DOI:10.15928/j.1674-3075.2015.03.007

扬州市湿地景观格局演变及驱动力研究

徐连芳,叶亚平

(河海大学 水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:以扬州市2002年、2007年、2013年的遥感影像为数据源,通过解译获得了扬州市湿地资源分布图,运用转移矩阵法及景观格局指数法对2002-2013年间扬州市湿地动态变化及景观格局演变进行分析,并利用主成分分析法对其驱动力进行探究。结果表明,扬州市2002-2013年湿地面积呈逐年下降趋势,2007年比2002年减少13.69 km^2,降幅1.1%;2013年比2007年减少43.23 km^2,降幅3.3%。2013年与2002年相比,河流面积稍有减少,降幅为5.6%;滩地面积增加73.2%;库塘面积所占比重由49.84%上升到55.37%,面积增加6.2%;湖泊面积降幅29.7%,所占比重由32.83%下降到24.14%。2002、2007、2013年,各湿地斑块所占景观面积比均为库塘>湖泊>河流>滩地。景观格局指数分析表明,湖泊、滩地及库塘呈现不同程度的破碎化,而河流湿地斑块形状趋于规则且连通性较好。扬州市湿地景观整体呈破碎化趋势,湿地斑块形状趋于复杂,景观多样性增加,各类型湿地呈均衡化趋势发展。社会经济发展、人口增加、第二产业比重及降雨量变化是导致湿地景观格局变化的主要驱动力。

关键词:湿地;景观格局;驱动力;扬州市

中图分类号:X321,P901 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)03-0044-07

城市湿地是城市生态基础设施的主要组成部分,具有涵养水源、净化水质和调节气候等多种生态服务功能。维持湿地结构功能的完整性及生态服务功能,是城市可持续发展的重要基础,也是建设生态城市的重要保证(李锋等,2014)。城市化进程的不断加快,人口的快速增长,导致大量湿地资源被占用,逐渐出现面积缩减、结构破碎及功能退化等一系列问题(李春晖等,2009)。目前,国内外学者已针对湿地景观格局时空演变规律及其驱动机制分析(许吉仁和董霁红,2013)、湿地景观动态变化模拟(张怀清等,2009)、湿地服务价值评估(Woodward & Wui,2001;江波等,2011)及其环境效应(Michael et al,2010;刘红玉和李兆富,2006)展开了研究。在我国,围绕城市湿地的景观格局变化研究逐渐成为湿地科学研究的热点(Zhang et al,2011;宁龙梅等,2005;胡晓和叶亚平,2014)。

扬州市(32°15′~33°25′N,119°01′~119°54′E)地处江苏省中部,长江北岸,江淮平原南端,是南水北调东线工程的重要水源地。地势西高东低,仪征和市区北部为丘陵,京杭大运河以东为平原和水网地区。全市总面积6 591.21 km^2,属于亚热带季风性湿润气候向温带季风气候的过渡区,年均降水量1 020 mm,年均气温14.8℃。扬州市位于长江流域和淮河流域的交汇区域,境内河网密布,湿地资源丰富。全市现有湖泊湿地(白马湖、宝应湖、高邮湖、邵伯湖等)、河流湿地(长江、京杭大运河等)、水库湿地等类型,湿地总面积(水稻田除外)占国土面积的21.35%。其中,河流、湖泊等自然湿地占湿地总面积的55.35%,人工湿地占44.65%(2008年扬州市湿地调查数据)。丰富的湿地资源为野生动物提供了良好的栖息环境,并促进了区域水产养殖业的发展,使扬州市获得了良好的生态、经济和社会效益。近年来,由于人口规模的增大和经济的快速增长,扬州市湿地开发利用过度,湿地种类减少、面积锐减,河流湿地污染严重、生态服务功能下降,湿地生态环境逐渐趋于恶化(王学武等,2010)。已有学者对扬州市土地利用变化及其驱动机制做了相应研究(牛星和欧名豪,2007),但对扬州市湿地景观格局演变进行系统全面的研究还未见报道。鉴此,本文利用转移矩阵法及景观格局指数法分析2002-2013年间扬州市湿地变化特征及其景观格局演变,并对其驱动机制进行探究,以期为扬州市湿地资源保护、生态城市的建设及管理提供科学依据。

收稿日期:2015-02-05

作者简介:徐连芳,1989年生,女,硕士研究生,研究方向为城市生态学。E-mail:lianfangx1023@163.com

通信作者:叶亚平,1966年生,女,博士,副教授,研究方向为生态规划及生态服务功能。E-mail:1351476164@qq.com

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源与预处理

本文研究时段为 2002、2007 和 2013 年,土地利用数据通过遥感影像解译获得,统计数据来源于《扬州市统计年鉴》及《扬州市国民经济和社会发展统计公报》。选取研究区 2002、2007 年的 Landsat TM 以及 2013 年的 Landsat OLI_TIRS 3 期 6 景遥感影像为基础数据,利用 ENVI4.6 软件对图像进行拼接、裁剪、波段合成后,根据不同用地类型的颜色、纹理、形状特征建立解译标志,采用监督分类与目视解译相结合的方法进行解译,经分类后处理,得到扬州市 2002、2007、2013 年的湿地资源分布图(图 1),总体分类精度均在 89% 以上。依据国土资源部 2007 年公布的《土地利用现状分类 GB/T21010-2007》及我国湿地的分类框架,并结合研究目的及研究区用地特征,将扬州市用地类型划分为建设用地、耕地、湿地、林地及草地。进一步将湿地划分为天然湿地和人工湿地,其中,天然湿地包括河流、湖泊及滩地,人工湿地是由水库、坑塘及水产养殖水面组合而成的库塘湿地。扬州市 3 期土地利用类型分布如图 2。

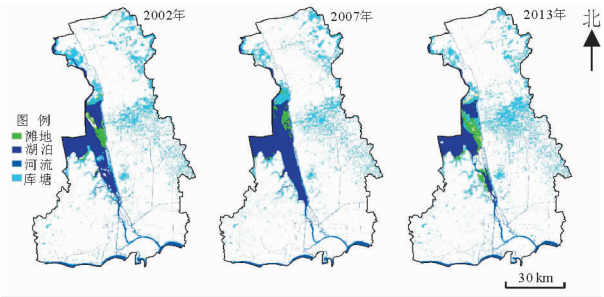

图 1　2002 – 2013 年扬州市湿地分布

Fig. 1　Distribution of wetlands in Yangzhou in 2002, 2007 and 2013

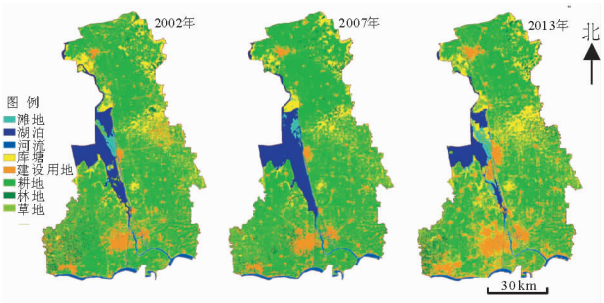

图 2　2002 – 2013 年扬州市土地利用类型分布

Fig. 2　Distribution of land use types in Yangzhou in 2002, 2007 and 2013

1.2　研究方法

1.2.1　转移矩阵法　土地利用转移矩阵可描述区域各用地类型的相互转化情况,能够具体反映土地利用变化的结构特征和各类型之间的转移方向(史利江等,2012)。利用 ArcGIS 10.1 的空间分析模块,将解译获得的 2002、2007、2013 年土地利用分布图的矢量数据进行叠加,求得不同用地类型间相互转化的面积值及相应概率值,通过统计得到扬州市不同时段各湿地类型面积,并构建 2002 – 2007 年、2007 – 2013 年和 2002 – 2013 年扬州市各湿地类型之间及各湿地类型与其他用地类型之间的转移概率矩阵,分析研究时段内扬州市各湿地类型的时序变化特征及其在空间格局上的演变趋势。

1.2.2　景观格局指数法　景观格局指数是景观格局信息的高度概括,反映景观结构组成、空间配置特征,是景观格局研究的重要指标之一(邬建国,2007)。借助 Fragstats 4.2 平台,从景观面积形状、破碎度、空间构型及多样性等方面选取相应的景观格局指数对扬州市湿地景观格局变化进行分析。基于类型水平,选取斑块所占景观面积比例、斑块个数、斑块密度、最大斑块指数、平均周长面积比及斑块结合度指数;基于景观水平,选取景观面积、斑块个数、斑块密度、面积加权平均形状指数、蔓延度、散布与并列指数、香农多样性指数及香农均匀度指数。各景观指数的计算公式依据相关文献(Hulshoff,1995;Herzog et al,2001)。

1.2.3　主成分分析法　主成分分析法是多元统计分析中的一种重要方法,是将多个变量通过线性变换以选出重要变量的一种多元统计分析方法,用这种方法可以找到几个综合因子来代表原来众多的变量,并且这几个综合因子能反映原来绝大多数的信息(吴美琼和陈秀贵,2014)。考虑到本文对于城市化研究的侧重性,并综合之前学者的研究成果(刘东云等,2012;赵锐锋等,2013;胡晓和叶亚平,2014)及数据的完整性、可获得性要求,本文选取影响湿地景观格局变化的自然因子和社会经济因子共 15 个变量指标构建驱动因子体系对扬州市湿地景观格局演变的驱动力因素进行探究。其中,自然因子包括年均降雨量、平均气温及蒸发量,社会经济因子包括第一产业比重、第二产业比重、第三产业比重、地区生产总值、全社会固定资产投资、社会消费品零售总额、财政总收入、人均地区生产总值、城市居民人均可支配收入、城市人均住房建筑面积、年末总人口及人口密度。

2 结果与分析

2.1 扬州市湿地变化特征

扬州市2002－2013年间湿地变化情况如表1。

表1 2002－2013年扬州市湿地变化情况

Tab.1 Changes of wetland types in Yangzhou from 2002 to 2013

湿地类型	2002年		2007年		2013年	
	面积/km²	比重/%	面积/km²	比重/%	面积/km²	比重/%
河流	172.33	13.24	156.37	12.14	162.69	13.07
湖泊	427.37	32.83	499.74	38.79	300.61	24.14
滩地	53.32	4.09	39.67	3.08	92.37	7.42
库塘	648.94	49.84	592.49	45.99	689.37	55.37
合计	1301.96	100.00	1288.27	100.00	1245.04	100.00

扬州市湿地面积呈逐年下降趋势，2007年比2002年减少13.69 km²，降幅1.1%；2013年比2007年减少43.23 km²，降幅3.3%。整个研究时段内，河流、滩地与库塘湿地面积均呈先减少后增加的变化趋势，且研究后期滩地与库塘湿地增幅明显。2013年与2002年相比，河流面积稍有减少，降幅为5.6%；滩地面积增加73.2%；库塘面积所占比重由49.84%上升到55.37%，面积增加6.2%；湖泊面积降幅29.7%，所占比重由32.83%下降到24.14%。

2.2 扬州市各类型湿地的转移概率矩阵

将3期土地利用图叠加分析计算，扬州市各类型用地的转移概率见表2。

2002－2007年间，各类型湿地保留率大小依次是湖泊＞河流＞库塘＞滩地。滩地保留率仅有11.53%，80.87%的滩地转化为湖泊，主要是由于该时段内扬州市降雨量增加。其他类型湿地保留率均在60%以上。

表2 扬州市各类型用地的转移概率矩阵 %

Tab.2 Transition matrix of different land uses in Yangzhou

年份	土地利用类型	建设用地	耕地	河流	湖泊	滩地	库塘	林地	草地
2002－2007	建设用地	47.50	35.63	0.78	0.69	0.03	2.09	9.49	3.80
	耕地	5.05	80.61	0.17	0.09	0.03	3.00	5.19	5.86
	河流	7.99	4.57	77.41	4.45	0.01	1.22	1.51	2.85
	湖泊	0.06	0.36	0.00	91.31	6.24	1.79	0.12	0.13
	滩地	0.01	0.13	0.00	80.87	11.53	6.64	0.02	0.79
	库塘	3.20	19.09	0.61	3.51	0.32	62.91	7.92	2.43
	林地	8.67	44.27	0.23	0.34	0.00	5.36	27.57	13.56
	草地	5.03	43.03	1.42	10.69	1.58	7.38	10.79	20.08
2007－2013	建设用地	82.23	6.98	1.18	0.00	0.00	1.76	2.96	4.89
	耕地	12.71	67.88	0.16	0.01	0.02	4.43	5.50	9.30
	河流	8.59	1.19	81.83	0.04	0.00	2.81	0.40	5.13
	湖泊	7.91	0.27	2.64	56.60	14.98	10.82	0.20	6.59
	滩地	0.71	0.02	0.00	38.06	27.58	21.70	0.02	11.91
	库塘	3.96	10.11	0.19	0.15	0.91	66.51	6.01	12.16
	林地	24.45	28.89	0.34	0.24	0.04	7.32	23.11	15.60
	草地	12.28	47.25	0.87	0.07	0.08	4.49	16.26	18.69
2002－2013	建设用地	65.42	15.48	0.31	0.07	0.05	3.24	7.72	7.71
	耕地	11.67	70.90	0.12	0.01	0.03	4.34	4.13	8.81
	河流	9.04	0.45	82.23	0.44	0.29	2.83	0.23	4.48
	湖泊	6.20	0.01	2.18	68.88	9.62	9.91	0.23	2.97
	滩地	0.53	0.00	0.07	1.17	62.12	22.61	0.00	13.51
	库塘	6.31	10.02	0.35	0.24	1.06	60.36	7.20	14.45
	林地	19.75	35.16	0.10	0.19	0.06	6.94	24.33	13.46
	草地	13.48	33.21	0.60	0.57	4.09	7.51	11.93	28.62

2007－2013年间，河流、滩地、库塘湿地保留率均较2002－2007年有所上升，而湖泊保留率明显下降，不足60%。减少的湖泊面积主要转化为滩地及库塘，转化率分别是14.98%、10.82%。

2002－2013年，河流保留率最高，达到82.23%；依次为湖泊、滩地和库塘，保留率均在60%～70%。其中，湖泊、滩地的转化均主要为库塘，说明在人类活动影响下，人工湿地的优势地位不断增强。而建设用地及草地对各类型湿地的占用明显，是湿地面积减少的主要原因，说明生态城市建设对湿地结构产生了很大影响。

2.3 湿地景观格局分析

2.3.1 基于湿地类型水平景观格局 不同类型湿地的景观格局指数见表3。

表 3　扬州市湿地类型水平景观格局指数

Tab. 3　Landscape metrics of wetland in Yangzhou at class level

湿地类型	年份	占景观面积/%	斑块数/个	斑块密度/个·km^{-2}	最大斑块指数/%	平均周长面积比	斑块结合度指数
河流	2002	2.62	42	0.01	2.28	502.04	99.91
	2007	2.37	36	0.01	2.05	435.16	99.91
	2013	2.47	36	0.01	2.07	412.93	99.91
湖泊	2002	6.49	8	0.00	4.83	163.19	99.94
	2007	7.58	16	0.00	7.30	208.06	99.96
	2013	4.56	18	0.00	2.98	342.03	99.89
滩地	2002	0.81	107	0.02	0.42	792.36	99.61
	2007	0.60	142	0.02	0.27	357.76	99.23
	2013	1.40	571	0.09	0.57	583.83	99.55
库塘	2002	9.85	10 790	1.62	1.08	680.86	99.41
	2007	8.99	11 223	1.69	0.62	616.44	98.99
	2013	10.46	11 451	1.72	1.98	705.89	99.23

2002、2007、2013 年,各湿地斑块所占景观面积比均为库塘 > 湖泊 > 河流 > 滩地,可见库塘一直是扬州市的优势湿地景观类型。河流湿地斑块密度、斑块结合度指数均无明显变化,平均周长面积比值逐渐下降,说明河流作为景观廊道斑块,其形状逐渐趋于规则且连通性较好。湖泊湿地斑块个数、平均周长面积比值均持续增加,说明湖泊斑块形状变得复杂,有破碎化趋势;最大斑块指数、斑块结合度指数先增加后减小,且研究后期降幅明显,表明 2007 – 2013 年间湖泊湿地破碎化进程加快,斑块连通性减弱。滩地斑块个数、斑块密度持续增加,呈持续破碎化状态;平均周长面积比值、斑块结合度指数先减小后增加,且最终值均比 2002 年减小,说明滩地斑块形状虽趋于规则简单化但斑块连通性减弱。库塘作为扬州市优势湿地景观类型,整个研究期内比重增加,优势地位增强,但其斑块个数、斑块密度均持续增大,破碎化严重;最大斑块指数、平均周长面积比、斑块结合度指数均呈先减小后增加趋势,表明在人类活动影响下库塘湿地呈不规则的片区分布,斑块连通性得到恢复。

2.3.2　基于湿地景观水平景观格局　扬州市湿地景观水平指数见表 4。扬州市湿地景观面积减少,斑块数量、斑块密度均呈不断增加的趋势,表明扬州市湿地景观呈破碎化趋势。面积加权平均形状指数呈“减少 – 增加”的变化态势,说明景观斑块形状由简单、规则向复杂化发展。研究期内,蔓延度指数、散布与并列指数先增加后减小,但最终值较 2002 年降低,表明研究前期景观内部斑块间的相互混杂程度加深,人为影响加剧,研究后期人类活动影响减弱,情况得到缓解。扬州市湿地景观香农多样性指数、香农均匀度指数均呈“先减后增”的变化趋势,表明 2002 – 2007 年间湿地景观多样性降低,各类型湿地所占面积比例差异较大,而整个研究期内,景观多样性增加,景观异质化程度降低,各类型湿地呈均衡化趋势发展。

2.4　扬州市湿地景观格局演变驱动力分析

2.4.1　湿地景观格局演变驱动力定量分析　对影响扬州市湿地景观变化的 15 个指标标准化处理后,运用 SPSS 软件进行因子分析。利用主成分分析法得到各因子方差贡献率及累积贡献率,经 Bartlett 球形度检验,显著性概率是 0.000,KMO 系数为 0.811,效果较好。按照特征值大于 1 且累积贡献率高于 85% 的原则提取的主成分因子见表 5。第 1、2、3 主成分的特征值分别是 9.301、3.579、1.422,累积贡献率达到 95.343%。

表 4　扬州市湿地景观水平景观格局指数

Tab. 4　Landscape metrics of wetland in Yanghzou at landscape level

年份	景观面积/km^2	斑块个数/个	斑块密度/个·km^{-2}	面积加权平均形状指数	蔓延度指数	散布与并列指数	香农多样性指数	香农均匀度指数
2002	1301.96	10947	8.41	8.29	59.19	75.50	1.11	0.80
2007	1288.27	11417	8.87	7.87	60.21	83.58	1.09	0.78
2013	1245.04	12076	9.70	9.37	58.19	73.31	1.13	0.82

表 5　特征值及主成分贡献率

Tab. 5　Eigenvalues and contribution rates of different principle components

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	10.201	68.009	68.009	10.201	68.009	68.009	9.301	62.004	62.004
2	2.847	18.979	86.989	2.847	18.979	86.989	3.579	23.860	85.864
3	1.253	8.354	95.343	1.253	8.354	95.343	1.422	9.479	95.343

对第1、第2及第3主成分进行方差最大正交旋转,得到3个主成分在各指标上的载荷值,见表6。第1主成分与社会消费品零售总额、全社会固定资产投资、地区生产总值、城市居民人均可支配收入、人均地区生产总值和财政总收入有较大的正相关,载荷值均在0.9以上;人口密度、城市人均住房建筑面积在第1主成分的载荷值也达到0.8以上,这些指标反映了扬州市的社会经济发展及人口规模情况。第2主成分在第二产业比重载荷值较高,而与第三产业比重呈负相关,载荷值分别是0.965、-0.849;第2主成分反映的是产业结构情况,而第2产业比重的驱动作用更加明显。第3主成分与年均降雨量有很大的正相关,载荷值为0.964,降雨量是湿地景观变化的主要自然因素。

引起扬州市湿地景观格局变化的驱动力因子可以归结为社会经济发展、人口增加、第二产业比重及降雨量变化。

表6 旋转因子载荷矩阵

Tab.6 Rotated component matrix

指标	主成分		
	1	2	3
社会消费品零售总额	0.994	0.057	0.021
全社会固定资产投资	0.994	0.084	-0.001
地区生产总值	0.993	0.082	0.002
城市居民人均可支配收入	0.992	0.108	0.011
人均地区生产总值	0.965	0.084	0.157
财政总收入	0.900	0.168	0.157
人口密度	0.896	0.417	0.024
城市人均住房建筑面积	0.801	0.503	0.097
第一产业比重	-0.795	-0.596	0.072
年末总人口	0.691	0.688	0.022
第二产业比重	0.240	0.965	-0.073
第三产业比重	0.501	-0.849	0.034
蒸发量	-0.617	-0.734	0.067
年均降雨量	-0.074	0.008	0.964
平均气温	-0.604	0.259	-0.646

2.4.2 湿地景观格局演变驱动力定性分析

(1)社会经济发展

2002-2013年间,扬州市地区生产总值增长了2698亿元,人均生产总值年均增长40.7%,经济发展水平显著提高。经济的快速发展,使得扬州市在工业、建筑业上的投资加大,加速了扬州的城市化进程,为扬州市土地利用格局演变提供了经济助力。经济增长促进居民生活水平提高,生活质量得到改善,同时居民对环境质量的要求也在提高,由此推动了城市公园等休闲游憩场所的建设,绿化用地大量取代了原有的湿地自然景观。

(2)人口增加

研究期间,扬州市人口呈逐年上升趋势,人口密度由681人/km^2增长到697.6人/km^2。人口的增加引发对于居住用地、基础设施及交通用地等的需求增大,加快了城市扩张速度;此外,人口增加对生产用地的需求也增加,人地供求关系矛盾凸显。研究发现,里下河地区近400 km^2的沼泽湿地因围垦种植、挖塘养鱼已开发殆尽(王学武 等,2010),而且大规模的交通路网建设使城市景观呈现网格化,加速了湿地景观的破碎化。

(3)第二产业比重

据统计数据显示,2002-2013年间,第二产业一直是扬州市的主要产业类型。随着第二产业规模的扩大,工业园区、产业园区的建设用地需求增加,尤其是形成沿江六大产业板块的战略实施,带动了周边地区的基础设施建设及商业、餐饮、娱乐等服务业的快速发展,工业化的推进增加了建设用地面积,特别是船厂、码头等的建设使湿地面积缩减,湿地景观格局破碎严重。

(4)降雨量变化

降雨是湿地水源补给的重要来源,降雨量的变化直接影响湿地水文情势。研究时段内,扬州市的年均降雨量总体呈波动减少的趋势(图3)。降雨的缺失导致河流、湖泊、库塘等湿地的水位下降,面积减少,湿地生境受到威胁,生态服务功能降低。

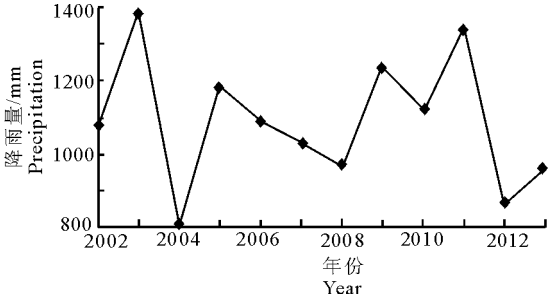

图3 2002-2013年间扬州市年均降雨量变化

Fig.3 Changes of annual precipitation in Yangzhou from 2002 to 2013

3 结论

本文选取扬州市第三轮城市规划前期的2002-2013年作为研究时段,基于ArcGIS及Fragsats平台,综合转移矩阵法、景观格局指数法及主成分分析法对扬州市12年间的湿地景观格局进行定量研究,并分析其演变的影响因素。结果表明:(1)建设用地等的侵占导致扬州市湿地总面积持续减少。其

中,库塘、滩地面积增加,河流、湖泊面积减少,湿地结构发生明显变化。库塘湿地是扬州市的主要景观类型,且至 2013 年,库塘湿地所占比重超过 50%,自然湿地景观逐渐被人工湿地景观所取代。(2)河流作为景观廊道,斑块形状逐渐规则、连通性好,而湖泊、滩地及库塘湿地呈持续破碎化状态,斑块连通性减弱且湖泊及库塘的斑块形状变得复杂。研究期间,整个湿地景观破碎化程度不断加深,斑块形状趋于复杂且景观异质性降低。(3)在自然因素和社会经济因素的共同影响下,扬州市湿地面积减少,景观破碎化严重。除气候因素中降雨量的影响外,社会经济发展、人口规模增加及第二产业比重是导致扬州市湿地景观格局发生变化的主要原因。扬州市生态城市建设应从以上 3 方面进行合理调控,以保证城市湿地结构及功能的完整性。

本研究对于正确认识扬州市湿地格局变化,进而调整土地利用结构、制定合理的湿地保护及管理措施具有重要意义。下一步将开展扬州市湿地的服务功能评估工作,完善湿地研究内容,为扬州市生态城市建设提供科技支撑。

参考文献

胡晓, 叶亚平. 2014. 唐山市 2000 ~ 2010 年湿地景观格局演变及驱动力分析[J]. 水电能源科学, 32(4): 139 – 142.

江波, 欧阳志云, 苗鸿, 等. 2011. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价[J]. 生态学报, 31(8): 2236 – 2244.

李春晖, 郑小康, 牛少凤, 等. 2009. 城市湿地保护与修复研究进展[J]. 地理科学进展, 28(2): 271 – 279.

李锋, 王如松, 赵丹. 2014. 基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望[J]. 生态学报, 34(1): 190 – 200.

刘东云, 黄晓磊, 杜林芳, 等. 2012. 天津湿地景观格局动态变化[J]. 生态学杂志, 31(11): 2914 – 2920.

刘红玉, 李兆富. 2006. 挠力河流域湿地景观演变的累积效应[J]. 地理研究, 25(4): 606 – 616.

宁龙梅, 王学雷, 吴后建. 2005. 武汉市湿地景观格局变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 14(1): 44 – 49.

牛星, 欧名豪. 2007. 扬州市土地利用变化的驱动力机制研究[J]. 中国人口·资源与环境, 17(1): 102 – 108.

史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 2012. 1994 ~ 2006 年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 21(12): 1468 – 1479.

邬建国. 2007. 景观生态学 – 格局、过程、尺度与等级:第 2 版[M]. 北京: 高等教育出版社.

吴美琼, 陈秀贵. 2014. 基于主成分分析法的钦州市耕地面积变化及驱动力分析[J]. 地理科学, 34(1): 54 – 59.

王学武, 严阳, 孙羊林, 等. 2010. 扬州市湿地资源现状及保护、利用对策[J]. 江苏林业科技, 37(2): 55 – 57.

许吉仁, 董霁红. 2013. 1987 ~ 2010 年南四湖湿地景观格局变化及其驱动力研究[J]. 湿地科学, 11(4): 438 – 444.

张怀清, 唐晓旭, 刘锐, 等. 2009. 盐城湿地类型演化预测分析[J]. 地理研究, 28(6): 1713 – 1721.

赵锐锋, 姜朋辉, 赵海莉, 等. 2013. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J]. 生态学报, 33(14): 4436 – 4449.

Herzog F, Lausch A, Muller E, et al. 2001. Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation [J]. Environmental Management, 27(1): 91 – 107.

Hulshoff R M. 1995. Landscape indices describing a Dutch landscape[J]. Landscape Ecology, 10(2): 101 – 111.

Michael P W, Brad S, James R H. 2010. Identifying the ecological causes of long-term declines of wetland-dependent birds in an urbanizing landscape[J]. Biodiversity and Conservation, 19(11): 3287 – 3300.

Woodward R T, Wui Y S. 2001. The economic value of wetland services: a meta-analysis [J]. Ecological Economics, 2(37): 257 – 270.

Zhang Yiran, Gong Zhaoning, Gong Huili, et al. 2011. Investigating the dynamics of wetland landscape pattern in Beijing from 1984 to 2008[J]. Journal of Geographical Sciences, 21(5): 845 – 858.

(责任编辑　张俊友)

Evolution of the Wetland Landscape Pattern and Its Driving Forces in Yangzhou

XU Lian-fang, YE Ya-ping

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

Abstract: A key component of the urban ecological infrastructure, urban wetlands offer important ecological services including water resource conservation, climate regulation and water purification. Yangzhou City is located in the intersection of Yangtze River basin and Huaihe River basin, with a complex river network and abundant wetland resources. The rich wetland resources support good wildlife habitat and support aquaculture, bringing ecological, economic and social benefits to the people of Yangzhou. However, the rapid urbanization and population growth have caused excessive exploitation of urban wetland resources in Yangzhou, accompanied by loss of wetland area, wetland landscape fragmentation and the degradation of wetland function. It is therefore important to document the changes and explore the driving forces to provide scientific evidence for the protection of wetland resources and the development of an ecological city. In this paper, remote sensing images for the years 2002, 2007 and 2013 were used as the primary data sources and the spatial distribution of wetlands in Yangzhou were determined by interpreting the images. The transition matrix method and landscape metrics were combined to quantify the dynamic changes of wetland landscape pattern from 2002 to 2013. Additionally, the primary driving factors for wetland landscape changes were diagnosed through principal component analysis. The results indicate that the area of the wetlands in Yangzhou decreased year by year from 2002 – 2013. The total area of wetlands decreased by 13.69 km^2 (1.1%) from 2002 to 2007, and decreased by 43.23 km2 (3.3%) from 2007 to 2013. During the study period, the area of bottomlands increased by 73.2% and the area of artificial reservoirs and ponds increased by 6.2%, resulting in an increase in the percentage of total wetland area from 49.84% in 2002 to 55.37% in 2013. Conversely, the river area decreased by 5.6%, and lake area decreased by 29.7%, resulting in a decline in proportion to the total wetland area from 32.83% in 2002 to 24.14% in 2013. Artificial reservoirs and ponds occupied the largest proportion of wetland areas in Yangzhou as compared to lakes, rivers and bottomlands. Our analysis of landscape metrics shows that lakes, bottomlands and artificial reservoirs and ponds display different degrees of fragmentation, while rivers maintained a high connectivity and the patch shape was even and simple. In general, the wetland landscape pattern of Yangzhou is trending toward fragmentation and a more complicated shape. Landscape diversity increased as different wetland types became more equally distributed across the landscape. Driving force analysis indicates that economic development, increasing population, changes in the proportion of secondary industry and annual precipitation were the main factors driving changes in the wetland landscape pattern of Yangzhou city.

Key words: wetland; landscape pattern; driving force; Yangzhou city