

基于 AHP-熵权 TOPSIS 模型的辽宁省 各城市土地承载力评价

杨帆, 陈梓萌, 巩世彬

(辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: [目的] 定量分析评价辽宁省各城市土地承载力状况并对其障碍因子进行诊断, 为辽宁省土地利用合理开发提供建议, 也为区域土地承载力评价研究提供新思路。[方法] 以辽宁省 14 个地级市作为研究区域, 基于 2018 年 Landsat 8 OLI 遥感影像, 进行土地利用分类获得土地各类型用地面积并结合社会经济数据, 构建了土地承载力评价指标体系, 并利用 AHP-熵权 TOPSIS 模型, 对土地资源承载力进行评价。运用障碍度模型对土地承载力障碍因子进行诊断。[结果] 辽宁省城市分别呈现不同的承载力状态。盘锦市、大连市以及沈阳市土地承载力相对较高, 但社会子系统是制约其土地承载力的主要障碍因素。鞍山市和营口市承载力表现为相对低的状态, 其经济子系统是制约土地承载力提高的主要因素。[结论] 辽宁省各城市土地承载力距离其理想状态还有着一定距离, 应促进社会、经济、资源 3 个子系统协调发展进而提高土地承载力。

关键词: RS; GIS; 辽宁省; 土地资源承载力; 熵权-TOPSIS 法; AHP 法; 障碍度模型

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)01-0144-06

中图分类号: X826

文献参数: 杨帆, 陈梓萌, 巩世彬. 基于 AHP-熵权 TOPSIS 模型的辽宁省各城市土地承载力评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 144-149. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.020; Yang Fan, Chen Zimeng, Gong Shibin. Evaluation of land resource carrying capacity in Liaoning Province based on AHP-entropy weight TOPSIS model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 144-149.

Evaluation of Land Resource Carrying Capacity in Liaoning Province Based on AHP-Entropy Weight TOPSIS Model

Yang Fan, Chen Zimeng, Gong Shibin

(School of Mapping and Geoscience, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: [Objective] Urban land carrying capacity in Liaoning Province was quantitatively analyzed and evaluated, and its obstacle factors were diagnosed in order to provide suggestions for the rational development of land use in Liaoning Province, and to produce new ideas for regional land carrying capacity evaluation. [Methods] Land use classification was carried out based on 2018 Landsat 8 OLI remote sensing images from 14 prefecture-level cities in Liaoning Province to obtain the land use area of various types. These data were combined with social and economic data to construct a land carrying evaluation index system. The AHP (analytic hierarchy process)-entropy weight TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) model was used to evaluate the carrying capacity of land resources. The obstacle degree model was used to evaluate the obstacle factors. [Results] The cities in Liaoning Province showed different bearing capacity states. The land carrying capacities of Panjin, Dalian, and Shenyang City were relatively high, but the social subsystem was the main obstacle factor restricting land carrying capacity. The carrying capacities of Anshan and Yingkou City were relatively low. The economic subsystem of Anshan City was the main factor limiting increases in carrying capacity. [Conclusion] The urban land carrying capacity of Liaoning Province is still far below its ideal state, and the coordinated development of the three subsystems of society, economy,

收稿日期: 2021-07-17

修回日期: 2021-09-13

资助项目: 辽宁省教育厅项目“时序 InSAR 城市地面沉降监测研究”(LJ2020JCL006); 辽宁工程技术大学学科创新团队资助项目(LNTU20TD-27)

第一作者: 杨帆(1972—), 男(汉族), 湖北省随州市人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为土地资源利用与“3S”技术研究。Email: 151809541@qq.com。

通信作者: 陈梓萌(1997—), 女(汉族), 辽宁省沈阳市人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源开发与利用。Email: 395475953@qq.com。

and resources should be promoted to improve the land carrying capacity.

Keywords: remote sensing (RS); geographic information system (GIS); Liaoning Province; carrying capacity of land resources; entropy value method; analytic hierarchy process (AHP); obstacle model

土地资源作为人类生产生活的基础和最核心的劳动对象^[1],在人类历史发展进程中扮演着不可替代的角色,而且也是人口社会经济发展最重要的后盾保障。如今,在加快社会经济发展的同时,城镇化进程也在不断加快,土地资源承载力代表了土地资源开发利用的状态,同时反映了区域性土地生态环境现状和承载力阈值^[2]。准确、客观地评价土地资源承载力对合理规划城市土地利用具有重要意义。

针对于土地资源承载力的研究方法主要有系统动力学方法^[3]、粒子群投影寻踪法、综合指数法、生态足迹法等方法。魏玮等^[4]在 2015 年运用 ArcGIS 对海西城市群的土地综合承载力空间差异特征进行了评价研究;如 Wang 等^[5]采用 TOPSIS 方法对 2015—2019 年通辽市资源环境承载力进行评价;还有部分学者基于 VIKOR 法和障碍度模型对影响潍坊市水资源承载力的主要因素进行识别^[6]。

从研究内容上看,目前对于东北地区城市的土地承载力状况研究较少,而辽宁省作为东北地区发展的重要区域,同时也是东北地区的重要支撑节点。本研究基于已有研究成果,从社会、经济和资源 3 个角度上构建土地承载力评价指标体系,在已有研究基础上,本文提出用 AHP 法与熵权-TOPSIS 法结合的方法对土地承载力进行评价,利用 AHP 法与熵权法结合确定权重,这种将主观因素与客观因素结合的方法是评价结果更具有准确性。然后通过 TOPSIS 模型对辽宁省各城市土地资源承载力的差异进行分析,最后对影响因素进行障碍度诊断,得到各城市制约土地承载力发展的主要障碍因子,以期对辽宁省地区的可持续发展提供借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

辽宁省位于中国东北地区的南部,地理位置处于东经 $118^{\circ}53'$ — $125^{\circ}46'$,北纬 $38^{\circ}43'$ — $43^{\circ}26'$ ^[7],属于东三省的中心区域。研究区分别包括沈阳、大连、鞍山等 14 个地级市,由北向南地势逐渐降低,中间地势相比东西两侧较低。全省土地总面积为 $1.49 \times 10^5 \text{ km}^2$,本研究针对于 2018 年辽宁省情况,其林地面积 $6.39 \times 10^4 \text{ km}^2$,耕地面积约 $6.09 \times 10^4 \text{ km}^2$,建设用地面积约为 $1.34 \times 10^4 \text{ km}^2$;全省常住人口约为 4.19×10^7 人,地区生产总值较前一年增长 5.7%,人均地区生产总值约为 58 008 元,较前一年增长

5.9%。辽宁省城镇化率较上一年增长了 0.61%,正处在城镇化快速发展的时期,同时在有限的土地资源的约束下,人地矛盾日益突出。

1.2 数据来源与处理

文章中所涉及的数据与资料大部分来自于《辽宁省统计年鉴》,辽宁省各城市《国民经济和社会发展统计公报》以及地理空间数据云等相关政府门户网站发布的统计数据,并在空间上利用了辽宁省行政图作为底图对研究成果进行空间可视化分析。

1.3 遥感影像监督分类

研究利用 ENVI 软件完成遥感数据预处理,包括辐射定标、几何校正、大气校正、镶嵌、裁剪等预处理^[8]。并按照国家土地利用分类的标准,利用监督分类的方法结合辽宁省地区的具体情况和特征,将辽宁省各城市的地物分为 6 大类型:水域、林地、建设用地、草地、耕地和未利用地。并将影像在 ArcGIS 10.2 软件对各个城市的影像进行镶嵌制图得到辽宁省土地利用现状图。根据所得的土地利用类型图对各类型用地面积进行计算,结果得到全省林地面积占总面积的 43%,耕地面积占总面积 41%,建设用地面积占总面积的 9%,水域和草地面积占总面积均为 3%,未利用地面积占总面积 1%。

2 研究方法

2.1 评价指标体系的构建

结合研究区的自然资源条件和生态环境特征,以及国务院印发的《全国国土规划纲要(2016—2030 年)》和国家发改委印发的《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》等政策文件,依据研究区城市的实际情况,再结合数据的可获取性,以科学性、全面性、系统性、区域性为原则,按照指标选取的代表性、独立性、系统性和可量化性原则构建辽宁省城市土地资源承载力的指标体系^[9]。从社会角度、经济角度、资源角度中分别选取 16 个指标。

2.2 数据处理方法

2.2.1 层次分析法 层次分析法是基于专家对每个影响因素的客观评判,对其重要性进行分析,构建数学模型,计算各个指标的权重值。本文利用 AHP 法对评价指标体系的 3 个准则层进行赋权,在此基础上再利用熵权法分别确定指标层对准则层的权重,最后计算其综合权重。AHP 法对准则层计算的权值判断矩阵见表 1。

表 1 评价指标体系判断矩阵

A	B ₁	B ₂	B ₃	准则层对目标层的相对权重
B ₁	1	1	1	0.327 5
B ₂	1	1	2	0.412 6
B ₃	1	1/2	1	0.259 9

式中: B₁ 为准则层中的社会子系统; B₂ 为经济子系统; B₃ 为资源子系统。借助 MATLAB 软件计算, 判断矩阵的阶数是 3, 取 RI=0.58, 最大特征值 $\lambda_{\max}=3.053\ 622$ 一致性指标 CR=0.051 6<0.1, 符合一致性检验条件^[10]。

2.2.2 熵权-TOPSIS 评价模型 熵值法是一种对数据信息客观赋权的方法^[11], 设有 m 个评价方案, n 项评价指标, 建立原始指标数据矩阵 $A=(x_{ij})_{m \times n}$; 首先对评价指标进行归一化, 主要采用极值标准化方法^[12]:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

式中: r_{ij} 表示第 i 个指标第 j 个城市的标准化值。

指标权重的确定: 根据熵的定义和研究区的土地承载力评价指标原始数据信息, 来计算辽宁省各地区评价指标的权重, 其计算公式为

$$e_j = -k \times \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (3)$$

$$W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (4)$$

式中: P_{ij} 表示待求的第 j 个影响因子向量中第 i 个

值所占该影响因子的概率^[13] ($P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}$); e_{ij} 为第 j 项指标的熵值, 其中 $k > 0$, \ln 为自然对数, $e_j \geq 0$ 。 $k = 1/\ln m$, 则 $0 \leq e \leq 1$; g_j 为第 j 项指标的差异系数 ($g_j = 1 - e_j$); W_j 为第 j 项指标的权重。

TOPSIS 法是一种对有限个方案进行多目标决策分析的评价方法。该评价方法能全面客观地描述研究区域土地资源承载力的改变趋势^[14]。

计算方法为:

$$Y^+ = \{ \max_{1 \leq i \leq m} y_{ij} \mid i=1, 2, \dots, m \} = \{ y_1^+, y_2^+, \dots, y_m^+ \} \quad (5)$$

$$Y^- = \{ \max_{1 \leq i \leq m} y_{ij} \mid i=1, 2, \dots, m \} = \{ y_1^-, y_2^-, \dots, y_m^- \}$$

式中: Y^+ 表示正理想值; Y^- 表示负理想值, 即评价指标中第 i 个指标在 j 年内的最大值和最小值^[15]。

采用欧氏距离公式计算距离, 计算公式为:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^+ - y_{ij})^2} \quad (6)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^- - y_{ij})^2}$$

式中: D_j^+ 为第 i 个指标与 y_j^+ 的距离; D_j^- 为第 i 个指标与 y_j^- 的距离; y_{ij} 为第 i 个指标第 j 年加权后的规范化值。计算研究区域土地资源承载力与理想值的贴近度, 根据每年贴近度大小来判断土地承载力的变化情况, 计算公式为:

$$T_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (7)$$

式中: T_j 即土地资源承载力与理想值的贴近度, 其取值范围在 $[0, 1]$ 之间。 T_j 值越接近于 1, 表明该年土地承载力越接近承载力的最优水平。计算结果见表 2。

表 2 辽宁省各城市土地承载力评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标类型	指标层相对准则层权重	综合权重
土地承载力	社会—子系统	人口密度	—	0.120	0.039
		人均耕地面积	+	0.403	0.132
		城镇化率	+	0.197	0.064
		人均公共绿地面积	+	0.198	0.065
		人均居住面积	+	0.082	0.027
	经济—子系统	地均生产总值	+	0.195	0.080
		单位面积固定资产投资额	+	0.189	0.078
		粮食单产	+	0.059	0.024
		人均社会消费品零售额	+	0.156	0.064
		人均 GDP	+	0.121	0.050
资源—子系统	第三产业构成	+	0.083	0.034	
	地均工业生产总值	+	0.198	0.082	
	土地利用效率	+	0.059	0.015	
	农用地比例	+	0.071	0.018	
	建设用地比例	+	0.210	0.055	
		人均水资源量	+	0.661	0.172

2.2.3 土地承载力障碍度诊断模型 为了进一步识别阻碍土地承载力发展的障碍因子,本研究结合障碍度诊断模型对其进行分析,引入因子贡献度 F_{ij} , 指标偏离度 M_{ij} 和障碍度 P_{ij} 3 个变量,其中 F_{ij} 表示各指标对于土地承载力的权重, M_{ij} 为各指标与理想值之间的差距,障碍度为各指标对于土地承载力的阻碍程度。^[15-17] 计算公式如下:

$$P_{ij} = M_{ij} F_{ij} / \sum_{i=1}^m M_{ij} F_{ij} \quad (8)$$

式中: $M_{ij} = (1 - r_{ij})$, $F_{ij} = W_{ij}$ 。

3 结果与分析

3.1 辽宁省各子系统土地承载力评价

本研究根据计算得到的评价指标权重结果建立加权规范化矩阵,得出土地承载力正、负理想解,根据建立的加权规范化矩阵,利用 Matlab 编程求得 2018 年辽宁省各地级市的土地资源承载力与理想值的贴近度,并用以表示土地资源承载力大小。图 1 表示社会、经济、资源 3 个子系统的承载力空间分布情况。社会子系统承载力较理想的的城市主要分布在阜新、铁岭、朝阳、锦州及盘锦市几个城市,分别为 0.680, 0.465 9,

0.450 2, 0.470 8, 0.494 4。从社会—子系统内部评价指标来看,这几个城市的人口密度相对于其他城市都是较低的,人口密度越大将会加深研究区人地矛盾,因此在发展快的城市,例如沈阳市、大连市的社会承载力就会较低。经济子系统承载力的分布情况与土地承载力空间分布相似性较大,对于沈阳、大连、盘锦市等几个经济承载力较高的城市,其土地承载力也比较高,说明了经济—子系统承载力对于土地承载力来说影响较大。大连市作为海滨城市,旅游业比较发达,故而经济承载力最高,其次为辽宁省省会沈阳市,经济承载力分别为 0.857 644, 0.785 233,但是经济发展过快也带来了许多其他问题,经济发展迅速会使土地资源消耗增多,从而给生态环境带来了一定的负面影响。从资源子系统承载力上看,丹东市的资源承载力最高,然后是本溪市、大连市,从资源承载力内部来看,人均水资源量所占的权重最高,因此资源承载力很大程度上取决于人均水资源量,而大连市、丹东市、以及本溪市都是属于水资源量较多的城市,沈阳市的资源承载力最低,由于经济的迅速发展造成了资源的不合理利用,并在一定程度上抑制了资源承载力的发展。

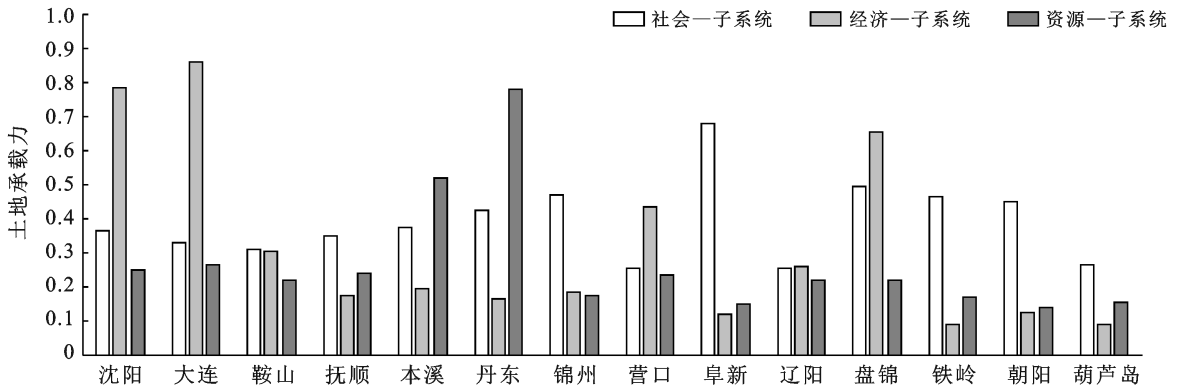


图 1 辽宁省各城市各子系统土地承载力

3.2 辽宁省土地承载力评价

如图 2—3 所示,利用辽宁省各城市的土地承载力的空间分布特征与系统聚类法,对土地资源承载力进行分层。首先从土地资源承载力总体评价结果来看,辽宁省土地承载力评价中盘锦市、大连市、沈阳市、丹东市的土地承载力值相对较高。丹东市和大连市最高分别为 0.501 6, 0.467 2, 盘锦市和沈阳市土地承载力值分别为 0.439 2, 0.430 8, 沈阳市作为辽宁省省会城市,具有较高的人均 GDP 以及较高的地均生产总值使得经济子系统承载力较高,但是在社会子系统下,其人口密度高于其他城市,其较高人口数量使得人均耕地面积、人均建设用地面积较少,人口数量

大,经济发展较快也在一定程度上抑制了资源的发展,因此沈阳市在达到土地承载力理想值还有一定差距。丹东市和大连市同作为海滨城市,其资源较其他城市占有一定优势,丹东市的资源承载力最高为 0.778 35,大连市资源承载力较丹东市还有一定差距,但近几年来因其经济的迅速发展,使其土地承载力也比较高。与此同时,鞍山、抚顺、锦州、营口、辽阳、铁岭、朝阳以及葫芦岛市均低于总体均值,其中土地承载力最低的是葫芦岛市,仅为 0.183。从图 2 中可以明显看出葫芦岛市的社会、经济、资源 3 个子系统的承载力都是较为落后的状态。鞍山市土地承载力仅为 0.278,鞍山市被称为中国的钢都,它曾经的钢材资

源十分发达,但是在如今中国钢材资源过剩的情况下,中国很多以钢材为主的城市都处于退步的趋势,所以它的资源和经济子系统承载力都是处在一个较低的情况,以至于其土地承载力也最低。除此之外,其他几个低于均值的城市经济技术水平同样表现出较低的特点,可见,经济发展的进程是土地资源承载力的最主要的影响因素之一。同时,以上几个城市土地资源对生态环境的保护能力也较弱。因此,应首先加快经济发展和资源环境的保护,对工农业产业进行有效调整,加大生产的科技投入力度,优化产业结构,加快对优质产业的发展,不断加强工农业产业化和市场化水平。在不断发展经济的同时也应保持林地、草地以及水域等基础性生态用地的稳定性,加强对人工林地、草地的培育,防止生态环境的破坏,积极推进绿色生态产业,降低工农业生产对土地环境的污染。

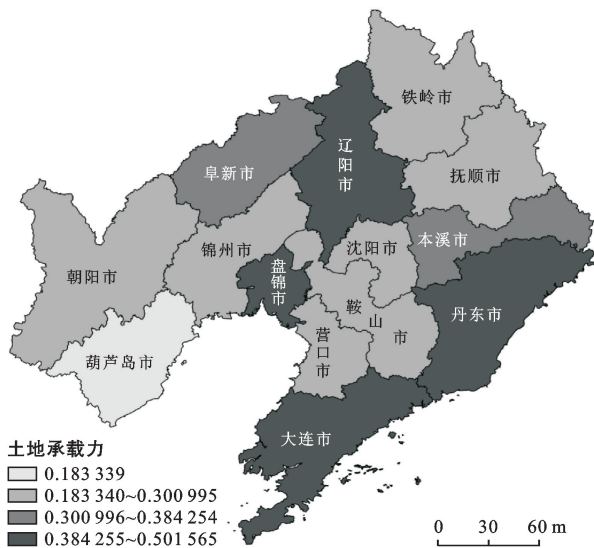


图 2 辽宁省土地承载力空间分布特征

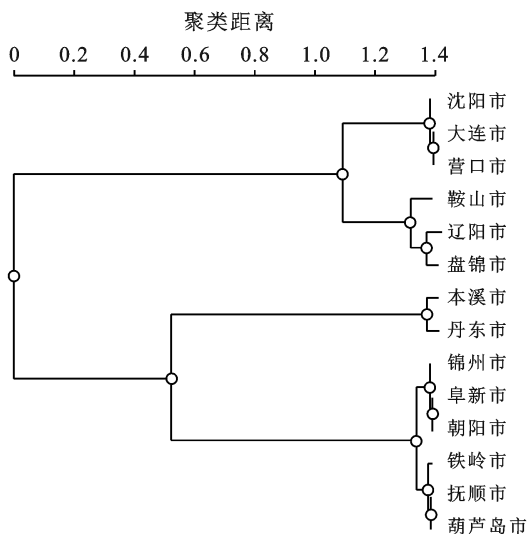


图 3 辽宁省城市土地承载力系统聚类分级

3.3 辽宁省各城市土地承载力障碍度诊断

根据障碍度模型得到各项指标障碍度的诊断结果,得到辽宁省城市土地承载力各子系统的障碍度^[18],其计算结果见表 3。

由表 3 可见,辽宁省各城市的土地承载力障碍因素存在明显差异,从社会—子系统的角度看,大连市的社会子系统障碍度最大,其次是沈阳市,分别为 51.09% 和 42.97%,从横向上看,这两个城市的社会子系统障碍度明显高于其他两个子系统障碍度,说明其社会子系统是阻碍其土地承载力发展的主要子系统。从经济子系统的角度看,丹东市的经济子系统障碍度最大,同时阜新市、朝阳市、铁岭市、锦州市的经济子系统障碍度也较高。从资源子系统的角度看,障碍度最大的城市依次是大连、沈阳和盘锦市,但整体上资源子系统障碍度跟社会子系统和经济子系统的障碍度相比较小,因此在经济新常态背景下,大连、沈阳以及盘锦市这几个经济发展较好的城市要想提高土地承载力,应把重点关注在资源和社会子系统中,从而探究更加节约有效的土地利用方式,并加大对生态环境的保护,以此提高土地承载力。对于辽宁省城市的土地承载力而言,经济发展较快的城市应更加重视社会子系统和资源子系统,更加科学合理的对土地进行规划,而对于阜新市、铁岭市、葫芦岛市等几个经济子系统障碍度大的城市,其经济发展是土地承载力发展进步的首要影响因素。

表 3 辽宁省城市土地承载力各子系统指标障碍度 %

城市	社会—子系统	经济—子系统	资源—子系统
沈阳	0.429 7	0.183 3	0.387 0
大连	0.510 9	0.086 3	0.402 8
鞍山	0.315 1	0.419 6	0.265 3
抚顺	0.264 9	0.479 5	0.255 6
本溪	0.276 2	0.519 0	0.204 8
丹东	0.286 4	0.624 1	0.089 5
锦州	0.241 6	0.476 0	0.282 5
营口	0.360 3	0.365 4	0.274 4
阜新	0.154 7	0.550 5	0.294 8
辽阳	0.318 3	0.431 1	0.250 7
盘锦	0.272 2	0.283 0	0.444 8
铁岭	0.260 1	0.493 1	0.246 8
朝阳	0.241 9	0.489 0	0.269 2
葫芦岛	0.289 4	0.462 9	0.247 8

4 结论

本文利用 Landsat 8 遥感影像数据、城市统计年鉴以及《辽宁省国民经济和社会发展统计公报》等数据构建了辽宁省土地承载力评价指标体系,并利用

AHP-熵权 TOPSIS 模型对辽宁省各城市土地资源承载力进行评价研究。

在全面考虑辽宁省土地资源承载力综合评价结果的前提下,采用系统聚类法将辽宁省土地资源承载力划分为 4 个部分。其中,大连市、沈阳市、盘锦市以及丹东市土地资源承载力处于相对较高承载力等级,表现出土地资源利用与社会经济和资源环境发展的协调性,但是其经济的快速发展对资源环境产生了制约;阜新市、锦州市、铁岭市以及朝阳市处于相对中等承载力,辽阳市、抚顺市、本溪市、丹东市和葫芦岛市处在相对较低承载力,其余市土地资源承载力为相对低承载力的等级。通过以上结果表明,要想提高土地承载力,就要加大力度协调发展社会、经济和资源承载力。结合辽宁省各城市土地承载力现状,分别对影响其土地承载力水平的障碍因子进行监督管理,并通过检查、管理实现持续改进,科学合理的对土地进行规划,推进社会经济发展和环境保护之间的协调发展,实现土地资源的有效利用与社会经济的可持续发展。资源环境是辽宁省各城市可持续发展的基本保障,所有的社会经济建设活动都须在保证生态环境安全的前提下进行。经过人力、物力以及财力的投入,加强环境污染的综合治理,防止资源环境的修复被破坏,坚持对资源的节约利用,减轻生态环境压力,从而提高资源承载力。并推进结构转型,促进资源与经济的协调发展,随着人口数量的增加,造成人地矛盾加深,通过对人口素质的提高,并对其就业问题加强保障。本文对辽宁省各城市土地承载力的空间差异进行了分析,研究结果基本符合实际情况,对辽宁省各城市提高其土地承载力具有一定的现实意义。评价的目的主要在于识别差距的所在和改善的方向。通过障碍度诊断模型,有效地识别了阻碍土地承载力发展的障碍因子,为相关政策的制定提供一定的理论支持。本次试验仍有不足之处需要进一步优化。本研究对土地资源承载力评价指标的选取具有一定的主观性,影响因素的数量众多,获取相关数据具有一定局限性,仅选取了部分可获性较高的评价指标构建指标体系,参考已有研究成果。本研究缺少对未来土地资源承载力的预测,对研究区域的发展趋势及相关影响因素仍需进一步的探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 鹿晓东.基于 GIS 的土地资源环境承载力评价研究[D].山东济南:山东建筑大学,2019.
- [2] 喻送霞,杨波,宾津佑,等.长株潭城市群土地资源承载力评价[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2019,13(1):37-43,63:10-14067.
- [3] 贾立斌,袁国华.基于系统动力学的土地资源承载力评价与监测预警:以安徽省凤台县为例[J].国土资源科技管理,2018,35(1):61-72.
- [4] 魏玮,伍博炜,王强,等.基于生物免疫学原理的海西城市群土地综合承载力研究[J].资源科学,2015,37(10):2018-2029.
- [5] Wang Donglin, Kong Xiangming. Evaluation of carrying capacity on resource and environment based on improved TOPSIS method [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021,811(1):012004.
- [6] Yang Haiyan, Tan Yinan, Sun Xiaobo, et al. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity and analysis of obstacle factors in Weifang City based on hierarchical cluster analysis-VIKOR method [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2021,28(36):50388-50404.
- [7] 李帅.辽宁省县域乡村性与经济社会发展对应分析[D].辽宁 大连:辽宁师范大学,2018.
- [8] 李宁,杨帆,张英,等.2000—2015 年中国大陆海洋岸线变化多视角分析[J].测绘科学,2019,44(10):43-49.
- [9] 孟静,宁晓刚,王浩,等.自然禀赋视角和 GIS 空间分析的生态承载力研究[J].遥感信息,2020,35(5):155-162.
- [10] 温亮,游珍,林裕梅,等.基于层次分析法的土地资源承载力评价:以宁国市为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(3):1-6.
- [11] 邹欣怡,赵伟,蒲海霞,等.重庆市南岸区城市边界扩张及生态环境效应研究[J].水土保持研究,2019,26(4):252-258.
- [12] 谢明义,徐广才,张蕊.生态涵养区农业经济发展与生态环境保护耦合协调研究:以北京市怀柔区为例[J].生态经济,2021,37(5):119-124.
- [13] 俞艳波,杨立涛,赵兴哲,等.一种基于熵权法理论的水准网平差定权方法[J].测绘地理信息,2021,1(6):1-6.
- [14] 雷勋平,邱广华.基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J].环境科学学报,2016,36(1):314-323.
- [15] 张晓娟,周启刚.基于熵权 TOPSIS 和灰色模型的土地承载力评价与预测:以三峡库区为例[J].资源开发与市场,2017,33(6):666-671.
- [16] 何刚,夏业领,朱艳娜,等.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的安徽省土地承载力评价及预测[J].水土保持通报,2018,38(2):127-134.
- [17] 顾家明,胡卫卫,田素妍.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的江苏省生态承载力评价及障碍因素诊断[J].水土保持通报,2019,39(2):246-252.
- [18] 傅聪颖,赖昭豪,郭熙.基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价及障碍因素诊断[J].生态经济,2020,36(1):198-204.