

DOI: 10.5846/stxb201704050579

陈昆仑, 齐漫, 王旭, 黄耿志. 1995—2015 年武汉城市湖泊景观生态安全格局演化研究. 生态学报, 2019, 39(5): - .

Chen K L, Qi M, Wang X, Huang G Z. Study of urban lake landscape ecological security pattern evolution in Wuhan, 1995—2015. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5): - .

1995—2015 年武汉城市湖泊景观生态安全格局演化研究

陈昆仑¹, 齐漫², 王旭³, 黄耿志^{4,*}

1 中国地质大学(武汉)体育学院, 武汉 430074

2 辛辛那提大学地理系, 辛辛那提, 45220, 美国

3 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430074

4 广州地理研究所, 广州 510070

摘要:以 1995、2005、2015 年 3 期遥感影像为数据源,通过景观指数和 GIS 空间分析方法研究武汉中心城区湖泊系统景观格局的演化特征,进而构建湖泊景观生态安全评价模型,以揭示武汉中心城区湖泊系统景观生态安全格局演变规律,并探讨其驱动因素。研究结果表明:(1)近 20 年来武汉中心城区湖泊系统总面积呈现不断下降趋势,1995—2005 年以年均 2.4% 的速率缩减了 28.95 km²,2005—2015 年以年均 1.8% 的速率缩减了 17.47 km²。(2)研究期湖泊系统的斑块密度、分维数呈现不断降低趋势,这表明武汉中心城区湖泊破碎化程度在不断降低,湖泊形状趋于简化;而连接度呈现不断增加趋势,湖泊分布集聚趋势不断加强,空间结构趋于紧凑集中。(3)武汉城市湖泊系统总体景观生态安全呈现不断恶化趋势,而次级湖泊水系景观生态安全呈现不同的演化特征。城市建成区的迅速扩展、湖泊由农业生产对象转化为可利用发展用地、房地产业成为支柱产业是湖泊系统遭填占最主要的动力,直接危害了其景观生态安全,而市民环境意识提高引发湖泊保护倡议和实践,对湖泊景观生态安全产生着积极影响。本文对湖泊景观生态安全格局演变特征及驱动因素的研究,可以为武汉制定行之有效的生态管理政策和环境治理措施提供重要支撑。

关键词:武汉;湖泊系统;景观指数;生态安全格局演变

Study of urban lake landscape ecological security pattern evolution in Wuhan, 1995—2015

CHEN Kunlun¹, QI Man², WANG Xu³, HUANG Gengzhi^{4,*}

1 School of Sports, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2 Department of Geography, University of Cincinnati, Cincinnati 45220, USA

3 School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4 Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China

Abstract: Using the remote sensing images of 1995, 2005, and 2015 as the data sources, this paper explored the temporal and spatial characteristics of the lake landscape pattern in the central district of Wuhan through selected landscape indices and the GIS spatial analysis method. Subsequently, the ecological security evaluation model of the lake landscape was established to reveal the temporal and spatial characteristics of the landscape ecological security pattern of the lake system. The results showed that: (1) In the past 20 years, the total area of the urban lake showed a decreasing trend. The lake area decreased by 28.95 km² at an annual average decreasing rate of 2.4% from 1995 to 2005, and 17.47 km² at 1.8% in the time

基金项目:国家自然科学基金项目(41401181,41771137)

收稿日期:2017-04-05; 修订日期:2018-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hhhgz@126.com

period 2005 - 2015. (2) The patch density and fractal dimension of the lake system both showed a decreasing trend, which indicated that the fragmentation of lakes was decreasing, and the shape was becoming simplified. The connectivity index showed a rising trend, which indicated that the lake space structure was becoming more compact. (3) The overall ecological safety of the urban lake system showed a deteriorating trend during the period 1995 - 2015. Each secondary lake system was influenced by a different degree of urbanization and human disturbance, thus the ecological security evolution of the secondary lake systems showed different characteristics. The rapid expansion of urban built-up areas, the transformation of lakes from agricultural production objects into usable development land, and the real estate industry as the pillar industries are the main driving forces for the lake system to be filled, directly endangering its landscape ecological security and raising public awareness of environmental protection through lake protection initiatives and practices that have a positive impact on the ecological security of the lake landscape. This research on the temporal and spatial characteristics of the lake landscape pattern and driving forces can provide an important support for Wuhan to formulate effective ecological management policies and environmental governance measures.

Key Words: Wuhan; Lake System; Landscape indexes; Ecological security pattern evolution

湿地与森林、海洋并列为三大生态系统,是自然界最多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一^[1],承担着调蓄洪水、调节气候、净化水质等生态功能,在城市、区域乃至全球尺度上对气候变化、经济发展以及人类生存环境产生重大影响,与人类的生存与发展密切相关^[2]。城市湖泊是城市湿地系统的重要组成部分,对于城市发展、生态系统平衡和防洪蓄洪有着重要作用,然而随着近年来城市化的快速发展,城市湖泊湿地系统面积急剧减少,水污染不断加剧,防洪调汛能力不断降低,生态安全不断恶化,因此,对快速城市发展背景下湖泊湿地生态安全的研究十分必要。

目前城市湖泊湿地的研究较多关注了湖泊空间形态演变^[3-4]、湖泊地区土地利用变化^[5-6]、湖泊水环境变化及综合治理^[7-8]、湖泊湿地生态价值评价^[9-10]、湖泊生态系统健康评价^[11-13]等方面。这些研究多从环境科学、土地管理、生态学等方面开展,研究认为城市湖泊普遍受到城市化的深刻影响,萎缩趋势明显,生态功能显著下降,重金属污染、富营养化等是水环境面临的主要威胁。近年来城市湖泊湿地生态安全与城市生态环境治理受到了更多重视,被认为是保障城市可持续发展的重点领域之一,董云仙等在系统梳理云南高原湖泊的发展历程基础之上,提出预防型、控制型、治理型湖泊流域生态安全调控途径^[14],金相灿等将湖泊生态安全内涵归纳为4个方面,建立了“4+1”湖泊生态安全评估方法框架^[15]。武汉被誉为“百湖之市”,是城市湖泊研究的重要案例地,其研究涉及单一湖泊、湖泊群、中心城区湖泊及整个武汉市域湖泊体系,快速城市化背景下人类活动如人口快速增长、城市建设用地扩张被认为是城市湖泊演变的关键影响因素^[16-17]。相关研究从单一要素和侧面对认识未来城市湖泊生态安全和可持续发展提供了重要基础,但全面深入地湖泊系统景观生态安全格局研究对理解城市可持续发展与湖泊生态安全维系同样具有不可或缺的重要意义。

城市湖泊/湖泊系统景观生态安全格局是维护城市湖泊/湖泊系统生态系统结构和过程健康及完整的关键性格局^[18]。湖泊景观生态安全格局从景观格局角度丰富了湖泊生态安全的研究,可以为全面理解湖泊生态安全演变过程奠定一定的基础。因此,本文以景观生态学相关理论与方法为基础,利用1995年、2005年、2015年的3期遥感数据提取武汉中心城区湖泊系统的空间分布数据,并据此计算湖泊景观指数以揭示武汉市城市湖泊系统的景观格局特征及变化,进而构建湖泊景观生态安全评价模型以评估武汉湖泊系统景观生态安全格局的演化特征,并对其驱动因素进行解读。以期在较为系统地认识武汉城市湖泊系统演化过程的基础上,为提升湖泊生态管理水平、增强湖泊环境治理效果、优化湖泊生态安全格局提供深刻的背景性认识,为制定行之有效的生态管理政策和环境治理措施提供重要支撑。

1 区域概况和研究方法

1.1 研究区域

武汉位于湖北省东部,处于长江与汉江交汇之处,地理位置为 $29^{\circ}59'—31^{\circ}22'N$, $113^{\circ}41'—115^{\circ}05'E$,市域面积 8596 km^2 。地处北亚热带湿润季风气候带,常年雨量充沛,雨热同期,降水多集中在 6—8 月,冬冷夏热,四季分明,平均气温 16.3°C ,年均降水量达 1240 mm 。地形以冲积平原为主,兼有低山丘陵和岗地。地势北高南低,中部低平,山丘、湖泊与平陆相间。

武汉地处古云梦泽范围内,境内湖泊众多,河网纵横,享有“百湖之市”的美誉。湖泊主要为河流沉积湖,武汉湖泊群是长江中下游湿地系统的重要组成部分。至 2012 年市域范围内共有大小湖泊 166 个,其中中心城区湖泊 40 个,占总量的 24%。湖泊总汇水面积达到 5925.2 km^2 ,共分为东湖-沙湖水系、汤逊湖水系等 12 大水系,其中有 5 大水系位于中心城区。近年来随着城市建设用地的不断扩张,武汉中心城区五大水系湖泊不断受到侵占,湖泊面积萎缩严重,属动态变化最为显著的区域。因此,本研究选择武汉中心城区的湖泊系统为研究对象,包含东湖-沙湖水系、汤逊湖水系、北湖水系、后湖水系、墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系(图 1)。



图 1 武汉中心城区湖泊水系划分

Fig.1 Division of urban lake system of Wuhan

:HS :后湖水系, Hou Lake System; BS, 北湖水系; North Lake System; DSS: 东湖-沙湖水系, East-Sha Lake System; MLNBS: 墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系, Moshui-Longyang-Nan and Beitaizi Lake System; TS: 汤逊湖水系, Tangxun Lake System

1.2 数据来源及处理

本研究数据包括 Landsat 影像数据、Google Earth 历史卫星地图、IKONOS 高分辨影像数据、武汉市 1:50000 地形图、武汉市行政区划图、社会经济统计年鉴数据和环境保护规划等相关数据。其中 Landsat 数

据从美国地质调查局官网下载(<http://www.usgs.gov/>),主要用于提取不同时期面积大于 30 m×30 m 的湖泊信息;2005 和 2015 年的 IKONOS 数据主要用于修正提取的湖泊信息。由于该区春夏受雨季影响降水频繁,获取的遥感影像云量较大,且在强降雨作用下易造成湖泊水体边界的不确定,而选用秋冬少雨季节获取的遥感数据能有效回避这些影响。因此本研究选取了 1995/12/05(TM)、2005/12/08(ETM+)和 2015/11/26(TM)3 期 Landsat 影像数据来实现武汉城市湖泊水体信息的提取。

以 ENVI 软件为技术平台,对案例地的 3 期影像信息进行提取和计算,主要流程为:1)几何校正 采用基于多项式的几何校正,选取地面控制点,构建多项式校正模型,将影像间的误差控制在一个像元之内;2)图像裁剪 采用武汉中心城区矢量边界裁剪出研究兴趣区域;3)监督分类 定义湖泊训练样本,评价训练样本并对其进行修正,采用 Minimum Distance 方法进行监督分类,3 期影像的分类精度分别为 95.8%,96.5%和 96.3%;4)在 ArcGIS10.0 下参照 Google Earth 历史影像数据,对 ENVI 监督分类得到的湖泊水体数据进行目视解译及修正处理(图 2),将得到的武汉中心城区湖泊信息进行栅格化处理,输出为 Arc grid 格式,以满足湖泊景观格局及演化分析的要求。

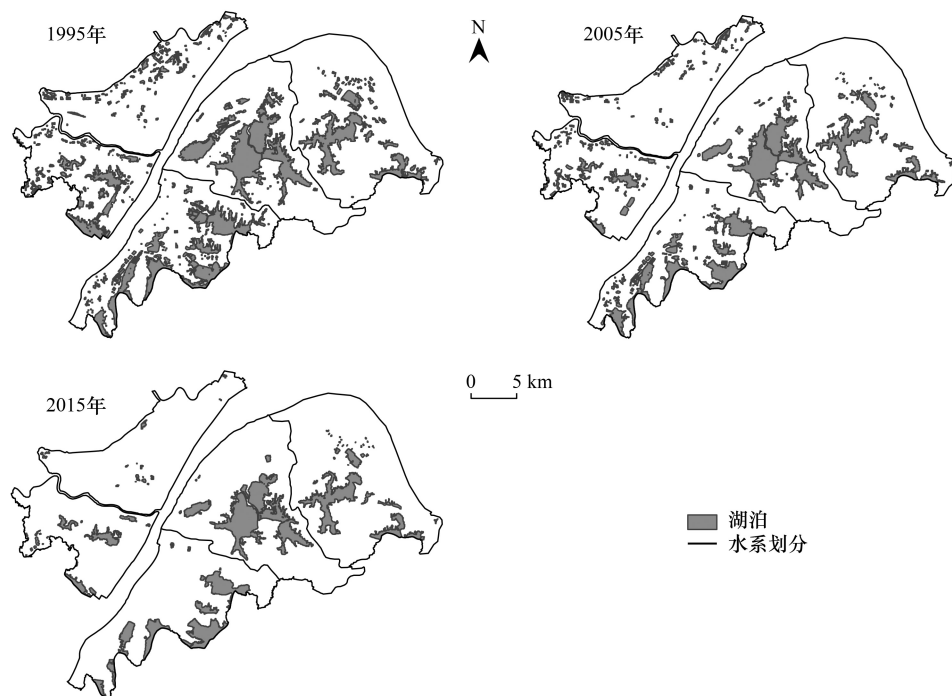


图 2 1995 年、2005 年和 2015 年武汉中心城区湖泊系统演变

Fig.2 Urban lake change of Wuhan in 1995, 2005 and 2015

1.3 湖泊景观生态安全评价模型构建

随着社会经济发展与生态环境的关系日益复杂,生态安全更是被提升到国家战略高度^[19],景观生态安全格局研究也越来越受到重视。在景观生态安全评价方面,主要方法有建立景观生态安全评价指标体系^[20]、压力-状态-响应(PSR)模型^[21]、最小费用距离模型^[22]、景观指数评价方法^[23]等。其中景观指数是景观格局的高度概括,是反映其结构组成和空间配置等方面特征的定量指标^[24],景观指数评价方法主要通过选取一定的景观指数,并对不同景观指数赋予权重来量化评价区域景观生态安全。例如相关学者利用破碎度、分离度、优势度、景观类型脆弱度等评价指标构建的流域景观生态安全评价模型^[25-26],这些研究丰富了景观生态安全的研究。

本研究在已有研究基础上,充分结合研究区特征,考虑湖泊景观特点,选取景观类型斑块密度(PD)、分维数(FRAC)、连接度(CONNECT)和斑块所占景观面积比例(PLAND)为指标,建立景观格局指数与景观生态安

全度的定量化描述,研究武汉中心城区湖泊系统景观生态安全格局的演化特征。武汉中心城区湖泊子系统景观生态安全评价模型构建如下。考虑到斑块密度和分维数对湖泊景观格局的影响程度,参考已有研究利用层次分析-德尔菲法确定评价因子权重,对斑块密度 PD 、分维数 F 、连接度 C 分别赋权重为 0.4、0.4 和 0.2^[27]。武汉中心城区湖泊子系统景观生态安全评价模型为:

$$ES_i = (0.4 PD_i + 0.4 F_i + 0.2 C_i) * PL_i \quad (1)$$

$$\text{其中 } PD_i = \frac{n_i}{A}; F_i = \frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln a_{ij}}; C_i = \left[\frac{\sum_{j \neq k}^n c_{ijk}}{n_i(n_i - 1)} \right] \frac{1}{2} (100); PL_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

式中, ES_i 为 i 类型景观生态安全度; $i=1, \dots, m$, 是斑块类型。 PD_i 为 i 景观类型斑块密度, F_i 为 i 景观类型分维数, C_i 为 i 景观类型连接度, PL_i 为 i 景观类型斑块所占景观面积比例。 A 是总的景观面积(m^2); $j=1, \dots, n$, 是斑块数目; a_{ij} 是斑块 ij 的面积(m^2), p_{ij} 为斑块 ij 的周长(m); c_{ijk} 表示拼块类型 i 的拼块 j 和 k 的连接。

武汉中心城区总体湖泊景观生态安全评价模型为:

$$ES = (0.4PD + 0.4F + 0.2C) * PL \quad (2)$$

式中, ES 是总体湖泊景观生态安全度, PD 为总体湖泊景观的斑块密度, F 为总体湖泊景观的分维数, C 为总体湖泊景观的连接度, PL 为湖泊景观占中心城区面积比例。景观指数的计算借助 Fragstats3.2 软件。

2 景观格局演变分析

2.1 湖泊系统面积和结构变化

近年来,武汉中心城区湖泊系统总面积呈现出不断减少趋势(表 1),由 1995 年的 134.39 km^2 缩减至 2015 年的 87.97 km^2 。1995—2005 年,湖泊景观总面积以年均 2.4% 的速率减少,共计减少了 28.95 km^2 ; 2005—2015 年,湖泊景观总面积下降趋势放缓,年均减少速度为 1.8%,累计减少了 17.47 km^2 。2015 年湖泊景观面积仅为 1995 年的 65.46%,湖泊萎缩趋势较为严重。斑块数量变化呈现出与湖泊面积相同的趋势,1995—2015 年间,湖泊景观斑块数量不断减少,由 1995 年的 576 个下降至 2015 年的 131 个,年均减少个数达 22 个。

表 1 武汉中心城区湖泊水系结构

Table 1 Urban lake system structure of Wuhan

中心城区 5 大水系 Five lake systems	1995 年			2005 年			2015 年		
	斑块数 Patch number/n	面积 Area/ km^2	比例 Proportion/%	斑块数 Patch number/n	面积 Area/ km^2	比例 Proportion/%	斑块数 Patch number/n	面积 Area/ km^2	比例 Proportion/%
HS	154	6.94	5.16	81	4.02	3.81	20	1.01	1.16
BS	80	26.17	19.47	60	21.11	20.01	39	20.40	23.19
DSS	59	45.22	33.65	29	37.63	35.69	23	34.63	39.53
MLNBS	131	17.28	12.86	91	10.21	9.68	29	7.34	8.38
TS	152	38.78	28.86	124	32.47	30.80	20	24.58	20.06
总计 Total	576	134.39	100	385	105.44	100	131	87.97	100

HS:后湖水系, Hou Lake System; BS:北湖水系, North Lake System; DSS:东湖-沙湖水系, East-Sha Lake System; MLNBS:墨水湖-龙阳湖-(南)北太子湖水系, Moshui-Longyang-Nan and Beitaizi Lake System; TS:汤逊湖水系, Tangxun Lake System

各次级湖泊水系的湖泊面积和数量变化趋势则呈现出分化特征。从湖泊面积减少总量来看,汤逊湖水系>东湖-沙湖水系>墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系>后湖水系>北湖水系, 1995—2015 年减少面积分别为 14.20、10.59、9.94、5.93 和 5.77 km^2 ; 从湖泊面积减少幅度来看,后湖水系>墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系>汤逊湖水系>东湖-沙湖水系>北湖水系, 面积下降幅度分别为 85.41%、57.54%、36.61%、23.41% 和 22.03%。从湖泊减少数量来看,后湖水系>汤逊湖水系>墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系>北湖水系>东湖-沙湖水

系,减少个数分别为 134、132、102、41 和 36 个;从湖泊减少幅度来看,后湖水系>汤逊湖水系>墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系>东湖-沙湖水系>北湖水系,湖泊减少幅度分别为 87.01%、86.84%、77.86%、61.01%、和 51.25%。

2.2 湖泊系统的形状特征变化

通过分维数来分析武汉中心城区湖泊系统的形状特征(图 3),一般来说,分维数值越高表明湖泊形状越复杂,反之则表明湖泊的几何形状趋于简单化,景观生态安全恶化。整体来看,1995—2015 年研究区湖泊水系分维数呈现降低趋势,表明随着人为干扰程度不断增加,武汉中心城区湖泊系统的斑块自我相似性增强,几何形状趋于简化。二十年来分维数变化最大的是汤逊湖水系,由 1995 年的最高值 1.4041 下降至 2015 年的 1.2517,这是由于该区域是武汉城市空间拓展的重点区域,大量湖汉随着城市建成区扩张而被填占,形状趋于简化。1995—2005 年,为适应渔业的发展,后湖水系、东湖-沙湖水系和墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系被湖泊改造分割成众多小面积的鱼塘,分维数呈现一定的增长趋势,形状趋于复杂;2005 年之后,随着城市建成区的不断扩张,这些水系的大量湖泊、鱼塘被填占消失,分维数不断降低,形状趋于简单化,而该时期位于城市西北方向的北湖水系为适应渔业的大发展,湖泊被分割成众多小面积的鱼塘,分维数呈现一定增长。

2.3 湖泊系统的破碎度变化

通过斑块密度反映湖泊景观破碎度变化(图 3),斑块密度值越高,湖泊景观的破碎度就越大,反之破碎度就越低,湖泊景观破碎度与湖泊景观生态安全呈正向作用。二十年来研究区湖泊水系斑块密度总体呈现不断降低趋势,表明湖泊破碎化程度不断降低。1995 年斑块密度格局为汤逊湖水系>后湖水系>墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系>北湖水系>东湖-沙湖水系,这与湖泊规模密切相关,单体湖泊面积小、数量多的水系斑块密度越高;反之,斑块密度越低。在变化幅度上,后湖水系斑块密度呈现急剧下降的趋势,由 1995 年的 1.1459 急剧降低至 2015 年的 0.2283,这一趋势与其特殊的空间特征密切相关,其紧邻中心城区且是城市北向拓展的重要方向,因而后湖水系小面积湖泊被大量填占,造成斑块密度的急剧下降。2005 年之后,墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系和汤逊湖水系受城市拓展的影响,斑块密度下降幅度较大,而北湖水系斑块密度下降幅度则较小,是由于该区域湖泊个数较少,且距离中心城区相对较远,受城市化影响相对较小,同时湖泊面积变化也相对较小,故其破碎化程度下降幅度较小。

2.4 湖泊系统的连接度变化

连接度能较好描述湖泊景观分布特征(图 3),值越大表明湖泊个体聚集程度越大,空间结构越紧凑,值越小表明聚集程度越低,空间结构越松散。研究期内,武汉中心城区湖泊水系的景观连接度总体呈现不断增加趋势,表明湖泊水系空间结构趋于紧凑,湖泊分布聚集趋势增强。各次级湖泊水系的景观连接度变化趋势则呈现分化,东湖-沙湖水系和墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系呈先降低后增加趋势,北湖水系呈先增加后降低趋势,后湖水系和汤逊湖水系与总体趋势保持一致。各次级湖泊水系中景观连接度最高的是东湖-沙湖水系,该水系中东湖规模较大且占据主导地位,小面积湖泊很少,湖泊分布呈现集聚状态,空间结构较为紧凑,故而连接度较高。2005—2015 年汤逊湖水系、墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系的景观连接度增加幅度显著大于前十年,这与武汉城市发展阶段和拓展方向密切相关,2005—2015 年上述两大水系所在区域是武汉城市发展重点,众多小面积湖泊因城市建设填占的速度远超过去。

3 景观生态安全格局

3.1 总体湖泊系统景观生态安全度

根据前文构建的景观生态安全评价模型对研究区湖泊系统总体景观生态安全状况以及 5 大次级湖泊水系的景观生态安全状况进行了评价(表 2)。总体来看研究期内武汉市中心城区湖泊系统生态安全度由 1995 年的 0.336 下降至 2015 年的 0.137,呈现不断下降趋势且下降幅度较大。这表明武汉中心城区湖泊生态安全一定程度上出现恶化情势,近年来武汉城市建设的快速发展对湖泊造成了较为严重的扰动。

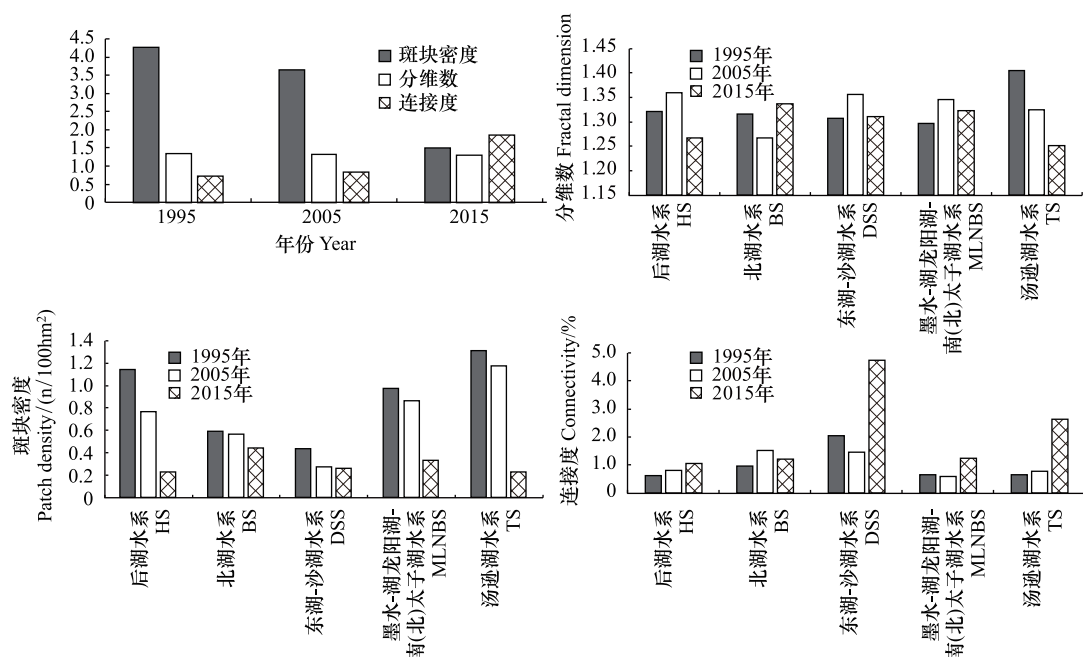


图3 1995—2015 年武汉中心城区湖泊系统及次级水系分维数、斑块密度、连接度变化

Fig.3 Landscape indexes of urban lake system of Wuhan and fractal dimension, patch density, connectivity of its secondary lake system

表2 1995—2015 年武汉中心城区湖泊系统景观生态安全度变化

Table 2 Evolution of urban lake system ecological security of Wuhan, 1995—2015

年份 Year	后湖水系 HS	北湖水系 BS	东湖-沙湖水系 DSS	墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系 MLNBS	汤逊湖水系 TS	整体湖泊系统 All lake system
1995	0.057	0.187	0.373	0.133	0.351	0.336
2005	0.039	0.208	0.338	0.097	0.357	0.237
2015	0.009	0.221	0.624	0.076	0.314	0.137

3.2 湖泊系统景观生态安全格局

利用 ArcGIS10.0 软件平台绘制 1995—2015 年武汉中心城区湖泊系统景观生态安全格局(图4),为深入理解湖泊系统景观生态安全格局演变差异,采用自然断点法(Natural Breaks)将湖泊系统的景观生态安全度划分为 5 个等级:Ⅰ级($0 < ES \leq 0.1$)、Ⅱ级($0.1 < ES \leq 0.2$)、Ⅲ级($0.2 < ES \leq 0.3$)、Ⅳ级($0.3 < ES \leq 0.4$)、Ⅴ级($ES > 0.4$)。由于地理位置和空间特征不同,各次级湖泊水系受到城市化不同程度的影响和不同类型人类活动的扰动,景观生态安全格局和演化特征呈现较大差异。

总的来看,在变化趋势上,后湖水系、墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系的景观生态安全度在研究期内呈现持续下降趋势,北湖水系景观生态安全度呈现平稳上升趋势,汤逊湖水系景观生态安全度先略有增加后下降,东湖-沙湖水系景观生态安全先略有下降后有较大幅度提升。在空间格局上,东湖-沙湖水系和汤逊湖水系景观生态安全度相对较高;其次是北湖水系、墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系和后湖水系。在空间格局演变方面,汤逊湖水系和后湖水系比较稳定,汤逊湖水系湖泊景观生态安全度处于比较安全地位,而后湖水系景观生态安全一直处于Ⅰ级;墨水湖-龙阳湖-南(北)太子湖水系景观生态安全度由Ⅱ级降为Ⅰ级;东湖-沙湖水系和北湖水系景观生态安全不断强化,分别由Ⅳ级上升为Ⅴ级、Ⅱ级上升为Ⅲ级。此外,还具有如下特点:

(1) 湖泊景观生态安全度与湖泊规模呈正相关,湖泊规模越大,景观生态优势度越大,生态系统就越稳定,景观生态安全度也就越高;面积越小的湖泊越容易被侵占或自然萎缩,相应区域的景观生态安全度下降就会越快。东湖-沙湖水系和汤逊湖水系的湖泊规模较大,湖泊面积合计约占武汉中心城区水系湖泊总面积的 60%,因此景观生态安全度较高,而以小规模湖泊为主的后湖水系,湖泊消失和萎缩的速度较快,景观生态安

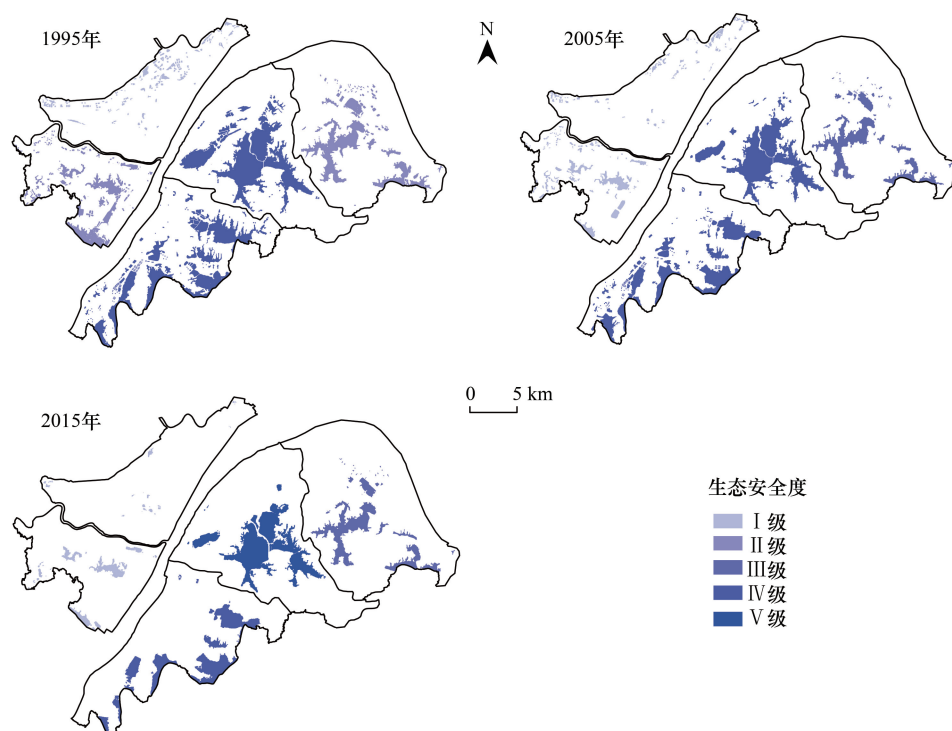


图4 1995、2005 和 2015 年武汉中心城区湖泊系统生态安全格局演变

Fig.4 Evolution of urban lake system ecological security pattern of Wuhan, 1995—2015

全度一直处于较低水平。

(2) 湖泊景观生态安全与湖泊空间位置强相关, 湖泊距离城市中心越近越容易受到人类活动的干扰, 湖泊生态系统越不稳定, 景观生态安全度也就越低。后湖水系临近城市中心且是城市扩展的重要区域, 近年随着武汉城市化的推进, 湖泊数量不断减少, 面积萎缩严重; 生态安全度不断下降; 北湖水系距离城市中心相对较远且不是城市扩展的重点方向, 受到的干扰程度也相对较小, 斑块破碎度、面积变化幅度较小, 因而景观生态安全度相对较高, 甚至呈现平稳上升趋势。

(3) 湖泊景观生态安全还与城市发展阶段密切相关, 城市发展不同阶段居民生活水平、生态资源需求、生态工程技术以及生态价值观都会影响到人类活动对湖泊系统的利用和影响强度, 从而影响湖泊生态系统稳定和生态安全, 湖泊景观生态安全恶化随城市发展向外扩张呈现出扩散趋势。

3.3 驱动因素分析

(1) 城市建成区的扩张。近年来武汉正处于快速城市化阶段, 城市建设以外拓和填充两种方式同时推进, 2007—2014 年城市建成区面积由 450.77 km^2 增至 552.61 km^2 ^[28-29], 建成区扩张非常迅速。湖泊作为武汉中心城区最重要的景观元素之一不断遭受到侵占, 主要侵占主体包括交通基础设施用途、居住用途、工业用途、商业用途和公共设施用途等社会经济事业的建设用地, 湖泊生态安全趋于恶化。据武汉市国土规划局的数据显示, 2002—2013 年, 武汉城市湖泊面积减少约 666.67 hm^2 , 其中合法审批手续填占的约占 53.3%。城市建成区扩张是影响湖泊系统景观生态安全格局的直接驱动因素, 对湖泊景观生态安全产生负向的影响。

(2) 湖泊利用方式的演化。在城市发展不同阶段, 居民生活水平、生态资源需求、生态工程技术以及生态价值观是存在差异的, 对生态环境要素的认识、态度、利用方式也是不断变化的。武汉有着丰富的湖泊湿地资源, 新中国成立之后, 湖泊更多被视为重要的生产资源, 水产养殖和渔业捕捞是湖泊利用的主要方式。20 世纪末以来, 随着武汉城市化快速推进和人口持续增长, 城市不断向外扩展, 大量湖泊被填占, 转变为耕地或是建设用地, 1995—2010 年湖泊水域转变为建设用地和耕地面积分别为 16.73 km^2 和 6.44 km^2 ^[30]。湖泊利用方式演化是影响湖泊系统景观生态安全格局的根本驱动因素, 对湖泊景观生态安全产生负向的影响。

(3) 房地产事业的大开发。1995—2015 年,武汉正处于快速城市化阶段,城市户籍人口由 710.01 万人增长至 829.27 万人(图 5),2015 年末城市常住人口突破 1000 万人^[31]。随着武汉市经济和人口快速增长,居民住房需求也快速增加,房地产业市场繁荣发展,用地需求不断增大,而城市可利用土地有限,因此围湖造田成为重要的用地来源,加之湖泊周边生态环境等区位优势明显,在利益驱动下,房地产商也实施了大规模的占湖填湖行为。房地产业开发是影响湖泊系统景观生态安全格局的关键驱动因素,对湖泊景观生态安全产生负向的影响。

(4) 市民环境意识的提高。随着社会经济快速发展以及生活水平提高,人们对居住环境的要求也越来越高。居民(以居住在湖泊周边的为主体)自发开展抵制

非法填占湖泊的抗争活动,兴起了“爱我百湖志愿协会”等一批湖泊保护民间团体,一定程度上发挥着重要的监督作用,引起政府部门关注的同时促使他们加大处理力度。市民环境意识提高是影响湖泊系统景观生态安全格局的重要驱动因素,对湖泊景观生态安全产生正向的影响。

4 结论

本文基于景观生态学理论,利用遥感数据、景观指数和 GIS 空间分析方法,计算景观指数,以探讨 1995—2015 年间武汉中心城区湖泊系统景观格局的演变特征,进而在充分考虑湖泊系统特征的基础上构建湖泊景观生态安全评价模型,分析城市快速发展下武汉中心城区湖泊系统景观生态安全格局及演变特征,并对其驱动因素进行了分析,得到主要结论如下:

(1) 随着武汉城市化进程的快速推进,近年来武汉中心城区湖泊受到较大程度的扰动。湖泊系统面积总体上呈现出不断萎缩的趋势,湖泊斑块数量不断减少。次级湖泊水系的斑块面积和数量变化呈现分化特征,汤逊湖水系湖泊面积萎缩量最大,后湖水系湖泊斑块减少数量和幅度均为最大。

(2) 武汉中心城区湖泊系统的斑块密度、分维数均呈现出不断降低的趋势,与此同时,研究区湖泊系统的连接度呈现出不断增加的趋势,表明湖泊水系空间结构趋于紧凑,湖泊分布聚集趋势不断增强,这是湖泊系统中远离大型湖泊的小面积湖泊水体大量消失,城市快速扩张优先侵占小面积湖泊的结果。

(3) 研究期武汉中心城区湖泊系统景观生态安全度总体呈现持续下降趋势,由于地理位置和空间特征不同,各次级湖泊水系受到城市化的影响程度不同、受到人类活动的扰动方式也不同,湖泊系统景观生态安全格局和演化特征均呈现较大差异,湖泊景观生态安全与湖泊规模、空间位置和城市发展阶段密切相关。城市建成区的扩张、湖泊利用方式的演变及房地产事业的大发展对湖泊景观生态安全产生负向的影响,市民环境意识的提高对湖泊景观生态安全产生正向的影响。

综上所述,湖泊系统景观生态安全恶化呈现随城市发展而向外扩散的趋势,湖泊景观生态安全的恶化会导致湖泊净化水质及调蓄洪水等生态功能的削弱、生物数量的减少等生态问题。此外,小面积湖泊生态要素是城市生态系统的重要组成部分,发挥着提供水源、调蓄洪水、调节区域气候等生态功能,对城市生态安全和人居环境改善起着关键作用,但确未能得到城市规划建设及湖泊管理部门足够的重视。未来武汉城市规划建设与湖泊管理相关部门应注意到以上趋势及问题,发挥民众的监督作用,制定更为合理的湖泊生态管理策略,优化武汉城市湖泊系统景观生态安全格局,以更好地支撑城市可持续发展;未来学者们可以从城市规划、城市布局、街区人口等社会经济因素进一步探讨湖泊景观生态安全变化的驱动机制,以进一步深化湖泊景观生态

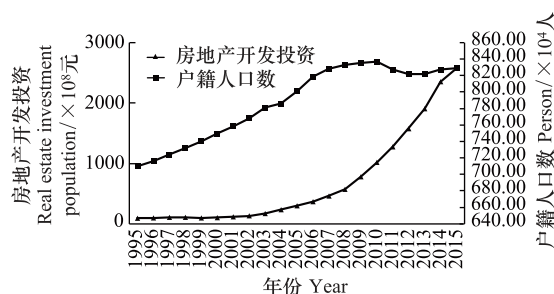


图 5 1995—2015 年武汉市户籍人口和城镇房地产开发投资增长

Fig. 5 Population and real estate development of Wuhan, 1995—2015

由于武汉市统计年鉴并未统计 2009 年之前武汉年末常住人口数据,为了数据的统一性,图中人口数据采用的是城市户籍人口数据

安全的研究。

参考文献(References):

- [1] 陈宜瑜. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995.
- [2] 白军红, 欧阳华, 杨志锋, 崔保山, 崔丽娟, 王庆改. 湿地景观格局变化研究进展. 地理科学进展, 2005, 24(4): 36-45.
- [3] 尹辉, 杨波, 蒋忠诚, 曾发明, 彭鹏, 李景保. 近 60 年洞庭湖泊形态与水沙过程的互动响应. 地理研究, 2012, 31(3): 471-483.
- [4] Chen K L, Wang X, Li D, Li Z H. Driving force of the morphological change of the urban lake ecosystem: a case study of Wuhan, 1990-2013. Ecological Modelling, 2015, 318: 204-209.
- [5] Wasige J E, Groen T A, Smaling E, Jetten V. Monitoring basin-scale land cover changes in Kagera Basin of Lake Victoria using ancillary data and remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 21: 32-42.
- [6] 肖思思, 吴春笃, 储金宇. 1980—2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析. 农业工程学报, 2012, 28(23): 1-11.
- [7] 刘涛, 揣小明, 陈小锋, 杨柳燕, 席北斗, 许其功. 江苏省西部湖泊水环境演变过程与成因分析. 环境科学研究, 2011, 24(9): 995-1002.
- [8] 秦伯强, 张运林, 高光, 朱广伟, 龚志军, 董百丽. 湖泊生态恢复的关键因子分析. 地理科学进展, 2014, 33(7): 918-924.
- [9] 徐伟平, 康文星, 何介南. 洞庭湖区生态系统服务功能价值分析. 草业学报, 2016, 25(1): 217-229.
- [10] 王凤珍, 周志翔, 郑忠明. 城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例. 生态学报, 2011, 31(7): 1946-1954.
- [11] 廖静秋, 曹晓峰, 汪杰, 黄艺. 基于化学与生物复合指标的流域水生态系统健康评价——以滇池为例. 环境科学学报, 2014, 34(7): 1845-1852.
- [12] 徐菲, 赵彦伟, 杨志峰, 陈彬. 白洋淀生态系统健康评价. 生态学报, 2013, 33(21): 6904-6912.
- [13] 张淑倩, 孔令阳, 邓绪伟, 汪正祥, 李海波, 李中强. 江汉湖群典型湖泊生态系统健康评价——以梁子湖、洪湖、长湖、斧头湖、武湖为例. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3613-3620.
- [14] 董云仙, 赵磊, 陈异晖, 余艳红, 赵润, 杨广萍. 云南九大高原湖泊的演变与生态安全调控. 生态经济, 2015, 31(1): 185-191.
- [15] 金相灿, 王圣瑞, 席海燕. 湖泊生态安全及其评估方法框架. 环境科学研究, 2012, 25(4): 357-362.
- [16] Du N R, Ottens H, Sliuzas R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—A case study of Wuhan, China. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 175-185.
- [17] Wang X L, Ning L M, Yu J, Xiao R, Li T. Changes of urban wetland landscape pattern and impacts of urbanization on wetland in Wuhan City. Chinese Geographical Science, 2008, 18(1): 47-53.
- [18] 李绥, 石铁矛, 付士磊, 周乐, 刘森, 王伟. 南充城市扩展中的景观生态安全格局. 应用生态学报, 2011, 22(3): 734-740.
- [19] 陈星, 周成虎. 生态安全: 国内外研究综述. 地理科学进展, 2005, 24(6): 8-20.
- [20] 宋豫秦, 曹明兰. 基于 RS 和 GIS 的北京市景观生态安全评价. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2889-2895.
- [21] 谢余初, 巩杰, 张玲玲. 基于 PSR 模型的白龙江流域景观生态安全时空变化. 地理科学, 2015, 35(6): 790-797.
- [22] 张玉虎, 李义禄, 贾海峰. 永定河流域门头沟区景观生态安全格局评价. 干旱区地理, 2013, 36(6): 1049-1057.
- [23] 王涛, 张超, 于晓童, 曹小汪. 洱海流域土地利用变化及其对景观生态风险的影响. 生态学杂志, 2017, 36(7): 2003-2009.
- [24] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 胡远满, 问青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕. 景观格局指标对不同景观格局的反应. 生态学报, 2004, 24(1): 123-134.
- [25] 王娟, 崔保山, 姚华荣, 刘世梁. 纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征. 生态学报, 2008, 28(4): 1681-1690.
- [26] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 曹鑫, 丁建丽, 张严俊, 姜红涛. 干旱区内陆艾比湖流域景观格局时空变化及生态安全评价. 水土保持通报, 2015, 35(1): 249-255.
- [27] 王千, 金晓斌, 周寅康. 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制. 生态学报, 2011, 31(20): 5903-5909.
- [28] 武汉市统计局, 2008 年武汉市国民经济和社会发展统计公报. (2014-05-21) [2017-11-07]. <http://www.whjtj.gov.cn/details.aspx?id=2174>.
- [29] 武汉市统计局, 2014 年武汉市国民经济和社会发展统计公报. (2015-03-12) [2017-11-07]. <http://www.whjtj.gov.cn/details.aspx?id=2513>.
- [30] 黄浦江, 刘艳芳, 刘畅, 姜庆虎. 基于 RS 与 GIS 的武汉城市湖泊演化研究. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1588-1593.
- [31] 武汉市统计局. 武汉统计年鉴-1996-2016. 北京: 中国统计出版社, 1996-2016.