

城市土地景观格局变化及其驱动力分析——以安徽省芜湖市为例

朱凯群, 朱永恒*, 汪梦甜 (安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽省自然灾害过程与防控省级实验室, 安徽芜湖 241003)

摘要 作为长江中下游典型沿江城市代表, 研究芜湖市土地利用景观格局变化对区域环境保护、资源利用和经济发展具有重要意义。选择芜湖市 1995、2005 和 2015 年的 TM 影像作为基础数据, 在 RS 和 GIS 的技术支持下提取土地利用数据, 计算景观指数分析土地利用景观格局特征和景观破碎化过程, 采用转移矩阵和不稳定斑块图谱分析景观类型变化和稳定性, 并分析驱动力因素。结果表明: 芜湖市景观格局类型以耕地、林地、建设用地和水域为主, 景观指数表明 20 年里景观格局变化显著。各类土地景观相互转化明显, 且随时间变化转化关系愈发复杂, 耕地面积减少, 林地面积增加逐渐取代耕地的主导地位, 耕地和林地同为最主要的转入者和转出者; 草地和未利用地的转移概率最高, 最易转化; 水域和建设用地较为稳定。20 年时间跨度里芜湖市景观格局破碎化速度加快、程度加深, 且在时间和空间上都表现出不稳定性增强。而这些变化都在降水与气温变化、人口与社会经济增长以及政府决策等多重因素的共同驱动下形成。

关键词 土地利用; 景观格局; 景观指数; 破碎化; 芜湖市

中图分类号 K928.5; X321 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)06-0055-07

The Change of Urban Landscape Pattern and Its Driving Forces—A Case Study in Wuhu City, Anhui Province

ZHU Kai-qun, ZHU Yong-heng, WANG Meng-tian (College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention Research of Anhui Province, Wuhu, Anhui 241003)

Abstract As a representative of medium-sized cities in the middle and lower reaches of the Yangtze River, it is of great significance to study the change of land use landscape pattern in Wuhu for promoting regional environmental protection, resource utilization and economic development. This paper selected the TM images of Wuhu City in 1995, 2005, and 2015 as the basic data, extracted the land use data with the technical support of RS and GIS. The landscape indices were used to analyze the landscape pattern characteristics of land use and the processes of landscape fragmentation in Wuhu. The transfer matrix and the unstable patch map were applied to analyze the changes and stability of landscape types. Finally, the driving forces were identified. The results showed that; the landscape types in Wuhu were mainly cultivated land, forest land, construction land and water area. The landscape index showed that the landscape pattern had changed significantly in the past 20 years. The transformation of various land landscapes was obvious, and the transformation relationship became more complex with time, the cultivated land area was reduced, the increase of forest land gradually replaced the dominant position of cultivated land, cultivated land and forest land were the most important transferor and transferred reader. The transfer probability of grassland and unused land was the highest, and it was easiest to transform. Within 20 years span, the fragmentation of landscape pattern in Wuhu was accelerated and deepened, and showed instability in both time and space. These changes were combined with the precipitation and temperature changes, population and socio-economic growth, and government decision-making and other factors.

Key words Land use; Landscape pattern; Landscape index; Fragmentation; Wuhu City

土地利用空间格局变化是指土地利用类型数量和质量的变动, 用以表征人地关系在空间上的作用强度与模式^[1-2], 其变化受到自然环境和人为活动的共同影响。城市化在土地利用景观上的特征主要是大量农用地或未利用地转化为城市建设用地的过程。如今城市化速度快、规模大, 不仅表现在城市人口激增, 城市土地利用、产业结构和资源环境分配等问题也同样凸显^[3], 所以城市土地利用背景下的景观格局研究得到重点关注。

国内外学者对城市景观格局变化的研究主要采用不同时期遥感影像进行城市景观的动态变化分析^[4-5]。研究内容主要为景观异质性、城市空间扩展模式以及空间扩展因素与胁迫机制等方面^[6]。众多研究表明景观指标反映景观格局是景观格局变化研究的一贯方法^[7], 除此之外还有模型分析法^[8]和动态模拟模型分析法^[9]。前期研究集中于景观分类^[10]、景观格局分析与模拟^[11]以及景观格局研究的尺度问题^[12], 随后基于土地利用变化过程、规律及驱动因素的景观格局组成、成因及作用机制成为重点^[13]。目前城市景观格局研究在我国的应用区域十分普遍, 单个城市景观格局研究

多以大中型城市为主, 其城市化发展规律是否符合小型城市以及小型城市是否具有独特的发展规律有待探索。笔者以芜湖市为例, 通过对土地利用景观格局空间结构动态变化进行定量分析, 了解芜湖市过去 20 年城市发展过程中土地利用变化状况, 揭示景观格局演变特征, 分析城市景观格局演化过程中存在的问题, 并从社会经济和自然环境等方面简要分析驱动力因素, 对于揭示城市土地利用的变化规律、实现城市化进程中土地利用的可持续发展具有重要作用。

1 数据与方法

1.1 研究区概况 芜湖市位于安徽省东南部, 中心地理坐标为 118°21'E, 31°20'N; 地势南高北低, 地貌类型多样, 河网水系发达; 属典型亚热带湿润季风气候, 年平均气温 15~16℃, 年降水量 1 200~1 400 mm。2011 年 8 月经历一次行政区划变动, 目前辖镜湖、弋江、鸠江、三山 4 区, 芜湖、繁昌、南陵、无为 4 县, 共 31 个街道 40 个镇 4 个乡。因其良好的区位优势——沿江重点开放城市、皖江城市带承接转移核心区, 经济发展迅速和城市人口快速增长, 城市扩张明显, 是安徽省政治、经济、文化次中心。由于无为县、和县、沈巷镇并入芜湖市时间较短, 该研究选择除此之外的 31 个镇、街道范围作为具体的研究区。

1.2 数据来源及处理 该研究采用的遥感数据来源于美国地质勘探局 (United States Geological Survey, 简称 USGS) 网

基金项目 国家自然科学基金项目 (41001031)。

作者简介 朱凯群 (1992—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用与景观生态。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事土壤动物区系地理研究。

收稿日期 2017-12-07

站。其中1995和2005年采用30 m分辨率的Landsat5-TM影像数据,2015年采用30 m分辨率的Landsat8 OLI影像数据。时间为6~9月,云量低于10%,如遇数据缺失则用相近年份数据代替。非遥感数据包括芜湖市行政区划图(包括shapfile格式面状数据、边界数据以及基本属性表信息)、我国1:10万比例尺土地利用现状遥感监测数据(取自中国科学院资源环境科学数据中心)、其他统计年鉴数据。

运用ENVI5.1软件对3期遥感影像进行波段组合、辐射定标、大气校正以及研究区范围裁剪。根据研究目的,将研究区景观分为耕地、林地、草地(人工草地、天然草地)、水域、建设用地、未利用地6类。结合实地调查与1:10万比例尺土地利用现状遥感监测数据,在基础影像上选择样本建立解译标志,采用支持向量机(Support Vector Machine)法进行监督分类^[14],之后进行混淆矩阵精度评价,3期影像分类精度分别为89%、86%和92%,Kappa系数分别为0.85、0.79和0.87,总体解译精度达85%,满足分类要求。在ArcGIS10.1软件中制作专题地图。

1.3 研究方法

1.3.1 景观格局空间统计。对ENVI5.1解译得到的1995、2005与2015年这3年土地利用景观数据进行矢量化,在ArcGIS10.1中更新属性数据,并使用景观指数软件Fragstats 4.2计算景观指标,借助相关统计软件进行数据统计。

1.3.2 景观指数选取与变化分析。景观指数高度浓缩景观格局信息,反映景观结构组成和空间配置,指数组合能够很好地描述和区分景观格局^[15-16]。根据芜湖市实际,从类型级别下选取景观面积(TA)、斑块数(NP)、斑块所占景观面积比例(PLAND)等基本景观信息,量化分析芜湖市各类土地利用景观基本状况;景观级别下选取斑块密度(PD)、破碎度(CI)、平均斑块分维数(MPFD)、香农多样性(SHEI)以及蔓

延度指数(CONTAG)等分析研究区景观格局空间特征;类型级别下选取平均斑块面积(AREA_MN)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)等常用景观破碎化指标分析研究区景观类型破碎化演变过程。各景观指数含义见参考文献^[17]。运用ENVI5.1软件动态检测工具(change detection)中的分类后比较法(change detection statistics)分别比较两时相影像分类结果,得到变化类型、面积以及百分比的转移矩阵。利用GIS空间叠加分析工具,结合属性查找功能选择得到各时期内的不稳定斑块图谱,分析景观格局的稳定性。

2 结果与分析

2.1 芜湖市土地利用景观格局特征

2.1.1 土地景观类型面积与斑块数量。基于芜湖市1995、2005和2015年这3个时期的土地利用图(图1),计算研究区景观斑块面积与数量,结果见图2。研究区的土地利用类型以耕地和林地为主,草地与未利用地最少,合计比例低于5%。1995和2005年各景观类型面积从大到小依次为耕地、林地、水域、建设用地、未利用地、草地,期间耕地、未利用地面积减少,其余类型均增加,面积变化较大的是耕地、林地和建设用地;2015年各景观类型面积从大到小依次为林地、耕地、建设用地、水域、草地、未利用地,相比较于2005年,未利用地面积不再下降,林地由增加转为降低,建设用地变动较大。而斑块数量方面,2015年斑块数量最多达42 308个,1995和2005年分别为32 905、21 724个。比较各景观类型,发现1995和2005年草地与未利用地的斑块数远远低于其他类型,其余土地类型斑块数占总数的90%以上;2015年随着草地面积增加,斑块数急剧增加,上升到第2,占比25.1%,仅次于耕地。

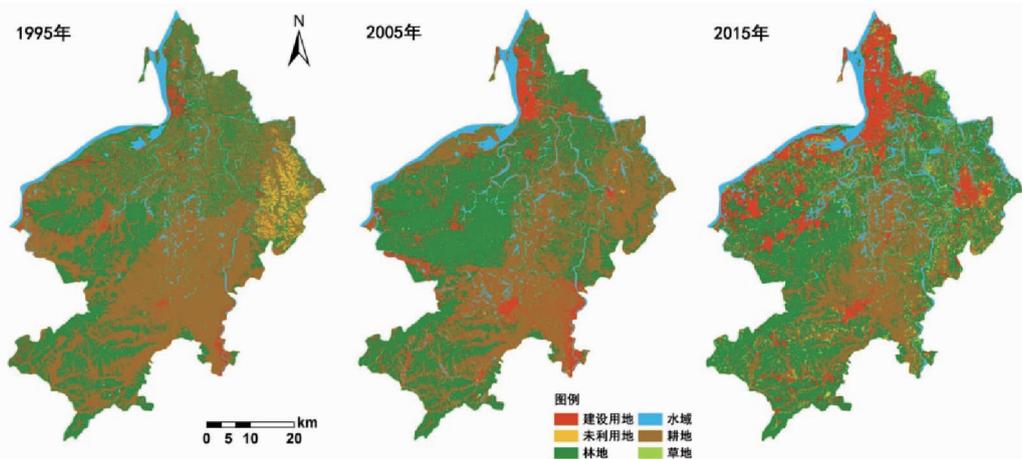


图1 芜湖市1995、2005和2015年土地景观分类示意

Fig.1 Sketch map of land landscape classification in Wuhu in 1995, 2005, and 2015

2.1.2 整体景观指数分析。景观级别下的景观指数计算结果见表1,斑块密度与景观破碎度呈现相同的变化趋势:1995—2005年下降,之后上升并高过初始值。结合现有研究^[18],表明2个时间段内斑块密度值相对较大,斑块数大于6个/km²,2015年甚至高达12个/km²,单个斑块面积较小,

体现出土地利用的精细程度较高;景观破碎度指数波动,说明研究区景观破碎,稳定性下降;平均斑块分维数相对稳定,值的大小反映人类活动对景观格局的影响,影响越大分维数越小^[19]。1995—2015年,平均斑块分维数稳定于1.05,处于较低水平,表明研究区斑块形状简单,究其原因,耕地、林地

和建设用地等受人为影响较大的土地利用类型占据研究区的主体地位,受人为干扰导致形成的斑块较为规则,相似性较高;研究区受主要几种景观控制时,其景观多样性必然较低,但从芜湖市各景观面积比例变化不难发现,2005—2015年,耕地、林地的总比重在逐渐下降,其他类型有所上升,各景观类型比例差异减小,多样性指数从1995年的1.09到

2015年的1.42逐渐升高;蔓延度指数反映斑块团聚程度或延展趋势^[20],研究区蔓延度指数在40%~60%,处于中等水平,说明该区只有少数大面积斑块团聚,相互间的连通性也一般,而随着时间变化,蔓延度指数是逐渐减小的,大斑块的控制力下降,斑块间面积差距减小,趋于平衡,景观连接度降低。

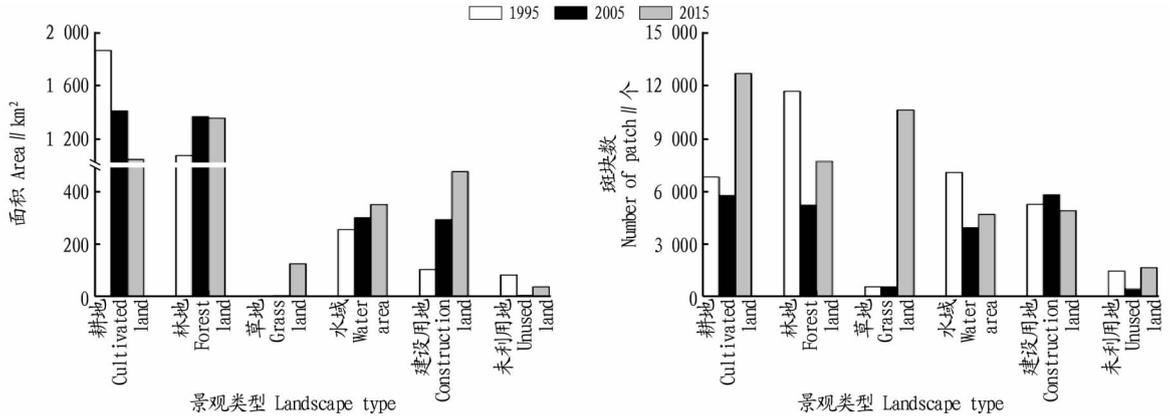


图2 芜湖市不同时期土地利用类型面积与斑块数

Fig. 2 The area and patch number of land use types in Wuhu City

表1 芜湖市景观级别下景观指数

Table 1 Landscape index under Wuhu landscape scale

年份 Year	景观面积 Total landscape area//km ²	斑块数 Number of patch 个	斑块密度 Patch density 个/hm ²	景观破碎度 Landscape fragmentation degree//个/hm ²	平均斑块分维数 Mean patch fractal dimension	香农多样性 Shannon's diversity index	蔓延度指数 Contagion index//%
1995	3 372.65	32 905	0.097 5	0.10	1.05	1.09	57.62
2005	—	21 724	0.064 4	0.06	1.05	1.18	56.56
2015	—	42 308	0.125 5	0.13	1.06	1.42	46.53

2.2 土地景观斑块类型变化 为进一步了解研究区景观类型变化状况,计算各景观斑块的转化面积,得到该区土地景观斑块转移矩阵。由表2可知,耕地、林地、水域和建设用地是区内主要的景观类型,作为景观基质的耕地面积不断减少,林地面积增加逐渐取代耕地的主导地位。从景观面积减少来看,1995—2005年间耕地减少了467.50 km²,减少比例达13.86%,未利用地减少77.60 km²,而2005—2015年耕地面积减少略有下降,但仍然高达11.11%。所有类型中,只有

林地和未利用地在2个时期的变化情况前后不一致,1995—2005年林地面积增加303.36 km²,增加了8.99%,2005—2015年则减少了13.01 km²,未利用地恰恰相反,前一时期减少77.60 km²,占有土地类型面积2.3%,后期增加了31.07 km²,前一时期的面积变化远大于后期。建设用地、水域和草地面积增加,随着时间变化草地面积增加更多,而水域和建设用地则表现出更加稳定的增长。

表2 芜湖市1995、2005和2015年景观斑块的面积变化

Table 2 The area changes of landscape patches in Wuhu in 1995, 2005, and 2015

景观类型 Patch types	1995年		2005年		2015年		1995—2005年变化 Changes of 1995—2005		2005—2015年变化 Changes of 2005—2015	
	面积 Area km ²	比例 Ratio %	面积 Area km ²	比例 Ratio %	面积 Area km ²	比例 Ratio %	面积 Area km ²	比例 Ratio %	面积 Area km ²	比例 Ratio %
耕地 Cultivated land	1 866.19	55.32	1 398.69	41.48	1 024.07	30.37	-467.50	-13.86	-374.62	-11.11
林地 Forest land	1 054.73	31.27	1 358.09	40.27	1 345.08	39.88	303.36	8.99	-13.01	-0.39
草地 Grass land	2.44	0.08	4.67	0.14	126.22	3.74	2.23	0.07	121.55	3.60
水域 Water area	259.47	7.70	306.35	9.08	355.82	10.55	46.88	1.39	49.47	1.47
建设用地 Construction land	105.84	3.14	298.48	8.85	484.02	14.35	192.64	5.71	185.53	5.51
未利用地 Unused land	83.98	2.49	6.37	0.19	37.45	1.11	-77.60	-2.3	31.07	0.92

结合土地景观斑块转移面积与概率矩阵,以10年为间隔建立研究区景观类型转移矩阵,分析不同时期土地利用类型相互转化状况(表3),结果表明1995—2005年,水域、建设用地、耕地、林地自身保有率较高,其中水域和林地超过70%,未利用地与草地保有率最低,不足2%。从转移情况看,林地和耕地是主要的转移目标,每种类型转出到该2种的合计比例超过20%,其中未利用地转移成耕地面积68.52 km²,占自身总面积81.59%,而草地转移成林地面积1.36 km²,超过自身总面积50%。2005—2015年,自身保有率过50%的只有水域和林地,分别为77.93%和62.47%,耕地和林地仍然是最主要的转移目标。由此可知,随着时间的推移,斑块类型的空间稳定性降低,转出比例升高。从单一斑块类型看,耕地因自身面积较大且大面积转移成林地,时段内的百分比分别为29.53%和30.38%,导致耕地面积降低,林地则因为2005—2015年较1995—2005年转出到其他类型比例上升,尤其建设用地比例提高1倍,而表现出先大幅增长后小幅度降低;未利用地和草地因自身面积小和转出率较高的原因,表现出极不稳定的特性;水域和建设用地的虽

具一定转出率,但转入面积较大且自身保有率高,所以表现出稳定的面积增长,当然某种程度上也因水域和建设用地的时效性导致其难以在短时期内大量、快速地转移成其他类型。

综合20年芜湖市土地利用景观类型相互转化情况。面积变化最多的是耕地,且大量转化为林地。未利用地面积也减少,转移比例高。其余类型的面积都增加,如建设用地和林地分别增加了378.17、290.35 km²,作为转移目标,在各类型中都处于前列;草地面积增加123.78 km²,但是2015年是1995年的51倍。转移概率方面,除草地和未利用地,其他类型的保有率均较高,水域转移成其他类型的比例最低,是由于水域变化难度大的特殊性质决定;建设用地、耕地和林地之间相互转化的比例较高,说明三者间受人类活动影响显著,类型变化频繁;未利用地转化成林地、建设用地和耕地分别高达49.29%、22.1%和18.24%,而其他类型转化成未利用地的比例都很低,说明土地利用强度增加,景观类型变化特征显著;草地的转移概率相对较为平均,表明草地作为土地利用变化的过渡类型在类型变化中的重要意义。

表3 土地景观斑块转移面积与概率矩阵
Table 3 Patch transfer area and probability matrix of land landscape

km²/%

年份 Year	类型 Types	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	草地 Grass land
1995—2005	水域 Water area	192.99/74.53	0.67/0.64	0.07/0.08	77.65/4.16	34.24/3.25	0.31/12.55
	建设用地 Construction land	0.55/0.21	68.81/65.02	3.73/4.44	171.46/9.19	53.85/5.11	0.11/4.45
	未利用地 Unused land	0.16/0.06	0.53/0.50	1.30/1.55	2.40/0.13	1.93/0.18	—
	耕地 Cultivated and	34.47/13.28	21.95/20.74	68.52/81.59	1 061.86/56.90	211.26/20.03	0.66/26.72
	林地 Forest land	29.73/11.46	13.52/12.78	10.24/12.19	550.99/29.53	752.24/71.32	1.36/55.06
	草地 Grass land	1.19/0.46	0.36/0.34	0.12/0.14	1.82/0.10	1.21/0.11	0.03/1.21
2005—2015	水域 Water	238.72/77.93	0.89/0.30	0.13/2.06	59.84/4.28	55.17/4.06	1.02/21.56
	建设用地 Constuction land	0.60/0.20	141.22/47.31	2.02/32.01	176.83/12.64	162.55/11.97	0.84/17.76
	未利用地 Unused land	0.26/0.08	1.58/0.53	0.62/9.83	12.68/0.91	22.4/1.65	0.02/0.42
	耕地 Cultivated land	49.45/16.14	91.17/30.54	1.33/21.08	656.84/46.96	224.46/16.53	0.87/18.39
	林地 Forest land	14.58/4.76	53.38/17.88	2.06/32.65	424.93/30.38	848.41/62.47	1.43/30.23
	草地 Grass land	2.72/0.89	10.26/3.44	0.15/2.38	67.59/4.83	45.09/3.32	0.55/11.63
1995—2015	水域 Water area	215.33/82.99	0.05/0.05	0.64/7.60	79.16/4.24	60.26/5.71	0.37/14.98
	建设用地 Construction land	3.15/1.21	59.18/55.92	18.56/22.10	249.42/13.37	152.89/14.50	0.81/32.79
	未利用地 Unused land	0.30/1.21	0.75/0.71	5.15/6.13	9.76/0.52	21.51/2.04	—
	耕地 Cultivate land	25.08/9.67	18.17/17.17	15.32/18.24	828.42/44.39	136.71/12.96	0.36/14.57
	林地 Forest land	14.53/5.60	24.66/23.30	40.55/48.29	604.78/32.41	659.75/62.55	0.80/32.39
	草地 Grass land	1.08/0.42	3.02/2.85	3.76/4.48	94.64/5.07	23.61/2.24	0.13/5.26

2.3 景观类型破碎化与不稳定斑块

2.3.1 破碎化过程分析。景观破碎化是指景观由连续完整的整体向不连续、相互分离的斑块体变化的过程^[21]。景观破碎度指标计算结果见图3,斑块面积破碎化中,耕地、林地的平均斑块面积(AREA_MN)较高,因人口分布集中致使景观成片分布,加之其作为研究区主要的景观类型具有面积上的优势,所以破碎化程度相对较低;未利用地、草地的AREA_MN值低,主要原因是其分布分散且面积比例小,建设用地则受地形、政府规划等因素影响导致,因此景观细碎化程度

高;在时间尺度上,建设用地、水域、林地 AREA_MN 增大程度明显低于耕地、林地等其他景观的减小幅度,说明研究区景观类型面积破碎化程度上升。斑块密度(PD)与边界密度(ED)破碎化过程方面,耕地的PD最大(平均0.025 0个/hm²),其次是林地(0.024 3个/hm²),建设用地、水域、草地和未利用地较低(不足0.020 0个/hm²),表明耕地和林地分布集中,聚集度高,景观破碎化程度低;1995—2005年,除建设用地的PD值略有上升外,其余景观类型PD值下降,说明此期间区域内景观密度破碎化上升,2005—

2015年与之相反;1995—2015年,除草地、林地外其余景观类型PD值降低,虽然草地的增加幅度较大,但因其只占区内极小的面积,因此20年里景观密度破碎化程度是上升的;与斑块密度(PD)一样,景观类型中耕地和林地的边界密度(ED)最大,分别为56.32、43.78 m/hm²;1995—2005年建设用地的ED有所上升,其余景观类型均降低,而2005—2015年相反,除耕地以外均上升,说明区内景观类型边界密度在2005年

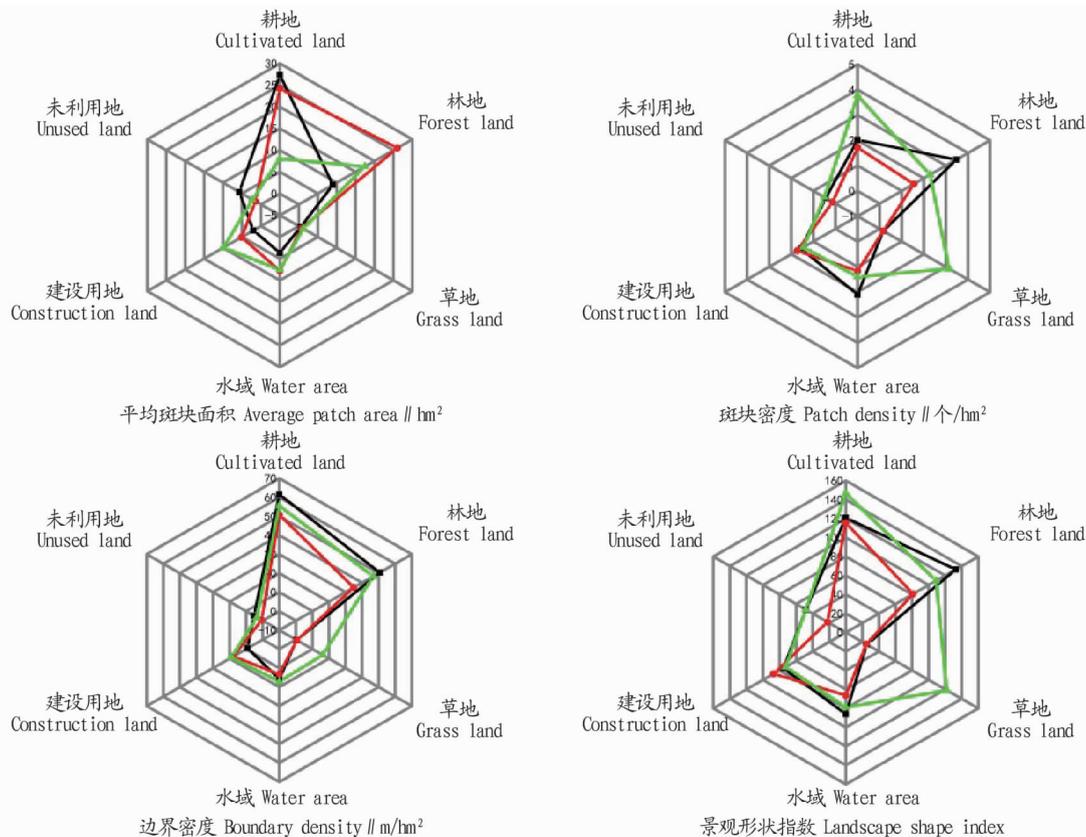


图3 芜湖市景观类型破碎化指标

Fig.3 Fragmentation index of landscape types in Wuhu

2.3.2 不稳定景观斑块及其空间分布。研究区土地利用不稳定斑块空间分布如图4,由于不稳定斑块较为细碎,为了突出分布状况,在制作分布图时进行小斑块去除和相应平滑处理,但数据统计并无变动。人类活动对区域景观稳定性影响巨大,从林地和耕地的不稳定斑块分布可以发现,人口和经济活动集中的西北部地区不稳定斑块明显较西南部山区多,1995—2005年最明显。2005—2015年,不稳定斑块分布相对均匀,是因为随着时间推移人口数量增加活动空间范围扩大。

由表4可知,从不稳定斑块的类型变化看,2个时间段里耕地的不稳定斑块面积所占比例最大,分别达61.88%和49.36%,其次是林地;2005—2015年建设用地占比较前一期增长,未利用地则从6.37%下降到0.38%,草地、水域基本不变。从斑块数量来看,不稳定斑块总数分别为50 016个和65 029个,体现出研究区景观空间稳定性下降的趋势。不稳定斑块数量表现出与面积相似的特征,数量最多的为耕地和林地,其余景观类型斑块数量较少。

最低,破碎化程度最高,但2015年与1995年相比,主要景观类型的ED更低,一定程度上说明研究区的边界密度破碎化略有上升。耕地、林地、水域、建设用地的景观形状指数(LSI)在各年份里均大于50,说明区域景观形状复杂,各景观类型的嵌合度大,分散性强,团聚性差,形状破碎度明显,其中草地表现最为明显,2015年的LSI甚至是前2个时期的近5倍。

2.4 驱动力因素 景观格局变化是诸多驱动因素相互作用产生的必然结果,其中自然因素引起的区域景观格局变化是一个长期的、缓慢的过程,而人文因素引起景观格局变化效果明显迅速^[22-23]。这里讨论对该研究区景观格局变化影响较大的4种驱动力因素。

2.4.1 降水与气温变化。降水与地表植被分布关系密切^[24],根据统计年鉴可知^[25],研究区5年滑动平均降水量表明芜湖市降水量总体增长,适当水分增加形成较好的水分条件,因此林地和草地面积增加。3个时间节点中,1995和2005年的降水量分别为1 052.1、1 095.5 mm,2015年达1 424.8 mm,变化趋势与草地面积增长高度一致。未利用地、耕地的转化更容易指向林地和草地,所以景观类型变化中未利用地和耕地除了自身保有外,更多地转化成林地和草地,一定程度上降水量增加对景观类型变化存在影响。研究区的年平均气温(17.04 ± 0.9)℃,无论是年平均气温还是多年滑动平均气温变化均不明显,配合年平均降水量形成的水热条件,决定了研究区以耕地、林地和水域为主的景观

格局面貌。

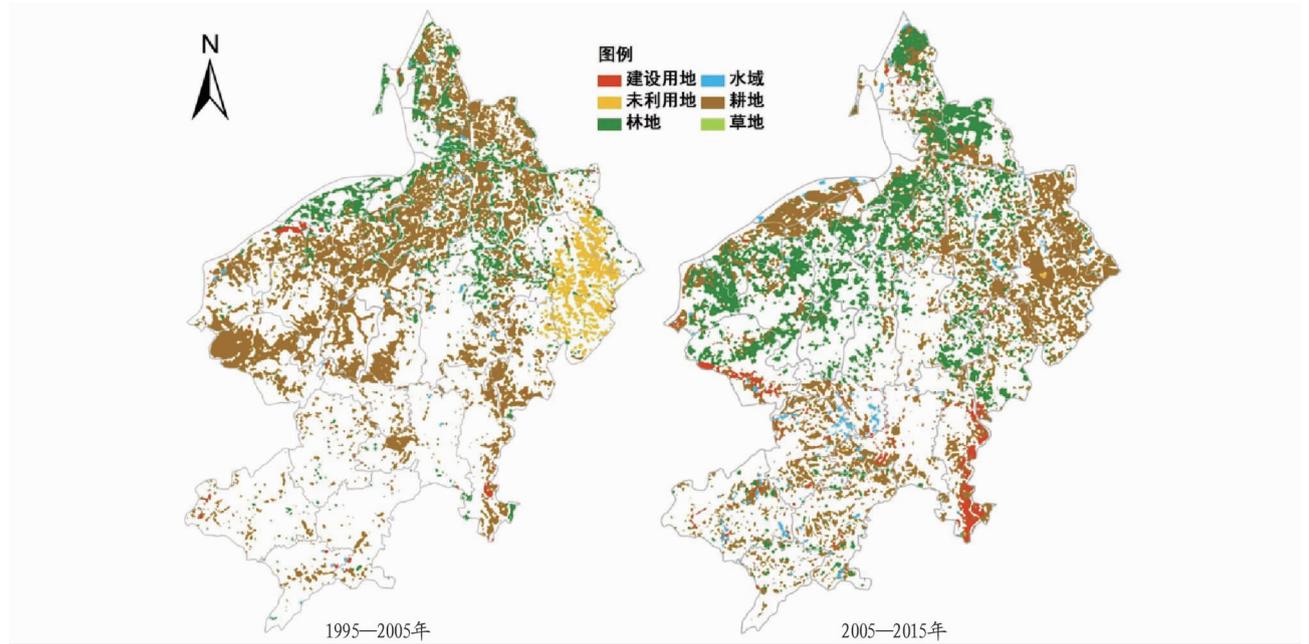


图4 芜湖市土地景观不稳定斑块空间分布与类型

Fig.4 Spatial distribution and types of unstable patches of land landscape in Wuhu

表4 不稳定斑块面积与数量

Table 4 The area and number of unstable patches

类型 Types	1995—2005年			2005—2015年		
	面积 Area//km ²	所占面积比例 Proportion//%	数量 Number//个	面积 Area//km ²	所占面积比例 Proportion//%	数量 Number//个
耕地 Cultivated land	804.17	61.88	17 421	741.56	49.36	24 841
林地 Forest land	302.39	23.27	15 338	509.42	33.91	21 398
草地 Grass land	2.59	0.20	632	4.09	0.27	730
水域 Water area	68.54	5.27	9 286	77.45	5.16	5 577
建设用地 Construction land	39.15	3.01	4 634	164.07	10.92	11 812
未利用地 Unused land	82.79	6.37	2 705	5.65	0.38	671

2.4.2 人口因素。人口变化是景观格局变化最活跃的驱动力因素,对土地利用变化的影响最典型^[26]。芜湖市常住人口自1995年209.28万增长到2015年365.45万,净增长156.17万人,平均每年增长7.80万人,因此建设用地的大量增加可以得到合理的解释,1995—2005年人口增长不到20万,而2005—2015年增长的人口数是其6倍多,人口增长集中在后10年,导致2005—2015年景观面积与数量、各景观指数变动较大,景观破碎化程度高,过程加速,景观稳定性降低。城市人口增长带来城镇建设用地需求增加,推动商业、工业、园林绿化以及交通建设的发展;人口增长导致人类活动更加剧烈,人为干扰下的土地利用方式变化变得更加频繁和复杂;资源环境压力随人口增加而加大,环境承载力进一步降低,进一步影响景观格局的变化。

2.4.3 社会经济。社会经济发展引起产业集聚、人口集中、资源整合并改变人类的价值观念,使区域景观类型和土地利用方式发生变化^[27]。芜湖市过去20年里经济发展增速明显,国内生产总值(GDP)由1995年75.08亿元增至2015年

2 457.32亿元,年均增长率为19%,与此同时,农业和工业生产总值分别增长9.1倍和39.0倍。期间耕地和未利用地面积减少,建设用地增加明显,说明经济发展伴随着人才、物力和财力集中,基础设施建设、经济商业和娱乐休闲用地等城市建设用地扩张,产业结构的调整等都引起土地资源的重新分配和调整,导致研究区土地利用方式变化,进而改变区域景观格局。社会财富方面,政府财政收入由3.49亿元增长到263.46亿元;农民年纯收入由1 560元增加到15 964元;政府雄厚的财力满足人们对生活环境的要求,更多的住房与公共基础设施得以建成,因此大量的耕地和未利用地向建设用地、林地和水域转移。

2.4.4 政府决策。政府决策对区域景观格局的变化具有强制性的影响^[28]。根据国家国民经济和社会发展五年规划纲要,20世纪90年代至今,芜湖市先后建立14个经济园区,工业园区集中建设改变城市景观格局;与此同时,芜湖市于1995年开始提高职工房租,减少补贴,1998年实行住房货币化,鼓励个人购房等措施顺应了我国房地产建设的热潮,一

一定程度上推动了城市建设用地的扩张。城市规划更是景观格局变化的直接动力,《芜湖市城市总体规划(2006—2020年)》提出,根据自然生态约束与经济开发支撑单元评价将芜湖市划分为4类地区,为达成生态建设总目标要求森林覆盖率发展目标33%等多方面要求,限定了城市土地利用方式和布局。近年,随着环境保护成为社会发展的重点,芜湖市政府十分注重区域生态环境的保护与治理,开展退耕还林还草、保护水源地等措施,这在一定程度上保证了林地、草地和水域的保有量。

3 结论与讨论

(1)通过对土地利用景观格局特征分析得出结论:芜湖市景观格局类型以耕地、林地、建设用地和水域为主,耕地与建设用地变化明显;景观密度、破碎度指数表明研究区景观密度大、破碎化明显;受人类活动影响,研究区平均斑块分维数较低,景观多样性上升,景观蔓延度指数为40%~60%的中等水平,有少数大面积斑块团聚,斑块间连通性较差。

(2)分析芜湖市景观格局类型变化,表明耕地面积减少,林地面积增加逐渐取代耕地的主导地位;各类土地景观相互转化明显,且随着时间变化转化关系愈发复杂。耕地和林地同为最主要的转入者和转出者;草地和未利用地的转移概率最高,最易转化;水域和建设用地较为稳定。

(3)从斑块面积破碎化、斑块密度与边界密度破碎化以及景观类型的形状指数分析中得出,研究区的破碎化过程不断加速,破碎化程度加深。从景观稳定性结果分析,耕地和林地最不稳定,建设用地的稳定性也随着时间变化而下降。研究区景观稳定性在空间上表现为由南方比北方稳定向整体不稳定发展,在时间上表现为稳定性地降低。

参考文献

- [1] 刘纪远,匡慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.
- [2] 彭保发,陈端吕,李文军,等. 土地利用景观格局的稳定性研究:以常德市为例[J]. 地理科学,2013,33(12):1484-1488.
- [3] 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研究[J]. 生态学报,2016,37(16):1-10.
- [4] 张金屯,邱扬,郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. 山地学报,2000,18(4):346-352.
- [5] TURNER M G, RUSCHER C L. Changes in landscape patterns in Georgia,

- USA[J]. Landscape ecology,1988,1(4):241-251.
- [6] AMICI V, MACCHERINI S, SANTI E, et al. Long-term patterns of change in a vanishing cultural landscape: A GIS-based assessment[J]. Ecological informatics,2017,37:38-51.
- [7] O'NEILL R V, KRUMMEL J R, GARDNER R H, et al. Indices of landscape pattern[J]. Landscape ecology,1988,1(3):153-162.
- [8] 陈建军,张树文,郑冬梅. 景观格局定量分析中的不确定性[J]. 干旱区研究,2005,22(1):63-67.
- [9] SCHRÖDER B, SEPPELT R. Analysis of pattern-process interactions based on landscape models-Overview, general concepts, and methodological issues[J]. Ecological modelling,2006,199(4):505-516.
- [10] BLANKSON E J, GREEN B H. Use of landscape classification as an essential prerequisite to landscape evaluation[J]. Landscape & urban planning,1991,21(3):149-162.
- [11] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报,1995,15(2):113-120.
- [12] 王仰麟. 农业景观格局与过程研究进展[J]. 环境工程学报,1998(2):29-34.
- [13] 葛方龙,李伟峰,陈术稳. 景观格局演变及其生态效应研究进展[J]. 生态环境学报,2008,17(6):2511-2519.
- [14] 沈焕锋. ENVI 遥感影像处理方法[M]. 武汉:武汉大学出版社,2009.
- [15] HULSHOFF R M. Landscape indices describing a Dutch landscape[J]. Landscape ecology,1995,10(2):101-111.
- [16] 许慧,王家骥. 景观生态学的理论与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,1993.
- [17] 郭建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2007.
- [18] 孙凤云,刘淼,胡远满,等. 基于多种方法的景观格局动态变化综合分析:以辽宁省铁岭市为例[J]. 生态学杂志,2013,32(8):2163-2171.
- [19] 马明德,谢应忠,米文宝,等. 宁夏东部风沙区土地利用/覆盖变化及其生态效应研究:以宁夏回族自治区盐池县为例[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(4):8-14.
- [20] 陈永林,谢炳庚,李晓青. 长沙市土地利用格局变化的空间粒度效应[J]. 地理科学,2016,36(4):564-570.
- [21] 赵峰,刘华,鞠洪波,等. 三江源典型区湿地景观稳定性与转移过程分析[J]. 北京林业大学学报,2012,34(5):69-74.
- [22] 尹锴,赵干钧,崔胜辉,等. 城市森林景观格局与过程研究进展[J]. 生态学报,2009,29(1):389-398.
- [23] 黄木易,何翔. 巢湖流域土地景观格局变化及生态风险驱动力研究[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(5):743-750.
- [24] 戴君虎,王红丽,王焕炯,等. 六盘山景观格局及与主要气候因子的关系[J]. 地理研究,2013,32(12):2222-2232.
- [25] 安徽省统计局. 2012 安徽统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012.
- [26] 任志远. 土地利用变化及驱动因素分析:以内蒙古准格尔旗为例[J]. 干旱区研究,2003,20(3):202-205.
- [27] 任嘉衍,刘慧敏,丁圣彦,等. 伊河流域景观格局变化及其驱动机制[J]. 应用生态学报,2017,28(8):2611-2620.
- [28] WOOD D, LENNÉ J M. 'Received Wisdom' in agricultural land use policy: 10 years on from Rio[J]. Land use policy,2005,22(2):75-93.

(上接第54页)

参考文献

- [1] 何宁,李寅,陈坚,等. 生物絮凝剂的最新研究进展及其应用[J]. 微生物学通报,2005,32(2):104-108.
- [2] DENG S B, BAI R B, HU X M, et al. Characteristics of a biofloculant produced by *Bacillus mucilaginosus* and its use in starch wastewater treatment[J]. Applied microbiology & biotechnology,2003,60(5):588-593.
- [3] 刘金亮,姜彬慧,赵鑫,等. 一株高效絮凝剂产生菌的分离和鉴定[J]. 东北大学学报(自然科学版),2016,37(5):706-710.
- [4] LIAN B, CHEN Y, ZHAO J, et al. Microbial flocculation by *Bacillus mucilaginosus*: Applications and mechanisms[J]. Bioresource technology,2008,99(11):4825-4831.
- [5] 陈熙,谢经良,鞠建松,等. 印染废水高效脱色菌的研究[J]. 青岛理工大学学报,2008,29(3):66-69.

- [6] 朱恋,王熳,张灿,等. 多糖生物絮凝剂在酸性煤矿“废水处理中的应用[J]. 给水排水,2013,39(S1):327-330.
- [7] 关正军,王新志,杨一盈. 藻类生物絮凝剂对沼液的絮凝效果研究[J]. 农业机械学报,2017,48(5):290-295.
- [8] 任宏洋,王新惠,刘达玉. 复合菌利用酱油废液制备生物絮凝剂及其絮凝特性分析[J]. 中国环境科学,2010,30(8):1050-1055.
- [9] 赵起政,路宏科,彭涛,等. 马铃薯淀粉废水高活性絮凝菌的分离鉴定[J]. 中国酿造,2015,34(2):76-81.
- [10] LI Q, LIU H L, QI Q S, et al. Isolation and characterization of temperature and alkaline stable biofloculant from *Agrobacterium* sp. M-503[J]. New biotechnology,2010,27(6):789-794.
- [11] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程:下[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:61-63.