

基于 RS 和 GIS 的喀斯特山区景观生态格局

卢 远¹, 华 瑾², 周 兴²

(1. 吉林大学环境资源学院, 吉林长春 130026; 2. 广西师范学院资源与环境学院, 广西南宁 530001)

摘 要: 喀斯特地区生态脆弱性特征受各种自然和人为因素综合作用的影响。本文选取桂西南典型喀斯特山区, 集成 GIS 和 RS 技术提取景观生态格局信息, 运用景观生态学的基本理论和方法, 在 FRAGSTATS * ARC 软件支持下, 以分维数、形状指数、景观优势度、景观破碎度和相邻指数等景观格局指标, 对该区脆弱生态环境的景观格局进行定量分析。结果表明石漠斑块已经占据景观的主导地位, 景观格局呈现明显的破碎现象, 必须采取综合措施进行生态重建。

关键词: 喀斯特; 景观格局; 定量分析; 生态重建

中图分类号: P901; TP79

文献标识码: A

喀斯特地区的生态脆弱性特征不仅受各种自然和人为因素综合作用的影响, 而且生态脆弱性的加剧又反作用于生态环境的自然结构和人类与资源环境之间的相互关系。我国西南喀斯特山区成土缓慢, 侵蚀剧烈, 岩溶发育, 导致土层瘠薄、地表漏水、水土流失、旱涝等灾害频繁, 生态环境条件极为恶劣, 土地人口承载力很低, 是我国另一主要的农牧交错带^[1]。近现代以来, 由于不合理的人类活动, 如毁林开荒、陡坡开垦、顺坡直耕等, 更加剧了生态环境恶化, 以“石漠化”为特征的土地退化日趋蔓延。伴随着生态环境的日益退化, 原本生态脆弱的喀斯特山区, 社会贫困的问题更加凸现^[2]。因此, 探讨促进喀斯特山区生态—经济重建和提高农林牧业生产力的途径和方法, 是一项迫切需要解决的世纪课题。

景观生态学(Landscape ecology)是 20 世纪 30 年代以后发展起来的一门介于生态学与地理学之间的交叉学科。景观生态学主要研究景观的结构(structure)、功能(function)和变化(change)^[3]。通过景观格局的分析, 可以帮助我们理解形成和控制景观空间格局的因子和机制, 更深刻地把握景观的过程。地理信息系统(geographic information system, 简称 GIS)、遥感(remote sensing, 简称 RS)技术及空间统计学方法的发展, 为景观空间结构研究和动态模拟, 提供了可靠的信息源和有效的分析工具, 不同尺度和多尺度上景观空间格局的定量化、动态过程已经

得到深入的研究^[4]。

本文以桂西南喀斯特山区—广西天等县为研究区, 选择近期 TM 卫星影像、土地利用现状图为基础信息源, 以景观生态学原理和方法, 对其脆弱的景观生态特征进行了系统的定量分析, 探索喀斯特山区土地退化的过程机制, 为喀斯特山区的生态重建的合理性分析、自然资源的合理利用、经济的可持续发展提供方法支持和决策依据。

1 研究区概况

选择广西天等县为研究地区, 地理坐标为 106°45' E ~ 107°23' E, 22°51' N ~ 23°22' N。研究区位于左江、右江分水岭地带。地势西南高东北低, 最高点为西南部四城岭主峰, 海拔 1 073.7 m, 最低是东北部天南村洞荷洼地, 海拔 263 m, 一般海拔为 450 m ~ 650 m。大地构造上属于右江再生地槽南缘, 南部构造以东西向为主, 北部构造为北东向为主。发育有寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系和第三系海相沉积地层, 以碳酸盐岩为主, 局部发育第四系沉积。本区以山原式喀斯特地貌为主, 山地占土地总面积的 77.98%, 其中石灰岩山地占 41.50%, 硅质灰岩山地占 10.31%, 土山占 22.60%。

由于多山, 海拔高度较大, 表现出典型的南亚热带季风性山地型气候。年均气温 20.5℃, 年均降雨量 1 459 mm, 降雨多集中在 5 ~ 9 月。降雨年际变化

收稿日期: 2002 - 10 - 17。

基金项目: 国土资源部(子课题)“广西生态环境遥感与可持续发展对策研究”和广西区教育厅“广西生态环境遥感评价”项目的资助。

作者简介: 卢 远, (1971 -), 男, 广西横县人, 博士生, 主要从事遥感、GIS 和生态环境的教学和研究。

大,年相对变率为 12%,降雨季节分配不均。受季风及地形影响,降雨量自西向东北逐渐减少的地域分布格局。地表水系不发育,区内无大的河流,20 多条小溪河均由泉水汇成。由于岩溶石山地区坡陡土薄,土壤蓄水、保墒性能欠佳,雨季降水迅速渗入地下裂隙、溶洞,汇入地下河。岩溶区地下水位季节变化大,旱季地下水埋藏深,地表干涸无水,旱灾发生频繁。

据第二次土壤普查,区内有 7 个土类:水稻土、红壤、赤红壤、石灰岩土、紫色土、冲积土、沼泽土,主要由砂质岩、硅质岩、石灰岩等母质发育而成。大部分地区土层薄瘠且胶结性差,水土流失十分严重。本区森林覆盖率为 12.8%,原生季雨林植被残存不多,多为人工次生植被和灌草丛。土山地区有季雨常绿阔叶林;石山地区以稀树、灌木、蕨类等木本与草本植被相混杂,面积相当大的地区为裸岩石山分布。

2 景观格局分析方法

景观空间结构元素包括斑块(patch)、廊道(corridor)、基质(matrix),它们的时空配置形成景观镶嵌格局(Forman 和 Godron, 1986)。景观镶嵌格局很大程度上控制了景观生态系统的功能特征,影响着其中的物质、能量和信息的过程及其形式^[5]。对景观格局进行定量描述和分析,是揭示景观结构与功能之间的关系、刻画景观动态的基本途径,国内外许多学者在景观研究实践中也正是这样做的^[6-12]。由于遥感具有覆盖范围广、资料更新快和能够快速提取景观信息等特点。GIS 在存储和处理空间数据、制图及空间分析方面拥有强大的功能。因此,RS 与 GIS 结合能为景观格局分析和空间模型的建立提供一个强有力的技术框架。

2.1 信息源及处理

本文收集了 1996 年天等县 1:5 万土地利用现状图、1998 年 TM 数字影像为主要信息源,地形图、地质图以及自然概况等相关资料为辅助信息源。为了实现生态环境数据的时空变化规律的研究,以统一的地图投影方式建立起研究区的生态景观多源数据集。

在 ARC/INFO 软件支持下,对研究区土地利用现状图进行扫描、矢量化、编码、拓朴、投影变换等处理,以 Coverage 文件形式存储,以北京 1954 坐标系为坐标系统,建立起土地利用现状空间数据库。在 ERDAS 软件支持下,以土地利用图为基准参考,选

择 TM 影像和土地利用图上河流、道路等线状地物的交叉点作为几何精校正控制点,对 TM 影像进行几何精校正,使 TM 影像坐标系统与土地利用空间数据库的坐标系统相一致。

根据土地利用、植被覆盖特征,将本区景观划分为七种类型:水田、旱地、林地、荒草地、水域、居民点和石漠区。利用 TM5、4、3 波段合成影像对裸露石山、地表植被比较敏感的特点,将 TM543 合成影像与土地利用空间数据库 Coverage 叠加。在已有的土地利用 Coverage 数据库基础上,采用人机交互式提取研究区的景观信息,勾绘出各类景观区域,并将景观类型代码输入属性数据库,即可建立起生态景观空间数据库。

2.2 景观格局指数

景观格局指数是指高度浓缩景观格局的信息,反映基结构组成和空间配置某些方面的特征的定量指标。景观生态系统的空间结构特征包括个体单元空间形态、群体单元的空间组合状况、单元间的空间关联指数、结构的时空变化规律几个方面。目前,国内外已有不少介绍景观格局指数和分析方法的文章^[13,14],为本文研究选取景观格局指数和计算方法提供了不少有益的参考。本文选择了一系列景观格局指标(见表 1),利用基于 ARC/INFO 平台的景观结构定量分析软件 FRAGSTATS * ARC 对研究区的景观格局进行计算分析,以 Arc/Info 的 STATISTIC 命令对景观斑块邻接边长进行统计,由此计算出各类景观斑块的相邻指数 C_{ij} 。

3 景观格局结果分析

由表 2、表 3 可知,研究区 Shannon - Weaver 斑块多样性指数为 1.535,与最大多样性指数 1.946 相比,有较大的偏离;景观优势度为 0.411,景观均匀度为 0.789。在本区景观类型确定的情况下(7 类),这一结果表明区内整体景观生态特征已经由少数斑块类型所支配,景观中各斑块的面积分布并不十分均匀。从各类景观面积构成上看,石漠、林地和荒草地景观面积比例分别为 38.03%、24.94% 和 7.33%,自然景观的面积比例达 70.3%;水田、旱地的面积比例为 9.74%、17.77%,农业景观的面积比例为 26.51%。石漠、林地、水田和旱地景观斑块的平均面积分别为 163.66 hm^2 、123.01 hm^2 、40.95 hm^2 和 21.75 hm^2 。本区石漠区、林地景观类型占据主导地位,水田、旱地景观则处于支配的地位。

表1 主要景观指数及其涵义

Table 1 The diagnostic indices and ecological meaning of landscape pattern

景观指数	计算公式	涵义描述
平均斑块面积 MPS	$MPS = A/N \times 10^6$	描述景观各斑块的平均面积大小。
形状指数 SHAPE INDEX	$MSI = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{\sqrt{2\pi \cdot a_j}}$ $AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\frac{P_j}{\sqrt{2\pi \cdot a_j}} \left[\frac{a_j}{A_i} \right] \right]$	形状指数描述景观斑块的形状复杂程度。 斑块形状越不规则,形状指数越大 MSI - 平均形状指数 AWMSI - 面积加权平均形状指数。
平均斑块分维 MPFD	$MPFD = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{2\ln(P_j)}{\ln(a_j)}$	描述斑块几何形状的复杂性和相似性。 MPFD 分维介于1~2。斑块几何形状越简单,斑块的形状越有规律,相似性越强,分维数 MPFD 越趋近于1。
多样性指数 SHDI	$SHDI = - \sum_{i=1}^m [P_i \ln(P_i)]$	描述斑块类型的多少和面积上分布均匀程度。各景观类型所占比例相等时,景观多样性指数最大;各斑块类型的比例差别越大,景观多样性指数下降。
景观优势度 D	$D = \ln(m) + \sum_{i=1}^m P_i \ln(P_i)$	描述某种景观斑块类型支配景观的程度。优势度 D 值较大,对应于某种或多种斑块类型占景观的主导地位。
景观均匀度 SHEI	$SHEI = - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m P_i \ln(P_i)$	描述景观中各斑块在面积上分布的均匀程度。以 Shannon - Weaver 多样性指数和其最大值 $\ln(m)$ 之比来表示。SHEI 越趋于1,景观分布越均匀。
景观破碎度 FS	$FS = 1 - 1/AWMSI$	描述景观被分割的破碎程度。景观形状破碎化指数 $FS \in (0,1)$,0 表示景观没有被破坏,1 表示景观被完全破坏。AWMSI - 面积加权平均形状指数。
景观相邻指数 C_{ij}	$C_{ij} = L_{ij} \sqrt{\sum_{j=1}^n L_{ij}} \times 100\%$	描述两类斑块间邻接程度,代表斑块间相互转化的可能性大小。 L_{ij} 景观类型 i 与景观类型 j 的公共边长; n 为景观类型数。

表2 天等县景观空间格局特征值

Table 2 The diagnostic values of landscape pattern in Tiandeng County

景观指数	水田	旱地	林地	荒草地	水域	居民点	石漠区
面积 AREA(hm ²)	21089	38470	54001	15867	1058	3678	82321
面积比例 PLAND(%)	9.74	17.77	24.94	7.33	0.49	1.70	38.03
平均斑块面积 MPS(hm ²)	40.95	21.75	123.01	52.72	9.13	2.82	163.66
斑块数 PN	515	1769	439	301	116	1303	503
斑块形状指数 MSI	2.118	1.925	1.774	1.708	1.761	1.217	1.750
加权平均形状指数 AWMSI	4.899	3.602	8.545	3.215	3.319	1.383	8.347
斑块分维数 MPFD	1.352	1.348	1.282	1.288	1.316	1.295	1.273
破碎度指数 FS	0.796	0.722	0.883	0.689	0.699	0.277	0.880

表3 天等县景观格局整体特征值
Table 3 The integral diagnostic values of landscape pattern in Tiandeng County

景观指数	特征值
景观丰富度 R	7
最大多样性 H_{max}	1.946
景观多样性 SHDI	1.535
景观优势度 D	0.411
景观均匀度 SHEI	0.789
景观破碎度 FS	0.845

石漠、林地和草地景观的分维数分别为 1.273、1.282

和 1.288,水田和旱地景观分维数为 1.352 和 1.348;从斑块形状指数来看,水田和旱地平均形状指数为 2.118 和 1.925,石漠、植被景观的平均形状指数为 1.75 和 1.774。景观分维指数和形状指数均一致说明了水田、旱地景观斑块的几何形状相对复杂,且斑块的相似性偏离较大。从景观破碎指数来看,整体景观形状破碎度达 0.845,石漠、林地、水田和旱地景观斑块的形状破碎度依次为 0.883、0.88、0.796 和 0.722。景观基质中出现了许多的岛状嵌块体,

说明本区景观呈现明显的破碎现象。

根据各景观类型之间的相邻指数,构造景观类型的相邻关系矩阵(表4)。在耕地的相邻关系中,水田与石漠区的相邻指数为31.37%,旱地与石漠区的相邻指数达48.8%。在林地的相邻关系中,旱地最为密切,相邻指数为47.48%。荒草地与旱地、石漠区的关系密切,相邻指数分别为39.87%、20.94%。居民点与水田、旱地相邻关系密切,相邻指数分别为33.15%、31.58%。景观相邻指数反映景观类型相互转换的可能性大小。据土地详查变更

资料,>15°坡耕地面积共10 337.4 hm²,占耕地面积17.4%;其中>25°坡耕地面积为3 497.5 hm²,坡耕地多年粮食平均单产仅为1 500 kg/hm²。1992~2000年期间,从林地、牧草地和荒草地新开垦的耕地面积达4 346.5 hm²,因水土流失而撂荒或退耕的耕地面积为963.4 hm²。这些说明在粗放的传统农业增长方式影响下,加剧了水土流失和生态环境退化,推动了林地→旱地→石漠、荒草地→旱地→石漠、荒草地→石漠的景观转化过程。

表4 景观斑块类型间相邻关系矩阵(%)

Table 4 The adjacent relation matrix of landscape pattern(%)

景观类型	水田	旱地	林地	荒草地	水域	居民点	石漠区	合计
水田	0.00	23.37	25.35	6.79	1.70	11.42	31.37	100
旱地	10.62	0.00	25.87	8.97	0.79	4.95	48.80	100
林地	21.14	47.48	0.00	8.90	1.05	4.24	17.19	100
荒草地	13.72	39.87	21.58	0.00	2.52	1.37	20.94	100
水域	19.61	19.92	14.51	14.35	0.00	2.04	29.57	100
居民点	33.15	31.58	14.76	1.96	0.51	0.00	18.04	100
石漠区	17.57	60.15	11.55	5.81	1.44	3.48	0.00	100

4 结语

上述景观格局分析表明,在人类不合理活动的干扰下,加剧了喀斯特山区脆弱性生态环境以“石漠化”为特征的景观演化和景观破碎化进程。空间格局与生态过程理论指出,景观的空间结构对生态过程(物质迁移、能量交换和物种运动)有重要影响,并且空间景观结构的稳定是土地持续利用的基础^[15,16]。景观破碎化不仅导致生物多样性丧失,也会破坏土地利用景观稳定性,降低土地利用的持续性。因此,必须运用景观生态学、生态经济学等相关学科知识,从景观生态功能的完整性、自然条件的内在特征出发,对喀斯特山区进行景观生态规划与建设。如在石漠区和水土易流失地带,采取封山育林、退耕还林、还草等措施重建绿色斑块,恢复生态环境;在缓坡农业区,采取砌墙保土、土地平整、坡地改梯田等措施保护和改造农田斑块;同时,通过大力种植果树、竹林,建设绿色廊道,建造农田-果树(竹)篱结构,既增加农业景观多样性和土地覆盖的异质性,也减少水土流失,补偿和恢复景观的生态功能;在建设用地区,要节约各种建设用地,控制建设用地斑块盲目扩张,创建环境优美的、与自然系统相协调的景观。从而促进景观合理建设和景观结构的优

化,达到人与自然、经济活动与自然过程的协同进化。

本文在RS、GIS技术支持下,应用TM图像数据和土地利用图提取喀斯特山区的生态景观格局信息,并进行景观空间格局的定量分析,剖析了喀斯特地区景观演变和土地退化过程,为喀斯特山区的生态重建提供科学的决策依据。这一研究方法及其结果对生态学理论研究、喀斯特山区土地资源管理开发、生态环境保护与重建都具有科学价值和重要意义。

参考文献

- [1] 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展:研究现状与趋势[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 37~41.
- [2] 张耀光. 西南喀斯特贫困地区的地生态环境效应[J]. 中国岩溶, 1995, 14(1): 71~77.
- [3] Forman R. T. T. and Godron M., Landscape Ecology[M]. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [4] Forman, R. T. T., Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions[M]. Cambridge University Press, 1985.
- [5] Roy H. Y., Mark C. Quantifying landscape structure: A Review of Landscape Indices and Their Application to Forest Landscapes[J]. Progress in Physical Geography, 1996, 20(4): 418~445.
- [6] 张明. 榆林地区脆弱性生态环境的景观格局与演化研究[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 30~36.
- [7] Kalkhan, Mohammed A., Stohlgren, Thomas J. Using Multi-Scale

- Sampling and Spatial Cross - Correlation to Investigate Patterns of Plant Species Richness [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000, **64**(3):591 ~ 605.
- [8] Ravan, Shirish A., Roy, P. S. Satellite remote sensing for ecological analysis of forested landscape[J]. *Plant Ecology*. 1997, **131**(2):129 ~ 141.
- [9] Lehmann, Anthony. GIS modeling of submerged macrophyte distribution using Generalized Additive Models[J]. *Plant Ecology*. 1998, **139**(1): 113 ~ 124
- [10] Townsend, Philip A., Walsh, Stephen J. Remote sensing of forested wetlands: application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA[J]. *Plant Ecology*. 2001, **157**(2):129 ~ 149.
- [11] Sam A., Wallin, David O. Rates and patterns of landscape change in the Central [J]. Sikhote - alin Mountains, Russian Far East Cushman, *Landscape Ecology*. 2000, **15**(7):643 ~ 659.
- [12] Kyriakidis, Phaedon C., Dungan, Jennifer L. A geostatistical approach for mapping thematic classification accuracy and evaluating the impact of inaccurate spatial data on ecological model predictions [J]. *Environmental and Ecological Statistics*. 2001, **8**(4):311 ~ 330.
- [13] 王仰麟,赵一斌,韩荡,等. 景观生态系统的空间结构:概念、指标与案例[J]. *地球科学进展*. 1999, **14**(3):235 ~ 242.
- [14] 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, **8**, **18**(4):346 ~ 352.
- [15] 傅伯杰,陈顶利,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社. 2002.
- [16] 周兴. 广西石灰岩山地受害生态系统的改建[J]. *山地研究(现《山地学报》)*. 1995, **13**(4):241 ~ 247.

A Study of Landscape Patterns in the Karst Mountainous Area Using RS and GIS

LU Yuan¹, HUA Cui², and ZHOU Xing²

(1. College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun, 130026 China;

2. Department of Resource and Environment, Guangxi teachers college, Nanning, 530001 China)

Abstract: The karst area is one of the most vulnerable ecosystems. Both natural factors and artificial activities affect vulnerabilities of karst ecosystem. We used Landsat TM imagery and GIS to quantify the landscape pattern for a mountainous karst area in the southwest of Guangxi. According to land use and vegetation type, seven land use categories were included: paddy, dry soil, woodland, water area, resident and rocky barren. Landscape composition and patterns were generated from the land use map and Landsat TM imagery with the support of ARC/INFO and ERDAS IMAGINE, and a spatial database of ecological pattern was built up. Through selecting shape index, fractal dimension, dominance, diversity index, evenness index, fragment index, etc. We quantificationally analyzed landscape patterns by FRAGSTATS * ARC. The results showed that landscape in study area were fragmental and fragile, dominantly controlled by the rocky barren. So the comprehensive measures should be adopted to rehabilitate local ecosystem of depredated land.

Key words: karst area; landscape pattern; quantified analysis; ecosystem rehabilitation