

# 基于 GIS 的安顺市景观格局空间梯度分析

伍 斌<sup>1</sup>, 王志杰<sup>1\*</sup>, 潘远珍<sup>2</sup>

(1. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400044)

**摘 要:**随着城市规模日益扩张,人为活动干扰的加剧,景观格局的剧烈变化影响喀斯特山地城市生态系统服务功能,对城市经济社会和自然复合生态系统的可持续发展产生较大的影响。以黔中喀斯特典型山地城市安顺市建成区为研究对象,以 2012 年和 2016 年高分辨率遥感图像为主要数据源,基于 GIS 软件平台,通过建立研究区城市景观类型空间属性数据库,采用景观空间梯度法和景观格局指数法,系统分析“城市双修”和“国家园林城市建设”政策驱动下,安顺市建成区 2012 年和 2016 年景观格局的时空动态变化及其梯度特征。结果表明:1)2012—2016 年,研究区景观格局发生剧烈改变,城市用地的扩张与耕地缩减耦合,小型斑块数量明显增加,景观破碎化程度加剧。2)随着城市景观向外围扩展,建筑用地优势度先增加后降低,建成区外部缓冲带景观多样性逐渐丰富,受人为干扰强度弱化。3)研究期间,各景观类型交错分布,斑块分布复杂化、不规则,集聚度与连通性逐年下降。

**关键词:**景观格局;空间梯度;喀斯特山地城市;安顺市

**中图分类号:**S731.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2019)06-0214-10

## Spatial Gradient Analysis of Urban Landscape Pattern in Anshun City Based on GIS

WU Wu<sup>1</sup>, WANG Zhi-jie<sup>1\*</sup>, PAN Yuan-zhen<sup>2</sup>

(1 College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** With the increasing expansion of urban scale and the intensification of human interference, the drastic changes of landscape pattern have affected the ecosystem service functions of karst mountainous cities. It has a great impact on the sustainable development of urban economic, social and natural complex ecosystem. Taking Anshun City in Guizhou Province as the research object, the high-resolution remote sensing images in 2012 and 2016 were used as the main data sources, based on GIS software platform, the spatial attribute database of urban landscape types in the research area was established, and the landscape spatial gradient method and landscape pattern index method were adopted. The spatio-temporal dynamic and gradient characteristics of landscape pattern in 2012 and 2016 in Anshun City driven by the policies of ‘double urban construction’ and ‘national garden city construction’ were analyzed. The results showed that: 1) from 2012 to 2016, the landscape pattern of the research area changed dramatically, the expansion of urban land was related to the decrease of arable land, the number of small patches increased significantly, and landscape fragmentation intensified. 2) With the expansion of urban landscape to the periphery, the superiority of building land increased first and then decreased, the landscape diversity of the external buffer zone was gradually enriched, and weakened by the intensity of interference. 3) Within the study period, the land-

收稿日期:2019-01-27    修回日期:2019-04-09

基金项目:贵州大学引进人才科研项目(贵大人基合字(2016)36);贵州省教育厅本科生教学内容和课程体系改革项目(2017520003);贵州省生物学一流学科建设项目(GNYL[2017]009)。

作者简介:伍 斌,女,硕士在读,研究方向:区域与景观生态学。E-mail:wuw5965@163.com

\* 通信作者:王志杰,男,副教授,博士,研究方向:区域与景观生态学、遥感与 GIS 应用研究。E-mail:zjwang3@gzu.edu.cn

scape types interlaced, the patches distribution was complicated and irregular, with the decrease of agglomeration and connectivity.

**Key words:** landscape pattern; space gradient; Karst mountainous city; Anshun City

景观格局是大小和形状不一的景观嵌块体在景观空间上的排列,也是各种自然和人为因素在不同时空尺度上作用的最终结果<sup>[1-2]</sup>,决定着资源和环境的分布形式,与景观中的各种生态过程密切相关<sup>[3]</sup>。掌握景观格局变化对于生态系统保护和管理、景观生态安全格局构建具有重要意义<sup>[4-5]</sup>。大量学者结合景观生态学原理与景观格局分析法对沿海城市<sup>[6]</sup>、河流<sup>[7]</sup>、山地<sup>[8]</sup>、黄土高原<sup>[9]</sup>和喀斯特<sup>[10-11]</sup>等地区景观演变进行了研究。城市区域景观格局的研究对揭示城市化进程的变化特征具有重要作用,是深入分析城市土地利用变化的基础,因此,一直以来都是城市景观生态学和城市规划研究的热点<sup>[12]</sup>。在喀斯特山地城市,已有研究从城市景观格局的粒度效应<sup>[13]</sup>、城市绿地系统景观结构特征<sup>[14-15]</sup>等方面进行了一定的研究。城市景观空间梯度变化分析是研究城市形态和景观格局的有效方法<sup>[12]</sup>,国内外许多学者都将景观生态学和梯度分析结合起来研究城市景观格局的变化规律<sup>[16-17]</sup>,但对具有特殊地形地貌特征的喀斯特山地城市的整体城市景观格局特征及其空间梯度变化方面的研究鲜有报道。

黔中喀斯特山地城市处于我国 5 大脆弱生态区之一<sup>[18]</sup>,其城市景观具有独特的“城在山中、山在城中”的城山镶嵌的景观特征,长期面临着脆弱生态环境退化和经济社会落后的双重难题<sup>[19]</sup>。近年来,随着社会经济发展速度的加快,以及贵州省生态文明建设的深入推进,城市化进程不断加快,城市内绿化建设以及生态环境保护各项事业的投入力度也不断加大,而快速城市化和大规模城市绿化建设双重作用影响下,景观格局如何变化,对喀斯特山地城市景观的稳定性和景观生态安全是否产生影响,尤其是喀斯特山地城市内独具的自然山体绿地,在城市景观格局发生变化后,是否会导致其生物多样性的降低或丧失,减弱甚至恶化喀斯特山地城市生态系统服务功能,是黔中喀斯特山地城市在城市化发展和生态保护背景下亟待要解决的问题。

基于此,本研究以典型的黔中喀斯特山地城市安顺市建成区为研究对象,以 2012 年和 2016 年高分辨率遥感图像为主要数据源,基于 GIS 软件平台,运用景观格局指数和景观梯度分析的方法,通过对安顺市在“国家园林城市”建设<sup>[20]</sup>和“城市双修”政策的推动下城市景观格局特征的分析,揭示研究区城市景观格局时空变化特征及过程,探明其城市

景观格局的空间梯度变化特征,为喀斯特山地城市景观生态安全格局构建、城市绿地系统建设和城市生态系统服务功能提供科学的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

安顺市西秀区(26°12′—26°18′N, 105°50′—106°0′E)地处于贵州省中部,其山地繁多、溶洞遍布,地层岩性以碳酸盐岩为主,土壤类型以黄壤、石灰土和水稻土为主,土层较薄且不连续。西秀区属亚热带季风性湿润气候,年平均气温 13.2~15℃。随着城市化发展进程加快,研究区总面积增长至约 5 635 hm<sup>2</sup>,2016 年,户籍人口 91.8 万,常住人口 77.9 万。2016 年辖区内实现生产总值 274.51 亿元,人均生产总值 35 656 元。

### 1.2 数据来源及处理

以安顺市建成区 2012 年和 2016 年航拍高分辨率(5 m×5 m,坐标系统为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N)遥感数据为基础,辅以安顺市建成区 1:10 000 地形图、安顺市建成区行政区划数据、安顺市城市绿地系统规划等文本和图鉴资料,针对喀斯特山地城市丰富的自然山体绿地分布的景观特点,综合《土地利用现状分类》标准(GB/T 21010-2017)和城市绿地系统用地分类标准。基于 ArcGIS10.4 软件平台,运用目视解译方法,结合野外调查,将研究区景观类型划分为耕地、建筑用地、水体、未利用地、自然山体绿地、城镇绿地 6 种类型。

### 1.3 景观格局指数

借鉴相关文献<sup>[21]</sup>,结合黔中喀斯特山地城市景观的特点,运用 Fragstats4.2 软件平台,从类型水平和景观水平 2 个尺度上进行城市景观结构研究,选取斑块数(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、平均形状指数(SHAPE-MN)、平均分维度(MPFD)、景观连接度(CONNECT)、景观分离度(SPLIT)、最大斑块指数(LPI)、景观集聚度(AI)、景观形状指数(LSI)、蔓延指数(CONTAG)、景观分割指数(DIVISION)、Shannon 均匀性指数(SHEI)、Shannon 多样性指数(SHDI)、类型占面积百分比(PLAND)、斑块类型面积(CA)16 个指数,具体计算方法见文献<sup>[22]</sup>。

### 1.4 缓冲区划分

为科学分析研究区景观格局的时空异质性特

征,揭示城市扩张和城市绿地建设驱动对安顺市景观格局的影响,本研究采用缓冲区法,以安顺市建成区几何中心为原点并设为第 1 缓冲带,以 500 m 为半径,以此类推将研究区划分为 16 个缓冲区梯度带(图 1)。

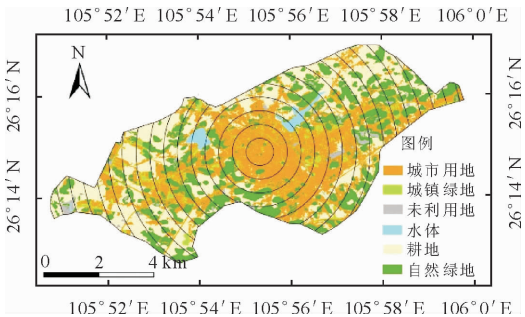


图 1 安顺市西秀区 2012 年缓冲带示意图  
Fig. 1 Buffer zone settings of Anshun City

2 结果与分析

2.1 不同景观类型时空变化分布特征

2.1.1 景观类型面积分布特征 统计分析不同景观类型的斑块类型面积和斑块平均面积指数,2012 年,研究区景观类型以建筑用地为主,占研究区总面积的 37.77%,其次为耕地和自然山体绿地,二者分布占 29.93%和 24.41%,而由公园绿地、防护绿地和各类附属绿地等构成的城镇绿地景观面积仅占研究区总面积3.97%。随着城市扩张速度的加快,以

及安顺市创建国家园林城市过程中对城市绿地的建设,到 2016 年,研究区城市建筑用地和城镇绿地景观面积明显增加,分别增加 9.62%和 10.8%;而耕地面积大量减少,约减少 1 061.42 hm<sup>2</sup>;同时,由于部分自然山体绿地的山体公园化建设,导致自然山体绿地面积有所减少,约减少 77.06 hm<sup>2</sup>。此外,随着创建国家园林城市进程中,对受损弃置地景观(未利用地)的生态恢复,未利用地景观面积也有所减少(减少约 23.51 hm<sup>2</sup>)(表 1、图 2)。

进一步分析不同景观类型的面积转移变化,可以看出(表 2),2012—2016 年,研究区城市景观类型面积转移变化最为剧烈的是城市建筑用地、城镇绿地、自然山体绿地和耕地 4 种景观类型。其中,建筑用地主要转出类型为城镇绿地,转出约 272.31 hm<sup>2</sup>,主要转入类型为耕地,转入面积约 598.70 hm<sup>2</sup>;城镇绿地的主要转出类型为城市建筑用地,转出约 115.13 hm<sup>2</sup>;耕地景观以净转出为主,约转出 1 152.61 hm<sup>2</sup>,主要转出和转入类型均为城市建筑用地和自然山体绿地;而自然山体绿地的主要转出类型为城镇绿地和城市建筑用地,分别转出 295.22 hm<sup>2</sup>和 191.17 hm<sup>2</sup>,主要转入类型为耕地,转入 341.97 hm<sup>2</sup>。总体而言,城市建筑用地和城镇绿地以净转入为主,而耕地和自然山体绿地以净转出为主,反映安顺市近年来城市扩张和城市绿地系统建设对景观格局的重要影响。

表 1 2012—2016 年安顺市西秀区城市景观类型结构变化

Table 1 Changes of landscape pattern of Anshun City from 2012 to 2016

景观类型	2012 年		2016 年		(2016-2012)/%
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	
建筑用地	2 128.40	37.77	2 670.47	47.39	9.62
耕地	1 686.65	29.93	625.23	11.09	-18.84
自然山体绿地	1 375.67	24.41	1 298.61	23.04	-1.37
城镇绿地	223.61	3.97	832.44	14.77	10.8
水体	95.48	1.69	107.00	1.90	0.21
未利用地	125.11	2.22	101.60	1.80	-0.42

注:表中为变化比率,即(2016-2012)=2016-2012 年。

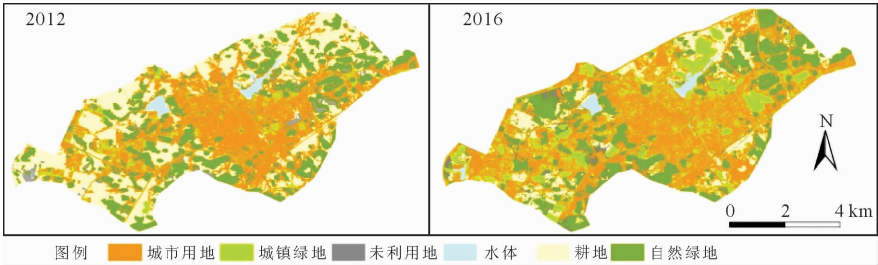


图 2 2012—2016 年安顺市西秀区城市景观类型空间分布

Fig. 2 Landscape types distribution map of Anshun City from 2012 to 2016

2.1.2 景观类型斑块特征分析 根据安顺市建成区的各类型斑块特点,参考相关文献<sup>[21]</sup>,将斑块划分为小型斑块(500 m<sup>2</sup> 以下)、中型斑块(500~3 000

m<sup>2</sup>)、大中型斑块(3 000~10 000 m<sup>2</sup>)、大型斑块(> 10 000 m<sup>2</sup>),统计得到 2012 年和 2016 年斑块等级分类数据。

2012—2016 年,安顺市西秀区的景观构成主要以大型斑块为主,由于大型斑块中的自然山体绿地和耕地转为建筑用地,两个时期面积分别占总面积 92.50%、74.75%,呈现减少趋势;小型斑块、中型斑块、大中型斑块面积明显增加,分别增加 220.06、405.74、375.15 hm<sup>2</sup>,大型斑块被分割,物种的生境

不连续,物种间的交流受阻碍,景观的整体性弱。随着自然山体绿地、耕地斑块的转移,使得斑块分布分散,2016 年小型斑块数量达到 25 124 个,较 2012 年增加了 32.54%,而其他等级的斑块数量占比明显减少,分别减少了 18.49%、6.22%、7.83%(表 3)。

表 2 2012—2016 年安顺市西秀区景观类型面积转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of landscape type in Anshun City from 2012 to 2016 hm<sup>2</sup>

2012 年	2016 年					
	建筑用地	城镇绿地	耕地	水体	未利用地	自然山体绿地
建筑用地	1 707.91	272.31	45.07	7.93	11.64	83.69
城镇绿地	115.13	82.65	1.96	0.72	0.97	22.17
耕地	598.70	145.52	534.19	9.77	56.65	341.97
水体	6.83	3.32	6.11	76.87	0.28	2.13
未利用地	50.93	33.56	4.05	9.04	7.77	19.65
自然山体绿地	191.17	295.22	33.84	2.68	24.29	828.90
净转入面积	962.76	749.93	91.03	30.14	93.83	469.61
净转出面积	420.64	140.95	1 152.61	18.67	117.23	547.20
净变化面积	542.12	608.98	−1 061.58	11.47	−23.40	−77.59

注:净变化面积=净转入面积−净转出面积。

表 3 2012—2016 年安顺市西秀区斑块等级分类

Table 3 Patch classification in Anshun City from 2012 to 2016

斑块等级	年份	面积/hm <sup>2</sup>	面积占比/%	斑块数量/个	数量占比/%
小型斑块	2012	45.24	0.80	1 831	46.15
	2016	265.30	4.71	25 124	78.69
中型斑块	2012	158.89	2.82	1 322	33.33
	2016	564.63	10.02	4 738	14.84
大中型斑块	2012	218.36	3.88	384	9.68
	2016	593.51	10.52	1 103	3.46
大型斑块	2012	5 212.78	92.50	430	10.84
	2016	4 211.90	74.75	963	3.01

2.2 类型水平上景观格局特征

2012—2016 年,研究区耕地斑块数无明显变化,其他景观类型值大幅增加,城镇绿地增至 11 678 个,斑块密度呈增加趋势,2016 年城镇绿地斑块数达到 207.24 个/hm<sup>2</sup>,而各景观类型平均斑块面积降低,其中建筑用地、自然山体绿地分别降低 4.21、1.72 hm<sup>2</sup>,说明景观破碎度加剧。随着人类活动范围加大,不同景观类型的景观形状指数均增加,2016 年城镇绿地的景观形状指数达到 130.39,水体仅为 11.28,平均分维度小幅度降低,说明形状结构不规则程度增加。建筑用地、水体的景观连接度减少,分别减少 0.07、3.28,耕地、自然山体绿地、城镇绿地、未利用地值小幅增加,但由于各景观类型景观连接度值过小,斑块间呈不连续状态。耕地、水体、未利用地景观分离度增加,2016 年分别增至 2 834.02、10 911.80、71 906.48,斑块之间距离加大,物种的交流廊道不连续,自然山体绿地与城镇绿地分离度

较大且大幅降低,其中城镇绿地降低 107 335.81,建筑用地分离度值较小,2016 年仅为 4.71,景观集聚度趋于 100,斑块分离程度低且大多呈块状分布。建筑用地、自然山体绿地、城镇绿地斑块最大斑块指数上升,此类斑块优势度增加,耕地、水体、未利用地 LPI 值下降,优势度减少,其中耕地从 6.57%下降到 0.86%,在 2016 年建筑用地最大斑块指数最大,为 46.06%,说明建筑用地为优势景观类型(表 4)。

2.3 景观水平上景观格局特征

统计分析景观水平上安顺市景观格局的变化特征,可以看出(表 5),2012—2016 年,安顺市城市景观类型的斑块数增加,从 4 231 个增至 16 069 个,主要是建筑用地、自然山体绿地、城镇绿地数量大幅度增加,使得总斑块数增多;4 年间,随着城市化加速,斑块密度从 75.09 个·hm<sup>−2</sup>增至 285.16 个·hm<sup>−2</sup>,研究区景观破碎程度加剧。景观形状指数呈增长趋势,约增加 30.81,整体景观形状趋于复杂,

人类活动影响加大。蔓延指数从 54.51% 减至 50.81%，整体蔓延度下降，由于建筑用地是安顺市建成区景观的基质，其数量和面积都增加且大部分呈块状分布，使得整体上景观分割指数仅下降 0.07，

连通性也随之上升；Shannon 均匀性指数从 0.76 增至 0.77，表明各景观组分分布更均匀；Shannon 多样性指数分别为 1.35、1.37，整体景观多样性呈较小增长趋势，景观趋于复杂和丰富。

表 4 2012—2016 年安顺市西秀区类型水平上景观格局指数

Table 4 Landscape pattern indices based on type level in Anshun City from 2012 to 2016										
景观类型	年份	NP /个	PD /(个·hm <sup>-2</sup> )	LPI /%	LSI	MPS /hm <sup>2</sup>	MPFD	CONNECT	SPLIT	AI
建筑用地	2012	377	6.69	36.69	61.78	5.65	1.12	1.00	7.43	93.40
	2016	1 848	32.79	46.06	95.89	1.44	1.10	0.93	4.71	90.81
耕地	2012	578	10.26	6.57	35.10	2.92	1.13	0.64	156.55	95.84
	2016	575	10.20	0.86	41.96	1.09	1.13	1.70	2 834.02	91.79
自然山体绿地	2012	513	9.10	0.86	32.74	2.68	1.14	0.48	1 188.90	95.71
	2016	1 359	24.12	2.16	40.06	0.96	1.11	1.08	658.59	94.57
城镇绿地	2012	2 615	46.41	0.16	81.40	0.09	1.15	0.37	110 113.62	72.99
	2016	11 678	207.24	1.31	130.39	0.07	1.10	0.47	2 777.81	77.53
水体	2012	37	0.66	0.84	8.46	2.58	1.22	7.81	8 535.55	96.16
	2016	42	0.75	0.72	11.28	2.55	1.19	4.53	10 911.80	95.01
未利用地	2012	111	1.97	0.32	16.91	1.13	1.13	0.70	42 374.19	92.85
	2016	567	10.06	0.21	29.04	0.18	1.11	2.42	71 906.48	85.98

表 5 2012—2016 年安顺市西秀区景观水平上景观格局指数

Table 5 Landscape pattern indices based on class level in Anshun City from 2012 to 2016								
年份	NP/个	PD/(个·hm <sup>-2</sup> )	LSI	CONTAG/%	CONNECT	DIVISION	SHDI	SHEI
2012	4 231	75.09	47.47	54.51	0.40	0.86	1.35	0.76
2016	16 069	285.16	78.28	50.81	0.49	0.79	1.37	0.77

2.4 景观格局梯度特征

2.4.1 类型水平上的景观格局梯度分析 本研究选择景观类型变化较大的建筑用地、耕地、自然山体绿地和城镇绿地进行安顺市建成区景观格局空间梯度变化分析。

2.4.1.1 建筑用地 2012—2016 年城市用地景观类型面积曲线呈“n”型变化趋势，分别在第 4、第 5 缓冲带达到最大值，在第 4 缓冲带后，2016 年值（30.56~283.30 hm<sup>2</sup>）高于 2012 年（13.34~266.24 hm<sup>2</sup>），类型占面积百分比曲线由城市中心到城市边缘呈小波动下降趋势，说明建筑用地外扩，随着远离城市中心，建筑用地占主导的优势度逐渐降低（图 3a、图 3b）。2012 年斑块密度曲线波动不大，2016 年值（1.27~102.83 个·hm<sup>-2</sup>）在各缓冲带中明显高于 2012 年（1.27~19.50 个·hm<sup>-2</sup>），建筑用地破碎度逐年增加（图 3c）。2 个时期的景观形状指数曲线变化呈“n”型且最大值都出现在第 7 缓冲带，分别为 24.56、35.64，表明中间缓冲带形状最为复杂且受人为干扰最大（图 3d）。

2.4.1.2 耕地 由于耕地大范围转为建筑用地和自然山体绿地，2016 年耕地类型占面积百分比（0.27~31.77%）明显低于 2012 年（0.88~54.28%），2016 年景观类型面积在第 6~第 11 缓冲

带达到高峰值（67.46~121.30 hm<sup>2</sup>），说明耕地主要分布于第 6~第 11 缓冲带（图 4a、图 4b）。研究期的耕地斑块密度值具有随机性，2016 年曲线出现 3 个峰值在第 5、第 11、第 16 缓冲带，分别为 19.65、37.72、51.42 个·hm<sup>-2</sup>，该缓冲带破碎程度达到最大（图 4c）。2 个时期景观形状指数曲线类似“m”型，耕地形状不规整，中间缓冲带复杂度加大，受人类活动干扰程度大（图 4d）。

2.4.1.3 自然山体绿地 自然山体绿地景观类型面积曲线呈“n”型变化趋势，主要分布于 4~10 缓冲带，2016 年城市中心主要为商业集聚区，因此第 1 缓冲带内无自然山体绿地，在第 3~第 8 缓冲带，大量自然山体绿地转为城镇绿地与建筑用地，导致 2012 年（64.69~177.11 hm<sup>2</sup>）大于 2016 年（61.65~161.07 hm<sup>2</sup>）（图 5a）。2012—2016 年自然山体绿地类型占面积百分比曲线呈波动上升趋势，分别在 2.90%~37.95%、3.93%~34.48% 变化，城市外围自然山体绿地景观优势度增加（图 5b）。2012 年自然山体绿地的斑块密度曲线变化较为平缓（8.38~20.37 个·hm<sup>-2</sup>），2016 年曲线波动剧烈（9.76~38.80 个·hm<sup>-2</sup>），斑块分布不均（图 5c）。研究期间自然山体绿地的景观形状指数曲线不规则且呈先增后减趋势，中间缓冲带景观形状较复杂（图 5d）。

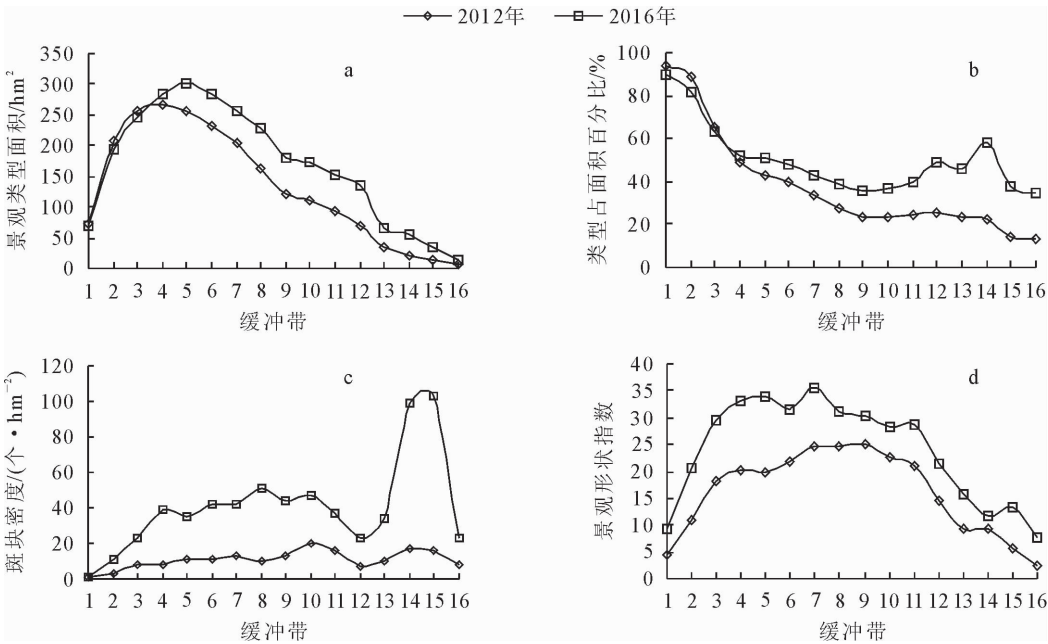


图 3 建筑用地类型水平梯度变化特征

Fig. 3 Gradient variation characters of landscape type of building land

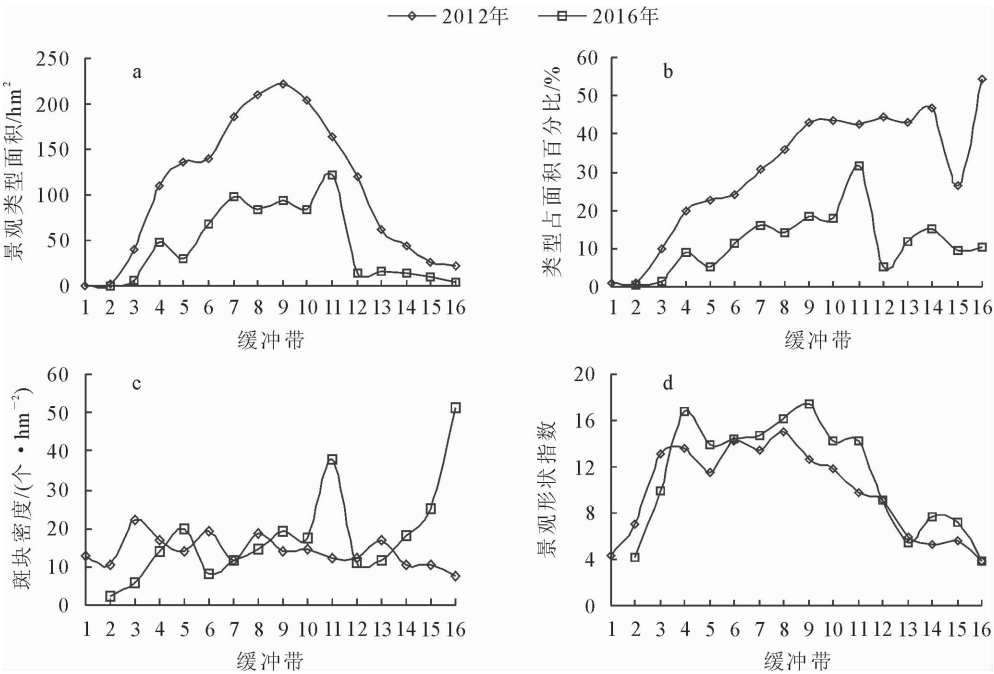


图 4 耕地类型水平梯度变化特征

Fig. 4 Gradient variation characters of landscape type of arable

2.4.1.4 城镇绿地 2016 年的城镇绿地景观类型面积向外沿梯度带先升后降,城镇绿地主要分布于第 3~第 8 缓冲带( $62.68 \sim 115.89 \text{ hm}^2$ ),2012 年的数据变化较为平缓( $0.59 \sim 30.70 \text{ hm}^2$ )(图 6a)。由于城市边缘地区开发,大量的城市绿化建设,导致城市绿地率升高,城镇绿地类型占面积百分比在 2016 年( $9.32 \sim 19.21\%$ )明显高于 2012 年( $1.52 \sim 6.48\%$ )(图 6b)。2012 年的城镇绿地斑块密度波动

较小( $15.43 \sim 121.83 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),2016 年斑块密度曲线类似“u”型变化,城镇绿地镶嵌于城市建筑用地中,在第 2 缓冲带达到最大值为  $539.53 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 6c)。研究期间城镇绿地的景观形状指数变化趋势基本一致,呈先增后减走势,2016 年值( $10.23 \sim 52.44$ )大于 2012 年( $2.90 \sim 31.80$ ),景观形状多样化、复杂化(图 6d)。



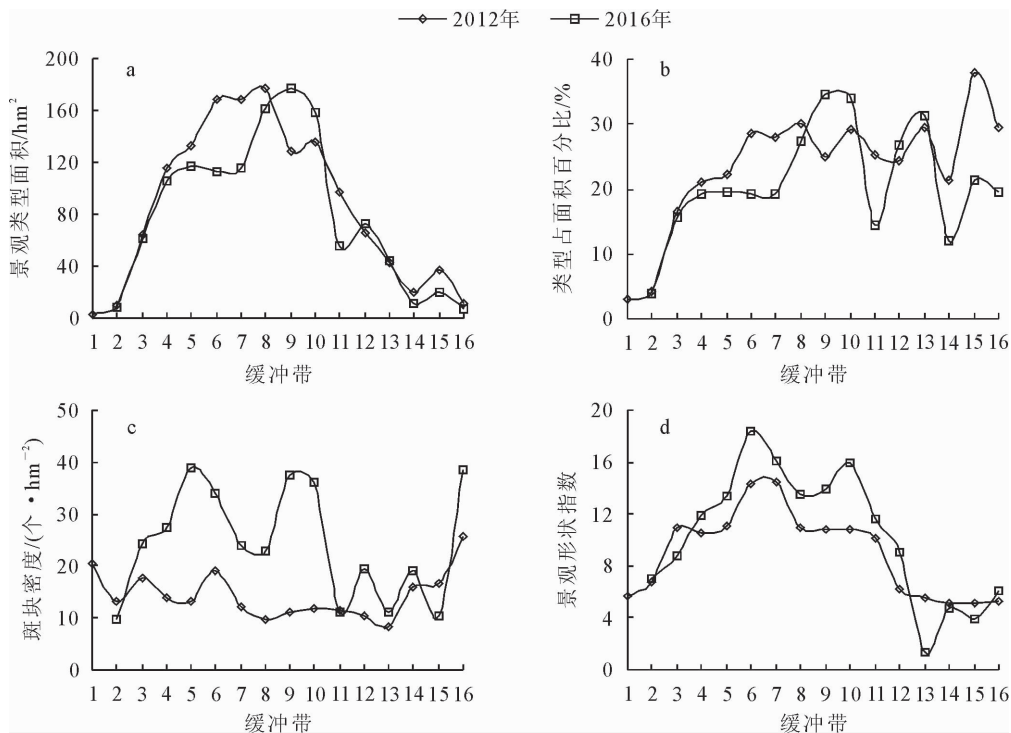


图5 自然山体绿地类型水平梯度变化特征

Fig. 5 Gradient variation characters of landscape type of natural mountain greenbelt

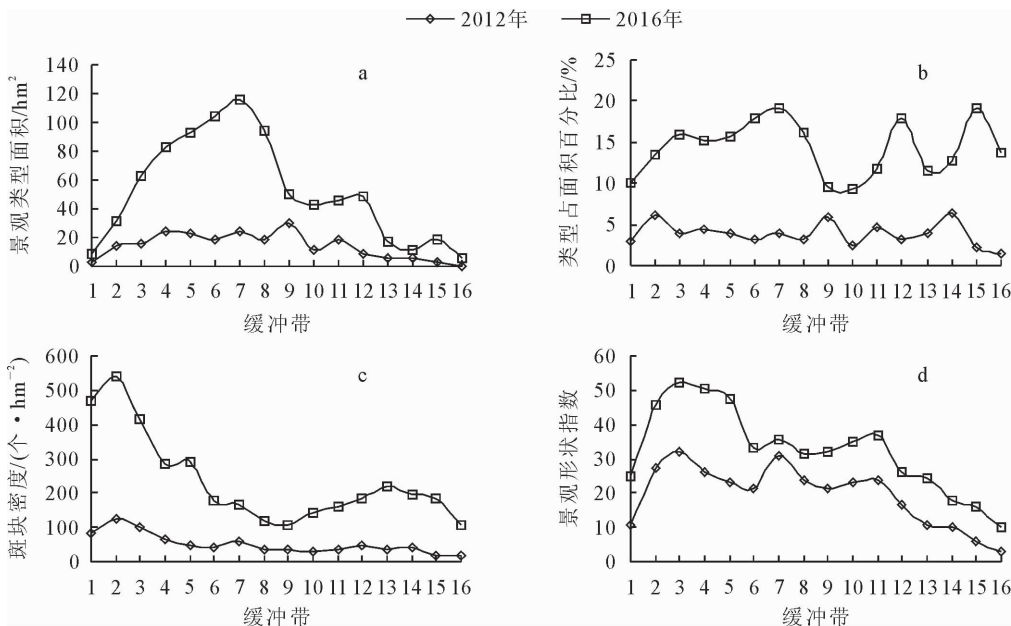


图6 城镇绿地类型水平梯度变化特征

Fig. 6 Gradient variation characters of landscape type of city greenbelt

2.4.2 景观水平上的城市景观格局梯度分析

2016 年景观斑块密度(217.88~564.58 个 $\cdot\text{hm}^{-2}$ )明显高于 2012 年(64.28~153.26 个 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ), 2016 年曲线呈“升—降—升—降”趋势变化,2012 年曲线波动不大(图 7a)。研究期间最大斑块指数曲线变化大约一致,呈“u”型变化,在第 1 缓冲带达到最大值,分别为 93.41%、89.86%(图 7b)。2 个时期的景观形状指数呈“Δ”状分布,2016 年数值(8.43

~29.39)明显大于 2012 年(4.28~20.52),整体景观形状趋于复杂,城市化干扰强度不断强化(图 7c)。2012 年和 2016 年的平均形状指数值都在 1~2 波动,数值处于较低水平,总体来看各缓冲带景观结构复杂性较低(图 7d)。研究期间 Shannon 多样性指数变化趋势基本一致,先上升后趋于平稳,但值较小且在 0.2~1.6 波动(图 7e),2016 年景观聚集度指数(87.73~91.21)整体小于 2012 年(92.72~

96.52), 2016 年景观由许多离散的小斑块组成, 斑块分布趋于离散(图 7f)。总体而言, 从建成区几何中心向外沿, 中部缓冲带形状指数最高, 其破碎化程

度造成斑块间集聚度下降, 斑块分布格局复杂化, 形成较高的景观多样性。

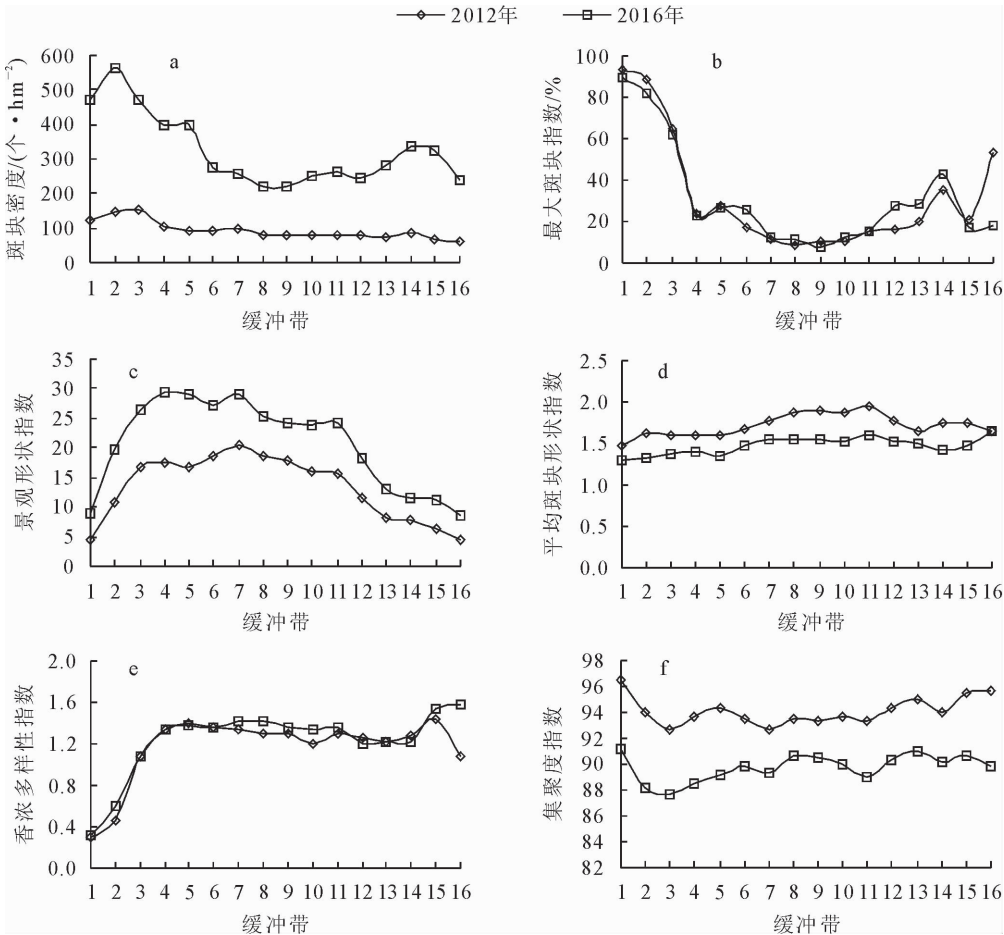


图 7 景观水平上景观梯度变化特征

Fig. 7 Gradient variation characters of landscape levels

### 3 结论与讨论

黔中喀斯特山地城市具有独特的城山镶嵌特征, 近年来, 在贵州省生态文明城市建设的推动下, 社会经济各项事业迅速发展, 城市化程度日益加快, 城市扩张速度加剧, 城市景观格局发生剧烈变化。本文以典型黔中喀斯特山地城市安顺市建成区为对象, 通过对 2012 年和 2016 年高分辨率遥感影像的解译, 分析了安顺市“国家园林城市”建设<sup>[20]</sup>、“城市双修”背景下城市景观格局特征, 进一步运用景观空间梯度分析方法揭示了不同城市空间梯度的景观变化规律。

2012—2016 年, 安顺市城市景观类型均以建筑用地为优势类型, 但不同景观类型的结构发生明显变化, 自然山体绿地和耕地面积显著下降, 建筑用地和城镇绿地面积明显增加, 表现为建筑用地的不断扩张与耕地的缩减耦合<sup>[10, 23]</sup>, 各景观类型交错分布、存在相互转移且转移面积不一的特征。同时, 虽

然研究期间城市景观斑块均以大型斑块为主, 并随着城市空间的扩张, 大型斑块数量有所增加, 但由于强烈的人为活动干扰, 各类斑块的破碎化程度有加剧的趋势。并且, 受特殊的喀斯特地貌特征影响, 加之强烈的人为活动干扰, 安顺市城市整体景观较为破碎, 景观形状趋于复杂且破碎, 但由于近年来安顺市在创建“国家园林城市”的进程中, 城市中心区通过“见缝插绿”的措施<sup>[24]</sup>, 着力提高城镇绿地系统各类绿地的面积, 在中心城区外围通过各类城镇绿地建设和自然山体绿地公园化改造, 促使城镇绿地和自然山体绿地面积显著增加, 虽城市内各类绿地(包括自然山体绿地)的景观分离度较大, 但分离性有大幅减小的趋势, 景观连通性总体上升, 景观多样性水平有所增加, 这为安顺市城市生态系统服务功能的改善具有重要的科学和现实意义。

在不同城市空间上, 由于喀斯特山地地貌本底的限制, 城市中心区的老城区建设用和绿地建设可拓展空间不足, 因此, 随着城市扩张速度的不断加



快,建成区内中间缓冲带各类景观变化明显,呈现出景观破碎化程度加剧,形状趋于复杂的特征;但在安顺市“节约型、生态型、功能完善型”国家公园城市建设目标的驱动影响下,安顺市充分依托喀斯特山地城市得天独厚的分布广泛的自然山体绿地资源,对适宜山体公园化改造利用的自然山体实施了一系列开发利用工程,与原有的城镇绿地系统融合,形成了自然山体绿地环绕、城镇绿地连通镶嵌的城市绿地生态系统景观,在城市整体景观格局区域破碎化和复杂化的情况下,确保了绿地系统(自然山体绿地和城镇绿地)的景观连通性逐步增加、景观分离度显著降低、以及景观多样性持续提升。

由于研究区城市本底环境的破碎性和脆弱性,加之快速城市化进程中基础设施的大量建设,安顺市城市景观总体表现出建设用地扩张与耕地缩减耦合、城镇绿地建设和自然山体绿地生态保护与开发利用矛盾突出的特征。如何协调城市化发展与城市生态系统服务功能改善的关系,是今后喀斯特山地城市生态学和城市规划中继续解决的关键问题,因此,在今后的城市化发展与城市生态系统服务功能改善过程中,对于城市建设空间不足、城镇绿地系统景观破碎的城市中心区(老城区),当以建筑用地的“城市修补”和“见缝插绿”的城镇绿化建设为主,着力加强城市中心区景观连通性和多样性的提升,确保人口密集的老城区内生态系统服务功能的改善;对于正在大规模实施城市基础设施建设和城镇绿地开发的城市中部区域(缓冲区中部区域),由于城市化开发力度大,景观空间分布分散性加强,景观破碎化程度加剧,景观聚集度下降,因此需加强景观连通性的规划设计,尤其是自然山体绿地的保护和科学合理的开发利用,保障城镇绿地和自然山体绿地在城市生态系统服务功能中的重要作用;而对于尚未进行大规模城市开发建设的建成区外围区域(缓冲区外围),应充分发挥喀斯特山地城市的城山镶嵌的特点,对该区域的自然山体绿地以重点保护为主,打造城市生态屏障,推动“产-城-景”深度融合,实现安顺市“山水田园、绿色生态、宜居宜游、开放创新、历史文化”五型发展目标<sup>[20]</sup>。

景观格局研究具有明显的尺度依赖性,不同梯度样带设置方法、不同步长和形状的缓冲区设置会对景观指数结果有影响,然而无论运用何种梯度分析,城市化梯度带上景观总体变化规律总是一致的,不会出现显著差异<sup>[25-28]</sup>。采用高分辨率影像数据提高景观格局分析的准确性,能体现人为干扰与城市化发展是景观格局发生时空变化的重要驱动因素,对黔中喀斯特山地城市景观生态建设及城市资源规

划具有参考价值。

参考文献:

[1] 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等.中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J].生态学报,2014,34(12):3129-3141.  
CHEN L D,LI X Z,FU B J,*et al.* Development history and future research priorities of landscape ecology in China[J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(12):3129-3141. (in Chinese)

[2] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶.关于景观格局演变研究的几个问题[J].地理科学,2003,23(3):264-270.

[3] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J].生态学报,2014,34(2):247-257.  
SUN C Z,YAN X L,ZHONG J Q. Evaluation of landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain[J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(2):247-257. (in Chinese)

[4] 郭少壮,白红英,孟清,等.1980—2015年秦岭地区景观格局变化及其对人为干扰的响应[J].应用生态学报,2018,29(12):4080-4088.

[5] 刘吉平,董春月,盛连喜,等.1955—2010年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应[J].地理科学,2016,36(6):879-887.

[6] 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.  
CHEN Y,LIN Y W,ZHU Z P,*et al.* Changs of landscape pattern in putian based on RS and GIS[J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(1):279-286. (in Chinese)

[7] 白元,徐海量,刘新华,等.塔里木河干流景观格局梯度分析[J].干旱区研究,2013,30(6):1064-1072.

[8] 张秋玲,马金辉,赵传燕.兴隆山地区景观格局变化及驱动因子[J].生态学报,2007,27(8):3206-3214.  
ZHANG Q L,MA J H,ZHAO C Y. Analyze landscape pattern changes of Xinglong mountainsands driving force [J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(8):3206-3214. (in Chinese)

[9] 冯舒,赵文武,陈利顶,等.2010年来黄土高原景观生态研究进展[J].生态学报,2018,37(12):3957-3966.  
FENG S,ZHAO W W,CHEN L D,*et al.* Advances in landscape ecology in the Loess Plateau since 2010 in China[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,37(12):3957-3966. (in Chinese)

[10] 梁保平,雷艳.快速城市化背景下广西典型城市景观空间格局动态比较研究[J].生态学报,2018,38(12):4526-4536.  
LIANG B P,LEI Y. Comparison of changing landscape patterns in the rapidly urbanizing cities of Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,38(12):4526-4536. (in Chinese)

[11] 张明阳,王克林.桂林北典型喀斯特区生态系统服务价值对景观格局变化的响应[J].应用生态学报,2010,21(5):1174-1179.

[12] 雷金睿,陈宗铸,杨琦,等.基于GIS的海口市景观格局梯度分析[J].西北林学院学报,2017,32(3):205-210.  
LEI J R,CHEN Z Z,YANG Q,*et al.* GIS-based gradient analysis of urban pattern of Haikou[J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(3):205-210. (in Chinese)

[13] 任梅,王志杰,王志泰,等.黔中喀斯特山地城市景观格局指数

粒度效应-以安顺市为例[J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 3137-3145.

REN M, WANG Z J, WANG Z T, *et al.* Grain size effect of karst mountainous urban landscape pattern indices in the central Guizhou: a case study of Anshun city[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(10): 3137-3145. (in Chinese)

[14] 王志泰, 王志杰, 包玉. 基于 Quick Bird 遥感影像的铜仁市城市绿地景观结构特征分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 166-170.

WANG Z T, WANG Z J, BAO Y. Grain size effect of karst mountainous urban landscape pattern indices in the central Guizhou [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1): 166-170. (in Chinese)

[15] 王志泰, 王志杰, 包玉. 基于 GIS 的铜仁市城市绿地系统景观格局分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 110-114, 126.

WANG Z T, WANG Z J, BAO Y. Landscape pattern analysis on the urban green space system of Tongren city based on GIS[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(1): 110-114, 126. (in Chinese)

[16] 崔王平, 李阳兵, 李睿康, 等. 基于梯度分析的重庆市主城区城市扩展的景观生态效应[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1): 205-215.

[17] MATTHEW L, WU J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the *Phoenix metropolitan* region, Arizona, USA[J]. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 327-339.

[18] 彭文君, 舒英格. 喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 852-865.

PEN W J, SHU Y G. Analysis of landscape ecological security and cultivated land evolution in the Karst mountain area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 852-865. (in Chinese)

[19] 周余义. 典型石漠化地区可持续发展研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.

[20] 姜婕. 打造宜居安顺、扮美绿色家园-贵州省安顺市创建国家园林城市侧记[J]. 城乡建设, 2017, 16: 50-53.

[21] 赵晓燕. 基于 GIS 的西安市城市景观格局分析及其优化对策[D]. 西安: 西北大学, 2007.

[22] 史志华. 基于 GIS 和 RS 的小流域景观格局变化及其土壤侵蚀响应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.

[23] 马亚鑫, 丛辉, 周维博, 等. 西安市土地利用景观格局动态演变及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 186-192.

MA Y X, CONG H, ZHOU W B, *et al.* Landscape pattern of land use dynamic development and driving force in Xi'an[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 186-192. (in Chinese)

[24] 刘映良. 喀斯特典型山地退化生态系统植被恢复研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.

[25] 陈仙春, 赵俊三, 陈磊士, 等. 基于 Landsat 影像的玉溪市红塔区土地覆盖分类及变化分析[J]. 森林工程, 2019, 35(3): 1-8.

CHEN X C, ZHAO J S, CEHN L S, *et al.* Land cover classification and change analysis of Hongta district in Yuxi city based on landsat image[J]. Forest Engineering, 2019, 35(3): 1-8. (in Chinese)

[26] 俞龙生, 符以福, 喻怀义, 等. 快速城市化地区景观格局梯度动态及其城乡融合区特征——以广州市番禺区为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 171-180.

[27] 韩亚军, 贾炜玮, 朱万才. 基于 RS 和 GIS 的伊春市土地覆盖变化与空间格局分析[J]. 森林工程, 2017, 33(5): 17-23.

HAN Y J, JIA W W, ZHU W C. Analysis of land cover change and spatial pattern in Yichun city based on RS and GIS[J]. Forest Engineering, 2017, 33(5): 17-23. (in Chinese)

[28] XIE Y C, YU M, BAI Y F, *et al.* Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern-desakota: a case study in Suzhou, China [J]. Landscape Ecology, 2006, 21(8): 1297-1309.

(上接第 183 页)

[15] DU G, LIU A J. The flexural and tribological properties of UHMWPE composite filled with plasma surface-treated wood fibers [J]. Surf. & Interf. Analysis, 2017, 49(11): 1142-1146.

[16] DIMITRIOU A, HALE M D, SPEAR M J. The effect of four methods of surface activation for improved adhesion of wood polymer composites (WPCs) [J]. J. Adhes. Adhes., 2016(7): 188-194.

[17] 陈国, 刘文冰. 热塑性弹性体材料的研究进展与市场前景[J]. 化工新型材料, 2001, 29(8): 8-10.

CHEN G, LIU W B. The market prospect and development of thermoplastic elastomer material[J]. New Chemical Materials, 2001, 29(8): 8-10. (in Chinese)

[18] 张扬, 马岩. 碳纤维增强木基复合材料的制备及其力学性能[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 232-236.

ZHANG Y, MA Y. The preparation and mechanical properties of wood-based composite materials reinforced by carbon fiber[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 232-236. (in Chinese)

[19] 王志强, 季雪平, 卢晓宁, 等. 强化复合地板平衡纸改性增强研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 162-164.

WANG Z Q, JI X P, LU X N, *et al.* Research on reinforcement modification of impregnated paper laminate floor equilibrium paper [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 162-164. (in Chinese)