基于三维景观格局指数的张家界市土地利用格局时 空演化^{*1}

朱东国^{1,2}谢炳庚^{*1} 熊鹏²

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院,中国湖南长沙 410081;

2. 湘潭大学商学院,中国湖南湘潭 411105)

【摘 要】: 在 RS 和 GIS 技术的支持下,基于三维景观方法选取面积/密度、边缘/形状、多样性 3 个方面的景观 格局指数对典型山区张家界市 1995—2015 年的土地覆盖及其景观格局时空演化特征进行了分析。结果表明: 20 年 来,研究区土地利用景观要素类型发生了明显变化,表现为耕地、草地面积大幅度减少,林地和建设用地面积大幅 度增加,水域面积先增加后减少;耕地的主要去向是建设用地、林地和水域,林地增加的来源主要是草地和耕地。 研究区景观格局 20 年来的总体变化情况是多样性指数先下降后升高,破碎度先减少后增加,景观异质性先降低后 升高。同时,本研究显示,利用传统二维景观指数在进行定量描述该区景观格局变化时,低估了景观要素平均斑块 面积,而三维景观格局指数由于引入了地形特征,对研究区景观格局及其动态变化反映则相对精确。

【关键词】:土地利用格局;三维景观格局指数;二维景观格局指数;时空演化;张家界市

【中图分类号】: F301.2 【文献标志码】: A 【文章编号】: 1000 - 8462 (2017) 08 - 0168 - 08

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.08.022

土地利用/土地覆盖变化(LUCC)是景观生态学研究的重要领域和热点问题,并被认为是导致全球环境变化的两大主要因素 之一^[1]。景观指数是以景观几何特征为基础,具有高度浓缩景观格局信息的功能,因而被广泛应用于 LUCC 的空间格局分析,并 成为定量研究土地利用或景观格局的重要分析方法^[2]。目前,众多学者借助 RS 和 GIS 技术对不同区域的土地利用变化及其驱动 力^[3-5]、土地利用景观格局时空演变^[6-8]、土地利用/覆盖变化模型与预测^[9-12]等方面开展了大量研究,但在土地利用与景观格 局相结合的定量研究方面仍存在一些不足。譬如,现有的土地利用景观格局研究多数是基于二维平面信息的景观指数,而这种 二维景观指数忽略了自然地理因素中地形因子在土地利用/覆盖变化研究中的三维空间特性^[2,13-14],导致研究结果的失真。这是 因为研究土地利用景观格局的数据多源自于卫星遥感影像,而这些遥感影像多是通过将非平面的地表投射到二维笛卡尔空间上 形成的二维平面图。对于以山地丘陵为主的区域而言,通过遥感影像图提取二维平面信息获得的斑块距离和面积有可能小于实

¹ 收稿时间: 2016 - 11 - 06; 修回时间: 2017 - 05 - 23

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502406);湖南省教育厅一般项目(16C1567)

作者简介:朱东国(1970—),男,安徽来安人,副教授,博士研究生。主要研究方向为景观生态与土地利用。E-mail: zhudongguo@126.com。

^{*}通讯作者:谢炳庚(1961—),男,湖南长沙人,教授,博士生导师。主要研究方向为自然资源评价利用与景观生态。E-mail: xbgyb@sina.com。

际斑块的表面距离和表面积^[2]。

张家界属于典型的山地丘陵地区,全市山地占 75.9%,丘陵占 11.8%,是我国地理环境独特和生物多样性最丰富的地区之一。 目前,结合地形特征基于三维景观格局指数分析典型山区张家界土地利用格局的研究尚不多见。为此,本研究在地理信息系统 软件 ArcGIS10.0 的支持下,利用三维景观格局指数对张家界市 1995—2015 年来的土地利用景观格局特征进行分析。开展张家 界这类特殊地貌区域土地利用景观格局特征研究,不仅有助于探讨土地利用变化与景观生态过程的相互关系,而且对于促进该 区经济、社会与生态协调发展和土地资源的可持续精准利用具有重要意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

张家界市位于湖南省西北部(109°40′E~111°20′E, 28°52′N~29°48′N),辖永定、武陵源两区和慈利、桑植两 县,总面积9543 km²。研究区地处云贵高原与洞庭湖平原结合部,武陵山脉腹地,地势西北高,沿澧水向东南倾斜,境内地形 复杂多样,相对高差1815 m,属典型的山地丘陵区。土壤母岩以红色石英砂岩为主,形成以轻砂质中厚层黄壤、黄红壤为主的 土壤类型。该区气候属中亚热带山原型季风性湿润气候,光热充足,雨热同期,四季分明,多年平均气温16.2°C,多年平均降 雨量1400mm。研究区境内溪河纵横,水系以澧水和溇水为主,澧水流经市域的长度是313 km,流域面积8135km²,溇水是澧 水的最大支流,在市域境内流域面积为2565 km²。

2015年末,全市总人口169.97万人,比上年下降1.25%,其中常住人口152.4万人,城镇人口占比44.6%。全市实现GDP447.7亿元,比上年增长8.5%,其中,第一产业增长4.0%,第二产业增长5.5%,第三产业增长10.6%。全市三次产业结构为11.6:22.8:65.6,其中第一、二、三产业对经济增长的贡献率分别为5.3%、16.5%、78.2%。研究区拥有优美的自然风光和丰富的人文资源,获得国家森林公园、世界自然遗产、世界地质公园、国家5A级旅游景区、中国优秀旅游城市、世界特色魅力城市200强等多项称号。2015年接待游客5075.09万人次,比上年增长30.6%;实现旅游总收入340.7亿元,增长37%。随着旅游业的迅猛发展,研究区土地利用格局发生了较大变化。

1.2 数据来源与预处理

根据研究目的和研究区生态功能性质以及遥感影像的图像质量,选取中科院地理空间数据云提供的 30 m 空间分辨率 DEM 数据和研究区 1995 年 8 月、2005 年 9 月、2015 年 5 月的 TM 遥感影像数据(地面分辨率为 30 m × 30 m),以张家界市 1:5 万分幅地形图和研究区相关数据作为补充信息。以配准和拼接后的地形图为参考,利用 Erdas 软件对影像进行几何校正和图像对接,对遥感图像进行 RGB 三波段假彩色合成以最大程度的反映研究区真实面貌,再对比行政区划图在 ArcGIS 软件中进行影像的裁剪。利用非监督分类方法对遥感影像进行解译,并借助其它相关数据信息对非监督分类后的结果进行修正,得到研究区三个阶段的土地利用景观类型空间分布数据,将张家界市域土地利用划分为耕地、林地、草地、建设用地和水域等 5 种类型。最后运用 ArcGIS10.0 和 FragStats4.2 软件,进行数据格式转换、叠加分析、切割计算等基本处理,获得张家界市数据统计信息和相关景观格局指数。本文对研究区遥感解译数据进行了三次野外实地验证,对于 2015 年的遥感解译数据,共采集了 110 个 GPS 点进行精度验证,其中有 98 个点显示解译正确,正确率为 89.1%。在 1995 年和 2005 年遥感解译数据的基础上,查阅有关资料进行验证,得到 1995 年的解译精度为 86.4%, 2005 年的解译精度为 88.2%。

1.3 研究方法

1.3.1 地表粗糙度与地形起伏度的计算

地表粗糙度和地形起伏度是揭示区域地形变异特性、反映地表起伏变化程度的两个重要指标,对于提高景观格局分析的准确性具有至关重要的作用。地表粗糙度一般定义为地表单元曲面面积与其垂直投影面积之比,其计算公式为:

$$R = 1/Cos(slope \cdot 3.14159/180)$$
(1)

地形起伏度是指研究区域内所有栅格中最大高程与最小高程的差,它是描述一个地区地形特征的一个较为宏观的指标。本 文依据张家界市的具体情况和平均斑块面积,选择领域大小为10 m×10m 栅格的矩形窗口在 ArcGIS 软件中计算地形起伏度,其 运算表达式为:

$$RF_i = H_{\text{max}} - H_{\text{min}} \tag{2}$$

式中: RF_i 是分析窗口 i 内的地形起伏度; H_{max} 为最大值层面; H_{min} 为最小值层面。

1.3.2 景观指数选取

尽管描述土地利用格局特征的景观指数较多,但大部分指数所反映的格局特征往往不全面,并具有局限性。因此,本文根 据研究需要,参考前人的研究成果,考虑总体性、常用性、简化性的原则,选取那些能表达研究区景观结构及空间特征且其计 算是建立在斑块面积和周长计算基础上的景观指数,用于山丘区土地利用景观格局的定量化分析,所选景观指数分为两类。

①类型尺度指数:类型面积(CA),平均斑块面积(MPA),边缘密度(ED),景观形状指数(LSI),平均斑块分维数(MPFD)。

②景观层次指数:平均斑块面积(MPA),边缘密度(ED),景观形状指数(LSI),平均斑块分维数(MPFD),香农多样性指数(SDI),香农均匀度指数(SEI)。

1.3.3 二维和三维景观指数计算

二维景观指数的计算通过 FragStats4.2 软件完成。三维景观指数的计算主要参考已有的方法 [15-17] 进行。首先选取 DEM 数据进行三角形法和滑框算法的运算,可以较为精确地得出每个栅格的表面面积。由于在三维空间分布中,每个三角形都与中央栅格及其相邻的 2 个栅格的中心点相互连接,所以可先利用勾股定理算出三角形的边长,再通过与中央栅格相对应的 8 个三角形计算出它的表面面积;随后将修正后的遥感解译影像与研究区 DEM 数据相结合,再在 ArcGIS 中分斑块提取与之对应的各栅格表面面积,最后汇总各斑块的表面面积。同时,为了求出斑块表面周长,需要先转化得到多元线,再将转换后的多元线图层与研究区 DEM 数据结合求出各边界的表面长度,最后汇总算出各斑块的表面周长(图1)。据此算出的表面面积和周长与二维景观格局指数中的平面面积和周长差异显著,根据景观生态学中各景观格局指数的运算表达式,算出能够表征地形特征的三维景观格局指数。



图1 栅格表面面积计算方法示意图 Fig.1 Sketch of the calculation method to determine true surface area of patches

2 土地利用格局时空演化分析

2.1 土地利用景观要素基本结构及其空间分布

对 1995、2005 和 2015 年 3 期遥感影像进行解译,可得研究区 20 年间土地利用格局时空变化的分布图(图 2),从图中 可以看出研究区景观要素类型以林地、耕地和草地为主,分别占研究区总面积的 64%、20%和 6.8%以上,而其它 2 种景观类型(水 域和建设用地)所占比重很少,二者不到总面积的 4%,表明该区土地利用结构以林农牧业生产为主,符合张家界市自然地理条 件以及经济和社会发展的特点。从空间分布特征来看,研究区耕地主要分布在海拔较低的平原、盆地和坡度起伏较小的山地丘 岗区域;林地和草地主要分布在桑植县北部山区、中部武陵源区和南部的天门山景区、慈利县东部以五雷山风景区为核心的山 地;建设用地主要分布在永定区、武陵源区、桑植县和慈利县的中心城区,其它地方也有零星分布;澧水及其支流水面和部分 沅水支流水面构成了研究区的水域主体。



图 2 张家界市 1995、2005 和 2015 年土地利用格局 Fig.2 The land use patterns of Zhangjiajie City in 1995, 2005 and 2015

近年来,随着张家界城市化进程的推进和旅游发展水平的提高,张家界市的建设用地规模和水域用地规模呈现出逐渐上升的趋势;研究区林地面积的持续增加归因于生态退耕还林政策和天然林木保护等措施以及政府大力倡导产业结构调整,导致大量的耕地和荒草地转变为了林地。此外,张家界市人口的增长和政府大力发展基础设施建设致使居民点用地、交通用地等建设用地规模持续增长,耕地和草地面积大幅减少。近20年来研究区土地利用空间格局虽然发生了很大的变化,但林地、草地和耕地这三种土地利用形态仍占主导地位。

2.2 土地利用景观格局指数分析及时空变化

2.2.1 景观要素类型面积及密度指数

表1 列出了张家界市 1995、2005 和 2015 年土地利用景观要素类型面积指数(CA)的2 维值和3 维值。从中可以看出 CA的3 维值均大于相应的2 维值,1995—2005 年差异最大的是林地,差异最小的是建设用地;2005—2015 年差异最大的是耕地,差异最小的是草地。原因是 CA 指数与斑块表面面积有关,而斑块表面面积又与地形复杂程度呈正相关,地形越复杂,斑块表面

面积就越大。

	1 ab.1	Area change	s of rand-use	lanuscape el	ements in Zhang	giagie City from	1 1995 10 2015				
景观类型		199	5年		2005年						
	CA_2D	CA_3D	MPA_2D	MPA_3D	CA_2D	CA_3D	MPA_2D	MPA_3D			
耕地	226 311.8 (23.71)	230 213.1 (23.63)	43.86	44.71	218 800.8 (22.93)	222 477.1 (22.61)	98.82	100.50			
林地	616 453.9 (64.59)	624 592.1 (64.11)	306.54	310.63	647 173.4 (67.81)	669 422.8 (68.04)	416.64	430.62			
草地	100 464.5 (10.53)	108 144.5 (11.10)	141.50	152.29	66 251.5 (6.94)	69 711.7 (7.08)	149.55	156.74			
建设用地	3 510.7 (0.37)	3 555.7 (0.37)	8.46	8.56	5 153.8 (0.54)	5 206.8 (0.53)	20.13	20.29			
水域	7 623.3 (0.80)	7 693.6 (0.79)	93.6 79) 42.18 42.		16 993.4 (1.78)	17 119.6 (1.74)	27.36	27.53			
早如米刊	9	201	5年		1995—2005年景观类型面积变化 2005—2015年景观类型面积变化						
京观失望	CA_2D	CA_3D	MPA_2D	MPA_3D	CA_2D	CA_3D	CA_2D	CA_3D			
耕地	190 914.0 (20.00)	194 205.1 (19.98)	67.41	<mark>68.72</mark>	-7 511.0 (-3.32)	-7 736.0 (-3.36)	-27 886.8 (-12.75)	-28 272.0 (-12.71)			
林地	663 692.2 (69.54)	692 757.9 (69.20)	607.58	627.97	+30 719.5 (+4.98)	+45 230.7 (+7.24)	+16 518.8 (+2.55)	+23 335.1 (+3.49)			
草地	65 681.3 (6.88)	68 702.3 (7.27)	144.72	155.76	-34 213.0 (-34.05)	-38 433.2 (-35.54)	-570.2 (-0.86)	-1 009.4 (-1.45)			
建设用地	19 731.6 (2.07)	19 984.5 (2.06)	37.02	37.45	+1 643.0 (+46.80)	+1 651.1 (+46.44)	+14 577.8 (+282.86)	+14 777.7 (+283.82)			
水域	14 384.2 (1.51)	14 426.8 (1.49)	10.29	10.38	+9 370.1 (+122.91)	+9 426.0 (+122.52)	-2 609.2 (-15.35)	-2 692.8 (-15.73)			

表1 1995—2015 年张家界市景观要素类型面积变化 1 Area changes of land-use landscape elements in Zhangjiajie City from 1995 to 2015

注: CA 为类型面积(hm²), MPA 为平均斑块面积(hm²a); 括号内数据表示该类景观要素占整个景观要素类型面积的比例或增减百分数(%); "+"为增加, "-"为减少。

张家界市地形复杂,地貌多样,山丘广布,地形起伏度和地表粗糙度均较大(图3)。地形起伏度<30m的平原仅占7.8%, 起伏度在30~70m的台地占25.4%,起伏度在71~200m的丘陵面积占55.9%,地形起伏度>200m的山地占10.9%。而张家界市 林地主要集中分布在起伏度较大的山地丘陵等区域,这些区域地形复杂,地表粗糙度较大。由于张家界市各地类空间分布与地 形起伏度、地表粗糙度的空间分布一致,从而使各地类三维地表表面面积有别于二维平面面积,导致各地类在整个景观中所占 比例发生一定变化,这表明由三维方法计算得出的景观要素各类型面积更接近真实情况,可以相对精确地反映研究区的土地利 用结构。



图 3 张家界市地形起伏度和地表粗糙度空间分布 Fig.3 Distribution of terrain relief and surface roughness of Zhangjiajie City

1995-2005年张家界景观要素各类型面积均发生了不同程度的变化,其中减少幅度最大的是草地,其次是耕地;增加幅度 最明显的是水域和建设用地,其次是林地(表1)。CA 2D 显示,在1995-2005 年期间草地和耕地分别减少34213.0和7511.0hm², 而 CA_3D 显示却分别减少了 38 433.2 和 7 736.0 hm²,说明传统的 2D 类型面积指数可能使研究区草地和耕地的减少面积分别 被低估了 4 220.2 和 225.0 hm²; 同样,水域和建设用地的 CA 2D 分别增加了 9 370.1 和 1 643.0 hm²,而 CA 3D 却分别增加了 9 426.0 和1 651.1 hm², 较 CA 2D 分别增加了 55.9 和 8.1 hm², 表明 CA 2D 同样低估了水域和建设用地的变化。主要原因是张 家界为了适应旅游产业的发展和保护世界自然遗产资源,2002年以后实施了生态退耕还林等措施致使大量的陡坡耕地和荒草地 转变为林地。此外,人口增长压力使得大量荒草地被开垦为耕地也是草地面积迅速减少的重要因素。而建设用地的快速增长则 归因于近些年大力发展市政基础设施和休闲娱乐度假等旅游设施用地量的增长。另外,在整个景观要素类型面积的变化中,变 化幅度最大的是水域,其原因是张家界近几年来对大中小型水库加大了投入,使水库面积持续增加。2005-2015年张家界景观 要素各类型面积也发生了显著变化,其中减少幅度最大的是水域和耕地,其次是草地、增加幅度最明显的是建设用地,其次是 林地(表1)。CA 2D 显示,在 2005—2015 年期间水域和耕地分别减少 2 609.2 和 27 886.8 hm²,而 CA 3D 显示却分别减少了 2 692.8 和 28 272 hm², 说明传统的 2D 类型面积指数可能使研究区水域和耕地的减少面积分别被低估了 83.6 和 385.2 hm²; 同 样,建设用地和林地的 CA_2D 分别增加了 14 577.8 和 16 518.8 hm²,而 CA_3D 却分别增加了 14 777.7 和 23 335.1 hm²,较 CA 2D 分别增加了 199.9 和 6 816.3 hm²,表明 CA 2D 同样低估了建设用地和林地的变化。主要原因是 2003 年国务院《退耕还 林条例》的正式施行,全面启动了退耕还林工程,致使张家界森林覆盖率达到69%以上。相比较而言,草地变化不是很明显,只 有略微的减少。而建设用地的增长则是政府为了适应经济发展新常态,大力推进"四个武陵源"建设,并按照国际化的标准配 套完善接待设施而快速发展起来的。此外,张家界水域面积的减少归因于近几年溇水流域紫色页岩区和澧水流域泥质页岩区的 水土流失严重。

景观类型		1995年(2D)			2005年(2D)		2015年(2D)		
	ED/(m/ha)	LSI	MPFD	ED/(m/ha)	LSI	MPFD	ED/(m/ha)	LSI	MPFD
耕地	25.26	127.06	1.091	19.62	100.50	1.047	36.06	166.83	1.167
林地	27.96	86.89	1.073	22.15	67.77	1.038	50.32	149.24	1.164
草地	7.13	54.59	1.090	4.51	42.15	1.066	20.44	52.23	1.161
建设用地	0.68	23.98	1.062	0.60	22.68	1.022	3.51	59.76	1.146
水域	1.09	30.12	1.069	2.49	46.06	1.025	2.29	45.54	1.176
景观类型	1995年(3D)			2005年(3D)			2015年(3D)		
	ED/(m/ha)	LSI	MPFD	ED/(m/ha)	LSI	MPFD	ED/(m/ha)	LSI	MPFD
耕地	25.02	127.05	1.090	19.44	100.47	1.044	35.73	166.78	1.166
林地	27.77	86.88	1.072	21.65	67.38	1.037	49.18	148.38	1.163
草地	7.06	54.02	1.089	4.36	41.85	1.064	19.76	51.86	1.161
建设用地	0.68	23.98	1.061	0.59	22.71	1.021	3.45	59.84	1.145
水域	1.08	30.17	1.069	2.49	46.11	1.024	2.27	45.59	1.175

表2 1995、2005和2015年景观类型级别上的景观格局指数 Tab 2 Landscape pattern indexes at class level in 1995 2005 and 2015

注:ED为边缘密度,LSI为景观形状指数,MPFD为平均斑块分维数。

表3 1995、2005 和2015 年景观尺度上的景观格局指数 Tab.3 Landscape indexes at landscape level in 1995,2005 and 2015

年份	MP.	MPA/ha		ED/(m/ha)		LSI		MPFD		SEI		SDI	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	
1995	108.51	111.75	12.41	12.31	64.53	64.42	1.077	1.076	0.572	0.574	0.919	0.925	
2005	142.50	147.14	9.89	9.72	55.83	55.71	1.039	1.038	0.551	0.553	0.886	0.887	
2015	173.40	180.06	22.52	22.13	94.71	94.51	1.163	1.162	0.56	0.562	0.902	0.903	

注:MPA为平均斑块面积,ED为边缘密度,LSI为景观形状指数,MPFD为平均斑块分维数,SEI为香农均匀度指数,SDI为香农多样性指数。

作为衡量景观或生境破碎化程度的重要指标之一的平均斑块面积指数(MPA),无论在类型水平还是景观水平上,运用三维 方法计算出张家界市 1995、2005 和 2015 年三个不同时期的 MPA 均大于二维平面模型计算出的 MPA(表 3),因为 MPA 与斑块表 面面积有关,传统的二维景观格局指数根据平面信息算出,土地利用分类图的初始数据来源于遥感影像,由栅格数据构成,而 张家界地形复杂,境内很少有完全呈网格状的斑块存在,当考虑地形等因素时,二维景观指数在分析张家界市土地利用景观破 碎化程度变化量时有可能被低估,说明依据三维表面面积和周长计算得到的三维景观格局指数可以相对真实地反映张家界各地 类面积和密度等信息。由表1可知,1995—2005年张家界市各景观要素类型平均斑块面积除水域外均有不同程度的增加,其中 建设用地和耕地增加幅度最为剧烈。这是因为张家界市属于典型的山丘地区,农业占主导地位,随着大量山丘岗地被开垦利用, 形成了面积小而零散分布的地块;自 2002 年以后,随着产业结构的调整和退耕还林的实施,加快了新农业开发和中低产田的改 造,大量坡耕地转变为林地,使耕地斑块数明显减少而平均斑块面积显著增大。另一方面,经济发展和人口增长使得居民点及 道路用地不断扩张且增加幅度逐年上升,从而形成相对集中的居民区、旅游区和工矿用地,使其平均斑块面积明显增加。水域 平均斑块面积的减小缘于近几年张家界市对中小型水库等水利设施的新建与改造,形成众多分散且面积小的水利工程,在一定 程度上提高了研究区景观格局的异质性。2005—2015年张家界市各景观要素类型平均斑块面积除水域、草地、耕地减少外,建 设用地和林地增加幅度较大。归因于近几年政府对自然资源环境的保护,大量的耕地转变为林地,生态环境得到了较大的改善, 致使以往分布不均的林地连接成片使平均斑块面积增大;相反,耕地的平均斑块面积减少。另一方面,张家界经济实力的增强 和外来人口的流动使得城市用地规模不断扩张,从而大面积地建设住宅区和度假区,使其平均斑块面积显著增加。草地平均斑 块面积的减少来源于农民对荒草地没有规律的开垦以及退耕还林政策的持续影响。水域平均斑块面积的明显减小缘于近几年来 张家界市水土流失严重。从景观水平上看,研究区的 MPA 也表现出大幅上升(表3),这说明 1995-2015 年张家界市景观在整 体上破碎化程度在下降,连通性增强,生态系统的稳定性和抗干扰能力增加,区域生态系统的安全性在提高。

2.2.2 边缘与形状指数

表 2 和表 3 显示,无论是类型尺度还是景观尺度,基于三维方法测定的边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)和平均斑块 分维数(MPFD)与二维方法测定的结果并无明显差异,说明边缘密度、景观形状指数和平均斑块分维数对斑块形状变化不敏感。 原因是上述 3 个指数的计算是建立在各景观类型周长与景观类型面积比值基础之上,因而在指数计算过程中缩小了斑块表面面 积和表面周长与二维投影面积和投影周长之间的差异,但三维指数较接近真实情况。ED 是反映斑块边界复杂程度与景观异构性 的重要指标之一。在面积一定的情况下,斑块数越多,边界总长度就越大,ED 值就越高,指示的斑块形状越复杂,景观异构性 越高。1995—2005年,张家界市水域景观类型的 ED 呈增加趋势,其它景观类型的 ED 均呈减小趋势(表 2),说明水域的边界 形状更加复杂,破碎度有所增加;而其它类型边界的复杂程度则有所降低。2005—2015年,张家界市水域景观类型的 ED 呈减少 趋势,其它景观类型的 ED 均呈增加趋势(表 2),说明近几年耕地、林地、草地、建设用地的边界形状变得复杂,破碎度明显 增加,而水域的边界复杂度逐渐降低。

LSI 是景观形状指数,1995—2005 年水域的 LSI 随时间变化有明显的升高,其三维值从 1995 年的 30.17 提高到 2005 年的 46.11,表明水域在人类活动干扰下其斑块形状和边界的复杂程度进一步加大。而其它 4 种景观类型的 LSI 在 2005 年均有不同 程度的下降(表 2),说明在人类活动的干预下耕地、林地、草地和建设用地景观斑块形状趋于简单,其中耕地 LSI 在 1995—2005 年下降幅度最大,表明随着土地整治等措施的实施,耕地所受干扰强度加大,致使耕地斑块边界更加规整、斑块形状简化。 建设用地 LSI 最小,且呈轻微的下降趋势,说明研究区后期建设规划较前期有序、合理,从而使斑块结构有所简化,但幅度不 明显(表 2)。2005—2015 年,水域的 LSI 随时间的推移下降的幅度不大,说明近几年人们对于水资源的利用比较合理。而其 它 4 种景观类型的 LSI 在该时间段里均有较大幅度的升高,说明耕地、林地、草地和建设用地景观斑块在各种因素的影响下越 来越复杂了,其中林地增加的幅度最为明显。

平均斑块分维数(MPFD)是反映景观格局总体特征的重要指标,同时也在一定程度上揭示人类活动对景观格局的影响。MPFD 通常在 1~2 之间变化,其值越接近 1,说明景观受人类活动干扰的程度越大。1995—2005 年,张家界市各景观 MPFD 差异不大,均比较接近于 1 (表 2),五种景观类型 MPFD 均略有减小,表明研究区景观受人类活动的干扰程度持续较大。2005—2015 年,五种景观类型 MPFD 均有较大程度的增加,表明研究区景观相对于前十年受人类活动的干扰程度有所降低。

在景观尺度上,张家界市 2005 年的 ED、LSI 和 MPFD 较 1995 年都有不同程度的下降(表 3),表明研究区 2005 年景观整体 边界形状较 1995 年平直、规则,其复杂程度和景观异构性有所降低,这主要是由于人为因素的影响不断增强所致。到 2015 年, 张家界市的 ED、LSI 和 MPFD 较 2005 年又有不同程度的增加(表 3),说明研究区的景观整体边界形状近几年表现得十分复杂, 景观异质性提高,这主要归因于政府对研究区人为活动的控制。

2.2.3 景观多样性指数

香农多样性指数(SDI)和香农均匀度指数(SEI)是衡量不同景观或同一景观不同时期多样性变化的常用指数。由表3可以看出,基于三维方法计算的SDI和SEI与其相应的二维指数差异不显著,原因是该指数的计算是基于景观中各地类所占的比例,这在一定程度上缩小了表面面积与平面面积的差异,但相对于二维指数可能更真实地反映景观格局。研究区1995—2005年 景观多样性指数呈下降趋势(表3),三维SDI和SEI分别从0.925和0.574下降到0.887和0.553,说明张家界市2005年各 类景观类型的面积比例差异增大,优势景观类型份额增加,景观异质程度降低。这与该区一直是以林地占优势地位的实际情况 相吻合。主要原因是张家界近年来退耕还林和天然林保护等措施的实施使得林地景观类型所占比例进一步提高,从而对景观的 主控作用增强。2005—2015年,景观多样性指数呈上升趋势,三维SDI和SEI分别增加到了0.903和0.562,说明近些年来人 为因素的破坏导致优势景观类型份额的减少,景观异质性程度提高。

3 结论与讨论

本研究以张家界市 1995、2005 和 2015 年三期土地利用遥感影像数据为基础,运用景观格局指数软件和相关技术手段分别 得出二维和三维景观格局指数,定量分析了二维景观指数与三维景观指数在山地丘陵区景观格局中的差异,研究结果表明:

①张家界市土地利用景观要素近 20 年来发生了明显变化。1995—2005 年主要表现在水域、林地和建设用地面积大幅度增加, 耕地、草地面积大幅度减少;林地增加的来源主要是草地和耕地,耕地的去向主要是建设用地、林地和水域。2005—2015 年主 要表现为耕地、草地面积持续减少;水域面积因水土流失严重而减少,林地和建设用地面积的不断增加来自于耕地和草地的转 化。

②1995—2005年由于人为干预强度不断加大,研究区耕地、林地、草地和建设用地的斑块形状变得更为简单,边界更加规则,连通性增强;而水域斑块的形状则变得复杂,破碎度增加,连通性降低。2005—2015年人为活动得到了有效控制,导致研究区耕地、林地、草地和建设用地的斑块形状变得复杂,破碎度显著增加;而水域的边界复杂度慢慢降低,连通性增强。研究 区景观格局 20 年来的总体趋势是多样性指数先下降后升高,破碎度先减少后增加,景观异质性先降低后升高。

本研究采用三维方法计算出的景观要素各类型面积更接近真实情况,说明依据三维表面面积和周长计算得到的三维景观格 局指数可以相对精确地反映张家界各地类面积和密度等信息。但基于三维方法测定的各地类形状指数、多样性指数与二维方法 测定的结果并无明显差异,说明各地类形状指数、多样性指数对斑块形状变化不敏感,而山区地形对景观斑块形状以及对景观 异质性的影响是毋庸置疑的。因此在以后的研究中有必要对现有的形状指数、多样性指数做进一步的改进,使其更好地反映地 形因素的变化,为深入探讨土地可持续精准利用与景观格局动态演变提供更科学的研究方法。同时,对张家界市土地利用变化 空间差异的定量分析有待加强。

参考文献:

[1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6): 553 - 558.

[2] 张志明, 罗亲普, 王文礼, 等. 2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5 886 -5 893.

[3] 史利江,王圣云,姚晓军,等. 1994—2006 年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析 [J]. 长江流域资源与 环境, 2012, 21(12): 1 468 - 1 479.

[4] 马晴,李丁,廖杰,等. 疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析 [J]. 经济地理, 2014, 34(1): 148-155.

[5] 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(1): 3-14.

[6] 刘贤赵,王巍. 烟台沿海地区土地利用景观格局演变研究 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 79 - 85.

[7] 龚文峰,袁力,范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析 [J]. 农业工程学报,2013,29(2):250 - 259.

[8] 林孟龙,曹宇,王鑫.基于景观指数的景观格局分析方法的局限性:以台湾宜兰利泽简湿地为例 [J].应用生态学报,2008,19(1):139-143.

10

[9] 刘福辉,杨敏华.张家界市武陵源区土地利用/土地覆盖变化分析 [J].测绘与空间地理信息,2009,32(4):157-162.

[10] 周锐,苏海龙,王新军,等. CLUE-S 模型对村镇土地利用变化的模拟与精度评价[J]. 长江流域资源与环境,2012, 21(2): 174 - 180.

[11] 吴桂平,曾永年,冯学智,等. CLUE-S 模型的改进与土地利用变化动态模拟——以张家界市永定区为例 [J].地理研究,2010,29(3):460 - 470.

[12] Wen J Y, Wei Q Z, Yu G Q, et al. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method [J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 177(5): 37 - 47.

[13] 姚梦园,晏实江,吴艳兰.基于理想生态系统模式与三维景观指数的徽派村落空间特征解析——以呈坎为例[J]. 应用生态学报,2016(12):3 905 - 3 912.

[14] Wu Z F, Wei L Z, Lv Z Q. Landscape pattern metrics: An empirical study from 2-D to 3-D [J]. Physical Geography, 2012, 33(4): 383 - 402.

[15] Jenness J S. Calculating landscape surface area from digital elevation models [J]. Wildlife Society Bulletin, 2004, 32: 829 -839.

[16] 路超,齐伟,李乐,等. 二维与三维景观格局指数在山区县域景观格局分析中的应用[J]. 应用生态学报,2012, 23(5):1351 - 1358.

[17] Chen Z Y, Xu B, Bernard Devereux. Urban landscape pattern analysis based on 3D landscape models [J].
Applied Geography, 2014, 55(12): 82 - 91