

胡金龙, 郑文俊, 王影雪. 漓江流域景观格局演变对生态系统服务价值的影响 [J]. 风景园林, 2020, 27 (10) : 64-70.

## 漓江流域景观格局演变对生态系统服务价值的影响

# Impact of Landscape Pattern Evolution on Ecosystem Services Value in Lijiang River Basin

胡金龙 郑文俊\* 王影雪

HU Jinlong, ZHENG Wenjun\*, WANG Yingxue

开放科学 (资源服务)  
标识码 (OSID)



中图分类号: TU982, X171.1  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-1530(2020)10-0064-07  
DOI: 10.14085/j.fjyl.2020.10.0064.07  
收稿日期: 2020-03-30  
修回日期: 2020-07-31

胡金龙 / 男 / 博士 / 桂林理工大学旅游与风景园林学院、植物与生态工程学院副教授、硕士生导师 / 研究方向为风景园林规划、旅游用地管理  
HU Jinlong, Ph.D., is an associate professor, master supervisor in the College of Tourism and Landscape Architecture/Plant and Ecological Engineering, Guilin University of Technology. His research focuses on landscape planning and management of tourist land.

郑文俊 / 男 / 博士 / 桂林理工大学旅游与风景园林学院、植物与生态工程学院教授、博士生导师 / 研究方向为生态旅游与乡土景观  
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): 149480860@qq.com  
ZHENG Wenjun, Ph.D., is a professor and doctoral supervisor in the College of Tourism and Landscape Architecture/Plant and Ecological Engineering, Guilin University of Technology. His research focuses on eco-tourism and rural landscape.

王影雪 / 女 / 桂林理工大学旅游与风景园林学院硕士 / 研究方向为风景园林规划设计  
WANG Yingxue got her master's degree in the College of Tourism and Landscape Architecture, Guilin University of Technology. Her research focuses on landscape planning and design.

**摘要:** 景观格局演变必然影响生态系统服务供给, 探讨二者关系, 对于实现区域可持续发展具有重要意义。基于 1986、2001、2016 年 3 期 Landsat 遥感影像, 提取景观类型数据, 分析漓江流域景观格局演变对生态系统服务价值的影响。结果表明: 30 年来林地一直是漓江流域的优势景观, 面积增加, 农田和水体减少, 建设用地和裸地增加, 草地先减后增; 研究区生态服务价值持续增加, 净增 7.50 亿元, 林地对生态服务价值贡献率最大, 是生态服务价值增加的主要来源, 生态系统的调节、支持等服务性功能远大于生产和文化性功能; 生态系统服务价值存在明显的空间分异, 中间河谷地带低、四周山林地区高; 优势斑块面积扩大、斑块间保持良好自然连通性, 景观类型的均匀性、异质性降低有利于生态系统服务价值的增加。研究揭示了景观格局与生态服务变化的关系, 可为漓江流域景观可持续管理提供科学参考。

**关键词:** 风景园林; 景观格局; 景观演变; 生态系统服务; 时空变化; 漓江流域

**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号 31960252, 51968012); 广西高等学校千名中青年骨干教师培育计划资助项目

**Abstract:** The evolution of landscape patterns inevitably affects the supply of ecosystem services. It is of great significance to explore the relationship between them for regional sustainable development. Based on the Landsat images of Lijiang River Basin in the 1986, 2001, 2016 period, this research extracts the landscape types to analyze the impacts on ecosystem services values of landscape patterns. The results show that woodland has been the dominant landscape of the Lijiang River Basin for 30 years, with an increase in areas. The areas of farmland and waterbody decreased, construction land and bare land increased, and grassland first decreased and then increased. The ecosystem services value constantly increased, with a net value of 750 million yuan. Woodland contributed the most to the ecosystem services value, serving as the main source of the increase. The function of ecosystem regulation and support was greater than that of production and culture. There were obvious spatial differences in the ecosystem services value, low in the middle valley area and high in the surrounding mountains. The expansion of the dominant patch areas and good natural connectivity between patches, and the decrease of uniformity and heterogeneity of landscape types were conducive to the increase of the ecosystem services value. The research reveals the relationship between landscape patterns and ecological services changes, which provides scientific references for landscape sustainable management in Lijiang River Basin.

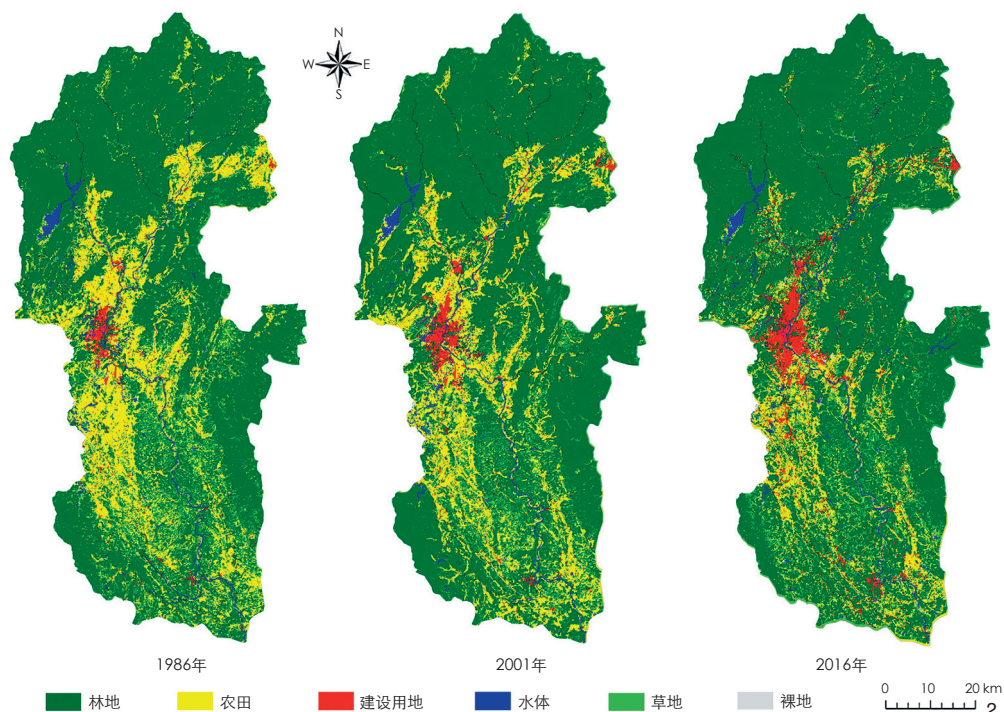
**Keywords:** landscape architecture; landscape pattern; landscape evolution; ecosystem services; spatio-temporal change; Lijiang River Basin

**Fund Items:** The National Natural Science Fund of China (No. 31960252, 51968012); Training Program for Thousands of Young and Middle-Aged Backbone Teachers in Guangxi

景观格局是景观异质性的具体体现, 其动态变化受自然和人为因素的共同作用<sup>[1-3]</sup>。生态系统服务是指人类通过不同方式获取生态系统自然效用, 以维持人类生存并满足人类福祉<sup>[4-6]</sup>。景观格局演变必然带来生态系统组分和功能的变化, 进而影响不同类型生态系统服务



1 研究区位置  
Locations of study areas



2 漓江流域景观类型分布  
Landscape distribution of Lijiang River Basin

的供给量<sup>[7-8]</sup>, 分析景观格局演变对生态系统服务的影响, 对于实现区域可持续发展具有重要意义<sup>[9-11]</sup>。目前国内外有关景观格局演变的研究主要集中于景观格局时空变化特征<sup>[12-14]</sup>、驱动机制<sup>[15-17]</sup>以及模拟预测<sup>[18-20]</sup>等方面, 生态系统服务研究主要关注整体景观<sup>[21-23]</sup>或森林<sup>[24-26]</sup>、农田<sup>[27-28]</sup>、湿地<sup>[29-30]</sup>等单一景观类型生态服务价值时空变化, 对于二者关系的探讨, 大多数研究聚焦于景观类型面积变化引起的生态系统服务变化, 而对于景观格局指数与生态系统服务变化的关系缺乏定量研究, 分析生态系统服务对于景观格局指数的响应, 有助于景观格局优化调控, 提升区域整体生态效益<sup>[31-33]</sup>。基于此, 笔者利用 Landsat 时序遥感影像, 解译获取 1986—2016 年景观类型数据, 综合运用景观格局指数、GIS 空间分析等方法, 分析漓江流域景观格局特征和生态系统服务时空变化, 进而探讨景观格局演变与生态系统服务变化的定量关系, 以期为漓江流域景观可持续管理提供数据支持和科学依据。

## 1 研究区概况

漓江流域位于广西壮族自治区东北部、

南岭山地西部(图 1), 发源于华南第一高峰猫儿山, 由北向南, 漓江依次流经兴安县、灵川县、桂林市区、阳朔县, 干流全长 164 km, 流域总面积 5 837.93 km<sup>2</sup>。漓江流域整体呈北高南低、中间低四周高的狭长带状分布, 中下游属于典型的喀斯特岩溶地貌, 具有很高的观赏价值<sup>[34]</sup>。漓江流域属中亚热带季风气候区, 气候温和, 植被覆盖度高, 类型丰富多样。漓江流域作为中国最早发展旅游业的地区, 现已成为世界知名旅游目的地, 旅游资源丰富多样, 旅游产业发达, 2016 年桂林市共接待游客 5 385.87 万人次, 旅游总收入 637.31 亿元, 大部分来自漓江流域内各县区。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究采用的数据主要有: 1) 漓江流域 1986 年(TM)、2001 年(TM)、2016 年(OLI) 3 期 Landsat 遥感影像; 2) 漓江流域各县地形图、2014 年土地利用现状图; 3) 1986—2016 年兴安县、灵川县、阳朔县、桂林市各分区统计年鉴以及涉及漓江流域相关规划等。结合实地调研, 利用 ERDAS9.3 平台, 对

3 期遥感影像进行解译, 划分景观类型, 经计算总体分类精度分别为: 86.83%、88.21%、89.72%, 满足本研究需要(图 2)。

### 2.2 景观格局指标的选取

根据不同景观格局指数内涵<sup>[35-37]</sup>, 结合漓江流域景观特征以及实际研究需要, 尽量避免不同景观指数间的信息重复<sup>[38-39]</sup>, 从景观水平和斑块类型水平合计选取 7 个景观格局指数, 分别为斑块密度(patch density, 简称 PD)、最大斑块指数(largest patch index, 简称 LPI)、边界密度(edge density, 简称 ED)、面积加权分维数(fractal dimension index, 简称 FRAC\_AM)、聚合度(aggregation index, 简称 AI)、香农多样性指数(shannon's diversity index, 简称 SHDI)和香农均匀度指数(shannon's evenness index, 简称 SHEI)。

### 2.3 生态系统服务价值(ESV)评价方法

生态系统服务价值(ecosystem services value, 简称 ESV)众多评价方法中, 当量因子法采用较多, 其关键在于单个当量因子生态服务价值量确定和生态系统服务价值系数计算。

#### 2.3.1 ESV 计算方法

借鉴 Costanza 等<sup>[40]</sup>、谢高地等<sup>[41]</sup>相关

研究, 采用当量因子法进行生态服务价值评估<sup>[40-41]</sup>, 具体计算公式如下:

$$VC_0 = \frac{1}{7} \times P \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

式中,  $VC_0$  为单个当量因子生态服务价值量 (元 /  $hm^2 \cdot$  年);  $P$  为漓江流域平均粮食价格 (元 / kg);  $Q$  为平均粮食产量 ( $kg/hm^2$ );  $n$  为研究年数。

本研究采用谢高地等<sup>[41]</sup>提出的当量因子表, 利用 Costanza 等提出的计算方式, 评估漓江流域生态服务价值, 具体算式如下:

$$ESV = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_k), \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_{fk}), \quad (3)$$

式中,  $ESV$  为生态服务总价值,  $n$  为景观类型的数量,  $VC_k$  为第  $k$  种景观类型价值系数,  $A_k$  为第  $k$  种景观类型的面积,  $ESV_f$  为单项服务价值,  $VC_{fk}$  为单项服务功能价值系数。

### 2.3.2 生态系统服务价值系数

根据《桂林市统计年鉴 (1986—2017 年)》获取主要粮食作物水稻年产量, 得出漓江流域粮食年平均产量为  $4\ 922.71\ kg/hm^2$ , 按照国家 2016 年不同等级稻谷最低收购价格, 获得粮食平均价格为 2.71 元 / kg, 所以漓江流域 1 个生态系统服务价值当量因子为  $1\ 905.79\ 元/hm^2$ 。

将各景观类型与相应生态系统类型联系起来<sup>[42-43]</sup>, 考虑到建设用地具有明显的负效应, 根据石焱等<sup>[44]</sup>的研究, 将建设用地的水源涵养和废物处理当量因子设为: -7.55 和 -2.46, 结合当量因子表, 获得不同景观类型生态服务价值系数 (表 1)。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观总体变化

1986—2016 年间漓江流域不同景观类型面积和结构均发生较大变化 (表 2)。林地持续增加, 面积占比由 1986 年的 71.41% 增加到 2016 年的 79.55%, 属于流域内优势景观。农田不断减少, 净减少  $650.05\ km^2$ , 降幅达 49.88%。受城镇化加速扩张、新农村建设、旅游设施建设等因素影响, 建设用地快速增加,

表 1 不同景观类型 ESV 系数  
Tab. 1 ESV coefficients of landscape types  
单位: 元 / ( $hm^2 \cdot$  年)

生态系统服务类型	林地	农田	建设用地	水体	草地	裸地
气体调节	6 670.27	952.90	0	0	1 524.63	0
气候调节	5 145.63	1 696.15	0	876.66	1 715.21	0
水源涵养	6 098.53	1 143.47	-14 388.71	3 8840.00	1 524.63	57.17
土壤形成与保护	7 432.58	2 782.45	0	19.06	3 716.29	38.12
废物处理	2 496.58	3 125.50	-4 688.24	3 4647.26	2 496.58	19.06
生物多样性保护	6 212.88	1 353.11	0	4745.42	2 077.31	647.97
食物生产	190.58	1 905.79	0	190.58	571.74	19.06
原材料	4 955.05	190.58	0	19.06	95.29	0
娱乐文化	2 439.41	19.06	0	8271.13	76.23	19.06
合计	41 641.51	13 169.01	-19 076.95	87 609.17	13 797.91	800.44

表 2 1986—2016 年漓江流域各景观类型面积  
Tab. 2 Areas of various landscapes in Lijiang River Basin (1986—2016)

景观类型	1986 年		2001 年		2016 年		1986—2016 年	
	面积 / $km^2$	比重 / %	面积 / $km^2$	比重 / %	面积 / $km^2$	比重 / %	净变量 / $km^2$	变化率 / %
林地	4 168.97	71.41	4 354.07	74.58	4 643.84	79.55	474.87	11.39
农田	1 303.21	22.32	1 086.69	18.61	653.16	11.19	-650.05	-49.88
建设用地	79.58	1.36	122.36	2.10	241.64	4.14	162.06	203.64
水体	105.16	1.81	102.17	1.75	95.76	1.64	-9.40	-8.94
草地	170.40	2.92	156.36	2.68	183.01	3.13	12.61	7.40
裸地	10.61	0.18	16.28	0.28	20.52	0.35	9.91	93.40

表 3 1986—2016 年漓江流域景观水平格局指数  
Tab. 3 Landscape level pattern index in Lijiang River Basin (1986—2016)

年份	PD	LPI	ED	FRAC_AM	AI	SHDI	SHEI
1986	4.68	31.35	49.13	1.30	92.61	0.82	0.46
2001	5.33	47.36	51.16	1.32	92.65	0.79	0.44
2016	4.40	57.37	47.32	1.29	93.26	0.76	0.43

增幅高达 203.64%, 远高于其他景观类型, 但研究期内均未超过 5%。水体持续减少, 前期下降主要由填水造陆引起, 后期由城乡建设侵占引起。草地先减少后增加, 前期减少主要由荒地造林、垦荒种田引起, 后期增加主要因为 2000 年后农民外出务工、粮食生产收益低等带来的土地撂荒以及森林采伐形成的迹地引起。裸地持续增加, 主要由开山采石、水陆变迁等引起, 但占比很小。

### 3.2 景观格局变化

#### 3.2.1 景观水平

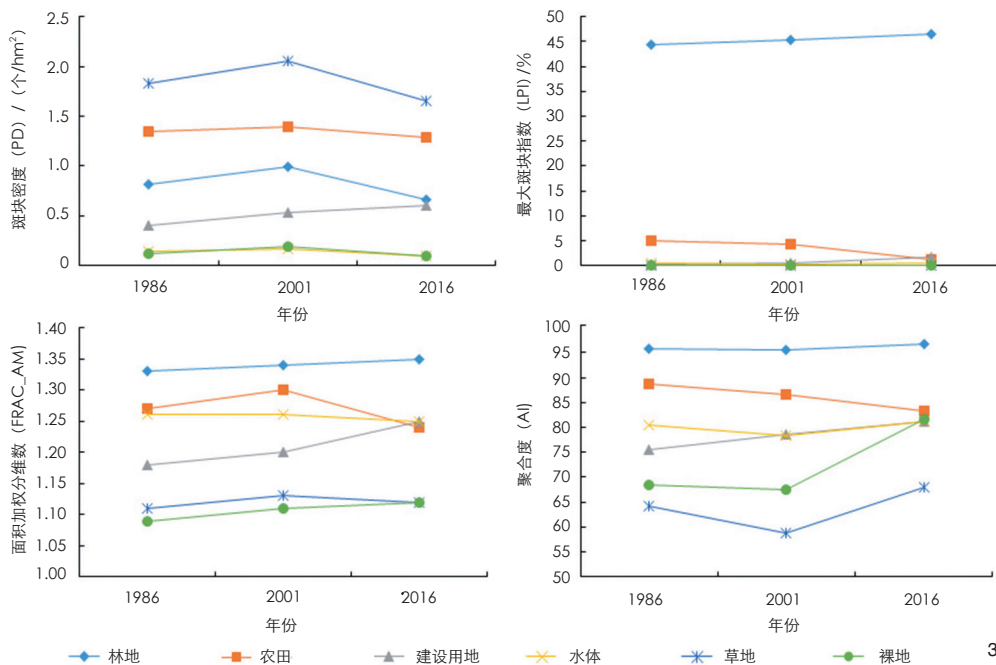
30 年间漓江流域景观水平的格局指标发生显著变化 (表 3), PD 先增加后减少, 1986—2001 年间景观破碎化程度加剧, 2001 年

后阳朔、灵川、兴安等地农民集中连片种植金橘、砂糖橘、葡萄等, 林果种植趋向于“一镇一品”的规模化经营, 加之区域城镇化以面状扩张为主使整体破碎度降低; ED 和 FRAC\_AM 呈先增加后减少趋势, 说明前期斑块的复杂性增加, 后期人类的干扰活动显著增强, 斑块趋向于集中分布, 复杂性降低; AI 虽有小幅度波动, 但均接近于 100, 说明斑块类型分布集中, 具有较大的空间自然连通性; SHDI 和 SHEI 持续下降, 表明各景观类型的均匀性、异质性降低, 主要受 2002 年起实施的封山育林、退耕还林工程, 2005 年开展的大规模石漠化治理以及水果规模化种植等多因素推动, 林地占比不断增大, 与之相反, 比重居第二



表 4 1986—2016 年漓江流域 ESV 构成特征  
Tab. 4 Constitute characteristics of ESV in Lijiang River Basin (1986—2016)

景观类型	1986 年		2001 年		2016 年		1986—2001 年		2001—2016 年		1986—2016 年	
	ESV/ (亿元/年)	比重/ %	ESV/ (亿元/年)	比重/ %	ESV/ (亿元/年)	比重/ %	ESV 变化量/ (亿元/年)	变化率/ %	ESV 变化量/ (亿元/年)	变化率/ %	ESV 变化量/ (亿元/年)	变化率/ %
林地	173.60	86.45	181.31	88.70	193.38	92.83	7.71	4.44	12.07	6.66	19.78	11.39
农田	17.16	8.55	14.31	7.00	8.60	4.13	-2.85	-16.61	-5.71	-39.90	-8.56	-49.88
建设用地	-1.52	-0.76	-2.33	-1.14	-4.61	-2.21	-0.81	53.29	-2.28	97.85	-3.09	203.29
水体	9.21	4.59	8.95	4.38	8.39	4.03	-0.26	-2.82	-0.56	-6.26	-0.82	-8.90
草地	2.35	1.17	2.16	1.06	2.53	1.21	-0.19	-8.09	0.37	17.13	0.18	7.66
裸地	0.01	0	0.01	0	0.02	0.01	0	0	0.01	100.00	0.01	100.00
合计	200.81	100.00	204.41	100.00	208.31	100.00	3.60	1.79	3.89	1.91	7.50	3.73



3 1986—2016 年漓江流域不同景观类型格局指数  
Landscape index of various landscapes in Lijiang River Basin (1986-2016)

位的农田, 受种植结构调整、城乡扩展等影响, 占比快速下降。

### 3.2.2 景观类型水平

从不同景观类型格局变化来看(图 3), 林地的 PD 先增后减, LPI 持续增加, 远高于其他景观类型, AI 稳定维持在 95 以上并略有增加, 说明林地破碎度减弱, 连接度增加, 有利于区域内物种迁移和生物多样性保护; 农田的 PD 先增后减, LPI、FRAC\_AM、AI 降低, 说明农田破碎度降低, 聚集程度减弱, 趋向分散经营; 建设用地的 PD、LPI、FRAC\_AM、AI 持续增加, 说明建设用地复杂

性增加, 趋向于集中分布; 水体的 PD 先增后减, LPI、AI 先减后增, FRAC\_AM 小幅减少, 说明水体破碎化降低, 复杂性减弱; 草地的 PD、FRAC\_AM 先增后减、AI 先减少后增加、LPI 接近于 0, 表明草地以零散分布为主, 前期破碎度升高, 后期受土地撂荒等影响, 破碎度降低, 人为干扰变小; 裸地的 PD 变化剧烈, LPI 很小, 主要由人类破坏活动和水文条件变化引起。

## 3.3 生态系统服务价值时空变化

### 3.3.1 生态系统服务总价值变化

研究期内漓江流域 ESV 持续增加, 1986、

2001、2016 年 ESV 分别为 200.81 亿、204.41 亿、208.31 亿元, 小幅增加 7.50 亿元(表 4)。从不同景观类型 ESV 来看, 林地 ESV 快速增加, 对整体 ESV 贡献率最大, 占比由 1986 年 86.50% 增加到 2016 年的 92.83%, 远高于其他景观类型; 农田和建设用地 ESV 快速减少, 分别减少 8.56 亿元、3.09 亿元。草地和裸地小幅增加, 对整体 ESV 影响不大。2001—2016 年时段相较 1986—2001 年时段, ESV 增加和减少速度, 均明显加快, 归因于后期城镇扩张加速、林果种地面积加大。

### 3.3.2 生态系统各功能的服务价值变化

从生态系统服务价值构成看(表 5), 不同时段漓江流域生态系统土壤形成与保护价值占比一直居于首位, 气体调节、水源涵养、生物多样性保护贡献率排序处于 2~4 名之间。1986—2016 年间土壤形成与保护、气体调节、水源涵养、生物多样性保护占比均超过 14%, 四者合计占比超过 ESV 总和的 60%, 表明调节、支持等服务性功能是漓江流域生态系统的主导功能, 远大于其他功能类型。

漓江流域各单项服务价值(表 5)中, 气体调节、原材料、生物多样性保护、土壤形成与保护、气候调节、娱乐文化生态服务价值持续增加, 其中气体调节增量最大, 净增 2.57 亿元, 原材料增加居次, 主要由于具有较高气体调节和原材料服务价值系数的林地持续增加。食物生产、废物处理持续减少, 主要由具有较高食物生产系数的农田减少和具有废物处理负效应的建设用地增加引起; 水源涵养功能先增加后减少, 前期增加主要由

表5 1986—2016年不同服务功能价值变化  
Tab. 5 Value changes of various service functions (1986–2016)

生态系统服务功能	1986年			2001年			2016年			1986—2016年		
	ESV/ (亿元/年)	贡献率/%	排序	ESV/ (亿元/年)	贡献率/%	排序	ESV/ (亿元/年)	贡献率/%	排序	ESV变化量/ (亿元/年)	变化率/%	趋势
气体调节	29.31	14.60	3	30.32	14.83	2	31.88	15.30	2	2.57	8.77	↑
气候调节	24.05	11.98	5	24.61	12.04	5	25.40	12.19	5	1.35	5.61	↑
水源涵养	30.11	14.99	2	30.24	14.79	3	29.59	14.21	4	-0.52	-1.73	↓
土壤形成与保护	35.25	17.55	1	35.97	17.60	1	37.02	17.77	1	1.77	5.02	↑
废物处理	18.18	9.05	7	17.62	8.62	7	16.28	7.82	7	-1.90	-10.45	↓
生物多样性保护	28.52	14.20	4	29.34	14.35	4	30.58	14.68	3	2.06	7.22	↑
食物生产	3.39	1.69	9	3.01	1.47	9	2.25	1.08	9	-1.14	-33.63	↓
原材料	20.92	10.42	6	21.80	10.67	6	23.16	11.12	6	2.24	10.71	↑
娱乐文化	11.08	5.52	8	11.50	5.63	8	12.15	5.83	8	1.07	9.66	↑
合计	200.81	100.00	—	204.41	100.00	—	208.31	100.00	—	7.50	3.70	↑

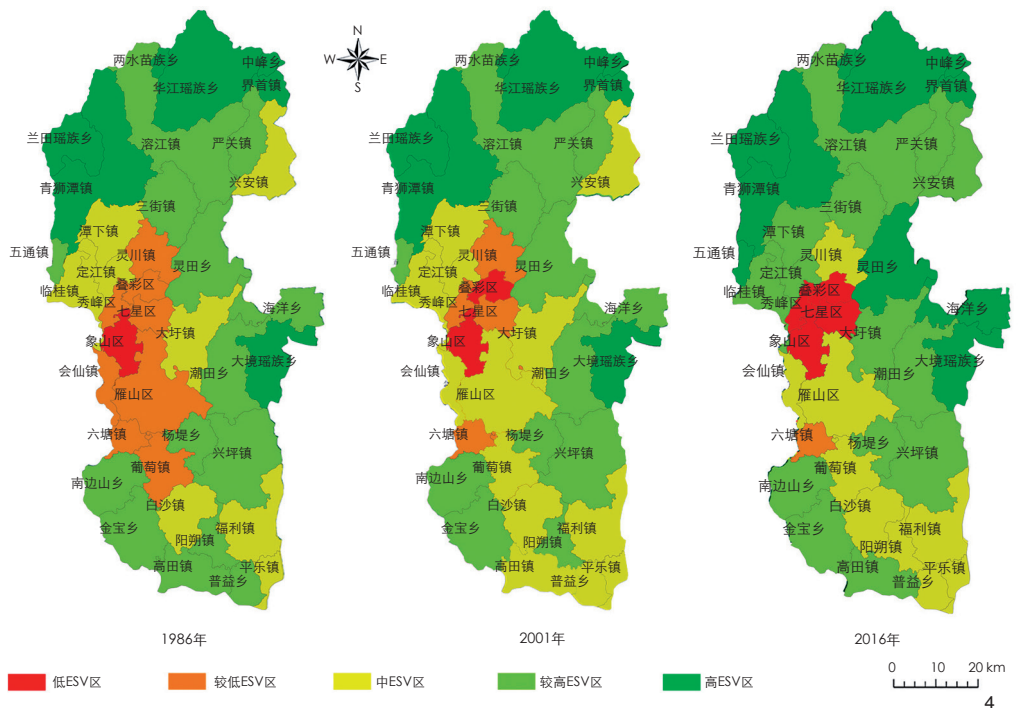
注：↑表示ESV增加；↓表示ESV减少。

林地增加引起，后期减少由建设用地快速增加引起。

### 3.3.3 生态系统服务价值空间变化

以镇(乡)区为基本单元,计算各镇区地均ESV,分析ESV的空间分布规律。漓江流域地均ESV介于 $1.68 \times 10^4 \sim 4.21 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>,研究期内地均ESV最高值为兰田乡,ESV最低值出现在象山区。参考相关研究<sup>[23]3790</sup>,按照标准差法,将漓江流域划分为低、较低、中、较高、高5个生态系统服务等级。1986—2016年漓江流域生态系统服务价值存在明显的空间分异,3个时段呈现基本一致的分布特征,具体表现为:中间河谷地带低、四周山林地区高(图4)。高等级区集中分布在华江、兰田、青狮潭镇等北部山区和海洋乡、大境乡、灵田乡等东部山区。低等级区域主要分布在桂林市区及周边乡镇。

从不同镇区生态服务等级变化来看(图5),1986—2001年时段生态服务等级变化的镇区较少,4个镇区等级升高,3个镇区等级降低。2001—2016年时段生态服务等级变化的镇区增多,9个镇区等级升高,3个镇区等级降低。整个研究时段内12个镇区等级升高,5个镇区等级降低,减少的镇区主要为叠彩区、七星区、秀峰区、阳朔镇、普益乡等快速城镇化的地区,增加的地区主要为环绕桂林市区的临桂、定江、灵川、灵田、雁山区等12个镇区,主要由葡萄、砂糖橘、金橘



4 基于镇(乡)区的ESV等级分布  
Spatial distribution of ESV grades in various towns

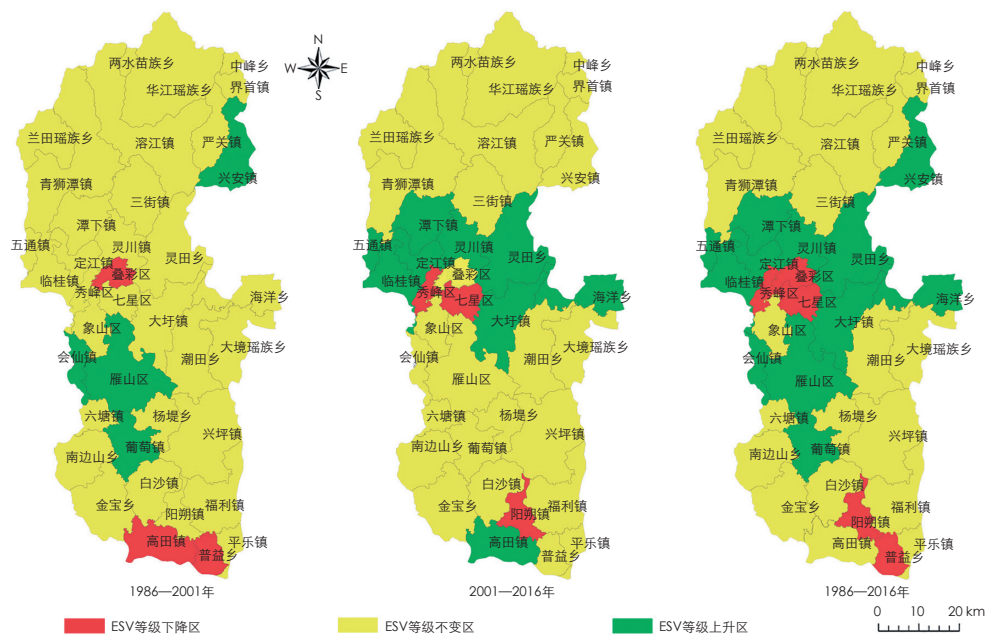
等大面积林果种植引起。

### 3.4 景观变化对生态系统服务价值的影响

利用SPSS对漓江流域1986—2016年不同景观格局指数与生态服务功能进行相关性分析。生态系统服务总价值与各景观格局指数存在较强的相关性(表6),与LPI、AI存在显著正相关,与SHDI和SHEI存在显著负相关,表明林地的优势斑块面积不断扩大、斑

块间保持较大的空间自然连通性,各景观类型的均匀性、异质性降低有利于生态系统服务价值的增加。

从各景观指数与不同生态系统服务价值相关性来看,LPI、AI与气体调节、气候调节、土壤形成与保护、生物多样性保护、原材料、娱乐文化等服务价值呈显著正相关,表明扩大最大斑块景观面积以及增强不同类型斑块



5 基于镇(乡)区的ESV等级变化  
Changes of ESV grades in various towns

表 6 各景观指数与ESV相关性分析  
Tab. 6 Correlation coefficients between landscape indexes and ESV

生态系统服务	PD	LPI	ED	FRAC_AM	AI	SHDI	SHEI
气体调节	-0.408	0.968*	-0.576	-0.441	0.941*	-0.992*	-0.951*
气候调节	-0.386	0.974*	-0.555	-0.418	0.932*	-0.995*	-0.959*
水源涵养	0.848	-0.663	0.934*	0.886	-0.970*	0.756	0.619
土壤形成与保护	-0.394	0.971*	-0.563	-0.427	0.935*	-0.994*	-0.956*
废物处理	0.506	-0.934*	0.662	0.536	-0.972*	0.973*	0.912*
生物多样性保护	-0.403	0.969*	-0.571	-0.436	0.939*	-0.993*	-0.953*
食物生产	0.469	-0.948*	0.629	0.500	-0.961*	0.982*	0.929*
原材料	-0.409	0.968*	-0.576	-0.441	0.941*	-0.992*	-0.951*
娱乐文化	-0.409	0.967*	-0.576	-0.441	0.941*	-0.992*	-0.951*
总价值	-0.315	0.988*	-0.491	-0.349	0.902*	-0.992*	-0.977*

注: \*表示显著相关。

间的连接度,有利于上述生态系统服务功能的持续增加。LPI、AI与废物处理、食物生产呈显著负相关,增加LPI和AI,将导致废物处理、食物生产服务功能的下降。SHDI、SHEI与气体调节、气候调节、土壤形成与保护、生物多样性保护、原材料、娱乐文化等服务价值呈显著负相关,与食物生产、废物处理呈显著正相关,表明封山育林、退耕还林、林果种植等导致的各景观类型均匀性、异质性降低,有助于生态系统调节、支持等服务性功能增加,同时减少食物生产、废物

处理等生态服务功能。水源涵养与ED呈显著正相关,表明水体自然形态岸线的维持,可能有助于水源涵养服务功能的提升。

#### 4 结论与讨论

30年来林地一直是漓江流域的优势景观,面积持续增加,农田和水体不断减少,草地先减后增,建设用地快速增加,主要受城镇扩张、新农村建设、旅游设施建设等影响。从景观水平上看,PD、ED、FRAC\_AM先增后减,LPI、AI持续增加,SHDI和SHEI不

断下降,前期景观破碎化加剧、复杂性增加,主要由于种植结构调整、零散城乡建设,后期受城镇化扩张、农林种植规模化影响,景观破碎化减弱,均匀性、异质性降低。类型水平上,林地破碎化降低、趋向于集中连片,农田破碎化增加、趋向分散经营,建设用地重点城镇面状扩展、复杂性增加,水体破碎化降低、复杂性减弱,草地零散分布,人为干扰变小。

研究期内漓江流域ESV持续增加,净增7.50亿元,林地对整体ESV贡献率最大,是流域ESV增加的主要来源,农田减少和建设用地增加导致ESV快速减少。土壤形成与保护、气体调节、水源涵养、生物多样性保护贡献率居于前列,合计占比超60%,调节、支持等服务性功能是漓江流域生态系统的主导功能。30年来漓江流域ESV存在明显的空间分异,中间河谷地带低、四周山林地区高,高等级区集中分布在流域北部和东部山林地区,低等级区域主要分布在桂林市区及周边乡镇。生态系统服务总价值与LPI、AI存在显著正相关,与SHDI和SHEI存在显著负相关,优势斑块面积不断扩大、斑块间保持较大空间自然连通性,各景观类型的均匀性、异质性降低有利于生态系统服务价值的增加。从景观格局指数与生态服务价值相关性来看,增加LPI和AI,有利于气体调节、气候调节、土壤形成与保护等服务价值的提升,同时可能降低废物处理、食物生产等服务价值;封山育林、退耕还林、林果种植等导致的SHDI和SHEI降低,有助于生态系统调节、支持等服务性功能增加。ED与水源涵养正相关,维持水体的自然岸线将提升水源涵养服务功能。

本研究得出的景观格局指数与生态系统服务功能相关性结果,与邹月等<sup>[10]2637</sup>和王航等<sup>[45]</sup>分别对西安市和淮河上游的研究结果一致,与王丽群等<sup>[37]757</sup>对牛栏山—马坡镇的研究结果存在较大差异,说明不同区域景观格局差异大,景观格局与整体生态服务价值和单项生态服务价值的关系会存在不同,景观格局演变对生态系统服务的影响是一个复杂过程,景观格局指数对于生态系统服务的影响程度和机制,需要结合大量实际案例进行研究和探讨。



参考文献 (References):

- [1] ZHOU Z Z. Landscape Changes in a Rural Area in China[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, 47(1): 33-38.
- [2] 郭少壮, 白红英, 孟清, 等. 1980—2015年秦岭地区景观格局变化及其对人为干扰的响应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4080-4088.
- [3] 罗楠, 胡金龙, 王影雪. 典型旅游区景观格局演变研究: 以广西南阳县为例[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 250-257.
- [4] 张炜, 艾亨, 刘晓明. 生态系统服务评估在美国城市绿色基础设施建设中的应用进展评述[J]. 风景园林, 2017, 24(2): 101-108.
- [5] 颜文涛, 黄欣, 邹锦. 融合生态系统服务的城乡土地利用规划: 概念框架与实施途径[J]. 风景园林, 2017, 24(1): 45-51.
- [6] 丁丽莲, 王奇, 陈欣, 等. 近30年淀山湖地区生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2019, 39(8): 2973-2985.
- [7] 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, 2014, 33(4): 441-446.
- [8] 王军, 顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5): 798-808.
- [9] 汤洁, 黄璐思, 王博. 吉林省辽河流域生态系统服务价值对LUCC的响应分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(8): 2633-2640.
- [10] 邹月, 周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2629-2639.
- [11] 葛韵宇, 李方正. 基于主导生态系统服务功能识别的北京市乡村景观提升策略研究[J]. 中国园林, 2020, 36(1): 25-30.
- [12] 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.
- [13] CABRAL A I R, COSTA F L. Land Cover Changes and Landscape Pattern Dynamics in Senegal and Guinea Bissau Borderland[J]. Applied Geography, 2017(82): 115-128.
- [14] 马昊, 许先升, 邓涛, 等. 1999—2018年海口市江东新区景观格局时空演变分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(1): 116-123.
- [15] 梁发超, 刘诗苑, 刘黎明. 近30年厦门城市建设用地景观格局演变过程及驱动机制分析[J]. 经济地理, 2015, 35(11): 159-165.
- [16] 郭少壮, 白红英, 孟清, 等. 秦岭地区林地与草地景观格局变化及其驱动因素[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 130-140.
- [17] 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.
- [18] 蒙金华, 张正栋, 袁宇志, 等. 基于CA-Markov模型的流溪河流域景观格局分析及动态预测[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2015, 47(4): 122-127.
- [19] 刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 等. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 5915-5923.
- [20] 李楨, 刘淼, 薛振山, 等. 基于CLUE-S模型的三江平原景观格局变化及模拟[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1802-1812.
- [21] LEE Y C, AHERN J, YEH C T. Ecosystem Services in Peri-urban Landscapes: The Effects of Agricultural Landscape Change on Ecosystem Services in Taiwan's Western Coastal Plain[J]. Landscape and Urban Planning, 2015(139): 137-148.
- [22] 李涛, 甘德欣, 杨知建, 等. 土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3787-3796.
- [23] 薛飞, 罗开盛, 李元征, 等. 基于高分遥感数据的城市水系廊道生态系统服务价值评估: 以北京中心地区水系廊道为例[J]. 中国园林, 2018, 34(10): 50-54.
- [24] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 等. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 216-223.
- [25] 殷莎, 赵永华, 韩磊, 等. 秦岭森林生态系统服务价值的时空演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3777-3786.
- [26] 申明岳, 史戈, 贾春燕, 等. 泰山风景名胜区内森林生态系统服务功能价值评估[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(4): 715-719.
- [27] 马凤娇, 刘金铜. 基于能值分析的农田生态系统服务评估: 以河北省栾城县为例[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1949-1957.
- [28] 张东, 李晓赛, 陈亚恒. 怀来县农田生态系统服务价值分类评估[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 234-239.
- [29] 李楠, 李龙伟, 张银龙, 等. 杭州湾滨海湿地生态系统服务价值变化[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(1): 118-129.
- [30] 游惠明, 韩建亮, 潘德灼, 等. 泉州湾河口湿地生态系统服务价值的动态评价及驱动力分析[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4286-4292.
- [31] 陈希, 王克林, 祁向坤, 等. 湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J]. 经济地理, 2016, 36(5): 175-181.
- [32] 石雪洁, 郝晋珉, 管青春, 等. 河北省曲周县景观格局演变及生态服务价值响应研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(10): 147-158.
- [33] 宋敏敏, 张青峰, 吴发启, 等. 黄土沟壑区小流域景观格局演变及生态服务价值响应[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2649-2659.
- [34] 胡金龙, 周志翔, 滕明君, 等. 基于土地利用变化的典型喀斯特流域生态风险评估: 以漓江流域为例[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 2003-2012.
- [35] VOS C C, VERBOOM J, OPDAM P F M, et al. Toward Ecologically Scaled Landscape Indices[J]. American Naturalist, 2001, 157(1): 24-41.
- [36] FAN Q D, DING S Y. Landscape Pattern Changes at a County Scale: A Case Study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013[J]. Catena, 2016(137): 152-160.
- [37] 王丽群, 张志强, 李格, 等. 北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价: 以牛栏山马坡镇为例[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 750-759.
- [38] LI H B, WU J G. Use and Misuse of Landscape Indices[J]. Landscape Ecology, 2004, 19(4): 389-399.
- [39] 徐梦林, 李冠衡, 鞠鲤懋. 基于ENVI技术下的蒙山风景区景观格局动态评估与分析[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(10): 107-120.
- [40] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [41] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.
- [42] 吴娇, 李月臣. 三峡库区(重庆段)景观格局变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(4): 308-317.
- [43] 贾艳艳, 唐晓岚, 杨阳, 等. 长江沿岸芜湖区段景观格局演变及生态系统服务价值分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 249-258.
- [44] 石焱, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 720-731.
- [45] 王航, 秦奋, 朱筠, 等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1286-1296.

图表来源 (Sources of Figures and Tables):

图1 改绘自桂林市地图 [审图号: 桂S(2017)63号], 图2、4、5 底图来自中国科学院资源环境科学数据中心矢量化桂林市行政区划图, 其余图表均由作者绘制。

(编辑 / 刘昱霏)