

基于“三生空间”的滇中城市群土地利用 空间结构多尺度分析

陈仙春¹, 赵俊三¹, 陈国平²

(1.昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093; 2.昆明冶金高等专科学校 测绘学院, 昆明 650033)

摘要:“三生空间”功能优化是进行国土空间优化的重要基础,对生态文明建设具有重要意义。以云南省第二次土地调查数据为基础,构建滇中城市群“三生空间”功能分类体系。基于不同的行政尺度,采用不同的计量模型和 GIS 空间分析方法,对滇中城市的 4 个州市和 42 个县区的“三生空间”功能格局分布特征进行了多尺度分析。结果表明:(1)在市域尺度上,滇中城市的“三生空间”功能结构呈现出多样化和信息熵空间分布中、东部高西部低的现状;集中化程度空间分布整体较低且各地相差不大;优势度整体较高;各州市区位特征不显著。(2)在县域尺度上,滇中城市的“三生空间”功能结构呈现出多样化和信息熵空间分布东部高,西部低的现状;集中化程度除昆明市主城区外其他各地分布趋近;优势度呈中间低两边高的分布现状。(3)通过县域与市域尺度的分析对比,揭示了各尺度间“三生空间”功能分布格局的相互关系,实现各尺度间的良性约束和优化配置,为城市群的国土空间功能优化提供了必要的依据。

关键词:三生空间; 计量模型; 多尺度; 滇中城市群

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0258-07

Analysis of Multi-Scale Spatial Structure of Land Use Based on Ecological-Production-Living Spaces in Urban Agglomeration Area of Central Yunnan

CHEN Xianchun¹, ZHAO Junsan¹, CHEN Guoping²

(1.Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2.Geomatics Engineering Faculty, Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)

Abstract: The optimization of the ecological-production-living space function is an important basis for the optimization of land space and is of great significance to the construction of ecological civilization. Based on the second land survey data of Yunnan Province, the functional classification system of ecological-production-living spaces of the urban agglomeration area of central Yunnan was constructed. Based on different administrative scales, different econometric models and GIS spatial analysis methods were used to analyze the distribution characteristics of the ecological-production-living space functional patterns in four cities and 42 counties in central Yunnan. The results show that: (1) on the municipal scale, the functional structure of the ecological-production-living space in the urban area of the urban agglomeration of central Yunnan presents the current situation of diversification and spatial distribution of information entropy in the east and high in the west; the spatial distribution of centralization is generally low and the differences are not significant; the overall degree of dominance is higher, the location characteristics of each city are not significant; (2) on the county scale, the functional structure of the ecological-production-living space in the urban area of the urban agglomeration area of central Yunnan presents high diversification and information entropy of spatial distribution in the east and the low one in the west; the degree of centralization tends to be similar in all areas except the main urban area of Kunming and the distribution of dominance degree is low in the middle area, and high in the fringe areas; (3) through the analysis and comparison of county and city scales, the relation-

收稿日期:2018-11-06

修回日期:2018-11-26

资助项目:国家自然科学基金项目“滇中城市群国土空间格局多尺度演化模拟及优化配置”(41761081)

第一作者:陈仙春(1993—),女,云南保山人,在读硕士生,主要从事地理信息技术与开发应用。E-mail:1725438482@qq.com

通信作者:赵俊三(1964—),男,河南邓州人,教授,博士生导师,主要研究方向:GIS/LIS。E-mail:junsanzhao@netease.com

ship between the functional distribution patterns of the ecological-production-living between different scales is revealed, and the benign constraints and optimal allocation between the scales are realized, which provides the necessary basis for the optimization of territorial spatial functions of urban agglomerations.

Keywords: ecological-production-living spaces; econometric model; multi-scale; urban agglomeration area of central Yunnan

近年来,随着城市化进程不断加快,人地矛盾越来越突出,人们对国土空间优化研究的需求变得更加迫切。目前,基于“三生空间”的优化研究不断涌现:杨可清等^[1]以长江三角洲地区的“三生空间”土地利用主导功能分类为基础,采用定量分析的方法,对该区域的土地利用转型、时空格局和生态环境效应进行分析,得出生态环境变化与三生用地占比之间的关系;柳冬青等^[2]以流域为基础,从“三生空间”视角,构建了生产、生活适宜且生态重要的三生空间功能评价体系,揭示了甘肃白龙流域的三生空间功能格局分布及其研究时段的变化特征;刘继来等^[3]人以三生空间的内涵与理论为基础,对土地利用功能与类型之间的辩证关系进行分析,构建了以主体功能为导向的三生空间分类与评价体系,揭示了研究时段中国“三生空间”的分布格局及其时空变化特征;党丽娟等^[4]通过对土地利用类型进行功能归类,提出复合型的三生空间功能划分方案,并从定量和结构图示两个方面揭示研究区的三生空间功能变化及空间分异特征;张红旗等^[5]以三生功能为基础,通过先分区再分类的方法,得出各功能类型的分布范围及各类型占国土面积的比例;李广东等^[6]从土地功能、生态系统服务和景观功能综合的视角,以纵横对比的方法确定主导功能类型,构建了城市生态—生产—生活空间功能分类体系;朱媛媛等^[7]运用 GIS、RS 和数理统计等现代技术方法,定量划定“三生”的空间范围;于辰等^[8]基于土地整治与“三生空间”功能重构的关系,对农村“三生空间”的演化机制进行分析,并对土地整治模式进行新的划分,提出全面反映二者关系的指标体系。以往的研究大多是基于三生空间分类的基础上进行单一尺度的定量或定性的研究,且研究区多以平原地区为主,地形较为单一,针对西南地区以城市群为基础进行多尺度国土空间功能结构差异的研究涉及较少。基于此,本文以云南省第二次全国土地利用调查分类数据为基础进行重新归类,得到以主体功能为导向的拓展“三生空间”土地利用功能划分方案。以此划分方案为基础,通过不同的计量模型和 GIS 空间分析的方法对滇中城市群的“三生空间”功能结构特征进行多尺度分析。这对优化滇中城市群国土空间功能具有重要意义。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

滇中城市群位于云南省中东部,东北比邻昭通、六盘水、威宁、水城和兴义市,西连大理州,西南接临沧、西双版纳,北接攀枝花,东南靠文山和红河州。以昆明市为核心,半径约 150~200 km,包括昆明市、曲靖市、玉溪市和楚雄彝族自治州 4 个州市,共 42 个县(市、区),国土面积为 93 477.43 km²,占全省国土面积的 24.4%。滇中城市群地处云贵高原中部,山地较多,海拔在 327~4 017 m,相对高差 3 690 m,平均海拔约 1 848 m,最高海拔位于会泽大海梁子牯牛寨,最低海拔位于小河底河与元江干流交汇处,属于低纬度高原山地季风气候,由于高原面保存较完整,地势起伏和缓;湖盆坝子多,坝区土壤肥沃,并有湖泊河流灌溉之利,气候温和湿润,“四季如春”,是最适宜人类居住的区域之一。

滇中城市群区域是国家重点培育的 19 个城市群之一,是云南省经济社会最发达、资源禀赋和基础条件最优越、区位优势最显著的区域。随着国家“一带一路”重大战略的实施,其面向南亚东南亚开放的区位优势进一步凸显,迎来了快速发展的战略机遇期,对我国的对外开放和区域协作发展具有重要意义。

1.2 数据来源及处理

本文以云南省第二次全国土地调查缩编数据(2009 年)二级分类结果作为研究的基础数据,该数据为研究区的县级数据。根据行政区划图,判别出每个州市所包含的县区,再利用 ArcGIS 10.2.2 对县级数据进行合并处理,得到研究区域的各市级数据。然后在原基础数据分类的基础上,根据土地利用功能采用 ArcGIS 10.2.2 对各市、县(区)原始地类进行重新归类,最终得到 9 项三生空间二级分类结果。

2 研究方法

2.1 国土“三生空间”分类

三生空间分类以国土空间的多功能性为基础,将土地的主体功能作为划分依据,对国土空间进行划分^[9]。本研究以土地利用的多功能性为依据,借鉴张红旗^[7]、程婷^[10]、杨清可^[1]、党丽娟^[4]、白如山^[11]等

拟定的“三生空间”功能分类方案,以突出主体功能为分类的目标,建立滇中城市群国土“三生空间”分类与

云南省第二次全国土地调查分类土地利用现状衔接关系(表1)。

表1 滇中城市群三生空间分类与土地利用现状分类衔接

国土生空间分类	三生空间二级分类	第二次全国土地调查分类	
生态空间	林地生态空间	031(有林地)032(灌木林地)033(其他林地)	
	牧草生态空间	041(天然牧草地)042(人工牧草地)043(其他牧草地)	
	水域生态空间		111(河流水面)112(湖泊水面)113(水库水面)
			114(坑塘水面)115(沿海滩涂)116(内陆滩涂)
			117(沟渠)119(冰川及永久积雪)
	其他生态空间	121(空闲地)123(田坎)124(盐碱地)125(沼泽地)	
生产空间	农业生产空间	126(沙地)127(裸地)	
		011(水田)012(水浇地)013(旱地)021(果园)	
		022(茶园)023(其他园地)122(设施农用地)	
生活空间	工矿生产空间	118(水工建筑用地)	
	城镇生活空间	061(工业用地)062(采矿用地)063(仓储用地)	
	农村生活空间	071(城镇住宅用地)	
	其他生活空间	072(农村住宅用地)	
		088(风景名胜设施用地)09(特殊用地)	
		10(交通设施用地)	

2.2 “三生空间”功能结构计量方法

(1) “三生空间”功能多样化指数。采用吉布斯—马丁(Gibbs—Martin)的多样化指数(GM)来衡量滇中城市各功能类型的齐全程度及多样化状况。其表达式为^[12]:

$$GM=1-\sum_{i=1}^n f_i^2 / \sum_{i=1}^n (f_i)^2 \quad (1)$$

式中:GM为“三生空间”功能多样化指数; f_i 为第*i*种空间功能类型的面积; n 为三生空间二级分类的功能数目。GM的取值范围为 $[0,1]$,GM值越高表示该区域的“三生空间”功能多样化程度越高。其中:0表示该区域仅有一种功能类型,1表示各功能类型在该区域内均匀分布。

(2) “三生空间”功能集中化指数。采用集中化指数来定量描述研究区三生空间功能类型的集中化程度。指数越大,表明各功能类型集中化程度越高,反之则越低。其表达式为^[13]:

$$I=(A_i-R)/(M-R) \quad (2)$$

式中: I 为“三生空间”集中化指数; A_i 为第*i*个区域各功能类型的累计百分比之和; M 为集中分布于某一功能时的累计百分比之和; R 是高一层次区域(滇中城市群或各州市)各功能类型的累计百分比之和,是衡量集中化程度高低的基准。

(3) “三生空间”功能信息熵。“三生空间”功能信息熵可以综合反映某一区域在一定时段内各功能类型的变化情况^[14]。反映各功能结构的有序程度,其中有序程度与熵值的大小呈反比,熵越大,有序度

越低;反之,有序度越高^[15]。其表达式为:

$$H=-\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \ln \frac{S_i}{S} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式中: H 为“三生空间”功能信息熵; S 为某一区域各功能类型的总面积; S_i 为第*i*类功能类型的面积; n 为三生空间功能类型总数。

(4) “三生空间”功能优势度指数。优势度指数是对研究区各功能类型分配程度的度量,是决定研究区功能类型多样化的一个参数,优势度指数与多样化指数呈反比,优势度指数越高,多样性越低。其表达式为^[16]:

$$D=H_{\max}+\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \ln \frac{S_i}{S} \quad (i=1,2,3,\dots,n)$$

$$H_{\max}=\ln n \quad (4)$$

式中: D 为“三生空间”功能集中化指数; S 为某一区域各功能类型的总面积; S_i 为第*i*类功能类型的面积; n 为三生空间功能类型总数。

(5) “三生空间”功能区位指数。区位指数用来反应研究区各功能类型相对于其高层次区域的相对聚集程度。其表达式为^[17]:

$$Q_i=(f_i/\sum f_i)/(F_i/\sum F_i) \quad (5)$$

式中: Q_i 是“三生空间”功能区位指数; f_i 是区域内第*i*种功能类型的面积; $\sum f_i$ 是区域内各功能类型的面积之和; F_i 是高一层次区域(滇中城市或各州市)第*i*种功能类型的面积; $\sum F_i$ 是高一层次区域各功能类型面积之和。若 $Q_i < 1$,则其不具备区位意义,反之,若 $Q_i \geq 1$,则该功能类型具有区位意义。

3 结果与分析

3.1 基于市域尺度的“三生空间”功能的分析

根据以上计量方法对滇中城市群市域的“三生空间”功能结构现状(表 2)计算相应的指标,计算结果见表 3。

表 2 2009 年滇中城市群各州(市)空间功能结构

州市	林地生态空间	牧草生态空间	水域生态空间	其他生态空间	农业生产空间	工矿生产空间	城镇生活空间	农村生活空间	其他生活空间
昆明	49.24	0.15	2.84	12.77	29.25	1.18	1.94	2.13	0.49
曲靖	46.41	0.31	1.03	12.40	36.34	0.51	0.51	2.26	0.23
玉溪	61.38	0.01	2.93	8.21	24.68	0.54	0.53	1.49	0.23
楚雄	66.89	0.00	1.11	11.50	18.55	0.15	0.25	1.39	0.15

表 3 滇中城市群市域“三生空间”功能多样化指数、集中指数、信息熵及优势度指数分析

州市	多样化指数	集中化指数	信息熵	优势度指数
昆明	0.6538	0.0277	1.3191	0.8782
曲靖	0.6365	0.0135	1.2014	0.9958
玉溪	0.5544	-0.0134	1.0871	1.1101
楚雄	0.5046	-0.0267	0.9747	1.2225

通过表 3 和图 1 可以得出:(1)从表 3 和图 1A 可以看出,滇中城市群的“三生空间”功能结构多样化分布呈现出中、东部高,西部低的格局,其中昆明市的多样化程度最高,高于 0.6,说明昆明市的功能类型比较齐全,这与昆明作为云南省省会城市,经济较为发达,各功能类型比较齐全相一致。楚雄州的多样化指数最低,通过各功能结构的细分可以看出楚雄州以林地偏多,占了总面积的 66.89,这说明楚雄州的生态

结合已有的研究方法^[12, 18-19]和滇中城市群的“三生空间”分布特征将研究区划的多样化指数、集中化指数、信息熵及优势度指数划分为低、中低、中高、高 4 个类型。利用 ArcGIS 10.2.2 软件空间分析中的自然断裂点聚类法得到滇中城市群市域“三生空间”功能结构的格局分布图(图 1)。

环境较好,但土地利用空间功能结构不如其他州协调。(2)从表 3 和图 1B 可以发现,滇中城市群的“三生空间”功能格局集中化程度整体较低且相差不大,主要是因为 4 个地区均主要以林地生态空间、农业生产空间和其他生态空间为主,功能类型较为单一。(3)从表 3 和图 1C 可以看出,滇中城市群的“三生空间”功能结构信息熵分布呈现出中、东部高,西部低的现状,其中昆明最高,楚雄最低。说明“三生空间”功能越齐全的区域,各功能结构有序程度越低。(4)从表 3 和图 1D 可以看出,研究区整体优势度较高,均大于 0.85 以上,且呈现出中间低两边高的空间分布格局,其中楚雄州的优势最为明显。(5)通过区位指数计算公式(5),得到滇中城市群的市域“三生空间”功能区位指数见表 4。

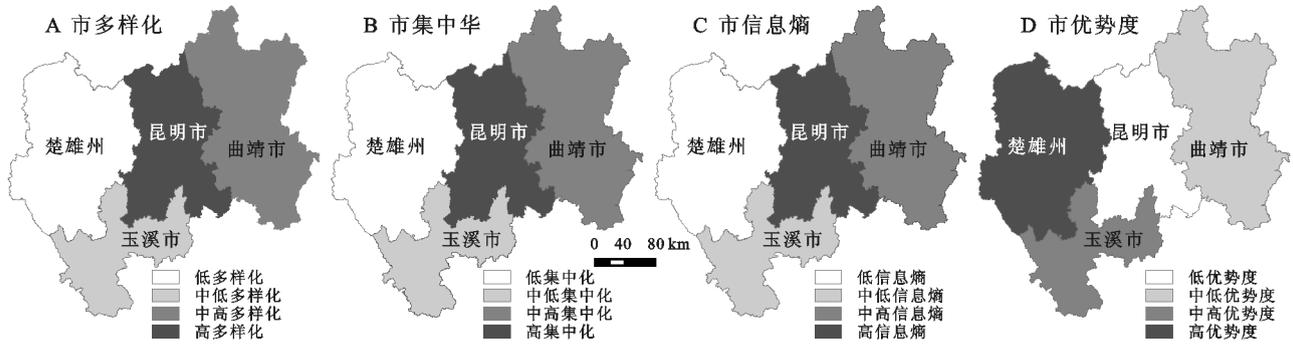


图 1 滇中城市群市域“三生空间”格局分布

表 4 滇中城市群市域“三生空间”功能区位指数

州市	林地生态空间	牧草生态空间	水域生态空间	其他生态空间	农业生产空间	工矿生产空间	城镇生活空间	农村生活空间	其他生活空间
昆明市	0.8842	1.1145	1.6108	1.1070	1.0655	2.1121	2.5683	1.1573	1.8591
曲靖市	0.8333	2.3603	0.5844	1.0746	1.3239	0.9238	0.6720	1.2246	0.8617
玉溪市	1.1021	0.0900	1.6569	0.7117	0.8992	0.9607	0.7064	0.8083	0.8681
楚雄州	1.2010	0.0129	0.6264	0.9967	0.6759	0.2777	0.3303	0.7568	0.5760

由表 4 可以看出,滇中城市群在市域“三生空间”功能区特征不太显著。其中林地生态空间在楚雄市和玉溪市的区位指数大于 1,具有区位优势;牧草生态空间在昆明市和曲靖市的区位指数大于 1,在这两个地区具有区位优势;水域生态空间在昆明市和玉溪市的区位指数大于 1,具有区位优势,且区位特征明显,原因是这两个地区分别有滇池和抚仙湖;剩余的其他功能空间类型只在昆明市和曲靖市的区位指数大于 1,具有区位优势,结果与这两个地区经济较为发达,人口密度较高相一致。

3.2 基于县域尺度的“三生空间”功能的分析

采用与市域“三生空间”功能结构相同的研究方法,计算得到滇中城市群各区县的“三生空间”功能指数见表 5,通过 ArcGIS 10.2.2 的自然断裂点聚类法

得到基于县域的滇中城市群“三生空间”功能格局分布图(图 2)。

表 5 滇中城市群县域“三生空间”功能多样化指数、集中指数、信息熵及优势度指数分析

县名	多样化指数	集中化指数	信息熵	优势度指数
安宁县	0.5207	-0.0336	1.0894	1.1078
呈贡区	0.7882	0.1063	1.7326	0.4646
澄江县	0.7368	0.0827	1.4871	0.7101
楚雄市	0.4154	-0.0164	0.8390	1.3583
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
永仁县	0.4814	-0.0035	0.9323	1.2649
元江县	0.5611	-0.0039	1.0406	1.1566
元谋县	0.6654	0.0471	1.2321	0.9651
沾益区	0.5643	-0.0253	1.0501	1.1471

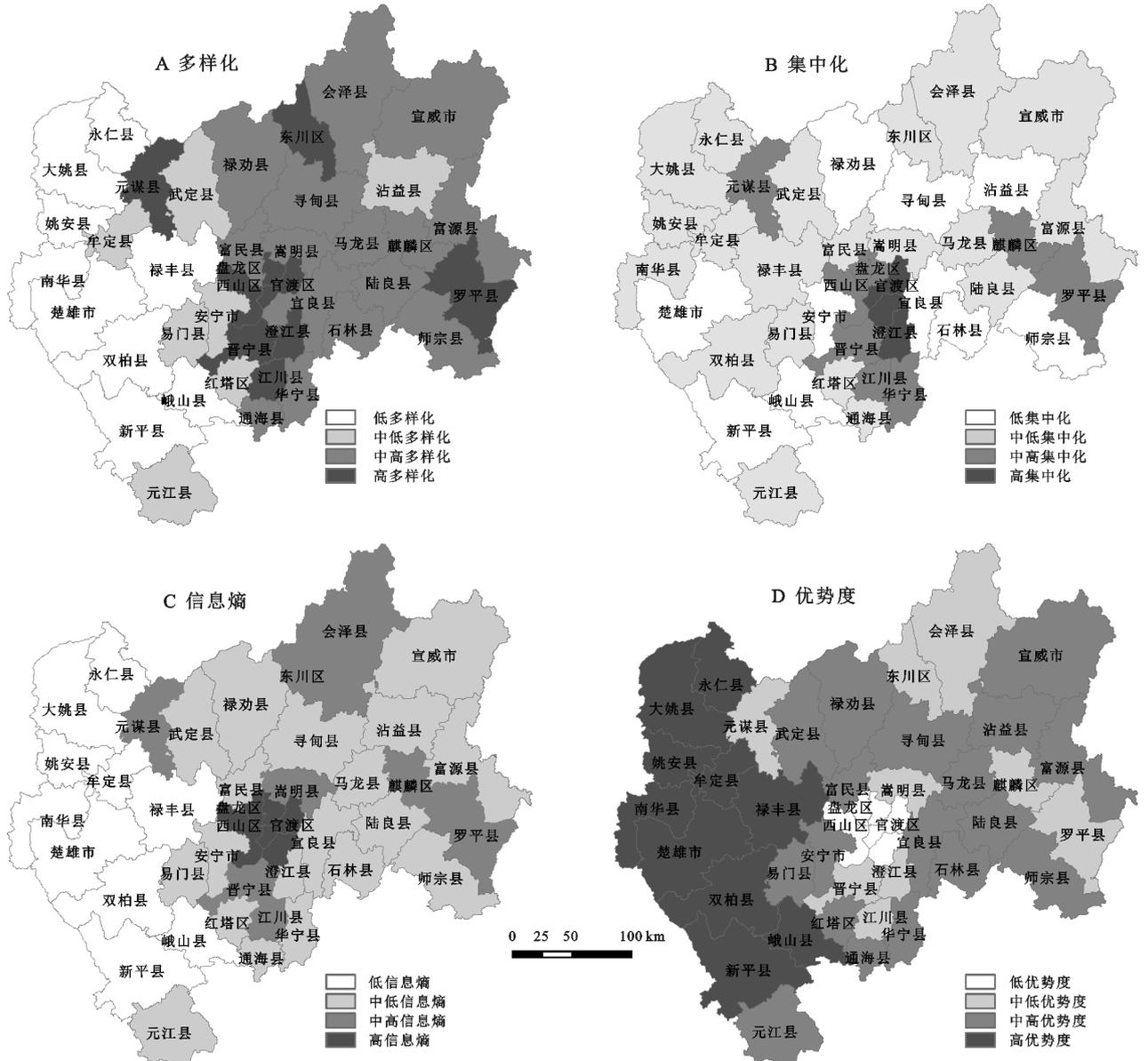


图 2 滇中城市群县域“三生空间”功能格局分布

通过表5和图2可得出:(1)基于县域研究区的“三生空间”多样化指数呈现出中间高两边低和东边高于西边的趋势,其中,高多样化主要存在于昆明市主城区和罗平、澄江等10个县区,中高多样化偏多,共15个县区,超过三分之一,而中低多样化和低多样化主要位于研究区西边的楚雄和玉溪。县域多样化分布总体与市域多样化呈现出一致性。(2)基于县域研究区的“三生空间”集中度呈现出以昆明为中心,两边均匀分布的趋势,其中高集中区位于昆明主城区,东西两边中高、中低、低多样化程度相近。这与基于市域的集中度存在一定的差异。(3)基于县域研

究区的“三生空间”信息熵与多样化呈现出一致性,中间高两边低,其中以中低信息熵居多,共18个县区,主要位于曲靖和玉溪两个州市,而高信息熵仅位于昆明市的主城区,说明滇中城市的“三生空间”功能有序性整体偏高。(4)基于县域研究区的“三生空间”的优势度水平较高,从优势度指数来看,大部分县区的优势度指数大于1,最高为峨山县,达到1.4150,最低的是官渡区,为0.4292。总体来看昆明市的优势水平最低,这与市优势水平相似。(5)通过区位指数计算公式(5),得到滇中城市群的县域“三生空间”功能区区位指数见表6。

表6 滇中城市群县域“三生空间”功能区区位指数

县名	林地生态空间	牧草生态空间	水域生态空间	其他生态空间	农业生产空间	工矿生产空间	城镇生活空间	农村生活空间	其他生活空间
安宁县	1.1795	0.0000	0.8614	0.3095	0.7637	6.1152	3.5996	0.9982	1.0509
呈贡区	0.4594	0.0733	7.9620	0.5562	1.1614	9.2016	17.4497	1.2555	5.2829
澄江县	0.6415	1.7657	10.8346	1.0330	1.0574	1.3819	0.9909	1.0971	1.6203
楚雄市	1.3349	0.0138	0.6712	0.4287	0.6201	0.1150	1.0586	0.7979	0.6054
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
易门县	1.1173	0.0000	0.5198	1.0138	0.8224	0.8363	0.4425	0.9025	0.4542
永仁县	1.2419	0.0000	0.8070	1.1362	0.5484	0.0899	0.1516	0.4836	0.7085
元江县	1.0815	0.0000	0.5314	1.1231	0.8857	0.5251	0.2592	0.4793	0.7091
元谋县	0.7566	0.0000	1.1628	3.0126	0.6870	0.5555	0.2885	0.7763	0.8901
沾益区	0.9998	0.1241	0.9141	0.3523	1.2793	1.0393	0.5969	1.0652	1.9419

由表6可以看出,林地生态空间在安宁县、楚雄市、易门县等17个县的区位指数大于1,说明在这些区域具有区位意义;牧草生态空间只存在部分县区,其中只有澄江县、寻甸县等5个县(区)区位指数大于1,具有区位意义;水域生态空间在澄江、江川、西山等15个县(区)的区位指数大于1,且于澄江、江川、西山最为突出,这与行政区域内有澄江和滇池相关,这与市域区位分析相一致;其他生态空间在易门县、元江县等12地区区位指数大于1,具有区位意义;农业生产空间在呈贡区、澄江县等18个地区的区位指数大于1,具有区位意义;工矿生产空间在官渡区、西山区等19个地区具有区位意义,其中于昆明市4个主城区最为突出,这与这些地区的工业发展相一致;城镇生活空间在盘龙区、五华区等12地区区位指数大于1,具有区位意义,与这些地区的城镇化率较高相一致;农村生活空间在呈贡、澄江等22个地区区位指数大于1,具有区位意义,占据了研究区一半多;其他生活空间在官渡区、五华区等17个地区的区位指数大于1,具有区位意义。从上分析可以发现,林地生态空间、农业生产空间、工矿生产空间、农村生活空间在各地分布较为均匀,聚集程度较高,区位意义比较显著。

4 结论

(1)通过市域尺度的计量分析发现,滇中城市的“三生空间”功能结构多样化和信息熵空间分布呈中、东部高西部低的现状;集中化程度空间分布整体较低且相差不大;优势度整体较高,且呈现出中间低两边高的空间分布格局;各州市区位特征不显著。

(2)基于县域尺度的计量分析发现,滇中城市的“三生空间”功能结构呈现出多样化和信息熵空间分布东部高西部低的现状,其中,高多样化与高信息化主要分布在昆明市主城区,集中化程度除昆明市主城区外其他各地分布趋近;优势度成中间低两边高的分布,其中以昆明市主城区的优势度最低;林地生态空间、农业生产空间、工矿生产空间、农村生活空间各县(区)的区位意义较为显著。

(3)从市域到县域的多尺度分析,可以得到滇中城市群从整体到局部的“三生空间”空能结构分布信息。基于市域尺度,对滇中城市群的“三生空间”功能特征有一个纵观的了解;基于县域尺度,又能对滇中城市群不同州市的内部“三生空间”功能特征进行详细分析,基于不同的尺度,具有不同的优势。通过市

域尺度,能够反映滇中城市群市域之间“三生空间”功能类型分布差异,但在市域内部“三生空间”功能结构被均衡化,无法分析市域内部“三生空间”功能结构差异;通过县域尺度,市域内部“三生空间”功能的均匀分布被打破,反映了滇中城市群县域之间的“三生空间”功能类型分布差异。

(4) 通过不同尺度的分析对比,揭示各尺度间“三生空间”功能分布格局的相互关系,实现各尺度间的良性约束和优化配置,为城市群的国土空间功能优化提供一些必要的依据。

(5) 基于现有数据的限制,县域内部的“三生空间”功能只能被均衡化,无法对其内部的功能分布特征进行深入分析。未来的研究可以从乡(镇)级或村级尺度对滇中城市群进行更深入的分析。

参考文献:

- [1] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
- [2] 柳冬青,马学成,巩杰,等.流域“三生空间”功能识别及时空格局分析:以甘肃白龙江流域为例[J].生态学杂志,2018,37(5):1490-1497.
- [3] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- [4] 党丽娟,徐勇,高雅.土地利用功能分类及空间结构评价方法:以燕沟流域为例[J].水土保持研究,2014,21(5):193-197,203.
- [5] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
- [6] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量

识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.

- [7] 朱媛媛,余斌,曾菊新,等.国家限制开发区“生产—生活—生态”空间的优化:以湖北省五峰县为例[J].经济地理,2015,35(4):26-32.
- [8] 于辰,王占岐,杨俊,等.土地整治与农村“三生”空间重构的耦合关系[J].江苏农业科学,2015,43(7):447-451.
- [9] 时振钦,邓伟,张少尧.近 25 年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J].地理研究,2018,37(3):607-621.
- [10] 程婷,赵荣,梁勇.国土“三生空间”分类及其功能评价[J].遥感信息,2018,33(2):114-121.
- [11] 白如山,姜玉培,江进德.江淮城市群“三生”空间结构的多尺度分析[J].中国名城,2016(10):21-28.
- [12] 王红梅,王小雨,李宏.基于计量地理模型的黑龙江省土地利用状况分析[J].农业工程学报,2006,22(7):70-74.
- [13] 林炳耀.计量地理学概论[M].北京:高等教育出版社,1986.
- [14] 余超,李明阳,汪辉,等.基于信息熵的新洲土地利用结构时空变化及驱动因素分析[J].林业资源管理,2015(1):118-123.
- [15] 安明珠,高敏华.基于信息熵与空间洛伦茨曲线的土地利用结构变化:以阿克苏地区为例[J].水土保持研究,2015,22(6):307-311.
- [16] 吴玺虹,刘琼,段雪刚.土地利用结构指标新探及计算程序研究[J].地理与地理信息科学,2015,31(1):110-114.
- [17] 宋戈,孙丽娜,雷国平.基于计量地理模型的松嫩高原土地利用特征及其空间布局[J].农业工程学报,2012,28(3):243-250.
- [18] 宋晓丽,樊俊华.土地利用数量结构分析:以海口市农用地与建设用地区为例[J].河北农业科学,2010,14(7):102-103.
- [19] 刘桃菊,蔡海生,邵建英,等.鄱阳湖区的土地利用结构定量分析[J].江西农业大学学报,2003,25(6):934-938.

(上接第 257 页)

- [9] Turner B L, Matson P A, McCarthy J J, et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003,100(14):8080-8085.
- [10] 赵源,黄成敏,温军会,等.土地系统脆弱性研究进展和展望[J].中国农业资源与区划,2013,34(5):121-127.
- [11] 陈佳,杨新军,尹莎,等.基于 VSD 框架的半干旱地区社会:生态系统脆弱性演化与模拟[J].地理学报,2016,71(7):1172-1188.
- [12] 赵宇鸾,张颖,李秀彬.黔桂岩溶山区土地利用冲突强度演变及其空间分异特征[J].中国岩溶,2017,36(4):492-500.
- [13] 肖文婧.鄱阳湖生态经济区土地生态脆弱性评价[D].南昌:江西农业大学,2015.

- [14] Xie H, Kung C C, Zhao Y. Spatial disparities of regional forest land change based on ESDA and GIS at the county level in Beijing-Tianjin-Hebei area [J]. Frontiers of Earth Science, 2012,6(4):445-452.
- [15] Zhao Y, Li X. Spatial correlation between type of mountain area and land use degree in Guizhou province, China [J]. Sustainability, 2016,8(9):849-859.
- [16] 王铮,吴静.计算地理学[M].北京:科学出版社,2011.
- [17] Cressie N, Kang E L. Hot enough for you? A spatial exploratory and inferential analysis of North American climate-change projections [J]. Mathematical Geosciences, 2016,48(2):107-121.
- [18] 张松林,张昆.局部空间自相关指标对比研究[J].统计研究,2007,24(7):65-67.