

引 用 格 式: YANG Zhenqi, MA Mingyou, TIAN Jianlin. Terrain differentiation and driving mechanism of land use landscape pattern[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2023, 38(5): 1226-1238. [杨 祯 琦, 麻 明 友, 田 建 林. 土地利用景观格局的地形分异及驱动机制研究[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(5): 1226-1238.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2023.5.1226

土地利用景观格局的地形分异及驱动机制研究 ——以张家界市永定区为例

杨 祯 琦^{1,2}, 麻 明 友², 田 建 林²

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 吉首大学 土木工程与建筑学院, 湖南 张家界 427000)

摘要: 研究土地利用景观格局的地形分异特征及其驱动机制, 对于土地利用优化及景观动态管理具有重要意义。选择地形复杂、覆被类型多样、以旅游干扰为主的张家界市永定区为研究对象, 将研究区多个年份的景观类型图与高程、坡度、坡向分级图逐个叠加并进行分类统计; 从景观水平指数和类型水平指数中选取斑块密度(PD)、聚合度指数(AI)、蔓延度指数(CONTAG)等 8 个景观指数, 计算指数年份变化, 探讨其地形分异规律和驱动机制。结果表明: ①研究区土地利用景观类型具有明显的海拔梯度特征, 80% 以上的土地面积集中于海拔 300~800 m 与坡度 6°~35°的区域; ②无论是景观水平指数还是类型水平指数, 其地形分异特征明显, 且高程与坡度的分异明显高于坡向分异; ③地形梯度较大区域(高海拔陡坡区)的土地利用景观格局演变以自然生态演变为导向为主, 而地形梯度较小区域(低海拔缓坡区域)的演变受社会经济因子干扰较明显。

关 键 词: 土地利用; 景观格局; 地形分异; 驱动机制; 张家界永定区; RS 与 GIS

中图分类号: P901; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2023)05-1226-13

1 引 言

景观格局变化是影响整个生态系统动态平衡和自我调节能力的重要组成部分和主要原因之一, 也是判定人类活动适宜方式和尺度的重要测度指标^[1]。RS 与 GIS 技术因其能给予地理与生态学家以前所未有的量化能力与现实性, 特别是在景观格局动态演变分析中具有其他数据类型无可取代的优越性, 因此在景观生态学领域被广泛应用^[2-3]。杨民英等^[4]采用 GIS 和 RS 技术并运用 Fragstats 计算景观格局指数, 对大春河流域的景观格局演变特征进行了定量分析。陈颐等^[5]基于 RS 与 GIS 综合分析了莆田市 20 a 间土地利用与景观格局的结构变化。城市土地利用演变研究不断走向精细化与个

性化, 单纯对土地利用变化的分析虽能反映城镇化进程中区域土地利用变化的面积及数量特征^[6-8], 但无法表征整体空间格局各组分的配置关系, 因此, 土地利用的演变研究逐渐与景观格局演变研究相结合, 以从全维度深刻揭示城镇化进程中区域土地利用景观格局随地形演变的特征^[9]。

城市与区域土地利用景观格局驱动机制研究由来已久且研究成果颇为丰富, 国内外学者对此研究的侧重点也略有不同, 欧美地区的学者着重于人类活动对于城市周围土地利用景观格局的影响^[10-11], 国内学者则更注重城镇化过程中社会经济因素对土地利用景观格局的综合作用分析^[12-13]。目前对于区域土地利用景观格局及其驱动机制研究仅仅局限于对几何分布特征的数据描述与定量分

收稿日期: 2022-06-06; 修订日期: 2023-09-01

基金项目: 2021 年湖南省研究生科研创新项目(CX20211059)。

作者简介: 杨祯琦(1988—), 女, 湖南龙山人, 博士研究生, 主要从事激光雷达遥感应用研究。E-mail: 171825364@qq.com

通讯作者: 田建林(1976—), 男, 湖南茶陵人, 博士研究生, 副教授, 主要从事环境遥感与城乡景观规划研究。E-mail: 185363236@qq.com

析^[14-15],缺少对城镇化过程中出现的具体问题的探讨,使得区域土地利用景观格局分析跳脱不出几何特征的研究范式,并且不同区域在不同发展阶段的空间格局发展特征与驱动机制具有较为明显的区域性与差异性,而现在对于区域土地利用景观格局的研究往往套用典型城市的研究方法,缺乏针对性,因此对于特定区域其土地利用景观格局的时空分异研究和动态监测亟待进一步深入。

张家界地处武陵山片区,地形地貌特色鲜明,地形以山地为主,全市山地占比高达75.9%^[16],地貌独特,分布着规模巨大的砂岩地貌,形态层次多样,生物物种丰富,为张家界打造山水资源型城市提供了天然禀赋,也有力促进了张家界旅游经济快速发展^[17-19]。近年来,张家界大力推进全域旅游发展,加快旅游资源整合开发,加大文旅基础设施项目建设,热火朝天推动各类经济开发建设,严重威胁了区域生态健康^[20]。而永定区作为张家界的旅游核心区,是张家界经济发展最为迅速的区域,同时也是土地利用方式转变方式最为剧烈和生态过程最为复杂的区域。该区域土地资源的供求关系矛盾突出,生态资源的保护与开发如何两者兼顾,人与自然可持续发展成为当前张家界亟待解决的重要问题^[21]。

本文旨在通过研究张家界市永定区土地利用景观格局随地形因子分异的变化规律,揭示地形因子与研究区土地利用景观格局的耦合变化过程,以期为研究区土地利用景观格局的优化与管理决策提供参考,研究内容主要包括:①永定区景观格局指数随地形分异的特征统计与分析;②地形因素与山区土地利用景观格局的相关性分析;③研究区土地利用景观格局地形分异及其与社会因子之间的耦合模型建立。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

永定区地处湖南省西北部与武陵山脉的北支中段,是张家界市辖区之一。地域范围为110°04′~110°55′ E,28°52′~29°25′ N,占地2 183.32 km²,生态保护区域为1 244.99 km²,约占总面积的57.41%。区域内群山起伏、沟谷纵横,相对高差较大,最大高差为1 392.6 m。境内地势总体可分为南北两部分,南部区域向沅水呈梯级递降,北部区域往澧水倾斜,中部地势低且呈半月形盆地形态。永定拥有得

天独厚的自然风光和丰富的生态资源,森林覆盖率较高,达71%。中部澧水长达96.8 km,自西向东蜿蜒而下,贯穿境内,总控制流域面积达1 614.29 km²。

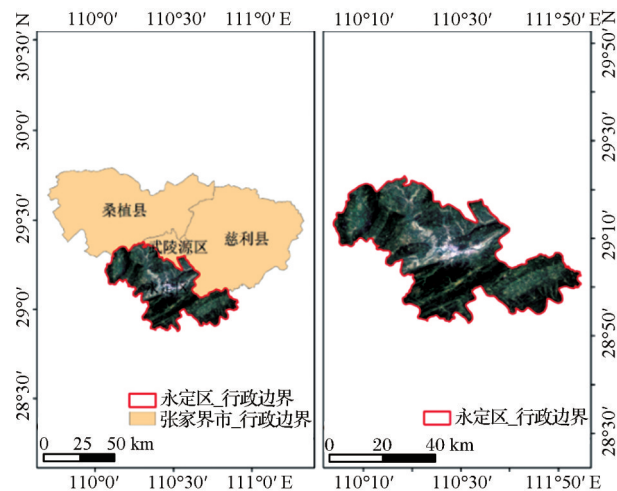


图1 张家界市永定区区位图

Fig.1 Location Map of Yongding District, Zhangjiajie City

2.2 数据来源

遥感数据因其具有多尺度、多波段、多时相及经济性等特点,已成为研究土地利用景观格局变化行之有效的手段。目前在研究中运用的遥感影像的数据类型多样,波段信息、空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率及获取成本等方面均有区别。因此根据本研究的目的和数据的可获取性以及经济性原则,选取 Landsat 的 TM 和 OLI 影像数据作为本研究的基础数据。与其他遥感数据源相比,它具有起始年份早,数据完整,单幅影像覆盖范围广,空间分辨率适中、波段信息丰富的特点。考虑到国家土地利用总体规划修编周期和城市规划编制周期,结合永定区的地理分布特征、植被生长周期状况和社会经济的实际发展情况,从中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn>)下载 2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年 4 期张家界市永定区土地利用/覆被数据,总体分类精度达 90% 以上,能够满足研究要求。

永定区的 DEM 数据(数字高程模型)来自中国科学院计算机网络信息中心,数据来源 NASA 的 ASTERDEM 数据,空间分辨率为 30 m。其他统计数据来源于知网(<http://www.cnki.net/>)各年份《中国城市统计年鉴》、《张家界统计年鉴》、以及张家界市永定区统计局统计公报。

3 研究方法

3.1 遥感影像分类

利用 ENVI5.3 软件对经过预处理后的 TM / OLI 影像进行土地利用景观分类,分类参照景观生态分类标准、国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017),永定区土地利用景观格局的实际情况及研究目的,研究建立了耕地、林地、草地、水域和建设用地 5 种景观类型,各景观类型的含义如表 1 所示。

3.2 地形因子分级

永定区景观格局复杂,山丘广布,地形因子对土地利用景观格局的演变影响显著。为获得土地利用景观格局的地形分异规律和特征,由 DEM 生成永定区地形因子图,并结合永定区实际情况进行

表 1 永定区土地利用景观类型分类体系及含义
Table 1 Classification system and meaning of land use landscape types in Yongding District

地类名称	含义
耕地	指种植农作物的土地,包含旱地、水浇地、水田
林地	指生长竹类、乔木、灌木的土地
草地	指以天然草本植物为主,用于放牧或割草的草地
水域	指天然形成的河流水面、湖泊水面、滩涂等
建设用地	指建造建筑物、构筑物的土地,包括农村居民点用地、城镇用地、交通运输用地、特殊用地等

地形因子等级划分,具体见图 2。其中高程划分为 5 个等级,即 1(<200 m)、2(200~300 m)、3(300~500 m)、4(500~800 m)、5(>800 m);坡度划分为 5 个等级,即 1(<6°)、2(6°~15°)、3(15°~25°)、4(25~35°)、5(>35°);坡向分为 9 类,即平缓地、北坡、东北坡、东坡、东南坡、南坡、西南坡、西坡、西北坡。

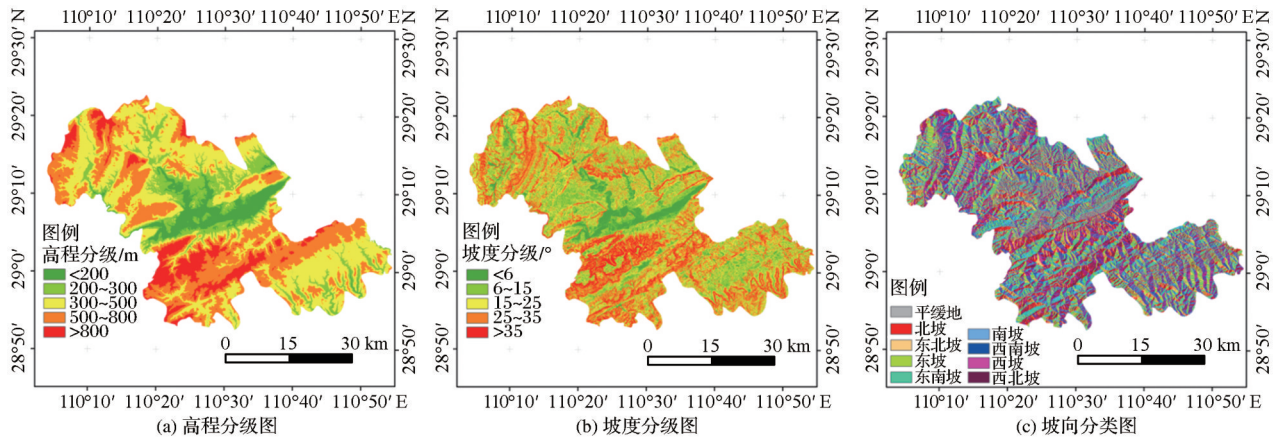


图 2 永定区地形因子等级划分图

Fig.2 Classification map of terrain factors in Yongding District

3.3 景观格局指数选取

景观格局指数能够高度概括区域景观格局的信息,表征其结构组成和空间配置方面的差异,也可以定量描述和监测景观空间结构的时空变化情况^[5]。按照度量尺度的不同,景观格局指数可以划分为斑块水平指数、类型水平指数和景观水平指数 3 个层次。实验的研究重点探寻以山水资源为发展依靠的张家界永定区自身土地利用景观格局的演变与城镇扩张、经济的发展、人口的增长和土地政策之间的关系,因此,为了突出考量永定区土地利用景观类型的整体特征,本文参照前人相关研究^[22],在选取景观格局指数时遵循以下原则:①整体性原则:实验的研究重点为景观整体空间特征分析,因此仅选择类型水平和景观水平两个层次对景

观格局进行分析;②常用性原则:选取使用频次较高、说服力强的指数以便指数理解并与其他研究成果进行对比;③针对性原则:从实际出发,考虑到永定区的生态环境优良且山水文化厚重,针对性的选择景观面积类与表征景观破碎度与生物多样性的指数。类型水平指数由斑块密度(PD)、最大面积指数(LPI)、聚合度指数(AI)组成,景观水平指数由斑块密度(PD*)、最大面积指数(LPI*)、蔓延度指数(CONTAG)、香浓多样性指数(SHDI)、聚合度指数(AI*)组成。各指数的生态学意义和相关算法详见参考文献^[23]。为了保证全文土地利用景观类型分类与像元大小的一致性,将景观分类图转换为栅格数据,在 Fragstats4.2 中选择相应的类型水平指数和景观水平指数进行景观格局指数的计算。

4 结果与分析

4.1 土地利用景观类型地形分布研究

林地是永定区的优势土地利用景观类型,其面积约占研究区的 65%,其次是耕地和草地,3 种土地利用景观类型的面积之和占总面积 97% 以上(见表 2)。

就高程而言(表 3),耕地的主要区域分布在 200~800 m 之间,面积比超过了 75% 以上,尤其以

300~500 m 最为集中,比例在 35% 以上。林地、草地高度集中区域为 300~800 m 之间,面积占比分别达到了 75% 和 60% 以上。水域的主要分布区域则在 200 m 以下,面积占比为 55% 左右,此外,在 200~300 m 与 300~500 m 区域分别分布了约 25% 和 10% 左右的水域。70% 以上的建设用地分布于海拔 200 m 以下的地区,另外有 15% 以上和 10% 左右的建设用地分布于 200~300 m 与 300~500 m 的区域。

表 2 永定区 2005-2020 年不同土地利用景观类型面积及比例(单位:hm ²)						
Table 2 Area and proportion of different land use landscape types in Yongding District, 2005~2020(unit:hm ²)						
年份	面积/比例	耕地	林地	草地	水域	建设用地
2000	面积	52 400.07	142 725.24	19 050.66	2 336.40	1 819.71
	比例	24.00	65.37	8.73	1.07	0.83
2005	面积	52 241.85	142 686.63	19 045.26	2 347.02	2 011.32
	比例	23.93	65.35	8.72	1.07	0.92
2015	面积	52 168.95	142 289.91	18 909.63	2 329.20	2 634.39
	比例	23.89	65.17	8.66	1.07	1.21
2020	面积	50 561.00	142 542.00	18 861.80	2 276.10	4 091.58
	比例	23.16	65.29	8.64	1.04	1.87

表 3 永定区 2005~2020 年土地利用景观类型面积高程分布统计表(单位:hm ²)						
Table 3 Statistical table of land use landscape type area elevation differentiation in Yongding District from 2005 to 2020 (unit:hm ²)						
类型	年份	高程分级				
		<200 m	200~300 m	300~500 m	500~800 m	>800 m
耕地	2005	9 755.19	11 054.61	20 080.89	10 190.16	1 314.36
	2010	9 669.24	11 029.50	20 072.79	10 160.01	1 305.45
	2015	9 417.15	10 908.09	20 114.19	10 342.98	1 381.68
	2020	8 455.14	10 816.38	19 753.2	10 140.21	1 391.22
林地	2005	3 492.36	14 522.13	59 131.08	52 520.49	13 023.54
	2010	3 484.26	14 486.13	59 100.75	52 547.40	13 032.45
	2015	3 429.09	14 444.28	58 986.36	52 396.92	12 997.35
	2020	3 332.97	14 320.35	59 230.08	52 472.61	13 148.70
草地	2005	471.60	1 852.65	5 680.44	7 253.28	3 783.24
	2010	470.97	1 848.06	5 680.26	7 253.28	3 783.24
	2015	469.44	1 818.81	5 653.26	7 216.83	3 742.11
	2020	430.83	1 771.38	5 718.15	7 352.10	3 581.55
水域	2005	1 368.54	597.60	259.47	105.48	4.59
	2010	1 370.70	606.06	259.47	105.48	4.59
	2015	1 356.57	602.64	259.29	105.48	4.59
	2020	1 266.48	729.9	189.27	84.96	4.41
建设用地	2005	1 314.27	296.28	185.76	23.13	0.18
	2010	1 406.79	353.52	224.37	26.37	0.18
	2015	1 729.71	549.45	324.54	30.33	0.18
	2020	2 916.54	685.26	446.85	42.66	0

由表 4 可知,耕地主要分布于 0°~6°、6°~15°和 15°~25°范围内,6°~15°耕地分布的比例相对稳定,约为 32%。此外,在 25°~35°范围仍存在一定比例的耕地分布,在 2015 年之前其面积比例基本稳定在 13%,此后比例降低至 10% 左右。林地的主要分布范围为 6°~15°、15°~25°、25°~35° 3 个区间,且其变化相对于其他土地利用景观类型来说相对稳定,研究期内其面积比例分别稳定在 21%、33% 和 24% 左右。草地面积在不同的坡度等级分布也相对稳定(2015-2020 年略有波动),且其主要分布与林地类似,主要集中于 6°~15°、15°~25°和 25°~35° 3 个区间范围内,3 个区间的草地面积之和占到了草地总面积的 84% 以上。水域大面积集中于 0°~6°区间内,其面积比例接近 48%,其他坡度等级上的水域面积变化随着坡度的增加呈现面积逐渐减少的总体趋势,在 25°~35°区间出现转折,其面积比例为各个坡度等级水域面积占比的最小值。建设用地与水域的分布类似,大部分集中于 0°~6°区间内。

由表 5 可知,耕地在南坡和东南坡分布面积比

表 4 永定区 2005~2020 年土地利用景观类型面积坡度分布统计表(单位:hm²)

Table 4 Statistical table on slope differentiation of land use landscape types in Yongding District from 2005 to 2020 (unit: hm²)

类型	年份	坡度分级				
		0°~6°	6°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
耕地	2005	12 578.20	16 776.30	15 250.10	6 019.11	1 770.48
	2010	12 492.20	16 747.00	15 226.20	6 003.45	1 767.15
	2015	12 243.10	16 768.80	15 317.10	6 035.22	1 798.83
	2020	11 424.90	16 458.50	15 085.10	5 878.62	1 708.47
林地	2005	6 724.17	30 255.50	48 160.00	35 207.60	22 337.00
	2010	6 715.62	30 236.50	48 149.70	35 210.30	22 333.50
	2015	6 700.77	30 040.80	48 008.20	35 191.40	22 307.60
	2020	6 698.07	30 057.80	48 032.60	35 297.80	22 412.80
草地	2005	727.74	3 937.14	7 042.86	4 872.87	2 457.63
	2010	727.65	3 936.15	7 040.52	4 871.25	2 457.27
	2015	719.10	3 889.26	6 988.77	4 847.13	2 453.31
	2020	706.23	3 862.35	7 038.81	4 851.27	2 392.47
水域	2005	1 090.89	576.36	296.82	170.91	200.52
	2010	1 090.89	576.90	299.97	173.34	205.02
	2015	1 082.43	572.94	299.25	172.17	201.51
	2020	1 015.38	554.49	299.43	170.55	234.90
建设用地	2005	1 164.06	482.67	137.52	25.56	9.90
	2010	1 258.74	531.36	170.91	37.71	12.60
	2015	1 539.72	756.09	274.05	50.22	14.31
	2020	2 440.53	1 094.76	431.46	97.83	26.91

最多,东坡和西南坡次之,平缓地面积比最小,其余坡向分布较为均匀。且耕地类型在研究期内各个坡向均呈减少的趋势,尤其以东南坡减少的面积最多。林地类型在平缓地面积占比最小,仅占总面积的 1%,在其余坡向的面积分布十分均衡,除西北坡略有微小优势以外,其余坡向面积占比均达到 11% 左右。在研究期内,林地类型在东坡、东南坡、南坡呈缓慢增加趋势,其余坡向均有少量减少,以西坡和西北坡的面积减少量最高。草地类型在西坡和西北坡面积占比最大,平缓地面积占比最小,研究期内除西坡面积少量增加之外,其余面积均呈减少趋势。水域类型的面积占比最大为平缓地,东南坡与南坡次之,在研究期内,除西南坡面积增加外,其余坡向均呈减少趋势。建设用地的总体分布特征与耕地类似,东南坡和南坡面积占比最大,且在研究区内整体呈增加趋势,尤其以东南坡增加的面积最大。

综上所述,土地利用景观类型的动态变化具有明显的地形分布特征。永定区 80% 以上的土地面积主要集中于海拔 300~800 m 与坡度 6°~35°的区域,说明永定区土地利用景观类型具有明显的山地梯度特征,平整的土地稀缺,属于典型的山地景观。在研究期内,随着高程和坡度增加,耕地面积不断减少,林地面积增加愈发明显,这是退耕还林政策影响以及高海拔地区不宜耕作的结果。水域绝大部分呈条状分布于永定区中部的低海拔平缓地,建设用地沿河道呈集中连片式分布。根据研究结果可知缓坡耕地与建设用地绝大部分都分布于地势平缓、水资源丰饶的低海拔东南坡及南坡区域,这说明人类聚集地的选择与城市形态发展受到水资源分布以及自然地形的制约。在研究期内,耕地、林地和草地面积在低海拔缓坡区域均有减少,尤其以耕地面积的减少最为明显,而建设用地面积在海拔小于 200 m 的缓坡区域急速增加,这说明随着经济发展和人口增长,对土地资源的需求愈加强烈,而城镇扩张首先占用城乡结合部位的大部分耕地。

4.2 永定区景观格局指数地形分异分析

永定区类型水平指数的高程分异特征统计表(表 6),可以看出耕地 PD 的高程分异特征在整个研究区内都展现出先增后减的单峰型变化。PD 值最大的为海拔 200~300 m 的区域,说明此区间耕地破碎化较为严重。林地 PD 在 500~800 m 区域最低,向上向下逐渐升高并在 200~300 m 达到峰值。各

表 5 永定区 2005~2020 年土地利用景观类型面积坡向分布统计表(单位:hm²)Table 5 Statistical table of slope aspect differentiation of land use landscape types in Yongding District from 2005 to 2020 (unit:hm²)

类型	年份	坡向类型								
		平缓地	北坡	东北坡	东坡	东南坡	南坡	西南坡	西坡	西北坡
耕地	2005	1 764.27	3 527.10	5 776.11	7 618.41	9 230.22	8 402.22	7 106.13	4 877.82	4 092.93
	2010	1 710.36	3 522.06	5 765.13	7 605.63	9 209.61	8 383.95	7 080.48	4 843.35	4 075.56
	2015	1 751.22	3 606.48	5 756.13	7 568.01	9 177.48	8 366.40	704.86	4 840.20	4 090.41
	2020	1 562.31	3 505.50	5 564.34	730.49	8 884.98	8 137.62	6 893.01	4 727.25	3 976.29
林地	2005	1 309.68	18 527.40	17 915.67	16 890.48	17 476.65	16 193.07	17 684.19	17 707.59	18 984.87
	2010	1 308.60	18 526.41	17 907.03	16 878.96	17 470.44	16 189.83	17 674.74	17 711.64	18 983.34
	2015	1 305.81	18 393.66	17 8515.90	16 854.48	17 446.95	16 163.82	17 648.82	17 662.14	18 926.73
	2020	1 302.57	18 422.91	17 896.32	169.72	17 581.50	16 233.39	17 628.48	17 594.73	18 872.82
草地	2005	144.00	2 053.71	1 824.66	1 908.27	2 361.51	2 360.88	2 580.57	3 001.68	2 805.93
	2010	144.00	2 053.71	1 824.66	1 907.64	2 360.52	2 357.64	2 580.39	3 001.32	2 805.93
	2015	142.74	2 034.09	1 803.15	1 886.40	2 342.07	2 343.33	2 572.65	2 994.39	2 781.63
	2020	140.31	2 012.49	1 799.73	188.98	2 298.24	2 333.52	2 556.18	3 033.36	2 790.36
水域	2005	381.78	130.23	169.92	249.12	369.99	342.63	269.91	233.37	188.73
	2010	381.69	129.51	169.29	248.85	370.08	342.18	278.37	236.79	189.54
	2015	379.62	124.02	167.22	246.69	369.27	341.55	278.19	236.07	185.94
	2020	368.16	118.80	153.54	216.09	355.05	346.86	298.44	235.89	181.89
建设用地	2005	176.04	131.31	186.75	184.41	277.83	269.73	210.51	176.67	206.37
	2010	190.26	138.06	207.00	209.61	305.55	294.93	237.33	204.03	224.46
	2015	237.24	211.50	295.02	295.11	380.43	353.43	303.03	264.33	294.12
	2020	402.12	310.05	459.18	467.82	596.43	517.14	475.20	405.90	457.47

海拔分区内林地 PD 变化不大,说明当地管理部门对林地资源的保护工作进展的较好,没有对林地景观造成明显的破坏。但是在海拔 300 m 以下的林地 PD 明显高于其他海拔分区,说明林地景观在低海拔区域呈小斑块分布,集聚程度不高,LPI 和 AI 在各区间的数值分布也正好印证了这一点。草地与水域 PD 的峰值出现在海拔 200~300 m 区域并且整体偏低。建设用的 PD 随着高程的增加而不断降低,高值区主要分布在海拔小于 200 m 的区域。耕地 LPI 随着海拔的升高逐渐降低,且在海拔小于 300 m 的区间表现出高度的优势类型分布特征。而在大于 300 m 的区间内 LPI 数值最大的是林地景观,且其 LPI 随着海拔的升高呈现出先减后增的变化,并在海拔 500~800 m 区间达到最大值。

耕地 AI 表现为随高程增加而降低的趋势,林地和草地随着高程的增加呈现出聚合分布的特征。水域与建设用地在小于 200 m 区域聚合程度最高。

通过表 7 可以看出除了建设用地 PD 表现出明显的随坡度增加而降低的趋势,其余 4 类景观类型均伴随着坡度的增加呈现出减—增—减的单峰变化。其中随着坡度增加 PD 变化最为剧烈的景观类

型为林地景观,在 0°~6°区间内其 PD 值高达 123,虽然随着坡度的升高其值有所降低,但仍远高于同一坡度区间的其他景观类型。这表明林地景观在坡度分异上表现出极强的景观异质性,景观生态过程极为活跃。耕地在 0°~6°坡度区间呈现出明显的 LPI 高值区,而其他坡度区间的 LPI 数值很小(在 0.2 左右)且随着坡度的增加不断降低。林地的 LPI 在大于 35°区间表现出明显的高值区,其 LPI 值远大于此坡度分区内的其他景观类型,使林地景观成为此区间最具优势的景观类型。在其他坡度区间林地 LPI 值均较低,特别是 0°~6°区间,仅为 0.2 左右,且在研究期内其值仍在不断降低,这表明在平坦地区林地景观的破碎化程度较高,持续向细粒化景观转化。建设用地在 0°~6°区间 LPI 值变化较大,特别是 2015~2020 年期间由 1.16 上升至 1.68,这表明建设用地景观类型的图斑面积在空间上呈现出连片的趋势,城镇建设朝组团化发展,此区间建设用地 AI 值的分布也印证了这一点。

根据表 8 可知,在研究期内,除建设用地类型的 PD 值有明显增加外,其余土地利用景观类型的各类型水平指数(PD、LPI、AI)均保持稳定。对于 PD

表 6 2005~2020 年永定区类型水平指数高程分异特征统计表

Table 6 Statistical table of elevation differentiation characteristics of type horizontal index from 2005 to 2020													
高程分级	类型	PD				LPI				AI			
		2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
<200 m	耕地	1.32	1.35	1.63	1.46	11.92	11.64	10.82	9.33	93.46	93.33	93.23	92.90
	林地	2.43	2.43	2.54	2.45	3.20	3.20	3.19	3.20	85.66	85.66	85.63	85.35
	草地	0.41	0.41	0.42	0.44	1.01	1.01	1.01	1.01	83.89	83.88	83.83	83.76
	水域	0.21	0.21	0.24	0.26	7.57	7.57	7.47	4.41	89.79	89.79	89.73	89.08
	建设用地	1.26	1.30	0.67	0.72	2.51	2.51	2.82	4.09	87.68	87.71	89.20	92.73
200~300 m	耕地	2.52	2.55	2.61	2.46	3.37	3.37	3.37	3.32	88.66	88.59	88.53	88.70
	林地	2.99	3.02	3.03	3.07	2.87	2.86	2.93	2.93	87.75	87.70	87.72	87.66
	草地	0.68	0.69	0.72	0.78	0.38	0.38	0.38	0.39	85.59	85.54	85.51	85.10
	水域	0.27	0.26	0.26	0.24	0.63	0.63	0.63	0.80	81.98	82.06	82.14	84.64
	建设用地	0.55	0.62	0.37	0.49	0.16	0.16	0.20	0.21	76.10	74.64	81.15	80.38
300~500 m	耕地	1.57	1.57	1.57	1.53	0.88	0.88	1.02	0.88	88.11	88.11	88.13	88.11
	林地	1.10	1.11	1.13	1.12	15.16	15.16	15.16	15.22	93.24	93.23	93.22	93.27
	草地	0.29	0.29	0.29	0.28	0.50	0.50	0.50	0.50	90.55	90.55	90.55	90.62
	水域	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	76.21	76.21	76.23	79.83
	建设用地	0.12	0.14	0.08	0.10	0.01	0.01	0.06	0.06	76.99	75.03	78.68	80.54
500~800 m	耕地	1.40	1.40	1.37	1.30	0.59	0.59	0.64	0.65	86.91	86.91	87.16	87.25
	林地	0.98	0.98	1.01	0.98	17.69	17.70	17.71	17.77	94.47	94.47	94.46	94.50
	草地	0.39	0.39	0.40	0.39	0.85	0.85	0.85	1.07	91.62	91.62	91.60	91.84
	水域	0.02	0.02	0.02	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	86.81	86.81	86.81	89.16
	建设用地	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	79.63	77.86	79.91	78.32
>800 m	耕地	1.15	1.15	1.01	0.83	0.53	0.53	0.58	0.58	85.66	85.65	86.30	87.04
	林地	1.23	1.23	1.26	1.20	17.05	17.05	17.05	17.16	94.44	94.45	94.43	94.61
	草地	0.58	0.58	0.61	0.57	5.10	5.10	5.10	5.10	93.01	93.01	92.95	93.13
	水域	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	90.80	90.80	90.80	92.86
	建设用地	0.01	0.01	0.01		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	

值而言,各景观类型均在平缓地表现出最大斑块密度,其余坡向的PD值都较为平均,坡向分异特征不明显,由此可知各景观类型在平缓地斑块密度较大,景观破碎度较高,人为干扰强。整体而言,各景观类型LPI值均偏低,未表现出明显的坡向分异特征。除水域类型外,各景观类型AI值均在平缓地表现出最低值,在其他坡向AI分异特征不明显。

综上所述,结合表9可知,不同土地利用类型的景观格局指数也呈现出明显的空间分异特征。林地作为永定区主导景观类型,从整体上来说斑块面积大、联通性好,但在低海拔与低坡度区域斑块密度增加,破碎化程度升高,说明永定区建设用地虽然受到自然地形的制约,但其由于城镇致密化的发展需要,不断侵占阻力较小的低海拔丘陵地区的林地景观,使低海拔平坦区域的林地景观破碎化趋于严重,因此当地管理部门对林地资源的保护工作在此区域内仍需加大力度。耕地景观在农业结构调

整和退耕还林以及建设用地占用等的影响下,破碎度不断增强,向不规则化发展,特别是海拔200~300 m、坡度0°~6°范围内的斑块间相互作用最为剧烈。草地类型随海拔和坡度分异的特征不明显,生态状况较好。水域与建设用地的空间分异特征类似,在低海拔和低坡度区域生态稳定性较低,具有随机性和不稳定性,这说明城市的发展重心由中心老城区向外围新城转移,建设用地不断侵占其他用地类型,斑块面积增大且斑块趋向于规则化,而遗存的耕地、林地、草地斑块镶嵌其中,景观异质性与生物多样性增强。整体来说,无论是类型水平指数还是景观水平指数,其高程与坡度的分异特征明显高于坡向分异特征。

4.3 永定区景观格局演变的地形因素驱动力

由表10可知,耕地、水域、建设用地的PD、LPI、AI均与高程、坡度和坡向呈负相关,且坡度对于耕地和水域的总影响明显要大于另外两个地形因

表 7 2005~2020 年永定区类型水平指数坡度分异特征统计表

Table 7 Statistical table of slope differentiation characteristics of type horizontal index from 2005 to 2020

坡度分级	类型	PD				LPI				AI			
		2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
0°~6°	耕地	49.42	49.45	49.68	48.82	3.43	3.43	3.07	3.07	73.42	73.23	72.85	71.79
	林地	123.80	123.72	123.25	123.37	0.20	0.20	0.19	0.16	32.42	32.40	32.66	32.65
	草地	15.22	15.21	15.06	14.81	0.02	0.02	0.02	0.02	27.51	27.51	27.52	27.59
	水域	2.29	2.29	2.32	2.33	1.61	1.61	1.57	1.58	77.17	77.17	77.10	76.67
	建设用地	2.13	2.40	2.48	3.07	1.16	1.16	1.16	1.68	78.34	78.05	78.68	83.07
6°~15°	耕地	25.69	25.68	25.66	24.94	0.32	0.32	0.32	0.32	56.33	56.32	56.39	56.40
	林地	68.27	68.28	68.29	68.30	0.40	0.40	0.40	0.37	50.67	50.66	50.58	50.58
	草地	10.04	10.03	10.02	9.96	0.38	0.38	0.38	0.38	49.93	49.93	49.81	49.92
	水域	1.60	1.60	1.59	1.43	0.03	0.03	0.03	0.07	46.15	46.08	46.04	46.21
	建设用地	1.32	1.48	1.50	2.00	0.09	0.09	0.09	0.10	53.69	53.08	55.37	56.03
15°~25°	耕地	18.94	18.94	18.92	18.49	0.17	0.17	0.17	0.17	54.93	54.92	55.02	55.09
	林地	47.64	47.65	47.66	47.57	1.17	1.17	1.17	1.21	54.59	54.59	54.56	54.55
	草地	6.96	6.96	6.95	6.85	0.19	0.19	0.19	0.19	56.04	56.04	56.00	56.34
	水域	1.05	1.05	1.04	1.02	0.01	0.01	0.01	0.01	38.10	38.23	38.32	37.93
	建设用地	0.46	0.56	0.69	0.92	0.01	0.01	0.01	0.02	44.71	44.53	47.62	49.38
25°~35°	耕地	21.94	21.93	22.02	21.44	0.08	0.08	0.08	0.08	47.09	47.07	47.09	47.11
	林地	70.85	70.84	70.76	70.63	0.52	0.55	0.55	0.55	51.25	51.25	51.26	51.29
	草地	11.16	11.16	11.13	11.01	0.13	0.13	0.13	0.13	51.07	51.06	51.04	51.21
	水域	1.13	1.14	1.14	1.20	0.01	0.01	0.01	0.01	34.61	34.62	34.72	32.12
	建设用地	0.19	0.25	0.35	0.58	0.00	0.00	0.00	0.01	36.70	36.64	35.77	39.18
>35°	耕地	12.47	12.45	12.44	11.96	0.10	0.10	0.11	0.11	51.39	51.39	51.89	51.80
	林地	53.92	53.92	53.95	53.95	12.65	12.65	12.65	12.71	66.31	66.31	66.28	66.31
	草地	9.39	9.39	9.36	9.39	0.20	0.20	0.20	0.20	60.46	60.46	60.48	60.05
	水域	0.71	0.74	0.13	0.24	0.11	0.11	0.01	0.01	61.77	61.59	48.63	50.98
	建设用地	0.08	0.12	0.74	0.68	0.01	0.01	0.08	0.15	53.77	48.44	61.51	63.57

子,而高程与坡度对于建设用地分布的影响较为显著。林地、草地的 PD 与高程、坡度和坡向呈负相关,而其 LPI、AI 均与地形、坡度和坡向呈正相关。林地分布与高程和坡度的相关系数明显大于坡向,说明在适宜林地生长的海拔和坡度上,坡向对于其影响较小,而坡向对于草地的影响明显大于高程和坡度。

4.4 永定区景观格局演变的社会因素驱动力

虽然永定区属于典型喀斯特山地城市景观格局,其独特的自然地形是影响景观格局演变的最基本要素^[24-25],但由于其发展变化过程较为漫长,社会因素在短时间内对永定区土地利用景观格局影响仍然不可忽视^[26],因此本节重点对经济、人文与政策等社会驱动因子的影响进行分析,以期进一步探明其演变的主要驱动力。

依据张家界永定区经济统计年鉴、张家界市统计局统计公报等文献资料,并结合永定区土地利用

景观格局演变的实际情况,考虑到数据的代表性和可获取性等原则,最终筛选确定本次研究永定区土地利用景观格局演变社会驱动因素指标体系,具体指标包括:城镇化率 X1、地区生产总值 X2、地方财政收入 X3、人均 GDPX4、农林牧渔服务业总产值 X5、全年接待国内外游客 X6、第一、二、三产业产值占 GDP 比重 X7-X9、农村居民人均可支配收入 X10。

利用 SPSS24.0 软件对选取的永定区 10 个社会驱动因素与景观类型变化面积进行相关性分析,采用定量分析的方法探讨各类社会驱动因素对永定区土地利用景观格局演变的影响程度。结果如表 11 所示,全年接待国内外游客和第二产业产值占 GDP 比重其皮尔逊相关系数较低并且仅通过 0.05 的显著性水平检验,其余驱动因素均通过了 0.01 的显著性水平检验,其中城镇化率、农林牧渔服务业总产值、第一产业产值占 GDP 比重和第三产业产

表 8 2005~2020 年永定区类型水平指数坡向分异特征统计表													
Table 8 Statistical results of slope differentiation characteristics of type horizontal index from 2005 to 2020													
坡向类型	类型	PD				LPI				AI			
		2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
平缓地	耕地	231.79	230.68	228.38	214.74	0.21	0.21	0.21	0.17	25.02	24.96	24.64	23.92
	林地	303.89	303.65	301.69	301.69	0.12	0.12	0.12	0.12	8.07	8.05	8.27	8.14
	草地	35.22	35.22	34.96	34.54	0.02	0.02	0.02	0.02	5.71	5.71	5.66	5.50
	水域	12.37	12.34	12.24	10.41	1.69	1.69	1.69	1.76	64.86	64.88	65.04	66.87
	建设用地	23.17	25.05	30.22	44.89	0.06	0.06	0.08	0.17	24.61	24.59	25.59	28.63
北坡	耕地	39.05	38.95	38.60	37.06	0.16	0.16	0.22	0.24	43.43	43.47	44.55	44.78
	林地	79.56	79.54	79.46	79.35	0.37	0.37	0.37	0.37	59.01	59.01	58.88	58.94
	草地	11.44	11.44	11.41	11.23	0.10	0.10	0.10	0.10	55.42	55.42	55.39	55.45
	水域	2.63	2.62	2.60	2.36	0.05	0.05	0.05	0.04	30.85	30.84	30.03	32.18
	建设用地	2.26	2.43	3.13	4.67	0.03	0.03	0.03	0.03	32.66	31.92	35.43	34.86
东北坡	耕地	44.71	44.62	44.26	42.38	0.11	0.11	0.11	0.11	49.04	49.04	49.22	49.43
	林地	80.33	80.33	80.05	80.07	0.58	0.58	0.58	0.58	58.77	58.77	58.78	58.78
	草地	10.44	10.44	10.42	10.21	0.08	0.08	0.08	0.08	55.01	55.01	54.95	55.36
	水域	2.95	2.95	2.93	2.71	0.01	0.01	0.01	0.01	29.14	29.14	28.93	29.17
	建设用地	2.84	3.11	3.87	5.48	0.02	0.02	0.03	0.03	32.01	32.66	36.58	38.36
东坡	耕地	48.20	48.07	47.65	45.67	0.19	0.19	0.19	0.18	52.88	52.90	52.96	52.97
	林地	78.62	78.63	78.45	78.39	0.32	0.32	0.32	0.34	57.91	57.89	57.92	58.05
	草地	10.07	10.07	10.00	9.77	0.15	0.15	0.15	0.15	56.19	56.18	56.11	56.54
	水域	3.27	3.26	3.25	3.08	0.02	0.02	0.02	0.02	35.99	36.01	35.97	33.23
	建设用地	2.90	3.17	3.88	5.69	0.01	0.02	0.03	0.04	31.82	33.02	36.30	38.43
东南坡	耕地	45.17	45.09	44.81	43.08	0.15	0.15	0.15	0.15	55.56	55.57	55.66	55.82
	林地	69.62	69.56	69.39	69.23	0.24	0.24	0.26	0.26	59.67	59.67	59.70	59.87
	草地	9.33	9.33	9.29	9.14	0.16	0.16	0.16	0.16	59.56	59.56	59.54	59.33
	水域	2.98	3.00	2.97	2.85	0.04	0.04	0.04	0.04	44.35	44.27	44.36	43.78
	建设用地	2.52	2.78	3.33	4.93	0.02	0.02	0.03	0.03	42.21	42.02	42.53	43.94
南坡	耕地	49.23	49.14	48.79	47.08	0.17	0.17	0.17	0.17	54.46	54.46	54.59	54.73
	林地	77.27	77.21	77.07	77.08	0.26	0.26	0.26	0.26	57.41	57.42	57.41	57.49
	草地	10.59	10.60	10.61	10.42	0.12	0.12	0.12	0.12	58.99	58.95	58.94	59.10
	水域	3.50	3.52	3.50	3.41	0.05	0.05	0.05	0.04	42.56	42.45	42.49	42.86
	建设用地	2.74	3.05	3.57	5.19	0.14	0.14	0.14	0.07	44.51	43.97	43.76	42.28
西南坡	耕地	43.61	43.59	43.25	41.60	0.21	0.21	0.21	0.21	52.17	52.13	52.21	52.52
	林地	72.78	72.71	72.56	72.49	0.26	0.26	0.26	0.26	58.67	58.67	58.68	58.70
	草地	10.85	10.85	10.82	10.84	0.14	0.14	0.14	0.14	58.51	58.51	58.52	58.40
	水域	2.97	2.96	2.96	2.80	0.02	0.03	0.03	0.04	37.60	38.76	38.73	40.87
	建设用地	2.50	2.77	3.30	4.81	0.02	0.02	0.02	0.03	36.96	36.99	39.02	41.06
西坡	耕地	42.71	42.62	42.33	40.68	0.14	0.14	0.14	0.14	47.69	47.52	47.72	48.03
	林地	77.92	77.92	77.76	77.73	0.43	0.43	0.43	0.43	58.71	58.73	58.73	58.70
	草地	11.69	11.69	11.61	11.46	0.23	0.23	0.23	0.23	60.77	60.77	60.82	61.17
	水域	3.10	3.14	3.14	3.09	0.05	0.05	0.05	0.05	39.26	39.37	39.26	39.46
	建设用地	2.61	2.94	3.52	5.20	0.01	0.01	0.01	0.02	34.48	35.02	36.91	37.51
西北坡	耕地	37.30	37.22	36.93	35.36	0.10	0.10	0.10	0.12	46.34	46.35	46.67	47.10
	林地	73.84	73.79	73.58	73.61	0.68	0.68	0.68	0.78	61.70	61.70	61.73	61.72
	草地	11.10	11.10	11.09	10.89	0.17	0.17	0.17	0.17	61.35	61.35	61.28	61.35
	水域	2.87	2.88	2.85	2.74	0.02	0.02	0.02	0.02	32.81	32.77	32.44	33.40
	建设用地	2.65	2.85	3.56	5.12	0.01	0.02	0.02	0.03	36.39	36.33	37.60	39.73

表 9 永定区景观水平指数统计表

Table 9 Statistics of Landscape Level Index in Yongding

District					
年份	PD*	LPI*	CONTAG	SHDI	AI*
2005	1.00	34.62	64.36	0.92	94.92
2010	1.02	34.62	64.22	0.92	94.90
2015	0.94	34.65	63.89	0.93	94.90
2020	0.84	34.83	63.46	0.95	94.91

表 10 类型水平指数与地形因子相关系数

Table 10 Correlation coefficient between type level index and topographic factors

景观类型	类型水平	地形因子		
	指数	高程	坡度	坡向
耕地	PD	-0.546*	-0.868**	-0.558**
	LPI	-0.832**	-0.746**	-0.399*
	AI	-0.901**	-0.837**	-0.518**
林地	PD	-0.773**	-0.722**	-0.566**
	LPI	0.896**	0.732**	0.455**
	AI	0.933**	0.889**	0.572**
草地	PD	-0.002	-0.545*	-0.524**
	LPI	0.693**	0.130	0.824**
	AI	0.964**	0.832**	0.642**
水域	PD	-0.895**	-0.927**	-0.521**
	LPI	-0.737**	-0.699**	-0.546**
	AI	-0.219	-0.497*	-0.327
建设用地	PD	-0.862**	-0.883**	-0.517**
	LPI	-0.718**	-0.706**	-0.263
	AI	-0.768**	-0.615**	-0.570**

注:*,**分别在5%和1%水平上显著

表 11 皮尔逊相关性分析

Table 11 Pearson correlation analysis

变量名称	相关系数	显著性(双侧)
城镇化率	0.954**	0.000
地区生产总值	0.915**	0.000
地方财政收入	0.838**	0.000
人均 GDP	0.906**	0.000
农林牧渔服务业总产值	0.984**	0.000
全年接待国内外游客	0.772*	0.016
第一产业产值占 GDP 比重	0.979**	0.000
第二产业产值占 GDP 比重	-0.631*	0.035
第三产业产值占 GDP 比重	0.991**	0.000
农村居民人均可支配收入	0.915**	0.000

注:*,**分别在5%和1%水平上显著。

值占 GDP 比重 4 个驱动因素的皮尔逊相关系数均大于 0.95,地区生产总值、地方财政收入、人均 GDP 和农村居民人均可支配收入 4 个驱动因素的皮尔逊相关系数均大于 0.8,这表明 8 个因子与景观格局演变具有显著相关的关系。

选取各土地利用景观类型的面积变化量为因变量,城镇化率、农林牧渔服务业总产值、第一产业产值占 GDP 比重、第三产业产值占 GDP 比重、地区生产总值、地方财政收入、人均 GDP、农村居民人均可支配收入 8 个因子作为自变量,利用多元逐步回归分析的方法,深入分析 2005~2020 年永定区景观格局变化的主要影响因素与影响强度。

由多元逐步回归分析的结果(表 12)可知,永定区土地利用景观格局演变分为单因素、双因素和多因素 3 类驱动类型。草地的演变主要受到地区生产总值这一单因素驱动,农林牧渔服务业总产值、城镇化率双因素驱动建设用的演变,耕地、林地、水域这 3 类景观类型的演变受到多种因素共同作用的影响。这说明永定区土地利用景观类型演变过程中各驱动因素的影响程度差异性较大且驱动类型多样化,大部分景观类型的演变是多种驱动因素相互作用的结果。从统计结果来看,农林牧渔服务业总产值在各类景观类型驱动因素中出现频次最多,是永定区景观格局演变的主要驱动因素,在各影响类型均具有正向影响。由此可见,永定区景观格局演变主要受经济发展的影响,随着永定区城镇化进程加快和旅游发展水平提高,景观格局变化呈逐渐加大趋势,再加之退耕还林与生态保护建设等政策影响,导致各类景观类型的相互转换,景观要素变化显著。

5 结 论

本文通过 GIS 与 RS 方法处理与分析了 2005~2020 年 Landsat TM/TIRS-OLI 影像数据,提取了张家界市永定区土地利用景观格局随高程、坡度、坡向的分异图像,并结合景观格局指数等方法,揭示了该地区土地利用景观格局随地形分异的规律及其与经济、人为和政策因子之间的联系。研究区内土地利用景观类型的景观格局指数具有明显的地形分异特征,其高程与坡度的分异特征明显高于坡向分异特征。林地作为永定区主导景观类型,从整体上来说斑块面积大,但在低海拔与低坡度区域斑块密度增加,破碎化程度较高,而 2005~2020 年永定区较高海拔地区的林地景观的扩张导致区域景观多样性的整体增强,而在局部地形上差异明显。耕地景观在农业结构调整和退耕还林以及建设用地占用等的影响下,破碎度不断增强且向不规则化发展,特别是海拔 200~300 m、坡度 0°~6°范围

表 12 多元逐步回归分析结果

Table 12 Multiple stepwise regression analysis results

类型	回归方程	驱动因素	驱动类型	DW 值
耕地	$Y=306.431-0.177X1+0.561X2+1.069X5+1.941X10$	城镇化率、地区总产值、农林牧渔服务业总产值、农村居民人均可支配收入	多因素	1.570
林地	$Y=846.453+1.137X3+2.410X5+2.090X10$	地方财政收入、农林牧渔服务业总产值、农村居民人均可支配收入	多因素	2.942
草地	$Y=272.657-0.962X2$	地区生产总值	单因素	1.994
水域	$Y=50.384+0.322X5-0.767X2-1.176X3-0.312X1$	农林牧渔服务业总产值、地区生产总值、地方财政收入、城镇化率	多因素	2.134
建设用地	$Y=5.583+0.806X5+0.225X1$	农林牧渔服务业总产值、城镇化率	双因素	1.882

内其斑块间的相互作用最为剧烈。草地类型随海拔和坡度分异的特征不明显,生态状况较好。水域与建设用地的空间分异特征类似,在低海拔和低坡度区域生态稳定性较低。建设用地景观斑块愈发破碎但聚集度逐渐增强。结合经济、人为和政策因子,进一步揭示永定区土地利用景观格局时空演变的驱动因子,即高程差异作为山地独特的地形特征,对林地、草地和水域 3 类景观类型演变的关联性较高。耕地与建设用地两类景观类型主要受农林牧渔服务业总产值、农村居民人均可支配收入等社会驱动因素的影响。

6 讨论与展望

鉴于研究区复杂的山地地形特征和以旅游干扰为主等方面的现实情况,本研究只针对了海拔、坡度、坡向 3 个方面的进行分异统计;景观格局指数选择方面也仅计算了景观水平指数、类型水平指数等 8 个景观格局指数;同时,因为 Landsat TM/TIRS-OLI 影像数据的分辨率限定了研究的尺度。这些因素都对研究成果造成一定的局限性。综合考虑地形、气候、经济、政策和社会因素的相互作用,多因子、多尺度、全方位的景观格局分析可以更深入地解析其景观变化的驱动机制,洞见山区旅游城市的景观演替规律,以期更全面地支持研究区土地利用优化和可持续发展的综合决策。

参考文献 (References):

[1] O'NEILL R. V., KRUMMEL JR, *et al.* Indices of landscape pattern[J]. Landscape Ecology, 1988,1(3): 153-162.

[2] TAN Yue, YANG Qian, JIA Mingming, *et al.* Remote sensing assessment of temporal and spatial evolution of wetlands in Liaohe Estuary National Nature Reserve[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022,37(1):218-230.[谭月,杨倩,贾明明,等.辽河口国家级自然保护区湿地时空演变遥感

评估[J].遥感技术与应用,2022,37(1):218-230.]

[3] ZHAO Mengyu, XUE Liang. Remote sensing monitoring of habitat quality change in Xianyang City[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(6): 1171-1180.[赵梦雨,薛亮.咸阳市生境质量变化遥感监测研究[J].遥感技术与应用,2017,32(06):1171-1180.]

[4] YANG Mingyong, LI Yuhui, PANG Danbo, *et al.* Dynamic change of landscape pattern in karst water source area based on GIS and RS: A case study of Dachun River Watershed [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2016, 34(2): 227-233.[杨民英,李玉辉,庞丹波,等.基于 GIS 和 RS 的喀斯特水源地景观格局动态变化研究——以大春河小流域为例[J].四川农业大学学报,2016,34(2):227-233.]

[5] CHEN Yi, LIN Yiwei, ZHU Zhipeng, *et al.* Analysis of land use landscape pattern change in Putian City based on RS and GIS [J]. Journal of Northwest Forestry University. 2017, 32(1): 279-286.[陈颐,林毅伟,朱志鹏,等.基于 RS 和 GIS 的莆田市土地利用景观格局变化分析[J].西北林学院学报,2017, 32(1): 279-286.]

[6] CALA B, DXCB C, DZCB C.Performance evaluation of GE- DI and ICESat-2 laser altimeter data for terrain and canopy height retrievals [J]. Remote Sensing of Environment, 264 [2023-09-04].DOI:10.1016/j.rse.2021.112571

[7] BAGAN H Y Y. Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40years [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 127: 210-222.

[8] SEXTON J O, SONG X P, HUANG C, *et al.* Urban growth of the Washington, D.C.-Baltimore, MD metropolitan region from 1984 to 2010 by annual, Landsat-based estimates of impervious cover [J]. Remote Sensing of Environment, 2013,129(2):42-53.

[9] ZHANG J, YANG X, WANG Z, *et al.* Remote sensing based spatial-temporal monitoring of the changes in coastline mangrove forests in China over the last 40 Years [J]. Remote

- Sensing, 2021, 13(10):1986.DOI:10.3390/rs13101986
- [10] NEUENSCHWANDER A, MAGRUDER L, GUENTHER E, *et al.* Radiometric assessment of ICESat-2 over vegetated surfaces [J]. Remote Sensing, 2022, 14. DOI: 10.3390/rs14030787
- [11] HAMIDI S, EWING, R, PREUSS I, *et al.* Measuring sprawl and its impacts[J]. Smart Growth America, 2015, 57(2):320-326.
- [12] HUANG Mengqin, LI Yangbing, LI Mingzhen, *et al.* Coupling response of human activity intensity and landscape pattern in Three Gorges Reservoir area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(10):1-15.[黄孟勤, 李阳兵, 李明珍, 等. 三峡库区人类活动强度与景观格局的耦合响应研究[J]. 生态学报, 2022, 42(10):1-15.]
- [13] TANG Yuyan, PAN Yaozhong, FAN Jinjin, *et al.* Impact of land use landscape pattern on urban waterlogging disaster risk [J]. Water Resources and Hydropower Engineering (English and Chinese), 2021, 52(12):1-11.[唐钰嫣, 潘耀忠, 范津津, 等. 土地利用景观格局对城市内涝灾害风险的影响研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(12):1-11.]
- [14] WU Guiping, ZENG Yongnian, FENG Xuezhi, *et al.* Improvement of CLUE-S model and dynamic simulation of land use change - taking Yongding District of Zhangjiajie City as an example[J]. Geographical Research, 2010, 29(3):460-470.[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.]
- [15] ZHOU Rui, SU Hailong, WANG Xinjun, *et al.* Simulation and precision evaluation of land use change in villages and towns by CLUE-S model[J]. Resources and environment in the Yangtze River Basin, 2012, 21(2):174-180.[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.]
- [16] ZHU Dongguo, XIE Binggeng, XIONG Peng. Spatial-temporal evolution of land use pattern in Zhangjiajie based on Three-dimensional landscape pattern index [J]. Economic geography, 2017, 37(8):168-175.[朱东国, 谢炳庚, 熊鹏. 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[J]. 经济地理, 2017, 37(8):168-175.]
- [17] YU Jing, TANG Bian, CHEN Yanhong, *et al.* Landscape ecological risk assessment and ecological security pattern construction of landscape resource-based cities-taking Zhangjiajie City as an example [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(4):1-10.[于婧, 汤昇, 陈艳红, 等. 山水资源型城市景观生态风险评估及生态安全格局构建——以张家界市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(4):1-10.]
- [18] YAN Jinbo. 'Landscape City' concept and current urban construction practice case[J]. Urban development research, 2020, 27(10):1-5, 13.[闫晋波. “山水城市”理念与当前城市建设实践案例当议[J]. 城市发展研究, 2020, 27(10):1-5, 13.]
- [19] WU Liangyong. 'Landscape City' and urban development in China in the 21st century-written for the landscape city seminar[J]. Journal of Architecture, 1993, (6):4-8.[吴良镛. “山水城市”与21世纪中国城市发展纵横谈——为山水城市讨论会写[J]. 建筑学报, 1993(6):4-8.]
- [20] Wang Yüjie, Li Junxiang, Wu Jianping. *et al.* Analysis on the change of landscape pattern in the urbanization process of Pudong New Area in Shanghai [J]. Applied ecology report, 2006, 17(1):36-40.[王玉洁, 李俊祥, 吴健平, 等. 上海浦东新区城市化过程景观格局变化分析[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1):36-40.]
- [21] PENG Jian, WANG An, LIU Yanxu, *et al.* Research progress and prospect of urban ecological land demand measurement [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2):333-346.[彭建, 汪安, 刘焱序, 等. 城市生态用地需求测算研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(2):333-346.]
- [22] XIAO J, WEI, ZHAN C, *et al.* Evaluating the effectiveness of landscape configuration metrics from landscape composition metrics[J]. Landscape and Ecological Engineering, 2016, 13(1):169-181.DOI:10.1007/s11355-016-0314-6
- [23] WU Jianguo. Landscape ecology: Pattern, process, scale and grade.[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.[邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.]
- [24] PEDZISAI K, ONISIMO M, TIMOTHY D. Advancements in the remote sensing of landscape pattern of urban green spaces and vegetation fragmentation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2021, 42(10):3797-3832. DOI:10.1080/01431161.2021.1881185
- [25] JIA J Y, YAN X X. Spatial-temporal evolution of complex urban landscape pattern based on remote sensing technology[J]. International Journal of Environmental Technology and Management, 2021, 24(1-2):62-76.DOI:10.1504/IJETM. 2021.10038731
- [26] ZHOU Zhenglong, SHA Jinming, FAN Yuexin, *et al.* Temporal and spatial variations of impervious surface landscape pattern and the driving factors in Xiamen City, China.[J]. The journal of applied ecology, 2020, 31(1):230-238.[周正龙, 沙晋明, 范跃新等. 厦门市不透水面景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1):230-238.]

Terrain Differentiation and Driving Mechanism of Land Use Landscape Pattern ——Take Yongding District, Zhangjiajie City as an Example

YANG Zhenqi¹, MA Mingyou, TIAN Jianlin

(1. *College of Surveying, Mapping and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University,
Jiaozuo 454000, China*)

Abstract: Studying the topographic differentiation characteristics and driving mechanism of land use landscape pattern is of great significance for land use optimization and landscape dynamic management. Yongding District of Zhangjiajie City, with complex terrain, various types of coverage and tourism interference, was selected as the research object. The landscape type maps of multiple years in the study area were superimposed one by one with elevation, slope and aspect classification maps, and classified and counted. Eight landscape indices such as Patch Density(PD), Aggregation Index(AI), and contagion index(CONTAG) were selected from the landscape level index and type level index to calculate the annual change of the index and explore its topographic differentiation law and driving mechanism. The results show that : (1) The land use landscape types in the study area have obvious altitude gradient characteristics. More than 80 % of the land area is concentrated in the area with an altitude of 300 ~ 800 m and a slope of $6^{\circ} \sim 35^{\circ}$. (2) Whether the landscape level index or the type level index, the topographic differentiation characteristics are obvious, and the differentiation of elevation and slope is significantly higher than that of slope direction. (3) The evolution of land use landscape pattern in the area with large terrain gradient (high altitude steep slope area) is dominated by natural ecological evolution, while the evolution of the area with small terrain gradient (low altitude gentle slope area) is obviously disturbed by social and economic factors.

Key words: Land use; Landscape pattern; Terrain differentiation; Driving mechanism; Zhangjiajie Yongding District; RS and GIS