

GIS 支持下的上杭县城市景观格局分析

罗紫薇, 胡希军*

(中南林业科技大学 风景园林学院, 湖南 长沙 410004)

摘要:以 2018 年 5 月 20 日的上杭县城区航空影像图为信息源, 2017 版上杭县城区修测地形图为基础数据, ArcGIS10.2 为平台, 结合 GPS 定位外业调查数据, 在 Fragstats4.2 上计算景观格局指数, 对上杭县城市景观格局进行分析, 归纳出上杭县城市景观格局的特点。结果表明, 上杭县城市规划中存在的问题是主城区阻塞了重要动物的迁徙通道; 公用设施景观建设跟不上城市发展的需要; 城市周边大量农业景观未良好利用; “城中村”布局散乱。由此提出了景观格局优化对策: 优化布局结构; 控制人工景观面积, 增加城市绿地; 发展农事旅游; 改造“城中村”; 整合小型工业企业。该研究可为上杭县城市景观生态规划、城市建设提供参考。

关键词:城市景观; 景观格局; GIS; 景观指数; 上杭县城

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2019)03-0225-06

On Urban Landscape Pattern in Shanghang County Supported by GIS

LUO Zi-wei, HU Xi-jun*

(College of Landscape Architecture, South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: Taking the aerial images of the urban area of Shanghang County on May 20, 2018 as information sources, on the basis of revised terrain map of the county urban area of 2017, the urban landscape pattern characteristics were summarized by using ArcGIS10.2 as platform, combining with GPS field survey data and the calculation on Fragstats4.2 landscape pattern index. Problems existed were pointed out: the downtown blocked the important animal migration channel; the landscape construction of public facilities could not keep up with the need of urban development; a large number of agricultural landscapes around the city were not well utilized. The layout of “villages in the city” was scattered. Based on the analysis of the urban landscape pattern features, the following strategies for landscape pattern optimization were proposed: to optimize the layout structure; to control artificial landscape area and to increase urban green spaces; to develop agricultural tourism; to transform “urban villages”; to integrate small industrial enterprises. This study could provide a reference for the urban landscape ecological planning and urban construction of Shanghang County.

Key words: urban landscape; urban landscape spatial pattern; GIS; landscape pattern index; Shanghang County

近年来, 国内外针对不同景观类型开展的城市景观格局研究已十分普遍。但我国在城市景观格局上的研究多以小流域、大城市为研究尺度^[1-3], 县级级别的城市景观格局研究较少, 且多为县域城市绿

地景观格局方向^[4-5]或县域景观格局演变方向^[6]的研究, 故本研究具有一定的理论意义。县和县域是我国对社会发展和经济生产进行组织与管理的最基本的行政单元, 国内目前在较大尺度上开展的土地

收稿日期: 2018-11-15 修回日期: 2018-12-04

基金项目: 国家林业局重点学科(风景园林学)(林人发[2016]21号); 湖南省教育厅“十二五”重点学科资助(2011-76)。

作者简介: 罗紫薇, 女, 硕士, 研究方向: 风景园林规划与设计。E-mail: luozimei0412@163.com

*通信作者: 胡希军, 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向: 景观生态规划、风景园林规划与设计、城乡规划。E-mail: 120795043@qq.com

资源优化配置,不利于优化措施的具体实施,对县域土地利用规划提供的参考价值不大。本研究拟通过对上杭县城市景观格局的分析,归纳出上杭县城市景观格局的特点及城市规划中的问题,并针对这些问题提出优化建议,以期为上杭县城市景观生态规划提供参考,对合理进行土地利用规划及管理,改善城市生态环境提供素材。

1 研究区概况

上杭县隶属福建省龙岩市,位于福建省西南部,龙岩市西部,汀江中游。地处 $116^{\circ}15'50''-116^{\circ}56'47''E, 24^{\circ}46'02''-25^{\circ}27'47''N$,属亚热带季风气候。上杭县东西宽 69 km,南北长 78 km,总面积约 $287\ 900\text{ hm}^2$,地势由东北向西南倾斜,属高丘低山地貌。境内水系密布,各溪流呈树枝状分布,水系主体为汀江流程 112 km。城市发展目标是充分发挥自然、人文资源优势,融入区域一体化发展格局,统筹城乡发展,推进健康城镇化,在规划期内建成经济繁荣、环境优美、特色鲜明的客家文化名城、生态宜居城市、海西金铜产业基地和绿色发展示范区。本研究以 2020 年形成的城市外环道路外边线为界(图 1),界限内部为研究区域,面积为 $2\ 884.5\text{ hm}^2$ 。



图 1 2020 年上杭县城区道路规划

Fig. 1 Urban road planning map of Shanghang County in 2020

2 材料与方法

2.1 数据来源及预处理

将 2017 年上杭县城区修测地形图 DWG 文件、2018 年 5 月 20 日的上杭县城区无人机航空影像图(图 2)导入 ArcGIS10.2,并对航空影像图进行地理配准及裁剪等预处理。利用 2018 年航空影像图对城区地形图研究范围内的空白区域进行补充,结合

GPS 定位的外业采样数据,对城区地形图进行核实、修正,确定 2018 年研究区域用地情况及各用地边界,进行景观分类后,导出图元为 1 m 的栅格图。



图 2 2018 年 5 月 20 日上杭县城区航空影像

Fig. 2 Aerial image of Shanghang County urban area on May 20, 2018

2.2 研究方法

以 2018 年 5 月 20 日的上杭县城区航空影像图为信息源,以 2017 版上杭县城区修测地形图为基础数据,结合 GPS 定位外业调查数据,以 ArcGIS10.2 为平台,综合尺度、功能、形态结构及生态等级原则,对上杭县城市景观进行分类,得到上杭县城市景观类型栅格图,通过 Fragstats4.2 计算景观格局指数,运用景观生态学^[7]、景观可达性理论、景观格局指数的生态意义,分析 2018 年上杭县城市景观格局情况,总结城市规划发展中的不足之处,并提出相应的优化对策。

2.2.1 城市景观分类体系的确定 景观格局分析是采用数量分析的方法对景观类型的结构进行分析,因而有必要先进行景观的分类。综合考虑上杭县城区航空影像图的图像分辨率、上杭县城市景观的特点和资料获取的可能性,参考《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137-2011)、城市绿地分类标准(CJJ/T85-2017),以城市建设用地分类为依据,可将上杭县城区内的城市景观分为居住景观、公共管理与服务景观、公用设施景观、商业服务景观、绿地与广场景观、工业景观、水体景观、道路景观 8 大类。结合实地考察,上杭县城市内部存在有大面积的村落,多以农村自建房为主,与上杭县城市居住小区、公寓的景观特点差异较大,故将居住景观划分为城市居住景观和农村居住景观 2 类;同理,从人类干预的方式及程度出发,将绿地与广场景观另划出

表 1 上杭县城市景观分类体系

Table 1 Landscape classification system of Shanghang County

序号	城市景观类型	内容
1	城市居住景观	指城市居民的住宅小区和成片居民点。包括居住区内的道路、院落、绿化及附属设施等用地
2	农村居住景观	指城市周边的村落、农民自建房等。包括居住范围内的农舍、牲畜棚圈、仓库场院、道路、水渠、宅旁绿地等用地
3	公共管理与服务景观	指城市内行政、文化、教育、体育、卫生等机构和设施的用地。包括社会福利用地、文物古迹用地、外事用地、宗教用地,不包括居住用地中的服务设施用地
4	公用设施景观	指城市内供应、环境、安全等设施用地
5	商业服务景观	指城市内商业、商务、娱乐康体、物流、仓储等设施用地。不包括居住用地中的服务设施用地
6	绿地与广场景观	指城市内以人工为主的各类绿地、公园、广场等公共开放空间用地。不包括自然生长的林地景观
7	工业景观	指工矿企业的生产车间、库房及其附属设施用地。包括专用铁路、码头和附属道路、停车场等用地,不包括露天矿用地
8	农业景观	指城市边缘区已开发或尚未开发的耕地、园地等农业用地
9	林地景观	指城市内自然生长的林地
10	水体景观	指河流、小溪、池塘等,不包括公园、居住用地等内部的水体
11	道路景观	指城市道路、交通设施、公共停车场等用地。不包括居住用地、工业用地等内部的道路、停车场等用地景观

2 类景观:农业景观、林地景观。综上所述,根据上杭县城市景观分类需要,将上杭县城市景观分为 11 类(表 1)。

2.2.2 景观格局指数的选择 结合研究区域的特点及研究的目的,在景观格局指数分析软件 Fragstats4.2 中,选用了景观斑块类型水平上的 3 类指

标^[8-10]:面积-边缘指标、形状指标、聚散性指标;选用了景观水平上的 4 类指标:面积-边缘指标、形状指标、聚散性指标、多样性指标(表 2),通过对其数值实际意义的描述,对上杭县城市景观格局进行初步分析。

表 2 上杭县城市景观格局指数

Table 2 List of Shanghang County urban landscape pattern indexes

级别	指标	指标名称	级别	指标	指标名称	
景观斑块类型级别	1. 面积-边缘指标	斑块类型面积 CA	景观级别	1. 面积-边缘指标	景观面积 TA	
		斑块所占景观面积比例 PLAND			2. 形状指标	景观周长面积分维 PAFRAC
		最大斑块占景观面积比例 LPI			3. 聚散性指标	斑块数量 NP
		斑块平均大小 AREA_MN			斑块密度 PD	
	2. 形状指标	周长面积分维 PAFRAC		分离度指数 SPLIT	4. 多样性指标	聚集度指数 AI
		平均分形维数 FRAC_MN		景观丰度 PR		香农多样性指标 SHDI
		斑块连通度指数均值 CONTIG_MN		香农均匀度指标 SHEI		
		斑块数量 NP		斑块密度 PD		
	3. 聚散性指标	斑块数量 NP		斑块凝聚度指数 COHESION		
		斑块密度 PD				

3 结果与分析

3.1 上杭县城市景观分类

针对上杭县在 2020 年将形成的城市外环道路外边线以内的城市区域,依据上述景观分类体系标准在 ArcGIS10.2 中进行城市景观分类,得到上杭县城市景观分类图(图 3)。可清晰观察到上杭县 11 类城市景观类型的分布情况,得到以下直观结论:观察城市居住景观、公共管理与服务景观、商业服务景观的聚集情况及道路的密集度可知,大多数的城市人口主要居住、活动在上杭县主城区内;绿地与广场景观多沿汀江分布;城市边缘区域多以形状不规整

的农业、林业景观为主,其内零散分布有农村居住景观及水体景观;大型工业景观多集中成片分布。

3.2 景观格局指数分析

3.2.1 景观斑块类型级别(Class)指数分析

3.2.1.1 面积-边缘指标 斑块类型面积(CA)及斑块所占景观面积的比例(PLAND)度量的是景观的组分,可以得知某一斑块类型占整个景观的面积及相对比例,是计算其他指标的基础,其值的大小制约着此类型斑块的丰度、数量,由此可得出研究区内各组分关系为:农业>绿地与广场>水体>城市居住>林地>农村居住>道路>工业>公共管理与服务>商业>公用设施景观(图 4)。结合 LPI 值可

知,农业、绿地与广场、水体景观是上杭县城市景观中的优势景观元素,其中农业景观对整个景观的贡献率最高。

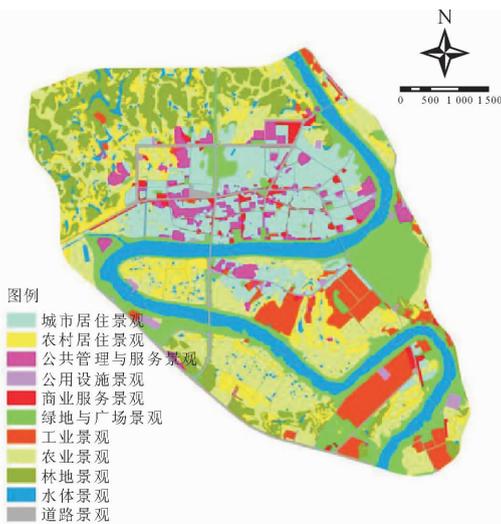


图3 上杭县城市景观分类

Fig. 3 City landscape classification map of Shanghang County

平均斑块大小(AREA_MN)代表一种平均状况,其值的大小一定程度上可以判断斑块类型的聚集度和破碎程度,如城市居住景观、绿地与广场、农业、道路景观的AREA_MN值>其他类型,结合图

3可知,这几类景观类型聚集面积大,连通性好,间接反映了该景观类型破碎化程度小,其中道路最为完整、破碎化程度最小;反观商业服务景观的AREA_MN值仅为0.39 hm²,说明商业景观斑块面积普遍较小,多零散分布,破碎化程度高。斑块面积方差(AREA_SD)可以反映同一类型下各斑块之间的大小差异程度,其中绿地与广场、农业、工业景观数值均>8 m,数值越大代表着斑块大小差异越大,公共管理与服务、农村居住、公用设施、商业景观的AREA_SD值<1.5 m,说明这几类景观类型斑块大小差异小,多建设为规则型。

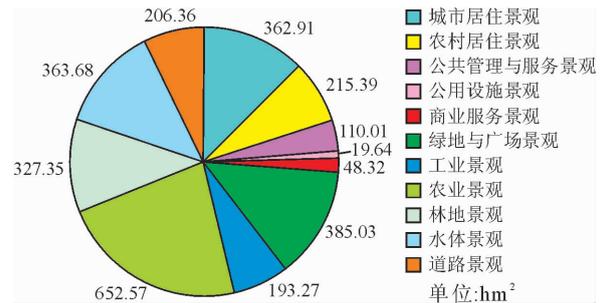


图4 上杭县城市景观组分关系

Fig. 4 Relationship of urban landscape components

表3 上杭县城市景观斑块类型面积-边缘指标

Table 3 City landscape patch type area-edge index of Shanghang County

指数	城市居住	农村居住	公共管理与服务	公用设施	商业服务	绿地与广场	工业	农业	林地	水体	道路
CA/hm ²	362.91	215.39	110.01	19.64	48.32	385.03	193.27	652.57	327.35	363.68	206.36
PLAND/%	12.58	7.47	3.81	0.68	1.68	13.35	6.70	22.62	11.35	12.61	7.15
LPI/%	1.21	0.40	0.28	0.14	0.15	3.40	1.84	2.79	1.20	2.53	7.14
AREA_MN/hm ²	4.08	0.69	0.85	0.82	0.39	4.14	3.45	4.05	3.00	1.33	51.59
AREA_SD/m	5.42	1.33	1.46	1.10	0.56	11.60	8.26	8.77	5.04	7.46	89.17

3.2.1.2 形状指标 形状指标可描述斑块外部形状的复杂性。周长面积分维(PAFRAC)主要揭示由斑块组成的景观形状和面积大小之间的相互关系,反映了在一定观测尺度上景观类型形状的稳定性和复杂性,其值越趋近于1,如公共管理与服务、公用设施景观,说明这2类景观类型的形状越趋近简单的正方形斑块,形状更稳定。平均分形维数(FRAC_MN)能反映人类活动对景观类型的影响。公共管理与服务、公用设施、工业、水体景观的值均<1.10,表明这4类景观类型下的各斑块形状越有规律、斑块的几何形状越趋近于简单,表明它们是受人类活动影响较大的地类;同理,反映了农业、绿地与广场、林地景观斑块的形状最复杂、最不规则,表明了它们是受人类活动影响相对较小的地类,形状主要取决于自然地貌与自然条件。

斑块连通度指数均值(CONTIG_MN)是描述

景观组分关系的异质性指数,能够度量同类型斑块间的邻近程度以及景观的破碎度^[11]。除道路景观以外,其他景观类型的CONTIG_MN值均>0.94,趋近于1,表明同类型斑块间邻近度高,景观连接性好;而道路的CONTIG_MN值为0.65,结合图3、表5可知,由于研究区域的划分,道路景观仅有4个斑块,故道路景观的斑块之间的邻近程度不高可以得到解释。

3.2.1.3 聚散性指标 斑块个数(NP)及斑块密度(PD)反映的是各景观类型斑块的数量关系,其值的大小与景观的破碎度也有很好的正相关性,综合表5、表6可知,研究区域内斑块总数为1375个,其中农村居住景观斑块数量最多,为312个,水体景观次之,为273个,结合图3可知,这2类景观斑块分布较为分散,斑块破碎度高。斑块凝聚度指数(COHESION)反映的是研究区域内的斑块聚集程度^[12],

表4 上杭县城市景观斑块类型形状指标

Table 4 Shape index of urban landscape patches in Shanghang County

指数	城市居住	农村居住	公共管理与服务	公用设施	商业服务	绿地与广场	工业	农业	林地	水体	道路
PAFRAC	1.31	1.34	1.10	1.07	1.39	1.44	1.11	1.38	1.32	1.26	—
FRAC_MN	1.10	1.12	1.07	1.08	1.14	1.16	1.09	1.16	1.15	1.08	1.37
CONTIG_MN	0.98	0.95	0.96	0.96	0.94	0.96	0.98	0.97	0.97	0.96	0.65

表5 上杭县城市景观斑块类型聚散性指标

Table 5 Indicators of urban landscape fragmentation of Shanghang County

指数	城市居住	农村居住	公共管理与服务	公用设施	商业服务	绿地与广场	工业	农业	林地	水体	道路
NP(n)	89	312	129	24	125	93	56	161	109	273	4
PD/(n · 100 hm ⁻²)	3.09	10.82	4.47	0.83	4.33	3.22	1.94	5.58	3.78	9.46	0.14
COHESION/%	99.63	99.26	99.22	99.12	98.67	99.71	99.66	99.74	99.62	99.71	99.95

即是定义景观中各类型斑块之间物理连通性的指数^[13],由表5可知,商业、公用设施、公共管理与服务、农村居住的COHESION值稍低于其余景观类型,说明这4类景观斑块的离散度高于其余景观类型。

3.2.2 景观级别(Land)指数分析 研究区域的景观总面积(TA)为2 884.5 hm²。景观层面上的周长面积分维(PAFRAC)能够反映景观格局总体特征^[14],PAFRAC值为1.33,<1.5,说明研究区域景观的总体景观形状较为规则有利于研究区域景观的规划和管理。综合考虑聚散性指标可知,分隔度指标(SPLIT)达到了82.55%,说明研究区域内景观分隔较严重,自然或人为干扰较强。景观斑块密度(PD)为47.67个·100 hm⁻²,聚集度指数(AI)达到98.85%,说明研究区域内的景观斑块破碎度高,但由于各景观类型斑块并没有中断景观类型之间的空间联系,故研究区域景观类型之间的连通性强、在空间构型上聚集度强。本研究区域的香农多样性指标(SHDI)达到了2.16,说明在本景观系统中,景观分类丰富、破碎化程度较高。景观丰度(PR)值为11,从侧面印证了上述结论。香农均匀度指数(SHEI)为0.90,趋近于1,说明研究区域内景观优势度低,各景观类型斑块在景观中较均匀分布(表6),可以看出上杭县城市建设布局有一定的规划和目的性^[15]。

4 结论与建议

4.1 结论

研究区总体景观形状较规则简单,有利于上杭县城市景观的利用和管理;研究区内景观受到自然或人为干扰较强,景观分隔严重,斑块数量多、破碎度高,但各景观类型斑块在景观中较均匀分布,景观连通性强。

表6 上杭县城市景观级别指数

Table 6 City landscape level index of Shanghang County

指标分类	指标	数值
1 面积-边缘指标	TA/hm ²	2 884.5
2 形状指标	PAFRAC	1.33
3 聚散性指标	NP(n)	1 375
	PD/(n · 100 hm ⁻²)	47.67
	SPLIT/%	82.55
4 多样性指标	AI/%	98.85
	PR(n)	11
	SHDI	2.16
	SHEI	0.90

研究区域内景观类型丰富,农业景观、绿地与广场景观、水体景观、城市居住景观、林地景观是上杭县城市景观中的优势景观元素,反映了上杭县农业生产比重高,城市规划比较注重生态建设;农村居住景观斑块数量最多,分布较为分散,斑块破碎度高,而城市居住景观、工业景观多成片集中分布,形成了大面积的居住区、工业园区;公共管理与服务、公用设施景观一般规划为规则形,水体景观除汀江斑块外,景观斑块分布较为分散,破碎度高,三者均受人类活动影响较大。

4.2 建议

总体看来,上杭县城市景观格局存在以下问题:主城区人工景观集中,阻塞了一些重要动物的迁徙通道,影响生物多样性的保护及自然生态过程;城市居住景观密集,商业服务景观斑块、公用设施景观数量少且分散,无法满足城市发展的需要,景观构成不合理;城市周边分布着大量未开发的农业景观;农村居住景观破碎化程度高,“城中村”布局散乱。因此,提出了以下几个方面的优化对策。

优化布局结构,对原有的景观类型结构进行调整。例如将主城区公共管理与服务景观及部分居住

地外迁,降低中心主城区密度,引导主城区人口向外疏散,发展综合新区,构建公共管理与服务设施体系。控制人工景观面积,增加城市绿地,将城市中逐渐岛状化的大型生物栖息地有效联系起来,构筑连续的生态绿地网络,形成城市-绿地-乡村田野的结构模式^[16],保护动物在城市内部的迁徙通道,增加景观的连续性。利用城市周边分布的大量未开发农业景观,在培育特色农业经济作物的同时,开展农事旅游。加大上杭县主城区周边“城中村”的改造力度,合理规划村间道路,增强与主城区的联系,提高上杭县城市整体环境水平。利用土地级差、土地置换,改变小型工业企业用地性质,进行工业景观整合,鼓励其进入工业园区发展。

4.3 讨论

研究所采用的栅格大小为 1 m×1 m,若将其扩大为不同的粒度如 5、10、30 m 等,是否对景观格局指数所反映的景观格局特征产生影响,是否会得出有差异的结论,尚需进一步的研究分析。同时,本研究进行了景观、景观类型 2 个水平的总结,归纳出的优化对策是对整个研究区的把控,下一步可对研究区进行片区划分,针对单个分区进行分析处理,提出更为细致的建议对策。合理的城市规划可以引导城市的发展方向和发展空间处于一个稳健的状态^[17-18],对一个城市的了解需要长时间尺度^[19]上的把控,因此,长时间尺度的上杭县城市景观格局演变研究及其驱动机制的分析也是今后研究中需要进一步探索的方向。

参考文献:

- [1] 张学斌,石培基,罗君,等. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析——以石羊河流域为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 410-419.
ZHANG X B, SHI P J, LUO J, *et al.* Ecological risk analysis of arid inland river basin based on landscape pattern—a case study of Shiyang river basin[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 410-419. (in Chinese)
- [2] 孙亚杰,王清旭,陆兆华. 城市化对北京市景观格局的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1366-1369.
SUN Y J, WANG Q X, LU Z H. The influence of urbanization on the landscape pattern of Beijing[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1366-1369. (in Chinese)
- [3] 徐建华,岳文泽,谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1058-1067.
XU J H, YUE W Z, TAN W Q. Spatial statistical law of scale effect of urban landscape pattern—a case study of central city of Shanghai[J]. Journal of Geographical Sciences, 2004, 59(6): 1058-1067. (in Chinese)
- [4] 方金萌. 基于 GIS 和 Fragstats 的兰考县绿地景观格局分析与优化研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [5] 偶春,姚侠妹,凡杰,等. 安徽省利辛县城市绿地景观格局分析[J]. 凯里学院学报, 2014, 32(6): 62-65.
OU C, YAO X M, FAN J, *et al.* Analysis of urban green space landscape pattern in Lixin County, Anhui Province[J]. Journal of Kaili College, 2014, 32(6): 62-65. (in Chinese)
- [6] 石雪洁,郝晋珉,管青春,等. 河北省曲周县景观格局演变及生态服务价值响应研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(10): 147-158.
SHI X J, HAO J M, GUAN Q C, *et al.* Study on landscape pattern evolution and ecological service value response in Quzhou County, Hebei Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(10): 147-158. (in Chinese)
- [7] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [8] 郭力宇,李怡,郭昭. 宝鸡市渭北旱塬区土地利用及景观格局动态变化分析[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 263-268.
GUO L Y, LI Y, GUO Z. Analysis on the dynamic change of land use and landscape pattern in Weibei dry tableland of Baoji City[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 263-268. (in Chinese)
- [9] 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.* 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. (in Chinese)
- [10] 朱沾斌,赵俊三. 基于 GIS 的昆明市呈贡区景观格局分析[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(2): 248-251.
- [11] 梁小英,顾铮鸣,雷敏,等. 土地功能与土地利用表征土地系统和景观格局的差异研究——以陕西省蓝田县为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1127-1135.
LIANG X Y, GU Z M, LEI M, *et al.* A study on the difference of land function and land use characteristics in land system and landscape pattern—a case study of Lantian County, Shaanxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(7): 1127-1135. (in Chinese)
- [12] 张婷,张楠,张远,等. 太子河流域景观格局对流域径流的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(5): 165-171.
ZHANG T, ZHANG N, ZHANG Y, *et al.* The influence of Taizi river basin landscape pattern on runoff[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(5): 165-171. (in Chinese)
- [13] 刘永娟. 上海城市景观格局分析研究[J]. 南京晓庄学院学报, 2011, 27(6): 110-115.
- [14] 董翠芳,梁国付,丁圣彦,等. 不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以义乌市为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3444-3451.
DONG C F, LIANG G F, DING S Y, *et al.* Multi-scale effects of landscape index and species diversity under different disturbance backgrounds—a case study of Gongyi City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3444-3451. (in Chinese)

- [22] 冯育青,陈月琴,陶隽超. 苏州森林生态服务功能价值评估[J]. 华东森林经理, 2009, 23(1): 37-43.
FENG Y Q, CHEN Y Q, TAO J C. Assessment of service function value for forest ecosystem in Suzhou [J]. East China Forest Management, 2009, 23(1): 37-43. (in Chinese)
- [23] 江泽慧. 中国森林资源与可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [24] 张颖. 中国森林生物多样性评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [25] 国政, 聂华, 臧润国. 西南地区天保工程综合效益评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 15035-15038.
- [26] 马军. 山西省天保区森林生态系统服务功能价值评估[J]. 四川林业科技, 2015, 36(6): 81-84.
- [27] 兰洁, 孙毓涛, 师庆东, 等. 新疆天然林生态系统服务功能价值评估[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(4): 298-296.
LAN J, SUN Y T, SHI Q D, *et al.* Assessment of service functions value of the natural forest protection program in Xinjiang [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(4): 298-296. (in Chinese)
- [28] 黄龙生, 王兵, 牛香, 等. 东北和内蒙古重点国有林区天然林保护工程生态效益分析[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(1): 89-96.
HUANG L S, WANG B, NIU X, *et al.* Evaluation of ecological effects of the natural forest protection program in key state-owned forest districts in northeast China and Inner Mongolia [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2017, 15(1): 89-96. (in Chinese)
- [29] 毛学刚, 焦裕欣, 张颖. 基于 BEPS 模型的东北三省森林生态系统 NPP 模拟[J]. 森林工程, 2017, 33(1): 22-27.
MAO X G, JIAO Y X, ZHAN G Y. NPP simulation of forest ecosystem in three provinces of northeast China based on BEPS model [J]. Forest Engineering, 2017, 33(1): 22-27.

(上接第 230 页)

- [15] 何友军, 李际平, 颜立红, 等. 基于 RS 和 GIS 的长沙市森林景观结构研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 203-208.
HE Y J, LI J P, YAN L H, *et al.* Study on forest landscape structure of Changsha City based on RS and GIS [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 203-208. (in Chinese)
- [16] 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.
- [17] 李伯祥, 陈晓勇. 南昌市景观格局变化与城市扩展分析[J]. 江西科学, 2018, 36(5): 728-736.
LI B X, CHEN X Y. Analysis of landscape pattern change and urban expansion in Nanchang City [J]. Journal of Jiangxi Science, 2018, 36(5): 728-736. (in Chinese)
- [18] 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)
- [19] ZIGMĀRS RENDENIEKS, AIVARS TĒRAUDS, OLGERTS NIKODEMUS, *et al.* Comparison of input data with different spatial resolution in landscape pattern analysis—a case study from northern Latvia [J]. Applied Geography, 2017, 83: 100-106.

(上接第 264 页)

- [36] YAWALATA D, LAM F. Development of technology for cross laminated timber building systems [D]. Vancouver: University of British Columbia, 2011.
- [37] 王志强, 付红梅, 戴晓汉, 等. 不同树种木材复合交错层压胶合木的力学性能[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(12): 141-145.
- [38] DIAS A M P G, LOPES S M R, VAN DE KUILEN J W G, *et al.* Load-carrying capacity of timber-concrete joints with dowel-type fasteners [J]. Journal of Structural Engineering, 2007, 133(5): 720-727.
- [39] 王志强, 张浩, 俞骏城, 等. 正交胶合木墙体热工性能测试与分析[J]. 新型建筑材料, 2016, 43(6): 69-71.
WANG Z, ZHOU J, DONG W, *et al.* Influence of technical characteristics on the rolling shear properties of cross laminated timber by modified planar shear tests [J]. Maderas. Ciencia Y Tecnología, 2018, 20(3): 469-478.
- [41] SIKORA K S, MCPOLIN D O, HARTE A M. Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear [J]. Construction & Building Materials, 2016, 116: 141-150.