

基于 AHP-熵权法与 PSO 优化的 日光温室综合效益评价

成才龙¹, 何 斌^{1,2}, 毛 瑞¹, 高刘宝¹, 任心玥¹, 刘豪杰¹

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对日光温室缺少全面、科学的综合效益评价而限制了其可持续发展的问题, 基于日光温室的特性与评价指标体系的构建原则, 确立了日光温室综合效益评价体系。采用层次分析法(AHP)-熵权法初步确定各指标权重, 引入粒子群优化算法(PSO)以平衡经济、环境和社会效益的相对重要性, 从而确定最终的指标权重。在此基础上选取评价指标的隶属函数, 划分综合效益评价等级, 提出基于 AHP-熵权法的日光温室综合效益评价模型, 并以陕西省杨陵区某日光温室为调研对象进行实例分析, 结果表明, 该日光温室综合效益评价等级为良好, 尤其在经济效益和社会效益方面表现突出, 但环境效益仍有待加强, 验证了模型的实用性与科学性。

关键词: 日光温室; 综合效益; 粒子群优化算法(PSO); 层次分析法(AHP); 熵权法

中图分类号: S625

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2025)02-0127-07

Comprehensive Benefit Evaluation of Solar Greenhouse Based on AHP-entropy Weight Method and PSO Optimization

CHENG Cailong¹, HE Bin^{1,2}, MAO Rui¹, GAO Liubao¹, REN Xinyue¹, LIU Haojie¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education,

Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Due to the lack of a comprehensive and scientific evaluation of the comprehensive benefits of the sun greenhouse, which limits its sustainable development, based on the characteristics of solar greenhouses and the principles of constructing an evaluation index system, a comprehensive benefit evaluation system for solar greenhouses was established. The Analytic Hierarchy Process (AHP) and Entropy Weight Method were initially used to determine the weights of each index, and the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was introduced to quantify the relative importance of economic, environmental and social benefits, thereby determining the final index weights. On this basis, the membership functions of the evaluation indicators were selected, the comprehensive benefit evaluation grades were divided, and a comprehensive benefit evaluation model for solar greenhouses based on AHP-Entropy Weight Method was proposed, providing a reference for the construction and improvement of solar greenhouses. Taking a solar greenhouse in Yangling District, Shaanxi Province as the research object for case analysis, the results showed that the comprehensive benefit evaluation grade of this solar greenhouse was good, especially in terms of economic and social benefits, but the environmental benefits still needed to be strengthened, verifying the practicality and applicability of the model.

Keywords: solar greenhouse; comprehensive benefit; particle swarm optimization (PSO); analytic hierarchy process (AHP); entropy weight method

随着我国设施农业技术的不断进步与推广,日光温室作为一种兼具节能性与经济性的现代农业生产设施得到了广泛应用。然而,日光温室在快速发展的同时,也伴随着一系列深层次问题的暴露:资源配置不合理和运行管理粗放导致资源浪费、环境污染和社会效益不显著等现象普遍存在。因此,如何科学、系统、全面地开展日光温室综合效益评价,已经成为当前设施农业发展中的重要课题。

近年来,学者们对日光温室的综合效益进行了一定探讨。李阳等^[1]采用熵值法对不同休闲农业种植模式进行了综合效益测度;惠娜等^[2]结合因子分析与数据包络分析法(DEA),利用DEA的Banker-Charnes-Cooper-规模报酬不变假设下的基本模型(BCC-I)评估了不同种植模式下日光温室的综合效益;李东生等^[3]从获利能力、经营效率、资产利用效率等方面入手,构建了经济效益评价体系,包含8个经济效益指标,并通过修正的层次分析法确定了各指标的权重。这些研究在经济效益分析方面积累了较多成果,但仍存在以下问题:一是现有研究大多集中于经济效益的分析,缺乏对环境和社会效益的综合评价,难以全面反映日光温室的全生命周期综合效益;二是评价方法多采用单一的修正层次分析法^[4]、熵权法和因子分析法,权重设置主观性较强或依赖于数据离散性,容易造成评价结果失真和缺乏稳定性。

在此背景下,部分学者开始尝试将主观赋权与客观赋权相结合,构建多维融合型模型,提出了AHP-物元可拓法^[5-6]、AHP-熵权法^[7],熵权TOPSIS模型^[8]等综合评价方法。鉴于日光温室综合效

益指标体系结构复杂、定性与定量并存的特点,本文选用AHP与熵权法相结合的方式,同时引入粒子群优化算法(PSO)^[9-11]对确定的权重进行优化迭代。旨在通过合理的权重分配,探索最优的综合效益评价方式,构建出更为科学和全面的日光温室综合效益评价模型。

1 日光温室综合效益评价体系

1.1 日光温室综合效益评价体系遵循的原则^[12]

(1) 全面性原则。评价体系应全面考虑温室生产的各个方面,包括经济效益、社会效益和生态效益等。确保评价指标能够全面反映温室生产的综合效益。

(2) 科学性原则。评价体系需建立在科学理论与方法之上,从而保证评价结果具有较高的准确性和客观性。使用科学的统计和分析方法,如层次分析法、熵权法等,确保评价结果的可靠性。

(3) 可操作性原则。评价体系应具有可操作性,便于实际应用。指标的选择和数据的收集应尽可能简便易行,评价方法应易于理解和使用,以便能够在实际生产中广泛应用。

1.2 日光温室综合效益评价体系构建

依照综合效益评价体系搭建的准则,参考日光温室产业的有关规范和标准,从众多影响日光温室综合效益的因素当中,挑选出敏感度高、具备关键价值且便于分析计量的核心指标。借鉴类似指标规划方式和指标体系,针对杨凌区当地的日光温室开展全面、深入的调研。基于调研结果,将评价体系拆分为经济效益、环境效益和社会效益三个子目标,并作进一步细化,得到15个具体指标。如表1所示。

表 1 日光温室综合效益评价指标内涵

目标层	准则层	指标层	指标内涵
经济效益 (B1)	经济 效益	更高的单位面积产量(C11)	通过控制温度、湿度、光照等环境条件,能够显著提高农作物的生长速度和产量。
		市场价格优势(C12)	温室产品通常品质更高,外观更好,符合市场高标准需求。
		风险管理(C13)	温室能够抵御恶劣天气条件,如霜冻、暴雨等,提高农作物的生存率和产量稳定性。
日光温室 综合 效益 (A)	环境 效益 (B2)	延长供应周期(C14)	日光温室可以反季节种植,延长农产品的供应周期,满足市场对新鲜蔬果的全年需求。
		劳动力成本降低(C15)	现代化的温室可以配备自动化设备,减少人力需求,降低劳动力成本。
		节能效率(C21)	日光温室相对于传统种植方式或者其他非节能型温室,在能源消耗方面的节省程度。
社会效益 (B3)	社会 效益	碳排放减少(C22)	日光温室减少了对煤、石油等化石燃料的需求,从而降低了二氧化碳等温室气体的排放;增加植物种植面积,有助于增加碳吸收。
		土地利用效率(C23)	日光温室在土地资源利用方面的表现,包括单位面积的产出量和产值,土地的集约化利用情况。
		节水量(C24)	温室采用滴灌或微喷灌等技术,显著减少水资源浪费。
		环境友好型生产(C25)	温室内环境可控,病虫害发生率较低,可以减少农药和化肥的使用,减少对土壤和水体的污染。
		改善农村生活(C31)	高效生产带来更高经济收益,改善农民生活质量。
		产品质量的提升(C32)	温室种植环境可控,减少农药和化肥使用,生产更安全、更优质的农产品。
		相关产业的带动(C33)	高产促进加工产业发展,提高产品附加值。带动物流链、旅游业及农业设备等的发展。
		创造就业机会(C34)	温室生产需要专业技术人员,创造了更多就业机会。
		农业转型升级(C35)	提高农业现代化水平,带动周边农业技术升级。

2 确定指标权重

2.1 层次分析法初步确定指标权重

研究初步采用层次分析法 (analytic hierarchy process ,AHP)得到各级指标权重。首先构建如表 1 所示的层次结构模型,其次采用表 2 所示的 1—9 级判断尺度^[13]来两两比较同层指标之间的相对重要性,邀请 13 位相关从业人员及专家对评价指标进行重要性打分,综合分析相关资料和专家打分得到判断矩阵。

表 2 重要性程度尺度					
含义	同等重要	稍微重要	明显重要	强烈重要	极端重要
标度	1	3	5	7	9

为考察 AHP 计算结果的合理性,需进行一致性检验:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{1}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中:CR 为一致性比例,若 $CR < 0.1$,则认为判断矩阵一致性可以接受;CI 为判断矩阵的一致性指标;RI 为同阶随机一致性指标,其取值由试验统计规律所确定^[4-7,11],见表 3; $\lambda_{\max}$ 为最大特征根;n 为矩阵的阶数。

表 3 随机一致性指标 RI 的取值										
阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.000	0.580	0.110	0.900	1.120	1.240	1.320	1.410	1.450	1.490

利用 Excle 表格对评价指标权重进行计算,并完成一致性检验。得出如下计算结果:准则层特征向量 $C = (0.640,0.229,0.130)$, $CR = 0.061 < 0.10$; 指标层特征向量 $C1 = (0.287,0.174,0.073,0.299,0.167)$, $C2 = (0.213,0.184,0.256,0.145,0.202)$, $C3 = (0.180,0.130,0.175,0.117,0.399)$,CR 分别为 0.034、0.021、0.074,均小于 0.10,判断矩阵具有较好的一致性^[12]。

2.2 熵权法修正指标权重

熵权法依托评估方案所包含的既有信息,借助熵值法来计算各指标的信息熵。当信息熵数值处于较低水平时,信息的无序状态也会随之降低,信息所具备的实际效用就会显著增加,相应指标的权重也会明显增大。使用熵权法理论中的差异系数将 AHP 求得的主观权重进行纠正得出综合权重^[14-17],在一

定程度上克服了层次分析法主观赋权得局限性,使综合效益评价指标权重的确定过程更具科学性与合理性。

(1) 标准化判断矩阵

设评价指标原始判断矩阵为 $R_{n \times m} = (x_{ij})_{n \times m}$, 对该判断矩阵进行标准化,根据不同的指标类型采用不同的计算公式得到标准化判断矩阵 $B_{n \times m} = (b_{ij})_{n \times m}$ 。

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \tag{3}$$

(2) 计算信息熵

计算第 j 项指标信息熵 e_j :

$$e_j = -K \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \tag{4}$$

式中: $K = -\frac{1}{\ln(n)}$, $K > 0$; $e_j \geq 0$; $i, j = 1, 2, \dots, n$;

$$p_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}$$

(3) 计算信息权重

计算第 j 项指标信息权重 W_j :

$$W_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \tag{5}$$

2.3 综合权重计算

计算综合权重 W,用熵权法求得的信息权重 $W_{\text{熵权}}$,对采用层次分析法所确定的指标权重 W_{AHP} 进行修正^[13],公式如下:

$$W = \alpha W_{\text{AHP}} + (1 - \alpha) W_{\text{熵权}} \tag{6}$$

式中: α 为调节系数,取值范围为[0,1],用于平衡两种权重的影响,鉴于日光温室综合效益评价中经济指标需依赖数据客观量化,环境与社会效益需结合专家经验判断,且研究目标为实现主客观权重的等权融合、兼顾数据客观性与专家判断合理性,因此本文选择 0.5 作为调节系数。

综上,AHP-熵权法所确定的综合效益评价指标特征向量为: $C = (0.483,0.332,0.185)$, $C1 = (0.139,0.084,0.035,0.144,0.081)$, $C2 = (0.071,0.061,0.085,0.048,0.067)$, $C3 = (0.033,0.024,0.032,0.022,0.074)$ 。

2.4 基于粒子群优化算法 (PSO) 的指标权重优化

粒子群优化算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是一种基于群体智能的优化算法,相比于传统的依赖专家经验或简单加权平均的权重设定方法,

PSO 通过计算和迭代优化,能够自动调整权重组合,在多维度效益评价中找到最优方案,从而最大化综合效益分值^[9-11,18],在有效平衡经济、环境和社会效益相对重要性的同时,还能显著提高评价的精度和决策支持的科学性。

2.4.1 个体最优与全局最优的驱动

- (1) 个体最优位置(p_{best}):每个粒子会记住它自己在历史上发现的最优位置。这个位置是该粒子所能找到的最优解。
- (2) 全局最优位置(g_{best}):整个粒子群体中所有粒子发现的最优位置,这个位置代表了群体当前所能找到的全局最优解。

通过迭代,粒子在探索新解的过程中,会受到两个因素的驱动:一是向自己历史上最好的位置靠拢(追求个体最优),二是向整个群体找到的最佳位置靠拢(追求全局最优)。这两种驱动力使得粒子不断地向最优解方向移动。

2.4.2 速度和位置的更新机制

速度更新公式:
$$v_i(t+1) = W \cdot v_i(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{best,i} - x_i(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g_{best} - x_i(t)) \tag{7}$$
式中: $v_i(t+1)$ 是粒子 i 在第 $t+1$ 次迭代后的速度; W 是惯性权重,通常在 0.5 到 1 之间; c_1 和 c_2 是学习因子,通常在 1 到 2 之间; r_1 和 r_2 是介于 0 到 1 之间的随机数,用于引入随机性^[9-11]。

位置更新公式:
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \tag{8}$$
式中: $x_i(t+1)$ 是粒子 i 在第 $t+1$ 次迭代后的新位置(即新的权重组合); $x_i(t)$ 是粒子 i 在第 t 次迭代后的位置; $v_i(t+1)$ 是粒子 i 在第 $t+1$ 次迭代后的速度。

2.4.3 适应度函数的指导

适应度函数(Fitness Function)用来评估每个粒子当前解的优劣。PSO 通过适应度函数判断每个粒子当前所在位置(即权重组合)的好坏并通过多次迭代,粒子群不断调整自身的位置和速度,逐步提高适应度值,使得综合效益分值接近最大化。在本文中适应度函数为综合效益的计算结果,即:

$$F(W) = W_1 \cdot b_1 + W_2 \cdot b_2 + W_3 \cdot b_3 \tag{9}$$
式中: W_1 、 W_2 、 W_3 分别为经济效益、环境效益和社会效益的权重; b_1 、 b_2 、 b_3 分别为对应的效益值。

2.4.4 收敛到最优解

随着迭代次数增加,粒子的群体会逐渐收敛到最优解附近,个体最优和全局最优的差距缩小,粒子

群整体的解趋向一致。当所有粒子基本上都围绕全局最优位置时,算法停止,输出的全局最优位置(即最优权重组合)就是当前问题的最优解,即:

$$W^* = \arg \max F(W) \tag{10}$$

2.4.5 PSO 优化权重

定义粒子数量为 30,每个粒子的初始位置(即权重组合)通过随机生成,并确保权重总和为 1。每个粒子的初始速度也随机生成。当达到最大迭代次数(200 次)或全局最优位置在若干次迭代中不再显著变化时,迭代停止。最终计算得到的最优权重为 0.428、0.277 和 0.294,对应的综合效益值为 1.369。修正前后权重对比如图 1 所示。

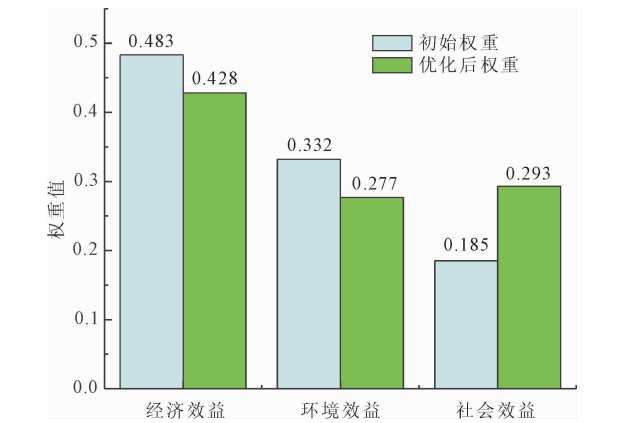


图 1 优化前后权重对比图

在 PSO 优化后,经济效益的权重从 0.483 减少到 0.428,显示出其相对重要性有所减弱。这一调整是为了更好地平衡其他两个效益指标的贡献。环境效益的权重从 0.332 减少到 0.278,尽管其重要性依然存在,但相对影响力有所降低。相反,社会效益的权重显著上升,从 0.185 增加到 0.294,这表明优化过程中,社会效益的贡献得到了更大的关注,说明其对综合效益的整体提升具有更大的影响力。

2.5 最终权重确定

通过层次分析法初步确定各指标的权重,利用熵权法修正层次分析法得到的权重,最后应用 PSO 算法进一步优化经济效益、环境效益和社会效益指标的权重,从而获得最终的权重值,如表 4 所示。

表 4 综合效益指标的最终权重									
指标	C1	C11	C12	C13	C14	C15	C2	C21	C22
权重	0.428	0.123	0.074	0.031	0.128	0.071	0.278	0.059	0.051
指标	C23	C25	C25	C3	C31	C32	C33	C34	C35
权重	0.070	0.041	0.056	0.294	0.053	0.038	0.051	0.034	0.117

3 日光温室综合效益评价模型

3.1 构建日光温室综合效益评价模型

基于 AHP-熵权法与 PSO 优化权重构建综合效益评价模型(见图 2)。结合所选日光温室案例的特性以及数据收集途径,筛选出最为适配待评价对象的隶属函数^[16-17,19]。

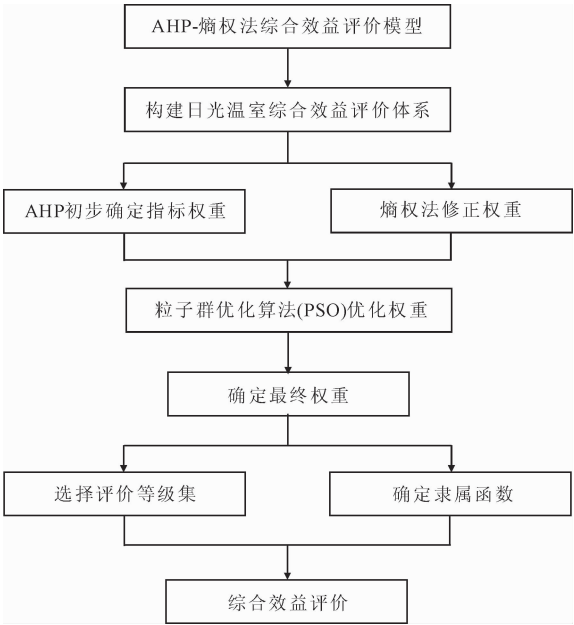


图 2 日光温室综合效益评价模型图

实际情况中,各评价指标权重一般不会全然归属于某一个评价等级,而且各指标隶属于不同评语等级的程度也存在差异。为有效确定评价指标的隶属度,同时简化计算流程,采用 S 型隶属度函数进行计算。

$$S(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 2(\frac{x-a}{c-a})^2 & a < x \leq \frac{a+c}{2} \\ 1 - 2(\frac{x-c}{c-a})^2 & \frac{a+c}{2} < x \leq c \\ 1 & x > c \end{cases} \quad (11)$$

式中: $S(x)$ 表示隶属度; x 是输入变量; a 和 c 是参数,用于确定隶属函数的起始和结束位置。

根据实际情况和专家意见采用分级法划分 4 个等级,即优秀(0.8,1)、良好(0.5,0.9)、中等(0.3,0.7)、较差(0.2,0.5),区间之间存在的交集可以提高模型灵活性以及增强系统鲁棒性。其 S 型隶属度函数如下:

$$S_{\text{优秀}} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.85 \\ 2(\frac{x-0.8}{1-0.8})^2 & 0.8 < x \leq 0.9 \\ 1 - 2(\frac{1-x}{1-0.8})^2 & 0.9 < x \leq 1 \\ 1 & x > 1 \end{cases} \quad (12)$$

$$S_{\text{良好}} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ 2(\frac{x-0.5}{0.9-0.5})^2 & 0.5 < x \leq 0.7 \\ 1 - 2(\frac{0.9-x}{0.9-0.5})^2 & 0.7 < x \leq 0.9 \\ 0 & x > 0.9 \end{cases} \quad (13)$$

$$S_{\text{中等}} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.3 \\ 2(\frac{x-0.3}{0.7-0.3})^2 & 0.3 < x \leq 0.5 \\ 1 - 2(\frac{0.7-x}{0.7-0.3})^2 & 0.5 < x \leq 0.7 \\ 0 & x > 0.7 \end{cases} \quad (14)$$

$$S_{\text{较差}} = \begin{cases} 1 & x \leq 0.2 \\ 2(\frac{x-0.2}{0.5-0.2})^2 & 0.2 < x \leq 0.35 \\ 1 - 2(\frac{0.5-x}{0.5-0.2})^2 & 0.35 < x \leq 0.5 \\ 0 & x > 0.5 \end{cases} \quad (15)$$

3.2 日光温室综合效益评价等级划分

鉴于日光温室综合效益评价模型具备地域适配性,结合政策文件 and 市场需求综合考量,本文所确定的评价等级论域(v)为^[20-21]:

$$v = \{ \text{优秀 I, 良好 II, 中等 III, 较差 IV} \}$$

4 实例分析

4.1 项目概况

本文选取位于杨凌示范区某日光温室进行综合效益评价。该温室为 SR-2 型日光温室,长度 93 m,跨度 10.72 m,温室顶高 5.2 m,后墙高 3.95 m,其有效使用面积约为 70%。温室种植品种为反季樱桃桃,投入约为 15 万元/667m²,棚栽 20 棵,棚产值 19 万元。温室采用主动蓄热原理,利用装配在温室后墙和地面上的风机与管道实现立体循环主动蓄热和放热功能,较传统温室温度提高 4℃~6℃,降低相对湿度 7%~10%,碳排放减少约 0.082 kg/m²/d。同时采用物联网监测系统,能有效控制水肥,肥料节省 24.8%,灌溉用水节省 0.23 m³/m²,节约用水 35.6%,最大限度优化温度、湿度和光照条件。

4.2 综合效益评价

由日光温室的现有数据以及专家多轮评判计算

得到定性与定量指标量化后的取值,且各指标的取值范围为(0,1]^[5-7],待评价模型如下式所示:

$$B = (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35})^T = (0.82, 0.94, 0.87, 0.85, 0.78, 0.56, 0.73, 0.53, 0.67, 0.75, 0.84, 0.82, 0.71, 0.67, 0.93)^T \quad (16)$$

代入 S 型隶属度函数得到各指标隶属度为:

$$S = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.968 & 0.000 & 0.000 \\ 0.964 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.049 & 0.995 & 0.000 & 0.000 \\ 0.025 & 0.987 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.928 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.018 & 0.902 & 0.000 \\ 0.000 & 0.639 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.005 & 0.856 & 0.000 \\ 0.008 & 0.145 & 0.989 & 0.000 \\ 0.000 & 0.888 & 0.000 & 0.000 \\ 0.016 & 0.982 & 0.000 & 0.000 \\ 0.004 & 0.968 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.820 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.144 & 0.956 & 0.000 \\ 0.951 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} \quad (17)$$

计算得到准则层综合评价为:

$$B = \begin{bmatrix} 0.077 & 0.342 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.101 & 0.154 & 0.000 \\ 0.112 & 0.136 & 0.034 & 0.000 \end{bmatrix} \quad (18)$$

同理,该日光温室综合效益评价为:

$$A = [0.066 \quad 0.214 \quad 0.053 \quad 0.000] \quad (19)$$

通过建立的日光温室综合效益综合评价模型进行多层次综合评价,该日光温室综合效益隶属于“优秀”、“良好”、“中等”、“较差”的程度分别为 0.066、0.214、0.053 和 0.000。按照最大隶属度原则判定,综合效益的评价等级为Ⅱ级(良好)。在具体评估中,经济效益隶属于“优秀”的程度为 0.077,“良好”的程度为 0.342,“中等”和“较差”的程度均为 0.000,最终其评价等级为Ⅱ级良好。同样,环境效益的评价等级为Ⅲ级中等,而社会效益的评价等级为Ⅱ级良好,且呈现出较强向“优秀”发展的趋势。各项效益的综合评价等级对比如图 3 所示。

5 结 论

本文综合运用查阅文献、实地考察以及专家评估等多种方法,筛选出具有普遍性、可度量性,且能够充分体现杨凌区日光温室主要特点的指标。从经

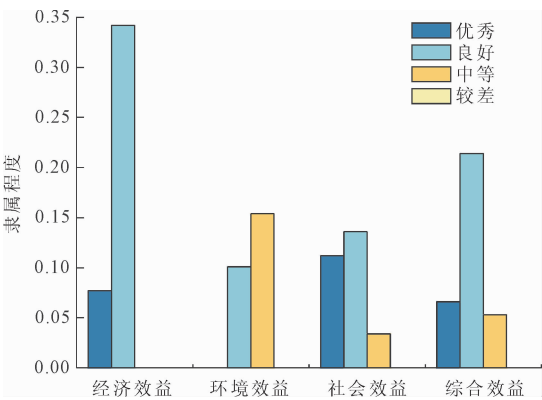


图 3 经济、环境、社会及综合效益的评价等级分析对比图

济效益、环境效益和社会效益三个方面出发,建立了日光温室综合效益指标体系。并引入粒子群优化算法(PSO)结合 AHP-熵权法建立了一个客观、科学的模糊综合效益评价模型,并对杨凌某日光温室进行了综合效益评价。评价结果表明,该日光温室具有良好的综合效益,尤其在经济效益和社会效益方面表现显著,但环境效益仍需加强。该结果与实际应用状况相契合,证实了模型在理论构架上的科学性以及在实操中的实用性,有助于在日光温室综合效益分析与评价中开展更深入、更精准的研究与应用。

在日光温室综合效益评价体系中,确定与实际使用情况相契合的评价指标及其权重是进行综合效益评价的核心要素。日光温室因所处地域不同,其气候条件、土壤特性、资源等存在显著差异;同时,种植种类的多样性也会使生长周期、市场需求等方面表现出各自特点。因此评价指标应基于不同温室的具体情况,进行适当调整,以提高模型的适用性。此外,粒子群优化算法(PSO)在本研究中仅用于准则层的权重优化,尚未涉及指标层的优化,是否需要指标层进行优化仍需进一步研究。

参考文献:

[1] 李 阳,张瑞芳,王 红,等.日光温室休闲农业种植模式综合效益评价[J].北方园艺,2018(18):193-198.
[2] 惠 娜,丁为民,李 洁,等.基于因子分析和 DEA 方法的日光温室不同种植模式综合效益评价[J].浙江农业学报,2014(6):1641-1646.
[3] 李冬生,李萍萍.基于修正层次分析法的温室经济效益综合评价方法及其应用研究[J].江苏农业科学,2009(6):447-450.
[4] 徐 伟,宋亚丽.基于模糊层次分析法的光伏建筑综合效益评价[J].太阳能学报,2018,39(2):544-549.
[5] 徐 婧,刘伊生.基于 AHP-物元可拓法的装配式建筑

综合效益评价[J]. 建筑经济,2020,41(8):98-102.

[6] 李玲燕,顾昊. 基于 AHM-可拓评价模型的老旧小区绿色改造综合效益评价研究[J]. 生态经济,2021,37(3):95-100,160.

[7] 赵思勃,赵晨羽,姜妮,等. 基于 AHP-熵权法的滇池环湖湿地效益评估研究[J]. 环境科学学报,2024,44(4):411-420.

[8] 高玉琴,陈佳慧,王冬冬,等. 海绵城市低影响开发措施综合效益评价体系及应用[J]. 水资源保护,2021,37(3):13-19.

[9] 马立新,宋晨灿,豆晨飞,等. 基于 PSO-SVM 算法的机床能效评价方法[J]. 控制工程,2021,28(2):200-206.

[10] 冀宁远,杨侃,陈静,等. 基于 IABC-PSO 算法的区域水资源优化配置模型研究[J]. 人民长江,2021,52(6):49-57,87.

[11] 刘伟,张海燕,时婧,等. 改进 PSO 与 AHP 算法优化配置分布式电源网络[J]. 系统仿真学报,2013(12):3057-3063.

[12] 夏翔,方建亮,谢颖捷,等. 基于层次分析与灰色模糊综合评价的多能互补工程项目综合效益评估[J]. 济南大学学报(自然科学版),2020,34(1):76-84.

[13] 梁海峰,刘子嫣. 基于 AHP-熵权法-模糊综合分析的智能配电网综合效益评估[J]. 华北电力大学学报(自然科学版),2023,50(1):48-55.

[14] 刘瑞,鲍学英. 基于熵值修正的 G2 法的绿色施工节水措施效益综合评价[J]. 水资源与水工程学报,2020,31(3):169-174,179.

[15] 董福贵,张也,尚美美. 分布式能源系统多指标综合评价研究[J]. 中国电机工程学报,2016,36(12):3214-3223.

[16] 邓健,王壮壮,袁在忍,等. 基于物元可拓模型的光伏发电综合效益评价研究[J]. 电网与清洁能源,2015(11):117-125.

[17] 朱斌,任大师. 创新驱动视域下科技发展能力的多指标可拓综合评价——以福州市为例[J]. 科技管理研究,2017(17):85-92.

[18] 陈乔松,郭俊平,梁红兵,等. 基于改进 AHP-PSO 的三模盾构掘进模式地质适应性研究[J]. 科学技术与工程,2023,23(36):15673-15681.

[19] 张代俐,汪廷华,朱兴淋. 基于模糊隶属度函数的 SVM 样本约简算法[J]. 山西大学学报(自然科学版),2024,47(1):18-29.

[20] 王瑜,李勇. 基于模糊综合评价的 HOV 车道综合效益分析[J]. 公路交通科技,2020,37(9):148-158.

[21] 杨宁,张荣标,张永春,等. 基于微生物生态效益的土壤肥力综合评价模型[J]. 农业机械学报,2013(5):108-112.



(上接第 112 页)

[20] Berardino P, Fornaro G, Lanari R, et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(11):2375-2383.

[21] 杨正荣,喜文飞,史正涛,等. 基于 SBAS-InSAR 技术的白鹤滩水电站库岸潜在滑坡变形分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2022,33(5):83-92.

[22] Huang Huina, Zhang Xiaobo, Li Zongren, et al. Stability evaluation at Xishan Loess landslide using InSAR technique applying ascending and descending SAR data [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2021,15(3):034519.

[23] 石固林,陈强,刘先文,等. 联合升降轨 Sentinel-1A 数据监测桃坪乡古滑坡沿坡向的形变速度场[J]. 工程地质学报,2022,30(4):1350-1361.