

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.08.014

辽宁锦州地区土地资源承载力评价

孙秀波, 崔健, 代雅建, 郭常来*

SUN Xiubo, CUI Jian, DAI Yajian, GUO Changlai*

中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110032
Shenyang Center, CGS, Shenyang 110032, Liaoning, China

摘要:以土地资源综合承载状态最佳为目标层,以土地资源底线、绿色生活、土地资源安全、土地资源绿色生产为准则层,建立土地资源承载力评价指标体系,并从欧氏距离、主客观赋权、优势及短板评价模块三方面建立 TOPSIS 土地资源承载力评价及优势短板定量分析模型。以此模型开展了锦州地区土地资源承载力评价研究。评价结果显示:2015—2018 年,锦州地区土地资源承载力先升后降,2016 年达到最高,2018 年最低;2015 年城乡建设用地规模、2016 年新增国土空间生态修复规模、2017 年和 2018 年耕地保有量为影响当年土地承载力的主要指标。该成果为研究土地资源承载力演化趋势,定量分析影响土地资源承载力的指标提供支撑。

关键词:土地资源承载力;改进 TOPSIS 模型;短板指标;承载力提升

中图分类号:P301.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2022)08-1487-07

Sun X B, Cui J, Dai Y J, Guo C L. Research on the evaluation of land resources carrying capacity in Jinzhou area, Liaoning Province. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(8): 1487-1493

Abstract: Taking the best comprehensive carrying state of land resources as the target layer, and taking the bottom line of land resources, green life, land resource security, and green production of land resources as the criterion layers, establish an evaluation index system for the carrying capacity of land resources in Jinzhou. The objective weighting, advantages and shortcoming evaluation modules establish a quantitative analysis model for TOPSIS land resource carrying capacity evaluation and advantages shortcomings. Based on this model, the evaluation research of land resource carrying capacity in Jinzhou area was carried out. The evaluation results show that from 2015 to 2018, the land resource carrying capacity of Jinzhou area increased first and then decreased, reached the highest in 2016 and the lowest in 2018. The scale of urban and rural construction land in 2015, the scale of ecological restoration of new land and space in 2016, and the amount of cultivated land in 2018 are the main indicator that affected the land carrying capacity of that year. The results provide support for studying the evolution trend of land resource carrying capacity and quantitatively analyzing the indicators that affect land resource carrying capacity.

Key words: land resources carrying capacity; improved TOPSIS model; shortcoming index; increased carrying capacity

在城市化迅速推进过程中,随着城镇建设用地总量、人口规模持续增长,农业生产用地环境质量不断变化,导致土地资源环境容量已处于严重超载状态。2020 年 1 月,自然资源部《资源环境承载能

力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)》正式公布,按照《中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》要求,"双评价"是编制国土空间规划、完善空间治理的基础性工作,应

收稿日期:2020-12-29;修订日期:2021-03-18

资助项目:中国地质调查局项目《东北振兴区资源环境承载能力监测评价》(编号:DD20221730)和辽宁省自然资源厅科技创新项目《基于 GIS 指数模型与 TOPSIS 模型评价承载力结果的差异化研究》(编号:2019021)

作者简介:孙秀波(1981-),女,硕士,高级工程师,从事资源环境承载能力评价、国土空间规划、环境地质等工作。E-mail: hjsunxb@126.com

*通信作者:郭常来(1980-),男,硕士,高级工程师,从事国土空间规划、水工环等工作。E-mail: guochanglai@126.com

按照地区土地资源量评价支撑农业生产、城镇建设等人类活动的最大合理规模进行。国内外学者相继开展了土地资源环境承载力评价研究,选取不同评价指标体系,采用评价模型对研究区土地资源承载状态、承载等级进行了划分。代磊等^[1]从耕地承载力、生态承载力和社会经济承载力出发,构建土地承载力评价指标体系,运用熵权法对贵阳市土地资源承载力进行评价;Peng等^[2]从自然资源、经济资源、环境资源和社会资源4个方面开展了贵阳市土地资源承载力评价研究;苏子龙等^[3]基于三维生态足迹模型开展了安徽省土地生态承载状态研究;陈璐璐等^[4]基于GIS以Landsat-8 OLI遥感影像等为数据源评价了哈尔滨市市辖区土地承载力;彭亮等^[5]基于均方差-TOPSIS模型开展了六安市土地资源综合承载力评价。

综上,国内外学者采用的土地资源承载力评价模型方法主要包括模糊综合评价法、主成分分析法、熵模型、生态足迹模型、系统动力学仿真模型等^[6-13]。从评价过程及评价结果看,仅是针对土地资源承载力状态进行了初步评价,但对影响承载力值高低的指标缺乏进一步的定量分析。基于此,笔者提出一种改进的TOPSIS土地资源承载力评价模型,较传统评价方法在权重赋值及影响承载力高低指标的量化分析上进行了改进,并开展了锦州市土地资源承载力评价,为提升锦州地区土地资源承载力提供理论支撑。

1 改进TOPSIS模型的建立

TOPSIS模型通过计算各指标与理想解和负理想解的距离,根据贴近距离大小评价方案的优越程度,即“逼近理想解排序方法”,解决多目标决策问题^[14-18]。笔者认为,在土地资源承载力评价过程中,不同指标在距离最优解相同距离的条件下,权重较大的指标其土地资源承载力较高。在传统TOPSIS方法的基础上,减少构建加权判断矩阵环节,将权重引入欧式距离中,同时构建土地资源承载力优势及短板要素识别模型。具体过程如下。

1.1 主客观组合赋权法

层次分析法(AHP)等主观赋权法能较好地体现决策者对各指标的主观意向,但权重缺乏稳定性和客观性;客观赋权法受人为主观因素影响较小,但忽视了指标本身的差异且易受样本数据随机性的影

响。本文采用层次分析法和熵权法主客观组合赋权法,步骤如下。

(1) 步骤1:运用AHP法确定指标权重

建立判断矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times m}$, $i, j = 1, 2, \dots, m$, 其中 b_{ij} 表示第 i 个评价指标与 j 个指标的相对重要程度,根据矩阵 B 的最大特征值对判断矩阵进行一致性检验,求取权重。

(2) 步骤2:运用熵权法确定指标权重

特征比重:

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (1)$$

熵值:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln(f_{ij}) \quad (2)$$

熵权:

$$w_j^* = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (3)$$

建立熵值法权重判断矩阵: $K=(k_{ij})_{m \times m}$, $i, j = 1, 2, \dots, m$,

(3) 步骤3:运用AHP-熵权法确定组合权重

$$W_{j(\text{组合权重})} = q_1 B_{j(\text{主观权重})} + q_2 K_{j(\text{客观权重})} \quad (4)$$

其中, $W_{j(\text{组合权重})}$ 表示 AHP-熵权法确定组合权重, B_j 表示主观权重(AHP权重), K_j 表示客观权重(熵值法权重), q_1 、 q_2 分别为主客观权重系数,认为主客观赋权具有同等重要程度,取 $q_1 = q_2 = 1/2$ 。

建立组合法权重判断矩阵: $W_j=(w_{ij})_{m \times m}$, $i, j = 1, 2, \dots, m$ 。

1.2 改进权重引入欧式距离计算公式

改进传统TOPSIS距离计算公式,将权重引入欧式距离计算。

令 D_j^+ 表示第 j 个指标和 y_j^+ 的距离, D_j^- 表示第 j 个指标和 y_j^- 的距离, W_j 表示第 j 个指标权重。计算方法见公式(5)和(6)。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_{j(\text{组合权重})} (y_i^+ - y_{ij}^+)]^2} \quad (5)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_{j(\text{组合权重})} (y_i^- - y_{ij}^-)]^2} \quad (6)$$

式中, w_j 为基于公式(4)确定的 AHP-熵权法组合权重。

1.3 建立优势和短板分析模型

基于TOPSIS模型评价结果,对改进距离公式

进行变异化处理,以 D_j^+ 为例,构建承载力过程公式(7~10),生成指标组合模型,定量评价影响承载力高低的优势及短板要素。

(1)步骤 1:对距离公式进行变异处理,构建以 D_j^+ 为半径的土地资源承载力面域, S_i 表示第 i 个评价方案的土地资源承载力评价价值, S_j 为各指标影响承载力值大小程度,用圆面分区面积表示。

建立变异化等式:

$$S_i = \sum_{j=1}^m S_j, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

(2)步骤 2:构建承载力图形化表达模型,根据区域分布,确定各指标影响承载力值大小程度,用 S_j 表示,为扇形顶角为 α_j ,表示为第 j 个指标对承载力大小的影响程度,公式为:

$$\alpha_j = 360 \left[\frac{W_j(Y_j^+ - Y_{ij})}{D_j^+} \right]^2, j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

(3)步骤 3:比较各指标对于承载力值大小的贡献程度,识别优势及短板要素,第 i 个方案第 k 个指标为优势要素,表示为 Y_{ik} ;第 i 个方案第 q 指标为短板要素,表示为 Y_{iq} 。

短板要素识别模型:

$$Y_{ik} = S(Y_{ij}) \quad (9)$$

其中, j 为 $\text{MAX}(\alpha_j)$ 条件下的 j 值。

优势要素识别模型:

$$Y_{ik} = A(Y_{ij}) \quad (10)$$

其中, j 为 $\text{MIN}(\alpha_j)$ 条件下的 j 值。

2 实例研究

2.1 锦州土地资源禀赋特征

锦州市地处辽宁省西南部,北依松岭山脉,南临渤海辽东湾,位于“辽西走廊”东端,是辽西区域性中心城市和环渤海地区重要的港口城市。随着经济社会发展及城镇建设用地的不断扩张,锦州市 2018 年土地利用率为 99.5%,现状土地开发程度较 2005 年土地利用率 73.09% 大幅提高,土地后备资源开发利用潜力有限。锦州人均耕地面积约 0.2 hm^2 ,为全国人均耕地面积的 1.5 倍;需开展土地资源承载能力评价,找准影响承载力高低的指标要素,为提升地区土地资源承载力提供数据支撑。

2.2 土地资源承载力指标体系建立

以政府部分有关土地方面的评估指标为基础,

对年度没有变化的指标予以剔除,选取土地资源承载综合状态最佳为目标层,以土地资源底线、土地资源结构效率、土地资源绿色生产、土地资源生态保护为准则层,选取反映土地资源底线的耕地保有量、城乡建设用地面积、土地结构效率的人均应急避难场所面积、人均城镇建设用地面积、人均农村居民点用地面积、绿色生产的万元 GDP 地耗,以及土地生态保护的新增国土空间生态修复面积,共计 7 项指标,构建了锦州市土地资源承载力评价指标体系。选取 2015—2018 年作为评价序列年,各年度指标数据由规划部门提供,拟定 4 个评价方案。

2.3 规范决策矩阵

基于锦州市土地资源评价指标体系,以土地集约用地为原则,将指标划分为正向指标和负向指标。其中, A1、A2、B1、D1 为正向指标, B2、B3、C1 为负向指标,根据下述规范化公式,求得规范矩阵 X。按指标属性分越大越优型的正向指标、越小越优越型的负向指标,规范化公式为:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{z_{ij} - \min(z_j)}{\text{MAX}(Z_j) - \text{MIN}(Z_j)}$$

$$\text{负向指标: } X_{ij} = \frac{\text{MAX}(z_j) - z_{ij}}{\text{MAX}(Z_j) - \text{MIN}(Z_j)}$$

式中, X_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) 为第 i 个评价对象,第 j 个评价指标的规范化指标值; Z_{ij} 为指标原始数据值。

根据模型步骤 1,基于 AHP 主观赋权法对指标的重要程度进行比较,最终确定指标主观权重:

$$W_{\text{主观权重}}: B = \{b_1, b_2, \dots, b_7\} = \{0.422, 0.141, 0.028, 0.168, 0.068, 0.118, 0.055\}$$

对 AHP 法所求的权重总排序进行一致性检验, $CR = 0.033$, 小于 1, 通过一致性检验。

根据公式(5)~(7),基于熵值法确定指标客观权重:

$$\text{其中, } e_j = \{0.743956, 0.713560, 0.75, 0.702325, 0.677584, 0.721156, 0.624642\}$$

$$W_{\text{客观权重}}: K = \{k_1, k_2, \dots, k_7\} = \{0.124, 0.138, 0.121, 0.144, 0.156, 0.135, 0.182\}$$

根据公式(8),运用 AHP-熵权法确定组合权重:

$$W_{\text{组合权重}}: W = \{w_1, w_2, \dots, w_7\} = \{0.273, 0.1395, 0.0745, 0.156, 0.112, 0.1265, 0.1185\}$$

表1 锦州市土地资源承载力评价指标值

Table 1 Evaluation index value of land resource carrying capacity in Jinzhou

目标层	准则层	指标序号	指标层	评价方案			
				2015年	2016年	2017年	2018年
土地资源底线		A1	耕地保有量 /km ²	5060.29	5058.15	5054.98	5051.67
		A2	城乡建设用地面积 /km ²	915.54	917.74	921.2	923.42
土地资源承载 综合状态最佳	结构效率	B1	人均应急避难场所面积/m ²	0.73	0.77	0.75	0.75
		B2	人均城镇建设用地 /m ²	213.61	213.49	217.68	219.18
		B3	人均农村居民点用地 /m ²	366.13	368.9	378.9	381.99
绿色生产		C1	每万元GDP地耗 /m ²	93.86	123.33	113.47	107.76
生态保护		D1	新增国土空间生态修复 面积/km ²	3.4386	1.2567	0.2185	7.4261

表2 规范决策矩阵

Table 2 Standardized decision matrix

方案	正向指标	正向指标	正向指标	负向指标	负向指标	负向指标	正向指标
	耕地保有量 /km ²	城乡建设用地面积 /km ²	人均应急避难场所面积/m ²	人均城镇建设用地 /m ²	人均农村居民点用地 /m ²	每万元GDP地耗 /m ²	新增国土空间生态修复面积 /km ²
2015年	1	0	0	0.9789	1	1	0.4468
2016年	0.7517	0.2792	1	1	0.8253	0	0.1440
2017年	0.3840	0.7183	0.5	0.2636	0.1948	0.3346	0
2018年	0	1	0.5	0	0	0.5283	1

表3 锦州市土地资源承载力评价指标权重

Table 3 Evaluation index weights of land resource carrying capacity in Jinzhou

目标层	准则层	指标序号	指标层	熵值法权重	AHP权重	组合权重
土地资源底线		A1	耕地保有量/km ²	0.124	0.422	0.273
		A2	城乡建设用地面积/km ²	0.138	0.141	0.1395
土地资源承载综合 状态最佳	结构效率	B1	人均应急避难场所面积/m ²	0.121	0.028	0.0745
		B2	人均城镇建设用地/m ²	0.144	0.168	0.156
		B3	人均农村居民点用地/m ²	0.156	0.068	0.112
绿色生产		C1	每万元GDP地耗/m ²	0.135	0.118	0.1265
生态保护		D1	新增国土空间生态修复面积/km ²	0.182	0.055	0.1185

2.4 方案到理想解的距离

基于 AHP-熵权法计算的组合权重及改进的 TOPSIS 距离计算公式, 计算 2015—2018 年评价方案与正理想解间的距离 D_j^+ :

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m [w_{j(\text{组合权重})}(y_i^+ - y_{ij})]^2}$$

$$D_j^+ = (0.2406, 0.1831, 0.2464, 0.3236)$$

将权重从构建权重规范矩阵中引入距离, 构建改进的 TOPSIS 距离计算公式, 主要表示用指标权重大小刻画欧式距离大小, 在指标 Y_m 、 Y_n 距离理想解指标距离相同的情况下, 权重值大的指标其所在的方案较权重小的指标所在的方案优越性更高。较以往构建规范权重矩阵中用权重刻画指标大小相比, 将权重值介入指标值更有意义, 通过指标的重要程度刻画距离理想方案的距离大小, 能很好地体现土地资源承载力评价思想。

2015—2018 年评价方案距离正理想解的距离大小, D_j^+ 距离越小表示越贴近正理想解, 评价方案优越性越好, 则该年度土地资源环境承载力越高; 相反, 则评价方案优越性越差, 该年度土地资源环境承载力越低。通过改进的权重距离公式对方案优越性进行评价, 按方案优越性排序从大到小依次为: 方案 2(2016 年) > 方案 1(2015 年) > 方案 3(2017 年) > 方案 4(2018 年)。其中, 方案 2(2016 年) 优越性为最优, 其土地资源承载力为最高值; 方案 4(2018 年) 优越性为最差, 其土地资源承载力为最低值(图 1)。

表 4 土地资源承载力区域构成

Table 4 Description of regional composition of land resource carrying capacity

方案	距离半径	区域面积	A1 指标扇	A2 指标扇	B1 指标扇	B2 指标扇	B3 指标扇	C1 指标扇	D1 指标扇
			区面积						
2015 年	0.240551	0.181788	0	0.061136	0.017437	0.000034	0.039408	0.050273	0.013501
2016 年	0.183136	0.105365	0.014435	0.031763	0	0	0.026842	0	0.032325
2017 年	0.246413	0.190755	0.088846	0.004851	0.004359	0.041460	0.001495	0.005628	0.044115
2018 年	0.323603	0.328984	0.234140	0	0.004359	0.076454	0	0.014031	0

表 5 优势及短板指标贡献值分析

Table 5 Analysis of the contribution value of advantages and shortcoming indicators

指标代码	评价方案			
	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
A1	0	0.1370	0.4658	0.7117
A2	0.3363	0.3015	0.0254	0
B1	0.0959	0	0.0229	0.0133
B2	0.0002	0	0.2173	0.2324
B3	0.2168	0.2547	0.0078	0
C1	0.2765	0	0.0295	0.0426
D1	0.0743	0.3068	0.2313	0

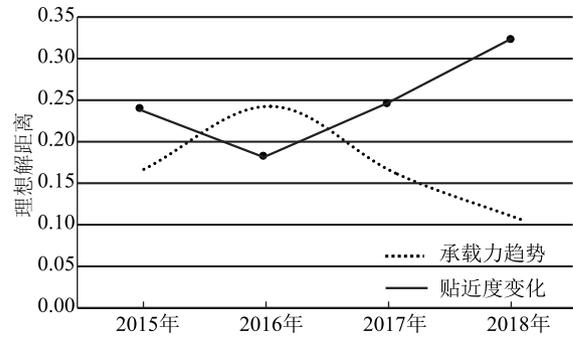


图 1 承载力变化趋势图

Fig. 1 Loading capacity change trend chart

2.5 优势及短板指标分析

根据土地资源承载力评价结果, 为找出影响土地资源承载力高低的主要原因并进行指标量化, 笔者建立了土地资源承载力评价优势及短板分析模型(详见公式(7)~(10))。通过定量化描述评价方案指标要素对承载力的影响程度及贡献值大小, 明确影响承载力大小的优势及短板指标, 并以图示形式形象地表达其差异程度(图 2、图 3)。

步骤 1: 首先构建以 2015—2018 年评价方案距离正理想解的距离为半径的各年度土地资源承载力区域, 其由 7 个相关指标构成扇形分区(图 2)。

步骤 2: 根据上述模型比较各指标对于承载力值大小的贡献程度, 识别各评价方案的优势及短板指标(表 5; 图 3)。

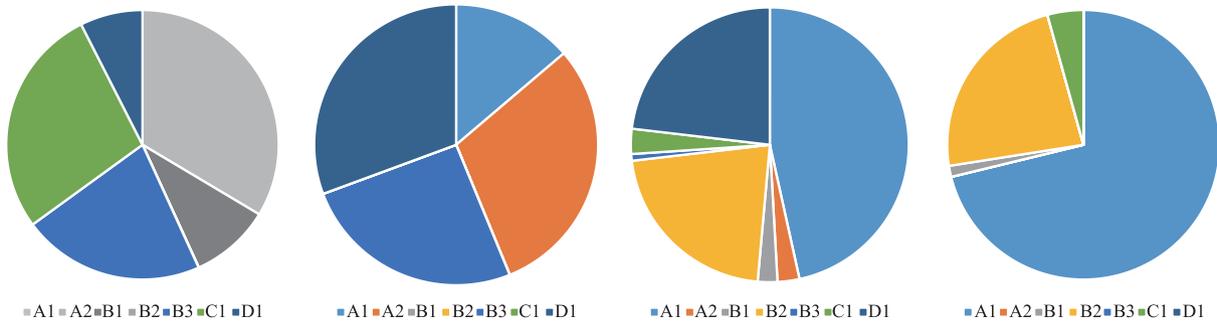


图2 2015—2018年土地资源承载力区域构成

Fig. 2 Description of the regional composition of land resource carrying capacity from 2015 to 2018

2.6 土地资源承载力评价结果

改进 TOPSIS 模型适合多目标条件约束下的土地资源承载力评价,同时根据补充的优势短板模块能够定量地识别影响不同方案承载力高低的指标因子,为有效提高土地资源承载力提供理论支撑。本文基于构建的土地资源承载力评价模型,对2015—2018年锦州土地资源承载力进行评价。评价认为,方案2(2016年)承载力最高,方案4(2018年)承载力最低。方案1(2015年):整体优越性第2,优势指标个数为1个,其中指标A2(城乡建设用地面积)对承载力距离理想值的距离影响最大,为方案1的短板指标;指标A1(耕地保有量)为优势指标。方案2(2016年):整体优越性最高,优势指标个数为3个,其中指标D1(新增国土空间生态修复面积)对承载力距离理想值的距离影响最大,为方案2的短板指标;指标B1(人均应急避难场所面积)、B2(人均城镇建设用地面积)、C1(万元GDP地耗)为优势指标。方案3(2017年):方案整体优越性第3,指标A1(耕地保有量)对承载力距离理想值的距离影响最大,为方案3的短板指标;无优势指

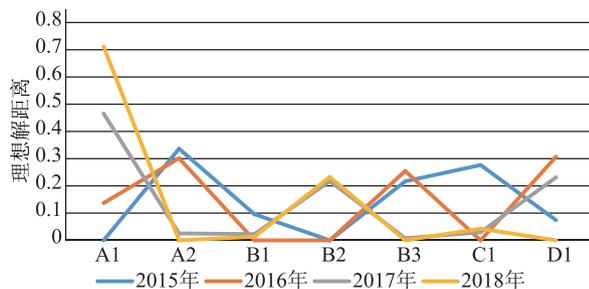


图3 2015—2018年土地资源承载力各指标贡献值示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the contribution value of each indicator of land resource carrying capacity

标。方案4:整体优越性第4,优势指标个数为3个,其中指标A1(耕地保有量)对承载力距离理想值的距离影响最大,为方案4的短板指标;指标A2(城乡建设用地面积)、B3(人均农村居民点用地面积)、D1(新增国土空间生态修复面积)为优势指标。

基于改进 TOPSIS 土地资源承载力评价模型,评价2015—2018年各指标承载力贡献值变化趋势及变化幅度(图4、图5),其中城乡建设用地面积指标承载状态逐年上升,耕地保有量指标承载状态逐年下降,人均城镇建设用地承载状态为波动下降,人均应急避难场所面积、人均农村居民点用地、万元GDP地耗、国土空间修复面积指标的承载状态均为波动上升状态。从指标贡献土地承载力的变化幅度来看,由于城市扩张及社会经济发展,锦州地区2015—2018年耕地占用较大,城镇建设用地面积不断增长,耕地保有量不断降低,对承载力高低影响降幅最大,2015—2018年对承载力距离理想方案距离影响由小至大,优势程度逐年下降;城乡建设

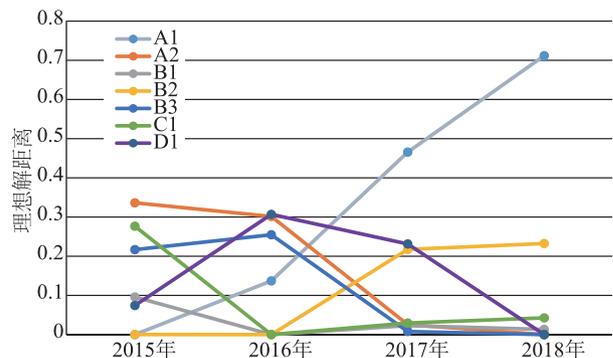


图4 2015—2018年土地资源承载力各指标变化趋势图

Fig. 4 Change trend chart of various indicators of land resource carrying capacity from 2015 to 2018

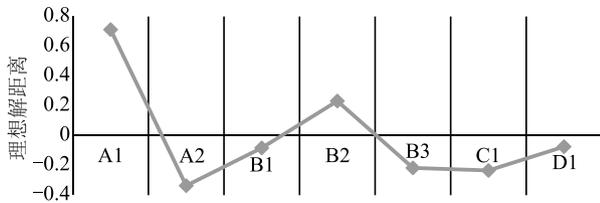


图 5 2015—2018 年土地资源承载力各指标变化程度图

Fig. 5 2015—2018 Land resource carrying capacity index change degree map

用地面积对承载力高低影响增幅最大,2015—2018 年对承载力距离理想方案距离影响由大至小,优势程度逐年上升;其他指标增幅或下降位居二者之间,对承载力高低影响增幅呈波动上升或下降状态;从 2017—2018 年土地承载力状态看,耕地保有量为主要短板指标。

3 结 论

在承载力评价模型中, TOPSIS 模型更适用于多样本、多指标评价, 同层次分析法及模糊综合评价等模型相比, 能较直观地反映评价排序结果, 但其权重方法及距离计算方式较灵活, 很大程度上会影响评价结果。基于此, 本文从三方面对 TOPSIS 进行了改进, 从土地资源底线、土地资源安全、土地资源绿色生产三方面构建了土地资源承载力评价指标体系, 开展了锦州地区土地资源承载能力变化趋势及影响指标研究, 为研究土地资源承载力定量化演化趋势, 识别影响土地资源承载力高低主要指标及土地资源承载力提升提供支撑。

(1) 充分利用原始数据信息表达与理想方案的贴近距离, 将权重从构建规范权重矩阵引入欧式距离, 综合考虑主客观两方面, 采取 AHP 和熵值法组合赋权法对权重的确定进行改进。

(2) 深入分析影响承载力高低的原因, 构建了优势及短板评价模型, 量化分析了影响承载力值高低的优势及短板指标, 为承载力定量化评价提供模型基础。

(3) 基于改进 TOPSIS 模型开展土地资源承载力评价, 2015—2018 年, 锦州地区土地资源承载力先升后降, 2016 年达到最高, 2018 年最低; 2015 年城乡建设用地规模、2016 年新增国土空间生态修复规模、2017 年、2018 年耕地保有量为影响当年土地

承载力的主要指标。

参考文献

- [1] 代磊, 王志杰, 张万胜. 贵阳市 1998—2018 年土地资源承载力分析与预测[J]. 中国农学通报, 2021, 37(1): 108—115.
- [2] Peng T, Deng H W. Comprehensive evaluation for sustainable development based on relative resource carrying capacity—a case study of Guiyang, Southwest China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(5/6): 1—14.
- [3] 苏子龙, 袁国华, 周伟. 基于改进三维生态足迹模型的安徽省土地生态承载力评价[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 256—262.
- [4] 陈璐璐, 敖琦, 陈曦. 基于 GIS 的哈尔滨市土地资源承载力评价[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(S1): 169—173.
- [5] 彭亮, 董斌, 方磊, 等. 基于均方差-TOPSIS 模型的土地资源综合承载力评价——以安徽省六安市为例[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 259—265.
- [6] 于广华, 孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4860—4870.
- [7] 孙钰, 李新刚. 基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究——以环渤海地区城市群为例[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(5): 128—132.
- [8] 刘婷, 王寒梅, 史玉金, 等. 特大型城市地下空间资源承载能力评价方法探索——以上海市为例[J]. 地质通报, 2021, 40(10): 1609—1616.
- [9] 杨瑾, 左坤, 崔斌, 等. 西安市土地资源承载力时空变化研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2019, 55(1): 121—128.
- [10] Li X N, Cundy A B, Chen W P, et al. Dynamic capacity modelling of soil environment carrying capacity, and developing a soil quality early warning framework for development land in China [M]. Elsevier, 2020: 257.
- [11] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究: 从理论到实践[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 379—395.
- [12] Hui Y H, Jiang X H, et al. On system dynamic simulation model of land resources bearing capacity in duality model [J]. Geography Research, 2001, 20(2): 191—198.
- [13] 赵春丽. 系统动力学方法在区域水资源承载力中的应用研究[D]. 西安建筑科技大学硕士学位论文, 2006.
- [14] Liu L, Zhou J Z, An X L, et al. Using fuzzy theory and information entropy for land quality assessment in Three Gorges Region, China[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(3): 2517—2521.
- [15] 郑明贵, 吴萍, 尤碧莹. 中国铁矿资源经济安全评价与预警[J]. 地质通报, 2022, 41(5): 836—845.
- [16] 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.
- [17] 徐文斌, 郭灿文, 王晶, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型的海岛地区资源环境承载力研究——以舟山普陀区、定海区为例[J]. 海洋通报, 2018, 37(1): 9—16.
- [18] 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.