

回彦霖, 崔力航, 姜冰. 基于 DPSIR 模型的中国粮食主产区土地资源承载力评价研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(3): 373-384.

HUI Yanlin, CUI Lihang, JIANG Bing. Evaluation of land resource carrying capacity in China's major grain-producing areas based on DPSIR model[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(3): 373-384.

基于 DPSIR 模型的中国粮食主产区土地资源承载力评价研究

回彦霖^a, 崔力航^b, 姜冰^{b,c}

(东北农业大学 a. 宣传部, b. 经济管理学院, c. 现代农业发展研究中心, 哈尔滨 150030)

摘要: 科学评价粮食主产区土地资源承载力, 为粮食主产区土地资源可持续利用、保障国家粮食安全提供科学依据。选取粮食主产区的黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、河南、山东、江苏、安徽、江西、湖北、湖南和四川 13 个省(区)为研究对象, 基于驱动力-压力-状态-影响-响应(driver-pressure-state-impact-response, DPSIR)模型构建土地资源承载力评价指标体系, 并利用层次分析法和熵值法确定评价指标综合权重, 分析 2000-2020 年粮食主产区土地资源承载力各子系统发展状况, 评价土地资源承载力水平和等级。结果表明: 2000-2020 年粮食主产区土地资源承载力子系统中, 除压力子系统水平呈先下降后上升态势外, 驱动力、状态、影响和响应子系统水平均呈增长态势, 年均增速依次为 5.78%、2.71%、3.79% 和 5.25%。2000-2020 年粮食主产区土地资源承载力平均水平呈增长态势, 以 2.76% 的年均速度由 2000 年的 0.224 7 增长至 2020 年的 0.387 3, 增长 72.36%。江西、黑龙江、湖北、河南、河北、四川、湖南和山东土地资源承载力水平年均增速超过粮食主产区平均水平。2000-2020 年, 黑龙江、辽宁、江西和湖北土地资源承载力水平持续提高, 而安徽持续降低; 吉林、内蒙古、山东和湖南则波动较大; 河北、河南、江苏和四川基本长期不变。粮食主产区土地资源承载力分布存在较大差异。2020 年, 辽宁和河南土地资源处于弱承载力状态; 山东和安徽土地资源处于低承载力状态; 黑龙江、吉林和江西土地资源处于中承载力状态; 内蒙古、河北、湖北和湖南土地资源处于高承载力状态; 江苏和四川土地资源处于强承载力状态。社会经济发展和土地资源利用与保护政策是影响粮食主产区土地资源承载力的主要原因。

关键词: DPSIR 模型; 土地资源承载力; 粮食主产区; 层次分析法; 熵值法

中图分类号: X37

文章编号: 1000-1700(2024)03-0373-12

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of Land Resource Carrying Capacity in China's Major Grain-producing Areas Based on DPSIR Model

HUI Yanlin^a, CUI Lihang^b, JIANG Bing^{b,c}

(a. Propaganda Department, b. College of Economics and Management, c. Development Research Center of Modern Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The scientific evaluation of the land resource carrying capacity in major grain-producing areas provides a scientific basis for the sustainable use of land resources in major grain-producing areas and ensures national food security. Thirteen provinces (districts) of Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Hebei, Henan, Shandong, Jiangsu, Anhui, Jiangxi, Hubei, Hunan and Sichuan in the major grain-producing areas were selected as the research objects. Based on the driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model, an evaluation index system for land resource carrying capacity was

收稿日期: 2023-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(72203034); 黑龙江省哲学社会科学规划项目(22JYB223)

第一作者: 回彦霖(1994-), 女, 硕士, 助教, 从事农业经济理论与政策研究, E-mail: 864560016@qq.com

通信作者: 姜冰(1983-), 女, 博士, 副教授, 博士生导师, 从事畜牧经济理论与政策研究, E-mail: jiangbing2020@neau.edu.cn

constructed, and the analytic hierarchy process and entropy method was used to determine the comprehensive weight of the evaluation indexes. The development status of each subsystem of land resource carrying capacity in major grain-producing areas from 2000 to 2020 was analyzed, and the level and grade of land resource carrying capacity was evaluated. The results showed that in the subsystem of land resource carrying capacity of major grain-producing areas from 2000 to 2020, except the level of pressure subsystem showed a decreasing and then increasing trend, the levels of driver, state, impact, and response subsystems all showed a growing trend, with average annual growth rates of 5.78%, 2.71%, 3.79%, and 5.25%, respectively. From 2000 to 2020, the average level of land resource carrying capacity in major grain-producing areas showed a growth trend, growing from 0.224 7 in 2000 to 0.387 3 in 2020 at an average annual rate of 2.76%, with an increase of 72.36%. The average annual growth rate of land resource carrying capacity level in Jiangxi, Heilongjiang, Hubei, Henan, Hebei, Sichuan, Hunan, and Shandong exceeded the average level of major grain-producing areas. The land resource carrying capacity level in Heilongjiang, Liaoning, Jiangxi and Hubei increased from 2000 to 2020, while it decreased in Anhui, and fluctuated widely in Jilin, Inner Mongolia, Shandong and Hunan, and remained basically unchanged for a long time in Hebei, Henan, Jiangsu and Sichuan. There is an evident difference in the distribution of land resource carrying capacity of in major grain-producing areas. In 2020, the land resources of Liaoning and Henan were in a weak carrying capacity state, the land resources of Shandong and Anhui were in a low carrying capacity state, the land resources of Heilongjiang, Jilin, and Jiangxi were in a medium carrying capacity state, the land resources of Inner Mongolia, Hebei, Hubei, and Hunan were in a high carrying capacity state, and the land resources of Jiangsu and Sichuan were in a strong carrying capacity state. Socio-economic development and land resource utilization and protection policies are the main reasons affecting the land resource carrying capacity in major grain-producing areas.

Key words: DPSIR model; land resource carrying capacity; major grain-producing areas; analytic hierarchy process; entropy method

土地资源承载力是指在特定的时期和空间范围内,土地所能承载人类活动规模和强度的阈值^[1],其本质是人类发展需求与土地资源供给间平衡关系问题^[2]。随着人口增长、经济发展和城市化进程加快,居民生产生活对土地资源需求日益增加,有限且便于利用的土地资源持续减少,人地矛盾逐渐深化^[3]。在此背景下,土地资源承载力研究作为自然资源、粮食生产和社会发展的系统梳理,愈发成为区域发展研究中的重要问题^[4]。

科学评价土地资源承载力是开展土地资源承载力相关研究的基础,随着研究的深入,国内外学者相继构建不同指标、运用不同方法、从不同尺度评价土地资源承载力。程小于等^[5]从承载的强度、效益和潜力3方面构建指标体系,运用层次分析法确定指标权重,评价重庆市江津区土地资源承载力。YANG等^[6]提出根据土地开发程度和人口密度测算的土地资源压力指数,评价武汉市土地资源承载力。何刚等^[7]基于驱动力-压力-状态-影响-响应(driver-pressure-state-impact-response, DPSIR)模型构建土地资源承载力评价指标体系,评价安徽省土地资源承载力。LUO等^[8]从社会、经济和环境3方面构建土地负荷指标体系,运用等权法确定指标权重,评价全国35个主要城市土地资源承载力。张超等^[2]将区域粮食生产力能供养人口规模作为土地资源承载力评价指标,评价“一带一路”倡议合作伙伴的土地资源承载力。

综合国内外相关研究成果可以发现,现有研究评价方法主要有两种:一是基于人粮关系构建单一指数^[4,9-11];二是综合考虑多维度构建指标体系^[12-14],愈发综合化。权重确定方法包括主观赋权法^[15-16]、客观赋权法^[17-18]、主客观组合赋权法^[19-20]3种,逐步合理化。研究尺度覆盖辖区^[21]、城市^[22]、省域^[23]、城市群^[24]和国家群^[2]等,日渐多元化。尽管以往研究已取得丰硕成果,但仍有进一步拓展的空间:一是以往研究构建的评价指标体系,缺少科学的理论支撑,存在“重评价、轻框架”问题^[25];二是土地资源承载力是一个多因素影响下的复杂系统^[18],而以往研究多将土地资源承载力视为一个整体,未能反映出土地资源承载力内部发展的基本情况;三是以往研究在研究方法上将粮食安全作为重点,或基于人粮关系构建单一指数,或选取大量反映人粮关系的指标构建评价体系,但在研究尺度上,少有研究聚焦粮食主产区。

粮食主产区是中国重要的粮食生产基地,也是商品粮供应的核心区域,肩负保障国家粮食安全的重大战略任务。然而,由于工业化和城镇化发展迅猛,土地资源状态快速变化,导致经济发展与粮食生产在土地资源利用方面冲突加剧,对粮食安全产生潜在威胁^[26]。鉴于此,本研究基于DPSIR模型构建土地资源承载力评价指标体系,并基于粮食主产区2000–2020年的面板数据,运用层次分析法和熵值法,评价和分析粮食主产区土地资源承载力发展状况,以期为提高粮食主产区土地资源承载力、优化土地资源配置提供现实依据与决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

2003年财政部印发《关于改革和完善农业综合开发若干政策措施的意见》,将黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、河南、山东、江苏、安徽、江西、湖北、湖南和四川13个省(区)划定为粮食主产区。该区域主要分布在东北、黄淮海以及长江中下游地区,介于东经 $90^{\circ}10' \sim 135^{\circ}05'$,北纬 $24^{\circ}29' \sim 53^{\circ}33'$,地貌多为平原或低丘,自然条件优越,气候湿润或半湿润,雨量充沛,年平均气温及降水量分别为 $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、 $600 \sim 900\text{ mm}$,光、热、水资源土质肥沃,聚集大量优质农田^[27]。根据第三次全国国土调查,2021年粮食主产区耕地、园地、林地、草地、湿地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地面积依次为8 713.34万、721.93万、13 687.81万、6 879.89万、1 043.89万、2 224.53万、562.18万、1 651.92万 hm^2 ,占全国比重依次为68.33%、35.63%、48.27%、26.02%、44.21%、62.13%、55.35%、45.57%。国家统计局数据显示,2022年粮食主产区粮食播种面积达到8 903万 hm^2 ,占粮食播种总面积75.24%,实现粮食产量537.18亿t,占粮食总产量78.25%。

1.2 研究方法

1.2.1 评价指标体系的建立 土地资源承载力并非孤立存在,而是与经济、社会、生态等外部系统息息相关的复合系统,需要构建综合性、科学性指标体系进行精准的量化分析。DPSIR模型是由欧洲环境署改进后提出的概念模型,能有效捕捉人与自然环境的相关信息,并较好地反映经济、社会、环境和资源等要素间的相互作用与内在联系,具有系统性、灵活性和全面性优势^[28–30]。以往研究已证实了DPSIR模型在土地资源承载力评价研究中的适用性,能为区域土地资源合理利用提供科学依据^[7,31]。

DPSIR模型由驱动力(driver)、压力(pressure)、状态(state)、影响(impact)和响应(response)5个子系统构成。其中,驱动力是造成粮食主产区土地资源承载力变化的根本原因,由社会因素和经济因素组成;压力是指在社会经济活动推动下,粮食主产区区内正常生产生活对土地资源承载力造成的直接影响;状态是指粮食主产区受到驱动力和压力共同作用下,土地资源承载力呈现的现实状况;影响是指粮食主产区土地资源承载力对生产生活造成的影响;响应是为适应和改善粮食主产区土地资源承载力,采取的各种积极有效的应对措施^[32–33]。

基于DPSIR模型理论框架,结合粮食主产区经济、社会和生态发展特点,再参考以往研究中较为成熟的指标体系^[7,11,34–38],遵循科学性、系统性、综合性和可操作性的原则,构建土地资源承载力评价指标体系(表1)。具体而言,指标体系由目标层、准则层和指标层构成,目标层是粮食主产区土地资源承载力水平;准则层涵盖DPSIR模型的驱动力、压力、状态、影响和响应5个子系统;指标层包括42个指标。根据指标性质,指标层可细分为正向和负向两类,正向指标值越大,土地资源承载力水平越高。反向指标则相反。

1.2.2 评价指标赋权 主观赋权法与客观赋权法结合使用,可避免主观赋权法的主观随意性,同时克服客观赋权法容易忽视决策者主观信息的局限性^[39]。因此,参考以往研究^[40–41],运用层次分析法和熵值法为土地资源承载力评价指标组合赋权。

(1) 数据标准化处理。由于不同指标间的数量级和量纲不同,采用式(1)和式(2)对数据进行标准化处理,具体公式如下。

正向指标:

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

表1 土地资源承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of land resource carrying capacity

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	单位 Unit	性质 Attribute
驱动力 Driver	D1 人口自然增长率 Natural population growth rate	%	负向 Negative
	D2 城镇化率 Urbanization rate	%	正向 Positive
	D3 国内生产总值增长率 GDP growth rate	%	正向 Positive
	D4 人均国内生产总值 GDP per capita	元·人 ⁻¹	正向 Positive
	D5 第三产业产值占国内生产总值比重 Share of tertiary industry	%	正向 Positive
	D6 人均农业产值 Value of agricultural output per capita	元·人 ⁻¹	正向 Positive
	D7 人均畜牧业产值 Value of livestock industrial output per capita	元·人 ⁻¹	正向 Positive
	D8 人均工业产值 Value of industrial output per capita	元·人 ⁻¹	正向 Positive
压力 Pressure	P1 人口密度 Population density	人·km ⁻²	负向 Negative
	P2 人均可支配收入 Annual disposable income per capita	元·人 ⁻¹	正向 Positive
	P3 国内生产总值密度 GDP density	元·m ⁻²	正向 Positive
	P4 单位耕地面积化肥施用量 Chemical fertilizer usage per unit area of arable land	t·km ⁻²	负向 Negative
	P5 单位耕地面积农药使用量 Pesticide usage per unit area of arable land	t·km ⁻²	负向 Negative
	P6 单位耕地面积塑料薄膜使用量 Plastic film usage per unit area of arable land	kg·km ⁻²	负向 Negative
	P7 单位耕地面积畜禽饲养量(猪当量) (pig equivalent)	头·km ⁻²	正向 Positive
	P8 单位土地面积工业固体废物排放量 Industrial solid waste emissions per unit area of land	t·km ⁻²	负向 Negative
状态 State	S1 人均耕地面积 Arable land area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S2 人均农作物播种面积 Crops sown area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S3 人均园地面积 Garden land area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S4 人均林地面积 Forest land area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S5 人均草地面积 Grassland area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S6 人均湿地面积 Wetland area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
	S7 人均城镇村及工矿用地面积 Construction land area per capita	m ² ·人 ⁻¹	负向 Negative
	S8 人均交通运输用地面积 Transportation land area per capita	m ² ·人 ⁻¹	负向 Negative
	S9 人均水域及水利设施用地面积 Water body area per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
影响 Impact	I1 单位耕地面积粮食产量 Grain production yield per unit area of arable land	kg·m ⁻²	正向 Positive
	I2 人均粮食产量 Grain production yield per capita	kg·人 ⁻¹	正向 Positive
	I3 城镇登记失业率 Urban registered unemployment rate	%	负向 Negative
	I4 恩格尔系数 Engel coefficient	%	负向 Negative

续表

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	单位 Unit	性质 Attribute
	I5 地质灾害发生频率 Frequency of occurrence of geological hazards	次·年 ⁻¹	负向 Negative
	I6 地质灾害直接经济损失 Direct economic losses caused by geological hazards	×10 ⁶ 元·年 ⁻¹	负向 Negative
	I7 农作物受灾面积占粮食播种面积比重 Rate of crops affected by natural disasters	%	负向 Negative
	I8 农作物绝收面积占粮食播种面积比重 Rate of crops damaged by natural disasters	%	负向 Negative
	R1 耕地面积增长率 Arable land area growth rate	%	正向 Positive
	R2 有效灌溉面积占耕地面积比重 Proportion of effective irrigated area	%	正向 Positive
	R3 单位耕地面积农业机械总动力 Degree of agricultural mechanization per unit area of arable land	kW·km ⁻²	正向 Positive
	R4 人均道路清扫保洁面积 Street and road cleaning in built-up areas per capita	m ² ·人 ⁻¹	正向 Positive
响应 Response	R5 单位土地面积环境保护支出 Environmental protection expenditure per unit area of land	元·km ⁻²	正向 Positive
	R6 造林面积占森林面积比重 Proportion of afforested area	%	正向 Positive
	R7 森林病虫害防治率 Control rate of forest diseases, pests and rodents	%	正向 Positive
	R8 人均生活垃圾清运量 Harmless treatment disposal of domestic waste per capita	kg·人 ⁻¹	正向 Positive
	R9 单位土地面积工业污染治理完成投资 Completed industrial pollution control investments per unit area of land	元·km ⁻²	正向 Positive

负向指标:

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

式中: X_{ij} 为*i*省(区)指标*j*标准化处理后数值; x_{ij} 为*i*省(区)指标*j*原始数值; $\max(x_j)$ 和 $\min(x_j)$ 分别为指标*j*的最大值与最小值。

(2) 层次分析法确定主观权重。采用层次分析法获得基于专家意见的主观权重,可得到合乎逻辑且可信的赋权结果^[42],基本步骤如下。

①邀请由长期从事土地资源管理领域研究的3位副教授和2位教授构成的专家组,按照1~9标度法对指标进行两两比较并赋值,构成1个准则层判断矩阵与5个指标层判断矩阵。

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mm} \end{bmatrix} = (y_{ij})_{m \times m}$$

式中:指标*i*和指标*j*的比较结果为 $y_{ij}, y_{ji} = \frac{1}{y_{ij}}$,当*i* = *j*时, $y_{ij} = y_{ji} = 1$ 。

②采用式(3)对各判断矩阵按列进行归一化处理,得到标准矩阵。

$$Z_j = \frac{1}{\sqrt[m]{y_{j1}y_{j2}\cdots y_{jm}}} \quad (3)$$

③采用式(4)计算主观权重 S_j 。

$$S_j = \frac{Z_j}{\sum_{j=1}^m Z_j} \quad (4)$$

④根据式(5)~式(6)进行一致性检验。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

式中: λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值; CI 为一致性指标; RI 为随机一致性指标; CR 为一性评判指标,若 $CR < 0.1$,则认为矩阵具有令人满意的一致性,否则,就必须重新修改判断矩阵,直至达到标准。

(3) 熵值法确定客观权重。采用熵值法根据数据本身获得客观权重,其赋权结果具有系统性和解释性^[43],基本步骤如下。

①根据式(7)计算熵值。

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \ln \left(\frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right) \quad (7)$$

式中: X_{ij} 为*i*省(区)指标*j*标准化处理后数值; n 为被评价年份; E_j 为指标*j*的信息熵。

②根据式(8)计算客观权重 O_j 。

$$O_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)} = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j} \quad (8)$$

(4) 综合权重计算。参考以往研究^[44],采用线性加权法获得评价指标综合权重,计算公式为:

$$C_j = \frac{S_j O_j}{\sum_{j=1}^m S_j O_j} \quad (9)$$

式中: C_j 为评价指标*j*综合权重; S_j 为层次分析法获得的评价指标*j*主观权重; O_j 为熵值法获得的评级指标*j*客观权重。

在对数据进行标准化处理后,计算得出粮食主产区土地资源承载力水平(land resource carrying capacity, *LRCC*),计算公式为:

$$LRCC_u = \sum_{j=1}^m C_j Y_{ij} \quad (10)$$

式中: $LRCC_u$ 为*t*年*i*省(区)土地资源承载力水平; Y_{ij} 为*t*年*i*省(区)评价指标*j*的标准化值。

1.2.3 土地资源承载力等级划分 理想的土地资源承载力应能保证土地资源与人类活动之间的平衡,对于社会经济发展相对较好的地区而言,土地资源消耗相对较大,其理想土地资源承载力通常低于实际土地资源承载力,以避免对土地资源造成不可逆转的破坏;对于社会经济发展相对滞后的地区而言,土地资源消耗相对较小,其理想土地资源承载力通常高于实际土地资源承载力,以避免土地资源的无效利用和浪费。因此,土地资源承载力等级划分并非越高或越低越好,而应根据具体地区的社会经济状况和土地资源特点来确定。故参考以往研究^[8,11,18],将土地资源承载力水平与粮食主产区总体水平进行比较,并根据比较结果,对该地区土地资源承载力进行分级。具体而言,对于土地资源承载力测度结果低于当年粮食主产区所有地区土地资源承载力测度结果第一五分位数(Q_1)的地区,定义为弱承载力地区($LRCC < Q_1$),即该地区实际土地资源承载力低于理想土地资源承载力水平,表明该地区社会经济发展大大低于土地资源承载力。以此类推,剩下的4种等级类型为低承载力地区($Q_1 \leq LRCC < Q_2$)、中承载力地区($Q_2 \leq LRCC < Q_3$)、高承载力地区($Q_3 \leq LRCC < Q_4$)和强承载力地区($LRCC > Q_4$)。

1.3 数据来源

研究数据来源于官方公布的统计数据。具体而言,土地利用相关数据主要来自自然资源部的国土调查成果共享应用服务平台;农业相关数据来自国家统计局农村社会经济调查司主编的《中国农村统计年鉴》;环保相关数据来自国家统计局与生态环境部共同主编的《中国环境统计年鉴》;城市建设相关数据来自住房和城乡建设部主编的《中国城乡建设统计年鉴》。猪当量数据是根据农业部办公厅2018年1月印发的《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》计算而得,折算标准为:1头猪为1个猪当量,100头猪相当于15头奶牛、30头肉牛、250只羊、2500只家禽。考虑数据的可得性,时间跨度设定为2000–2020年。研究使用的所有数据均是根据原始数据经计算所得,部分缺失数据采用线性内插法和线性外推法补齐。

2 结果与分析

2.1 评价指标赋权结果与分析

根据式(5)~式(6)计算而得的CR值为0.06,小于0.1,说明层次分析法中的判断矩阵通过了一致性检验,可通过层次分析法和熵值法确定土地资源承载力评价指标综合权重(表2)。状态子系统直接反映了粮食主产区土地资源利用现状,是评估土地资源承载力的关键,故综合权重最高。影响子系统是粮食主产区土地资源承载力变化对人类产生的可观测结果,影响政策制定和管理决策,故综合权重相对较高。驱动力子系统和压力子系统均代表了引起粮食主产区土地资源承载力变化的原因,相比粮食主销区和产销平衡区,粮食主产区内部社会经济活动差异相对较小,故综合权重相对较低。响应子系统主要反映了人类对粮食主产区土地资源承载力变化的反映和解决策略,但粮食主产区实行的国家政策基本是一致的,且人类归根结底无法完全控制或改变土地资源承载力,故综合权重最低。

权重位居前五的指标从高到低依次为人均农作物播种面积(S2)、人均耕地面积(S1)、单位耕地面积粮食产量(I1)、人均粮食产量(I2)和人均农业产值(D6)。确保粮食稳产、增产和高产是粮食主产区的重要目标,其大部分粮食以商品粮形式供给粮食主销区。人均农作物播种面积(S2)和人均耕地面积(S1)能反映出粮食主产区土地资源利用状态,故权重最高。单位耕地面积粮食产量(I1)和人均粮食产量(I2)是粮食主产区粮食生产产出的体现,同样占据一定权重。人均农业产值(D6)是直接衡量粮食主产区粮食生产活动水平的重要指标,故权重在驱动力子系统中最高。

表2 土地资源承载力评价指标赋权结果

Table 2 Weights of the evaluation indicators for land resource carrying capacity

准则层 Criteria layer	指标符号 Indicator symbol	主观权重 Subjective weights	客观权重 Objective weights	综合权重 Comprehensive weights
驱动力 Driver	D1	0.015 8	0.017 4	0.011 3
	D2	0.013 5	0.011 8	0.006 5
	D3	0.016 2	0.006 2	0.004 1
	D4	0.008 6	0.031 8	0.011 2
	D5	0.007 1	0.012 9	0.003 8
	D6	0.025 7	0.046 7	0.049 2
	D7	0.025 7	0.017 1	0.018 0
	D8	0.006 6	0.027 8	0.007 5
压力 Pressure	P1	0.011 1	0.020 7	0.009 4
	P2	0.006 9	0.006 4	0.001 8
	P3	0.007 5	0.024 2	0.007 4
	P4	0.006 9	0.011 5	0.003 3
	P5	0.012 1	0.052 2	0.025 9
	P6	0.041 4	0.000 4	0.000 7
	P7	0.028 3	0.023 6	0.027 4
	P8	0.027 2	0.011 3	0.012 6
状态 State	S1	0.058 1	0.059 1	0.140 7
	S2	0.121 2	0.029 6	0.146 8
	S3	0.019 3	0.048 0	0.038 0
	S4	0.012 6	0.082 2	0.042 4
	S5	0.015 6	0.061 1	0.039 1
	S6	0.036 4	0.032 0	0.047 7
	S7	0.025 1	0.036 2	0.037 2
	S8	0.030 0	0.031 0	0.038 1
	S9	0.033 9	0.026 7	0.037 1
影响 Impact	I1	0.062 5	0.040 8	0.104 5
	I2	0.022 0	0.058 1	0.052 4
	I3	0.012 0	0.002 8	0.001 4
	I4	0.008 3	0.009 2	0.003 1
	I5	0.057 3	0.001 6	0.003 8
	I6	0.062 5	0.002 0	0.005 1
	I7	0.021 6	0.004 5	0.004 0
	I8	0.021 6	0.007 3	0.006 5
响应 Response	R1	0.004 9	0.061 8	0.012 4
	R2	0.006 0	0.031 0	0.007 6
	R3	0.008 5	0.009 6	0.003 3
	R4	0.013 7	0.011 6	0.006 5
	R5	0.016 0	0.008 0	0.005 2
	R6	0.016 0	0.006 9	0.004 5
	R7	0.021 7	0.005 4	0.004 8
	R8	0.016 3	0.006 3	0.004 2
	R9	0.016 3	0.005 2	0.003 5

2.2 土地资源承载力各子系统评价结果与分析

2.2.1 驱动力子系统评价结果与分析 驱动力子系统评价结果总体呈增长态势,以5.78%的年均增速由2000年的0.017 5增长至2020年的0.053 8(表3)。驱动力子系统持续增长意味着粮食主产区社会经济活动愈发活跃,不仅与粮食生产区自身社会经济发展逐渐向好有关,还与粮食主销区及产销平衡区人口增长和经济发展带动粮食需求提高,进而推动主产区粮食生产愈发活跃有关。此外,驱动力子系统年均增速在5个子系统中排名最高,可能会带来一定挑战。一旦驱动力子系统增速过快,超过土地资源承载范围,就会对土地资源造成不可逆转的破坏^[45]。因此,需要积极管理和调控驱动力子系统,使其保持在合理范围内,才能确保土地资源可持续利用。

2.2.2 压力子系统评价结果与分析 压力子系统评价结果总体呈先下降后上升态势,由2000年的0.025 0先下降至2011年的0.021 0再上升至2020年的0.026 2(表3)。2012年之前,压力子系统呈下降态势,说明粮食生产对土地资源承载力产生的负面影响大于正面影响,不利于土地资源可持续利用。这可能是因为当时粮食生产普遍存在化肥、农药和农膜使用过量的现象,虽然可大幅提高粮食产量,但会造成土地营养过剩、板结酸化,导致土地资源承载力减弱^[46]。随着2012年我国农药最大残留限量与国际标准对接,2015年化肥农药“双减”工作推进,2017年农业绿色发展行动实施,粮食生产对土地资源承载力的负面影响得到有效缓解,促使2012年起压力子系统随之提高^[47]。

2.2.3 状态子系统评价结果与分析 状态子系统评价结果总体呈增长态势,以2.71%的年均速度由2000年的0.033 3增长至2020年的0.056 9(表3)。城镇化快速发展导致人地关系紧张、人地矛盾突出,给土地资源合理布局与可持续开发利用带来严峻挑战,甚至挤占耕地面积,威胁粮食安全^[48]。状态子系统持续上升可能意味着粮食主产区土地资源的保护或恢复程度优于开发程度,这主要得益于粮食主产区严格实行耕地保护制度、落实耕地进出平衡与占补平衡制度,城市建设用地对其他土地挤占有限。根据自然资源部国土调查成果共享应用服务平台公布数据,2009–2022年粮食主产区耕地面积由8 014.69万 hm^2 减少至7 565.18万 hm^2 ,减少比例为5.61%,优于全国平均(5.76%)和其他功能区(5.99%)。

2.2.4 影响子系统评价结果与分析 影响子系统评价结果总体呈增长态势,以3.79%的年均速度由2000年的0.020 7增长至2020年的0.043 6(表3)。虽然影响子系统负向指标众多,且远超正向指标,但评价结果仍呈增长态势,说明粮食主产区土地资源承载力变化对区域内生产生活未造成负面影响,反而产生越来越积极的正面影响。这主要得益于近年来粮食主产区加快推进高标准农田建设,既提高了粮食综合生产能力,又增强了农业抵御自然灾害能力。

2.2.5 响应子系统评价结果与分析 响应子系统评价结果总体呈增长态势,以5.25%的年均速度由2000年的0.016 2增长至2020年的0.045 1(表3)。响应子系统的持续增长意味着粮食主产区采取了有效的管理和应对措施,有助于减少驱动力子系统和压力子系统对土地资源的负面影响。特别是近年来严格落实耕地保护党政同责,以严的态度、严的标准、严的措施倒逼耕地保护责任落实到位,守住耕地数量红线的同时,改善了耕地生态状况^[49]。

2.3 土地资源承载力总体评价结果与分析

从土地资源承载力增长速度来看,2000–2020年粮食主产区土地资源承载力平均水平以2.78%的年均速度由2000年的0.224 7增长至2020年的0.387 3,增长了72.36%,表明粮食主产区土地资源承载力正逐步提高(表4)。13个地区中,有8个地区土地资源承载力年均增速超过粮食主产区平均水平。其中,江西年均增速最快,其他依次为黑龙江、湖北、河南、河北、四川、湖南和山东,说明这8个地区社会经济发展和粮食综合生产能力提升速度相对较快。从土地资源承载力评价水平来看,2000–2020年黑龙江、辽宁、江西和湖北土地资源承载力持续提高,而安徽持续降低,吉林、内蒙古、山东和湖南则波动较大,河北、河南、江苏和四川基本长期不变。从土地资源承载力评价等级来看,2020年,辽宁和河南土地资源处于弱承载力状态,山东和安徽土地资源处于低承载力状态,说明其社会经济发展所需土地资源尚未超过理想状态,仍有进一步提升空间。黑龙江、吉林和江西土地资源处于中承载力状态,说明这3个地区社会经济发展所需土地资源与土地资源承载力互相匹配,处于较好的均衡状态。内蒙古、河北、湖北和湖南土地资源处于高承载力状态,江苏和四川土地资源处于强承载力状态,说明其社会经济发展所需土地资源已超过理想状态,有必要进一步优化土地资源配置。

表3 土地资源承载力各子系统评价结果

Table 3 Evaluation result for each subsystem of land resource carrying capacity

年份 Year	驱动力 Diver	压力 Pressure	状态 State	影响 Impact	响应 Response
2000	0.017 5	0.025 0	0.033 3	0.020 7	0.016 2
2001	0.018 2	0.024 8	0.033 5	0.021 4	0.016 5
2002	0.019 1	0.024 6	0.034 0	0.022 9	0.017 2
2003	0.020 7	0.024 2	0.033 7	0.020 6	0.017 9
2004	0.023 5	0.023 7	0.036 0	0.025 3	0.019 4
2005	0.024 3	0.023 3	0.036 9	0.026 0	0.021 3
2006	0.024 7	0.022 8	0.037 8	0.027 0	0.022 1
2007	0.027 5	0.022 1	0.039 8	0.027 3	0.024 6
2008	0.029 6	0.022 2	0.041 7	0.029 7	0.026 7
2009	0.029 4	0.022 1	0.042 2	0.030 2	0.028 3
2010	0.033 0	0.022 1	0.043 8	0.031 8	0.029 7
2011	0.036 7	0.021 0	0.046 3	0.035 6	0.032 3
2012	0.038 1	0.021 3	0.047 3	0.036 1	0.034 4
2013	0.040 0	0.021 6	0.049 6	0.038 5	0.037 8
2014	0.041 0	0.023 0	0.048 8	0.039 2	0.038 5
2015	0.042 3	0.023 5	0.050 7	0.040 7	0.040 0
2016	0.042 7	0.025 5	0.051 7	0.041 5	0.040 0
2017	0.043 7	0.026 3	0.052 5	0.041 3	0.040 7
2018	0.045 9	0.026 8	0.054 2	0.041 3	0.044 5
2019	0.048 2	0.027 5	0.056 3	0.043 2	0.048 1
2020	0.053 8	0.026 2	0.056 9	0.043 6	0.045 1
增长率/% Growth rate	5.78	0.23	2.71	3.79	5.25

表4 土地资源承载力水平与等级评价结果

Table 4 Evaluation result for level and grade of land resource carrying capacity

地区 Regions	2000	2005	2010	2015	2020	增长率/% Growth rate
黑龙江 Heilongjiang	弱(0.175 5) Weak	弱(0.190 9) Weak	低(0.245 7) Low	低(0.305 8) Low	中(0.339 9) Medium	3.36
吉林 Jilin	中(0.199 9) Medium	低(0.218 5) Low	中(0.264 8) Medium	低(0.289 5) Low	中(0.343 0) Medium	2.74
辽宁 Liaoning	低(0.198 9) Low	低(0.205 8) Low	弱(0.243 4) Weak	弱(0.286 6) Weak	弱(0.320 8) Weak	2.42
内蒙古 Inner Mongolia	强(0.235 8) Strong	高(0.244 6) High	中(0.280 2) Medium	高(0.310 3) High	高(0.362 7) High	2.18
河北 Hebei	高(0.231 7) High	高(0.290 7) High	高(0.324 2) High	高(0.396 1) High	高(0.426 8) High	3.10
河南 Henan	弱(0.174 8) Weak	弱(0.184 2) Weak	弱(0.233 7) Weak	弱(0.253 7) Weak	弱(0.323 1) Weak	3.12
山东 Shandong	低(0.189 0) Low	高(0.243 8) High	低(0.261 6) Low	中(0.309 6) Medium	低(0.327 0) Low	2.78
江苏 Jiangsu	强(0.388 8) Strong	强(0.431 6) Strong	强(0.485 9) Strong	强(0.505 6) Strong	强(0.542 1) Strong	1.68
安徽 Anhui	中(0.205 0) Medium	中(0.221 6) Medium	低(0.256 8) Low	低(0.299 2) Low	低(0.336 0) Low	2.50
江西 Jiangxi	低(0.180 3) Low	低(0.209 1) Low	低(0.261 6) Low	中(0.305 9) Medium	中(0.356 1) Medium	3.46
湖北 Hubei	中(0.209 8) Medium	高(0.236 4) High	高(0.281 5) High	高(0.3432) High	高(0.394 9) High	3.21
湖南 Hunan	高(0.223 8) High	中(0.234 4) Medium	高(0.290 4) High	高(0.361 0) High	高(0.402 6) High	2.98
四川 Sichuan	强(0.308 2) Strong	强(0.337 1) Strong	强(0.427 2) Strong	强(0.516 8) Strong	强(0.559 5) Strong	3.03
平均 Average	0.224 7	0.249 9	0.296 7	0.344 9	0.387 3	2.76

3 讨论与结论

本研究以2000–2020年为时间尺度,以粮食主产区13个省(区)为空间尺度,基于DPSIR模型构建土地资源承载力评价指标体系,运用层次分析法和熵值法确定指标综合权重,评价并分析中国粮食主产区土地资源承载力水平,研究结果尝试为促进粮食主产区土地资源可持续利用提供一定参考。

结果表明,2000–2020年粮食主产区土地资源承载力呈增长态势,以2.76%的年均速度由2000年的0.2247增长至2020年的0.3873,增长了72.36%。其中,江西、黑龙江、湖北、河南、河北、四川、湖南和山东土地资源承载力水平年均增速超过粮食主产区平均水平。耕地数量减少是粮食主产区土地资源承载力处于超载和严重超载等级的原因之一。随着国家不断提高耕地保护战略意识,落实最严格的耕地保护制度,土地“非农化”、耕地“非粮化”问题将逐步得到控制,预计未来粮食主产区土地资源承载力与社会经济发展不匹配的情况将有所缓和。

研究发现,2020年辽宁和河南土地资源处于弱承载力状态;山东和安徽土地资源处于低承载力状态;黑龙江、吉林和江西土地资源处于中承载力状态;内蒙古、河北、湖北和湖南土地资源处于高承载力状态;江苏和四川土地资源处于强承载力状态。粮食主产区地理跨度大,地形、气候等地理自然特征复杂,地区间社会经济发展差异显著,导致整个粮食主产区土地资源承载力分布存在较大差异,即便是同一产区内部,土地资源承载力等级差异可能也较大。

东北地区土地资源承载力最低,2020年平均水平为0.3416。东北地区总面积辽阔,具有肥沃的黑土地,加之耕地连片集中,粮食生产集约化、规模化和机械化水平较高,具有较高的粮食生产比较优势。其中,内蒙古属于典型的资源型城市的土地利用模式,社会经济发展对土地资源依赖程度较高,导致其土地资源处于高承载力状态,具有一定超载风险^[50]。而辽宁正处于老工业基地建设的改革阶段,资源与社会经济活动均处于较低水平,状态子系统得分仅为0.0471,位居最末,导致其土地资源承载力处于弱承载力状态^[51]。

冀鲁豫地区土地资源承载力较低,2020年平均水平为0.3590。冀鲁豫地区位于华北、华东与华中地区接合地带,其中,河南人口众多,城镇化水平较低且经济发展不均衡,压力子系统得分仅为0.0248,低于粮食主产区平均水平的0.0262,导致土地资源处于弱承载力水平,需进一步加强产业发展,带动地区社会经济发展^[9]。山东农民种粮积极性不高,耕地“非粮化”现象明显,导致保障粮食供给任务存在巨大挑战。河北作为京津冀协同发展主体之一,区域社会经济发展较好,土地资源处于高承载状态、长江中下游地区土地资源承载力较高,2020年平均水平为0.4063。长江中下游地区气候温暖湿润,水资源丰富,素有“鱼米之乡”之称,农作物熟制为一年二熟或三熟,耕地利用率较高。该地区平均土地资源承载力增速为2.77%,略高于粮食主产区平均水平,土地资源承载力可能继续提高,具有极高超载风险,特别是社会经济发展较好的江苏,驱动力子系统得分为0.0739,位居粮食主产区第二。

四川地形复杂多样,虽然川中平原区地势平坦、交通便利、气候条件适宜,使土地资源得到充分利用,但山地、高原和丘陵地形的极高占比使土地资源难以得到开发利用,大部分社会经济活动不得不集中于小部分土地资源上,驱动力子系统与影响子系统得分分别为0.0775和0.1174,均为粮食主产区最高,导致四川土地资源承载力最高,2020年平均水平为0.5595^[52]。

然而,本研究存在一定不足,主要是本研究选取2000–2020年作为时间尺度,分析省域尺度上粮食主产区土地资源承载力,更长时间尺度和更小空间尺度上的粮食主产区土地资源承载力有待进一步揭示。后续研究应加强探讨自然环境与人类活动双重影响下,深入开展土地资源承载力时空演化特征、内部耦合协调机理与提升路径研究,为粮食主产区土地资源建设规划与统筹安排提供坚实理论支撑。

参考文献:

- [1] 张霞,石宁卓,王树东,等.土地资源承载力研究方法与发展趋势[J].桂林理工大学学报,2015,35(2):280–287.
- [2] 张超,杨艳昭,封志明,等.基于人粮关系的“一带一路”沿线国家土地资源承载力时空格局研究[J].自然资源学报,2022,37(3):616–626.

- [3] 孙锦,李谦盛,岳冬,等.国内外无土栽培技术研究现状与应用前景[J].南京农业大学学报,2022,45(5):898-915.
- [4] 王宇菲,王隽雄,李阳.陕西省土地资源承载力时空演变格局研究[J].西北大学学报(自然科学版),2023,53(4):541-553.
- [5] 程小于,杨庆媛,毕国华.重庆市江津区土地资源承载力时空差异研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(10):2319-2330.
- [6] YANG N N,LI J S,LU B B,et al.Exploring the spatial pattern and influencing factors of land carrying capacity in Wuhan[J].Sustainability,2019,11(10).DOI:10.3390/su11102786.
- [7] 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.
- [8] LUO W Z,JIN C,SHEN L Y.The evolution of land resource carrying capacity in 35 major cities in China[J].Sustainability,2022,14(9).DOI:10.3390/su1495178.
- [9] 聂鹏程,钱程,覃锐苗,等.天空地一体化信息感知与融合技术发展现状与趋势[J].智能化农业装备学报(中英文),2023,4(2):1-11.
- [10] 王瑞杰,吴林荣,闫峰.基于人粮关系的鄂尔多斯砒砂岩区土地资源承载力变化特征[J].水土保持通报,2019,39(6):142-148,154.
- [11] GAO J,ZHAO R R,SONG G,et al.Spatial-temporal evolution patterns and regulatory strategies for land resource carrying capacity of China's major grain-producing areas[J].Land,2022,11(12).DOI:10.3390/land11122127.
- [12] 王曼曼,张宏艳,张有广,等.长三角沿海地区土地承载力测度与耦合分析[J].农业工程学报,2020,36(5):281-292.
- [13] 孙秀波,崔健,代雅建,等.辽宁锦州地区土地资源承载力评价[J].地质通报,2022,41(8):1487-1493.
- [14] LIU Y,SHI F C,HE H M,et al.Study on the matching degree between land resources carrying capacity and industrial development in main cities of Xinjiang,China[J].Sustainability,2021,13(19).DOI:10.3390/su131910568.
- [15] 高洁,刘玉洁,封志明,等.西藏自治区水土资源承载力监测预警研究[J].资源科学,2018,40(6):1209-1221.
- [16] 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.
- [17] 周璐红,曹瑞超,王盼婷.基于土地资源承载力的农业生产适宜性评价——以陕西省为例[J].生态经济,2022,38(9):125-130.
- [18] 刘兆霞,皇传华,杨克俊,等.发展中城市的土地资源承载力评价及预测——以济南市为例[J].江苏农业科学,2021,49(7):217-223.
- [19] 袁证光,汪磊.基于EM-AHP-TOPSIS的喀斯特城市土地承载力评价——以贵阳市为例[J].自然资源情报,2023(9):52-58.
- [20] 刘子金,徐钰德,朱兴林,等.干旱扬水灌区土地资源承载状态演变分析[J].环境科学学报,2021,41(12):5200-5208.
- [21] 黄宇驰,苏敬华,吕峰.基于SEP模型的土地资源承载力评价方法研究——以上海市闵行区为例[J].中国人口·资源与环境,2017,27(S1):124-127.
- [22] 赵伟,姜长军,李贻学.杭州市土地资源承载力评价及其协调发展[J].地球环境学报,2020,11(3):302-315.
- [23] YU H S,ZHANG X Y,YU W B,et al.Multi-dimensional evaluation of land comprehensive carrying capacity based on a normal cloud model and its interactions:A case study of Liaoning Province[J].Applied Sciences,2023,13(5).DOI:10.3390/app13053336.
- [24] SHEN L Y,CHENG G Y,DU X Y,et al.Can urban agglomeration bring "1+1>2Effect"?A perspective of land resource carrying capacity[J].Land Use Policy,2022.DOI:10.1016/j.landusepol.2022.106094
- [25] 李帆,贾夏,赵永华,等.基于DPSIR模型的黄土高原生态敏感性演变格局及驱动力分析[J].农业工程学报,2023,39(9):241-251,303.
- [26] 杨崇科,马泉来,曹艳杰,等.1980—2020年河南沿黄粮食主产区土地利用时序过程分异特征[J].西南农业学报,2023,36(8):1594-1602.
- [27] 范田亿,张翔.2000—2014年中国粮食主产区植被水分利用效率时空演变特征研究[J].灌溉排水学报,2019,38(3):99-107.
- [28] 石晓昕,袁重乐,钱会,等.基于DPSIR-TOPSIS模型的河北省水资源承载力评价及障碍因素研究[J].水资源与水工程学报,2021,32(5):92-99.
- [29] 张洋,李鹏,杨志,等.基于DPSIR模型的甘肃省2000—2018年水安全评价[J].水土保持通报,2021,41(6):127-

- 132,138.
- [30] 马壮林,高阳,安韬,等.基于DPSIR模型的国家中心城市绿色交通水平测度研究——以西安市为例[J].生态经济,2022,38(4):85-93,114.
- [31] 李刚,卢晓宁,边金虎,等.岷江上游土地资源承载力评价[J].水土保持研究,2015,22(1):262-268,331.
- [32] 唐毅,杨佳薇.基于生态系统服务价值的辽宁省生态经济协同发展研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(1):51-58.
- [33] FEDERIGI I,BALESTRI E,CASTELLI A,et al.Beach pollution from marine litter:Analysis with the DPSIR framework (driver, pressure, state, impact, response) in Tuscany, Italy[J]. Ecological Indicators, 2022, 143. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109395.
- [34] ZHANG X R,WANG Y S,YUAN X F,et al.Regional land ecological security evaluation and ecological poverty alleviation practice:A case study of Yangxian County in Shaanxi Province,China[J].Journal of Geographical Sciences, 2022,32(4):682-700.
- [35] FAN J,ABUDUMANAN A,WANG L,et al.Dynamic assessment and sustainability strategies of ecological security in the Irtysh River Basin of Xinjiang,China[J].Chinese Geographical Science,2023,33(3):393-409.
- [36] 史晓楠,李瑾柔,赵晶文,等.青海高原城镇家庭能源消费碳排放空间特征研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(2):97-106.
- [37] 张凤太,王腊春,苏维词.基于物元分析-DPSIR概念模型的重庆土地生态安全评价[J].中国环境科学,2016,36(10):3126-3134.
- [38] 刘宝涛,王冬艳,刘惠清.基于DPSIR模型与TOPSIS算法的吉林省土地利用系统健康诊断[J].吉林农业大学学报,2017,39(1):74-81.
- [39] 闫滨,姜秀慧,钟占华,等.基于改进权重的综合水质标识指数法的大伙房水库上游水质评价研究[J].沈阳农业大学学报,2019,50(3):314-323.
- [40] 付天力,王立权,李铁男.基于组合赋权的黑龙江省省级示范河湖建设成效灰色评价研究[J].东北农业大学学报,2022,53(5):89-96.
- [41] JIA Y Z,SHEN J Q,WANG H,et al. Evaluation of the spatiotemporal variation of sustainable utilization of water resources: Case study from Henan Province (China)[J].Water,2018,10(5).DOI:10.3390/w10050554.
- [42] 李嘉伟,李晓宇,史亚东,等.基于田间性状和花部性状的茶用菊品系高产及适应性评价[J].南京农业大学学报,2022,45(1):37-46.
- [43] 李小娟,牛俊,佟玲,等.结合信息熵和模糊优选的种植结构优化模型[J].东北农业大学学报,2022,53(9):1-7,16.
- [44] 袁宏川,张玥,段跃芳.基于SD的水环境安全预警演变趋势分析[J].东北农业大学学报,2022,53(10):86-96.
- [45] HAN C Q,LU B B,ZHENG J H.Analysis and prediction of land resources' carrying capacity in 31 provinces of China from 2008 to 2016[J].Sustainability,2021,13(23).DOI:10.3390/su132313383.
- [46] 司伟,陈哲.保障中国粮食安全的多元目标、现实困境与机制构建[J].中州学刊,2023(10):30-38.
- [47] 袁世一,李干琼.基于熵权法的中国粮食安全评价及关键因素分析——以中部地区为例[J].江苏农业科学,2023,51(19):245-252.
- [48] 潘方杰,万庆,曾菊新,等.城镇化进程中湖北省“生产—生活—生态”空间冲突演化及其影响因素[J].经济地理,2023,43(2):80-92.
- [49] 孔祥斌,陈文广,党昱譞.中国耕地保护现状、挑战与转型[J].湖南师范大学社会科学学报,2023,52(5):31-41.
- [50] 王宏亮,高艺宁,郝晋珉.内蒙古自治区城市土地承载力与城镇化水平的协同关系分析[J].中国农业大学学报,2021,26(1):107-116.
- [51] 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.
- [52] 马历,唐宏,冉瑞平,等.四川水资源压力与耕地利用效益变化的格局及耦合关系[J].中国农业资源与区划,2019,40(11):9-19.

[责任编辑 李薇]