

1995—2015 年天目湖流域湿地景观格局演变分析

莫晓琪¹,朱 颖^{1*},胡义涛¹,陈德超²,王 跃²

(1. 苏州科技大学 建筑与城市规划学院,江苏 苏州 215011;2. 苏州科技大学 环境科学与工程学院,江苏 苏州 215011)

摘 要:在遥感和 GIS 技术的支持下,以天目湖流域多时序 TM 遥感数据与土地利用数据为基础,并运用景观格局指数对天目湖流域 1995—2015 年的湿地景观格局的动态变化进行定量分析。结果表明:1)天目湖流域湿地以水库、水田为主导景观类型;2)近 20 a 间天目湖流域自然湿地面积减少了 62.45%,其中滩涂面积缩减最为剧烈;人工湿地减少了 5.34%,但除水田面积逐年减少外,其他人工湿地都有不同程度增加,尤其是水库湿地增加明显;3)20 a 间湿地斑块个数(NP)逐年增加,平均斑块面积(AREA-MN)逐年下降;景观蔓延度指数(CONTAG)呈先下降后增长的趋势,景观多样性指数(SHDI)和景观均匀度指数(SHEI)呈先增长后下降的趋势,表明湿地景观破碎度加剧,其中自然湿地景观破坏程度较大,分布趋于分散;4)湿地与建设用地动态转换频繁,突出地表现在建设占用滩涂、水田,以及湖泊或河流湿地转换为水库、人工河道或养殖区域。分析认为建设用地和耕地的扩增、人工水利设施的建设及政府相关政策的导向等是湿地动态变化的主要原因。研究结果可为天目湖流域湿地资源的保护规划提供数据支持和理论参考。

关键词:湿地;景观格局演变;天目湖流域

中图分类号:S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)01-0293-08

Landscape Pattern Changes of Wetlands in Tianmu Lake Watershed from 1995 to 2015

MO Xiao-qi¹, ZHU Ying^{1*}, HU Yi-tao¹, CHEN De-chao², WANG Yue²

(1. School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215011, China;
2. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215011, China)

Abstract: The wetland landscape pattern changes in Liyang Tianmu Lake watershed from 1995 to 2015 were analyzed based on multiple timing TM remote sensing data and the land use data of the watershed. Landscape pattern indices were adopted. The results showed that 1) the reservoirs and paddy fields were the dominated landscape types in the watershed. 2) Within the watersheds, natural wetland area decreased by 62.45%, in which the beach area decreased most intensively. Artificial wetland area decreased by 5.34%, except for the reservoir wetland. 3) During 20 years, the number of patches increased, and the average patch area decreased. The landscape contagion index declined first, and then increased. Landscape diversity index and landscape dominance index increased first, and then decreased, indicating that the degree of landscape fragmentation was intensified, in which the natural wetland damage was more serious than other types of wetlands, and the distribution tended to be disperse. 4) The conversion of wetlands and construction land was frequent; beaches, paddy fields, rivers and lakes were converted into construction land or wetlands into reservoirs, rivers or artificial breeding areas. It was deduced that the expanding of construction land and farmland, construction of artificial water conservancy facilities and policy guidance of the government were

收稿日期:2016-05-11 修回日期:2016-07-19

基金项目:江苏省住建厅科技项目(2016ZD71);江苏省高校哲学社会科学基金(2013SJB790052);苏州科技大学“风景园林学”江苏省“十二五”重点(培育)学科、江苏省企业研究生工作站共同资助。

作者简介:莫晓琪,男,硕士研究生,研究方向:地域生态环境与景观规划。E-mail:tracy537@qq.com

*通信作者:朱 颖,女,副教授,研究方向:风景园林规划设计理论与实践。E-mail:zhuying@mail.usts.edu.cn

the main reasons of the variation of wetlands. The results could provide references for the protection of wetland resources in Tianmu Lake watershed.

Key words: wetland; landscape pattern change; Tianmu Lake Watershed

湿地作为水陆生态系统之间特殊的自然综合体,具有重要的生态功能和环境效益。湿地景观格局及其相互关系对湿地保护与可持续发展具有重要的意义^[1],也是当前湿地科学与景观生态学研究的热点^[2-7]。

湿地景观格局是景观异质性的重要表现,是不同尺度的湿地景观斑块在空间上的排列,又是各种生态过程在不同尺度上综合作用的结果,对景观的功能和过程有着重要影响^[8-9]。分析湿地景观格局,可以更好地了解湿地形成的原因及不同湿地类型之间的相互关系与作用机制,同时为湿地的生态恢复及生物多样性保护的研究提供依据^[10]。遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的发展,为湿地景观格局变化的研究提供了新的方法。当前基于 3S 技术,以时间序列对湿地景观格局演变特征方面的研究比较丰富^[11-15],已有较为系统的理论框架及系统方法,但在研究对象方面多集中在河口湿地、滨海湿地等^[16-17],对受人类扰动较大的水库流域湿地景观格局的研究相对较少。

天目湖流域位于江苏省溧阳市南部,是溧阳市重要的生态屏障和生物栖息地。近年来由于经济的

快速发展和用地的无序开发,导致流域内天然湿地资源的面积萎缩,数量日益减少,也造成该区域生态功能受损。当前针对天目湖流域湿地研究主要集中在天目湖水文特征变化对湿地和湖泊生态环境的影响^[18]、流域湿地与河流水质之间的关系^[19]等,而从时间序列角度来进行天目湖流域的湿地景观格局演变的研究相对较少。本研究以天目湖流域为对象,结合 3S 技术及景观格局指数等分析方法,对天目湖流域湿地景观格局动态变化的规律及特征进行研究,以便对天目湖流域湿地保护提出针对性的策略,实施有效保护。

1 研究区概况

天目湖流域属江苏省常州市溧阳市,位于苏浙皖三省交界(图 1),属天目山余脉的丘陵地区,介于 31°7′—31°20′N、119°21′—119°29′E 之间,包括沙河水库和大溪水库等,流域面积约 249 km²,是太湖流域上游重要的水源涵养区^[20]。天目湖流域地处江苏宜溧山区的关键地带,是江苏省在中亚热带的重要区域,拥有丰富的物种资源,也是众多珍稀濒危鸟类的重要栖息地。

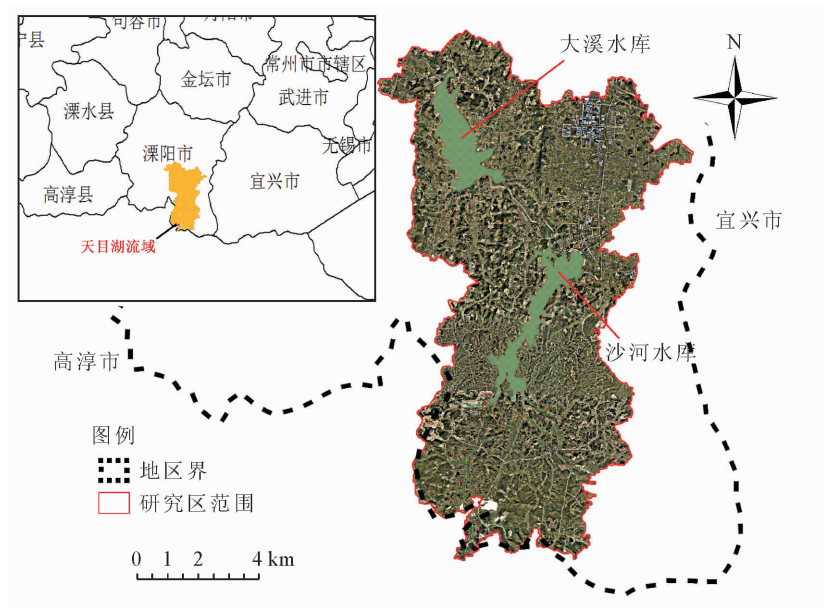


图 1 研究区域位置

Fig. 1 The location of the study area

2 材料与方法

2.1 数据来源与处理

2.1.1 遥感数据 选取天目湖流域 1995、2005 年

和 2015 年 Landsat TM 遥感影像(各影像数据时间在相同月份,以保证对湿地景观动态分析的时间一致性)及 2015 年航拍影像为数据源,利用 Erdas 软件进行影像的几何校正、裁剪等预处理操作;同时将

3 期影像附统一投影坐标信息:WGS_84_UTM_zone_50N。

2.1.2 非遥感数据 主要包括土地利用数据、实地调研数据等。1)选取 1995、2005、2015 年溧阳市 1:10 万土地利用数据为数据源,并将 3 期影像附统一投影坐标信息:WGS_84_UTM_zone_50N。2)实地调

研数据。2015 年对天目湖流域湿地景观类型开展野外调查,记录研究区土地利用现状,同时辅以地质、地貌、水利、交通、土壤、气象及农林等方面的文献资料。在 Erdas 及 ArcGIS 软件支持下对 3 期遥感影像进行目视解译,得到 1995、2005 年和 2015 年的天目湖流域湿地资源分布图(图 2),数据来源见表 1。

表 1 天目湖流域数据来源

Table 1 The data of Tianmu Lake watershed wetlands

年份	数据特征	数据来源
1995	溧阳市 1:10 万土地利用数据,Landsat5 TM 遥感影像数据(分辨率为 30 m)	中国科学院遥感与数字地球研究所溧阳市国土局
2005	溧阳市 1:10 万土地利用数据,Landsat7 TM 遥感影像数据(分辨率为 15 m)	
2015	溧阳市 1:10 万土地利用数据,Landsat8 TM 遥感影像数据(分辨率为 15 m)并辅以 2015 年天目湖流域航拍影像数据(分辨率为 2 m)和野外调查数据	

2.2 研究方法

2.2.1 研究区湿地分类 湿地分类是进行湿地景观格局分析的前提,在湿地的研究中,目前还没有统一的湿地分类系统,通常所采用的方法是结合研究区景观类型特征及遥感数据的可操作性的前期下对其进行划分的^[21-22]。本研究的天目湖流域湿地类型的划分是结合湿地分类标准(GBT 24708-2009)、湿地调查标准《全国湿地资源调查与监测技术规程》、

天目湖流域土地利用特性,建立了天目湖流域的湿地分类体系。该分类体系将天目湖流域湿地分为 2 级,第 1 级根据湿地的成因,分为自然湿地、人工湿地,其中自然湿地 2 级分类包括河流和滩涂湿地;人工湿地 2 级分类包括水库水面、坑塘水面、人工水渠和水田;非湿地包括居民地、采矿地等建筑用地和林地、草地等其他用地(表 2)。

表 2 天目湖流域湿地分类体系

Table 2 Landscape classification in Tianmu Lake watershed wetlands

类别	一级分类	二级分类	类别描述
湿地	自然湿地	河流	永久性、季节性或间歇性河流
		滩涂	潮间带泥滩、沙滩和海岸其他咸水沼泽
	人工湿地	水库水面	水库、拦河坝、堤坝形成的一般>8 hm ² 的储水区
		坑塘水面	包括农用池塘、储水池塘,一般面积<8 hm ²
		人工水渠	以灌溉为主要目的修建的沟、渠
		水田	水稻田
非湿地		建设用地	居民地、工矿用地、道路以及风景旅游区归为建设用地类别
		其他用地	建设用地以外的非湿地,包括山区及旱地上的林地、草地以及未利用地

2.2.2 天目湖流域湿地景观格局指数的选取 湿地的生态过程主要体现在时间和空间尺度,因此,在湿地景观格局分析时,通常采用斑块水平、斑块类型水平及景观水平尺度上的 3 类景观格局指数对湿地在时间及空间进行分析与评价^[23-24]。虽然景观格局指数的类型很多,但有些景观格局指数与对应的生态过程的变量之间存在不对等的关系,很多景观格局指数难以明确其生态学涵义^[25],因此,在选取景观格局指数时,将景观格局指数与现实景观中生态过程或自然地理过程、人为过程结合起来,选择适合研究内容的景观指数。

本研究在斑块类型尺度和景观尺度上选取了合适的景观格局指数,所选指数包括斑块密度(PD)、最

大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(AREA-MN)、蔓延度指数(CONTAG)、香浓多样性指数(SHDI)、香浓均匀度指数(SHEI)^[26-27],具体计算公式见表 3。

3 结果与分析

3.1 天目湖流域湿地景观组分变化

通过 ERDAS、Arcgis 等软件对影像图进行分类,得到天目湖流域 1995、2005 年及 2015 年 3 个时间段的湿地景观资源分布图(图 2)。结合图、表可以看出,1995 年以来,天目湖流域湿地景观格局发生了较明显的转变,从总体上可以看出自然湿地面积在逐年减少(图 3、表 4),自然湿地的面积从 572.59 hm² 减少至 344.95 hm²,减少了近 40%;尤

其表现在滩涂湿地的大面积减少;而人工湿地面积则呈先增加后减少的趋势,但湿地的总体面积变化较小。由表 4 和图 4 可知,自然湿地类型中,河流现状面积较大,并且面积呈不断减少的趋势;而滩涂湿地变化趋势最为剧烈,由 1995 年的 322.62 hm² 减少到 2015 年的 121.15 hm²;人工湿地中,水库面积由 1995 年的 1 807.57 hm² 增加到了 2015 年的

2 290.44 hm²,占总面积的 9.18%,仅次于人工湿地中水田的面积;坑塘面积从 1995 年到 2015 年呈现先增后降的趋势;在非湿地中,其他用地(包括园地、林地等)基本保持平稳的状态,而建设用地则呈逐年增长的趋势,占研究区总面积的比重从 1995 年的 7.82%上升到了 2015 年的 12.92%。

表 3 景观格局指数及其意义

Table 3 Indices and their meanings of landscape pattern

景观指数	计算公式	变量说明	生态意义	应用尺度
斑块密度	$PD=n_i/A$	n_i 为斑块数量; A 为某类景观面积	表征整体景观的破碎化程度及景观空间异质性特征	类型/景观
最大斑块指数	$LPI=\max(a_1,a_2,\cdots,a_n)/A$	a_1,a_2,\cdots,a_n 为各斑块的面积; A 为某类景观面积	反映景观优势度的一种简单方法	类型/景观
蔓延度指数	$CONTAG=1-\{\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^m P_{ij}\ln(P_{ij})\}/2\ln(m)$	m 为景观中的斑块类型数; P_{ij} 为面积加权的概率值	反映不同斑块类型的团聚程度或延展趋势	类型/景观
平均斑块面积	$AREA-MN=CA/n$	CA 为景观中所有斑块的总面积; n 为斑块数量	反映景观破碎程度	类型/景观
景观多样性指数	$SHDI=-\sum_{i=1}^m(p_i\times\ln p_i)$	P_i 为类型 i 在整个景观中所占的比例; m 为景观中斑块类型的总数	反映景观异质性和多样性程度大小	景观
景观均匀度指数	$SHEI=\frac{-\sum_{i=1}^m(p_i\times\ln p_i)}{\ln m}$	P_i 为类型 i 在整个景观中所占的比例; m 为景观中斑块类型的总数	反映不同类型景观的优势程度	景观

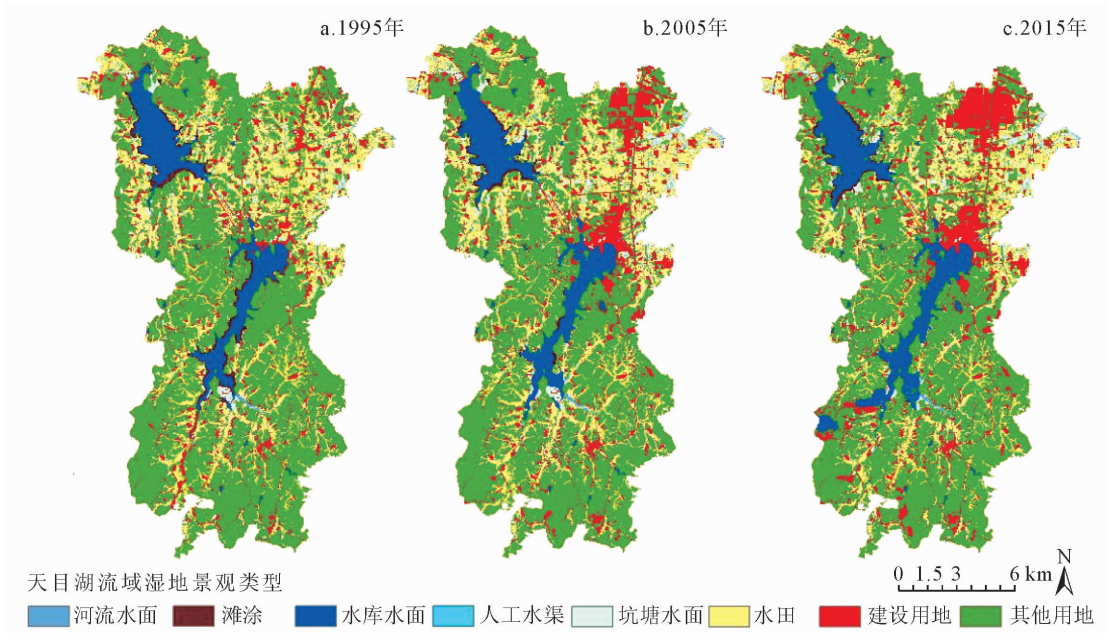


图 2 天目湖流域湿地资源分布

Fig. 2 Wetlands resource distribution of Tianmu Lake watershed in 1995,2005,2015

3.2 天目湖流域湿地景观格局变化

通过景观格局分析软件 Fragstats4.2 进行计算,得到 1995、2005 年及 2015 年天目湖流域湿地景观格局指数变化表(表 5、表 6)。

3.2.1 景观格局指数现状分析

1) 斑块类型水平尺度分析(表 5):在自然湿地

类型当中,2015 年的河流水面斑块密度(PD)最大,相比滩涂湿地,其对应的破碎化程度较大,同时景观的异质性程度也较高;而在非湿地当中,由于人类对天目湖流域的开发与建设,导致建设用地的斑块密度(PD)增加,其对应的破碎化程度和空间异质性较高;最大斑块指数(LPI)和平均斑块面积($AREA-$

MN)方面,水库水面数值最大,说明水库斑块在天目湖流域湿地景观类型中是一种优势斑块,其对景观的控制作用相对较强;而在非湿地中,由于溧阳市城市建设的快速发展,导致建设用地的最大斑块指数(*LPI*)逐年上升,可以看出建设用地是作为天目湖流域优势斑块而存在。

表 4 1995—2015 年天目湖流域湿地景观类型变化统计

Table 4 The statistical table for the changes of wetlands type in Tianmu Lake watershed during 1995—2015

景观类型	1995 年		2005 年		2015 年	
	面积/hm ²	占总面积/%	面积/hm ²	占总面积/%	面积/hm ²	占总面积/%
河流	249.97	1.00	244.13	0.98	223.80	0.90
滩涂	322.62	1.29	159.51	0.64	121.15	0.49
自然湿地小计	572.59	2.29	403.64	1.62	344.95	1.39
水库	1 807.57	7.24	2 026.50	8.12	2 290.44	9.18
人工水渠	204.75	0.82	213.66	0.86	207.54	0.83
坑塘水面	1 135.52	4.55	1 425.65	5.71	1 365.05	5.47
水田	4 494.87	18.02	4 292.80	17.21	3 370.86	13.51
人工湿地小计	7 642.71	30.63	7 958.61	31.90	7 233.89	28.99
建设用地	1 948.19	7.82	2 737.81	10.97	3 223.77	12.92
其他用地	14 786.73	59.26	13 850.16	55.51	14 147.61	56.70
非湿地小计	16 734.92	67.07	16 587.97	66.48	17 371.80	69.62
总计	24 950.22	100	24 950.22	100	24 950.22	100.00

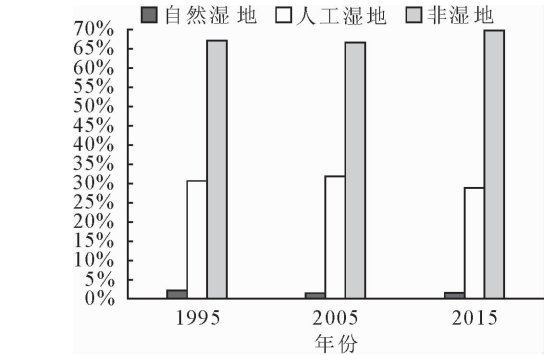


图 3 1995—2015 年天目湖流域湿地面积变化

Fig. 3 The changes of Wetlands area in Tianmu Lake watershed during1995—2015

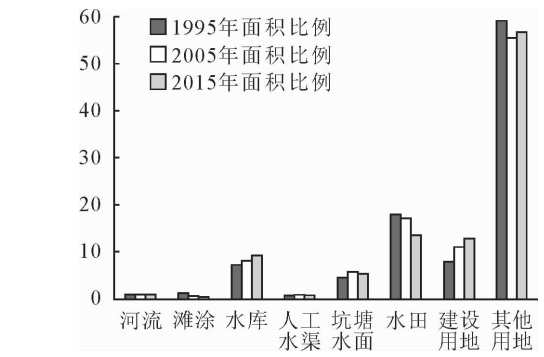


图 4 1995—2015 年天目湖流域各湿地类型面积比例变化

Fig. 4 The proportion changes of wetlands area in Tianmu Lake watershed during1995—2015

2) 天目湖流域湿地景观水平指数分析(表 6): 对比 1995—2015 年的斑块个数(*NP*)和平均斑块面积(*AREA-MN*),2015 年天目湖流域湿地斑块个数(*NP*)最大,但平均斑块面积(*AREA-MN*)最小,表明该时期天目湖流域湿地景观破碎化程度较高;景观多样性指数(*SHDI*)反映景观要素的多少和景观结构的复杂程度,对比表 6 可知,现阶段的天目湖

流域湿地景观多样性指数呈现上升趋势,表明天目湖流域各湿地斑块类型增加,景观的异质性变高;景观均匀度指数(*SHEI*)可以反映景观斑块的优势程度,对比表 6 可以看出,现阶段天目湖流域景观均匀度指数(*SHEI*)与之前相差不大,说明其只受几个类型的斑块所支配,不同斑块的分配程度比较均匀。

表 5 1995—2015 年天目湖流域湿地斑块类型水平指数

Table 5 The landscape pattern level index of Tianmu Lake watershed wetland during 1995—2015

景观类型	年份 /a	<i>PD</i> /(个·km ⁻²)	<i>LPI</i> /%	<i>AREA-MN</i>
河流	1995	0.412 9	0.165 8	2.425 8
	2005	0.400 8	0.118 0	2.440 1
	2015	0.384 7	0.097 9	1.629 8
滩涂	1995	0.168 4	0.176 9	7.682 0
	2005	0.172 3	0.131 7	3.688 4
	2015	0.173 4	0.093 3	2.817 9
水库水面	1995	0.092 2	3.568 2	78.590 5
	2005	0.084 2	3.948 9	96.434 4
	2015	0.096 2	4.355 3	95.385 9
人工水渠	1995	3.471 2	0.027 5	0.236 3
	2005	4.216 5	0.031 6	0.202 9
	2015	4.290 7	0.027 5	0.108 0
坑塘水面	1995	18.879 3	0.080 6	0.241 1
	2005	19.491 1	0.091 2	0.523 1
	2015	18.759 8	0.084 3	0.291 5
水田	1995	10.421 7	0.191 8	1.728 8
	2005	11.354 8	0.313 5	2.540 3
	2015	9.596 4	0.305 1	1.571 4
建设用地	1995	7.006 6	4.443 8	1.113 3
	2005	8.873 8	7.407 8	1.596 1
	2015	10.692 8	9.740 1	1.932 5
其他用地	1995	12.963 0	4.624 7	4.572 3
	2005	14.477 1	3.689 6	3.834 7
	2015	14.956 7	4.704 7	4.376 2

表 6 1995—2015 年天目湖流域湿地景观水平指数

Table 6 The landscape pattern level index of Tianmu Lake watershed wetland during 1995—2015

指标	1995 年	2005 年	2015 年
NP	13 326	13 740	14 763
CONTAG	63.053 7	61.303 1	61.875 3
AREA-MN	1.872 1	1.815 9	1.595 1
SHDI	1.290 3	1.357 6	1.342 7
SHEI	0.620 5	0.652 8	0.645 7

3.2.2 景观格局指数时间变化

3.2.2.1 景观斑块密度时间变化 1995 年到 2015 年,天目湖流域各类湿地景观斑块密度总体上表现为上升的趋势(表 5、图 5),其中上升显著的是建设用地、其他用地及人工水渠斑块,表明其景观异质性程度较高,从侧面也可以反映出天目湖流域城市建设的发展速度;但坑塘水面与水田的斑块密度(PD)呈先增加后减少的趋势,说明天目湖流域自然湿地景观遭受较大程度的破坏,致使自然湿地景观的破碎化程度变高,但近年来由于政府政策的导向,坑塘水面与水田斑块的破碎化程度在减轻。

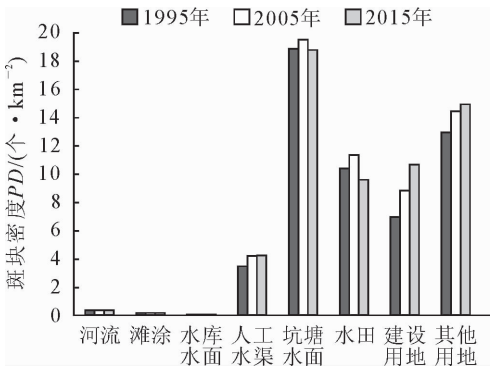


图 5 1995—2015 年天目湖流域斑块密度指数变化

Fig. 5 The patch density changes in Tianmu Lake watershed during1995—2015

3.2.2.2 最大斑块指数时间变化 20 a 间河流和滩涂 2 种自然斑块的最大斑块指数(LPI)逐渐下降(图 6),滩涂湿地最大斑块指数由 0.176 9 下降到了 0.093 3,变化率为 47.26%,而河流最大斑块指数由 0.165 8 下降到了 0.097 9,变化率为 40.95%,表明人类对自然湿地的干扰程度越来越高,而人工湿地(水库、水田等)与建设用地最大斑块指数(LPI)逐渐升高,表明湿地人工化的趋势非常明显,其变化与近年来溧阳城市建设以及水库等灰色基础设施的建设有关。

3.2.2.3 平均斑块面积时间变化 从图 7 可以看出,滩涂的平均斑块面积(AREA-MN)随时间的变化最为明显,总体呈现下降趋势,由 1995 年的 7.682 0 hm² 下降为 2015 年的 2.817 9 hm²,变化

率为 63.32%,说明自然斑块的破碎化程度较高。

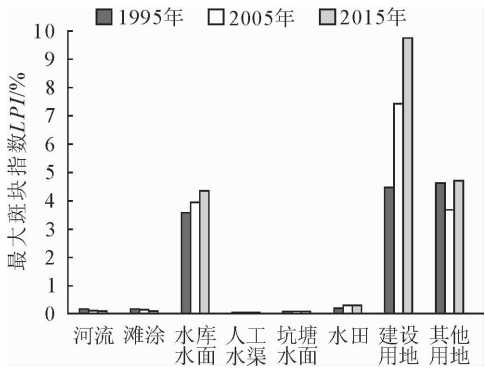


图 6 1995—2015 年天目湖流域最大斑块指数变化

Fig. 6 The largest patch index changes in Tianmu Lake watershed during1995—2015

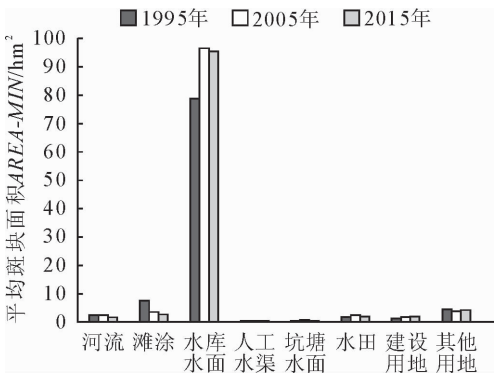


图 7 1995—2015 年天目湖流域平均斑块面积指数变化

Fig. 7 The area-MN index changes in Tianmu Lake watershed during1995—2015

3.2.2.4 景观水平指数分析 从斑块数量和面积变化角度来看(表 6、图 8),20 a 间研究区域的斑块总数(NP)逐年增加,由 13 326 个增加至 14 763 个,变化率为 10.78%,平均斑块面积则逐年减少,1995 年平均斑块面积(AREA-MN)为 1.872 1 hm²,2015 年为 1.595 1 hm²,变化率为 14.81%,表明天目湖流域湿地的破碎化程度在逐年加深。从斑块结构角度来看,在 1995—2005 年时期内景观蔓延度指数(CONTAG)呈下降趋势,景观蔓延度指数(CONTAG)由 63.053 7 减少至 61.303 1,这表明在上述的研究时期内天目湖流域湿地景观异质性增强,不同景观斑块在空间上趋于离散,破碎化程度较高,而在 2005—2015 年研究时期内出现了较小的增长,说明湿地离散的分布状态得到缓解。从景观多样性变化来看,1995—2005 年时期内,香浓多样性指数(SHDI)和香浓均匀度指数(SHEI)均明显增加,表明景观的异质性程度在逐渐上升,而在 2005 年以后,香浓多样性指数(SHDI)和香浓均匀度指数(SHEI)均出现下降趋势,表明景观的异质性程度在减小。

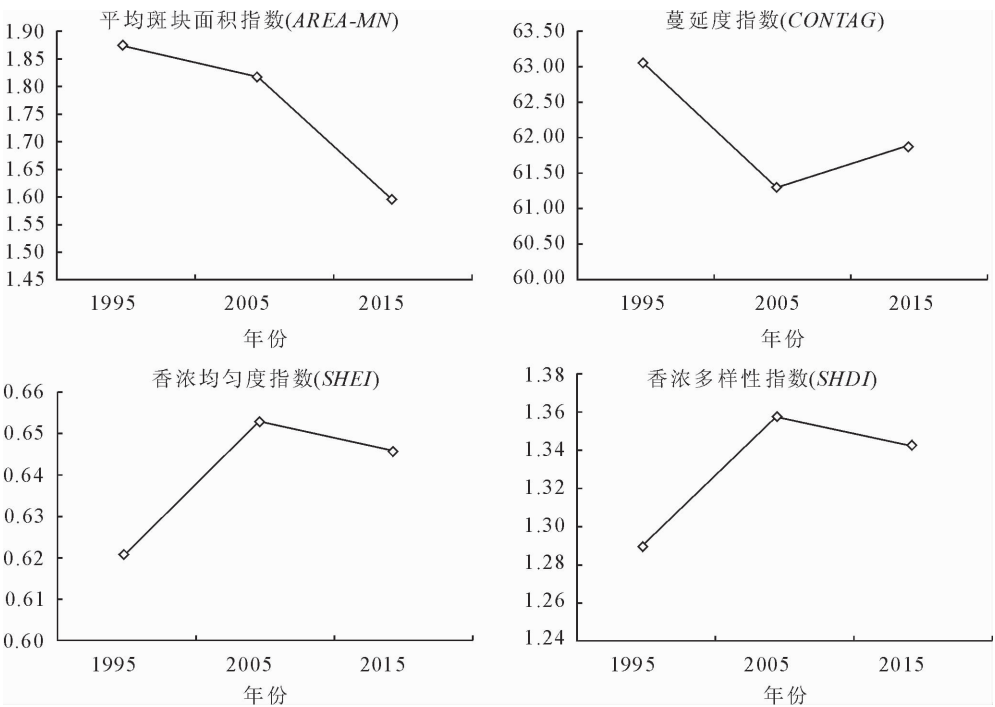


图 8 1995—2015 年天目湖流域景观水平指数变化

Fig. 8 The landscape pattern level index changes in Tianmu Lake watershed during1995—2015

4 结论与讨论

本研究基于 1995、2005、2015 年 3 期遥感影像,结合 Arcgis 空间分析软件,分析了天目湖流域近 20 a 来的湿地景观格局演变特征及其规律。天目湖流域湿地景观格局动态变化总体表现为自然湿地逐年减少,人工湿地则呈先增后降的趋势,其中滩涂等自然湿地锐减明显,水田等人工湿地则呈增长趋势,主要源于盲目围湖造田,大规模开发建设占用自然湿地,其中水库及水利工程项目的建设对湿地的影响尤为突出^[28],这也导致了水田等人工湿地出现大规模的增长。近年来由于溧阳市实行退耕还林等相关政策,导致人工湿地出现了下降的趋势,但天目湖流域整体景观的破碎化程度依旧较高。

从景观格局指数变化角度来看,随着城镇化进程的加快,人类大规模的开发对湿地干扰的增加^[29],自 1995 年以来,天目湖流域湿地斑块个数(NP)逐年增加,平均斑块面积(AREA-MN)逐年减少,湿地的破碎化程度在逐年加深。在 1995—2005 年时期内,景观蔓延度指数(CONTAG)不断减小,而景观多样性指数(SHDI)和景观均匀度指数(SHEI)均明显增加,表明天目湖流域湿地景观的异质性程度在逐年上升,自然湿地斑块与人工湿地斑块转换剧烈,致使湿地景观多样性增加;而从 2005 年至今,景观蔓延度指数(CONTAG)开始增加,而景观多样性指数(SHDI)和景观均匀度指数

(SHEI)均呈现下降并趋于平稳,表明湿地景观基本保持着平衡,景观破碎度在减少,主要原因在于 2012 年溧阳市政府在天目湖流域实施退耕还林(草)、退渔还湖以及关闭矿山与轧石线等措施,对天目湖流域湿地景观恢复与保护起到了重要的作用。

纵观近 20 a 间天目湖流域湿地景观格局动态变化过程,可以充分说明人类活动是天目湖流域湿地景观的破坏的主要驱动因素。20 世纪以来,人类活动对天目湖流域湿地的开发强度仍在不断加大,湿地与非湿地之间的转换剧烈,自然湿地在不断减少,天目湖流域湿地面临的保护与开发冲突矛盾也日益凸显。因此,在今后的天目湖流域湿地建设当中应注意:

制定长期发展规划。在基础设施建设和对未利用地等的开发时,应注意与保护相结合^[30],加大天目湖流域退圩还湖与退渔还湖力度,恢复水生生态系统的生机和活力;建立和完善天目湖流域相应的旅游及监管体系,对占用、破坏湿地的行为进行严格的惩罚,发挥湿地的生态功能,促进天目湖流域湿地的可持续健康发展。

本研究是基于 3 期影像数据(时间跨度 20 a)进行天目湖流域湿地景观格局的分析,只能体现景观格局的大致变化趋势,无法详尽地描述其变化特征;同时在天目湖流域湿地景观格局演变的影响因素及相关措施方面只做了定性的描述,因此,在后续的研究中,将结合多期遥感影像数据和数理统计模型等

方法,定量分析天目湖流域景观格局演变的驱动力机制及优化措施。

参考文献:

[1] 陈宜瑜. 中国湿地[M]. 长春: 吉林科学出版社, 1995.

[2] 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, 2011.

[3] FORTIN M J, AGRAWAL A A. Landscape ecology comes of age[J]. *Ecology*, 2005, 86(8): 1965-1966.

[4] 胡巍巍, 王根绪. 湿地景观格局与生态过程研究进展[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(9): 969-975.

HU W W, WANG G X. Advances in research of landscape patterns and ecological processes of wetland [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(9): 969-975. (in Chinese)

[5] 吕宪国, 刘晓辉. 中国湿地研究进展——献给中国科学院东北地理与农业生态研究所建所 50 周年[J]. *地理科学*, 2008, 28(3): 301-308.

LYU X G, LIU X H. Wetland research progresses in China—dedicated to the 50th anniversary of northeast institute of geography and agroecology, CAS [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(3): 301-308. (in Chinese)

[6] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 等. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 1-12.

ZHANG M, GONG Z N, ZHAO W J, *et al.* Landscape pattern change and the driving forces in Baiyangdian wetland from 1984 to 2014 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(15): 1-12. (in Chinese)

[7] 高常军, 周德民, 栾兆擎, 等. 湿地景观格局演变研究评述[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(4): 460-464.

GAO C J, ZHOU D M, LUAN Z Q, *et al.* Review on researches of wetland landscape pattern change [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(4): 460-464. (in Chinese)

[8] 白军红, 欧阳华, 杨志锋, 等. 湿地景观格局变化研究进展[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(4): 36-45.

BAI J H, OUYANG H, YANG Z F, *et al.* Changes in wetland landscape patterns: a review [J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(4): 36-45. (in Chinese)

[9] 祁增营, 王京, 左正立. 湿地变化监测研究现状与展望[J]. *遥感信息*, 2012, 27(6): 124-132.

QI Z Y, WANG J, ZUO Z L. Current status and prospect of researches on wetland change monitoring[J]. *Remote Sensing Information*, 2012, 27(6): 124-132. (in Chinese)

[10] 周连义, 江南, 吕恒, 等. 长江南京段湿地景观格局变化特征[J]. *资源科学*, 2006, 28(5): 24-29.

ZHOU L Y, JIANG N, LU H, *et al.* Wetland landscape pattern changes along the Yangtze River in Nanjing City[J]. *Resources Science*, 2006, 28(5): 24-29. (in Chinese)

[11] MAINGI J K, MARSH S E. Assessment of environmental impacts of river basin development on the riverine forests of eastern Kenya using multi-temporal satellite data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(14): 2701-2729.

[12] KELLY N M. Changes to the landscape pattern of coastal North Carolina wetlands under the Clean Water Act, 1984—

1992[J]. *Landscape Ecology*, 2001, 16(16): 3-16.

[13] 李继红, 胡庆磊. 基于生态干扰度的宝清县湿地景观动态分析[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(5): 154-159.

LI J H, HU Q L. Dynamic appraisals of landscape pattern in Baoqing County wetland based on eco-disturbance degree[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(5): 154-159. (in Chinese)

[14] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 等. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析[J]. *地理学报*, 2011, 66(1): 77-88.

GONG Z N, ZHANG Y R, GONG H L, *et al.* Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 77-88. (in Chinese)

[15] 吴涛, 赵冬至, 张丰收, 等. 基于高分辨率遥感影像的大洋河口湿地景观格局变化[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1833-1840.

WU T, ZHAO D Z, ZHANG F S, *et al.* Changes of wetland landscape pattern in Dayang River estuary based on high-resolution remote sensing image[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1833-1840. (in Chinese)

[16] 刘振乾, 吕宪国, 刘红玉, 等. 黄河三角洲和辽河三角洲湿地资源的比较研究[J]. *资源科学*, 2000, 22(3): 60-65.

[17] 孙贤斌, 刘红玉. 基于生态功能评价的湿地景观格局优化及其效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. *生态学报*, 2010, 30(5): 1157-1166.

[18] 黄群芳, 张运林, 陈伟民, 等. 天目湖水文特征变化及其对上游湿地和湖泊生态环境的影响[J]. *湿地科学*, 2007, 5(3): 51-57.

HANG Q F, ZHANG Y L, CHEN W M, *et al.* Variation of hydrological characteristics of Tianmu Lake and its effect on the Tianmuhu wetland and ecological environment of the Tianmu Lake [J]. *Wetland Science*, 2007, 5(3): 51-57. (in Chinese)

[19] 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏. 天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究[J]. *环境科学*, 2012, 33(11): 3753-3759.

LI Z F, LIU H Y, LI H P. Impact on nitrogen and phosphorous export of wetlands in Tianmu Lake watershed [J]. *Environmental Science*, 2012, 33(11): 3753-3759. (in Chinese)

[20] 李国砚, 董雅文, 刘晓玫, 等. 天目湖流域土地利用的动态变化及其景观响应[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(1): 180-184.

LI G Y, DONG Y W, LIU X M, *et al.* Dynamic change of land use and landscape response in the watershed of Tianmu Lake [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 180-184. (in Chinese)

[21] 丁圣彦, 梁国付. 近 20 年来河南沿黄湿地景观格局演化[J]. *地理学报*, 2004, 59(5): 653-661.

[22] 范强, 杜婷, 杨俊, 等. 1982-2012 年南四湖湿地景观格局演变分析[J]. *资源科学*, 2014, 36(4): 865-873.

FANG Q, DU T, YANG J, *et al.* Landscape pattern changes for Nansihu wetland from 1982 to 2012 [J]. *Resources Science*, 2014, 36(4): 865-873. (in Chinese)

[23] 卢书兵, 朱卫红, 李洪楠. 基于 3S 技术的长白山自然保护区湿地分类及分布研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2012, 28(6): 57-61.

参考文献:

[1] 孟兆祯. 一所尽可能完美的现代文人自然山水园——赞 2011 中国西安世界园艺博览会修建性详细规划[J]. 园林, 2011(9): 8-11.

[2] 李天娇. 园艺类博览园的发展规划研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.

[3] 房昉. 园林博览会规划设计方法与其可持续发展关系的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.

[4] 许陈. 棕地型博览园规划研究——以武汉园博园为例[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.

[5] 王世超, 严艳. 昆明、沈阳和西安世界园艺博览会品牌分析——暨 2011 年西安世园会旅游的相关启示[J]. 园林, 2011(9): 40-43.

[6] 王保松. 重大节事对青岛城市旅游的影响研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2012.

[7] 苏丹. 第七届江苏省园艺博览会游客满意度评价分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[8] 王津宁. 中国园林展发展概况及展会后管理运作研究——以南京中国绿化博览园为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[9] 胡杰冰. 基于使用表现和使用者评价的国内园林博览园会后利用调查研究——以西安、济南、深圳为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.

[10] 黄少南. 重庆园林博览会植物景观营造研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.

[11] 李鸿雁. 深圳园博园植物景观配置研究[D]. 石家庄: 河北大学, 2013.

[12] 张洪英. 第六届中国(厦门)国际园林花卉博览会园博园植物配置特色与建植技术特点[J]. 中国园林, 2008(5): 85-89.

ZHANG H Y. The plant configuration features and planting technique characters of the 6th China international garden & flower expo (Xiamen) [J]. Chinese Landscape Architecture, 2008(5): 85-89. (in Chinese)

[13] 翁殊斐, 陈锡沐, 黄少伟. 用 SBE 法进行广州市公园植物配置研究[J]. 中国园林, 2002, 18(5): 84-86.

WENG S F, CHEN X M, HUANG S W. The application of SBE in plant disposition of Guangzhou parks, Guangdong[J]. Chinese Landscape Architecture, 2002, 18(5): 84-86. (in Chinese)

[14] 郭秀艳, 杨治良. 基础实验心理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.

[15] 李珍. 南京城市湖滨公园植物景观研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.

[16] 杨梅, 吉鑫淼, 吉文丽, 等. 西安市公园植物群落景观评价研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 289-294.

YANG M, JI X M, JI W L, *et al.* Landscape evaluation for plant communities of urban park in Xi'an [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 289-294. (in Chinese)

[17] 田晓明, 冯成志. 对偶比较法、等级排列法和两极递进式排序法的比较[J]. 心理科学, 2009, 32(4): 788-791.

[18] 宋云龙. 哈尔滨市欧式建筑周围植物配置的评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.

[19] 李秘. 长春市城市公园滨水植物景观评价及其配置模式的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.

[20] 王阔, 张楠, 晏海, 等. 新城滨河森林公园植物景观营造研究——以北京通州大运河森林公园为例[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(1): 268-274.

WANG K, ZHANG N, YAN H, *et al.* Plant landscape of the riverfront forest park: a case study of grand canal forest park in Tongzhou [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(1): 268-274. (in Chinese)

[21] 芦建国, 吴秀臣, 唐桂兰. 南京绿道植物景观营建特色探析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 295-301.

LU J G, WU X C, TANG G L. Characteristics of plantscape in greenways in Nanjing [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 295-301. (in Chinese)

[22] 俞孔坚. 自然风景质量评价研究——BIB-LCJ 审美评判测量法[J]. 北京林业大学学报, 1988, 10(2): 1-11.

YU K J. Landscape preference, BIB-LCJ procedure and comparison of landscape preference among different groups [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1988, 10(2): 1-11. (in Chinese)

(上接第 300 页)

[24] 张爽, 刘雪华, 靳强. 决策树学习方法应用于生境景观分类[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(9): 1564-1567.

ZHANG S, LIU X H, JIN Q. Decision tree learning for habitat landscape classification [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(9): 1564-1567. (in Chinese)

[25] 孔凡亭, 郗敏, 李悦, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的湿地景观格局变化研究进展[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 941-946.

[26] 张本昀, 申怀飞, 郑敬刚, 等. 河南省土地利用景观格局分析[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 317-323.

[27] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 等. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.

[28] 陈恣恣, 刘俊国. 黄旗海流域景观格局动态分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 165-170, 182.

CHEN M M, LIU J G. Landscape dynamics in the Huangqihai lake basin from 1976 to 2010 [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(3): 165-170, 182. (in Chinese)

[29] 刁亚芹, 韩莹, 李兆富. 2000 年以来天目湖流域茶园分布变化及趋势模拟[J]. 湖泊科学, 2013, 25(6): 799-808.

[30] 黄群芳, 董雅文, 陈伟民, 等. 基于景观生态学的天目湖湿地公园规划[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 12-16.