

快速城市化背景下上海绿色空间时空动态演变

李莹莹, 黄成林*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 从“绿色空间”这一城市可持续发展中社会、经济与生态统筹的切入点入手, 基于遥感影像数据, 从土地利用类型的角度, 通过对上海城市绿色空间结构和演变过程的追踪, 对1997、2000、2005和2008年绿色空间时空变化特征进行了深入分析。结果表明, 研究区总体上以绿色空间的减少和非绿色空间的增加为典型特征。11年间, 在各种绿色空间用地变化中, 农田动态变化度最高, 面积变化最大, 共减少了661.50 km², 减幅达22.69%; 从农田的转移方向来看, 主要是转变为建设用地和城镇绿地, 分别占农田面积总流出量的72.14%和37.37%; 而森林绿地、灌草地和水域的总面积基本保持稳定, 但其动态变化度均有不同程度变化, 表明内部结构不稳定性增强, 绿色空间内部类型的转变主要是农田向城市绿地转变。从景观多样性时空演变分析看, 郊区地区比中心城区有着更高景观多样性。

关键词: 绿色空间; 时空演变; 景观多样性; 上海

中图分类号: X21

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)01-0087-07

The spatio-temporal dynamics of the green space and landscape in rapidly urbanizing Shanghai

LI Yingying, HUANG Chenglin

(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Rapid urbanization has caused a series of eco-environmental problems associated with the change of green space. A common consensus has been achieved that green spaces are valuable resources in coupled natural and human urban systems. As the most rapidly urbanizing area in China, Shanghai's landscape patterns experienced a tremendous change. Through the integrated approach of remote sensing and geographic information system (GIS) techniques, four Landsat TM/ETM+ imagery acquired from 1997 to 2008 were used to quantitatively characterize the patterns of urban green space change in the fast-growing Shanghai Metropolis. Results showed that the cropland decreased 661.50 km² with a drop of 22.69%. The area of forest, shrub and water were kept in balance whereas the spatial dynamics changed dramatically in the study area. As a result, during 1997 and 2008, approximately 72.14% of the cropland was converted to urban/construction land and 37.37% to urban green space. The spatial distributions of the landscape diversity identified the areas where the landscape diversity significantly changed in the metropolitan area of Shanghai. The spatiotemporal pattern of the landscape diversity in the suburban area was higher than the central area of Shanghai.

Key words: urban green space; temporal and spatial dynamics; landscape diversity; Shanghai

城市是一类由城市建成区及其周边的郊区共同组成的社会-经济-自然复合生态系统^[1-2], 绿色空间作为城市生态系统的重要组成部分, 其结构和功能研究是解决城市未来空间发展与环境耦合问题的关键, 也是有效缓解快速城市化地区生态环境退化问题的关键^[3-6]。绿色空间包括城市园林(人工型绿

地)、农林地(半自然型绿地)、原野地(自然型绿地)等绿地以及河流、湿地等水域空间^[6-9], 因与人类生活空间密切相关, 其整体性、多样性及系统性在很大程度上受到人类活动的干扰, 呈现出动态性的特点, 其演变及与城市快速扩张的关系, 已成为城市规划、城市生态、城市环境等学科的研究热

收稿日期: 2015-12-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301650)资助。

作者简介: 李莹莹, 博士, 讲师。E-mail: lyyforward@126.com

* 通信作者: 黄成林, 教授。E-mail: hcl8888@ahau.edu.cn

点^[10-11]。在现阶段城市绿色空间建设主观性较强,缺少系统科学分析的大环境下^[12],定量分析绿色空间的类型组成、数量特征和动态演变等结构特征可以帮助理解绿色空间的发展演变过程,为分析快速城市化及人类活动影响下的城市空间格局的优化调控提供至关重要的科学依据。

上海是中国快速城市化地区之一,而上海中心城区和市域城市化地区是变化最剧烈的区域^[13]。近年来,已有不少学者对上海快速城市化过程及由此带来的城镇用地扩展、景观格局演变等问题进行过研究^[14-17],而对典型快速城市化上海地区绿色空间进行系统、动态的时空结构演变研究还相对较少。因此,本研究以上海快速城市化地区为例,基于景观生态学的视角,从多维层次,准确描述和全面分析上海城市绿色空间组成结构特征及其动态演变过程,探究城市景观多样性变化特征,对于优化上海城市绿色空间结构和功能,引导城市空间健康发展,改善城市人居环境等都具有极其重要的理论和现实意义。同时,以上海为例介入的研究对于揭示现阶段我国快速城市化区域面临的绿色生态基础设施建设面临的制约瓶颈与寻求突破具有重要的借鉴意义。

1 研究区概况

上海市地处 30°40'~31°53'N, 120°51'~122°12'E,北界长江,东濒东海,南临杭州湾,西接江苏和浙江两省,地理位置优越。以上海 1994 年城市化水平达到 70.1%为界,上海已进入城市化高速发展阶段^[18]。由于本研究关注的是上海地区城市化过程影响下绿色空间的演变,因此选择以上海市为中心,包括上海周边郊县大部分城市化最为剧烈的区域为研究对象。采用固定样窗法,以上海内环市区人民广场区域为中心设置固定矩形样窗(图 1)。样窗大小为 60 km×60 km,总面积为 3 600 km²,占上海市总面积的 60%左右,包括上海市行政区域内大部分的陆域(不包括崇明岛、长兴岛、横沙岛、金山区和靠近海岸的部分区域)。

2 研究方法

2.1 数据采集及预处理

本研究选取 4 个年度的遥感数据,通过对多年度数据分析,更好地研究上海市绿色空间的演变过程和规律。4 幅影像在研究区范围内云量少,为绿色空间解译提供良好的数据基础。绿色空间信息提取过程采用一系列的辅助数据(表 1)。



图 1 研究区地理位置和范围

Figure 1 Location of the study area and its boundary

以上海 1:25 万的行政区地图为基准进行图像配准。以地形图为参考数据源,对 1997 年度的 TM 图像进行几何校正,校正重采样选用双线性内插法(Bilinear interpolation)进行地图对图像的配准,几何精校正误差控制在 1 个像元内。对校正影像进行地图投影到上海城建地方坐标系。以校正好的 1997 年 TM 图像为基准图,对 2000 年、2005 年和 2008 年的 TM/ETM+影像进行图像对图像的精确配准处理,几何精校正误差在 0.5 个像元内。经处理好的影像在 ENVI 4.7 的支持下,应用 Subset 功能剪裁出研究区的影像,对影像进行增强处理和彩色合成处理,以提高其可判读性,尽可能保证影像解译的精度。

2.2 影像解译、精度验证与分类体系

以《土地利用现状分类》、《城市绿地分类标准》及市域绿地系统的内涵为依据,考虑到本研究基础数据源遥感影像的空间分辨率为 30 m,且本研究侧重点为城市化进程影响下的城市绿色空间研究,因此将研究区域分为绿色空间和非绿色空间两类,其中绿色空间包括森林绿地、灌草地、农田绿地和水体四大类,将建设用地和其他用地作为背景类型来分析(表 2)。

本研究采用监督分类法中常用的最大似然法对影像进行分类,对每一幅影像选取 250 个以上的训练样本,采用现场调研取点和随机取样点结合的方法,主要原则是样点在研究区内均衡分布并且确保包括每一类覆盖类别。监督分类后,在 ENVI 4.7 的支持下,利用分类模块分类后处理(Post Classification)中混淆矩阵(Confusion Matrix)功能,建立误差混淆矩阵,计算得到总体精度及 Kappa 系数。4 个年份的总体精度在 73.6%~83.5%之间,Kappa 系数在 0.73~0.78 之间,均达到最低可接受判别精度的要求^[19]。

2.3 转移矩阵及动态变化度分析

转移矩阵是可以全面而具体的反映土地利用变化的结构特征与各用地类型变化的方法。该方法可以定量揭示不同景观类型随时间演变的转化方向,

为进行土地利用变化分析时常用^[20-22]。利用 ArcGIS 9.3 空间叠置两期土地利用遥感分类图, 对 1997—2000, 2000—2005, 2005—2008 及 1997—2008 这 4 个时段绿色空间转移矩阵进行了分析。

表 1 遥感数据源及辅助数据/资料说明

Table 1 Description of image data and relative data

数据源 Data	轨道号 Path/Row	成像时间 Acquisition date	空间分辨率 Cellsize	数据类型 Type of data	数据资料说明 Data description
Landsat TM	118/38	1997-04-11	30/120	土地利用分类图	Shapefile 格式, 1996, 2000, 2003 和 2007 年
Landsat ETM+	118/38	2000-04-27	30/60	上海市行政区地图	Shapefile 格式, 1:25 万
Landsat ETM+	118/38	2005-08-15	30/60	上海城区绿化地图	地图扫描, 2003 和 2008 年
Landsat TM	118/38	2008-03-24	30/120	植被野外调查	植被样地调查数据, 2008, 2009 及 2010 年

表 2 绿色空间解译分类体系

Table 2 The interpretation classification system of urban green space

一级分类 First category	二级分类 Second category	包含内容 Contents
绿色空间 Green space	森林绿地 Forest	包括所有具有一定森林覆盖率的区域, 主要类型有公园绿地、防护绿地、有林地等
	灌草地 Shurb/Grass	包括灌木林、草地等, 一般没有树木或树木很少
	农田绿地 Crop	包括耕地、水田、菜地等
	水体 Water	包括天然及人工的湖泊、河渠、水库坑塘及滩涂等水域
非绿色空间 Non-green space	建设用地 Built-up	各类已建成用地, 包括城乡居民点、工矿、交通设施用地及其他建设用地
	其他用地 Others	包括裸土、裸岩、石砾地、盐碱地、沼泽地、沙地及其他在建或未利用土地

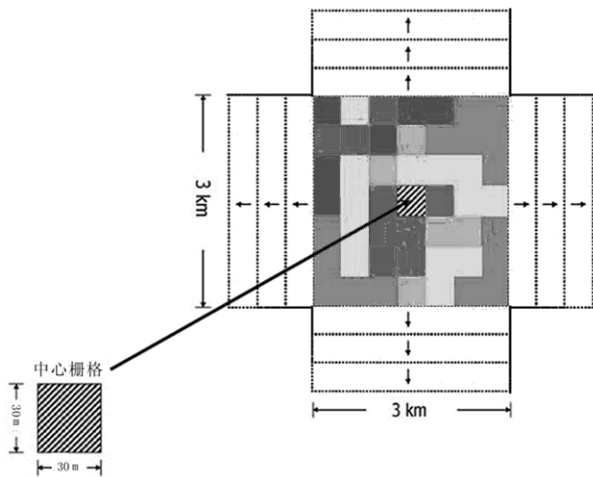


图 2 移动窗口取样框及赋值示意图

Figure 2 Basic units for moving-window analysis

不同绿色空间类型的变化是遥感监测绿色空间动态变化的核心。绿色空间动态变化需要定量描述和分析, 因此引出“绿色空间动态变化度”的概念。单一绿色空间动态变化度表达的是研究区内一定时间范围内某种绿色空间类型的动态变化的速率, 其表达式为:

$$GC_{single} = (G_b - G_a) / (G_a \times T) \times 100\%$$

式中, GC_{single} 为研究时段内某一绿色空间类型

年动态变化度, G_b 、 G_a 分别为研究期末 b 时期及研究期初 a 时期某一种绿色空间类型的数量; T 为 b 时期到 a 时期的时段长。

2.4 基于移动窗法的景观多样性空间格局分析

在城市生态系统中, 多样的绿色空间景观和建筑景观是基本的景观类型^[23], 定量分析景观多样性广泛的被生态学家用来衡量景观组成^[24-25]。移动窗口法不仅可以从空间上比较明确地展现出城市景观格局动态演变的空间过程动态, 同时为更加深入地分析城市土地利用变化情况以及由此而引起的城市景观格局演变提供了可能^[26-27]。移动窗口方法首先要设定合适的取样窗口, 然后通过一定大小的取样窗口内选中的特征进行统计计算, 输出对应所选景观指数的新栅格图^[28]。对于每一个取样窗口, 中心的栅格被赋值为要计算的景观指数值(图 2), 新的栅格图也正是基于移动窗分析所得到的指数赋值生成的。Fragstats 3.3 软件自带的移动窗口(Moving window)分析法提供了矩形和圆形两种取样窗形式, 通过设定 $0.3 \text{ km} \times 0.3 \text{ km}$ 、 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ 、 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 、 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 、 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 、 $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ 、 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 、 $6 \text{ km} \times 6 \text{ km}$ 等多个移动窗口的空间取样。经比较分析, 过小的窗口造成信息冗余和计算耗时的冗长, 而较大的窗口因平滑处理丢失较多空

间信息。从空间信息保留以及计算耗时综合评判, 3 km×3 km 大小的移动窗口是较合适的。因而, 本研究设定移动窗口为边长 3 km 的矩形取样窗。

3 结果与分析

3.1 绿色空间结构演变总体特征

对 1997—2008 年的 4 期 Landsat 遥感影像进行解译后, 获取上海市城市绿色空间分布的基本信息, 分类结果见图 3。根据 TM 遥感影像分类结果, 在 GIS 的支持下计算的相关数量特征统计见表 3。

从 1997—2008 年的变化来看, 其总体上以绿色空间的减少和非绿色空间的增加为典型特征, 这与相关学者研究结论保持一致^[22,29]。10 余年来上海市城市绿色空间面积下降明显, 至 2008 年, 研究区内

绿色空间总面积为 1329 km², 与 1997 年相比, 面积减少了 23.95%。其中, 农田变化幅度最大, 1997—2008 年间, 面积呈直线下下降趋势, 10 余年间缩减了一倍以上, 至 2008 年, 农田面积在研究区内所占比例已低至 17.59%; 森林绿地和灌草地(以下简称城市绿地) 面积变化幅度都不大, 而时空演变动态却很明显(表 3 和图 3)。这与上海市高度重视城市生态空间和景观规划建设有很大关系, 尤其是在新一轮大市域范围绿地系统规划的指导下, 上海市的中心城区及郊区的绿化建设均有很大的进步。在快速城市化进程的 10 余年, 研究区内的水域面积基本维持在稳定的比例。主要是由于上海市在改善城市绿化和水环境面貌方面做了很多努力的结果, 尤其是滨水景观建设更是成为上海发展的新亮点。

表 3 研究区绿色空间类型结构组成 (1997—2008)
Table 3 Composition of green space in the study area from 1997 to 2008

年份 Year	面积类型/比例 Type/Percent	森林绿地 Forest	农田绿地 Crop	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water	合计 Total	
						绿色空间 Green space	非绿色空间 Non-green space
1997	面积/km ²	335.70	1 200.10	165.00	326.20	2 027.00	887.80
	比例/%	11.52	41.17	5.66	11.19	69.54	30.46
2000	面积/km ²	316.70	1 040.20	170.90	361.30	1 889.10	1 025.60
	比例/%	10.87	35.69	5.86	12.40	64.81	35.19
2005	面积/km ²	302.40	735.90	143.40	332.00	1 513.70	1 401.10
	比例/%	10.37	25.25	4.92	11.39	51.93	48.07
2008	面积/km ²	336.40	538.60	116.40	337.60	1 329.00	1 585.90
	比例/%	11.54	18.48	3.99	11.58	45.59	54.41

表 4 研究区 1997—2000 绿色空间转移矩阵
Table 4 Green space transformation matrix in 1997-2000

项目 Item	非绿色空间 Non-green space		绿色空间 Green space				2000 年	
	其他用地 Others	建设用地 Built-up	农田绿地 Crop	森林绿地 Forest	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water		
	非绿色空间 Non-green space	其他用地 Others	13.6	42.7	57.9	19.9		11.0
	建设用地 Built-up	44.0	579.8	152.6	52.9	46.9	2.3	878.6
绿色空间 Green space	农田绿地 Crop	13.2	72.7	735.7	154.3	60.0	4.1	1 040.0
	森林绿地 Forest	7.4	40.6	171.5	67.0	28.9	1.3	316.8
	灌草地 Shurb/Grass	4.4	41.8	77.5	28.8	17.7	0.6	170.9
	水体 Water	25.0	2.5	4.9	12.8	0.5	315.9	361.5
1997 年		107.6	780.2	1 200.1	335.7	165.0	326.2	2 914.8

在快速城市化的背景下, 绿色空间的变化在时间变化上完全依赖于人类对土地利用方式的控制速率, 在空间变化上多表现为边界清晰的类型变化状态^[30]。以动态型的信息系统支持遥感分类结果的更新, 进而分析绿色空间的演变动态是遥感分析城市绿色空间动态变化的重要内容。总体分析结果表明, 每一个研究期绿色空间各个类型均有不同程度的变化。林地、灌草地和水域有着相对较低的动态

变化度, 而农田有着最高的动态变化度, 并且呈现不断加速的趋势, 其中 2005 到 2008 年动态变化度值最高值达到了-8.94%, 在 1997 到 2008 年的平均动态变化度为-5.01% (表 8)。通过表 4 至表 7 和图 4 分析可知, 绿色空间的主要转移方向是建设用地, 这个变化也是城市逐渐向郊外半自然生态系统扩展的结果, 绿色空间内部类型的转变主要是农田向城市绿地的转变。

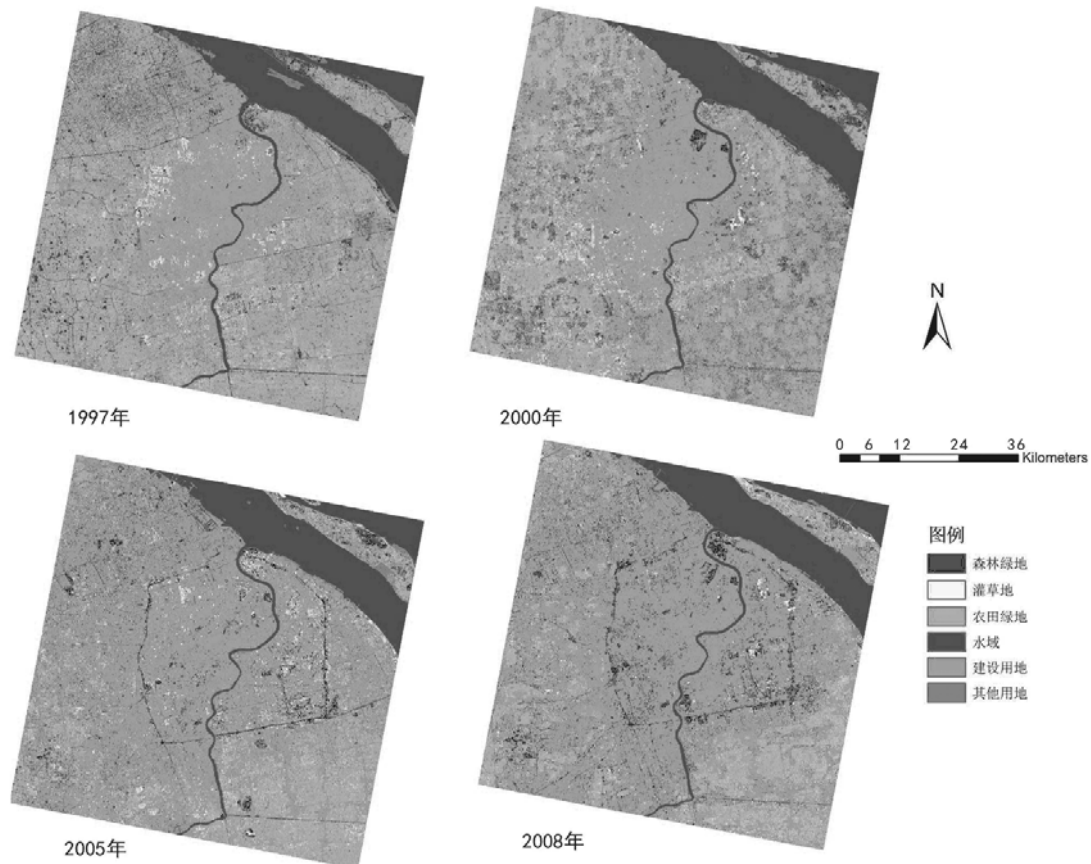


图 3 1997—2008 年研究区四期的绿色空间分布图

Figure 3 Spatial distribution of green area in the study area during 1997-2008

表 5 研究区 2000—2005 绿色空间转移矩阵

Table 5 Green space transformation matrix in 2000-2005

km²

项目 Item		非绿色空间 Non-green space		绿色空间 Green space				2005 年
		其他用地 Others	建设用地 Built-up	农田绿地 Crop	森林绿地 Forest	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water	
		非绿色空间 Non-green space	其他用地 Others	13.1	41.6	73.6	21.6	
	建设用地 Built-up	73.8	698.5	272.7	94.2	78.4	14.6	1 232.2
绿色空间 Green space	农田绿地 Crop	33.4	55.1	480.1	118.1	41.1	8.1	735.9
	森林绿地 Forest	13.3	56.0	142.0	61.6	27.2	2.2	302.3
	灌草地 Shurb/Grass	10.8	25.6	70.4	20.8	13.1	2.7	143.4
	水体 Water	2.7	1.8	1.4	0.4	0.4	325.4	332.0
2000 年		147.0	878.6	1040.2	316.7	170.9	361.3	2 914.8

表 6 研究区 2005—2008 绿色空间转移矩阵

Table 6 Green space transformation matrix in 2005-2008

km²

项目 Item		非绿色空间 Non-green space		绿色空间 Green space				2008 年
		其他用地 Others	建设用地 Built-up	农田绿地 Crop	森林绿地 Forest	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water	
		非绿色空间 Non-green space	其他用地 Others	27.2	128.2	47.6	18.8	
	建设用地 Built-up	79.4	926.9	190.2	92.0	50.2	7.4	1 346.2
绿色空间 Green space	农田绿地 Crop	36.7	62.0	325.1	79.0	35.5	0.2	538.6
	森林绿地 Forest	14.7	81.2	114.7	95.6	29.6	0.4	336.4
	灌草地 Shurb/Grass	7.7	25.1	53.0	14.9	15.6	0.1	116.4
	水体 Water	3.2	8.7	5.2	2.0	1.1	317.3	337.6
2005 年		168.9	1 232.2	735.9	302.4	143.4	332.0	2 914.8

表 7 研究区 1997—2008 绿色空间转移矩阵

Table 7 Green space transformation matrix in 1997-2008

km²

项目 Item	非绿色空间 Non-green space		绿色空间 Green space					2008 年
	其他用地 Others	建设用地 Built-up	农田绿地 Crop	森林绿地 Forest	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water		
	非绿色空间 Non-green space	其他用地 Others	建设用地 Built-up	农田绿地 Crop	森林绿地 Forest	灌草地 Shurb/Grass	水域 Water	
	19.1	78.6	80.4	40.2	13.2	8.3	239.7	
	57.2	585.5	477.2	134.4	82.4	9.4	1 346.2	
绿色空间 Green space	农田绿地 Crop	6.1	32.8	392.1	74.2	32.2	1.2	538.6
	森林绿地 Forest	6.1	64.0	175.5	59.9	29.6	1.3	336.4
	灌草地 Shurb/Grass	4.4	16.7	71.7	16.2	7.2	0.4	116.4
	水体 Water	14.8	2.7	3.4	10.8	0.4	305.6	337.5
1997 年	107.6	780.2	1 200.3	335.7	165.0	326.0	2 914.8	
1997-2008 年		转移面积/km ² Transferred area						
城市绿地 Urban green space	——→ 建设用地 Built-up						216.8	
农田 Crop	——→ 建设用地 Built-up						477.2	
农田 Crop	——→ 城市绿地 Urban green space						247.2	
建设用地 Built-up	——→ 城市绿地 Urban green space						80.7	



图 4 由绿色空间转变的建设用地和 1997 年原有建设用地空间关系图

Figure 4 The spatial correlation of increased built-up area from green space and existed built-up area

3.2 绿色空间景观多样性动态变化分析

利用 Fragstats 3.3 的移动窗分析法对 1997 年和 2008 年的景观多样性进行分析可得出,在城市边缘比城市内部有着更高的景观多样性(图 5)。通过分

析景观多样性变化情况,可以帮助理解景观多样性变化与城市化过程的关系以及由此带来的对城市规划的启示^[31]。快速城市化过程所造成的景观要素的镶嵌交错深刻地影响了景观的过程和功能的发挥^[32],而城市景观格局的变化也对维护景观多样性的完整造成了一定的影响^[33]。

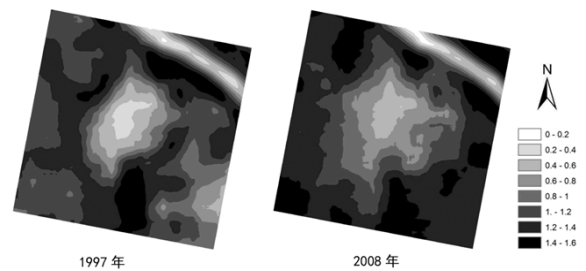


图 5 1997 年和 2008 年景观多样性指数移动窗分析栅格图
Figure 5 The SHDI distribution for 1997 and 2008 in grid format

4 讨论与结论

从上海市历年绿色空间数量变化情况来看,1997 年到 2008 城市绿色空间面积总量萎缩明显,森林绿地总面积保持稳定,灌草地面积仅有小幅下降,水域面积保持在一个稳定的水平,发生变化最剧烈的是农田,11 年间所占面积比例减少了 22%。

表 8 研究区不同时期绿色空间单一类型动态变化度

Table 8 The single land use dynamic degree of the study area in different periods

%

分类 Type	1997—2000	2000—2005	2005—2008	1997—2008
森林绿地 Forest	-1.88	-0.91	3.75	0.02
灌草地 Shurb/Grass	1.20	-3.22	-6.27	-2.68
农田绿地 Crops	-4.45	-5.85	-8.94	-5.01
水域 Water	2.85	-1.62	0.56	0.32

通过对研究区内绿色空间转移矩阵及动态变化度的分析可知, 绿色空间向外部类型的转变主要是绿色空间(尤其是农田)转变为建设用地, 而绿色空间类型内部的转变主要是农田向城市绿地的转变, 这也对应了农田有着最高的动态变化度。城市化过程不仅直接导致了绿色空间的面积急剧下降, 也使得其内部结构不稳定性增强。

基于移动窗法的景观多样性演变分析可知, 郊区地区比中心城区有着更高的景观多样性, 景观多样性在边缘城区位置有着较大的降幅, 而在研究区的最外围区域有一定的增长。对于快速城市化地区景观多样性的研究, 在一定程度上有利于城市用地的管理, 尤其是对城市绿色空间的研究和保护有一定启发。

参考文献:

- [1] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [2] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 830-840.
- [3] 陶宇, 李锋, 王如松, 等. 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2330-2342.
- [4] NIEMELÄ J. Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions[J]. *Landscape Urban Plan*, 2014, 125: 298-303.
- [5] 杨振山, 张慧, 丁悦, 等. 城市绿色空间研究内容与展望[J]. 地理科学进展, 2015, 34(1): 18-29.
- [6] 李锋, 王如松. 城市绿色空间生态服务功能研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 527-531.
- [7] 常青, 王仰麟, 李双成. 中小城镇绿色空间评价与格局优化—以山东省即墨市为例[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3701-3710.
- [8] WANG X J. Type, quantity and layout of urban peripheral green space [J]. *J Forestry Res*, 2001, 12(1): 67-70.
- [9] TURNER T. Open space planning in London: from standards per 1000 to green strategy[J]. *Town Plan Rev*, 1992, 63(4): 365-385.
- [10] 邵大伟, 吴殿鸣. 基于景观指数的南京主城区绿色空间演变特征研究[J]. 中国园林, 2016, 32(2): 103-107.
- [11] 王发曾, 王胜男, 李猛. 洛阳市区绿色开放空间系统的动态演变与功能优化[J]. 地理研究, 2012, 31(7): 1209-1223.
- [12] KONG F, YIN H, NAKAGOSHI N, et al. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling[J]. *Landscape Urban Plan*, 2010, 95(1): 16-27.
- [13] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412-422.
- [14] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市土地利用转变类型及其空间关联分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 438-446.
- [15] 李俊祥, 王玉洁, 沈晓虹, 等. 上海市城乡梯度景观格局分析[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1973-1980.
- [16] 张浩, 王祥荣. 上海城市土地利用/覆盖演变对空气环境的潜在影响[J]. 复旦学报(自然科学版), 2003, 42(6): 925-929.
- [17] 张利权, 吴健平, 甄彧, 等. 基于 GIS 的上海市景观格局梯度分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 78-85.
- [18] 方创琳, 鲍超, 乔标, 等. 城市化过程与生态环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [19] JANSSEN L L F, VANDERWELF J M. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review [J]. *Photogramm Eng Rem S USA*, 1994, 60(4): 419-426.
- [20] 徐岚, 赵奔. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 272-277.
- [21] WU K Y, YE X Y, QI Z F, et al. Impacts of land use/land cover change and socioeconomic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China[J]. *Cities*, 2013, 31: 276-284.
- [22] 贾文臣, 贾香云, 李福印, 等. 城镇化驱动下的威海市区土地利用时空动态[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1860-1865.
- [23] FORMAN R T T. The urban region: natural systems in our place, our nourishment, our home range, our future[J]. *Landscape Ecol*, 2008, 23(3): 251-253.
- [24] ROMME W H. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park [J]. *Ecol Monogr*, 1982, 52(2): 199-221.
- [25] O'NEILL R V, KRUMMEL J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern [J]. *Landscape Ecol*, 1988, 1(3): 153-162.
- [26] KONG F, NAKAGOSHI N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China[J]. *Landscape Urban Plan*, 2006, 78(3): 147-164.
- [27] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 等. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3276-3284.
- [28] MCGARIGAL K, CUSHMAN S A, NEEL M C, et al. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst[R/EB]. (2015-12-10). <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- [29] 史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 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, 2012, 21(12): 1468-1479.
- [30] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [31] YE H C T, HUANG S L. Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization[J]. *Landscape Urban Plan*, 2009, 93(3): 151-162.
- [32] ALBERTI M, MARZLUFF J M, SHULENBERGER E, et al. Integrating humans into ecosystems: opportunities and challenges for urban ecology [J]. *Bio Science*, 2003, 53(12): 1169-1179.
- [33] O'NEILL R V, HUNSAKER C T, JONES K B, et al. Monitoring environmental quality at the landscape scale [J]. *Bio Science*, 1997, 47(8): 513-519.