

基于多源遥感影像的喀斯特地貌景观解译及格局研究

赵银军^{1,2}, 曾兰², 何忠^{3,4}, 梁俏²

(1. 广西师范学院 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001;

2. 广西师范学院 地理科学与规划学院, 南宁 530001; 3. 中国科学院 水利部

水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:喀斯特景观解译一直是我国遥感影像解译工作的重要内容之一。由于喀斯特地貌本身的复杂性以及其生长环境的相似性,喀斯特地貌解译难度较大。从地理学与景观生态学视角出发,选用高分一号卫星影像和 TM 影像,辅以 DEM 和等高线数据,汇总和建立了喀斯特地貌景观分类体系和解译标志,通过目视解译完成喀斯特地貌解译。最后运用 GIS 和 Fragstats 软件等技术手段分析了喀斯特景观格局。结果表明:国产高分一号影像数据分辨率较高,因而能够比较准确地辨别不同喀斯特地貌形态,其解译精度优于 Landsat TM 影像,在地貌解译工作中完全可以用高分一号卫星数据替代 TM 影像数据;马山喀斯特景观受人类活动影响较小,景观破碎度低,自然性、多样性、异质性、整体性较强,有利于喀斯特景观保护;峰丛是马山县优势景观类型。

关键词:喀斯特; 解译标志; 高分一号

中图分类号:P901;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0158-05

Interpretation and Landscape Pattern of Karst Landform Based on Multi-Source Remote Sensing Images

ZHAO Yinjun^{1,2}, ZENG Lan², HE Zhong^{3,4}, LIANG Qiao²

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Guangxi Teachers

Education University, Ministry of Education, Nanning 530001, China; 2. School of Geography and

Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China; 3. Institute of Soil and Water

Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Identifying the distribution and patterns of karst landform is fundamental to landform interpretation and subsequent landscape structures analysis. Due to the complexity of landforms and the similarity of their growth environment, it is difficult to understand and interpret karst landform. On the perspective of geography and landscape ecology, we used GF-1 images and TM images supplemented with DEM and contour to build interpretation symbol and classification system. Finally, karst landscape patterns were analyzed combining GIS and Fragstats software. The results shows that: because of the high resolution in GF-1 image, it is more appropriate to differentiate surface morphology with a high accuracy than TM images; less affected by human activities, the karst landform in Mashan County shows low fragmentation and high naturalness, diversity, heterogeneity, integrity, all in favor of karst landscape protection; the peak clusters are dominant landscape types in Mashan County.

Keywords: karst; interpretation keys; GF-1

我国西南喀斯特区域是全球三大喀斯特集中分布区中面积最大的区域。这不仅是一个发育演化和地貌类型多样的地区,同时也是世界上面积较大、热带与亚热带最雄伟独特的喀斯特区域,具有很高的科学、文化、美学、旅游价值。在长期地下水与地表水的

侵蚀、溶蚀、堆积、冲积等作用下,形成了地形较为复杂、形态较为多样的喀斯特地貌,这给准确提取喀斯特景观类型增加了一定难度。喀斯特景观由多种地貌类型斑块构成,各斑块间又有各自的空间格局与分布特征,包括斑块组合形式、斑块数量、斑块密度、斑

块在景观类型中占据的地位等。目前通过遥感研究喀斯特区土地利用/土地覆被较为多见,是一种有效的研究手段,主要集中在土地利用类型的解译、演变、景观格局、石漠化^[1]等,而从地貌学角度利用遥感开展喀斯特地貌解译与地貌景观研究则较为少见。仅见周成虎等^[2]提出了中国陆地 1 : 100 万数字地貌分类体系和地貌遥感解译标志;肖丹等^[3]从水田、旱地、林灌等方面解译并研究了清镇市喀斯特景观格局。喀斯特地貌遥感解译标志不全且不系统^[4-8],而对广西喀斯特区相关研究则更为少见。随着国外遥感卫星技术的发展,数据分辨率越来越高,很多已达到亚米级,且国外遥感影像数据逐渐扩大了数据共享性,使得我国遥感应用大多依赖于国外影像数据。目前,国产卫星的发展亟需深入研究国产卫星数据应用技术,扩大国产卫星数据应用领域服务于社会经济发展,减小对国外遥感影像数据的依赖度。为此,本文采用国产高分一号和 Landsat8 TM 影像数据,分别解译马山县喀斯特地貌类型,并从地理学与景观生态学角度分析马山县喀斯特景观特征,为马山县喀斯特地貌保护以及旅游业发展提供重要依据。

1 研究区概况

马山县位于广西中南部,隶属于广西首府南宁市,总面积 2 340.84 km²。马山县是广西区内山区较多的县市之一,喀斯特地貌极为发育,喀斯特景观较为独特,如金伦洞,洞内游程达 10 km,洞穿 12 座山腹。

2 数据来源及方法

2.1 数据源

马山县 2016 年 Landsat 8 影像数据来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),与 ETM 数据融合后分辨率可达 15 m;2016 年高分一号卫星(GF-1)遥感影像来自高分卫星应用综合信息服务共享平台(<http://gfplatform.cnsa.gov.cn>),分辨率为 2 m。

2.2 技术实现思路

通过喀斯特地貌特征分析,结合 DEM、等高线等从形态、色彩、纹理、空间分布特征等方面分别构建 TM 和高分影像喀斯特地貌遥感解译标志,据此在 ArcGIS 中分别目视解译喀斯特地貌类型斑块。运用 ENVI 建立真实地表感兴趣区通过 Kappa 系数对解译结果进行精度评价。最后运用 Fragstats 软件对喀斯特地貌斑块进行喀斯特景观分析与评价(图 1)。

2.3 数据预处理

在进行喀斯特地貌解译之前,需要对 TM 和高分影像数据进行预处理,主要包括投影转换、图像融

合、图像镶嵌和图像裁剪等,其中高分影像数据预处理还包括辐射定标、大气校正、正射校正。

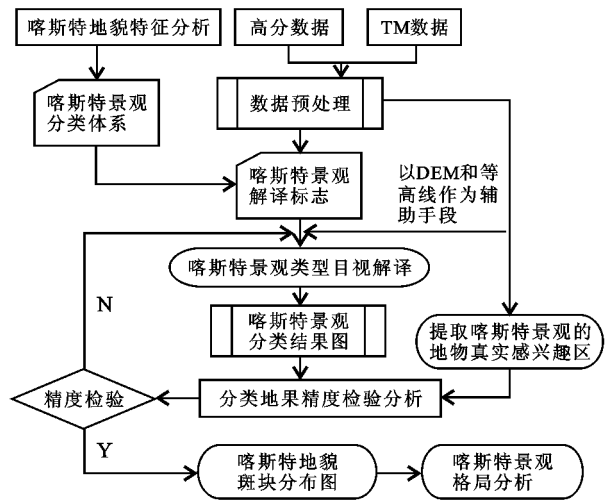


图 1 技术流程

2.4 喀斯特地貌分类体系

从地理学视角来看,喀斯特地貌可以分为地表喀斯特地貌和地下喀斯特地貌。本文主要研究地表喀斯特地貌,其存在从形态成因(图 2)和形态结构(图 3)两种分类体系^[8-9]。

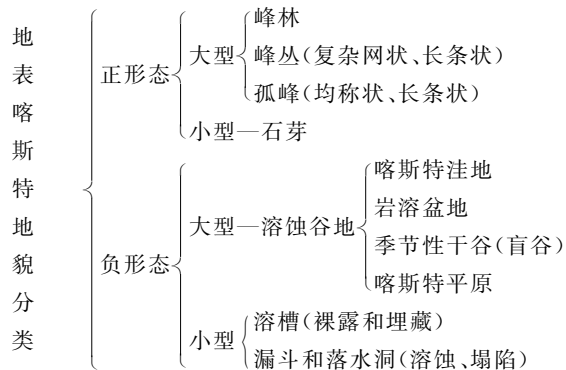


图 2 按形态成因喀斯特地貌类型

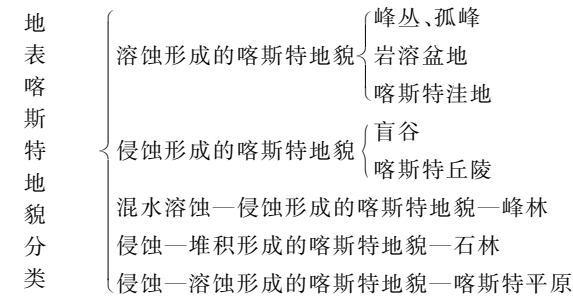


图 3 按形态结构喀斯特地貌类型

从形态成因来看,南方降雨量普遍较高,水分较充足,气候也较温和,故南方喀斯特多以溶蚀作用为主。而南方夏季,突发大暴雨和降水也常有发生,故流水侵蚀作用也较为显著。在同一个气候带内,可以根据地貌类型的岩石成分来区分。从喀斯特地貌的岩石成分来看,一般可以分为碳酸盐岩、碎屑岩或生物礁岩。相应的其地貌类型也可以分成以下几种:

(1) 流水溶蚀—侵蚀地形,一般是由纯的碳酸盐岩组成;(2) 生物堆积—溶蚀海蚀地形,一般是由生物礁岩组成;(3) 侵蚀—溶蚀地形,一般是由碳酸盐岩与其他岩石例如碎屑岩混合组成。

从形态结构来看,喀斯特地貌可以直观的分为正地形与负地形。正地形是指地貌单元新构造上升或相对于高出其周围的地形。负地形是指地貌单元新构造沉降或相对于低于其周围地形。在负地形中因地势低下而排水不畅,常发育许多面积较大的湖泊群。

2.5 喀斯特地貌遥感解译标志

2.5.1 峰林 从峰林的发育过程与形态特征来看,大致存在峰丛>峰林>孤峰发展过程。峰林的发展初态即为峰丛,发育成熟标志形成峰林,峰林晚期产物为孤峰。

从形态上看,峰丛上部是高耸参差不齐筒形、锥形的峰林形态,而下部是彼此相连成数十平方公里的基座。从 DEM 上来看,峰丛地势比较低缓,等高线也相对不是很密集。峰丛在影像上表现为豹斑状,形态为网格状、刀砍状或蜂窝状。一般斑点密集出现,峰体间也是紧密相连(表 1)。斑点越大则表明峰体越大。

峰林从 DEM 上看比较低矮。而从等高线来看,在同心圆的等高线中,外部等高线比较稀疏,内部比较密集。峰林在影像上也表现为豹斑状,但与峰丛有所不同。峰林的斑点比较稀少,说明峰体间相互分隔。在斑点比较稀少的区域,峰林形成了一种独特芝麻状结构,即峰林在遥感影像上可以看作是由无数大小圆点的芝麻状点构成。

峰林与峰丛二者较为相似,区别在于:(1) 从基座方面来看,同一基座上发育着多座峰丛,峰丛大面积分布于山地的中心部位;而峰林的基座是断续相连。(2) 从等高线形态来看,峰林的等高线是封闭同心的圆形曲线,山体上部的等高线比较密集,下部则比较稀疏。而峰丛的等高线相对来说比较稀疏。(3) 从周围发育的地貌类型来看,峰丛四周发育的喀斯特洼地或喀斯特盆地都不在同一溶蚀基准面上。峰林内部常发育有溶洞、落水洞及暗河。

孤峰主要是分布在喀斯特平原等地势比较平坦区域。在 DEM 上来表现为比较平坦地区突起一定高度的斑块。在影像上绝大多数可见零星分布在比较平坦地区上的小斑点。孤峰顶部一般为圆柱状、圆锥状、单斜状等。

2.5.2 水系 在喀斯特地貌中,与喀斯特地区流水较密切的地貌类型有暗流、干谷、盲谷和喀斯特洼地等。马山县主要发育有暗流、盲谷和喀斯特洼地。盲谷和暗流是相对的,暗流是指潜伏于地下的河流,而

盲谷则是指显露于地表的河流消失于溶洞或落水洞形成的无出口河谷。暗流在影像图上比较难判断,此次不做判读。盲谷在影像上,当具有色调均匀明显、边界清晰,且有自然弯曲或人工塑造痕迹明显的形态等特征的河流在遇到较高地形地貌时出现断流,则此河谷为盲谷。盲谷的周围会有较多的植被类型,可从影像上许多特征不一致的影像类型加以判断。在等高线中是用密集的等高线或陡崖符号表示盲谷的地貌形态。喀斯特洼地是由相邻的漏斗不断扩充、合并发展而形成的不规则平面轮廓的封闭洼地。在影像上,常发育于被峰林或峰丛围绕的地区。从等高线来看,喀斯特洼地分布在等高线比较密集的区域之间,它的形状多呈箱形弯曲状。

2.5.3 平原 岩溶盆地面积较大,可高达上百平方公里,在其影像中还可以看到些许喀斯特洼地、孤峰残丘。岩溶盆地相对比较平坦,四周被峰林或者峰丛围绕。从等高线来看,岩溶盆地发育于等高线比较密集的区域之间,它内部的等高线则比较稀疏。在相对稳定的地壳中,岩溶盆地逐渐扩张而形成喀斯特平原。喀斯特平原底部为红色黏土,其上零星分布有孤峰残丘,而在局部表土覆盖较薄区域会有岩石裸露,因而喀斯特平原在影像上的色调比较杂乱。从喀斯特平原周围环境来看,它常分布于地势较高的峰林或峰丛里面,因而在等高线图上它位于等高线比较密集的区域之间。喀斯特丘陵由丘陵和喀斯特洼地两者结合而成,是一种较弱程度的喀斯特地貌。从影像上来看,喀斯特丘陵的色调比较杂乱,不均匀的分布于喀斯特地区,但一般都是集中分布在某个地区,因而可见喀斯特丘陵波点起伏的影像特征。喀斯特洼地分布于等高线比较稀疏的地区,等高线值一般小于 300 m。

2.6 喀斯特景观格局评价方法

景观格局指数常用来评价景观质量,包括斑块水平指数、斑块类型水平指数以及景观水平指数。通过喀斯特区景观格局评价,可以客观描述各地貌斑块分布情况,揭示喀斯特区自然生态状况以及生态问题。本文主要利用 Fragstats 分析软件对喀斯特景观破碎程度、优势斑块类型和景观分布来进行评价,选用以下评价指标:(1) 斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、景观破碎度(LFI)来反映喀斯特景观破碎程度;(2) 最大斑块指数(LPI)、斑块类型占景观类型百分比(PLAND)、景观优势性指数(LDI)识别喀斯特景观中优势斑块类型;(3) 散布毗邻指数(IJI)、景观多样性指数(SHDI)、景观均匀性指数(SHEI)、蔓延度(CONTAG)反映喀斯特景观分布情况,具体指数见相关参考文献^[10-11]。

表 1 马山县 TM 影像(432 波段组合)与 GF-1 卫星影像(全色波段)喀斯特景观辅助解译标志

地貌类型	解译标志	备注
峰丛	色调比较均匀,呈蜂窝状、网格状、刀砍状等,斑点比较密集的出现,不规则分布	一般分布在山区
峰林	呈圆形,斑点间相互隔离,不规则分布	
孤峰	呈圆锥状,不规则分布	
盲谷	色调均匀,影像结构细腻,几何特征明显	洼地底部常分布有耕地;
喀斯特洼地	不规则长条状分布或点状分布	
岩溶盆地	规则分布,几何特征明显	
喀斯特平原	色调杂乱,边界清晰,几何特征明显,影像结构粗糙	主要分布于河谷和山间溶蚀盆地内
喀斯特丘陵	色调杂乱,波点分布,几何特征明显	

3 结果与分析

3.1 解译结果与精度评价分析

据遥感解译附图 5 和附图 6,马山县喀斯特地貌主要分布于马山县东北和西南部,发育有峰丛、喀斯特丘陵、喀斯特平原、喀斯特洼地、孤峰、岩溶盆地、峰林、盲谷八种岩溶地貌类型,其中峰丛发育最广。对比附图 5,附图 6 发现,二者存在细小差别。例如在马山县中部存在峰林和喀斯特平原, TM 影像存在漏判。在马山县西南方向和东北方向上, TM 影像解译出来的地貌类型边界与高分影像解译出来的边界有较大差异。高分影像解译的地貌类型边界较为清晰。

ENVI 软件的精度评价方法有混淆矩阵、ROC 曲线。本文采样混淆矩阵进行解译精度评价。由表 2 可知,高分数据解译结果总体精度为 98.02%, Kappa 系数为 0.97,而 TM 数据解译结果总体精度为 95.64%, Kappa 系数为 0.94。总体来看,二者解译精度均非常高,符合精度要求,证明该分类结果准确可用。从精度值来看,高分影像的精度比 TM 影像的精度略高,说明高分数据解译时相要优于 Landsat 卫星系列。这主要因为高分影像空间分辨率远高于 TM 影像。

表 2 TM 影像与高分数据影像的精度评价

影像类型	总体精度/%	Kappa
TM 影像	95.64	0.94
高分数据影像	98.02	0.97

3.2 喀斯特景观格局分析

由于高分数据的解译精度较高,故将高分影像解译结果导入 Fragstats 软件从斑块类型水平上和景观水平上分析马山县喀斯特景观特征。

(1) 斑块类型水平上分析。由表 3 可知,在马山县喀斯特景观类型中峰丛和喀斯特平原面积最大,分别为 82 007.0 hm², 51 673.5 hm²,其余类型面积分布较少。由斑块类型占景观类型百分比(PLAND)可知,峰丛、喀斯特平原值最大,分别为 35.03%, 22.07%,属马山县优势斑块类型,其次为峰林处于支配地位,占比 3.75%。而从峰丛和喀斯特平原最大斑块指数(LPI)

24.29%, 6.11%对比来看,峰丛占绝对优势,属优势类型。综上所述,峰丛是马山县优势景观类型。

散布毗邻指数(IJI)值大小反映了邻接斑块状况。值越小表示邻接斑块类型越少,而值越大反映了邻接斑块类型多样。当值为 100 则说明与其他类型等量相邻。由表 3 可知,马山县斑块邻接度整体较高,依次为盲谷(53.03%)>孤峰(41.31%)>峰林(41.03%)>喀斯特平原(38.51%)>喀斯特洼地(35.38%)>喀斯特丘陵(29.03%)>岩溶盆地(17.94%)>峰丛(17.25%)。盲谷是河流发育形成的条带状河谷,常横穿众多景观斑块,故其与其他斑块的邻接度最高。马山县喀斯特景观邻接程度较高,有利于维持区域景观的整体性。

从斑块密度(PD)和斑块数(NP)来看,虽然喀斯特平原的 PD 值、NP 相比其他斑块类型最高,分别为 0.14 个/100 hm² 和 329 个,但值整体水平偏低。例如 PD 值 0.14 个/100 hm²,表示每 1 000 hm² 上存在 1.4 个喀斯特平原斑块,说明喀斯特平原整体破碎程度不高,空间异质性较低。相比其他景观斑块,喀斯特平原更具有稳定性,承载了大部分人类干扰活动,缓冲了人类活动对其他斑块的干扰。进一步由景观破碎度指数(LFI)可知,各景观类型的破碎程度均比较轻微,只有喀斯特洼地的破碎程度稍大一些。喀斯特景观的破碎程度由大到小排列依次为:喀斯特洼地>盲谷>岩溶盆地>孤峰>峰林>喀斯特丘陵>喀斯特平原>峰丛>其他。马山县喀斯特洼地共有 4 个斑块,面积仅为 31.6 hm²,底部常用来耕作,故破碎程度相对稍高。可见,当前大面积人类干扰活动并没有对喀斯特景观产生重大干扰。

(2) 景观水平上分析。香农多样性指数(SHDI)反映了景观的复杂性及景观异质性,对各类型相对面积大小比较敏感。由表 4 可知,马山县喀斯特景观香农多样性指数(SHDI)为 1.23,表明马山县喀斯特景观多样性较高、空间异质性较强,而生态旅游开发潜力大。均匀度指数(SHEI)描述了景观类型在斑块数目和面积方面的均衡性,取值 0~1。马山县的景观均匀度指数(SHEI)为 0.56,表明马山县景观类型分布均衡性不高,这与峰丛和喀斯特平原面积占比过高

是一致的。蔓延度(CONTAG)反映了景观类型团聚程度,高蔓延值表明有优势斑块形成了良好的连接性。由马山县蔓延度(CONTAG)58.79%可以看出,

虽然峰丛和喀斯特平原占马山县面积一半以上,但未能形成良好的连接性。这与峰丛、喀斯特平原的 IJI 较低,分别为 17.25%,38.51%是一致的。

表 3 喀斯特景观格局特征值

类型	CA/hm ²	PLAND/%	NP/个	PD/(个/100 hm ²)	IJI/%	LPI/%	LFI
其他	90211.6	38.54	36	0.02	43.42	34.39	0.00
喀斯特平原	51673.5	22.07	329	0.14	38.51	6.11	0.01
峰丛	82007.0	35.03	44	0.02	17.25	24.29	0.00
峰林	8780.6	3.75	78	0.03	41.03	0.73	0.01
孤峰	370.8	0.16	18	0.01	41.31	0.02	0.05
岩溶盆地	623.2	0.27	35	0.02	17.94	0.06	0.06
喀斯特丘陵	299.8	0.13	2	0.00	29.03	0.10	0.01
盲谷	94.7	0.04	7	0.00	53.03	0.01	0.07
喀斯特洼地	31.6	0.014	4	0.00	35.38	0.00	0.13

马山县喀斯特地貌多样性较高,受人类活动影响较少,旅游开发潜力大,是因为:(1) 据《全国主体功能区规划》、《广西壮族自治区主体功能区规划》和《南宁市主体功能区规划》规划,马山县属于国家生态安全“两屏三带”中的南方山地丘陵地带和桂黔滇喀斯特石漠化防治生态功能区,是华南和西南地区重要生态安全屏障^[12],也是近年来中国西南石山地区石漠化治理典范,应以生态保护和生态建设为重;(2) 马山县依托丰富多样的喀斯特地貌,并结合壮乡文化,将生态保护与旅游支柱产业有机结合起来,积极创建“国家级生态示范区”,以实际行动诠释了“绿色发展”内涵。2014 年,马山县共接待国内外游客达 152 万人次,以旅游为龙头的第三产业对全县经济发展贡献率达到 53% 以上。以成功完成石漠化治理的马山县古零镇弄拉屯为例,属典型喀斯特山区。20 世纪 60 年代,弄拉屯山秃田少(耕地占比 2.27%)、地薄土少、水荒粮缺。在 2014 年马山县《关于加快环弄拉生态旅游区开发建设的决定》指导下,以打造中国弄拉石漠化地质公园、石漠化地质博物馆和生态环境建设为抓手,现已逐步建成森林覆盖率高达 95%、辐射弄拉屯周围 20 km 范围的弄拉生态旅游区。2014 年弄拉屯农民人均纯收入 9 560 元^[12],约接近全国平均水平 9 892 元。

表 4 喀斯特景观格局整体特征值

景观格局指数	SHDI	SHEI	CONTAG/%
值	1.23	0.56	58.79

4 结 论

(1) 基于高分影像和 TM 影像,综合运用 GIS 和 RS 技术,建立了相对清晰完整的喀斯特地貌遥感解译标志,为国产卫星数据应用以及深入研究喀斯特提供了支撑。通过精度分析发现,国产高分影像相比 TM 影像有很好的表现。

(2) 从喀斯特景观格局分析发现,马山县喀斯特景观保护较好。峰丛和喀斯特平原景观类型占比最

高,峰丛是马山县优势景观类型,人类活动对景观干扰较少。马山县喀斯特景观类型多样性高、异质性强、整体邻接度高、分布欠均衡。

喀斯特区生态环境本身较为脆弱,在摸清现状的情况下综合运用景观生态学、生态学、地理学、管理学等综合研究思路和方法,继续探索喀斯特区生态环境建设与人类社会协调发展是摆在我们面前的重大难题。

参考文献:

[1] 韩昭庆,冉有华,刘俊秀,等. 1930s—2000 年广西地区石漠化分布的变迁[J]. 地理学报,2016,71(3):390-399.

[2] 周成虎,程维明,钱金凯,等. 中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报,2009,11(6):707-724.

[3] 肖丹. “3S”技术支持下喀斯特景观解译与格局研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2006.

[4] 程中玲,徐刚,吴文骞,等. 中国 1:100 万数字地貌制图西南喀斯特地貌解译[J]. 水土保持研究,2007,14(5):99-102.

[5] 林俊清. 卫星像片上喀斯特地貌及水系的解译[J]. 贵州科学,2000,18(3):219-224.

[6] 卓宝熙. 工程地质遥感图像典型图谱[M]. 北京:科学出版社,1999:14-26.

[7] 董立强,刘春玲,聂洪峰. 中国南方岩溶石山地区石漠化遥感调查与演变研究[M]. 北京:科学出版社,2007:22-41.

[8] 程中玲,徐刚,田永中,等. 1:100 万数字地貌制图方法的试验:以昆明图幅(G—48)为例[J]. 测绘科学,2007,32(4):105-107,196.

[9] 覃厚仁,朱德浩. 中国南方热带、亚热带岩溶地貌分类方案[J]. 中国岩溶,1984(2):67-73.

[10] 陈宗铸,杨丽薇,黄国宁,等. 基于 Fragstats 的森林景观格局研究[J]. 热带林业,2014,42(2):47-49.

[11] 李秀珍,布仁仓,常禹,等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 2004,24(1):123-133.

[12] 唐咸兴. 发挥生态旅游脱贫增收带动作用[EB/OL]. <http://news.gxnews.com.cn/staticpages/20160112/newgx56942bbf-14255387.shtml>.