

杨 志,李才文,任正龔,等. 基于熵权 TOPSIS 模型的宁夏土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J]. 地球科学与环境学报, 2023, 45 (4): 796-805.

YANG Zhi, LI Cai-wen, REN Zheng-yan, et al. Evaluation of Land Use Performance in Ningxia, China Based on Entropy-weight TOPSIS Model and Diagnosis of Its Obstacle Factors[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(4): 796-805.

DOI: 10. 19814/j. jese. 2022. 08039

• 环境与可持续发展专刊 •

# 基于熵权 TOPSIS 模型的宁夏土地利用绩效评价及障碍因子诊断

杨 志<sup>1</sup>, 李才文<sup>2</sup>, 任正龔<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>3,4\*</sup>, 许垚涛<sup>3</sup>,  
韩建纯<sup>3</sup>, 裴 磊<sup>3</sup>

(1. 宁夏回族自治区水土保持监测总站, 宁夏 银川 750002; 2. 国家林业和草原局西北调查规划设计院, 陕西 西安 710048; 3. 西安理工大学 西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048; 4. 西安理工大学 旱区生态水文与灾害防治国家林业和草原局重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘 要:**区域土地利用绩效评价是提高其可持续发展能力的有效手段。采用熵权 TOPSIS 模型、耦合协调度模型和障碍度模型, 从经济、社会、生态、安全 4 个方面选取 17 个指标评价了宁夏近 14 年 (2006~2019 年) 土地利用绩效动态变化、协调发展水平和障碍因子。结果表明: 2006~2011 年, 宁夏土地利用绩效处于较差水平; 2012~2017 年, 工业化、城镇化进程加快, 宁夏土地利用绩效水平快速上升, 处于优质水平; 2018~2019 年, 随着生态和土地安全问题的出现, 宁夏土地利用绩效下降为中级水平。其中, 经济绩效年均增长 6.16%; 社会绩效 14 年间总体上稳步提升, 呈现出明显的阶段性特征; 生态绩效在 2019 年回落至中级水平; 安全绩效在 2015~2019 年一直处于中级水平。土地利用经济-社会-生态-安全绩效耦合协调度由 2006 年的中度失调上升至 2019 年的中级协调。2016~2019 年, 影响宁夏土地利用绩效的主要障碍因子分别为水利、环境和公共设施投资占比, 生态用地面积占比, 工业固体废物综合利用率, 土地协调度和农用地面积/建设用地面积比例。

**关键词:**土地利用绩效; 熵权 TOPSIS 模型; 耦合协调度; 障碍度; 生态绩效; 安全绩效; 宁夏

中图分类号: X24

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2023)04-0796-10

## Evaluation of Land Use Performance in Ningxia, China Based on Entropy-weight TOPSIS Model and Diagnosis of Its Obstacle Factors

YANG Zhi<sup>1</sup>, LI Cai-wen<sup>2</sup>, REN Zheng-yan<sup>1</sup>, LI Peng<sup>3,4\*</sup>,  
XU Yao-tao<sup>3</sup>, HAN Jian-chun<sup>3</sup>, PEI Lei<sup>3</sup>

(1. Ningxia Soil and Water Conservation Monitoring Station, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. Northwest Surveying, Planning and Designing Institute of National Forestry and Grassland Administration, Xi'an 710048, Shaanxi, China; 3. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi, China; 4. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an

收稿日期: 2022-08-18; 修回日期: 2022-10-19 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51779204); 国家林业和草原局自主研发项目(LC-6-06);

陕西省创新人才推进计划项目(2018TD-037)

作者简介: 杨 志(1967-), 男, 宁夏中宁人, 教授级高级工程师, E-mail: nxslzy@163.com。

\* 通讯作者: 李 鹏(1974-), 男, 山东烟台人, 教授, 博士研究生导师, 农学博士, E-mail: lipeng74@163.com。

University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

**Abstract:** Regional land use performance evaluation is an effective means to improve its sustainable development capacity. The entropy-weight TOPSIS model, coupling coordination degree model and obstacle degree model were used to evaluate the dynamic changes of land use performance, coordinated development level and obstacle factors in Ningxia in the last 14 years (2006—2019) by selecting a total of 17 indicators from four aspects, including economy, society, ecology and security. The results show that from 2006 to 2011, land use performance of Ningxia is at a poor level; from 2012 to 2017, with the accelerated industrialization and urbanization, the level of land use performance rises rapidly and is at a high-quality level; from 2018 to 2019, with the emergence of ecological and land security issues, land use performance of Ningxia drops to an intermediate level. The average annual growth of economy performance is 6.16%; society performance has generally increased steadily over 14 years, showing obvious periodical characteristics; ecology performance falls back to intermediate level in 2019; and security performance has been at intermediate level from 2015 to 2019. Land use economy-society-ecology-security performances coupling coordination degree increases from moderate disorder in 2006 to intermediate coordination in 2019. From 2016 to 2019, the main obstacle factors affecting land use performance in Ningxia are the proportion of investment in water, environment and public facilities, the proportion of ecological land area, the comprehensive utilization rate of industrial solid waste, the degree of land coordination and the ratio of agricultural land area/construction land area.

**Key words:** land use performance; entropy-weight TOPSIS model; coupling coordination degree; obstacle degree; ecology performance; security performance; Ningxia

# 0 引言

土地利用系统是社会、经济、政治和文化的重要载体<sup>[1]</sup>。随着社会的不断进步特别是城镇化进程的推进,有限的土地资源与日益增长的生活需求之间的冲突,已成为社会可持续发展的最大障碍<sup>[2-3]</sup>。在土地资源日益短缺的大背景下,如何有效且较为全面地评价土地利用绩效,并且识别影响土地利用绩效的主要障碍因子已成为许多学者的关注重点。从研究对象来看,雷勋平等研究了安徽省 15 年土地利用绩效的变化,同时对未来 5 年的子系统绩效发展趋势进行了预测<sup>[4]</sup>;李春燕等评价了陕西省 12 年土地生态安全<sup>[5]</sup>;徐维祥等对黄河流域 57 个城市土地集约利用效率与生态福利绩效进行了测度,并分析了其空间格局<sup>[6]</sup>;张蚌蚌等以陕北地区为研究对象,对耕地细碎化整治和管理模式进行了评价<sup>[7]</sup>。从研究角度来看,Yang 等从土地整治不同管理方式的角度,评价了不同模式下湖北省土地整治管理绩效<sup>[8]</sup>;Chan 等从土地可持续利用的角度,综合评价了香港土地利用变化的经济、环境及社会表现<sup>[9]</sup>;王晶等从生态服务功能的角度评价了山东省栖霞市土地利用

景观空间绩效状态<sup>[10]</sup>。从研究方法来看,主成分分析法<sup>[11]</sup>、层次分析法 (APH)<sup>[12-13]</sup>、灰色关联分析法<sup>[14]</sup>、驱动力-压力-状态-影响-响应 (DPSIR) 法<sup>[15]</sup>、物元模型<sup>[16]</sup>等是当前主流方法。

现有研究在推动土地利用绩效理论发展和方法改进上进行了积极的探索,并取得了一定成果。然而以往的研究主要存在以下不足:首先,对于研究区的关注往往集中在经济较为发达的地区,而对于西北内陆区的研究较少;其次,对于指标权重的确定存在一定的主观性,以往研究大多采用层次分析法、隶属度函数法,不能从数据本身进行客观评价;最后,部分方法(如主成分分析法)对于数据的样本量要求较高,通常较少样本量不能反映评价对象之间的差异。基于此,本文在前人研究的基础上,以宁夏地区为例,从经济、社会、生态和安全视角出发,借助熵权 TOPSIS 模型评价宁夏 2006~2019 年土地利用绩效动态变化,并运用耦合协调度模型分析经济、社会、生态、安全 4 个子系统的协调发展水平,最后采用障碍度模型识别影响宁夏土地利用绩效的关键因子,以期对宁夏更高质量、更有效率、更可持续发展提供理论参考。

## 1 研究区概况

宁夏回族自治区位于我国西部黄河上游地区, 全区面积为  $6.64 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 海拔为  $956 \sim 3\,531 \text{ m}$  [图 1(a)], 属典型的大陆性气候, 年平均降雨量为  $300 \text{ mm}$  左右。其地形分为三大板块, 分别为南部山区、中部干旱带和北部引黄灌区<sup>[17]</sup> [图 1(b)]。据统计, 宁夏的人均耕地面积高居全国第二位, 达到

2.8 亩/人; 能源方面, 宁夏探明煤炭储量居全国第六位, 人均自然资源占有量居全国第五位<sup>[17]</sup>。2019 年宁夏土地利用情况如表 1 所示, 其中农业生产用地面积占全区面积的  $34.6\%$ 。然而, 宁夏土地利用仍较为粗放, 能源利用效率偏低, 单位建设用地产值约为全国平均水平的  $1/2$ , 中南部大部分区县甚至不足全国平均水平的  $1/5$ , 2019 年万元地区生产总值能耗达到全国平均水平的 4.1 倍<sup>[18]</sup>。

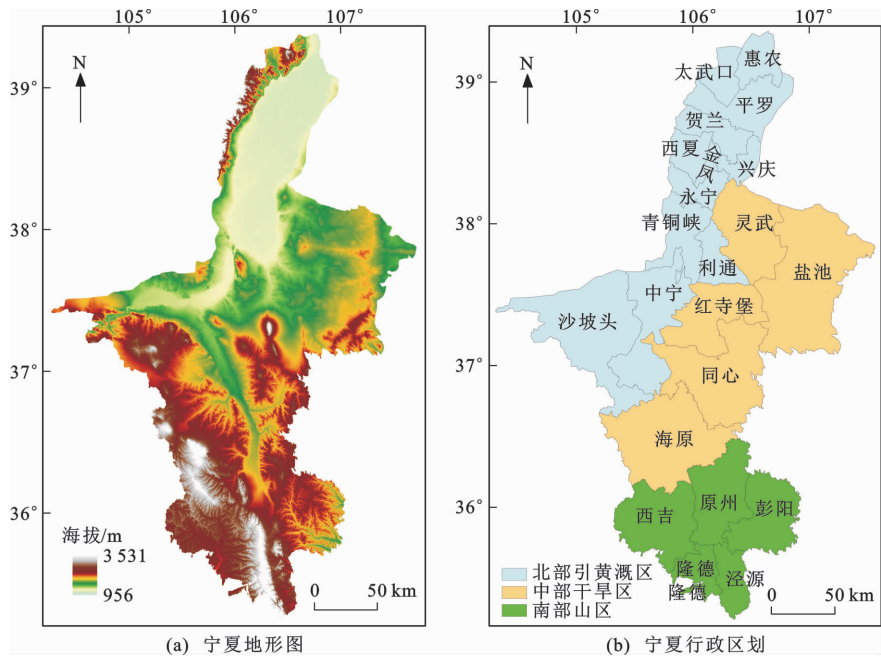


图 1 宁夏地形图及行政区划  
Fig. 1 Topographic and Zoning Maps of Ningxia

表 1 2019 年宁夏土地利用现状

Table 1 Land Use Status of Ningxia in 2019

年份	农业生产用地 面积/ $\text{km}^2$	工矿生产用地 面积/ $\text{km}^2$	林地生态用地 面积/ $\text{km}^2$	牧草生态用地 面积/ $\text{km}^2$	水域生态用地 面积/ $\text{km}^2$	其他生态用地 面积/ $\text{km}^2$	城镇生活用地 面积/ $\text{km}^2$	农村生活用地 面积/ $\text{km}^2$
2019	22 979.2	991.7	3 505.9	29 544.4	1 299.3	6 303.6	463.9	1 312.0

## 2 数据来源与分析方法

### 2.1 数据来源

宁夏土地利用绩效指标基础数据主要来源于《中国统计年鉴》《宁夏统计年鉴》《宁夏城市建设年鉴》《宁夏水资源公报》等。由于本研究所选取的 17 个指标中部分指标在 2006 年之前缺失较多, 且 2019 年之后的数据尚未更新完整。因此, 本文选取 2006~2019 年作为指标选取时段。

### 2.2 分析方法

#### 2.2.1 熵权 TOPSIS 模型

熵权 TOPSIS 模型利用选取的指标数据与计算所得权重相乘得到新数据进行计算<sup>[4]</sup>。操作步骤如

下: 首先, 采用归一化进行数据标准化处理; 然后, 采用熵值法进行各项指标权重的计算; 接着, 确定正、负理想解; 随后, 计算正、负理想解距离; 最后, 计算贴近度。

首先, 采用归一化进行数据标准化处理。其表达式为

$$X_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

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

式中:  $X_{ij}^+$ 、 $X_{ij}^-$  分别为第  $i$  个评价指标第  $j$  年的标准化正、负指标;  $x_{ij}$  为第  $i$  个评价指标第  $j$  年的原数据。

然后, 采用熵值法进行各项指标权重的计算。

该方法较为成熟,且被很多学者所采用<sup>[19-23]</sup>,这里不再赘述。计算得到的加权决策矩阵为

$$\mathbf{V} = \mathbf{X}_{ij} \cdot \mathbf{W} = [v_{ij}]_{m \cdot n} \tag{3}$$

式中: $\mathbf{V}$  为加权决策矩阵; $X_{ij}$  为第  $i$  个评价指标第  $j$  年的标准化值; $\mathbf{W}$  为指标权重, $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \cdots, W_m)$ ;  $v_{ij}$  为第  $i$  个评价指标第  $j$  年的标准化值与权重的乘积,  $m$  和  $n$  分别表示矩阵中的行数和列数。

接着,确定正、负理想解。其表达式为

$$\begin{aligned} \mathbf{V}^+ &= \{\max V_{ij} \mid i=1, 2, \cdots, m\} \\ &= \{V_1^+, V_2^+, \cdots, V_m^+\} \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{V}^- &= \{\min V_{ij} \mid i=1, 2, \cdots, m\} \\ &= \{V_1^-, V_2^-, \cdots, V_m^-\} \end{aligned} \tag{5}$$

式中: $\mathbf{V}^+$ 、 $\mathbf{V}^-$  分别为正、负理想解; $V_i^+$  和  $V_i^-$  分别为第  $i$  个指标的正、负理想解; $V_{ij}$  为加权决策评价矩阵  $\mathbf{V}$  中第  $i$  个评价指标第  $j$  年的值。

随后,计算正、负理想解的距离。其表达式为

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (V_i^+ - V_{ij})^2} \tag{6}$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (V_i^- - V_{ij})^2} \tag{7}$$

式中: $D_j^+$ 、 $D_j^-$  分别为第  $j$  年距正、负理想解的距离。

最后,计算第  $j$  年贴近度( $T_j$ )。其表达式为

$$T_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \tag{8}$$

贴近度可以划分为 4 个等级标准<sup>[4-5,24]</sup>,具体分级如表 2 所示。

表 2 土地利用绩效判定标准

Table 2 Judging Criteria of Land Use Performance	
贴近度	土地利用绩效等级
0~0.30	较差
0.30~0.60	中级
0.60~0.80	良好
0.80~1.00	优质

2.2.2 耦合协调度模型

运用耦合协调度模型分析土地利用绩效 4 个子系统之间的协调发展水平。其计算公式为

$$C = 4 \times \left[ \frac{T_1 T_2 T_3 T_4}{(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)^4} \right]^{1/4} \tag{9}$$

$$T = \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \beta_3 T_3 + \beta_4 T_4 \tag{10}$$

$$D = \sqrt{CT} \tag{11}$$

式中: $C$  为耦合度; $T$  为协调指数; $D$  为耦合协调度; $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  分别为经济、社会、生态和安全绩效的协调指数; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$  分别为经济、社会、生态和安全绩效的权重。

参考相关研究成果<sup>[25]</sup>,可将土地利用绩效 4 个子系统的耦合协调度划分为 10 种类型(表 3)。

表 3 土地利用经济-社会-生态-安全绩效耦合协调度类型划分

Table 3 Classifications of Land Use Economy-society-ecology-security Performances Coupling Coordination Degree		
耦合协调度	协调等级	耦合协调程度
(0.0~0.1)	1	极度失调
[0.1~0.2)	2	严重失调
[0.2~0.3)	3	中度失调
[0.3~0.4)	4	轻度失调
[0.4~0.5)	5	濒临失调
[0.5~0.6)	6	勉强协调
[0.6~0.7)	7	初级协调
[0.7~0.8)	8	中级协调
[0.8~0.9)	9	良好协调
[0.9~1.0)	10	优质协调

2.2.3 障碍度模型

障碍度模型计算公式为

$$O_i = I_i \cdot \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m I_i \cdot W_i} \tag{12}$$

式中: $O_i$  为第  $i$  个评价指标的障碍度; $I_i$  为第  $i$  个评价指标的指标偏度, $I_i = 1 - X_{ij}$ ;  $W_i$  为第  $i$  个评价指标权重,可以用来表示单一指标对总目标的贡献大小。

准则层各因子的障碍度计算公式为

$$U_i = \sum O_{ij} \tag{13}$$

式中: $U_i$  为第  $i$  个评价指标在准则层中的障碍度; $O_{ij}$  为第  $i$  个评价指标第  $j$  年的障碍度。

3 土地利用绩效评价指标体系的构建

土地利用绩效是土地利用资源所产生的经济、社会和生态效益的综合体现,深刻影响未来经济、社会和文化的发展<sup>[9,24]</sup>。土地利用绩效评价具有多维度。从经济增长角度来看,土地利用绩效追求低投入、高效益;从循环和低碳经济的角度来看,土地利用绩效是在追求高收益的同时,减少污染物的排放,维持可持续发展;从人民生活和文化角度来看,土地利用绩效即土地资源的布局合理、结构优化,在满足人民衣食住行、提供社会公共服务的同时,提高人民的生活质量,并且土地利用效率得到提高。新时期从增质提效的角度合理评价土地利用绩效,对于促进经济社会与自然环境的和谐发展具有重要意义<sup>[23,26]</sup>。鉴于此,本文在构建土地利用绩效评价指

标体系过程中既考虑土地利用所产生的经济价值,同时兼顾社会发展、生态保护和形势等软性指标。一方面,经济和社会绩效代表土地利用对经济增长和社会发展的贡献,反映了结果的绩效;另一方面,生态和安全绩效代表土地利用所产生的生态效应和未来发展潜力,反映了过程的绩效<sup>[27]</sup>。同时,参考已有研究<sup>[2,4-5,14]</sup>,在考虑指标的连续性和可获取性基础上,尽可能体现指标的综合性和多样性(表 4)。

4 结果分析

4.1 土地利用绩效评价结果

4.1.1 综合绩效

从图 2 可以看出:2008 年土地利用综合绩效水

平最低(贴近度为 0.163),处于较差水平;2015 年土地利用综合绩效达到最高(0.840),处于优质水平;2019 年土地利用绩效为 0.525,处于中级水平。为了能够对其进行更为全面的分析,结合宁夏社会经济发展阶段特征,从“十一五”“十二五”“十三五”3 个时期对宁夏土地利用综合绩效进行分析。

“十一五”时期(2006~2010 年),宁夏土地利用综合绩效保持稳定,都处于较差水平。这一阶段,国家实行最严格的土地管理制度,但与此同时,随着工业化、城镇化的推进,用水量增多,废气、废水、废渣成倍增长,脆弱的环境和紧缺的资源面临巨大压力,经济结构和产业结构同样进入转型期,土地资源供需矛盾日趋突出。在这些因素的共同作用下,宁夏土地利用综合绩效水平未能提升。

表 4 土地利用绩效评价指标体系及权重

Table 4 Index System and Weight of Land Use Performance Evaluation

目标层	准则层	指标层	单位	指标层权重	准则层权重
土地利用 综合绩效(A)	经济绩效 (B <sub>1</sub> )	人均 GDP(C <sub>1</sub> )	万元	0.231 2	0.207 7
		地均固定资产投资(C <sub>2</sub> )	万元·hm <sup>-2</sup>	0.298 9	
		单位农用地农业产值(C <sub>3</sub> )	万元·hm <sup>-2</sup>	0.217 3	
		地均 GDP(C <sub>4</sub> )	万元·hm <sup>-2</sup>	0.252 6	
	社会绩效 (B <sub>2</sub> )	城镇化率(C <sub>5</sub> )	%	0.235 3	0.213 9
		人民生活水平(C <sub>6</sub> )	元	0.248 1	
		人均道路面积(C <sub>7</sub> )	m <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup>	0.281 7	
		建成区人口密度(C <sub>8</sub> )	人·km <sup>-2</sup>	0.234 9	
	生态绩效 (B <sub>3</sub> )	城市人均公共绿地面积(C <sub>9</sub> )	m <sup>2</sup>	0.137 1	0.436 9
		生态用地面积占比(C <sub>10</sub> )	%	0.196 6	
		工业固体废物综合利用率(C <sub>11</sub> )	%	0.201 7	
		建成区绿化覆盖率(C <sub>12</sub> )	%	0.081 4	
		水利、环境和公共设施投资占比(C <sub>13</sub> )	%	0.383 1	
	安全绩效 (B <sub>4</sub> )	土地协调度(C <sub>14</sub> )	无量纲	0.235 6	0.142 1
		土地利用率先(C <sub>15</sub> )	%	0.107 5	
		人均耕地面积(C <sub>16</sub> )	亩	0.331 0	
		农用地面积/建设用地面积比例(C <sub>17</sub> )	%	0.325 9	

注:生态用地面积占比用林地、草地、水域及湿地面积之和占土地使用总面积的比例来表示;土地协调度是指区域水资源总量与全国水资源总量的比值跟区域耕地面积与全国耕地总面积的比值之比;土地利用率先是指区域已利用地面积与区域总面积之比;指标通过统计年鉴数据间接计算得到。

“十二五”时期(2011~2015 年),宁夏土地利用综合绩效水平得到迅速发展,年均增长 12.46%,等级由 2011 年较差水平转为 2015 年优质水平。该阶段土地利用综合绩效水平快速上升得益于 2008 年《宁夏回族自治区土地利用总体规划修编工作方案》(宁政发[2008]36 号)的颁布和实施,该文件以科学发展观统领土地利用和管理,促进土地资源可持续发展的能力。同时,《宁夏回族自治区人民政府关于加强和改进国土资源工作的意见》(宁政发[2012]

103 号)的出台,促使宁夏构建土地资源集约利用核心机制,推进经济传统产业加快转型。这些政策的实施,使得宁夏土地利用结构日趋合理,土地资源和社会经济发展的关系日益协调。

“十三五”时期(2016~2019 年),宁夏土地利用综合绩效在这一阶段由 2016 年的 0.806 贴近度降为 2019 年的 0.525 贴近度,由优质水平降为中级水平,转折点出现在 2016~2017 年。2015 年底发布的《宁夏回族自治区人民政府办公厅关于加强耕地保护

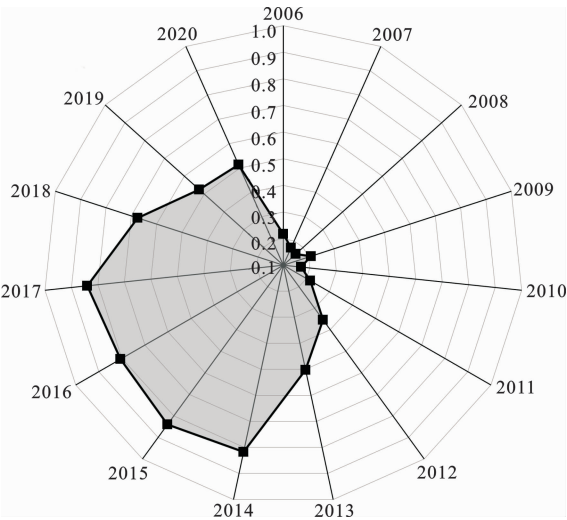


图 2  宁夏土地利用综合绩效

**Fig. 2  Land Use Comprehensive Performance of Ningxia**  
工作的通知》(宁政办发[2015]172 号)旨在加强耕地保护,强化站补平衡,坚守耕地红线,一定程度上限制了土地利用的经济产出。但从长远来看,这些政策的实施有利于宁夏在未来实现更高质量、更有效率、更可持续发展。

4.1.2  子系统绩效

从宁夏土地利用绩效子系统(经济、社会、生态、安全)评价结果(图 3)来看,4 个子系统的绩效变化趋势存在一定的差异。其中,经济绩效在 2006~2019 年总体上呈线性增加趋势,贴近度由最初的 0.061 上升至 0.923,年均增长 6.16%,由较差水平上升至优质水平。这一时期,人均 GDP、地均固定资产投资、单位农用地农业产值和地均 GDP 逐年攀升。社会绩效在 2006~2019 年总体稳步提升,贴近

度年均增长 6.81%,呈现出明显的阶段性特征。“十一五”期间,社会绩效水平由较差水平上升至中级水平;“十二五”期间,社会绩效水平由中级水平上升至良好水平;“十三五”期间,社会绩效水平由良好水平上升至优质水平。随着经济的发展,与社会绩效水平相关的指标(包括城镇化率、人民生活水平、人均道路面积、建成区人口密度)也稳步上升,说明宁夏经济与社会发展较为协调。生态绩效在 2006 年处于较差水平,2017 年达到良好水平,在 2019 年回落至中级水平。2006~2010 年,安全绩效水平逐年下降,由良好水平转为较差水平;2010~2015 年,安全绩效水平总体上升,由较差水平升至中级水平;2015~2019 年,安全绩效水平保持稳定,处于中级水平。

4.2  土地利用经济-社会-生态-安全绩效耦合协调度

根据式(9)~(11)计算 2006~2019 年宁夏土地利用经济-社会-生态-安全绩效耦合协调度,并依据表 3 进行等级划分,结果如表 5 所示。总体来看,2006~2019 年宁夏土地利用经济-社会-生态-安全绩效 4 个子系统间的耦合协调度逐年提高,由 2006 年的 0.215(中度失调)上升至 2019 年的 0.763(中级协调),并在 2015~2018 年连续保持良好协调状态,说明各个阶段的相关政策都得到了有效实施。同时,耦合度和协调指数均逐年增大,进一步印证了宁夏土地利用综合绩效分析结果。

4.3  土地利用绩效障碍因子诊断

4.3.1  子系统障碍度

图 4 展示了宁夏土地利用经济-社会-生态-安全绩效的障碍度。从图 4 可以看出:经济绩效的障碍

表 5  2006~2019 年土地利用经济-社会-生态-安全绩效耦合协调度

Table 5  Land Use Economy-society-ecology-security Performances Coupling Coordination Degree from 2006 to 2019					
年份	耦合度	协调指数	耦合协调度	协调等级	耦合协调程度
2006	0.204	0.227	0.215	3	中度失调
2007	0.737	0.244	0.424	5	濒临失调
2008	0.849	0.252	0.462	5	濒临失调
2009	0.941	0.297	0.529	6	勉强协调
2010	0.994	0.303	0.548	6	勉强协调
2011	0.984	0.352	0.589	6	勉强协调
2012	0.971	0.455	0.665	7	初级协调
2013	0.988	0.508	0.708	8	中级协调
2014	0.979	0.649	0.797	8	中级协调
2015	0.979	0.670	0.810	9	良好协调
2016	0.957	0.673	0.802	9	良好协调
2017	0.959	0.696	0.817	9	良好协调
2018	0.956	0.671	0.801	9	良好协调
2019	0.915	0.636	0.763	8	中级协调



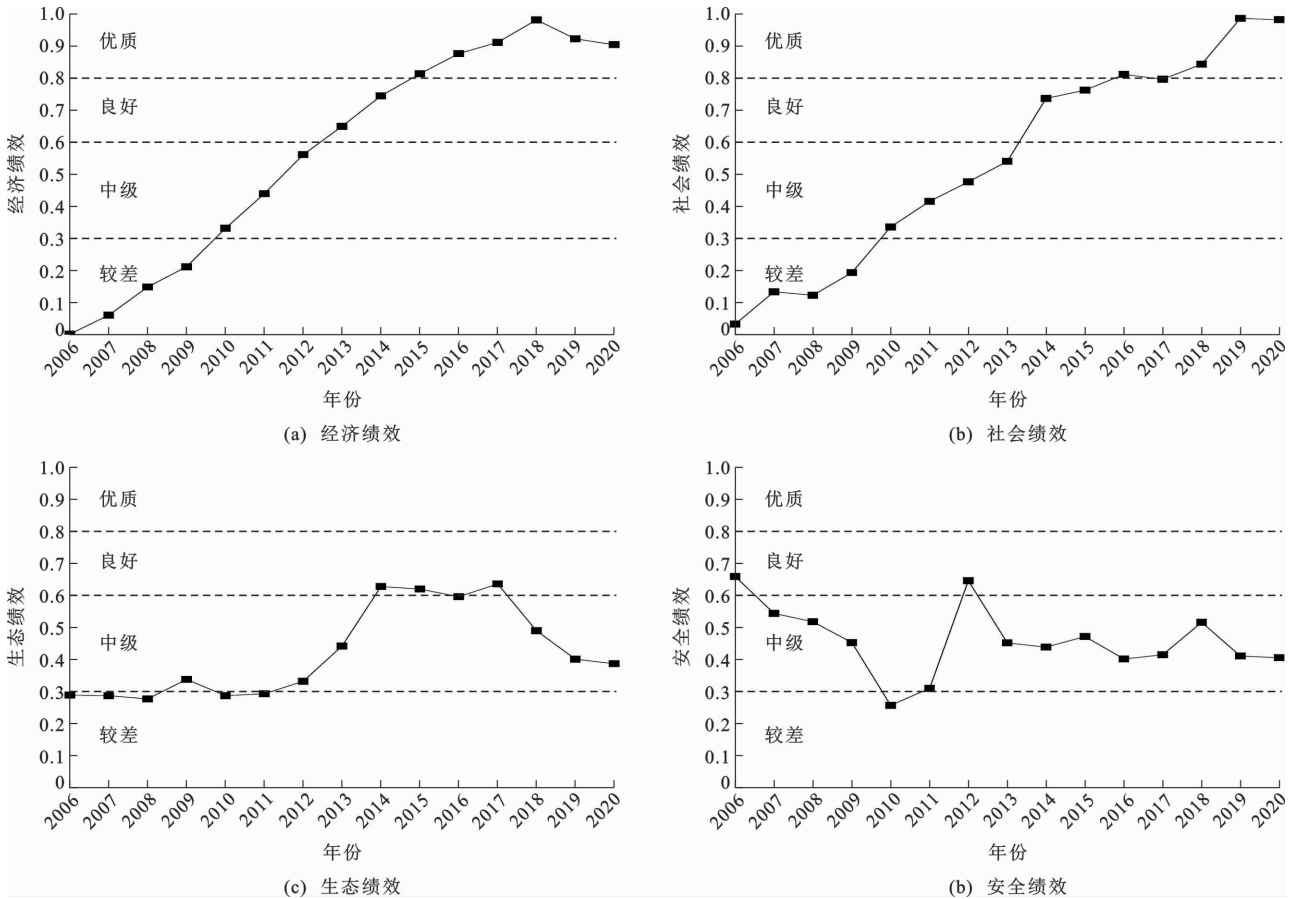


图 3 2006~2019 年土地利用绩效变化

Fig. 3 Changes of Land Use Performance from 2006 to 2019

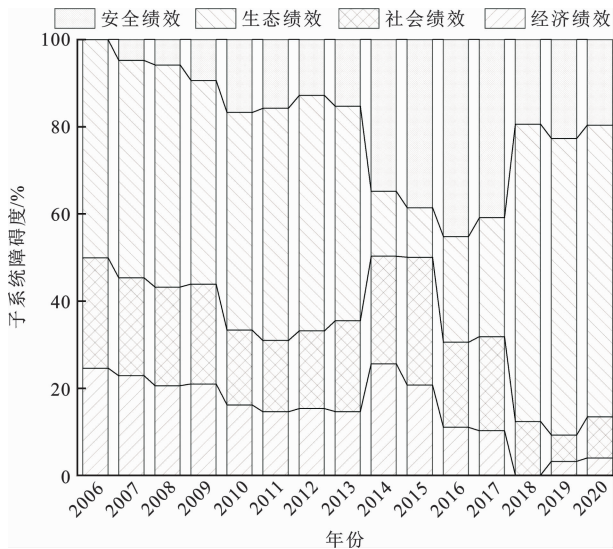


图 4 2006~2019 年土地利用经济-社会-生态-安全绩效障碍度

Fig. 4 Obstacle Degrees of Land Use Economy-society-ecology-security Performances from 2006 to 2019

度自 2006 年的 24.6%下降至 2019 年的 3.23%，且呈现先减小后增大再减小的趋势；社会绩效与经济绩效障碍度变化趋势较为一致，进一步说明两者之

间相辅相成；生态绩效障碍度在 2014 年之前普遍较大，2014 年之后虽有减小，但在 2017 年之后再一次上升；安全绩效障碍度在 2016 年达到最大后开始下降。从子系统障碍度年平均值来看，4 个子系统对宁夏土地利用绩效的障碍度排名从大到小依次为生态绩效（障碍度为 44.17%）、安全绩效（20.17%）、社会绩效（19.94%）和经济绩效（15.79%），说明生态和安全绩效是制约宁夏土地利用绩效的主要障碍因子。

4.3.2 指标层障碍因子

表 6 列出了宁夏土地利用绩效指标层障碍因子（障碍度排名前五）。2006~2010 年，水利、环境和公共设施投资占比（ $C_{13}$ ）以及生态用地面积占比（ $C_{10}$ ）2 个指标一直处于前三位；从出现频次来看，地均固定资产投资（ $C_2$ ）、人均道路面积（ $C_7$ ）和城市人均公共绿地面积（ $C_9$ ）出现的频次最多。其中，生态绩效中有 3 个指标逐年出现，说明宁夏土地利用绩效水平在该时间段主要受制于生态绩效。2011~2015 年，水利、环境和公共设施投资占比（ $C_{13}$ ）始终占据障碍因子第一位，其次是人均道路面积（ $C_7$ ）和

表 6 2006~2019 年土地利用绩效指标层障碍因子  
Table 6 Obstacle Factors of Land Use Performance Index  
Layer from 2006 to 2019

年份	类别	指标排序				
		第一	第二	第三	第四	第五
2006 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>4</sub>
	障碍度/%	15.3	7.9	7.9	7.6	6.7
2007 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>4</sub>
	障碍度/%	19.4	8.0	8.0	6.8	6.6
2008 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>9</sub>
	障碍度/%	21.5	8.1	8.0	7.5	6.5
2009 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>16</sub>
	障碍度/%	23.5	8.8	7.4	7.4	6.8
2010 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>11</sub>
	障碍度/%	23.6	8.6	7.0	6.6	6.3
2011 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>
	障碍度/%	26.60	8.85	7.50	7.00	6.50
2012 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>6</sub>
	障碍度/%	32.20	10.80	8.80	6.21	5.10
2013 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>
	障碍度/%	26.2	11.9	8.3	4.8	4.7
2014 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>5</sub>
	障碍度/%	19.0	17.0	11.5	6.7	5.3
2015 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>7</sub>
	障碍度/%	27.1	12.8	10.9	9.7	6.6
2016 年	障碍因子	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>14</sub>
	障碍度/%	17.9	17.0	14.9	11.6	10.4
2017 年	障碍因子	C <sub>11</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>14</sub>
	障碍度/%	30.2	20.8	13.3	8.3	7.9
2018 年	障碍因子	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>16</sub>
	障碍度/%	27.0	26.6	18.0	117.7	6.7
2019 年	障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>16</sub>
	障碍度/%	26.0	24.9	24.3	10.5	7.5

生态用地面积占比(C<sub>10</sub>),其分别出现了 4 次。随着经济的发展,生态绩效始终困扰宁夏土地利用绩效;与此同时,安全绩效也开始制约其土地利用绩效水平的提高。2016~2019 年,生态绩效中的生态用地面积占比(C<sub>10</sub>),工业固体废物综合利用率(C<sub>11</sub>),水利、环境和公共设施投资占比(C<sub>13</sub>),农用地面积/建设用地面积比例(C<sub>17</sub>)是影响宁夏土地利用绩效的主要障碍因子。现阶段在土地利用经济和社会绩效不断改善的大环境下,应该更多关注土地利用的生态和安全绩效。

5 结论与建议

5.1 结 论

(1)宁夏 2006~2019 年土地利用综合绩效经历

了较差→优质→中级的变化过程,并在“十一五”时期后发展迅速。

(2)宁夏 2006~2019 年经济绩效年均增长 6.16%;社会绩效年均增长 6.81%,呈现出明显的阶段性特征;生态绩效在 2019 年回落至中级水平;安全绩效在2015~2019年基本保持稳定,处于中级水平。

(3)从耦合协调度来看,2006~2019 年宁夏土地利用经济-社会-生态-安全绩效 4 个子系统间的耦合协调度逐年上升,由中度失调(0.215)上升至中级协调(0.763)。

(4)基于障碍度模型发现,宁夏 2006~2019 年各子系统对土地利用绩效影响从高到低依次为生态绩效、安全绩效、社会绩效、经济绩效。

5.2 建 议

由本文的障碍度模型评价结果来看,为提高宁夏土地利用绩效水平,今后应该重点关注土地利用的生态和安全绩效,立足区域发展自身,探索出一条节约型、环境友好型土地利用模式。

(1)从土地利用生态绩效来看,生态用地面积占比,工业固体废物综合利用率,水利、环境和公共设施投资占比 3 个指标的障碍度最大。在未来发展中要着重优化“三生”空间开发保护格局,做到扩大生态用地面积,强化固体废物的再利用水平,加大环保、水利行业的投资,实施水土环境风险协同防控,坚持山水林田湖草沙系统治理,完善生态监管体系,为宁夏建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区奠定生态环境基础。

(2)从土地利用安全绩效来看,人均耕地面积和农用地面积/建设用地面积比例 2 个指标的障碍度最大。未来工作中,政府应持续优化国土空间开发保护格局,牢守耕地保护红线,巩固提升土地安全利用水平,限制大规模的工业和城镇建设,有序引导产业向工业集聚区集中,控制建设用地总量和开发强度,确保土地资源的可持续发展。

参 考 文 献 :

References :

[1] 傅伯杰,陈利顶,马 诚.土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 自然资源学报,1997,12(2):112-118.  
FU Bo-jie,CHEN Li-ding,MA Cheng. The Index System and Method of Land Sustainable Use Evaluation [J]. Journal of Natural Resources,1997,12(2):112-118.



- [2] 韩 博,金晓斌,孙 瑞,等.基于冲突-适配视角的土地利用可持续性评价[J].地理学报,2021,76(7):1763-1777.  
HAN Bo, JIN Xiao-bin, SUN Rui, et al. Land Use Sustainability Evaluation Based on Conflict-adaptation Perspective[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(7):1763-1777.
- [3] NAVARRO GARCIA J, MARCOS-MARTINEZ R, MOSNIER A, et al. Multi-target Scenario Discovery to Plan for Sustainable Food and Land Systems in Australia[J]. Sustainability Science, 2023, 18(1):371-388.
- [4] 雷勋平, QIU R B, 刘 勇.基于熵权 TOPSIS 模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J].农业工程学报, 2016, 32(13):243-253.  
LEI Xun-ping, QIU R B, LIU Yong. Evaluation of Regional Land Use Performance Based on Entropy TOPSIS Model and Diagnosis of Its Obstacle Factors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(13):243-253.
- [5] 李春燕, 南 灵.陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J].中国土地科学, 2015, 29(4):72-81.  
LI Chun-yan, NAN Ling. Dynamic Evaluation and Obstacle Factor Diagnosis of Obstacle Factors on Land Eco-security in Shaanxi Province[J]. China Land Science, 2015, 29(4):72-81.
- [6] 徐维祥, 徐志雄, 刘程军.黄河流域地级城市土地集约利用效率与生态福利绩效的耦合性分析[J].自然资源学报, 2021, 36(1):114-130.  
XU Wei-xiang, XU Zhi-xiong, LIU Cheng-jun. Coupling Analysis of Land Intensive Use Efficiency and Ecological Well-being Performance of Cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1):114-130.
- [7] 张蚌蚌, 郭 芬, 黄 丹, 等.陕北“一户一田”和“一组一田”耕地细碎化整治模式与绩效评价[J].农业工程学报, 2020, 36(15):28-36.  
ZHANG Bang-bang, GUO Fen, HUANG Dan, et al. Pattern and Evaluation of Land Consolidation Model for “One Household One Plot” and “One Village One Plot” to Solve Land Fragmentation in Northern Shaanxi Province, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(15):28-36.
- [8] YANG B, WANG Z Q, YAO X W, et al. Assessing the Performance of Land Consolidation Projects in Different Modes: A Case Study in Jiangnan Plain of Hubei Province, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(4):1410.
- [9] CHAN E H W, WANG A Q, LANG W. Comprehensive Evaluation Framework for Sustainable Land Use: Case Study of Hong Kong in 2000—2010[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2016, 142(4):0000346.
- [10] 王 晶, 齐 伟, 王 鑫, 等.基于生态服务能力的土地利用景观空间绩效评价方法[J].中国人口·资源与环境, 2017, 27(增2):32-35.  
WANG Jing, QI Wei, WANG Xin, et al. Evaluation Method of Landscape Space Performance Based on Ecological Service Ability[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(S2):32-35.
- [11] 孙奇奇, 宋 戈, 齐美玲.基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J].水土保持研究, 2012, 19(1):234-238.  
SUN Qi-qi, SONG Ge, QI Mei-ling. Analysis of Land Ecological Safety Evaluation of Harbin City Based on Principal Component Analysis [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(1):234-238.
- [12] 黄 硕, 成林莉, 董建文, 等.基于 GIS 与 AHP 法的城市山地公园复愈性环境影响机制研究[J].西北林学院学报, 2021, 36(4):233-240.  
HUANG Shuo, CHENG Lin-li, DONG Jian-wen, et al. Environmental Impact Mechanism of Urban Mountain Park Restoration Landscape Based on GIS and AHP [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(4):233-240.
- [13] 康秀琴.基于 AHP 法的桂林市 8 个公园绿地植物景观评价[J].西北林学院学报, 2018, 33(6):273-278.  
KANG Xiu-qin. Evaluation on Plantscape of Eight Parks in Guilin by AHP Method [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6):273-278.
- [14] 李 灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等.基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J].农业工程学报, 2013, 29(5):217-227.  
LI Can, ZHANG Feng-rong, ZHU Tai-feng, et al. Evaluation and Correlation Analysis of Land Use Performance Based on Entropy-weight TOPSIS Method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(5):217-227.
- [15] 石 丹, 关婧文, 刘吉平.基于 DPSIR-EES 模型的旅游型城镇生态安全评价研究[J].生态学报, 2021, 41(11):4330-4341.  
SHI Dan, GUAN Jing-wen, LIU Ji-ping. Ecological Security Evaluation of Tourism Towns Based on DPSIR-EES-matter Element [J]. Journal of Ecology, 2021, 41(11):4330-4341.
- [16] 李子君, 王 硕, 马 良, 等.基于熵权物元模型的沂

- 蒙山区土地生态安全动态变化及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2021, 52(2): 425-433.
- LI Zi-jun, WANG Shuo, MA Liang, et al. Evaluation of Land Ecological Security and Influencing Factors in Yimeng Mountain Area Based on Entropy Weight Matter Element Model[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(2): 425-433.
- [17] 程静, 黄越. 宁夏回族自治区生态系统服务价值时空演变及其驱动力[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2): 382-389.
- CHENG Jing, HUANG Yue. Spatiotemporal Evolution of Ecosystem Services Value and Its Driving Forces in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(2): 382-389.
- [18] 杨名扬, 冯骁, 徐浩. 宁夏能源消费的碳足迹研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 291-294.
- YANG Ming-yang, FENG Xiao, XU Hao. Research on the Carbon Trace of Energy Consumption in Ningxia[J]. Journal of Ningxia University(Natural Science Edition), 2020, 41(3): 291-294.
- [19] 杨光明, 桂青青, 陈也, 等. 基于灰色关联理论的三峡库区 2015~2019 年生态安全时空演变特征研究[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 348-356.
- YANG Guang-ming, GUI Qing-qing, CHEN Ye, et al. Spatial and Temporal Evolution Characteristics of Ecological Security in the Three Gorges Reservoir Area During 2015—2019 Based on Grey Relational Theory[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 348-356.
- [20] 郑华伟, 夏梦蕾, 张锐, 等. 基于熵值法和灰色预测模型的耕地生态安全诊断[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 284-289.
- ZHENG Hua-wei, XIA Meng-lei, ZHANG Rui, et al. Diagnosis on Ecological Security of Cultivated Land Based on Entropy Method and Grey Prediction Model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, 36(3): 284-289.
- [21] 洪惠坤, 廖和平, 李涛, 等. 基于熵值法和 Dagum 基尼系数分解的乡村空间功能时空演变分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 240-248.
- HONG Hui-kun, LIAO He-ping, LI Tao, et al. Analysis of Spatio-temporal Patterns of Rural Space Function Based on Entropy Value Method and Dagum Gini Coefficient[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(10): 240-248.
- [22] 赵丽, 朱永明, 付梅臣, 等. 主成分分析法和熵值法在农村居民点集约利用评价中的比较[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 235-242.
- ZHAO Li, ZHU Yong-ming, FU Mei-chen, et al. Comparative Study on Intensive Use of Rural Residential Land Based on Principal Component Analysis and Entropy Method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 235-242.
- [23] ALTURK B, KURC H C, KONUKCU F, et al. Multi-criteria Land Use Suitability Analysis for the Spatial Distribution of Cattle Farming Under Land Use Change Modeling Scenarios in Thrace Region, Turkey[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198: 107063.
- [24] 吴一凡, 雷国平, 路昌, 等. 基于改进 TOPSIS 模型的大庆市城市土地利用绩效评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 85-90.
- WU Yi-fan, LEI Guo-ping, LU Chang, et al. Evaluation of Urban Land Use Performance Based on the Improved TOPSIS Model and Diagnosis of Its Obstacle Degree in Daqing[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(4): 85-90.
- [25] 蒋忙舟, 杨志, 张晓明, 等. 基于 DPSIR 模型的西北五省区水安全评价[J]. 地球科学与环境学报, 2022, 44(3): 535-544.
- JIANG Mang-zhou, YANG Zhi, ZHANG Xiao-ming, et al. Assessment of Water Security in Shaanxi, Gansu, Ningxia, Qinghai and Xinjiang, Northwest China Based on DPSIR Model[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(3): 535-544.
- [26] 罗文斌, 吴次芳. 农村土地整理项目绩效评价及影响因素定量分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 273-281.
- LUO Wen-bin, WU Ci-fang. Quantitative Analysis of Performance Evaluation and Influencing Factors of Rural Land Consolidation Projects[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(22): 273-281.
- [27] 王枫, 汤沛鉴. 考虑区域发展阶段差异的城市建设用地多功能绩效评价: 以珠三角城市群为例[J]. 中国土地科学, 2020, 34(12): 87-95.
- WANG Feng, TANG Pei-luan. Multi-function Performance Evaluation on Urban Construction Land Considering Regional Development Stage Differences: A Case Study on Urban Agglomeration in Pearl River Delta[J]. China Land Science, 2020, 34(12): 87-95.