

唱彤, 李慧, 李云玲. 梁子湖流域水域景观格局演变及驱动因子分析[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(5): 951-961.
CHANG T, LI H, LI Y L. Analysis on spatial patterns of water landscape changes and driving forces identification in Liangzi Lake basin[J].
South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(5): 951-961. (in Chinese)

梁子湖流域水域景观格局演变及驱动因子分析

唱彤, 李慧, 李云玲

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要: 为探究自然因素和人类活动对水域景观格局演变产生的影响, 以水域空间演变为主线, 通过空间计算、景观指数分析和统计分析等, 对梁子湖流域 2000—2020 年水域转移状况、空间自相关特征、景观格局变化以及驱动因子进行研究。结果表明: 2000—2020 年梁子湖流域水域面积减少约 21%, 减少面积中约 95% 转为耕地, 建筑用地面积增长超 4 倍, 约 90% 来自耕地的转入; 近 10 年水域空间聚集面积减少约 23%, 水域分布关联性正在减弱; 水域景观特征在流域上下游差异显著, 上游水域面积和形状基本稳定, 聚集性和连通性均优于下游, 下游水域面积萎缩近一半, 阻隔作用明显, 岸线趋于规整; 降水、气温、GDP、人口以及耕地和建筑用地面积比例解释了水域景观变化的 54.7%, 城镇化进程和农业生产活动是主要影响因子, 其中人口增长和耕地开发对水域面积萎缩贡献更大, GDP 增长和城镇化进程对水域边界复杂度和连通性的影响更明显。研究结果可为梁子湖流域水域景观保护修复提供参考。

关键词: 水域空间; 空间自相关; 景观格局; 驱动因子; 梁子湖流域

中图分类号: P96; X143 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0091

景观格局指土地利用的结构组成和在空间上的排列与配置关系^[1], 是研究区域景观功能和动态演变的基础, 是揭示空间变异特征和区域生态状况的有效手段^[2]。景观格局演变与生态过程关系紧密^[3], 体现在景观中生态系统内部和不同生态系统之间物质、能量、信息等的流动和迁移转化^[4], 如水土流失^[5-6]、河湖水质变化^[7]、生物群落组成^[8-9]、区域发展格局^[10-11]等。景观格局的发展演变及其影响因素对区域生态安全意义重大, 不少研究从景观格局出发对湖泊湿地^[12-14]、河流三角洲^[15]、流域景观^[16-17]、工程影响下的区域景观变化特征^[18-19]等进行分析, 并寻求与自然或人类活动的因果关系, 或建立与生态安全^[17]、环境效应^[20]或地表径流过程^[21]的联系。

湖泊是水流系统中的重要结点, 具有水资源供给、洪水调蓄、生物多样性维持、水产品供给和调节小气候等多种功能, 与人们生产生活密切相关。我国湖泊众多, 1998 年出版的《中国湖泊志》中记载, 我国面积大于 1 km² 的湖泊 2 759 个、总面积 91 019.6

km²^[22], 主要分布在东部湖区、东北湖区、蒙新湖区、青藏高原湖区和云贵湖区; 第三次全国国土调查数据公报表明, 截至 2019 年 12 月底我国湖泊面积 84 648 km², 较 20 多年前有所减少。随着近些年极端气候事件频发和人类活动干扰加剧, 不仅湖泊数量、面积和形态变化显著, 还存在湖泊水体富营养化、生态系统退化、洪水调蓄能力降低等问题, 这也是我国湖泊普遍面临的重大问题^[23-24]。梁子湖是长江中游典型的浅水型湖泊, 依赖地表径流和湖面降水补给, 1960 年前为通江敞水湖, 生物资源十分丰富, 生态系统完整^[25-26]。围湖垦殖使得梁子湖与鸭儿湖、保安湖、三山湖完全分离, 2012 年主湖面积缩减为围垦前的 60%。流域内多湖积物和长江淤积物, 土质肥沃, 水质良好, 农业渔业发展优势明显, 加之近些年城市化进程加快, 导致梁子湖水域空间萎缩、功能退化, 景观趋于破碎或单一化, 物种结构趋于单一化^[27], 局部水体存在污染物超标等问题^[28]。

作为长江中下游乃至全国保护较好的草型浅水

收稿日期: 2023-03-06 修回日期: 2023-09-19 网络出版时间: 2023-10-09

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20231007.1537.004>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0407206)

作者简介: 唱彤(1983—), 女, 北京人, 高级工程师, 博士, 主要从事水利规划、河流生态方面研究。E-mail: comechang@126.com

湖泊,梁子湖具有较好的典型性与代表性,已有诸多研究对梁子湖湖滨带^[29]、湖泊水质^[30]、生物群落^[31]、环境基线^[27]等进行了分析,然而较少从流域角度对水域景观格局进行整体分析,对水域空间演变的驱动因素分析也鲜有涉及。因此,本文采用 GlobeLand30 全球地表覆盖数据,根据 2000、2010 和 2020 年土地利用情况,以梁子湖流域水域空间变化为研究主线,利用土地转移矩阵分析流域不同土地利用类型的空间转移状况,利用空间自相关分析、景观指数分析方法,开展梁子湖流域水域空间景观格局的时空演变过程研究,通过冗余分析识别水域空间演变的驱动因子。研究成果对梁子湖群及其他湖泊的保护与可持续利用具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域

梁子湖地处长江中游南岸、湖北省东南部,位于武汉、黄石、鄂州和咸宁四市之间,流域面积 3 477 km²,平均水深 4.16 m。流域内除梁子湖主湖和牛山湖,下游还分布有保安湖、三山湖、豹湖湖、鸭儿湖和严家湖等湖泊,高桥河、金牛港、谢埠河等大小支流汇入主湖,经调蓄后于东部磨刀矶流入长港,经樊口大坝泄入长江。梁子湖流域概况见图 1。梁子湖流域属典型的亚热带大陆性季风气候,冬冷夏热,四季分明,光照充足,雨量充沛,多年平均降水量为 1 297.7 mm,多年平均气温 16.8 ℃。受地质条件影响,梁子湖湖底平坦,形态复杂,岸线曲折蜿蜒,局部湖滨带零星分布有湖泊阶地。为便于分析讨论,将梁子湖主湖和牛山湖以上划分为上游流域,梁子湖主湖和牛山湖以下划分为下游流域。上游流域植被覆盖度较高,受人类活动干扰较小;下游流域受人类活动影响较大,城镇化率较高。

1.2 数据来源与处理

本文收集了梁子湖流域 2000、2010 和 2020 年土地利用数据,降水、气温数据以及人口和国内生产总值(gross domestic product, GDP)数据用于开展空间自相关分析、景观格局指数分析以及冗余分析等。土地利用数据来源于我国发布的 GlobeLand30 全球地表覆盖数据(<http://www.globeland30.org/>),空间分辨率为 30 m,数据主要基于 2000、2010 和 2020 年 3 期美国陆地资源卫星(Landsat)的 TM5、ETM+、OLI 多光谱影像和我国环境减灾卫星(HJ-1)多光谱影像研制而成,总体精度在 83.5% 以上。对

研究区土地利用数据进行随机抽样,通过野外调研进行分类数据验证,数据分类精度在 90% 以上,能够满足研究需要。根据数据类型定义,研究区共涉及耕地、林地、草地、湿地、水体和建筑用地 6 种土地利用类型,考虑本文以水域为研究对象,将水体和湿地合并为水域类型,其余土地利用类型含义参见 GlobeLand30 数据产品介绍。降水和气温数据来自我国 1 km 分辨率逐月降水量和平均气温数据集(1901—2020 年)^[32-33]。人口和 GDP 空间数据来源于空间分辨率为 1 km 的我国 GDP 和人口空间分布公里网格数据集^[34-35]。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用时空转移分析

土地利用在时空上的变化形成土地利用时空转移,转入转出状况可通过转移矩阵描述。土地利用转移矩阵来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述^[36],是将研究期始末土地利用结构和转移面积以二维矩阵的形式表达,不仅能反映研究区某时间节点地类结构,还能分析研究期始末地类转入情况,揭示土地利用演化过程。数学表达式为

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{m1} & \cdots & S_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: S 为研究期始末土地利用状况; S_{ij} 为研究期内土地类型 i 转换成土地类型 j 的面积, km²; $i, j=1, 2, \dots, n$; n 为土地利用类型数。

1.3.2 空间自相关分析

空间自相关是指一些变量在同一个分布区内的观测数据之间潜在的相互依赖性。空间自相关分析是针对某空间单元与其周围单元,就某种特征值通过统计方法进行空间自相关性程度计算,分析空间单元分布特性,以体现某空间位置上的数据与其他位置数据间的相互依赖程度。空间自相关又分为全局自相关和局部自相关,通过全局莫兰指数(Global Moran's I)和局部莫兰指数(Anselin Local Moran's I)衡量不同空间范围内要素属性值聚合或离散的程度。全局和局部莫兰指数统计量计算公式可参考相关文献^[37]。

绘制 1.5 km×1.5 km 网格覆盖研究区域,计算每个网格内不同时间水域面积,将水域面积与网格面积相除得到不同时间水域面积比例网格图,并针对水域面积率计算全局和局部莫兰指数,分析研究区全域和局部区域水域空间集聚特征或异常值分布状况等,局部莫兰指数以 LISA 聚集图表示。

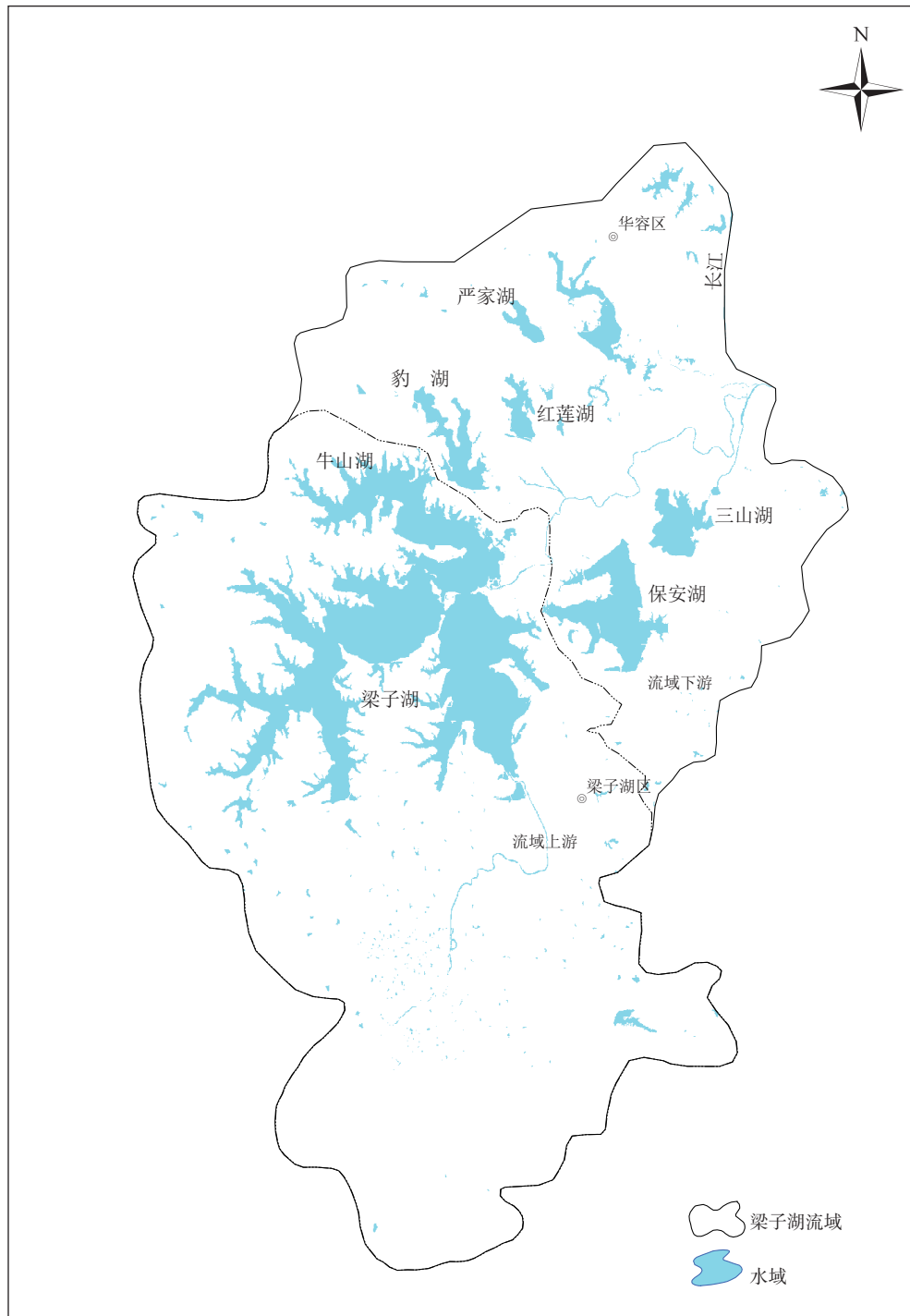


图1 梁子湖流域概况

Fig. 1 General situation of Liangzi Lake basin

1.3.3 景观格局分析

根据研究区土地利用类型分布特征、景观指数含义和相关性等,在类型尺度上选取景观面积占比 (percentage of landscape, PLAND)、斑块密度 (patch density, PD)、最大斑块指数 (largest patch index, LPI)、景观形状指数 (landscape shape index, LSI)、景观分裂度指数 (landscape division index, LDI)、聚合度指数 (aggregation index, AI), 定量描述景观

要素面积、形状、聚散度和连通性等分布特征。景观指数的含义见表1。景观指数数学表达见相关文献^[38]。

1.3.4 冗余分析

冗余分析是解释物种组成数据与实测或潜在环境因子之间关系的一种排序分析方法^[39],是约束化的主成分分析。在流域内,以1.5 km×1.5 km 网格为样方,选取水域面积占比较高且面积变化较大的

207 个网格为样方,以样方内的降水(Prec)和气温(Temp)为自然因子,以人口(Pop)、GDP、耕地面积比例(agPLAND)、建筑用地面积比例(artPLAND)表征经济社会和农业发展以及城镇化进程等,对景

观指数进行中心化和标准化,变量的显著性经过 499 次 Monte Carlo 检验。通过冗余分析(redundancy analysis, RDA)模型,解析水域空间变化与解释变量的关系,识别水域空间演变驱动因素。

表 1 景观指数含义

Tab. 1 Description of landscape metrics

景观指数	取值范围	含义
景观面积占比 (PLAND)/%	$0 < PLAND \leq 100$	表征景观中某类型斑块面积占整个景观面积比例,数值越大面积占比越高
斑块密度 (PD)/(个·hm ⁻²)	$0 < PD$	表征某景观类型破碎程度,数值越大越破碎
最大斑块指数 (LPI)/%	$0 < LPI \leq 100$	表征某种类型景观的优势度,数值越大优势度越大
景观形状指数 (LSI)	$LSI \leq 1$	表征某景观类型形状复杂程度,数值越大形状越复杂
景观分裂度指数 (LDI)	$0 \leq LDI < 1$	表征景观中某类型斑块聚集或分离分布程度,数值越大分布越离散
聚合度指数 (AI)/%	$0 \leq AI \leq 100$	表征景观斑块间的连通性,取值越大则连通性越强

2 结果与分析

2.1 梁子湖流域水域空间转移状况

耕地在流域内占比最高,达到 60%,其次为林地和水域。根据流域土地利用转移矩阵表 2 至表 4: 2000—2010 年,耕地面积变化不大,转入转出面积基本平衡;林地面积减少约 4.5%,主要转向耕地;水域面积增加约 4%,主要为耕地转入;建筑用地面积增加近 20%,以耕地转入为主。2010—2020 年,耕地面积基本不变;林地面积略有减少;由于耕地和林地的转入,草地面积增加 15%;水域面积减少比例最大,为 24%,减少面积大部分转为耕地;建筑用地面积增加 268%,主要为耕地面积的转入。总体看,2000—2020 年,耕地面积转入转出基本实现动态平衡,转出面积中转为林地、水域和建筑用地面积比例为 25%、10% 和 59%,转入耕地面积中来自林地、水域和建筑用地的面积比例为 33%、63% 和 2.4%;水域面积减少约 21%,大部分转为耕地;建筑用地面积增加超 4 倍,主要发生在 2010—2020 年,原因为耕地和林地转入,耕地面积转入占 88%。2000—2010、2010—2020、2000—2020 年梁子湖流域土地利用转移弦图见图 2。2000—2020 年梁子湖流域水域转为其他类型土地在流域下游分布较为集中,水域转为其他类型土地空间分布见图 3。

2.2 水域空间自相关分析

由水域空间自相关计算(表 5)可知:在显著性水平小于 0.001 的情况下,水域空间分布均呈现空间聚集特性;聚集性随时间推移呈微弱下降趋势。

表 2 2000—2010 年梁子湖流域土地利用转移矩阵

Tab. 2 Land use transition matrix of Liangzi

Lake basin from 2000 to 2010 单位: km²

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	2000年合计
耕地	1 912.4	38.5	5.9	130.2	16.2	2 103.2
林地	72.1	580.1	7.3	6.1	1.4	667.0
草地	3.7	6.4	40.1	0.1	0.6	51.0
水域	101.3	11.1	0.4	493.4	0.2	606.4
建筑用地	6.9	1.2	0.5	0.2	40.8	49.5
2010年合计	2 096.4	637.3	54.1	630.0	59.2	3 477.1

表 3 2010—2020 年梁子湖流域土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transition matrix of Liangzi

Lake basin from 2010 to 2020 单位: km²

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	2010年合计
耕地	1 809.8	60.1	15.4	61.2	149.8	2 096.4
林地	53.9	549.1	13.0	11.3	9.9	637.3
草地	5.3	11.3	33.0	0.6	4.0	54.2
水域	223.2	1.7	0.1	403.1	1.9	630.0
建筑用地	4.8	1.1	0.9	0.1	52.4	59.3
2020年合计	2 097.1	623.3	62.3	476.3	218.0	3477.1

表 4 2000—2020 年梁子湖流域土地利用转移矩阵

Tab. 4 Land use transition matrix of Liangzi

Lake basin from 2000 to 2020 单位: km²

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	2000年合计
耕地	1 836.9	66.3	16.4	26.1	157.5	2 103.2
林地	84.9	540.8	12.7	15.1	13.6	667.0
草地	5.2	10.1	31.7	0.5	3.4	51.0
水域	163.9	4.5	0.6	434.6	2.9	606.4
建筑用地	6.2	1.6	1.0	0.0	40.7	49.5
2020年合计	2 097.1	623.3	62.3	476.3	218.0	3477.1

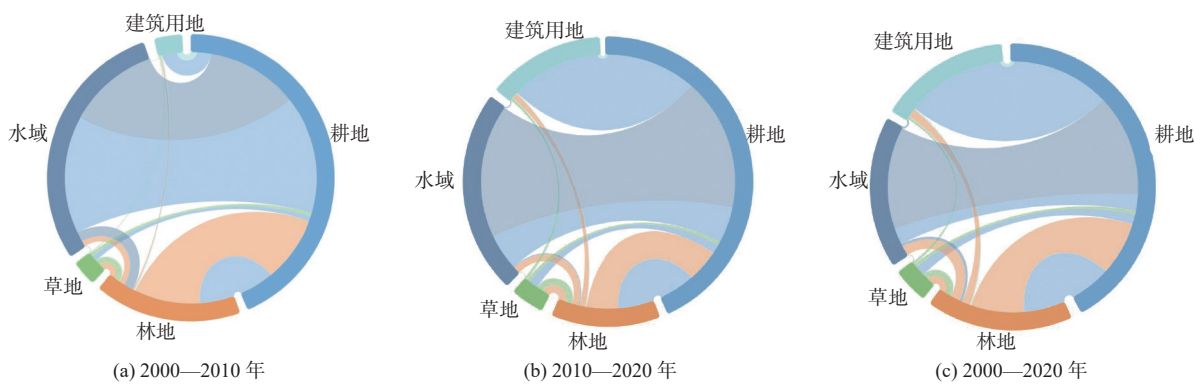


图2 不同时段梁子湖流域土地利用转移弦图

Fig. 2 Chord charts of land use transfer in Liangzi Lake basin in different periods of time

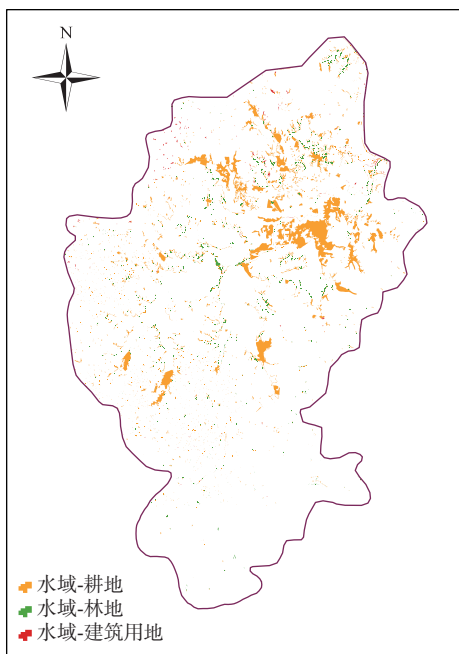


图3 2000—2020年梁子湖流域水域转为其他类型土地的空间分布

Fig. 3 Distribution of water coverage transfer to other type of land use in Liangzi Lake basin from 2000 to 2020

表5 梁子湖流域水域空间全局自相关结果

Tab. 5 Results of global spatial autocorrelation of water landscape in Liangzi Lake basin

年份	Moran's <i>I</i>	Z-score
2000	0.764	60.7
2010	0.739	58.7
2020	0.723	57.5

为更直观地揭示水域在局部空间聚集离散的对位置,根据局部空间自相关计算结果(图4),2000—2020年梁子湖流域水域空间高值聚集空间类型经历了先增后减的趋势,2010—2020年减少了23%,主要分布在保安湖、三山湖、豹澥湖和红莲湖等附近区域。水域空间低值聚集类型减少23%,

主要发生在2010—2020年,由之前连片分布在流域靠近外边界的区域逐渐萎缩、离散演变成只在南部丘陵区 and 东部区域呈小片分布,以江夏区和大冶市最为突出。高、低值聚集的连片分布表明景观相对完整,而破碎化分布说明其关联性正在减弱,不相关类型面积2010—2020年增加了40%,也印证了这一结果。

2.3 梁子湖流域景观格局时空变化

2.3.1 流域景观格局变化

梁子湖流域不同土地利用类型景观指数见表6。由景观面积比例可知,耕地、林地和水域是流域景观中面积占比最高的3个优势类型,分布范围较广,决定了流域的产汇流特征。水域面积率先增后减,且2010—2020年下降速率明显加快;耕地面积比例呈轻微波动;林地面积略有减少;建筑用地面积显著增加,2010—2020年面积比例增长3.7倍。耕地最大斑块指数显著高于其他类型景观,出现轻微波动;水域最大斑块指数呈明显先增后减趋势,且伴随着耕地和林地最大斑块指数的先减后增;建筑用地最大斑块指数显著增加,同样在2010—2020年快速增长。从斑块密度看,水域斑块密度持续减少,结合水域面积比例和最大斑块指数,表明流域内的小微型水体正在消失;建筑用地斑块密度持续增加,综合考虑面积率和最大斑块指数,城镇化进程正在持续发展。对于最大形状指数而言,耕地、林地、草地和水域景观形状指数呈降低或波动下降趋势,表明形状复杂性和不规则性有所下降,其中水域景观形状指数下降明显,水域形状更加趋于简单化。根据景观分裂度指数,耕地是流域内聚集程度最高的景观类型,2000—2020年分裂度指数呈轻微波动;水域空间分裂度指数呈现先降后增的趋势,表明水域分布呈相对聚集趋势后又趋于破碎化,与

耕地聚散分布变化趋势相反。从聚合度指数看,耕地、水域、草地和建筑用地的聚合度均呈逐渐增加

趋势,表明耕地、水域、草地和建筑用地物理空间连通性有所增加,林地连通状况呈先增后降的趋势。

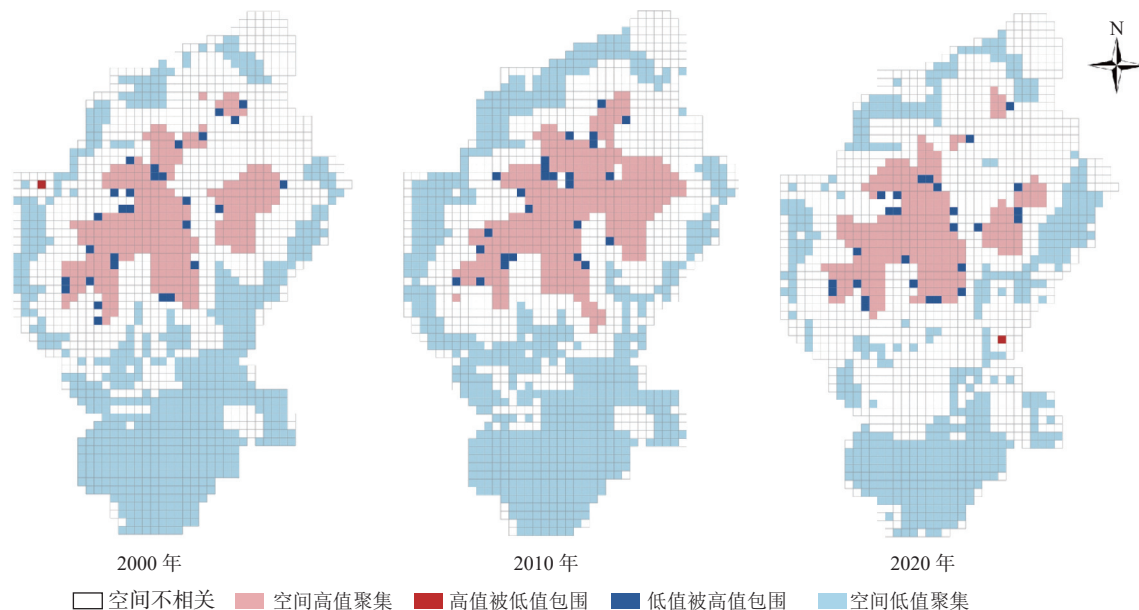


图 4 2000—2020 年梁子湖流域水域空间 LISA 聚集图

Fig. 4 LISA cluster map in Liangzi Lake basin from 2000 to 2020

表 6 2000—2020 年梁子湖流域景观指数

Tab. 6 Landscape metrics of Liangzihu basin from 2000 to 2020

年份	类型	PLAND/%	PD/(个·hm ⁻²)	LPI/%	LSI	LDI	AI/%
2000	耕地	60.366	0.177	58.868	58.948	0.653	96.203
	林地	19.207	1.649	4.016	88.597	0.997	89.815
	草地	1.516	1.561	0.038	84.652	1	65.235
	水域	17.468	0.637	9.406	40.877	0.990	95.138
	建筑用地	1.443	0.358	0.105	39.476	1	83.616
2010	耕地	60.188	0.258	57.809	55.751	0.666	96.404
	林地	18.358	2.668	4.015	92.629	0.998	89.094
	草地	1.607	1.598	0.046	84.641	1	66.209
	水域	18.119	0.263	15.129	31.653	0.977	96.327
	建筑用地	1.728	0.401	0.109	42.865	1	83.704
2020	耕地	60.202	0.334	58.716	54.207	0.655	96.509
	林地	17.957	1.755	4.023	81.732	0.998	90.297
	草地	1.842	1.490	0.117	79.779	1	70.335
	水域	13.701	0.158	9.253	23.422	0.991	96.913
	建筑用地	6.300	0.404	1.811	36.467	1	92.795

2.3.2 水域景观格局变化

考虑流域内水域空间分布状况,上游为梁子湖主湖和牛山湖,水域面积大,下游以多个相对独立分布的小型湖泊为主,水域空间上下游分布特征差异显著。为突出上下游不同水域空间演变过程,以主湖(含牛山湖)所在的上游区域和下游湖群两片区

分别进行水域景观格局变化分析,见表 7。在上游片区,水域面积率基本稳定,最大景观指数约为 14.2%,呈轻微波动但变化不大;在下游片区,水域面积率和最大景观指数均变化显著,且呈先增后降趋势,近 20 年减少比例分别超过 40% 和 60%,水域面积萎缩严重,湖泊斑块减小或切割现象明显。水

域斑块密度:从空间变化看,上游略高于下游;从时间变化看,随时间推移水域斑块密度显著下降,其中2000—2010年下降幅度更大;结合水域面积率和最大斑块指数,上游以微型水体的消失为主要表现形式,下游则以湖泊面积的萎缩消失为主。水域形状指数上游普遍低于下游,表明下游湖泊较上游湖泊边界和形状更趋复杂和不规则;从时间变化看,上下游湖泊边界形状指数均呈下降趋势,上游和下

游边界形状指数下降率分布为32%和51%,下游湖泊边界形状复杂度降低速度更快。水域景观分裂度指数下游大于上游,表明下游水域聚集度低于上游:上游水域空间聚集度随时间先增后降,下游呈相反趋势;上下游总体略有增加,表明水域空间聚集度略有下降。水域聚合度指数表明,水域连通性上游总体优于下游,且随时间连通性有所增加,下游水域连通性增加速度大于上游。

表7 2000—2020年梁子湖流域上下游水域景观指数
Tab.7 Water landscape metrics of upper and lower basin of Liangzi Lake from 2000 to 2020

片区	年份	PLAND/%	PD/(个·hm ⁻²)	LPI/%	LSI	LDI	AI/%
上游	2000	16.733	0.671	14.858	25.462	0.978	96.169
	2010	15.365	0.296	13.243	21.250	0.982	96.687
	2020	15.678	0.169	14.601	17.292	0.979	97.364
下游	2000	18.774	0.584	8.372	33.584	0.992	93.665
	2010	22.921	0.217	18.409	23.701	0.966	96.003
	2020	10.310	0.142	3.345	16.605	0.998	95.904

2.4 梁子湖下游湖群水域空间演变驱动因子分析

通过冗余分析中的方差分解分析,寻求水域景观指数与自然和人为因子的响应关系。结果表明,在0.001显著水平下,自然和人为因子解释了水域景观变化的54.7%,其中,降水和气温单独解释了24.2%,人为因子单独解释了51.6%,两者共同作用部分为21.0%。

降水、气温等自然因子对水域景观变化的解释力约为人为因子解释力的一半,且其中的大部分为与人为因子共同作用的部分。当降水和气温单独作用时,与水域景观形成的双序图见图5(a)。降水增加对水域面积增加、水域形状复杂度提升和连通性改善起显著作用,与此相反气温则与上述水域景观特征呈显著的负相关关系。人类活动因子与水

域景观形成的双序图见图5(b)。Pop、GDP、耕地面积比例(agPLAND)和建筑用地面积比例(artPLAND)与水域景观指数均呈负相关关系,其中在人口和耕地面积比例因子梯度轴上,水域景观指数的最适值排序为水域面积比例>聚合度指数>形状指数,表明人口增长或耕地面积增加对水域面积萎缩的作用最大,其次为水域连通性降低,最后为形状趋于规整化;在GDP和建筑用地变化梯度轴上,水域面积比例、聚合度指数和形状指数在梯度轴上的投影长度较为接近,表明GDP和建筑用地变化对水域面积、连通性和形状变化的影响相对均衡,但也存在差异,通过投影长度可知,GDP增长和建筑用地增加对水域形状简单化作用略大,其次为连通性降低,最后水域面积减小,也即负相关作用由强到弱分别为水域形状复杂度>连通性>水域面积。

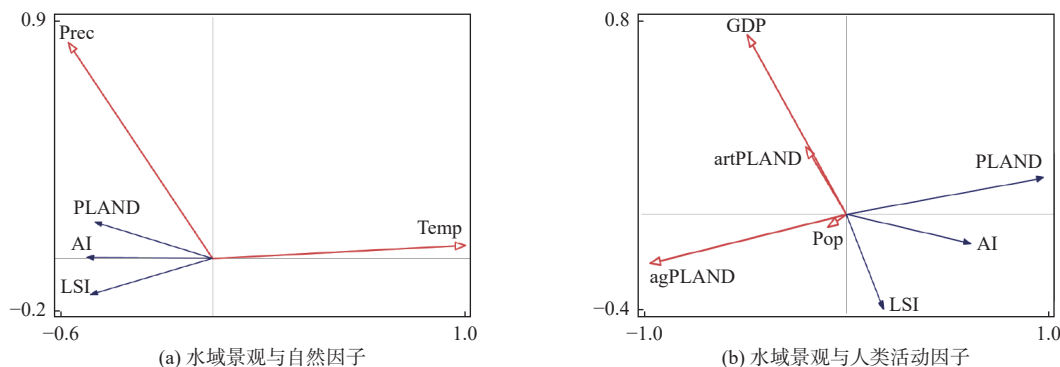


图5 水域景观与自然和人类活动因子冗余分析排序图

Fig.5 RDA ordination of natural and artificial factors with water landscape metrics respectively

3 讨论

水域景观格局演变影响因素众多,除已选取的自然和人为因子外,流域内的植被与土壤类型、局部微地形、区域发展战略与政策制定^[40-41]、河湖保护意识增强、水生态保护区划定^[42]、景观开发、科技发展等都会对水域空间变化产生直接或间接影响,这些因子或单独作用或共同作用,有些尚难量化。在本研究的时空尺度下,城镇化进程、农业活动等是造成梁子湖流域水域空间萎缩的主要原因,其中耕地侵占是水域面积减少的直接原因,城镇发展占地是水域面积减少的根本原因,与已有研究^[43-44]结论具有相容性。

对比耕地侵占与城镇化进程加快对水域空间的影响,两者差异明显。耕地侵占是直接侵占水域面积;而城镇化进程对水域的影响最直接的体现在水域形状变化,水域边界逐渐趋于简单化与规整化,通过对边界形状的改变降低水域连通性,使原本连通的水域空间趋于破碎,分离且破碎的水域空间更容易被侵占,不断重复上述过程导致水域空间萎缩。城镇化进程对水域空间的影响与城镇用地演变特征具有一致性^[45-46]。

根据梁子湖水域空间演变趋势以及影响因子分析结果,加强湖泊水域空间管理与保护是维持水域面积与湖泊形状、维持原有连通性等的重要手段。在实际管控过程中,应严格划定湖泊管理范围,尊重湖泊岸线的自然弯曲,维持或恢复湖泊原有连通特征,在湖泊管理范围基础上向陆域空间进行适当延伸,形成足够宽度的保护控制带,优化保护控制带内植被结构和配置,充分发挥湖泊管理保护范围内湖滨带污染物拦截和净化、控制沉积和侵蚀、调蓄洪水、提供动植物栖息地、提高生物多样性等功能。

梁子湖流域地处武汉城市圈发展格局中“一核一带一环”的交汇区,统筹城乡发展、推进绿色低碳发展是今后发展的主要任务之一。梁子湖保护与治理应以流域为单元,立足流域农业区和生态区的特点,科学划定城镇发展空间,处理好与生态空间和农业空间的关系,有序高效开发城镇空间,注重降低影响开发和绿色基础设施建设。

4 结论

2000—2020 年梁子湖流域水域面积减少约

21%,减少面积中的大部分转为耕地;作为流域景观中典型的优势类型,耕地面积比例基本维持在流域面积的 60%;建筑用地面积增长超过 4 倍,近九成成为耕地的转入。水域转为其他类型土地主要分布在三山湖、保安湖、豹澥湖等流域下游区域。水域面积减少看似被耕地侵占,实则通过耕地转建筑用地的方式被城镇发展空间占用。

水域空间聚集特征在流域层面变化不大,但从局部区域看,水域高值和低值聚集面积均呈减少趋势,且 2010—2020 年减少 23%,不相关类型面积增加了 24%,水域空间关联性正在减弱或消失。

流域内水域面积和最大斑块面积先增后减,2010—2020 年减小趋势明显,小微型水体正在消失,水域形状复杂性和不规则性降低,水域空间分布趋于破碎。上下游差异显著,其中:上游流域水域面积和形状基本稳定,以微型水体消失为主,水域聚集性和连通性均优于下游;下游流域水域面积萎缩近一半,岸线趋于规整化和单一化,水域阻隔和斑块切割作用明显。

选取的自然和人为因子解释了水域景观变化的 54.7%,人为因子的解释力是降水和气温等自然因子的 2 倍,人类活动是水域景观变化的主要影响因素。人口、GDP、耕地和建筑用地面积比例均与水域景观指数呈负相关关系,其中,人口和耕地面积增加对水域面积萎缩贡献更大,其次为连通性降低和形状简单化,而 GDP 增长和城镇化进程主要影响水域边界形状复杂度和连通性,对水域面积的影响次之。

参考文献:

- [1] 邹婧,曾辉.城市地表热环境与景观格局的关系:以深圳市为例[J].*北京大学学报(自然科学版)*,2017,53(3):436-444. DOI: 10.13209/j.0479-8023.2017.021.
- [2] 胡绵好,袁菊红,蔡静远,等.河流城市土地利用景观格局变化及其生态风险分析:以江西省德兴市为例[J].*生态科学*,2018,37(1):78-86. DOI: 10.14108/j.cnki.1008-8873.2018.01.011.
- [3] 孙天成,刘婷婷,褚琳,等.三峡库区典型流域“源”“汇”景观格局时空变化对侵蚀产沙的影响[J].*生态学报*,2019,39(20):7476-7492. DOI: 10.5846/stxb201809252079.
- [4] 吕一河,陈利顶,傅伯杰.景观格局与生态过程的耦合途径分析[J].*地理科学进展*,2007,26(3):1-10.

- DOI: [10.3969/j.issn.1007-6301.2007.03.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-6301.2007.03.001).
- [5] 周添惠, 杨磊, 赵方凯, 等. 渭河源流域源汇景观演变对径流泥沙的影响[J]. *生态学报*, 2022, 42(1): 58-66. DOI: [10.5846/stxb202011022806](https://doi.org/10.5846/stxb202011022806).
- [6] 陈万旭, 梁加乐, 卞娇娇, 等. 黄河流域景观破碎化对土壤保持服务影响研究[J]. *地理科学*, 2022, 42(4): 589-601. DOI: [10.13249/j.cnki.sgs.2022.04.004](https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2022.04.004).
- [7] 刘超, 王智源, 张建华, 等. 景观类型与景观格局演变对洪泽湖水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(8): 3302-3311. DOI: [10.13671/j.hjkxxb.2021.0247](https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2021.0247).
- [8] 王让会. 景观尺度、过程及格局(LSP)研究的内涵及特点[J]. *热带地理*, 2018, 38(4): 458-464. DOI: [10.13284/j.cnki.rddl.003061](https://doi.org/10.13284/j.cnki.rddl.003061).
- [9] 杨婉清, 杨鹏, 孙晓, 等. 北京市景观格局演变及其对多种生态系统服务的影响[J]. *生态学报*, 2022, 42(16): 6487-6498. DOI: [10.5846/stxb202107272042](https://doi.org/10.5846/stxb202107272042).
- [10] 田翠翠, 朱忆秋, 褚艳玲, 等. 粤港澳大湾区景观格局时空变化及其驱动力研究[J]. *环境科学与管理*, 2021, 46(4): 98-103. DOI: [10.3969/j.issn.1673-1212.2021.04.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1212.2021.04.026).
- [11] 雷越, 张学斌, 罗君, 等. 基于不同样带的干旱区城市景观格局时空演变特征: 以张掖市为例[J]. *生态学报*, 2023, 43(5): 2-15. DOI: [10.5846/stxb202202210408](https://doi.org/10.5846/stxb202202210408).
- [12] SUN Q, SUN J, BAIDURELA A, et al. Ecological landscape pattern changes and security from 1990 to 2021 in Ebinur Lake Wetland Reserve, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 145: 109648. DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.109648](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109648).
- [13] MA G Q, LI Q J, YANG S Y, et al. Analysis of landscape pattern evolution and driving forces based on land-use changes: a case study of Yilong Lake watershed on Yunnan-Guizhou plateau[J]. *Land*, 2022, 11(8): 1276. DOI: [10.3390/land11081276](https://doi.org/10.3390/land11081276).
- [14] 李昭阳, 王瑶, 杨洁, 等. 1985—2015年吉林省湖泊资源演变的时空动态特征[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2020, 18(4): 121-129. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0079](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0079).
- [15] ZHANG X J, WANG G Q, XUE B L, et al. Dynamic landscapes and the driving forces in the Yellow River Delta wetland region in the past four decades[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 787: 147644. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.147644](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147644).
- [16] SCORDO F, SEITZ C, MELO D W, et al. Natural and human impacts on the landscape evolution and hydrography of the Chico River basin (Argentinean Patagonia)[J]. *Catena*, 2020, 195: 104783. DOI: [10.1016/j.catena.2020.104783](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104783).
- [17] MA L B, BO J, LI X Y, et al. Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: the middle and lower reaches of Shule River basin as an example[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 674: 424-438. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.04.107](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107).
- [18] 王维琛, 蔡宴朋, 孙炼, 等. 向家坝水电工程影响下区域土地利用及景观格局变化[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2018, 16(5): 77-84. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2018.0127](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2018.0127).
- [19] 张丽伟, 周丙锋, 田金炎, 等. 基于GF-2影像的大运河及河长制治理成效评价[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(4): 700-707, 728. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2021.0073](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2021.0073).
- [20] 马小雪, 吴昊, 秦伯强, 等. 长江经济带景观格局动态演变及其景观生态环境效应[J]. *地理科学*, 2022, 42(10): 1706-1716. DOI: [10.13249/j.cnki.sgs.2022.10.003](https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2022.10.003).
- [21] BIN L L, XU K, XU X Y, et al. Development of a landscape indicator to evaluate the effect of landscape pattern on surface runoff in the Haihe River basin[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 566: 546-557. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2018.09.045](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.045).
- [22] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [23] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 799-810.
- [24] 秦伯强, 高光, 胡维平, 等. 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 9-16. DOI: [10.3321/j.issn:1003-5427.2005.01.002](https://doi.org/10.3321/j.issn:1003-5427.2005.01.002).
- [25] 葛继稳, 梅伟俊, 刘胜祥, 等. 梁子湖湿地自然保护区生物多样性研究[J]. *湖北林业科技*, 2003(S1): 38-43.
- [26] 许隆君, 陆鑫歆, 王忠锁. 梁子湖浮游甲壳动物的生物多样性[J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6419-6428. DOI: [10.3321/j.issn:1000-0933.2009.12.014](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-0933.2009.12.014).
- [27] 吴卫菊, 王玲玲, 张斌, 等. 梁子湖流域环境基线调查与评价[J]. *水资源保护*, 2015, 31(3): 98-102. DOI: [10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.019](https://doi.org/10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.019).

- [28] 吴卫菊, 王玲玲, 张斌, 等. 梁子湖水生生物多样性及水质评价研究[J]. *环境科学与技术*, 2014, 37(10): 199-204. DOI: [10.3969/j.issn.1003-6504.2014.10.039](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-6504.2014.10.039).
- [29] 胡艳欣, 周建伟, 冯海波, 等. 梁子湖水位波动对湖岸植被分布格局的影响[J]. *节水灌溉*, 2022(8): 91-95, 101.
- [30] 王红, 姚君兰, KUNG H T, 等. 梁子湖水环境时空变异分析[J]. *环境工程技术学报*, 2017, 7(2): 161-167. DOI: [10.3969/j.issn.1674-991X.2017.02.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-991X.2017.02.024).
- [31] 朱新鹏. 梁子湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [32] 彭守璋. 中国1 km分辨率逐月平均气温数据集(1901—2020) [DB]. 国家青藏高原科学数据中心, 2019. DOI: [10.11888/Meteoro.tpdc.270961](https://doi.org/10.11888/Meteoro.tpdc.270961). DOI: [10.11888/Meteoro.tpdc.270961](https://doi.org/10.11888/Meteoro.tpdc.270961)
- [33] 彭守璋. 中国1 km分辨率逐月降水量数据集(1901—2020) [DB]. 时空三极环境大数据平台, 2020. DOI: [10.5281/zenodo.3185722](https://doi.org/10.5281/zenodo.3185722).
- [34] 徐新良. 中国GDP空间分布公里网格数据集[DB]. 资源环境科学数据注册与出版系统. DOI: [10.12078/2017121102](https://doi.org/10.12078/2017121102).
- [35] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集[DB]. 资源环境科学数据注册与出版系统. DOI: [10.12078/2017121101](https://doi.org/10.12078/2017121101).
- [36] 吴健, 陈力, 邱思静, 等. 黄浦江上游水源保护区土地利用动态及驱动力分析[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2021(2): 110-119. DOI: [10.3969/j.issn.1000-5641.2021.02.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-5641.2021.02.011).
- [37] 乔斌, 祝存兄, 曹晓云, 等. 格网尺度下青海玛多县土地利用及生态系统服务价值空间自相关分析[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(5): 1660-1672. DOI: [10.13287/j.1001-9332.202005.014](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202005.014).
- [38] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [39] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件Canoco 5介绍[J]. *生物多样性*, 2013, 21(6): 765-768. DOI: [10.3724/SP.J.1003.2013.04133](https://doi.org/10.3724/SP.J.1003.2013.04133).
- [40] 胡学东, 邹利林. 生态优先导向下长江经济带土地利用景观格局演变及驱动机制研究: 以武汉市为例[J]. *地域研究与开发*, 2020, 39(3): 138-143, 149. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2363.2020.03.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2363.2020.03.025).
- [41] 胡冬雪, 唐立娜, 邱全毅, 等. 海峡西岸经济区景观格局10年变化及驱动力[J]. *生态学报*, 2015, 35(18): 6138-6147.
- [42] 张月, 张飞, 王娟, 等. 近40年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(21): 7082-7097. DOI: [10.5846/stxb201609081825](https://doi.org/10.5846/stxb201609081825).
- [43] 曹隽隽, 周勇, 叶青清, 等. 江汉平原耕地资源空间格局变化分析[J]. *经济地理*, 2013, 33(11): 132-137. DOI: [10.15957/j.cnki.jjdl.2013.11.021](https://doi.org/10.15957/j.cnki.jjdl.2013.11.021).
- [44] 张韵, 彭建东, 王晶晶, 等. 基于地学信息图谱的江汉平原土地利用时空变化分析[J]. *水土保持研究经济地理*, 2020, 27(4): 85-92. DOI: [10.13869/j.cnki.rswc.2020.04.012](https://doi.org/10.13869/j.cnki.rswc.2020.04.012).
- [45] 刘菁华, 李伟峰, 周伟奇, 等. 京津冀城市群景观格局变化机制与预测[J]. *生态学报*, 2017, 37(16): 5324-5333. DOI: [10.5846/stxb201605220981](https://doi.org/10.5846/stxb201605220981).
- [46] 冯浩城, 杨青山. 基于遥感数据的建三江垦区城镇用地扩张时空特征及驱动力分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(8): 1178-1185. DOI: [10.13249/j.cnki.sgs.2017.08.007](https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2017.08.007).

Analysis on spatial patterns of water landscape changes and driving forces identification in Liangzi Lake basin

CHANG Tong, LI Hui, LI Yunling

(General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources of China, Beijing 100120, China)

Abstract: Landscape pattern and its changes are of great importance to ecological processes and security in basin or region. Liangzi Lake is a typical well protected grassy shallow lake in China. It plays important roles of flood storage, water supply, gene pool, freshwater products supply and so on. However, due to continuous reclamations for farmlands and urbanization, problems related to water area shrinkage, ecological functional degeneration and landscape fragmentation are raising continuously. Exploring the dynamic changes of water landscape and its driving factors from the perspective of landscape pattern in whole basin would obtain in-deep understanding of landscape

characteristics and provide scientific references of Liangzi Lake protection from basin-wide perspective.

The methods of spatial analysis, landscape metrics analysis and biostatistical analysis are applied in this paper. Taking water landscape as the research object, transition matrix analysis is used to describe transitions between water area and other types of land use during study phase. Aggregation feature and outlier distribution of water area are studied through spatial autocorrelation analysis. Landscape metrics analysis is used to express the features of area, shape, aggregation and connectivity quantitatively, while redundancy analysis is employed to seek for the driving forces of dynamics changes.

From 2000 to 2020, farmland area remained unchanged basically, while water area showed 21% decrease because of water coverage being reclaimed for use as farmlands. Urban area increased by more than 4 times by means of farmlands transferred into. Water area clustered spatially with a weakening trend. The distribution of High value aggregation and Low value aggregation in water area got more fragmented, and the area of Not Significant type increased by 40% in last decade. PLAND and LPI of water area had trend of increasing followed by trend of decreasing. PD dropped gradually with an obvious decline of LSI. There were significant differences between upper and lower basin - PLAND and LPI of water area in upper area were about 16% and 14% respectively, while PLAND and LPI in lower area decreased by more than 40% and 60% respectively. Shape of water area in lower area was more complicated than in upper area, and LSI of upper and lower area declined by 32% and 51% respectively. Aggregation and connectivity in upper area were better than those in lower area. Variation partitioning of redundancy analysis shows the 54.7% changes of water landscape are a result of natural and artificial factors, of these influences, 24.2% of the changes coming from precipitation and temperature, while 51.6% coming from contribution of human activities, the overlapping part is 21.0%.

From 2000 to 2020, surface area of water in Liangzi Lake has decreased by 21% because of agricultural reclamation directly, which then being reclaimed for urbanized purposes, leading to 4-time area increases of artificial surfaces. Farmland area remains unchanged, water area decreased attributed to urbanized purposes indirectly. There is a steady water area aggregation in whole basin, while the relevance of water area in local region are becoming decreased or disappeared. Micro-water body are disappearing with the tendency of decreasing of complexity and irregularity. Water area distribution tends to be fragmented, however significant differences present between upper and lower basin areas. There are not much changes of spatial distribution of water landscape in upper basin area, but in lower basin area, water area reduced by nearly half. Shoreline tends to be normalized and unified with an obvious obstruction and cut of water body. 54.7% of the changes of water landscape are the result of precipitation, temperature, population, GDP and area ratio of farmland and artificial surface. Human activities are the main factors, whose explanatory power are twice of natural factors. Population and farmland area rate make more contributions to the water landscape area, meanwhile GDP and urbanization process have more effects on shape complexity and connectivity.

Key words: water landscape; spatial autocorrelation; landscape pattern; driving factor; Liangzi Lake basin