

# 漓江流域 1973—2013 年景观格局动态变化研究

胡金龙<sup>1,2</sup>,罗楠<sup>1</sup>,周志翔<sup>2\*</sup>

(1. 桂林理工大学 旅游学院,广西 桂林 541004;2. 华中农业大学 园艺林学学院,湖北 武汉 430070)

**摘要:**基于 1973—2013 年 Landsat 遥感影像数据,借助 3S 技术,分析漓江流域景观格局演化特征。结果表明,40 a 间漓江流域林地、建设用地、裸地持续增加,农田不断减少,水域先增后减,草地先减后增,2000—2013 年整体动态度达最高值,景观变化剧烈,类型转化频繁;从景观水平上看,1973—2000 年景观破碎度不断加剧,斑块复杂性升高,2000—2013 年景观破碎度降低,斑块趋向于规则化;从类型水平看,林地和建设用地破碎度先升后降,斑块间距离减少,聚集程度增加;农田破碎化加剧,趋向分散经营;水体的聚集度较高,以集中分布为主;草地斑块空间关系变化不明显,分布较为均衡;裸地趋向于集中分布。受退耕还林、林果种植以及城镇扩张和旅游开发等因素的驱动,各景观类型主要向林地和建设用地转移。

**关键词:**景观格局;动态变化;GIS;漓江流域

**中图分类号:**S127      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)04-0217-07

Dynamic Changes of Landscape Pattern in Lijiang River Basin from 1973 to 2013

HU Jin-long<sup>1,2</sup>, LUO Nan<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-xiang<sup>2\*</sup>

(1. Tourism College, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. College of Horticulture & Forestry Science, Huazhong Agriculture University, Wuhan, Hubei 430070, China)

**Abstract:**Based on remote sensing images of Lijiang River basin in 1973, 1986, 2000 and 2013, dynamic changes of landscape pattern were studied by 3S techniques. The results showed that woodland, construction land and bare land increased while farmland decreased, and water body increased first and then decreased, whereas the grassland decreased first, and then increased in the past 40 years. The peak value of comprehensive dynamic degree appeared at 2000—2013, indicating dramatically changes of landscape in the study area. From the view of the landscape level, the fragmentation degree and patch complexity increased during 1973—2000, while during 2000—2013, the trend was opposite. From the view of landscape type level, the fragmentation degree of woodland and construction land decreased after increasing, the distance between different patches reduced and aggregation degree increased; the fragmentation degree of farmland increased and tended to be managed separately; water body presented higher aggregation index, and in concentrated distribution; grassland had little changes in spatial relationship, and presented balanced distribution; and bared land tended to present concentrated distribution. Different landscape types mainly converted into the woodland and construction land because of the influences of the factors such as the implementation of policy of converting farmland into forestland, the planting non-timber forest trees, urbanization, and tourism development.

**Key words:**landscape pattern; dynamic change; GIS; Lijiang River Basin

收稿日期:2016-11-03 修回日期:2016-12-16

基金项目:国家科技支撑计划课题“漓江流域生态旅游资源可持续利用技术模式及示范”(2012BAC16B04);广西自然科学基金“漓江流域景观格局演变与生态安全调控研究”(2012GXNSFBA053136);桂林市科技计划课题“漓江流域典型人工林生态系统服务功能评价”(20140117-2)。

作者简介:胡金龙,男,博士,副教授,研究方向:景观规划、旅游用地管理。E-mail:43765934@qq.com

\*通信作者:周志翔,男,博导,教授,研究方向:景观生态和森林生态。E-mail:whzhouzx@126.com

景观格局是指景观组分的空间结构和特征,其动态变化主要受自然和人为等多重因素的影响,一直以来是景观生态学研究的核心问题<sup>[1-2]</sup>。目前景观格局变化的研究主要集中于某一区域静态的空间异质性分析和一定时段内动态的时间异质性分析<sup>[3-6]</sup>。定量分析区域景观格局演变特征,有助于明确景观格局与生态过程相互作用的内在规律和驱动因子<sup>[7-9]</sup>,预测景观的演化方向,为景观生态评价、景观格局优化以及土地利用管理等提供依据<sup>[10]</sup>。本研究借助3S技术,以1973—2013年4个时相的遥感影像为基础信息源,从景观和类型水平上选取景观格局指数,分析景观格局动态变化特征,为漓江流域可持续发展和景观格局优化提供科学依据。

## 1 研究区概况

漓江流域位于广西东北部、南岭山系西南端,包括象山、七星、叠彩、秀峰、雁山5区以及临桂、灵川、兴安、平乐、阳朔部分区域,流域总面积5 837.93 km<sup>2</sup>,干流全长164 km。整体地势北高南低,以漓江为中轴线,呈南北向狭长带状分布,北部为碎屑岩中低山地貌,中南部主要为低山、丘陵、岩溶地貌,具有典型的喀斯特地貌特征。漓江流域属中亚热带季风气候区,四季分明,气候温和,年平均气温18.9℃,植被覆盖度高,类型丰富,典型植被以亚热带常绿阔

叶林为主。漓江流域是我国最早发展旅游业的地区之一,A级以上级别景区达55处,其中包括5A景区3处、4A景区23处,2013年漓江流域内各县区共接待游客2 636.21万人次,实现旅游总收入279.12亿元,占桂林旅游总收入的80%。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据收集与处理

采用的数据资料主要包括1973年10月(MSS)、1986年11月(TM)、2000年09月(ETM<sup>+</sup>)、2013年10月(OLI)4期Landsat遥感影像,桂林市地形图(1:50 000)以及桂林市社会经济统计年鉴(1973—2013)等。利用ERDAS9.2,采用最大似然法监督分类和参考土地利用数据、相近时期影像、Google Earth影像以及野外调查验证进行人工目视解译调整相结合的方法,将漓江流域划分为林地、农田、建设用地、水域、草地和裸地等6种景观类型,通过Accuracy Assessment模块进行精度评估,采用随机采样的方式,在4期景观分类图中各产生600个随机点,把随机点分别与其实际类型进行比对,输入各随机点的实际类别,生成分类精度报告。经精度评估,1973、1986、2000、2013年的总体分类精度为86.17%、86.83%、87.33%、89.67%,具体分类结果见图1。

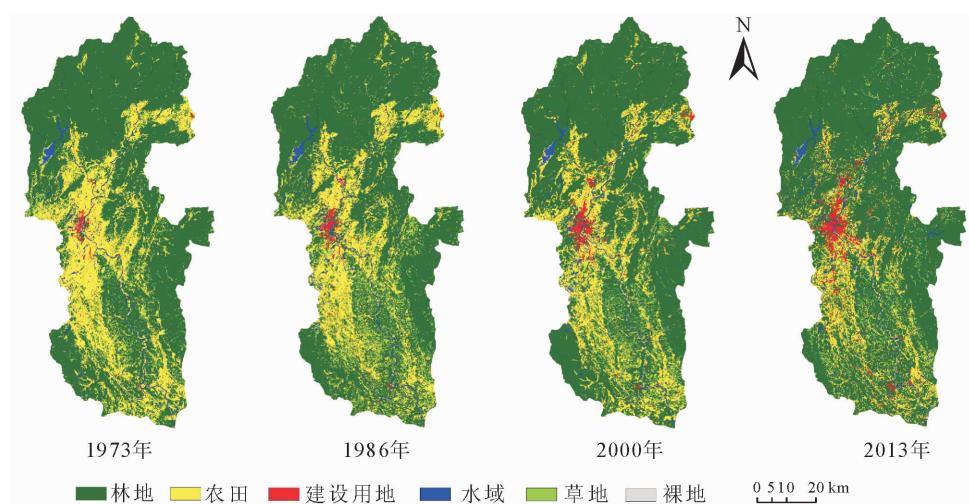


图1 1973—2013年漓江流域景观类型分布

Fig. 1 Spatial distribution of landscape types in Lijiang River basin during 1973—2013

### 2.2 景观格局指标的选取

景观格局指数是定量分析景观格局变化的重要方法,使测度空间格局与生态过程的关联成为可能<sup>[11]</sup>。自20世纪80年代开始,大量的景观格局指数被提出和用于描述不同尺度的景观格局特征<sup>[12-13]</sup>,但指标的相关性和冗余性以及尺度效应一直受到学界的广泛关注<sup>[14]</sup>,选择合适的景观格局指

标,既能够全面反映景观格局信息,又降低指标的冗余度,是景观格局研究的重要共识。

借鉴前人相关研究<sup>[15-16]</sup>,结合漓江流域实际情况,从景观和类型水平上选取指数进行景观格局分析。景观水平上选取了斑块数(NP)、平均斑块面积(AREA\_MN)、边界密度(ED)、面积加权分维数(FRAC\_AM)、聚合度(AI)、斑块结合度指数(CO-

HESION)、平均临近距离(ENN\_AM)、有效粒度(MESH)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)等10个指标。

### 2.3 景观变化特征

采用单一动态度( $K$ )和整体动态度( $LC$ )2个指标,表征景观变化的速率与程度<sup>[17]</sup>。单一动态度( $K$ )用于表示某种景观类型在具体研究时段的变化速率,整体动态度用于表征某一时段内,整个研究区景观类型转化的剧烈程度, $LC$ 越大,说明景观变化越剧烈,反之则较弱。计算公式如下<sup>[18]</sup>:

$$K = \frac{100 \times (U_b - U_a)}{U_a \times T} \% \quad (1)$$

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2LU} \times \frac{1}{T} \times 100 \% \quad (2)$$

式中: $U_a$ 、 $U_b$ 为研究期初和期末某一景观类型的面积; $LU$ 为研究初始各景观类型的总面积; $\Delta LU_{i-j}$ 为研究时段内第*i*类景观类型转为非*i*类景观类型总面积; $T$ 为研究时长。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观总体变化特征

40 a间林地一直是漓江流域的优势景观,占总面积均超过69%,2013年高达78.61%,面积持续增加,由1973年的4 064.44 km<sup>2</sup>增加到2013年的4 589.15 km<sup>2</sup>,净增524.71 km<sup>2</sup>。农田作为流域第2大景观类型,面积不断减少,由1973年的1 401.89 km<sup>2</sup>下降到2013年的744.30 km<sup>2</sup>,净减少657.59 km<sup>2</sup>,下降近50%。建设用地占比不大,4个时期均不足4%,但呈快速增加之势,面积由1973年的58.12 km<sup>2</sup>增加到2013年的204.90 km<sup>2</sup>,净增146.78 km<sup>2</sup>,为1973年的3.5倍,主要受流域内城镇扩张以及旅游景区开发等因素驱动。水域面积先增加后减少,前期由于水产养殖开挖鱼塘带来水域面积增加,1986—2013年城市扩张、填水造陆致使部分水域被吞噬。草地面积先减少后增加,1973—2000年间面积下降主要由于毁草开荒种植粮食以及林果所致,2000—2013年随着经济的快速发展,大量农民外出务工,部分耕作条件差的农田被撂荒变为草地。裸地持续增加,2013年较1973年增加近2倍,但研究期内占比均未超过0.5%,在整体变化中反映不明显(图2)。

从景观整体动态度来看(表1),40 a间漓江流域的整体动态度呈先下降后上升的波动变化,2000—2013年整体动态度达最高值,为0.61%,景观变化剧烈,类型转化频繁,这与研究区内的城市化进程具有较好的一致性,1986—2000年较1973—1986

年小幅下降,主要由于1973—1986年农业种植活动带来的景观类型转化要高于1986—2000年。从表1来看,建设用地的变化速度远高于同时段其他景观类型的变化速率,随着时间推移,变化速率逐渐加快,整个研究期内建设用地的动态度为6.31%。不同时段林地和农田的变化率均呈现持续增加的趋势,虽然林地的面积变化量很大,但由于其比重很高,变化率反而较小。不同时段水域的动态度均较小,整个研究期仅-0.16%,说明漓江流域的水域面积相对稳定。草地的变化率呈先减少后增加的趋势,1973—1986年和2000—2013年变化率相当,变化方向相反,整个研究期内变化率为-0.29%,说明草地的转化非常频繁。

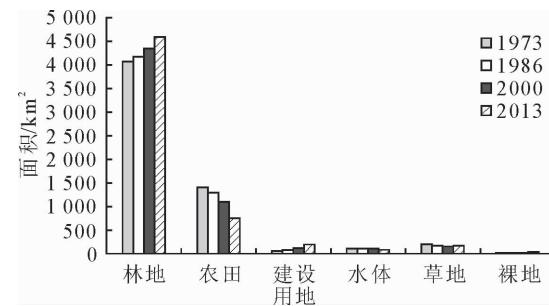


图2 1973—2013年漓江流域不同景观类型面积变化

Fig. 2 Area changes of different landscape types of Lijiang River basin during 1973—2013

表1 漓江流域各时期景观类型的动态度

Table 1 The dynamic degree of landscape types in

景观类型	1973—1986	1986—2000	2000—2013	1973—2013
林地	0.20	0.29	0.44	0.32
农田	-0.54	-1.08	-2.52	-1.17
建设用地	2.84	3.54	5.54	6.31
水域	0.15	-0.17	-0.44	-0.16
草地	-1.21	-0.65	1.20	-0.29
裸地	2.48	3.49	4.01	4.97
整体动态度	0.53	0.48	0.61	0.29

### 3.2 流域景观格局变化特征

利用Fragstats3.3计算1973—2013年间漓江流域景观水平的格局指标,由表2可以看出,40 a间格局指标变化明显。斑块数目先增后减,从1973年的21 204个快速增加到2000年的31 456个,而后下降为2013年的26 832个。平均斑块面积先减后增,2000年达到最低值,此后逐渐增加到2013年的21.76 hm<sup>2</sup>,较之1973年下降5.77 hm<sup>2</sup>,这表明1973—2000年间研究区景观破碎化程度不断加剧,开始向细粒景观转化,主要由于此阶段整个流域城镇建设呈离散点状发展,林果种植产业处于起步阶

段,部分农田被零散的转化为林地,呈农田林地镶嵌分布。2000—2013年间,景观破碎化程度不断下降,又开始转向粗粒景观,主要因为此阶段受交通可达性不断增强,产业布局不断集聚发展以及城乡一体化等因素的影响,建设用地趋向于集中连片,同时2002年后受退耕还林政策的实施、乡村旅游的日趋兴旺、水果种植的规模化等因素影响,林果种植亦趋向于大面积,集中连片发展;边界密度、面积加权分维数先增加后减少,1973—2000年边界密度由 $37.36 \text{ m} \cdot \text{hm}^{-2}$ 持续增加到 $52.19 \text{ m} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,面积加权分维数由1.29增加到1.32,2000年后二者呈缓慢下降的趋势,这表明1973—2000年间区域分散化的城镇点状扩展模式和局部种植结构的调整,促使不同类型间斑块的相互作用逐渐加强,斑块整体复杂性升高,2000年后人类活动的强度明显增大,表现出显著的人为干扰特征,斑块分布趋向于规则

化、集中化,斑块总体复杂性持续下降,不同类型间斑块的相互作用趋弱;聚合度先减少后增加,整体上有所下降,这表明漓江流域景观的空间连接性先减弱后又有所加强,先是趋向于由许多不同类型的小斑块相互交错配置组成,而后趋向于由相对较少的大斑块组成,这与斑块面积变化的特征相一致。斑块结合度虽有小幅波动,但均接近于1,漓江流域内斑块类型分布集中,各景观类型具有较大的空间自然连通性;平均邻近距离小幅上升后,持续快速下降,有效粒度先降后升,振幅较大,多样性指数和均匀度指数较低,且持续减少,说明景观的异质性不断减少,各个景观类型所占面积比例差异在加大,主要因为漓江流域占主导地位的林地景观,受果业种植、退耕还林、环境保护等因素的驱动,占比不断增加,而农田作为第2大景观类型,不断被林地、建设用地等类型所吞噬。

表2 1973—2013年漓江流域景观水平的格局指标

Table 2 The landscape index of whole landscape in Lijiang River basin

年份	NP	AREA_MN	ED	FRAC_AM	AI	COHE_SION	ENN_AM	MESH	SHDI	SHEI
1973	21 204	27.53	37.36	1.29	94.38	99.82	202.86	174 245.45	0.84	0.47
1986	27 324	21.37	49.13	1.30	92.61	99.78	205.35	97 377.23	0.82	0.46
2000	31 456	18.56	52.19	1.32	92.15	99.82	186.62	187 228.82	0.80	0.45
2013	26 832	21.76	47.94	1.31	92.79	99.85	76.59	216 875.76	0.77	0.43

注:AREA\_MN单位为 $\text{hm}^2$ ,ED单位为 $\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,ENN\_AM单位为m,MESH单位为 $\text{hm}^2$ 。

### 3.3 流域景观类型格局变化特征

1973—2013年各景观类型格局指标的变化具有明显差异(表3)。林地作为漓江流域主要景观类型,斑块数目、斑块密度先增加后减少,整体上小幅增加606个和 $0.11 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,边界密度和面积加权分维数分别增加 $11.95 \text{ m} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和0.04,平均斑块邻近距离快速下降,散布并列指数和聚合度指数波动上升,上述趋势反映出1973—2000年间,人类活动对森林景观的干扰持续增加,破碎度不断加剧,2000年后随着退耕还林、封山育林等政策的有效实施以及林果种植的发展,林地趋向于成片、集中分布,破碎度不断降低,森林景观自然特征不断增强,斑块间的距离减少,聚集程度增加,斑块连接程度不断增强,这将有助于森林生物多样性保护功能的提升。

农田作为第2大景观类型,斑块数目先增后减,净增3 466个,最大斑块指数快速减小,尤其2000年后下降最为迅速,面积加权分维波动下降0.06,平均邻近距离和聚合度持续下降,这表明研究期内受城镇化建设持续加快、部分村落无序扩展以及交通基础设施建设等因素影响,农田的破碎度不断加剧,边缘趋向规则化,逐渐转向分散经营,农田的聚

集程度虽有所下降,但仍呈较高的聚集状态,反映出农业生产活动仍维持一定的空间连续性。

建设用地斑块数目、斑块密度不断增加,1986—2000年间增长最为明显,2000—2013年增长趋缓,最大斑块指数和边界密度持续增加,2000后增速明显加快,平均邻近距离下降迅速,聚合度指数先降后升,总体略有增加,表明漓江流域早期城镇化以分散发展为主,多点展开,聚集程度变弱,桂林主城区扩展较为缓慢,2000年后伴随交通等基础设施的不断完善,中心城区(桂林市主城区)集中连片发展,该区域的持续快速扩张导致最大斑块指数不断增加,反映出城市化活动向城市中心聚集。

水体斑块数目、斑块密度先增后减,最大斑块指数持续下降,表明前期在鱼塘养殖等人类活动干扰下,水体的破碎度不断增加,大斑块面积下降明显,后期由于对河流、湖泊、水库等的保护,大斑块面积缩减的态势得到遏制。边界密度和面积加权分维数分别减少 $0.33 \text{ m} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和0.03,平均邻近距离下降41.16%,表明水体形状趋于规则化,自然特征退化,两江四湖环城水系等工程建设,使水体的邻近距离变小,连通性增强,有利于鱼类和其他物种的保护。整体来看,水体的聚集度较高,虽有波动但变化

程度不大,以集中分布为主。

草地斑块数目呈先增后减,最大斑块指数很小仅为0.01或0.02(表3),说明1973—2000年间受人类活动干扰,斑块面积变化剧烈,破碎度不断加剧,此阶段部分草地不断被开垦为农田或林地,造成草地镶嵌状分布,2000年后受农民外出务工以及种粮收益低等因素影响,部分耕作条件差的大片农田被撂荒变为草地,使得草地成片分布,破碎化减弱。边界密度和面积加权分维数整体上均略有增加,平

均临近距离变化不大,散布并列指数和聚合度均较小并呈下降趋势,表明研究期内斑块复杂性增加,人为干扰减小,斑块分布较为均衡。

裸地斑块数目、斑块平均面积变化十分剧烈,主要由于大部分裸地的形成归因于人类活动和水文条件的变化。边界密度和面积加权分维数,整体均有增加,近年来形状趋于复杂。平均邻近距离虽有波动但整体下降,聚合度变化不显著,表明裸地趋向于集中分布特征。

表3 1973—2013年漓江流域类型水平的景观格局指数

Table 3 The landscape index of various land use types in Lijiang River basin

类型	年份	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN	FRAC_AM	ENN_AM	IJI	AI
林地	1973	3633	0.62	53.42	28.19	111.88	1.31	129.67	62.05	96.12
	1986	4772	0.82	54.35	40.65	87.36	1.33	103.39	61.03	95.69
	2000	5869	1.01	55.27	42.90	73.93	1.35	88.25	66.58	95.62
	2013	4239	0.73	56.39	40.14	108.26	1.35	60.49	75.29	96.53
农田	1973	4327	0.74	7.07	24.99	32.40	1.29	186.58	62.19	92.22
	1986	7899	1.35	5.09	33.65	16.50	1.27	152.22	50.66	88.71
	2000	8266	1.42	4.43	33.59	13.39	1.29	144.81	53.17	86.70
	2013	7793	1.33	1.30	27.58	9.55	1.23	85.98	50.70	83.82
建设用地	1973	1887	0.32	0.20	2.66	3.08	1.11	482.81	54.71	80.24
	1986	2396	0.41	0.32	4.49	3.32	1.18	398.70	60.97	75.51
	2000	3136	0.54	0.55	5.95	3.80	1.19	327.73	65.26	78.31
	2013	3428	0.59	1.46	9.09	5.98	1.24	153.91	56.22	80.71
水域	1973	663	0.11	0.66	4.67	15.56	1.29	560.47	65.28	80.38
	1986	875	0.15	0.45	4.78	12.02	1.26	471.16	66.22	80.49
	2000	1031	0.18	0.40	5.08	9.95	1.26	427.88	67.29	78.11
	2013	629	0.11	0.39	4.34	15.38	1.26	329.79	60.93	80.58
草地	1973	10506	1.80	0.02	13.80	1.93	1.09	192.66	46.53	70.16
	1986	10705	1.83	0.02	13.91	1.59	1.11	185.24	42.91	64.32
	2000	12043	2.06	0.01	14.66	1.29	1.13	173.68	42.05	58.62
	2013	10173	1.74	0.01	14.22	1.76	1.11	168.49	42.19	66.75
裸地	1973	188	0.03	0.01	0.39	4.28	1.11	1331.89	74.28	79.36
	1986	677	0.12	0.00	0.78	1.57	1.09	834.28	70.72	68.55
	2000	1111	0.19	0.01	1.20	1.42	1.10	539.28	82.23	67.02
	2013	570	0.10	0.01	1.13	4.20	1.12	742.26	83.97	79.86

注:PD为斑块密度( $\text{个} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),LPI为最大斑块指数(%),ED表示边界密度( $\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),IJI为散布与并列指数。

### 3.4 40 a间景观类型转移特征

1973—2013年各景观类型都发生了显著变化(表4),其中草地变化最为剧烈,高达84.61%的草地转化为其他景观类型,其中68.27%的面积转变为林地,说明草地系统稳定性差,转化频繁,主要受森林绿化、林果种植、封山育林等因素的驱动。裸地变化亦较为剧烈,分别有29.19%和24.97%的面积转化为水域和林地,表明植被恢复、农林业开发活动以及河道变化是裸地转移的主要因素。林地、农田和建设用地是水域的主要转移去向,转化率分别为:9.89%、6.09%和4.81%,表明农林业开发活动和城市扩张,是水体损失的主要原因,另外受气候、水

文等因素影响,少量水域变为草地和裸地。农田转移的面积最大,47.03%的农田转化为林地,面积高达659.31 km<sup>2</sup>,8.22%的农田被城市扩张吞噬,面积达115.29 km<sup>2</sup>,林果种植是农田转化的主要因素,城镇扩张对农田的损失亦有重要影响。值得注意的是40 a间8.68 km<sup>2</sup>和2.45 km<sup>2</sup>的建设用地转变为林地和农田,主要发生在村落周边,部分偏远地区的村落空心化严重,规模不断缩小甚至消失。林地转移的主要去向为农田和草地,面积分别为141.08 km<sup>2</sup>和101.39 km<sup>2</sup>,农业活动造成的森林退化和林地砍伐是面积转移的重要因素,另有35.15 km<sup>2</sup>的林地被城市建设所侵蚀,主要发生在城乡结合部。

表 4 1973—2013 漓江流域景观类型转移矩阵

Table 4 Transition matrix of landscape types in Lijiang River basin from 1973 to 2013

km<sup>2</sup>

景观类型	2013					
	林地	农田	建设用地	水域	草地	裸地
1973 林地	3 770.87	141.08	35.15	7.47	101.39	8.49
转化率/%	—	3.47	0.86	0.18	2.49	0.21
农田	659.31	567.93	115.29	7.08	43.37	8.90
转化率/%	47.03	—	8.22	0.51	3.09	0.64
建设用地	8.68	2.45	45.38	0.79	0.72	0.09
转化率/%	14.94	4.22	—	1.36	1.24	0.15
水域	10.21	6.28	4.96	76.98	1.80	2.95
转化率/%	9.89	6.09	4.81	—	1.74	2.86
草地	138.07	25.79	4.04	2.04	31.12	1.19
转化率/%	68.27	12.75	2.00	1.01	—	0.59
裸地	2.01	0.76	0.09	2.35	0.52	2.32
转化率/%	24.97	9.44	1.12	29.19	6.46	—

## 4 结论与讨论

1973—2013 年,林地一直是漓江流域的主要景观类型,占总面积的比例均在 69% 以上,面积不断增加;农田持续减少,面积下降近 50%;建设用地快速增加,净增 146.78 km<sup>2</sup>;水域呈先增后减的趋势,而草地恰好相反,裸地持续增加,但绝对面积少,在整体变化中反映不明显。40 a 间漓江流域的景观整体动态度,呈先缓慢下降后上升的波动变化,2000—2013 年整体动态度达最高值,景观变化剧烈,类型转化频繁。不同时段林地和农田的变化率均呈现持续增加的趋势,水域的动态度均较小,建设用地的变化速度最快,远高于其他景观类型。

景观格局分析表明,1973—2000 年受城镇建设离散点状发展、林果种植分散经营等因素影响,漓江流域景观破碎化程度不断加剧,斑块复杂性增加,开始转向细粒景观。2000—2013 年受城市集聚发展、林果种植规模化、乡村旅游、退耕还林等因素影响,景观破碎化程度不断下降,斑块趋于规则化,又开始转向粗粒景观。类型水平上,林地和建设用地破碎化程度先升后降,斑块间距离减少,聚集程度增加,农田破碎化程度不断增加但仍呈较高的聚集状态,水体聚集度较高,以集中分布为主。草地斑块空间关系变化不明显,斑块分布较为均衡,裸地趋向于集中分布。

1973—2013 年漓江流域不同景观类型均发生一定程度的转移,其中草地转化最为剧烈,其次为裸地,农田的转移面积最大。各景观类型主要向林地和建设用地转移,归因于退耕还林、封山育林、石漠化治理、林果种植等措施的实施以及城镇扩张和旅游开发等因素的驱动。

## 参考文献:

- [1] 张利利,余济云,李锐,等.1998—2010 年五指山市土地利用景观格局变化分析[J].西北林学院学报,2016,31(1):221-225.  
ZHANG L L,SHE J Y,LI R,et al. Changes of land use and landscape pattern in Wuzhishan during 1998—2010[J]. Journal of Northwest Forestry university, 2016, 31 (1): 221-225. (in Chinese)
- [2] 刘铁冬.杂谷脑河流域近 30 年景观格局时空演变研究[J].水土保持研究,2014,21(3):98-102.  
LIU T D. Study on spatiotemporal evolution of landscape pattern of Zagunao river basin in recent 30 years[J]. Research of Soil and Water Conservation,2014,21(3):98-102. (in Chinese)
- [3] 张国坤,卢京花,宋开山,等.吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化[J].生态学报,2012,32(12):3958-3965.  
ZHANG G K,LU J H,SONG K S,et al. The change of landscape pattern in Zhenlai,Jilin Province in recent ten years[J]. Acta Ecologica Sinica,2012,32(12):3958-3965. (in Chinese)
- [4] 陈悉悉,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.  
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. (in Chinese)
- [5] 胡冬雪,唐立娜,邱全毅,等.海峡西岸经济区景观格局 10 年变化及驱动力[J].生态学报,2015,35(18):6138-6147.  
HU D X,TANG L N, QIU Q Y, et al. Decadal temporal changes in landscapes and their driving forces for west-bank economic zone of Taiwan Straits[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(18):6138-6147. (in Chinese)
- [6] 王赫.辽宁省辽河流域景观格局变化研究[J].西北林学院学报,2016,31(3):221-227.  
WANG H. Researches on the changes of landscape pattern in Liao River basin[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3):221-227. (in Chinese)
- [7] ABDULLAH S A,Nakagoshi N. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular

- Malaysia[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 77(3): 263-275.
- [8] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 等. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究: 以洪河湿地自然保护区为例[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 86-95.
- ZHOU D M, GONG H L, HU J M, et al. Probe into the landscape pattern of freshwater wetland communities—a case study in the Honghe national nature reserve in Sanjiang plain, China [J]. *Journal of Nature Resources*, 2007, 22(1): 86-95. (in Chinese)
- [9] MARI J F, BENOIT M. Landscape regularity modeling for environmental challenges in agriculture[J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 169-183.
- [10] 申依宇, 弓弼, 贾浩洋, 等. 杨凌区城镇景观格局动态变化分析[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 319-324.
- SHEN Y N, GONG B, JIA H Y, et al. Analysis on the dynamic changes of landscape pattern in Yangling[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4): 319-324. (in Chinese)
- [11] BOTEQUILHA L A, Ahern J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 59: 65-93.
- [12] TURNER M G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns[J]. *Landscape Ecology*, 1990, 4(1): 21-30.
- [13] VOS C C, VERBOOM J, OPDAM P F M, et al. Toward ecologically scaled landscape indices[J]. *American Naturalist*, 2001, 157(1): 24-41.
- [14] LI H B, WU J G. Use and misuse of landscape indices[J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(4): 389-399.
- [15] 郭沫, 杜世宏, 赵松婷, 等. 黔东南地区景观格局的动态变化及驱动力[J]. *山地学报*, 2011, 29(5): 543-550.
- GUO L, DU S H, ZHAO S Q, et al. Change of landscape pattern and its driving forces in Qiandongnan prefecture [J]. *Journal of Mountain Science*, 2011, 29(5): 543-550. (in Chinese)
- [16] 刘晶, 刘学录, 王哲锋. 祁连山东段景观格局变化及其驱动因子研究[J]. *草业学报*, 2011, 20(6): 26-33.
- LIU J, LIU X L, WANG Z F. Change in landscape pattern and the driving force in the eastern Qilian Mountain [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(6): 26-33. (in Chinese)
- [17] 郑忠明, 李华, 周志翔, 等. 城市化背景下近30年武汉市湿地的景观变化[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1619-1623.
- ZHONG Z M, LI H, ZHOU Z X, et al. Landscape changes of Wuhan wetlands in 1978-2007 with the process of urbanization[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(8): 1619-1623. (in Chinese)
- [18] 徐嘉兴, 李钢, 渠俊峰, 等. 洪泽湖地区土地利用与景观格局演变[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(10): 1211-1215.
- XU J X, LI G, QU J F, et al. Changes of land use and landscape pattern in Hongze lake basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(10): 1211-1215. (in Chinese)

(上接第177页)

- [20] 吴富帧. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 61-63.
- [21] 王忠诚, 朱光玉, 文仕知, 等. 利用哑变量研究湘西桤木林分优势平均高与平均高的相关关系[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(25): 37-44.
- WANG Z C, ZHU G Y, WEN S Z, et al. The study on the correlation of average dominant height and mean height of *Alnus cremastogynne* stands in Xiangxi by applying dummy variable[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(25): 37-44. (in Chinese)
- [22] 刘正军, 徐胜攀, 左志权, 等. 机载激光雷达数据处理软件设计及关键技术研究[J]. *测绘通报*, 2012(12): 91-93.
- [23] 焦义涛, 邢艳秋, 霍达, 等. 基于机载LiDAR点云估测林分的平均树高[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(3): 170-174.
- JIAO Y T, XING Y Q, HUO D, et al. Study on mean canopy height estimate from airborne LiDAR point cloud data[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(3): 170-174. (in Chinese)
- [24] 骆社周, 王成, 张贵宾, 等. 机载激光雷达森林叶面积指数反演研究[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(5): 1467-1475.
- LUO S Z, WANG C, ZHANG G B, et al. Forest leaf area index(LAI) inversion using airborne LiDAR data, Chinese [J]. *Geophys*, 2013, 56(5): 1467-1475. (in Chinese)
- [25] 尤号田, 邢艳秋, 王铮, 等. 利用LiDAR离散点云估测针叶林叶面积指数[J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(3): 41-47.
- YOU H T, XING Y Q, WANG Z, et al. Estimation of the leaf area index of coniferous forests using LiDAR discrete point cloud[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(3): 41-47. (in Chinese)