	19	26	102	55.88
林草地	0	46	101	0	0	0	147	68.71
沙漠	4	0	0	114	0	0	118	96.61
湖床	0	0	0	0	99	17	116	85.34
其他用地	0	0	0	0	0	77	77	100
总体精度	118	103	101	114	118	120	总体精度 = 83.38%	
生产者精度/%	99.61	55.34	100	100	91.67	64.17	Kappa 系数 = 0.80	

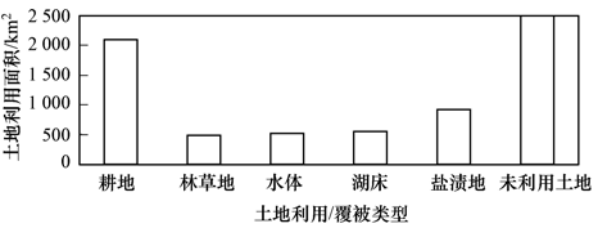


图 4 艾比湖流域土地利用/覆被面积

Fig. 4 Statistics of land use/cover in the Ebinur Lake area

km², 远远大于其他 4 个类型的土地利用面积, 说明人类活动对环境在景观格局方面的影响可能占有重要作用, 盐渍地, 湖床, 水体, 林草地的面积由大到小排列, 差距较小, 均在1 000 km² 以下。

3.2 水环境主要变量因子的选取

本文对 2015 年 5 月的 18 个水质指标数据进行主成分分析, 结果如表 4 所示, 共提取了 6 个主成分, 主成分实测数据如表 5 所示, 累计贡献率达到

91.71% (>85%), 说明主成分分析比较好地降低了原始指标数据的维度, 所提取出来的主成分具有较好的参考价值。第一主成分和 TDS ($R = 0.94$) 有较强的正相关, 说明与 TDS 浓度变化关系密切; 第二主成分和 SO_4^{2-} ($R = 0.919$) 有明显的正相关, 说明受 SO_4^{2-} 浓度变化影响较为显著; 第三主成分与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ($R = 0.791$) 正相关, 相关系数最大, 说明 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在第三主成分中占主导地位; 第四主成分, 第五主成分, 第六主成分分别与 HCO_3^- ($R = 0.681$), Na^+ ($R = 0.601$), TP ($R = 0.521$) 有较强正相关, 且相关系数在该主成分中最大; 故在水环境主要变量因子的提取过程中, 从 18 个指标中选取了具有代表性的 TDS、 SO_4^{2-} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 HCO_3^- 、 Na^+ 和 TP 这 6 个水质指标进行后续分析。

表 4 2015 年 5 月水质指标成分得分系数矩阵¹⁾

Table 4 Component score coefficient matrix of water quality index in May 2015

主成分	COD	BOD ₅	SS	TP	TN	NH ₄ ⁺ -N	SD	NTU	DO
1	0.882	0.845	-0.205	0.035	-0.32	0.131	0.49	-0.268	0.759
2	0.243	0.274	-0.417	0.038	-0.561	-0.18	0.058	-0.255	0.224
3	-0.126	0.26	0.587	0.721	-0.144	0.791	0.43	0.479	-0.042
4	0.204	-0.03	0.422	-0.28	0.191	-0.215	-0.483	0.49	0.387
5	0.084	-0.05	0.357	0.076	0.343	0.355	0.145	0.498	-0.047
6	0.059	0.077	0.259	0.521	-0.478	-0.133	-0.407	0.161	0.089

主成分	TDS	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	累积/%
1	0.94	-0.37	0.125	-0.38	-0.32	-0.33	-0.36	0.087	0.058	26.219
2	0.23	0.24	-0.086	0.885	0.919	0.88	0.899	-0.11	-0.06	48.22
3	-0.011	-0.07	-0.275	0.088	0.057	0.02	0.097	-0.62	-0.61	63.395
4	0.166	0.59	0.681	-0.03	-0.02	0.15	-0.03	-0.32	-0.34	74.569
5	0.104	-0.46	0.427	0.218	0.152	0.23	0.197	0.591	0.601	84.581
6	0.001	0.42	-0.315	-0.01	-0.09	-0.13	-0.05	0.354	0.361	91.71

1) 粗体字表示该主成分的主要因子

表 5 TP、NH₄⁺-N、TDS、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 和 Na⁺ 的实测数据/mg·L⁻¹

Table 5 Experimental data of TP, NH₄⁺-N, TDS, HCO₃⁻, SO₄²⁻, and Na⁺/mg·L⁻¹

样点	TP	NH ₄ ⁺ -N	TDS	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	样点	TP	NH ₄ ⁺ -N	TDS	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺
1	0.03	0.643	2 425	302.55	4 803.0	1 575.0	15	0.07	0.232	115	201.10	11 046	11 562.5
2	0.14	0.717	1 365	176.48	3 266.0	775.00	16	0.10	0.462	131	187.51	86.45	30.0
3	0.08	0.508	806	236.43	768.48	268.75	17	0.05	0.172	767	117.76	4 130.5	9 875.0
4	0.04	0.195	1 910	274.47	4 562.8	1 075.0	18	0.21	0.010	671	168.49	86.4	21.25
5	0.07	0.292	1 895	273.57	5 091.1	1 050.0	19	0.18	0.241	479	314.33	557.1	22.5
6	0.07	0.281	4 235	223.74	393.8	47.5	20	0.01	0.160	428	142.22	153.7	7.50
7	0.07	0.372	3 150	121.22	4 466.7	1 275.0	21	0.07	0.470	629	279.91	48.0	687.50
8	0.05	0.545	3 230	242.05	2 161.3	1 287.5	22	0.05	0.154	1 185	82.43	38.4	14 875.0
9	0.08	0.378	3 355	279.91	1 873.1	1 725.0	23	0.01	0.142	1 960	137.69	1 536.9	1 100.0
10	0.12	0.082	3 150	82.43	4.8	11.2	24	0.05	0.211	203	163.05	40.8	187.5
11	0.10	0.146	163	137.69	355.4	30.0	25	0.03	0.108	265	209.25	120.0	21.5
12	0.07	1.080	9 635	474.83	33.6	7.5	26	0.08	0.013	205	153.99	163.30	33.7
13	0.06	1.088	131	205.63	57.6	53.7	27	0.07	0.286	222	182.63	1 681.0	868.7
14	0.06	0.134	148	145.39	200.7	50.0	28	0.03	0.108	669	230.99	1 080.6	612.5

3.3 水环境主要变量因子空间分布

本文对艾比湖流域地表水的 6 个水环境主因子进行了分析,如图 5 所示,从整体来看除了 SO_4^{2-} 之外其他水质指标在艾比湖周围的浓度较高且较为集中;而且 6 个水质指标除了总磷以外在东边支流较西边支流的浓度明显高,而且在东边支流各个采样点水质指标浓度大小差异不大,可能是由于 5 月的降水量、蒸发量和东边流域地形等因素导致的.从图 5 可知, TDS 浓度和钠离子浓度的空间分布较为相似,从东到西呈下降趋势,只在艾比湖周围出现比较高的浓度,支流的浓度相对较低,西边流域 TDS 浓度和钠离子浓度普遍较低; NH_4^+-N 和 HCO_3^- 浓度的空间分布较为相似,东边支流以及湖周围浓度都较高,浓度大小差异不显著,低值主要分布在西边流域, NH_4^+-N 在流域西边浓度整体较低且呈逐

渐降低趋势, HCO_3^- 浓度大致呈降低但浓度含量整体较高,在西边流域变化幅度不大,但流域内的空间差异性比较明显;总磷浓度的空间分布由湖区到周围逐步升高,在流域南边普遍较高,可能与流域内的农业生产活动,人类居住情况有一定关系; SO_4^{2-} 的空间分布在整个流域上较高值集中于流域东边和南部的支流,而在湖区周围浓度最低,同时在流域西边浓度也不高,整体空间变化幅度明显,空间差异大.总的来说, TDS、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+-N 、 HCO_3^- 、 Na^+ 和 TP 这 6 个地表水水质指标在流域内空间分布差异都较为明显,不排除季节因素造成一定影响作用.

3.4 不同缓冲区下景观指数统计分析

在 4 个不同尺度的缓冲区内景观格局分析结果如图 6 所示. LPI 值反映人类活动的方向和强弱.

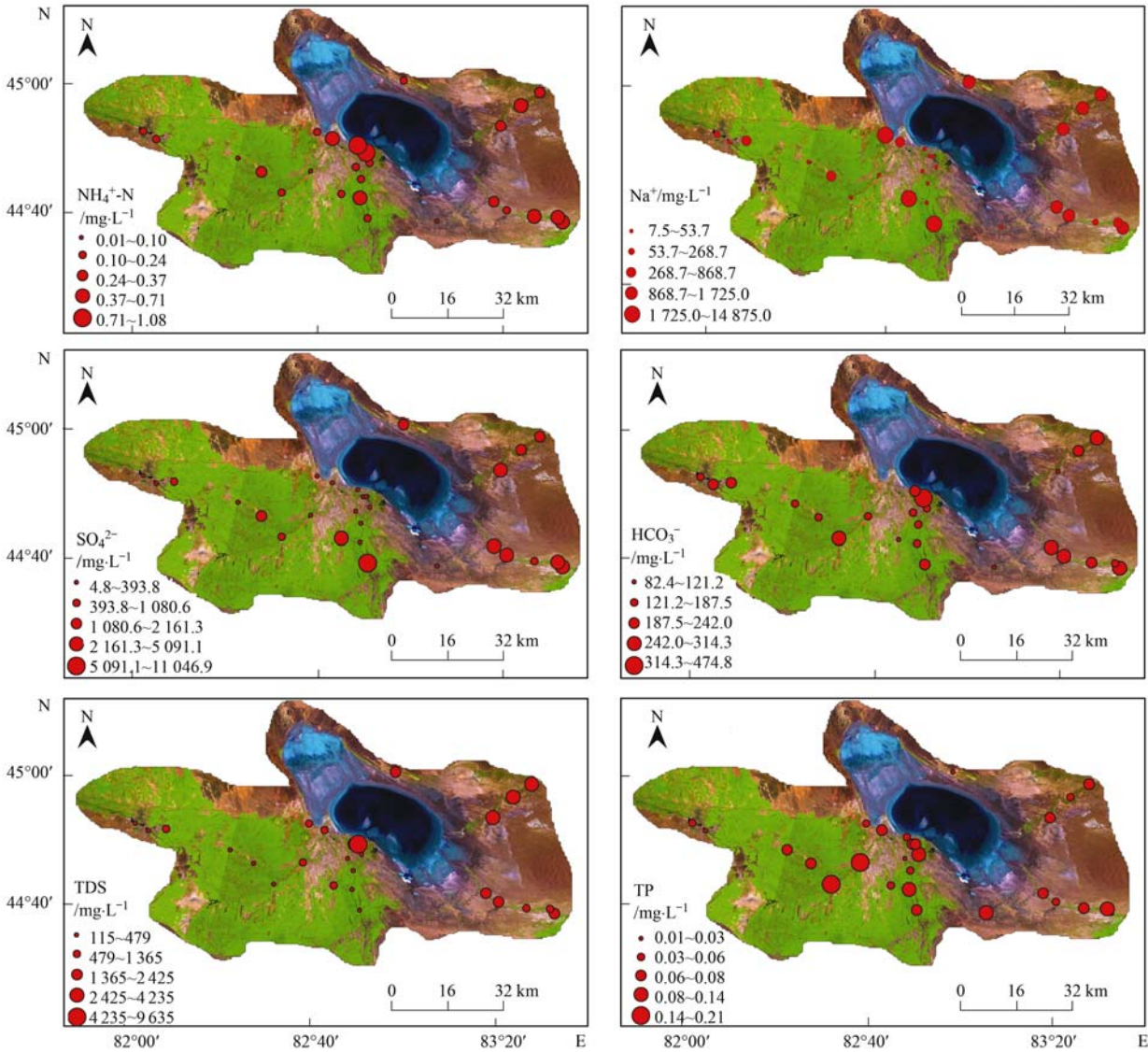


图 5 水环境主因子空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the main water quality parameters

LPI 在 4 个缓冲区中最大值, 最小值、均值、第三分位和第四分位数的最大值在 100 m 缓冲区内, 在 400 m 缓冲区内最小, 说明 4 个缓冲区内人类活动的强弱不平衡. ED 值反映景观中异质性斑块之间物质和能量交换的潜力及相互影响的强度, ED 在 4 个缓冲区中最大值, 最小值、均值、第三分位和第四分位数比较平衡. PD 是斑块密度代表景观破碎

化, PD 值越大, 则破碎化程度越高; 100 m 缓冲区 PD 的最大值, 最小值、均值、第三分位和第四分位数的值最大, 400 m 最小. LSI 的值越大斑块形状越复杂, LSI 的最大值, 最小值、均值、第三分位和第四分位从 100 m 缓冲区到 400 m 缓冲区呈递增趋势. CONTAG 在 4 个缓冲区中最大值, 最小值、均值、第三分位和第四分位数比较平衡.

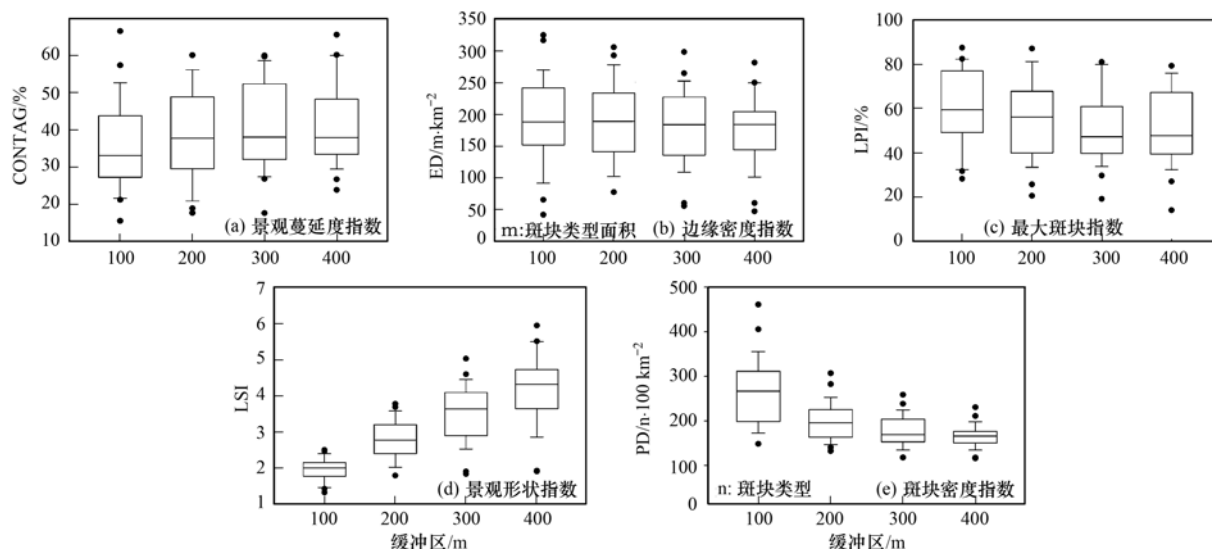


图6 不同缓冲区内景观指数统计
Fig. 6 Statistics of the landscape indices under different buffers

3.5 不同缓冲区水质指标与景观指数的关系研究

从相关性分析结果(如表6所示)可以看出, 不同的缓冲区内景观指数与水质参数之间呈显著相关性. 在 100 m 缓冲区内 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 ED、LSI 呈显著相关性($P > 0.05$), 在 200 缓冲区内 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与各景观指数无显著相关性, 在 300 m 缓冲区内 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 PD、LPI 和 ED 呈显著相关性($P > 0.01$), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 LSI 呈显著负相关($P > 0.01$), 在 400 m 缓冲区内与 PD、ED 和 LSI 呈显著相关性($P > 0.01$), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 LPI 呈显著负相关($P > 0.01$). 而在 100 m 和 200 m 缓冲区内 TDS 与景观指数无显著相关性, 在 300 m 缓冲区内 TDS 与 PD、ED 和 LSI 呈显著相关性($P > 0.01$), TDS 与 LPI 和 CONTAG 呈显著负相关($P > 0.01$), 在 400 m 缓冲区内 TDS 与 PD 显著相关性($P > 0.01$), TDS 与 LPI 呈显著负相关($P > 0.01$).

在 100 m 缓冲区内 HCO_3^- 与 LPI 呈显著负相关($P > 0.01$), HCO_3^- 与 ED 呈显著性相关($P > 0.05$), HCO_3^- 与 LSI 呈显著性相关($P > 0.01$), 在 200 缓冲区内 HCO_3^- 与 PD 显著性相关($P > 0.05$), HCO_3^- 与 LPI 呈显著负相关($P > 0.05$), HCO_3^- 与

CONTAG 呈显著负相关($P > 0.01$), 在 300 m 缓冲区内 HCO_3^- 与 PD、ED 和 LSI 呈显著相关性($P > 0.01$), HCO_3^- 与 LPI 和 CONTAG 呈显著负相关($P > 0.01$), 在 400 m 缓冲区内 HCO_3^- 与 PD 呈显著相关性($P > 0.01$), HCO_3^- 与 LPI 呈显著负相关($P > 0.05$), HCO_3^- 与 ED 和 LSI 显著相关($P > 0.05$). 在 100 m 缓冲区到 400 m 缓冲区 TP、 SO_4^{2-} 和 Na^+ 和景观指数无显著相关性. 综上所述, 在 300 m 缓冲区内, 水质参数与景观指数相关性最为密切.

3.6 300 m 缓冲区下景观指数与水质指数的回归分析

本文通过对 300 m 缓冲区下相关性较明显的水质指标比较, 提取出 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TDS 及 HCO_3^- 和与之对应的景观指数进行多元线性回归分析, 故得出水质指标 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的结果, 同理得出 TDS 及 HCO_3^- 的模型表, 因此次分析出 300 m 缓冲区下与景观指数关系较密切的 3 个水质指标的模型, 如表 7 所示, 说明在艾比湖流域研究区, 地表水的采样点得到的水质数据如 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TDS 及 HCO_3^- 可用相关的景观指数来表示.

表 6 水质指标与景观指数相关性¹⁾

Table 6 Correlation between the water quality parameters and landscape indices							
缓冲区/m	景观指数	TP	NH ₄ ⁺ -N	TDS	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺
100	PD	-0.127	0.220	0.235	0.323	-0.164	-0.043
	LPI	-0.212	-0.330	-0.215	-0.597 **	0.125	-0.122
	ED	-0.009	0.388 *	0.109	0.416 *	-0.211	0.056
	LSI	0.016	0.382 *	0.200	0.555 **	-0.190	0.036
	CONTAG	-0.128	-0.287	-0.06	-0.583 **	-0.133	-0.085
200	PD	-0.245	0.309	0.263	0.397 *	-0.08	-0.01
	LPI	-0.121	-0.246	-0.33	-0.471 *	0.238	-0.159
	ED	-0.002	0.276	0.132	0.365	-0.117	0.07
	LSI	-0.004	0.273	0.114	0.336	-0.099	0.075
	CONTAG	-0.087	-0.316	-0.264	-0.525 **	0.048	-0.308
300	PD	-0.089	0.634 **	0.636 **	0.642 **	0.009	-0.145
	LPI	0.105	-0.377	-0.541 **	-0.527 **	0.209	-0.144
	ED	-0.127	0.528 **	0.655 **	0.509 **	-0.145	-0.047
	LSI	-0.117	0.559 **	0.661 **	0.647 **	-0.227	-0.036
	CONTAG	0.209	-0.544 **	-0.726 **	-0.589 **	0.119	-0.17
400	PD	-0.088	0.508 **	0.490 *	0.518 **	-0.148	-0.242
	LPI	0.213	-0.402 *	-0.567 **	-0.467 *	0.305	-0.118
	ED	-0.132	0.397 *	0.333	0.426 *	-0.289	-0.101
	LSI	-0.121	0.400 *	0.335	0.435 *	-0.288	-0.105
	CONTAG	0.183	-0.343	-0.340	-0.333	0.286	-0.153

1) * * 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

表 7 景观指数对水质指标的贡献

Table 7 Contribution of the landscape indices to the water quality parameters							
指标(y)	景观指数(x)	方程式	R ²	F	SD		
NH ₄ ⁺ -N	PD、ED、LSI、CONTAG	y = 0.006PD - 0.002ED + 0.118LSI - 0.005CONTAG + 0.042	0.445	4.41	0.92		
TDS	PD、LPI、ED、LSI、CONTAG	y = 16.254PD - 8.692LPI - 3.046ED + 547.301LSI - 66.675CONTAG + 1882.839	0.572	5.344	0.894		
HCO ₃ ⁻	PD、LPI、ED、LSI、CONTAG	y = 1.737PD - 0.853LPI - 1.447ED + 92.654LSI - 1.026CONTAG + 6.874	0.618	6.142	0.89		

4 讨论

Jones 等^[31]的研究表明,农业用地的面积能较好地解释水体中溶解物和沉积物的负荷量,目前关于景观格局对水质影响的相关研究中基于斑块类型的较少,本文通过运用 GIS、RS 技术并利用多元线性方法探讨艾比湖流域研究区内不同宽度缓冲区土地利用/覆被-景观格局对水质的影响,进一步探明区域流域地表水与周围一定缓冲区范围内的景观格局的定量关系,说明水功能区水质情况受景观格局的影响是显著的,并且这种作用在一个特定的缓冲区范围内最强烈,与水体的相关性存在波动性,说明运用景观指数解释水功能区水质变化,在一定程度上能对水体水质有具体的预测,但这一过程还需要不断完善.由于自然环境变化的不确定性,本研究采用的数据集集中在同一时间段,在时间序列的分析上不能够详细对水质变化做出准确响应,因此增

加时间尺度的对比研究也有必要.景观格局可反映潜在的人类活动行为^[32],在本文的基础上,还可以进一步探索,与水质明显相关的特定缓冲区下,各个类型土地利用/覆被在时间尺度上的变化及受人类活动影响的具体情况.

本研究中引起水质变化的景观指数 PD、ED 的相关性最为明显,说明水质变化与景观破碎化程度和斑块边界长度有显著的关联;因为新疆艾比湖区域属于西北内陆,地广人稀,城市化水平不高,即使下垫面性质发生改变,其对污染物输出的影响也不是很大,这也可以说明生态系统类型对河流水质指标的影响与不同类型的数量有关,因此研究认为艾比湖区域内的农业污染物问题也显得尤为突出.受农业活动干扰比较严重,农业施肥对土壤水体有明显改变,会导致景观格局的改变,特别是耕地等人类活动造成的景观破碎,从而对水质造成一定影响,因此,磷污染成为河流水体污染的主要污染之

一;精河河区周围城区生活污水直接进湖,大量工业废水排入,对水质的影响也很强烈,但不能否定景观格局对水质的作用,加速了河流 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、硫酸根离子,钠离子的超标;阿克齐苏河主要是盐渍地为主,虽然盐渍地面积在六类土地利用分类中并不是很明显,但盐渍地对水质变化的影响不可忽视,河流水质严重碱化,沙漠化进一步加重了水体的TDS含量。艾比湖流域的气候,土壤对水质也有一定的影响,研究区北侧为天山最北支阿拉套南坡,南侧为北天山西段北坡,是国内最具代表性的温带干旱区湿地荒漠生态系统,是天山北坡地区绿洲与荒漠化共同演进的中心,在调节气候、维持区域生态平衡等方面有着十分重要的作用^[33]。研究区的典型地带性土壤为灰漠土、灰棕漠土和风沙土,隐域性土壤为盐(盐渍化)土、草甸土和沼泽土^[34]。所以气候的季节性和不确定性以及土壤本来的离子含量也会对身体水质造成影响和波动。在景观指数选择上虽然综合前人研究成果,但是在区域可移植性方面还需要深入讨论,是否具有代表性仍需要深入研究,本文只是在干旱区的初步研究。

5 结论

(1)根据主成分分析可知,2015年5月,在艾比湖流域测得的18个地表水水质指标数据中提取出了6个主成分,与每个主成分相关系数最大的指标即是相关性最密切的指标,分别是TDS、 SO_4^{2-} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 HCO_3^- 、 Na^+ 和TP这6个水质指标。

(2)根据对景观格局5个景观指数PD、LPI、ED、LSI、CONTAG,分别在4个不同尺度(100、200、300、400 m)的缓冲区内的表现,可以看出LPI值说明人类活动在4个缓冲区内强弱不均,ED值和CONTAG值反映出在4个缓冲区内较为均衡;PD表现的斑块密度代表景观破碎化显示在100 m缓冲区最大,400 m缓冲区最小;LSI的斑块形状从100~400 m缓冲区趋于复杂化,即更加多样化。

(3)本文分别在4个不同尺度相同间隔的缓冲区内,将5个景观指数PD、LPI、ED、LSI、CONTAG和主成分提取的6个水质指标TDS、 SO_4^{2-} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 HCO_3^- 、 Na^+ 和TP进行相关性分析,综合判断在300 m缓冲区内各指标间相关性更为突出,100、200和400 m相较之下不明显,故300 m缓冲区中的景观指数和水质指标之间能更相互反映和表现。

(4)在300 m缓冲区下的相关性中较高的

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TDS及 HCO_3^- 和与其各自对应的景观指数进行多元线性回归分析,得到相应的多元线性回归方程,将指数间相关关系定量化,有利于进一步探明区域流域地表水与周围一定缓冲区范围内的景观格局的具体关系,说明水功能区水质情况受景观格局的影响是显著的,这种作用是在一个特定的缓冲区范围内最强烈,与水体的相关性存在波动性。

参考文献:

- [1] Shi P, Zhang Y, Li Z B, *et al.* Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales [J]. CATENA, 2017, **151**: 182-190.
- [2] 傅伯杰,陈利顶,马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报, 1999, **54**(3): 241-246.
Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, **54**(3): 241-246.
- [3] 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 Science, 2017, **29**(4): 827-835.
- [4] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics[J]. Landscape and Urban Planning, 2009, **92**(2): 80-89.
- [5] Chen X, Zhou W Q, Pickett S T, *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): 449.
- [6] 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.
Zhang Y J, Li C W, Hu B B, *et al.* Impact of a “source-sink” landscape pattern in an urbanized watershed on nitrogen and phosphorus spatial variations in rivers: a case study of Yuqiao Reservoir watershed, Tianjin, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, **37**(7): 2437-2446.
- [7] 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.
- [8] 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.
Zhao J, Yang K, Tai J, *et al.* Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, **31**(11): 3180-3189.
- [9] 黄金良,李青生,洪华生,等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(1): 64-72.
Huang J L, Li Q S, Hong H S, *et al.* Preliminary study on linking land use & landscape pattern and water quality in the

- Jiulong River watershed[J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(1): 64-72.
- [10] 李莹, 黄岁樑. 滦河流域景观格局变化对水沙过程的影响[J]. *生态学报*, 2017, **37**(7): 2463-2475.
- Li Y, Huang S L. Effects of landscape pattern change on flow and sediment processes in the Luanhe River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(7): 2463-2475.
- [11] 郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质对湖泊水质的影响[J]. *生态学报*, 2009, **29**(2): 776-788.
- Guo Q H, Ma K M, Zhang Y. Impact of land use pattern on lake water quality in urban region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(2): 776-788.
- [12] Xiao R, Wang G F, Zhang Q W, *et al.* Multi-scale analysis of relationship between landscape pattern and urban River water quality in different seasons[J]. *Scientific Reports*, 2016, **6**: 25250, doi: 10.1038/srep25250.
- [13] Amiri B J, Nakane K. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan[J]. *Water Resources Management*, 2009, **23**(5): 931-956.
- [14] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, *et al.* Eco-hydrological effects of landscape pattern change[J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2005, **1**(1): 25-32.
- [15] Li C, Li F B, Wu Z F, *et al.* Exploring spatially varying and scale-dependent relationships between soil contamination and landscape patterns using geographically weighted regression[J]. *Applied Geography*, 2017, **82**: 101-114.
- [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] Campagnaro T, Frate L, Carranza M L, *et al.* Multi-scale analysis of alpine landscapes with different intensities of abandonment reveals similar spatial pattern changes: Implications for habitat conservation[J]. *Ecological Indicators*, 2017, **74**: 147-159.
- [18] Bu H M, Meng W, Zhang Y, *et al.* Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2014, **41**: 187-197.
- [19] Rhodes A L, Newton M N, Pufall A. Influences of land use on water quality of a diverse new England watershed[J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35**(18): 3640-3645.
- [20] Li S Y, Gu S, Tan X, *et al.* Water quality in the upper Han River basin, China: the impacts of land use/land cover in riparian buffer zone[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **165**(1-3): 317-324.
- [21] Kimura S D, Liang L, Hatano R. Influence of long-term changes in nitrogen flows on the environment: a case study of a city in Hokkaido, Japan[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, **70**(3): 271-282.
- [22] Uriarte M, Yackulic C B, Lim Y, *et al.* Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis[J]. *Landscape Ecology*, 2011, **26**(8): 1151-1164.
- [23] 刘丽娟, 李小玉, 何兴元. 流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展[J]. *生态学报*, 2012, **31**(19): 5460-5465.
- Liu L J, Li X Y, He X Y. Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(19): 5460-5465.
- [24] 周梅, 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 艾比湖流域水化学指标平面分布特征[J]. *环境化学*, 2015, **34**(9): 1694-1702.
- Zhou M, Zhang F, Tiyp T, *et al.* Spatial distribution of hydro-chemistry characteristics and water quality in Ebinur Lake Basin[J]. *Environmental Chemistry*, 2015, **34**(9): 1694-1702.
- [25] Wang L, Li Z Q, Wang F T, *et al.* Glacier shrinkage in the Ebinur lake basin, Tien Shan, China, during the past 40 years[J]. *Journal of Glaciology*, 2014, **60**(220): 245-254.
- [26] 赵明亮, 李艳红, 李发东. 新疆艾比湖湿地土壤水盐空间变异性分析[J]. *湖泊科学*, 2016, **28**(6): 1328-1337.
- Zhao M L, Li Y H, Li F D. Analysis of the spatial variability of soil moisture and salinity in Ebinur Lake wetlands, Xinjiang[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, **28**(6): 1328-1337.
- [27] Wang X P, Zhang, F, Kung H T, *et al.* Evaluation and estimation of surface water quality in an arid region based on EEM-PARAFAC and 3D fluorescence spectral index: A case study of the Ebinur Lake Watershed, China[J]. *Catena*, 2017, **155**: 62-74.
- [28] Vermote E F, Tanré D, Deuzé J L, *et al.* Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, **35**(3): 675-686.
- [29] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007. 16-17.
- [30] 王天阳, 王国祥. 昆承湖水水质参数空间分布特征研究[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(8): 1384-1390.
- Wang T Y, Wang G X. Spatial distribution of water quality parameters in Lake Kuncheng[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, **27**(8): 1384-1390.
- [31] Jones K B, Neale A C, Nash M S, *et al.* Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: a multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region[J]. *Landscape Ecology*, 2001, **16**(4): 301-312.
- [32] Hwang S J, Lee S W, Son J Y, *et al.* Moderating effects of the geometry of reservoirs on the relation between urban land use and water quality[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, **82**(4): 175-183.
- [33] 王勇辉, 焦黎. 艾比湖湿地土壤有机碳及储量空间分布特征[J]. *生态学报*, 2016, **36**(18): 5893-5901.
- Wang Y H, Jiao L. The characteristics and storage of soil organic carbon in the Ebinur lake wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(18): 5893-5901.
- [34] 马辉英, 杨晓东, 吕光辉, 等. 新疆艾比湖湿地自然保护区荒漠优势种体内的水分来源[J]. *生态学报*, 2017, **37**(3): 829-840.
- Ma H Y, Yang X D, Lü G H, *et al.* Water sources of dominant desert species in Ebinur Lake wetland nature reserve, Xinjiang, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(3): 829-840.

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory from Iron and Steel Industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and Its Impact on PM _{2.5}	DUAN Wen-jiao, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (1445)
Simulation of the Spatio-temporally Resolved PM _{2.5} Aerosol Mass Concentration over the Inland Plain of the Beijing-Tianjin-Hebei Region	HAO Jing, SUN Cheng, GUO Xing-yu, <i>et al.</i> (1455)
Effect of Relative Humidity on Particulate Matter Concentration and Visibility During Winter in Chengdu	LIU Fan, TAN Qin-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (1466)
Vertical Distributional Characteristics of Inorganic Ions of PM _{2.5} at Mt. Huashan, Inland China	CAO Cong, WANG Ge-hui, WU Can, <i>et al.</i> (1473)
Analysis of the Composition of Atmospheric Fine Particles (PM _{2.5}) Produced by Burning Fireworks	XIE Rui-jia, HOU Hong-xia, CHEN Yong-shan (1484)
Chemical Composition Characteristics of PM _{2.5} Emitted by Medium and Small Capacity Coal-fired Boilers in the Yangtze River Delta Region	XU Jian, HUANG Cheng, LI Li, <i>et al.</i> (1493)
Emission Factors of Heavy Metals in Size-resolved Particles Emitted from Residential Coal Combustion	YAN Qin, KONG Shao-fei, LIU Hai-biao, <i>et al.</i> (1502)
Distribution of Oxalate in Atmospheric Aerosols and the Related Influencing Factors in Qingdao, During Winter and Spring	ZHANG Shuai, SHI Jin-hui, YAO Xiao-hong, <i>et al.</i> (1512)
Concentrations and Solubility of Trace Elements in Atmospheric Precipitation in Qingdao	LI Qian, SHI Jin-hui, LI Peng-zhi, <i>et al.</i> (1520)
Occurrence and Gas-particle Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Air of Liaodong Bay	ZHANG Yu-feng, SONG Yong-gang, TIAN Jin, <i>et al.</i> (1527)
Analysis of Sources, Pollution Characteristics, and Human Exposure to Atmospheric New Halogenated Flame Retardants in Selected Areas	LI Qi-lu, YANG Kong, LI Jun, <i>et al.</i> (1537)
Contamination Characterization and Human Exposure Levels to Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor and Outdoor Air in Industrial Park of Suzhou City	WANG Jun-xia, GU Hai-dong, ZHANG Zhan-en, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Air Pollution on the Cold Disease in Shanghai	YANG Si-xu, MA Yu-xia, ZHOU Jian-ding, <i>et al.</i> (1552)
Fluorescent Dissolved Organic Matter and Its Correlation with Water Quality in a Urban River: A Case Study of the Lujiang River in Beilun, Ningbo	CAO Chang-li, LIANG Meng-qi, HE Gui-ying, <i>et al.</i> (1560)
Relationship Between Landscape Pattern and Water Quality in the Ebinur Lake Region	CAO Can, ZHANG Fei, Ayinigeer·Yalikun, <i>et al.</i> (1568)
CH ₄ Fluxes During the Algal Bloom in the Pengxi River	QIN Yu, ZHANG Yu-yang, LI Zhe, <i>et al.</i> (1578)
Dynamic Variations and Sources of Nitrate During Dry Season in the Lijiang River	MIAO Ying, ZHANG Cheng, XIAO Qiong, <i>et al.</i> (1589)
Heavy Metal Pollution of the Drinking Water Sources in the Lujiang River Basin, and Related Health Risk Assessments	ZHANG Qing-hua, WEI Yong-zhu, CAO Jian-hua, <i>et al.</i> (1598)
Characteristics of Phosphorus Fractions and Phosphate Diffusion Fluxes of Sediments in Cascade Reservoirs of the Huangbai River	LIU Jia, LEI Dan, LI Qiong, <i>et al.</i> (1608)
Occurrence and Ecological Risk Assessment of Typical Persistent Organic Pollutants in Baiyangdian Lake	GAO Qiu-sheng, JIAO Li-xin, YANG Liu, <i>et al.</i> (1616)
Simulating the Fate of Typical Organochlorine Pesticides in the Multimedia Environment of the Pearl River Delta	GAO Zi-wen, XU Yue, YI Ru-han (1628)
Mechanisms and Efficiencies of Removal of PPCPs by Pilot River Water Bypass Treatment Process	LI Li, ZHU Bing, BAI Yao, <i>et al.</i> (1637)
Chlorination of Naproxen: Removal, Transformation and Risk Assessment	FAN Xin-xin, DU Er-deng, LI Jia-qi, <i>et al.</i> (1645)
Removing Typical Odorants in Drinking Water by Vacuum Ultraviolet Combined with Chlorine	SUN Xin, ZHANG Yi, SHI Lu-xiao, <i>et al.</i> (1654)
Degradation of Triclosan by Heat Activated Persulfate Oxidation	JIANG Meng-di, ZHANG Qing-yue, JI Yue-fei, <i>et al.</i> (1661)
Adsorption of Tetracycline on Simulated Suspended Particles in Water	XU Long-feng, WEI Qun-shan, LÜ Qiang, <i>et al.</i> (1668)
Characteristics and Performance of Embedded ANAMMOX Bacteria in Treating Saline Wastewater	SHAN Xiao-jing, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (1677)
Enhanced Nitrogen Removal of ANAMMOX Treating Saline Wastewater With Betaine Addition	YU De-shuang, WU Guo-dong, LI Jin, <i>et al.</i> (1688)
Pilot-scale Experiment on Enrichment of Nitrifying Activated Sludge and Its Application in Enhancing a Wastewater Biological Treatment System Against Ammonia Shocking Loads	SHENG Xiao-lin, CUI Can-can, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (1697)
Effect of Step Feed on Denitrifying Phosphorus and Nitrate Removal in a Modification of the Two Sludge A ² /O-BAF System	NAN Yan-bin, PENG Yong-zhen, ZENG Li-yun, <i>et al.</i> (1704)
Achieving Partial Nitrification in a Continuous-flow Aerobic Granular Sludge Reactor at Different Temperatures Through Ratio Control	LIANG Dong-bo, BIAN Wei, KAN Rui-zhe, <i>et al.</i> (1713)
Mechanism of Action of Activated Sludge Properties in Nitrogen Removal by Endogenous Denitrification Through an Intelligent Aeration-controlled A/O Process	XU Min-yang, HU Zhan-bo, ZHANG Sui-sheng, <i>et al.</i> (1720)
Effect of Temperature on the Performance and Microbial Community Structure in an Integrated Anaerobic Fluidized-bed Membrane Bioreactor Treating Benzothiazole Wastewater	LI Yue, HU Qi, GAO Da-wen (1731)
Removal of Antibiotics During In-situ Sludge Ozone-reduction Process	WANG Lu, BEN Wei-wei, LI Yan-gang, <i>et al.</i> (1739)
Effect of Zero Valent Iron on the Horizontal Gene Transfer of Tetracycline Resistance Genes During Anaerobic Sludge Digestion Process	YANG Fan, XU Wen-li, QIAN Ya-jie, <i>et al.</i> (1748)
Effects of Environmental Factors on the Synergy of Functional Bacteria in Completely Autotrophic Granular Sludge	CHEN Xi, QIAN Fei-yue, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (1756)
Microbiological Characteristics of a Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process	ZHANG Qian, JI Fang-ying, XU Xuan (1763)
Aerobic Denitrification and Microbial Community Shift in SBR Bioaugmented with Strains YH01 and YH02	CHEN Hai-sheng, CAO Gang, ZHANG Di, <i>et al.</i> (1773)
Performance, Sludge Characteristics, and the Microbial Community Dynamics of Bulking Sludge Under Different Nitrogen and Phosphorus Imbalances	HE Xue-meng, DING Li-li, ZHANG Lu-lu, <i>et al.</i> (1782)
Degradation Characteristics and Metabolic Pathway of a Pyrene-Degrading <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain	LI Xiang, ZHANG Xue-ying, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (1794)
Driving Factors of the Dynamics of Microbial Community in a Dam of Copper Mine Tailings	LI Cui, JING Ju-hui, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (1804)
Effects of Reclamation on Soil Nutrients and Microbial Activities in the Huixian Karst Wetland in Guilin	HUANG Ke-chao, SHEN Yu-yi, XU Guang-ping, <i>et al.</i> (1813)
Effects of the Farmland-to-Forest/Grassland Conversion Program on the Soil Bacterial Community in the Loess Hilly Region	CHEN Meng-li, ZENG Quan-chao, HUANG Yi-mei, <i>et al.</i> (1824)
Insight into the Mechanism of Feammox in the Surface Soils of a Riparian Zone	DING Bang-jing, LI Zheng-kui, ZHU Hong-jie, <i>et al.</i> (1833)
Soil Degradation-Associated Microbial Community Structure Changes in an Alpine Meadow Under Tibetan Pig Herding	ZHAN Peng-fei, XIAO De-rong, YAN Peng-fei, <i>et al.</i> (1840)
Characteristics of Iron Plaque and Its Heavy Metal Enrichment in Typical Mangrove Plants in Shenzhen Bay, China	SHEN Xiao-xue, LI Rui-li, CHAI Min-wei, <i>et al.</i> (1851)
Spatial Distribution of DDTs and PCBs in Wild Fish from Hong Kong Coastal Areas and Potential Human Health Risk Assessment	SU Yang, BAO Lian-jun, ZENG Eddy Y (1861)
Pollution Characteristics of PAHs in Soil from a Remote Mountain Wetland-Dajiu Lake, Shengnongjia	HU Tian-peng, XING Xin-li, KE Yan-ping, <i>et al.</i> (1872)
Migration and Transformation of Mercury in Unsubmerged Soil and Sediment at One Typical Forest Reservoir in Southwest China	SUN Tao, MA Ming, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (1880)
Accumulation of Cd and Its Risks in the Soils of the Xijiang River Drainage Basin in Guangxi	SONG Bo, YANG Zi-jie, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (1888)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on As Accumulation in Upland Red Earth and the Crops Growing on It	ZHANG Rong, YU Guang-hui, LI Ya-qing (1901)
Effects of a Tribasic Amendment on Cadmium and Arsenic Accumulation and Translocation in Rice in a Field Experiment	GU Jiao-feng, ZHOU Hang, JIA Run-yu, <i>et al.</i> (1910)
Quantitative Relationship Between Paddy Soil Properties and Cadmium Content in Rice Grains	WANG Meng-meng, HE Meng-yuan, SU De-chun (1918)
Effect of Ca-bentonite on Cu and Zn Forms in Compost and Soil, and Their Absorption by Chinese Cabbage	ZHAO Jun-chao, WANG Quan, REN Xiu-na, <i>et al.</i> (1926)
Effects of Short-term Exogenous Nitrogen and Carbon Input on Soil Respiration Under Changing Precipitation Pattern	HE Yun-long, QI Yu-chun, PENG Qin, <i>et al.</i> (1934)
Effects of Simulated Precipitation Reduction on Soil Respiration in a Soybean-Winter Wheat Rotation Cropland	WANG Zhao-hui, CHEN Shu-tao, SUN Lu, <i>et al.</i> (1943)
Seasonal Variation in Nitric Oxide Emission from an Agricultural Headwater Ditch in the Hilly Purple Soil Area and the Factors Influencing Emission	TIAN Lin-lin, REN Guang-qian, ZHU Bo (1952)
Effects of Seasonal Asymmetric Warming on Soil CO ₂ Release in Karst Region	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i> (1962)