

神农架林区景观格局时空演变及其驱动力分析

曹嘉铄^{1,2}, 邓政宇^{1,2}, 胡远东^{1,2}, 吴妍^{1,2}

(1. 东北林业大学 园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学 黑龙江省寒地园林植物种质资源开发与景观生态修复重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 【目的】20 世纪 90 年代以来神农架林区森林保护工程陆续实施, 使得神农架林区景观格局发生显著变化。需要分析这些变化及其驱动机制, 以探究保护工作成效, 同时为林区未来生态环境保护与土地合理利用对策的制定提供参考。【方法】在遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 技术支持下, 以神农架林区为研究对象, 选取 1996、2007、2018 年共 3 个不同时期的遥感影像为数据源, 利用土地利用转移矩阵、景观格局分布重心模型与景观格局指数, 定量分析了神农架林区 1996–2018 年景观格局的时空演变特征及驱动力。【结果】1996–2018 年, 林地与水域景观处于稳定向好状态, 林地是研究区最主要的用地类型, 占林区总面积的 90% 以上; 草地与耕地面积总体呈减少趋势, 其他土地用地类型向建设用地转化的趋势较明显。神农架林区总体上景观破碎度有所降低, 而东北部区域与中南部区域的破碎化程度加剧, 景观多样性也随之呈现扩散趋势。经济、人口、政治等是引起景观格局变化的主导因素。【结论】神农架林区退耕还林等生态保护与恢复工程初见成效, 景观格局总体趋于整合, 局部破碎化加重而景观多样性有所增加, 社会经济空间与生态空间相互融合; 近年来神农架大力开发的旅游产业造成了人工斑块对自然景观的侵占, 对林区生态安全产生威胁。图 4 表 5 参 32

关键词: 神农架林区; 土地利用; 景观格局演变; 驱动力

中图分类号: S771.8 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2021)01-0155-10

Spatial and temporal evolution and driving forces of the landscape pattern in Shennongjia Forestry District

CAO Jiashuo^{1,2}, DENG Zhengyu^{1,2}, HU Yuandong^{1,2}, WU Yan^{1,2}

(1. College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Key Laboratory for Garden Plant Germplasm Development & Landscape Eco-restoration in Cold Region of Heilongjiang Province, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: [Objective] With a quantitative analysis conducted of the changes in the landscape pattern in Shennongjia Forestry District due to the implementation of forest protection projects since 1990s as well as their driving mechanisms, this study is aimed to explore the effectiveness of the conservation in this region and provide a reference for the future ecological environment protection and rational land use. [Method] Supported by remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology and taking Shennongjia Forestry District as the research object, with remote sensing images from three different periods of 1996, 2007 and 2018 selected as data sources, this paper has mainly employed land use transfer matrix, landscape pattern distribution center of gravity model and landscape pattern index. [Result] Between 1996 and 2018, the landscape of forest land and water areas has retained a stable and favorable state while there is a general decrease in the area of

收稿日期: 2020-04-16; 修回日期: 2020-11-04

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2572019BK02)

作者简介: 曹嘉铄, 从事风景园林规划设计、区域景观规划与生态修复研究。E-mail: caojiashuo@nefu.edu.cn。通信作者: 吴妍, 副教授, 博士, 从事风景园林规划设计、区域景观规划与生态修复研究。E-mail: wuyan@nefu.edu.cn

grassland and cultivated land showed; There has been a more significant tendency in the conversion of other land types to construction land and such changes mainly attribute to human factors. [Conclusion] Ecological protection and restoration projects such as returning farmland to forests in Shennongjia Forestry District have been rewarded with a better integrated landscape pattern, enhanced landscape diversity in spite of aggravated local fragmentation as well as more favorable socioeconomic and ecological space. On the other hand, due attention should be paid to threats against ecological security induced by the booming local tourism with various natural landscapes replaced by artificial patches. [Ch, 4 fig. 5 tab. 32 ref.]

Key words: Shennongjia Forestry District; land use; landscape pattern evolution; driving forces

景观格局反映景观要素在空间结构上的特征, 可以从不同尺度讨论要素间的相互作用与生态效应^[1], 是景观异质性的外在表征。目前, 国内外学者对于景观格局的研究主要分为2个方面, 即景观格局的空间异质性与时间异质性研究^[2]。景观异质性在空间上的表达往往是复杂而连续的, 因此以遥感(RS)和地理信息系统(GIS)等方法结合景观格局指数进行讨论, 有助于实现格局演变的可视化。在景观生态学中, 认为土地即景观^[1]。据以往研究来看, 土地利用变化可以反映景观格局演变过程, 将土地利用同生态环境与自然资源系统相结合进行探讨, 成为国内外研究的热点问题^[3-4]。伴随3S技术的快速发展, 土地利用的空间分异研究取得了长足的进展, 土地利用结构分析已应用到城市及山区用地空间扩展^[5]、景观组分在地形梯度上的分异^[6]、湿地格局分异^[7]等诸多方面。神农架林区位于中国地势二、三阶梯过渡地带, 是中国重要的气候敏感区和生态环境脆弱地带^[8]。20世纪六七十年代间, 由于不合理开发导致区域生态环境遭严重破坏, 林区政府开始探索绿色可持续发展模式^[9]。本研究将基于多源数据, 对神农架林区土地利用结构的组成及其时空演变特征与驱动力进行探讨, 以探究20世纪90年代以来森林保护工程的成效, 同时为林区的生态系统健康评价研究提供参考。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

神农架林区地处鄂西北山区, 是中国唯一以“林区”命名的行政区划, 总面积约3 215.80 km²。林区地处31°15′~31°57′N, 109°56′~110°58′E, 西南部以近东西向的山脉为主, 其中最高峰神农顶高3 105.4 m, 是华中地区最高点^[10]。神农架林区是中国东西植物区系的交汇地带和南北植物区系的过渡地带, 其亚热带森林生态系统是全球中纬度地区唯一保存完好的地区, 拥有世界上最为丰富的生物多样性^[11], 是具有全球意义的基因库, 被称为“绿色奇迹”, 林区内包括森林、灌丛、草甸和湿地等各类生态系统, 具有调节气候、涵养水源、保持水土等重要生态环境服务价值^[12]。近年来, 以旅游业为主体的第三产业发展迅速, 2018年全区旅游收入达57.29亿元, 林区内建设用地规模大幅扩张, 生态风险有所升高。

1.2 数据来源与处理

以1996、2007、2018年Landsat遥感影像为数据基础, 影像空间分辨率为30 m, 选取每个年份植被状态良好的2景影像, 影像的云量均低于2%; 相关规划资料详见表1。

表1 数据资料来源统计

Table 1 Data source statistics

数据类型	数据名称	来源
遥感影像	1996年125/38、126/38 Landsat 5 TM遥感影像	美国地质勘探局网站(http://glovis.usgs.gov/)
	2007年125/38、126/38 Landsat 8 OLI遥感影像	
	2018年125/38、126/38 Landsat 8 OLI遥感影像	
相关规划资料	《神农架林区土地利用总体规划(2006~2020年)》	中国神农架林区人民政府
	《神农架林区国民经济和社会发展统计公报》	中国神农架林区统计局
	《神农架林区统计年鉴》	中国神农架林区统计局
	《神农架国家公园体制试点建设白皮书》	中国神农架国家公园管理局

在 ENVI 5.3.1 软件中对遥感影像进行预处理, 通过对遥感影像的目视判读和对研究区域的实地调查, 采用最大似然法对遥感影像进行监督分类。根据研究目的, 结合国家标准 GB/T 21010-2017《土地利用现状分类》, 将神农架林区土地划分为林地、草地、建设用地、耕地和水域等五大类。利用 Erdas Imagine 2015 软件计算解译精度, 结果显示 3 个年份 Kappa 系数都达 85% 以上, 符合研究需要。

2 研究方法

2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵用于描述不同土地利用类型之间的转移情况, 能反映研究时间段内土地利用类型转移的数量与方向^[13-15]。其通用公式为

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: A_{ij} 为土地面积; n 为土地利用类型数; i 、 j 为转移前后的土地利用类型。

2.2 景观格局分布重心模型

景观格局分布的重心模型用于研究景观格局在空间上的分布情况, 而多年份数据的叠加则可以反映景观格局重心在不同时刻的迁移变化, 是过程研究中重要的表征指标^[16-17]。

重心坐标计算公式为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ti} X_i}{\sum_{i=1}^n D_{ti}}; \quad (2)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ti} Y_i}{\sum_{i=1}^n D_{ti}}; \quad (3)$$

重心距离迁移公式为:

$$D = \sqrt{(X_{t2} - X_{t1})^2 + (Y_{t2} - Y_{t1})^2} \quad (4)$$

式(2)~(4)中: X_t 、 Y_t 为研究区域内某一景观类型在时间 t 的重心坐标; D_{ti} 为 t 时刻研究区域内第 i 个斑块的面积; X_i 和 Y_i 表示研究区域的坐标; D 为某一景观类型的重心在 t_1 和 t_2 时间段内移动的距离。

2.3 景观格局指数

景观格局指数是描述景观变化的一种定量研究方法, 是景观格局结构组成与空间配置信息的集中反映^[18-20]。选取 8 个对于景观结构变化较为敏感的指数: 斑块数 (NP)、最大斑块指数 (LPI)、散布与并列指数 (IJI)、聚合度指数 (AI)、分离度指数 (SPLIT)、景观分割指数 (DIVISION)、内聚力指数 (COHESION) 与香农多样性指数 (SHDI), 采用移动窗口法^[21-22], 在 Fragstats 软件中每次移动 1 个栅格, 以 900 m 大小的移动窗口, 计算得到研究区域各指数的空间分布, 分析神农架林区景观格局破碎化及多样性特征。

3 结果与分析

3.1 土地利用结构变化特征

从图 1 和表 2 可以看出: 林地是研究区域最主要的用地类型, 占林区总面积的 90% 以上, 22 a 间, 林地面积累计增加 39.34 km², 森林覆盖度呈现增长趋势; 草地与耕地面积总体上呈现减少趋势; 建设用地面积持续增加, 近 10 a 间增速比较明显, 2018 年研究区域内建设用地面积与 1996 年相比增加 43.55 km², 这与该地区城镇化建设和旅游的大力发展有关; 水域面积累计增加 6.75 km²。

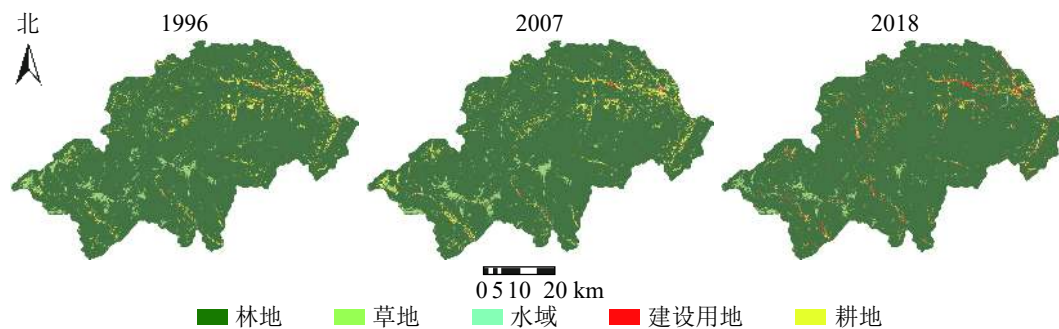


图1 1996、2007、2018年神农架林区土地覆被类型分类示意图

Figure 1 Land cover types in Shennongjia Forestry District basin in 1996, 2007, 2018

表2 1996、2007、2018年神农架林区土地利用结构表

Table 2 Land use structure in Shennongjia Forestry District basin in 1996, 2007, 2018

年份	林地		草地		建设用地		耕地		水域	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
1996	3 006.80	92.95	94.86	2.93	3.49	0.11	129.82	4.01	2.39	0.07
2007	2 994.11	92.78	83.72	2.59	8.06	0.25	141.25	4.38	10.21	0.32
2018	3 046.14	94.09	59.08	1.82	47.05	1.45	75.96	2.35	9.13	0.28

3.2 土地利用转移过程

由表3可知：1996–2007年，林地转移为其他类型景观的面积变化量最大，主要转移为耕地和草地，转出面积分别为49.29和23.47 km²，而转移为林地最多的景观类型也是耕地和草地，由此可知林地与耕地、草地间相互转移关系密切，90%以上的新增建设用地由林地和耕地转化而来。

表3 1996–2007年、2007–2018年、1996–2018年神农架林区土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transfer matrix in Shennongjia Forestry District of 1996–2007, 2007–2018 and 1996–2018

年份	土地利用类型	2007				
		林地/km ²	草地/km ²	建设用地/km ²	耕地/km ²	水域/km ²
1996	林地	2 925.30	23.47	2.83	49.29	5.91
	草地	33.50	54.88	0.28	6.17	0.04
	建设用地	0.07	0.06	2.04	0.59	0.72
	耕地	35.06	5.32	2.85	85.11	1.48
	水域	0.18	0.01	0.06	0.09	2.05
年份	土地利用类型	2018				
		林地/km ²	草地/km ²	建设用地/km ²	耕地/km ²	水域/km ²
2007	林地	2 949.67	9.40	15.31	17.38	2.36
	草地	36.92	42.99	0.93	2.40	0.47
	建设用地	0.88	0.06	5.74	1.15	0.23
	耕地	56.61	6.60	22.16	54.78	1.09
	水域	2.05	0.01	2.91	0.26	4.98
年份	土地利用类型	2018				
		林地/km ²	草地/km ²	建设用地/km ²	耕地/km ²	水域/km ²
1996	林地	2 935.21	14.35	25.45	26.35	5.43
	草地	48.10	41.39	1.60	3.33	0.45
	建设用地	0.16	0.03	2.74	0.26	0.30
	耕地	62.47	3.31	16.88	45.94	1.22
	水域	0.20	0.01	0.38	0.06	1.73

2007–2018 年，林地仍然是转移面积最大的景观类型，主要转移为耕地和建设用地，转移面积分别为 17.38 和 15.31 km²，表明神农架林区在城镇化建设及旅游业发展过程中，仍存在以占用林地作为代价进行开发建设的现象；林地与耕地、草地间仍保持着密切的相互转移关系，而林地的转出面积减少 37.05 km²，转入面积增加 27.66 km²，林地的总面积增加趋势显著。

3.3 景观格局分布重心转移变化

通过 ArcGIS 计算，得到 1996、2007 和 2018 年神农架林区各个用地类型景观格局分布重心转移的距离、速度和方向 (表 4)。1996–2018 年，研究区域内水域和建设用地重心迁移明显，水域重心在研究时段内持续向西南方向迁移，累计迁移 11 745.64 m，其中，1996–2007 年迁移速度较快，为 829.11 m·a⁻¹，主要是由于大九湖湿地恢复与水库修建导致的；建设用地重心向西南方向迁移 10 752.54 m，说明神农架林区的建设向西南发展，尤其是 2016 年进入国家公园发展的新时代，其范围划定也与建设用地重心的迁移方向相印证；林地具有向东扩张趋势，其重心在研究时间内向东南方向移动 5 594.52 m。

表 4 景观类型转移方向与距离

Table 4 Landscape type transfer direction and distance

景观类型	1996–2007			2007–2018			1996–2018		
	距离/m	速度/(m·a ⁻¹)	方向	距离/m	速度/(m·a ⁻¹)	方向	距离/m	速度/(m·a ⁻¹)	方向
林地	5 674.80	515.89	东南	2 895.32	263.21	东北	5 594.52	254.30	东南
草地	3 088.72	280.79	东南	7 127.86	647.99	西南	5 286.79	240.31	西南
建设用地	9 120.18	829.11	西南	2 926.19	266.02	西北	10 752.54	488.75	西南
耕地	6 124.45	556.77	西南	5 135.85	466.90	东北	1 441.94	65.54	东北
水域	891.62	81.06	西南	2 331.64	211.97	西南	11 745.64	533.89	西南

3.4 景观格局指数变化分析

从同年份的同类型景观比较结果 (表 5) 来看：林地斑块个数最少，最大斑块指数与内聚力指数均较高，景观分割指数小于 0.2，说明林地斑块的完整性较好，景观破碎化程度低，林地为研究区域的景观基质，而建设用地和水域等类型则以斑块或廊道的形式镶嵌其中。

从不同年份的同类型景观比较结果 (表 5) 来看：林地的景观破碎化程度先增后减，草地、耕地与水域的景观破碎化程度与分散程度在研究时段内呈增加趋势；人类活动使建设用地不断增加并向外扩张，

表 5 神农架林区 1996–2018 年景观格局指数变化

Table 5 Change of landscape pattern index from 1996 to 2018

年份	景观类型	NP	LPI	IJI	COHESION	DIVISION	SPLIT	AI
1996	林地	372	92.75	52.14	99.99	0.14	1.16	98.67
	草地	2 228	0.27	26.27	96.23	1.00	37 674.58	85.72
	建设用地	274	0.02	64.51	86.60	1.00	11 459 303.82	72.60
	耕地	4 618	0.13	25.90	92.27	1.00	134 702.27	78.60
	水域	188	0.03	63.54	90.10	1.00	9 165 348.78	72.24
2007	林地	404	89.47	59.14	99.99	0.20	1.25	98.63
	草地	2 470	0.35	34.02	96.06	1.00	35 191.27	85.05
	建设用地	610	0.04	79.72	85.51	1.00	4 732 108.88	71.91
	耕地	4 732	0.13	40.07	93.86	1.00	85 981.12	77.94
	水域	1 013	0.05	70.28	88.06	1.00	2 654 644.95	64.97
2018	林地	292	93.98	85.89	99.99	0.12	1.13	98.84
	草地	1 923	0.14	29.42	94.54	1.00	112 169.27	83.75
	建设用地	3 168	0.11	66.81	88.65	1.00	522 690.55	70.45
	耕地	4 192	0.04	52.17	87.89	1.00	719 999.04	72.54
	水域	989	0.04	70.51	88.75	1.00	2 563 736.66	67.51

使其破碎化程度在总体上呈上升趋势,但随着城镇化的推进,建设用地景观类型内部也出现了一定程度的整合。

由图2可见:从整体上看,神农架林区景观的破碎度有所降低,趋于整合;从局部来看,东北部区域与中南部区域的破碎化程度加剧,建设用地等人工斑块的扩张导致部分区域景观破碎度升高,而景观多样性也随之呈现扩散趋势;而林区多年来封山育林、人工造林、退耕还林等保护工作的开展,使得部分重点保护区域内林地面积持续增加,在地表覆被类型中占据主导地位,因此这些区域内景观多样性会呈现一定的降低趋势。

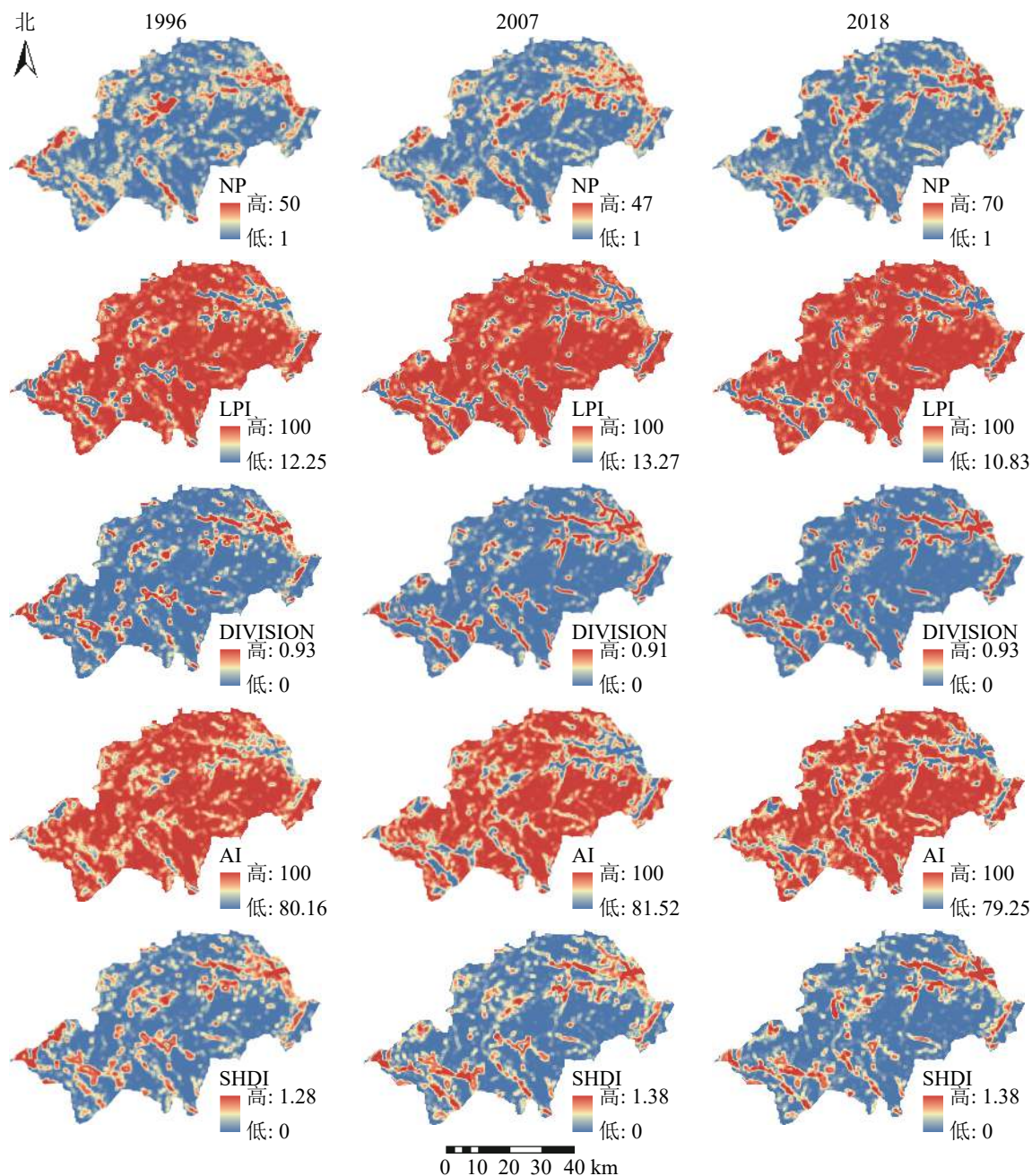


图2 1996–2018年神农架林区景观破碎化与多样性空间分布示意图

Figure 2 Landscape fragmentation and diversity index of Shennongjia Forestry District from 1996 to 2018

3.5 景观格局演变的人为驱动因素分析

3.5.1 经济因素 通过对神农架林区 1996–2018 年经济发展数据 (图3) 与景观格局演变特征的分析对比, 可知在开发历史较久, 受经济增长与人类活动干扰较大的地区, 景观格局演变较为显著, 如东北部的松柏镇是神农架林区政府的驻地所在, 而中南部的木鱼镇是神农架自然保护区管理局的驻地, 也是神

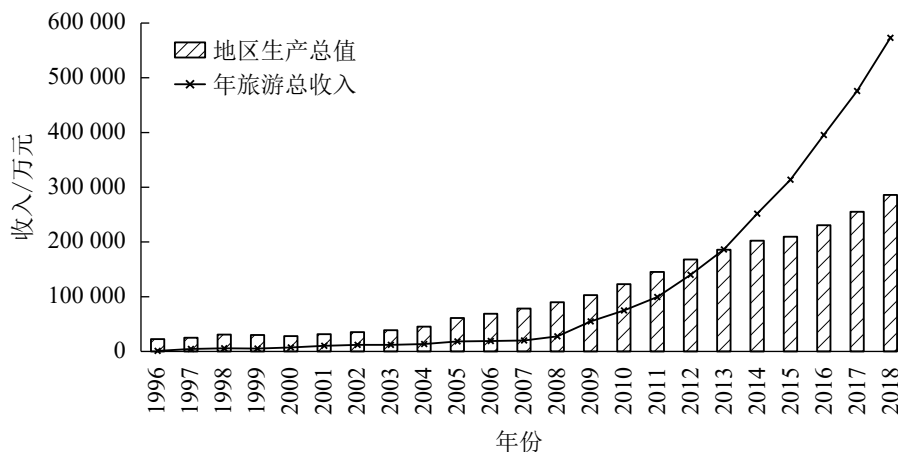


图 3 1996–2018 年神农架林区地区生产总值与年旅游总收入趋势图

Figure 3 Trend of GDP and total tourism revenue change in Shennongjia Forestry District from 1996 to 2018

农架旅游接待服务中心，这些区域的景观破碎化程度呈现出较为明显的升高趋势。近年来旅游业更是逐步成为神农架林区的支柱性产业，2018 年林区的旅游总收入接近 57.3 亿元，约为地区生产总值的 2 倍。与此同时林区大力开展的旅游配套设施建设及房地产项目开发，使得人工斑块数量显著增加。22 a 间林区建设用地面积骤增 43.56 km²，所占比例由 0.11% 提升至 1.45%。因此，经济因素对神农架林区景观格局的演变具有重要影响。

3.5.2 人口因素 由图 4 可见：神农架林区人口数量出现先增后减的趋势；神农坛、天生桥、官门山、大九湖在内的几大主要景区游客接待量逐年上涨，于 2018 年突破 1 587.5 万人次。为提高游客接待能力而进行的景区开发，使得区域景观类型发生显著变化，1996–2018 年，林地累计向建设用地转移 25.45 km²，局部空间与生态环境所承受的压力随之增大。林区于 2014 年开展“美丽乡村”建设，以村庄布局“减量、聚居”为总体要求，注重农村土地资源综合整治，因此耕地及建设用地中的住宅用地分布有所整合，但旅游服务用地的增加仍然造成了景观破碎化程度的升高。

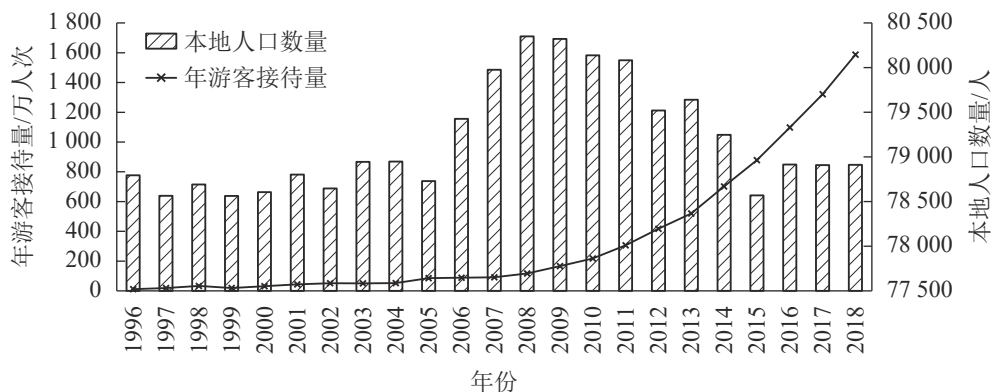


图 4 1996–2018 年神农架林区本地人口数量与年游客接待量趋势图

Figure 4 Local population and annual tourist reception change in Shennongjia Forestry District from 1996 to 2018

3.5.3 政策因素 土地利用结构及变化深受区域政策影响^[23]。20 世纪 60–80 年代，采取毁林开荒的开发方式追求经济效益，神农架林区的生态环境遭到严重破坏，森林覆盖率骤降至 63.5%。神农架林区于 2000 年全面启动天然林资源保护工程和退耕还林还草工程^[24]，研究时段内耕地向林地、草地转移面积超过 65 km²；2003 年确立“保护第一，科学规划，合理开发，永续利用”的发展方针，促进生态环境逐步改善，森林覆盖率达 90% 以上；2011 年发布《神农架旅游总体规划》，加快推进神农顶、官门山和天生桥景区配套设施建设，区域内建设用地面积显著增长，同时也与建设用地重心向西南迁移相印证；2016 年 7 月，神农架被正式列入世界自然遗产名录，同年 11 月，神农架国家公园管理局正式成立，标志着神农架的保护与管理工作步入国家公园新时代^[9]。1996–2018 年，林区内水域面积累计增加 6.75 km²，其中湿地的生态恢复成果得益于大九湖国家湿地公园的建立，湿地科学监测与保护工作在政策的引导下

逐渐步入正轨^[25-26]。

3.6 景观格局演变的自然驱动因素分析

相比于社会经济因素,自然因子的作用在短时间内并非十分显著,但从长远时间看,气候等因子的变化将对区域景观格局产生重大影响。1996–2018年,神农架林区的林地面积显著增加,林地主要由耕地和草地转化而来,除去政策的引导作用,主要依靠自然更新因素完成转化。近年来,神农架林区年降水量及年平均气温均呈较为微弱的增加趋势^[27],小气候条件优越,加之林区内土壤有机质含量丰富,为耕地向林地的演替提供了有利条件。

4 讨论

1996–2018年,神农架林区森林覆盖度总体上呈增长趋势,这与前人研究的结果一致^[28]。刘家琰等^[29]利用 SPOT-VEGETATION 数据对林区 1998–2013 年植被覆盖度格局变化进行分析,发现植被覆盖度呈较好增长趋势,整体变化率为 1.45%。水域景观面积显著增加,破碎度升高,湿地生态恢复稳中向好,这主要得益于湿地生态保护政策的有效实施,人为因素在过程中起到了决定性作用^[24],在保护优先的政策指导下,林区逐步走上良性循环的绿色发展道路。同时,也有学者对自然因素进行探究,张子一等^[30]讨论了个别年份受极端气候与虫害等自然因素,导致常绿植物受灾使其覆盖度有所下降。

城镇化的持续推进与旅游产业的迅速发展,造成了人工斑块对林地、草地等自然景观类型的侵占,景区内旅游基础设施的兴建,对生态环境造成严重的干扰,增大生态压力。建设用地的扩张促使区域内景观破碎度与多样性的增加,生态空间与社会经济空间融合程度不断加深。

由于旅游业的发展需求,连通林区内外的交通建设逐年推进。截至 2018 年林区内公路里程数达 2 048.5 km,其中各大景区范围内公路网建设较为密集,造成林区景观局部破碎化^[31],导致原本连续的生态廊道网络出现生态间隙^[32],阻碍生态流的正常流动,降低了生物迁移的安全性。神农架机场位于林区中西部的红坪镇,于 2014 年正式通航,机场的落成使得区域内建设用地与耕地面积骤增,分割并部分取代了原有大面积草地斑块,强烈的人工干扰可能会降低区域生态系统的稳定性。

5 结论

1996–2018 年,神农架林区土地利用结构变化显著,森林覆盖度总体上呈现增长趋势,湿地生态恢复稳中向好。随着神农架林区对于生态发展政策方针的不断调整与优化,森林保护工程成效日益显现,同时也在逐渐改变生态系统的结构和功能。

景观破碎度在整个研究区域内呈现降低趋势,表明神农架林区景观总体上趋于整合,但局部破碎化程度加剧,林区东北部与中南部区域地表覆被逐渐由原本较为整合的林地景观转变为多种用地类型共存,林区建设用地的持续扩张,社会经济空间与生态空间相互融合。人为因素是引起景观格局变化的主导因素,近年来神农架大力开发的旅游产业造成了人工斑块对自然景观的侵占,其他用地类型向建设用地转化的趋势较明显,将对生态系统安全产生威胁。

6 参考文献

- [1] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 264–270.
ZHANG Qiuju, FU Bojie, CHEN Liding. Several problems about landscape pattern change research [J]. *Sci Geogr Sin*, 2003, 23(3): 264–270.
- [3] 吕乐婷, 张杰, 彭秋志, 等. 东江流域景观格局演变分析及变化预测[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6850–6859.
LÜ Leting, ZHANG Jie, PENG Qiuzhi, et al. Landscape pattern analysis and prediction in the Dongjiang River Basin [J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, 39(18): 6850–6859.
- [4] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441–446.
FU Bojie, ZHANG Liwei. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress [J]. *Prog Geogr*, 2014, 33(4): 441–446.

- [5] 姜广辉, 张凤荣, 孔祥斌, 等. 北京山区建设用地扩展空间分异分析[J]. *地理研究*, 2006, **25**(5): 905 – 912.
JIANG Guanghui, ZHANG Fengrong, KONG Xiangbin, *et al.* The spatial differentiation of construction land expansion in Beijing mountainous area [J]. *Geogr Res*, 2006, **25**(5): 905 – 912.
- [6] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. *地理科学*, 2001, **21**(1): 64 – 69.
YU Hong, ZENG Hui, JIANG Ziying. Study on distribution characteristics of landscape elements along the terrain gradient [J]. *Sci Geogr Sin*, 2001, **21**(1): 64 – 69.
- [7] 恭映璧. 长沙城市湿地景观格局时空演变与驱动机制研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
GONG Yingbi. *The Spatial-Temporal Pattern Evolution of Wetland Landscape and Its Driving Mechanism in Changsha* [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013.
- [8] 侯鑫源. 湖北神农架自然保护区不同海拔高度巴山冷杉径向生长对气候的响应[D]. 南京: 南京大学, 2015.
HOU Xinyuan. *Growth Response of Abies fargesii at Different Altitudes in Shennongjia Nature Reserve of Hubei Province, Southeastern China* [D]. Nanjing: Nanjing University, 2015.
- [9] 袁琴. 神农架林区开发史研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
YUAN Qin. *The Exploitation of Shennongjia Forest Region-Based on History Perspective* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.
- [10] 汪正祥, 朱俊林, 宛晶, 等. 神农架林区河流水文特征初步研究[J]. 湖北大学学报 (自然科学版), 2013, **35**(1): 6 – 10.
WANG Zhengxiang, ZHU Junlin, WAN Jing, *et al.* Preliminary study on hydrologic characteristics of main rivers in Shennongjia Forest Region [J]. *J Hubei Univ Nat Sci*, 2013, **35**(1): 6 – 10.
- [11] 李成悦. 基于云平台的生态承载力评价系统设计与实现[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
LI Chengyue. *The Design and Implementation of the Ecological Carrying Capacity Assessment System based on the Cloud Platform* [D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [12] 彭建, 王仰麟, 吴健生, 等. 区域生态系统健康评价: 研究方法与进展[J]. *生态学报*, 2007, **27**(11): 4877 – 4885.
PENG Jian, WANG Yanglin, WU Jiansheng, *et al.* Evaluation for regional ecosystem health: methodology and research progress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(11): 4877 – 4885.
- [13] 白根川, 夏建国, 王昌全, 等. 基于地类空间转化趋势模型的眉山市东坡区土地利用转化分析[J]. *资源科学*, 2009, **31**(10): 1793 – 1799.
BAI Genchuan, XIA Jianguo, WANG Changquan, *et al.* Land use transition in Dongpo District, Meishan City in China based on a tendentious model for analyzing spatial transition of land use types [J]. *Resour Sci*, 2009, **31**(10): 1793 – 1799.
- [14] 王祺, 蒙古军, 毛熙彦. 基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化[J]. *地理研究*, 2014, **33**(6): 1073 – 1084.
WANG Qi, MENG Jijun, MAO Xiyen. Scenario simulation and landscape pattern assessment of land use change based on neighborhood analysis and auto-logistic model: a case study of Lijiang River Basin [J]. *Geogr Res*, 2014, **33**(6): 1073 – 1084.
- [15] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. *经济地理*, 2015, **35**(5): 148 – 154.
HAN Huiran, YANG Chengfeng, SONG Jinping. The spatial-temporal characteristic of land use change in Beijing and its driving mechanism [J]. *Econ Geogr*, 2015, **35**(5): 148 – 154.
- [16] 谢霞, 王宏卫, 塔西甫拉提·特依拜. 基于 RS 和 GIS 的艾比湖区域景观格局动态变化研究[J]. *中国沙漠*, 2010, **30**(5): 1166 – 1173.
XIE Xia, WANG Hongwei, Tashpolat Tiyp. Study on landscape pattern change in Ebinur Lake region based on RS and GIS [J]. *J Desert Res*, 2010, **30**(5): 1166 – 1173.
- [17] 魏静, 郑小刚, 葛京凤. 石家庄西部太行山区景观格局时空变化[J]. *生态学报*, 2007, **27**(5): 1993 – 2001.
WEI Jing, ZHENG Xiaogang, GE Jingfeng. Spatial and temporal change of landscape pattern in the western Shijiazhuang, Taihang Mountains [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(5): 1993 – 2001.
- [18] LIU Xinliang, LI Yong, SHEN Jianlin, *et al.* Landscape pattern changes at a catchment scale: a case study in the upper Jinjing river catchment in subtropical central China from 1933 to 2005 [J]. *Landscape Ecol Eng*, 2014, **10**(2): 263 – 276.
- [19] AHLQVIST O, SHORTRIDGE A. Spatial and semantic dimensions of landscape heterogeneity [J]. *Landscape Ecol*, 2010, **25**(4): 573 – 590.

- [20] 岑晓腾. 土地利用景观格局与生态系统服务价值的关联分析及优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
CEN Xiaoteng. *Correlation Analysis and Optimization between Land Use Landscape Patterns and Ecosystem Service Values—a Case Study of South Coast of Hangzhou Bay*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [21] 徐双, 李飞雪, 张卢奔, 等. 长沙市热力景观空间格局演变分析[J]. 生态学报, 2015, **35**(11): 3743–3754.
XU Shuang, LI Feixue, ZHANG Luben, *et al.* Spatiotemporal changes of thermal environment landscape pattern in Changsha [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(11): 3743–3754.
- [22] 许倍慎. 江汉平原土地利用景观格局演变及生态安全评价[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
XU Beishen. *Study on Landscape Pattern Evolution of Land Use and Ecological Security Assessment in Jianghan Plain*[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2012.
- [23] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, **68**(3): 253–260.
ZHU Huiyi, LI Xiubin, HE Shujin, *et al.* Spatio-temporal change of land use in Bohai Rim [J]. *Acta Geogr Sin*, 2001, **68**(3): 253–260.
- [24] 郭慧, 王兵, 牛香. 中国退耕还林生态效益监测网络构建方法[J]. 水土保持通报, 2014, **34**(6): 131–133.
GUO Hui, WANG Bing, NIU Xiang. Construction method of ecological benefits monitoring network of China Grain for Green Project [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2014, **34**(6): 131–133.
- [25] 李柏山. 水资源开发利用对汉江流域水生态环境影响及生态系统健康评价研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
LI Boshan. *Study of Influence on Water Ecoenvironment and Ecosystem Health Assessment for Water Resources Development and Utilization in Hanjiang River Basin*[D]. Wuhan: Wuhan University, 2013.
- [26] 余璟, 王学雷, 吴宜进, 等. 神农架大九湖景观格局变化与湿地生态恢复对策[J]. 华中农业大学学报, 2008, **25**(1): 122–126.
YU Jing, WANG Xuelei, WU Yijin, *et al.* Changes of Shennongjia Dajihu landscape pattern and the strategies of wetland ecological restoration [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2008, **25**(1): 122–126.
- [27] 陈露, 汪正祥, 雷耘, 等. 1990–2010年神农架林区气候变化特征分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2013, **35**(1): 11–16.
CHEN Lu, WANG Zhengxiang, LEI Yun, *et al.* The characteristic of climate change in Shennongjia forest area from 1990 to 2010 [J]. *J Hubei Univ Nat Sci*, 2013, **35**(1): 11–16.
- [28] 黄靖, 夏智宏. 基于MODIS-EVI数据的神农架林区植被指数变化特征研究[J]. 气象与环境科学, 2013, **36**(3): 39–43.
HUANG Jing, XIA Zhihong. Research on the change characteristics for Shennongjia forest vegetation index based on MODIS-EVI Data [J]. *Meteorol Environ Sci*, 2013, **36**(3): 39–43.
- [29] 刘家琰, 谢宗强, 申国珍, 等. 基于SPOT-VEGETATION数据的神农架林区1998–2013年植被覆盖度格局变化[J]. 生态学报, 2018, **38**(11): 3961–3969.
LIU Jiayan, XIE Zongqiang, SHEN Guozhen, *et al.* Dynamics and analysis of vegetation fraction changes in Shennongjia Forest District during 1998 to 2013 by using SPOT-VEGETATION NDVI data [J]. *Acta Geogr Sin*, 2018, **38**(11): 3961–3969.
- [30] 张子一, 查玉平, 王少明, 等. 神农架林区华山松大小蠹生物学特性研究[J]. 中国森林病虫, 2015, **34**(6): 1–4.
ZHANG Ziyi, ZHA Yuping, WANG Shaoming, *et al.* Bionomics of *Dendroctonus armandi* in Shennongjia Forestry District [J]. *For Pest Dis*, 2015, **34**(6): 1–4.
- [31] 俞飞, 李智勇. 天目山林区景观格局时空变化及驱动因素分析[J]. 浙江农林大学学报, 2020, **37**(3): 439–446.
YU Fei, LI Zhiyong. Forests landscape pattern changes and driving forces in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2020, **37**(3): 439–446.
- [32] RUSHDI A M A, HASSAN A K. Reliability of migration between habitat patches with heterogeneous ecological corridors [J]. *Ecol Mod*, 2015, **304**: 1–10.