

# 基于 GIS 的土地利用与生态环境评价研究

## —以阳朔县为例

赵许宁<sup>1,2</sup>, 蓝贵文<sup>1,2</sup>, 陈建军<sup>1,2\*</sup>, 王志伟<sup>3</sup>

(1. 桂林理工大学测绘地理信息学院, 桂林 541006; 2. 广西空间信息与测绘重点实验室, 桂林 541004;  
3. 贵州省农业科学院草业研究所, 贵阳 550006)

**摘要:**近年来,生态环境保护已成为当下可持续发展的重要议题。通过遥感影像土地利用分类与地理信息系统手段,提取桂林市下属阳朔县 2000 年、2008 年和 2016 年的土地利用分布特征,计算土地利用景观格局指数、土地利用转换矩阵等,结合阳朔县生态系统服务价值,分析阳朔县土地利用现状、变化及其对生态环境的影响。结果表明:2000 年到 2016 年阳朔县建设用地变化幅度最大,林地的变化幅度较小;在不同土地利用类型转换中,耕地、林地向建设用地转换较多,这是城市用地主要来源之一;2000 年到 2016 年景观格局呈现由聚集向破碎化和多样化发展趋势;2000 年到 2016 年间总的生态系统服务价值增加 5 388 万元,表明生态环境朝着健康、友好型方向发展。

**关键词:**土地利用;生态环境;景观格局指数;转换矩阵

中图分类号: F205; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)03-0484-07

## Land use and ecological environment assessment based on GIS:

### A case study in Yangshuo county, Guangxi

ZHAO Xuning<sup>1,2</sup>, LAN Guiwen<sup>1,2</sup>, CHEN Jianjun<sup>1,2</sup>, WANG Zhiwei<sup>3</sup>

(1. College of Geomatics and Geoinformations, Guilin University of Technology, Guilin 541006;

2. Guangxi Key Laboratory of Spatical Information and Geomatics, Guilin 541004;

3. Institute of Prataculture, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006)

**Abstract:** In recent years, ecological environmental protection has become an important topic of sustainable development. This paper used the land use classification of remote sensing and geographic information system to extract the land use distribution characteristics of Yangshuo county in Guilin city in 2000, 2008 and 2016, calculated the land use landscape pattern index, land use conversion matrix, etc., combining Yangshuo County ecosystem service value, and analyzed the status and changes of land use and its impact on the ecological environment in Yangshuo county. The results showed that the construction land had the largest change and the change of forest land was small in Yangshuo county from 2000 to 2016; the conversion of cultivated land and forest land to construction land was more in the conversion of different land use types, which was one of the main sources of urban land use; the landscape pattern showed a trend from aggregation to fragmentation and diversification from 2000 to 2016; the total value of ecosystem services increased by 53.88 million yuan between 2000 and 2016, indicating that the ecological environment is moving towards a healthy and friendly direction.

**Key words:** land use; ecological environment; landscape pattern index; transfer matrix

过去 30 多年,中国经济经历了快速发展,并对社会环境与自然环境带来巨大变化。其中土地利用变化是自然环境变化的一个重要因素。土地利用变

化可以影响众多自然条件与生态系统的演变,现已成为全球变化领域的主要研究内容<sup>[1]</sup>。随着经济发展水平的快速提升,面临的生态、资源与人口问题

收稿日期: 2018-11-07

基金项目: 国家自然科学基金(41801030), 广西自然科学基金(2017GXNSFDA198016, 2018GXNSFBA281054), 贵州省科技厅科技支撑计划项目(黔科合支撑[2017]2967)和桂林理工大学科研启动基金(GUTQDJJ2017069)共同资助。

作者简介: 赵许宁, 硕士研究生。E-mail: zhaoxnyl@163.com

\* 通信作者: 陈建军, 博士, 讲师。E-mail: chenjj@glut.edu.cn

日渐严峻,通过分析区域内土地利用情况对气候、生态环境等方面的影响,不仅能从景观层面客观展现人类活动过程,还能重现地表景观空间分异与动态变化特征,进而能更加合理地反映区域生态环境出现的各类问题<sup>[2]</sup>。因此,通过研究土地利用变化特征来评估生态环境,已成为现阶段全球变化生态学领域的一项重要内容。

早在 20 世纪上半叶,美国学者 Lee 提出“从上空到地表”,指出了人类活动和自然生态环境之间的紧密联系<sup>[3]</sup>;到 1931 年,美国对大平原农业状况进行系统分析,发现气候改变因素影响了土地利用情况<sup>[4]</sup>。这一阶段,研究人员主要关注土地利用变化结构与覆盖类型等研究领域。到 20 世纪下半叶,国外学者从物质循环角度开展研究,如 Murray<sup>[5]</sup>在研究密歇根州南部某一流域时发现,土地利用状况严重影响河流的清洁程度。步入 21 世纪,土地利用研究主要集中于土地系统动力学,重点研究不同土地利用产生的生态环境改变与其它方面的影响。总体而言,国外对该领域的研究起步早、相关分析方法成熟、理论较完善,对国内研究提供了较好的理论基础。近年来,国内在土地利用与全球生态气候评价方面也做了大量研究工作,特别是荒漠化方面<sup>[6]</sup>。此外,部分研究人员还分别从土地布局与结构、生态服务价值法等方面展开研究<sup>[7-9]</sup>。

本研究针对桂林市阳朔县的土地利用情况,选择 GIS 与 RS 等技术方法,对 2000 年、2008 年、2016 年该地区的土地利用情况进行研究,得出土地利用变化特征,同时利用生态系统服务价值评价阳朔县地区的土地利用变化对当地生态环境造成的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与数据获取

阳朔县地处 24°28' ~ 25°4'N, 110°13' ~ 110°40'E, 隶属广西桂林市,位于桂林南部区域。阳朔县城与桂林市相距 65 km, 该县总面积 1 437 km<sup>2</sup>, 总人口 31.06 万, 共管辖 9 个乡镇<sup>[10]</sup>。本研究选用的遥感影像为美国航空航天局提供的 Landsat5、Landsat8, 影像数据采集时间依次为 2000 年 3 月 4 日、2008 年 7 月 16 日、2016 年 6 月 21 日。为提高研究区分类精度选择了云量为 0 的影像数据, 虽然月份不同, 但由于阳朔县地属亚热带季风气候, 植被四季常绿, 耕地两季轮作, 所以不会影响到结果分析。区域矢量边界从阳朔县的行政区划图中产生, 在 ArcGIS 中进行矢量化。依据中国土地利用现状分类标准结合当地情况与数据特点将

分类标准划分为林地、耕地、自然保留地、水体、建设用地 5 个类型, 其中, 自然保留地包含了冰川、荒草地、沼泽地、盐碱地、高原荒漠、裸地等未开发以及不在使用规划内的土地。

### 1.2 研究方法

本研究遥感影像选用的土地利用分类方法为支持向量机 (SVM), 它是一种利用统计学习理论推导得到的监督分类方法, 能够从复杂和噪音数据中产生良好的分类结果。它将类与决策表分开, 以最大化类之间的边界, 支持向量是训练集的关键元素<sup>[11]</sup>。

SVM 包含允许一定程度的错误分类的惩罚参数, 这对于不可分离的训练集尤为重要。惩罚参数是控制训练错误和逼迫严格边界之间的折中。增加惩罚参数的值会增加错误分类的成本, 并迫使创建更精确的模型。

每个内核的数学表示:

$$\text{Linear: } K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$$

$$\text{Polynomial: } K(x_i, x_j) = (g x_i^T x_j + r)^d, g > 0$$

$$\text{RBF: } K(x_i, x_j) = \exp(-g \|x_i - x_j\|^2), g > 0$$

$$\text{Sigmoid: } K(x_i, x_j) = \tanh(g x_i^T x_j + r)$$

其中  $g$  是除线性以外的所有内核类型的内核函数中的伽马项。 $d$  是多项式核函数的多项式项。 $r$  是多项式和 S 形核函数在核函数中的偏差项。

**1.2.1 土地利用分类** 由于研究区特殊的自然环境, 结合之前对区域内地物类别的先验认识, 根据土地利用相关的标准, 在遥感数据进行预处理后, 利用 ENVI 选择训练样本, 其中样本的可分离度用 Jeffries-Matusita、Transformed Divergence 2 个参数来表示, 并且保证提取参数大于 1.85<sup>[12]</sup>。此外, 通过感兴趣区工具在阳朔县每个不同时期的影像中均匀选取各类地物的感兴趣样本, 利用支持向量机分类法进行分类。

**1.2.2 土地利用动态度** 土地利用随时间的改变而发生动态变化, 因此为客观反映土地利用变化特征, 本研究采用土地利用变化动态度来表示特定区域的土地在某一时间内的利用类型改变情况<sup>[13-14]</sup>。具体表达式如下所示:

$$k = \frac{u_a - u_b}{u_a \times T} \quad (1)$$

其中,  $U_a$  代表前时相下的特定土地数量,  $U_b$  代表后时相下的特定土地数量,  $T$  代表时间的间隔。

**1.2.3 景观格局指数** FRAGSTATS 是一款为揭示分类图的分布格局而设计的、可以对多种不同景观指数进行计算的软件, 总指标数达 100 余种<sup>[15]</sup>。本研究选择以下参数用于分析研究区的景观格局特

征:

斑块总个数:

$$NP = n_i \quad (2)$$

$n_i$  为土地利用类型格局中的图斑数量

斑块总面积:

$$TA = A \left( \frac{1}{10000} \right) \quad (3)$$

A 为土地总面积

聚集指数:

$$AI = \left( \frac{g_{ii}}{MAX-g_{ii}} \right) \quad (4)$$

$g_{ii}$  是基于单计数方法的斑块类型  $i$  的像素之间的相似邻接的数量, MAX- $g_{ii}$  是基于单计数法的斑块类型  $i$  的像素之间的相似邻接的最大数目。

整体性指数(%):

$$COHESION = \left[ 1 - \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right]^{-1} \cdot (100) \quad (5)$$

$P_{ij}^*$  是像元表面数目的斑块  $ij$  周长,  $a_{ij}^*$  是斑块  $ij$  面积的细胞数。Z 是景观中的细胞总数。

蔓延度:

$$CONTAG = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ \frac{p_i \cdot g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \left[ \ln \left( \frac{p_i \cdot g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100) \quad (6)$$

$P_i$  是斑块  $i$  类型所占的比例,  $g_{ik}$  是基于双计数方法的斑块类型  $i$  和  $k$  的像素之间的邻接数,  $M$  是景观中存在的斑块类型的数量, 包括存在的景观边界。

分离度指数(%):

$$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \quad (7)$$

$a_{ij}$  是斑块面积。A 是总景观面积。

香农多样性:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \cdot \ln p_i) \quad (8)$$

$P_i$  是斑块  $i$  类型所占的比例。

香农均匀性:

$$SHEI = - \frac{\sum_{i=1}^m (p_i \cdot \ln p_i)}{\ln m} \quad (9)$$

$P_i$  是斑块  $i$  类型所占的比例。

表 1 中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表

Table 1 Table of Ecological service value of land ecosystem unit area in China

元·hm<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>

生态系统功能 Eco-system functions	未利用地 Non-use of land	林地 Woodland	水体 Water	耕地 Cultivated land
土壤形成和保护 Soil formation and protection	17.7	3 450.9	8.8	1 291.9
气候调节 Climate regulation	0	2 389.1	407.0	787.5
生物多样性保护 Biodiversity conservation	300.8	2 884.6	2 203.3	628.2
水源涵养 Water conservation	26.5	2 831.5	18 033.2	530.9
食物生产 Food production	8.8	88.5	88.5	884.9
气体调节 Gas conditioning	0	3 097.0	0	444.2
废物处理 Waste treatment	8.8	1 159.2	16 086.6	1 451.2
娱乐文化 Entertainment culture	8.8	1 132.6	3 840.2	8.8
原材料 Raw materials	0	2 300.6	8.8	88.5
总计 Total	371.4	19 334.0	40 676.4	6 114.3

1.2.4 生态系统服务价值评价法 生态系统服务这一概念由 Ehrlich 于 1981 首次定义, 后由 Costanza 于 1998 年提出了生态系统服务评价框架 (ESV), 重点探讨评价生态系统服务价值的相关原理和具体方法, 获得了广大研究人员的关注<sup>[16]</sup>。不过这一评

价方法会产生较大的数据偏差, 无法充分适应各个地区的使用要求。我国谢高地等学者在分析上述方法的基础上, 对影响我国生态系统服务价值的各类因素进行了分析, 并给出了具体的当量因子, 表 1 所示为各种陆地生态系统对应的单位面积生态服务

价值<sup>[17]</sup>。

Costanza<sup>[16]</sup>等学者还根据上表提出了生态系统服务价值计算公式:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \quad (10)$$

$$ESV_f = \sum A_k \times VC_{fk}$$

其中,  $ESV$  代表选定的研究区域中生态系统服务价值的总和,  $A_k$  代表研究区域内第  $K$  种土地对应的实际利用面积,  $VC_k$  代表生态系统服务价值系数,  $ESV_f$  代表研究区中各类生态服务功能价值总和,  $VC_{fk}$  代表单位面积生态系统服务功能价值。在 ENVI 中对各类地物进行像元统计时, 由于影像数据的空间分辨率是 30 m, 所以一个像元的面积为 900 m<sup>2</sup>, 将像元数乘以 900 m<sup>2</sup> 然后除以 10 000 即为对应地物以 hm<sup>2</sup> 为单位的面积。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用分类结果

本研究的分类地物样本的分离度大于 1.85, 不同样本具有良好的分离性, 属于一类标准样本。土地利用分类结果 (图 1), 其分类精度分别达到 87.34% (2000 年)、83.67% (2008 年)、88.19% (2016 年), Kappa 系数分别为 0.78、0.73、0.79 (表 2)。

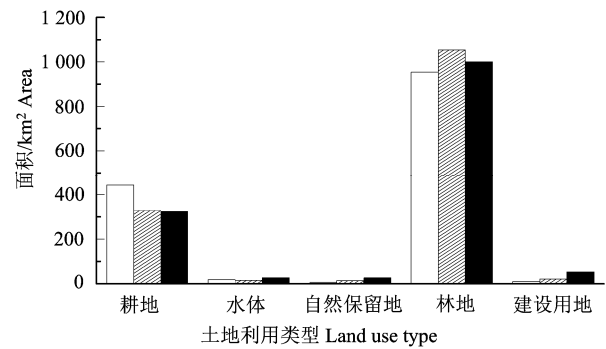


图 1 阳朔县土地利用分类结果

Figure 1 Land use classification results of Yangshuo county

表 2 分类精度与 Kappa 系数对照表

Table 2 Classification accuracy and Kappa coefficient comparison table

年份 Years	Kappa 系数 kappa coefficient	分类精度/% Classification accuracy
2016	0.79	88.19
2008	0.73	83.67
2000	0.78	87.34

土地利用分类统计结果表明 (表 3): 林地是阳朔县的主要土地使用类型, 其面积 (占比) 在 2000 年、2008 年与 2016 年分别为: 954.189 (66.624%)、1054.67 (73.640%) 和 1 000.437 (69.854%)。

表 3 3 个时期 5 种土地利用类型的面积和占比

Table 3 Area and proportion of five types of land use in three periods

类型 Types	2000 年		2008 年		2016 年	
	面积/km <sup>2</sup> Areas	占比/% Percent	面积/km <sup>2</sup> Areas	占比/% Percent	面积/km <sup>2</sup> Areas	占比/% Percent
耕地 Cultivated land	443.423	30.961	328.147	22.912	324.843	22.681
水体 Water	18.348	1.281	15.052	1.051	27.336	1.909
自然保留地 Naturally reserved land	7.239	0.505	13.513	0.944	26.459	1.847
林地 Woodland	954.189	66.624	1 054.67	73.640	1 000.437	69.854
建设用地 Land for construction	8.996	0.628	20.809	1.452	53.098	3.707
总计 Total	1432	100	1 432	100	1 432	100

### 2.2 土地利用时间变化特征

由土地利用变化动态度公式得到各类型的时间变化情况, 如表 4 所示。根据表 4 中的面积统计, 得到 2000—2016 年阳朔县土地利用变化动态度的变化曲线, 如图 2 所示。根据阳朔县 2000—2016 年土地利用变化动态度曲线, 可以看出阳朔县建设用地面积处于持续增加状态, 在 2000 年为 8.995 km<sup>2</sup>, 到 2016 年已经达到 53.098 km<sup>2</sup>, 这主要是城市化进程的加快, 以及旅游业为主要内容的第三产业的迅速崛起, 改变了阳朔县的产业结构, 最终使

得建设用地土地利用动态度增加; 自然保留地也有所增加, 在 2000 年是为 7.238 km<sup>2</sup>, 到 2016 年已经达到了 27.336 km<sup>2</sup>, 这主要是国家的退耕还林还草政策使得部分耕地转换为自然保留地, 也有可能是水土流失导致土地裸露; 耕地类型有所减少, 在 2000 年为 443.442 km<sup>2</sup>, 到 2016 年为 324.843 km<sup>2</sup>, 耕地类型变化较为复杂, 阳朔县多为水田, 在稻苗未长高时水体背景明显部分容易导致耕地与水体混淆; 林地变化不大, 从整体上看面积相近。

表 4 2000-2016 年阳朔县土地利用的时间变化  
Table 4 Land use change in Yangshuo County from 2000 to 2016

类型 Types	2000 年/km <sup>2</sup>	2016 年/km <sup>2</sup>	土地利用变化动态度 Dynamic degree of land use change	差值/km <sup>2</sup> Difference value
耕地 Cultivated land	443.422	324.843	-0.045 6	-118.580
水体 Water	18.348	27.336	0.041 1	8.988
自然保留地 Naturally reserved land	7.238	26.459	0.090 8	19.220
林地 Woodland	954.189	1 000.437	0.005 7	46.248
建设用地 Land for construction	8.995	53.098	0.103 8	44.102
总计 Total	1 432	1 432	—	0

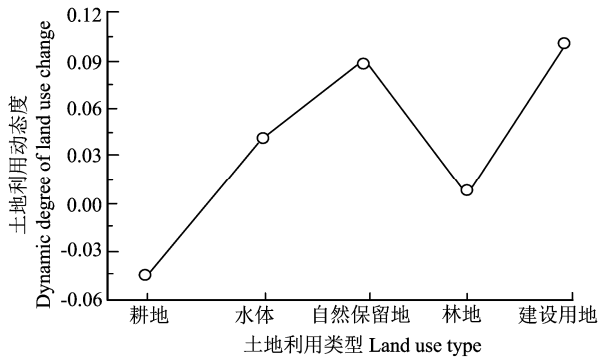


图 2 阳朔县 2000—2016 年土地利用变化动态度曲线  
Figure 2 Land use dynamic index in Yangshuo County from 2000 to 2016

2.3 土地利用内部转化特征

土地利用转移矩阵可以清晰了解前后两个期间

土地利用结构转换关系<sup>[18-19]</sup>。利用 ENVI 与 ArcGIS 计算土地利用变化矩阵 (表 5)。

从表 5 中可以看出,阳朔县在 2000—2016 年间地物之间都发生了不同程度的转化。其中在 2000—2008 年间,1/3 的耕地转变为林地类型,表明国家的退耕还林效果明显;耕地与林地之间的面积总和占总土地面积超过 90%,生态环境较好,未出现大面积水土流失与土地退化现象;自然保留地经过开发改造转化为了其他类型;耕地是城市建设用地主要的转化类型。在 2008—2016 年间,耕地面积进一步减少,主要转化成为林地类型,这段时期的转化规模与 2000—2008 年大体一致;这段区间城市化进程加快,有 3.299 km<sup>2</sup> 的林地、5.107 km<sup>2</sup> 的耕地转化为建设用地。

表 5 2000 年-2008 年及 2008 年-2016 年阳朔县土地利用转移矩阵  
Table 5 Yangshuo County land use transfer matrix from 2000 to 2008 and 2008 to 2016

年份 Year	转移面积/km <sup>2</sup> Transfer area	2008 年					总计 Total
		耕地 Cultivated land	水体 Water	自然保留地 Naturally reserved land	林地 Woodland	建设用地 Land for construction	
2000	耕地 Cultivated land	260.965	3.443	4.898	57.428	1.411	328.147
	水体 Water	1.425	0.243	0.004	0.519	12.857	15.049
	自然保留地 Naturally reserved land	4.150	0.378	0.567	8.308	0.108	13.513
	林地 Woodland	163.629	0.467	1.656	886.446	2.456	154.655
	建设用地 Land for construction	13.250	4.464	0.111	1.467	1.515	20.808
	总计 Total	443.422	8.995	7.238	954.189	18.348	1432
2016	耕地 Cultivated land	173.874	7.128	4.205	107.402	35.538	328.147
	水体 Water	0.302	13.370	0.001	0.980	0.396	15.049
	自然保留地 Naturally reserved land	4.496	0.545	0.879	6.431	1.162	13.513
	林地 Woodland	141.065	2.995	21.353	882.409	6.833	1 054.655
	建设用地 Land for construction	5.107	3.299	0.020	3.215	9.169	20.81
	总计 Total	324.844	27.337	26.458	1000.437	53.098	1432

表 6 2000 年至 2016 年阳朔县景观格局指数变化统计  
Table 6 Statistics on the change of landscape pattern index of Yangshuo County from 2000 to 2016

年份 Years	斑块个数 NP	斑块面积 TA	聚集指数 AI	整体性指数 CONESION	蔓延度 CONTAG	分离度指数 SPLIT	香农多样性 SHDI	香农均匀性 SHEI
2000 年	17 023	218 677.7	89.917 2	99.664 4	65.981 4	22.000 5	0.748 0	0.464 7
2008 年	22 533	218 677.7	89.244 4	99.582 7	66.304 4	17.262 6	0.716 3	0.445 1
2016 年	36 207	218 677.7	83.977 9	99.552 9	57.503 7	16.719 7	0.858 6	0.533 5

表 7 阳朔县在不同年份中的生态系统服务价值 (万元)  
Table 7 The ecosystem service value of Yangshuo County in different years (10 000 Yuan)

年份 Years	林地 Woodland	耕地 Cultivated land	自然保留地 Naturally reserved land	水体 Water	合计 Total
2000	184 482	27 112	26	7 463	219 085
2008	203 909	20 063	50	6 122	230 146
2016	193 424	19 861	68	11 119	224 474
年变化率 Annual rate of change	0.302%	-1.67%	9.621%	3.061%	11.314%
变化量 Amount of change	8 941	-7 250	41	3 656	5 388

总体上看, 阳朔县在近 20 年的发展中, 生态环境保持良好, 个别方面优于过去水平, 其中地表水在近 20 年中有所增加, 林地类型占比小幅增长, 城市化进程显著。

#### 2.4 景观格局变化特征

通过 FRAGSTATS 计算得到不同景观指数的值 (表 6), 结果表明: 2000—2016 年图斑个数增加了 19 184 个, 表明景观格局从最初的单一、均质与连续的整体状态不断发展为复杂、异质以及不连续形态的斑块镶嵌体; 其中, 2000 年与 2008 年具有较高的蔓延度, 2016 年突然下降 6%, 表明研究区属于包含众多要素的密集格局, 该区域的景观形成了高度的破碎化; 分离度指数呈现持续降低的趋势, 表明景观发生了较高的破碎化; 香农多样性以及均匀度都持续提升。整体性指数与聚集指数基本保持不变, 说明斑块间的连续性较高, 生态系统较稳定。

#### 2.5 土地利用变化生态环境效益评价

利用各类地物面积对照中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表 (表 1) 和生态系统服务价值计算公式进行生态系统服务价值计算, 最终评价出各类地物在不同年份中的生态系统总价值, 如表 7 所示。通过变化情况分析生态环境的表现可以看到, 阳朔县在 2000 年、2008 年、2016 年期间的总生态系统服务价值增加了 5 388 万元, 表明阳朔县生态环境总体向健康、友好型方向发展。

### 3 讨论与结论

本研究以桂林市阳朔县为研究区, 以 2000 年、2008 年与 2016 年的 Landsat 遥感数据作为分析例子, 发挥 GIS 和 RS 技术分析优势, 从土地利用变化方面探讨了阳朔县生态环境可持续发展的关系, 得到以下结论:

(1) 土地利用与生态环境之间相互影响, 基于 GIS 的土地利用生态环境综合质量评价, 能够实现土地利用与生态环境两系统间协调发展状况的定量评价, 可信度较高, 效率较高。

(2) 多年的土地利用变化转移情况中, 耕地、林地向建设用地转化较多, 是城市用地的主要来源。由于阳朔县整体面积较大, 有一些区域属于桂林漓江国家保护区范围, 受国家相关法律法规限制, 阳朔地区的建设用地面积总体呈现增长趋势, 但面积扩大速度较慢。

(3) 2000—2016 年阳朔县景观格局呈现由聚集向破碎化、多样化发展的趋势。生态系统的稳定性, 人类的生活环境改善, 与实际情况接近, 说明本文选择的景观指数代表的景观格局是合适的, 能够保证生态环境影响评价的科学性。

(4) 地方政府应该加强贯彻落实“绿水青山就是金山银山”的政策理念要求, 加强监督管制, 引导转变旅游发展方向, 开展生态旅游项目体验。除了观光旅游也应加强漓江水系治理, 推进渔业发展; 利用独特的自然环境发展特色经济, 同时注重减少碳排放, 达到生态与经济共同发展进步。

本研究在复杂的地形条件下通过遥感影像对土地利用类型进行生态环境评价, 但在实际条件下, 区域生态环境还包括其他影响因素, 如物质能量流动。本研究只构建了较为简单的土地利用变化分类系统, 一些生态评价指标还有待继续完善。

#### 参考文献:

- [1] 赵丹, 李锋, 王如松, 等. 城市土地利用变化对生态系统服务的影响: 以淮北市为例[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2343-2349.
- [2] 张学玲, 余文波, 蔡海生, 等. 区域生态环境脆弱性评价方法研究综述[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5970-5981.
- [3] 陈怀亮, 徐祥德, 刘玉洁, 等. 土地利用与土地覆盖变化的遥感监测及环境影响研究综述[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 289-294.
- [4] 田思萌, 於冉, 江礼婷, 等. 基于多目标线性规划的六安市土地利用结构优化研究[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(4): 665-669.
- [5] MURRAY K S. Statistical comparisons of heavy-metal concentrations in river sediments[J]. Environ Geol, 1996, 27(1): 54-58.

- [6] 周朕, 蒙吉军, 齐杨, 等. 中国生态用地重要性及其格局优化研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 218-225.
- [7] 陈书卿. 土地利用规划中生态屏障体系的构建及布局研究: 以重庆市永川区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [8] 程敏, 张丽云, 崔丽娟, 等. 滨海湿地生态系统服务及其价值评估研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7509-7518.
- [9] 王根绪, 钱鞠, 程国栋. 区域生态环境评价(REA)的方法与应用: 以黑河流域为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001, 37(2): 131-140.
- [10] 陈志钢, 保继刚. 典型旅游城市游憩商业区空间形态演变及影响机制: 以广西阳朔县为例[J]. 地理研究, 2012, 31(7): 1339-1351.
- [11] KEERTHI S S, SHEVADE S K, BHATTACHARYYA C, et al. Improvements to platt's SMO algorithm for SVM classifier design[J]. *Neural Comput*, 2001, 13(3): 637-649.
- [12] GONG P, MARCEAU D J, HOWARTH P J. A comparison of spatial feature extraction algorithms for land-use classification with SPOT HRV data[J]. *Remote Sens Environ*, 1992, 40(2): 137-151.
- [13] 李一琼, 白俊武. 近 20 年苏州土地利用动态变化时空特征分析[J]. 测绘科学, 2018, 43(6): 58-64.
- [14] 谭术魁, 刘琦, 李雅楠. 中国土地利用空间均衡度时空特征分析[J]. 中国土地科学, 2017, 31(11): 40-46.
- [15] 陈颐, 林毅伟, 朱志鹏, 等. 莆田市土地利用格局的地形梯度特征变化及尺度效应[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(1): 102-107.
- [16] COSTANZA R. Principles for sustainable governance of the oceans[J]. *Science*, 1998, 281(5374): 198-199.
- [17] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [18] 韩会庆, 罗绪强, 郜红娟, 等. 土地利用变化对乌江源区生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 270-273.
- [19] 刘纪远, 匡文慧, 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.