

文章编号: 1007-4929(2018)09-00102-06

基于组合赋权灰色关联 TOPSIS 的 节水灌溉效益评价

陕振沛^{1,2}, 宁宝权¹, 郭亚丹¹

(1.六盘水师范学院数学与信息工程学院, 贵州 六盘水 553004; 2.厦门大学信息科学与技术学院 福建 厦门 361005)

摘要: 在总结现有研究与评价方法的基础上,建立了节水灌溉综合效益评价指标体系。通过群决策相对熵集结模型确定指标的主客观权重,改进熵值法确定指标的客观权重,然后将两者组合最终求得评价指标的权重。对 TOPSIS 方法与灰色关联决策方法分别作改进,通过引入一个考虑决策者偏好的新的相对贴近度度量方式,对二者有机地结合;构建了基于组合赋权的改进 TOPSIS-灰色关联决策模型,并将此模型方法应用在某一地区节水灌溉效益评价的实际问题中,最终得出的评价结果基本与实际情况保持一致,进而验证了本模型与方法的可行性与有效性。

关键词: 节水灌溉效益; 组合权重; TOPSIS 方法; 灰色关联; 理想解

中图分类号: S27; [TV93]; N945.16; C934 **文献标识码:** A

Benefit Evaluation of Water Saving Irrigation Based on Combination Weight Grey Relation TOPSIS Method

SHAN Zhen-pei^{1,2}, NING Bao-quan¹, GUO Ya-dan¹

(1.School of Mathematics and Information Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui 553004, Guizhou Province, China;

2.School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China)

Abstract: In this study, based on a summary of existing research and evaluation methods, the comprehensive benefit evaluation index system of water-saving irrigation is established. The subjective weight of the indicators is determined by the relative entropy aggregation model of group decision making, improved entropy method is used to determine the objective weight of indicators. Then the two weights are combined to finally obtain the weight of the evaluation index. Through improving the TOPSIS method and the grey correlation decision method and introducing a new relative closeness measure that considers the preferences of decision makers, the two are organically combined. In the end, an improved TOPSIS-grey association decision model based on combined weighting is constructed and applied to practical problems of water-saving irrigation benefit evaluation in a certain area. The final result is basically consistent with the actual result. The feasibility and validity of the model and method are verified.

Key words: water saving irrigation benefits; combined weight; TOPSIS method; Grey relation; ideal solution

我国是一个干旱缺水严重的国家,水资源极度匮乏,然而,我国又是世界上用水量最多的国家。目前,我国农业用水量占总用水量的 63%,其中,灌溉用水量占农业用水量的 90%以

上^[1];因此,如何在有限水资源条件下,实现灌区高效用水,如何对节水灌溉效益进行科学合理的评价成为专家学者研究的热点。通过梳理文献和资料发现我国目前对节水灌溉效益进

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字 LKLS[2013]32 号,黔科合 LH 字[2015]7618 号);贵州省教育厅高校自然科学研究项目(黔教合 KY 字[2016]271 号,黔孝合 KY 字[2016]103 号,黔教合 KY 字[2017]260 号);贵州省高等学校教学质量与教学改革项目(GZSJG10977201608, GZSJG10977201603, GZSJG10977201508);六盘水师范学院自然科学科研项目(LPSSY201502, LPSSY201605);六盘水师范学院大学生项目(LPSSYDXS1602, LPSSYDXS17036, LPSSYDXS17037);六盘水师范学院重点学科项目(LPSSYZDPYXK201709);贵州省大学生创新创业训练计划项目(201710977029);六盘水师范学院科技创新团队项目(LPSSYKJTD201702);贵州省教育厅高校人文社会科学研究项目(2016gh03)。

作者简介: 陕振沛(1984-),男,副教授,博士研究生,研究方向为计算智能、系统评价及决策分析。E-mail: shan091740343@163.com。

行评价的研究方法主要有:尤敏,吴凤平,沈俊源针对节水灌溉效益评估中定性与定量指标不相容以及评价过程过度依赖主观判断的问题,借助动态可拓赋权并结合改进后的 TOPSIS 法增加客观性,开展了节水灌溉效益评估模型构建和实证分析^[2]。张晓琳,霍再林,佟玲采用模糊综合评判法对多种作物的畦灌、沟灌、全膜垄作和膜下滴灌等灌溉方式产生的灌溉效益进行评价,以期获得高效的节水灌溉方式^[3]。杜发兴,戈春华,吴贺林提出基于改进模糊综合评价模型,通过指定的权向量矩阵隶属度相乘可以得出某个评价对象从整体对评价等级的隶属度,将其应用于宜昌东风渠灌区中的枝江地区乡镇节水灌溉效益的评价^[4]。阳眉剑,吴深,于赢东等针对我国节水灌溉目前面临的理论及技术问题,通过总结节水灌溉内涵及主要措施,综合比较各节水灌溉评价方法,分析了当前综合评价指标体系,梳理了国内外节水灌溉评价的发展历程,并对未来研究发展方向进行了展望^[5]。肖俊龙,刘永强,田浪等建立基于熵权的物元可拓模型对灌区节水灌溉综合效益进行评价^[6]。经过对比分析发现,当前对节水灌溉效益评价的研究都不同程度地存在一些问题,主要集中在以下 4 个方面:节水灌溉综合效益评价指标选取的不合理,指标体系建立的不够科学;求取评价指标权重时采取单一的主观或客观赋权法;对评价指标进行赋权,即使采用了组合赋权,但方法使用不合理,而没有达到预期效果;评价方法及理论缺乏创新,单一偏向于方法的简单组合叠加。本文在总结现有研究与评价方法的基础上,建立了节水灌溉综合效益评价指标体系。通过群决策相对熵集结模型确定指标的主观权重,改进熵值法确定指标的客观权重,然后将两者组合最终求得评价指标的权重。对 TOPSIS 方法与灰色关联决策方法分别作改进,通过引入一个考虑决策者偏好的新的相对贴进度度量方式,对二者有机地结合;构建了基于组合赋权的改进 TOPSIS-灰色关联决策模型,并将此模型方法应用在某一地区节水灌溉效益评价的实际问题中,最终得出的评价结果基本与实际情况保持一致。

1 评价指标体系的建立及评价标准

为使建立的节水灌溉综合效益评价指标体系科学、完整和合理,通过查阅大量文献资料 and 实际调研,根据科学性、整体性、代表性、可行性和可比性的原则,从经济层面、资源层面、技术层面、社会层面和环境层面 5 个方面进行考虑,重点选取与节水灌溉效益密切相关的灌溉水利用系数、有效利用面积比率、水循环良性情况等 15 项最具代表性的指标进行研究,建立了区域节水灌溉综合效益评价指标体系,如表 1 所示。

2 改进的 TOPSIS-灰色关联决策模型

2.1 基本假设及指标预处理

假设有 m 个灌区,每个灌区包含 n 个评价指标,则可以建立决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ (x_{ij} 为第 i 个灌区第 j 指标下的原始数据 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) w_j 为指标权重,且完全未知, $w_j \in [0, 1]$ 且 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

由于各个指标属于不同的数量级,没有统一的度量标准,

表 1 区域节水灌溉综合效益评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标单位	指标属性
经济层面 B_1		有效利用面积比率 C_1	百分比	效益型
		工程内部收益率 C_2	1 分制	效益型
		工程效益费用比率 C_3	5 分制	效益型
资源层面 B_2		经济能力 C_4	10 分制	效益型
		节工程度 C_5	百分比	效益型
技术层面 B_3		省地程度 C_6	百分比	效益型
		工程施工的难易程度 C_7	1 分制	成本型
		灌溉水利用系数 C_8	1 分制	效益型
社会层面 B_4		节水灌溉工程安全可靠程度 C_9	10 分制	效益型
		农业社会增产量 C_{10}	百分比	效益型
		改善农业种植工艺状况 C_{11}	10 分制	效益型
环境层面 B_5		符合农业社会经营和发展状况 C_{12}	10 分制	效益型
		土壤流失状况 C_{13}	10 分制	成本型
		工程对农田系统的适宜度 C_{14}	10 分制	效益型
		水循环良性情况 C_{15}	10 分制	效益型

因此,需要对原始数据 $x_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 进行标准化处理,使之无量纲化和归一化。

对越大越优效益型指标,其标准化公式为^[7]:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}} \quad (1)$$

对越小越优成本型指标,其标准化公式为^[7]:

$$y_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}} \quad (2)$$

对适中型指标,其标准化公式为^[8]:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{x_j - x_{ij}}{\max [x_j - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}), \max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - x_j]} & x_{ij} < x_j \\ 1 - \frac{x_{ij} - x_j}{\max [x_j - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}), \max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - x_j]} & x_j < x_{ij} \\ 1 & x_{ij} = x_j \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}$ 和 $\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij}$ 分别为第 j 个指标的最小值和最大值; x_j 为第 j 个指标的理想值。

一般情况下,对原始数据作标准化处理时,多选用公式 (1) 和 (2)。由公式 (1) ~ (3) 可得规范化决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ (y_{ij} 为第 i 个灌区第 j 指标下的规范化数据 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。

2.2 熵权-GEM 组合权重模型

指标的权重是综合评价的重要信息,它是由评价因子的社会价值、决策者的管理目的、评价者的个人知识等多种因素决定的。如何确定权重系数是决策和综合评价中的核心问题,也是令人头疼的问题。目前,权重系数的确定方法分为主观赋权法、客观赋权法和基于两者组合的综合集成赋权法三大类,每大类方法中又有很多方法。本文选取主观赋权法和客观赋权法中具有代表性的群决策相对熵集结模型与熵值法,然后两者综合集成进而确定评价指标的权重。

2.2.1 改进熵权法求指标的客观权重

熵权法也称熵值法,它是根据指标数据本身来确定指标权重的客观赋权方法。传统的熵权法存在一定的弊端,如: $r_{ij} = 0$, $r_{ij} \ln(r_{ij}) = 0$ 的特殊约定,同时,当 $r_{ij} = 0$ 和 $r_{ij} = 1$ 时 $r_{ij} \ln(r_{ij}) = 0$,这不管在理论方面还是在现实问题中,这个假设显然是不合理的^[9]。为了克服熵权法特殊约定的局限性和弊端,本文对其进行改进,此方法的具体计算步骤如下。

(1) 计算第 j 个指标的信息熵^[10]

$$e_j = -t \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} + 0.1}{\sum_{i=1}^m (y_{ij} + 0.1)} \quad (5)$$

$$t = \frac{1}{\ln(m)} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

(2) 计算第 j 个指标的差异系数:

$$g_j = 1 - e_j \quad (7)$$

(3) 确定第 j 个指标的权重:

$$\beta_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (8)$$

2.2.2 群决策相对熵集结方法求指标的主观权重

群决策相对熵集结模型是对多个目标进行评判决策的主观权重赋权方法^[11]。此方法简化了操作步骤并克服了群决策特征根法的不足。具体计算步骤如下。

(1) 给出群组决策矩阵 $H = (h_{ij})_{m \times n}$ (h_{ij} 为第 i 个专家对第 j 个被评目标的评分值,评分标准通常取 10 分制 $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$)。

(2) 将群组决策矩阵 $H = (h_{ij})_{m \times n}$ 转化为规范化决策矩阵 $K = (k_{ij})_{m \times n}$,转化方法如下:

$$k_{ij} = h_{ij} / \sum_{j=1}^n h_{ij} \quad (9)$$

(3) 根据如下公式求得群偏好向量 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)^T$ 。

$$\alpha_j = \prod_{i=1}^m (k_{ij})^{\lambda_j} / \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^m (k_{ij})^{\lambda_j} \quad (10)$$

式中: λ_j 为专家 S_j 的决策权重。

$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)^T$ 即为各灌区评价指标的主观权重。

2.2.3 组合权重的确定

主客观权重两者进行组合,只有当它们各自的权重都取最大值时,得到的组合权重才最大^[11]。因此,将第 i 个灌区第 j 个指标的组合权重 w_j 定义为:

$$w_j = \alpha_j \beta_j / \sum_{j=1}^n \alpha_j \beta_j \quad (11)$$

式中: α_j 为群决策相对熵集结模型确定的指标的主观权重; β_j 为改进熵权法确定的指标的客观权重。

2.3 改进 TOPSIS-灰色关联决策方法

将用熵权-GEM 组合权重模型求得的评价指标集的权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 乘以规范化决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ 的每一列得到加权的规范化决策矩阵。

$$Z = (z_{ij})_{m \times n} = (w_j y_{ij})_{m \times n} \quad (12)$$

确定待评估灌区各个指标的正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- , 其计算公式为:

$$z_0^+ = \max_{1 \leq i \leq m} z_i(j) = [z_0^+(1), z_0^+(2), \dots, z_0^+(n)] \quad (13)$$

$$z_0^- = \min_{1 \leq i \leq m} z_i(j) = [z_0^-(1), z_0^-(2), \dots, z_0^-(n)] \quad (14)$$

式中: $z_i(j)$ 为各待评估灌区的 z_{ij} 值。

分别计算第 i 个灌区第 j 个指标同正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的灰色关联系数^[12]:

$$s_{ij}^+ = \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |z_0^+(j) - z_i(j)| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |z_0^+(j) - z_i(j)|}{|z_0^+(j) - z_i(j)| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |z_0^+(j) - z_i(j)|} \quad (15)$$

$$s_{ij}^- = \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |z_0^-(j) - z_i(j)| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |z_0^-(j) - z_i(j)|}{|z_0^-(j) - z_i(j)| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |z_0^-(j) - z_i(j)|} \quad (16)$$

式中: ρ 称为分辨系数 $\rho \in [0, 1]$,一般取 $\rho = 0.5$ 。

则第 i 个灌区第 j 个指标同正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的加权灰色关联度为^[12]:

$$\gamma_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}^+ \quad (17)$$

$$\gamma_i^- = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}^- \quad (18)$$

同传统的 TOPSIS 模型相比,改进的 TOPSIS 模型主要是对待评价对象与最优解和最劣解的评价公式进行了改进^[13]。分别计算第 i 个灌区第 j 个指标同正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的欧式距离,计算公式如下:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [z_i(j) - z_0^+(j)]^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (19)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [z_i(j) - z_0^-(j)]^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (20)$$

分别对 γ_i^+ 、 γ_i^- 、 d_i^+ 和 d_i^- 进行规范化处理,规范化计算公式如下^[14]:

$$C_i^+ = \frac{\gamma_i^+}{\max \gamma_i^+}, C_i^- = \frac{\gamma_i^-}{\max \gamma_i^-}, D_i^+ = \frac{d_i^+}{\max d_i^+}, D_i^- = \frac{d_i^-}{\max d_i^-} \quad (21)$$

计算各待评估灌区的相对贴近度,其计算公式为:

$$E_i = \frac{\mu D_i^- + (1 - \mu) C_i^+}{\mu (D_i^- + D_i^+) + (1 - \mu) (C_i^+ + C_i^-)} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (22)$$

式中: $\mu \in (0, 1]$ 它反映决策者对灌区位置形状的偏好程度,一般情况下,取 $\mu = 0.5$ 。

根据待评估灌区的相对贴近度 E_i 的大小,对其排序并进行优选, E_i 越大说明该灌区节水灌溉效益越高,最大者为最优。

3 实例分析

下面以文献[4]中宜昌市东风渠灌区中的枝江市乡镇为例,选取 9 个不同的灌溉乡镇作为研究对象,评价指标为本文构建的区域节水灌溉综合效益评价指标体系中的指标,原始数据如表 2 所示。

表 2 枝江市乡镇节水灌溉效益指标原始数据表

指标代码	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
$C_1 / \%$	65.16	51.23	85.34	31.08	40.59	49.56	36.78	34.89	45.92
C_2	0.126	0.115	0.139	0.147	0.127	0.116	0.138	0.115	0.134
C_3	2.13	1.69	1.78	1.65	1.89	1.92	2.04	1.73	1.95
C_4	6	5	7	6	9	6	5	6	5
$C_5 / \%$	20	16	35	29	36	17	22	31	38
$C_6 / \%$	10.0	9.0	8.7	6.3	5.4	6.1	5.7	4.6	3.12
C_7	0.50	0.80	0.50	0.50	0.75	0.80	0.85	0.81	0.79
C_8	0.49	0.46	0.51	0.50	0.46	0.41	0.43	0.42	0.45
C_9	9	8	7	7	8	9	6	5	6
$C_{10} / \%$	26	17	27	25	13	19	26	14	21
C_{11}	8	5	6	7	5	6	8	7	4
C_{12}	6	7	5	6	7	8	7	6	8
C_{13}	5.2	4.6	3.7	5.9	5.5	3.1	4.0	3.0	2.0
C_{14}	8.5	7.1	8.6	7.9	7.6	7.2	7.3	7.1	7.5
C_{15}	8	7	5	6	7	8	6	7	9

根据公式(1)和(2)对枝江市各乡镇节水灌溉效益指标原始数据进行标准化处理 标准化结果如表3所示。

表 3 枝江市乡镇节水灌溉效益指标标准化后的数据

指标代码	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
C_1	0.628 1	0.371 4	1.000 0	0	0.175 3	0.340 6	0.105 1	0.070 2	0.273 5
C_2	0.343 8	0	0.750 0	1.000 0	0.375 0	0.031 3	0.718 8	0	0.593 8
C_3	1.000 0	0.833 3	0.270 8	0	0.500 0	0.562 5	0.812 5	0.166 7	0.625 0
C_4	0.25	0	0.50	0.25	1.00	0.25	0	0.25	0
C_5	0.181 8	0	0.863 6	0.590 9	0.909 1	0.045 5	0.272 7	0.681 8	1.000 0
C_6	1.000 0	0.854 7	0.811 0	0.462 2	0.331 4	0.433 1	0.375 0	0.215 1	0
C_7	1.000 0	0.142 9	1.000 0	1.000 0	0.285 7	0.142 9	0	0.114 3	0.171 4
C_8	0.8	0.5	1.0	0.9	0.5	0	0.2	0.1	0.4
C_9	1.00	0.75	0.50	0.50	0.75	1.00	0.25	0	0.25
C_{10}	0.928 6	0.285 7	1.000 0	0.857 1	0	0.428 6	0.928 6	0.071 4	0.571 4
C_{11}	1.00	0.25	0.50	0.75	0.25	0.50	1.00	0.75	0
C_{12}	0.333 3	0.666 7	0	0.333 3	0.666 7	1.000 0	0.666 7	0.333 3	1.000 0
C_{13}	0.179 5	0.333 3	0.564 1	0	0.102 6	0.717 9	0.487 2	0.743 6	1.000 0
C_{14}	0.933 3	0	1.000 0	0.533 3	0.333 3	0.066 7	0.133 3	0	0.266 7
C_{15}	0.75	0.50	0	0.25	0.50	0.75	0.25	0.50	1.00

根据改进熵权法公式(4)~(8)求各评价指标的客观权重,计算结果为:

$$\beta = (0.075\ 5\ 0.084\ 7\ 0.049\ 5\ 0.096\ 1\ 0.071\ 6,\ 0.049\ 5\ 0.1\ 0.061\ 4\ 0.049\ 5\ 0.061\ 6\ 0.049\ 5\ 0.045\ 2,\ 0.0595\ 0.101\ 7\ 0.044\ 9)^T$$

根据群决策相对熵集结模型公式(9)和(10)求得各评价指标的主观权重为:

$$\alpha = (0.064\ 9\ 0.083\ 1\ 0.047\ 6\ 0.087\ 8\ 0.075\ 2\ 0.055\ 0,$$

$$0.087\ 2\ 0.068\ 5\ 0.047\ 7\ 0.065\ 9\ 0.067\ 3\ 0.048\ 2,\ 0.055\ 2\ 0.098\ 5\ 0.048\ 0)^T$$

在求得各评价指标的主客观权重后 根据公式(11)可求得各评价指标的组合权重:

$$W = (0.068\ 9\ 0.098\ 9\ 0.033\ 1\ 0.118\ 6\ 0.075\ 7\ 0.038\ 3,\ 0.122\ 6\ 0.059\ 1\ 0.033\ 2\ 0.057\ 1\ 0.046\ 8\ 0.030\ 6,\ 0.046\ 2\ 0.140\ 8\ 0.030\ 3)^T$$

根据公式(12)可求得加权的规范化决策矩阵:

$$Z = \begin{pmatrix} 0.043\ 3 & 0.025\ 6 & 0.068\ 9 & 0 & 0.012\ 1 & 0.023\ 5 & 0.007\ 2 & 0.004\ 8 & 0.018\ 8 \\ 0.034\ 0 & 0 & 0.074\ 2 & 0.098\ 9 & 0.037\ 1 & 0.003\ 1 & 0.071\ 1 & 0 & 0.058\ 7 \\ 0.033\ 1 & 0.027\ 6 & 0.009\ 0 & 0 & 0.016\ 6 & 0.018\ 6 & 0.026\ 9 & 0.005\ 5 & 0.020\ 7 \\ 0.029\ 7 & 0 & 0.059\ 3 & 0.029\ 7 & 0.118\ 6 & 0.029\ 7 & 0 & 0.029\ 7 & 0 \\ 0.013\ 8 & 0 & 0.065\ 4 & 0.044\ 7 & 0.068\ 8 & 0.003\ 4 & 0.020\ 6 & 0.051\ 6 & 0.075\ 7 \\ 0.038\ 3 & 0.032\ 7 & 0.031\ 1 & 0.017\ 7 & 0.012\ 7 & 0.016\ 6 & 0.014\ 4 & 0.008\ 2 & 0 \\ 0.122\ 6 & 0.017\ 5 & 0.122\ 6 & 0.122\ 6 & 0.035\ 0 & 0.017\ 5 & 0 & 0.014\ 0 & 0.021\ 0 \\ 0.047\ 3 & 0.029\ 6 & 0.059\ 1 & 0.053\ 2 & 0.029\ 6 & 0 & 0.011\ 8 & 0.005\ 9 & 0.023\ 6 \\ 0.033\ 2 & 0.024\ 9 & 0.016\ 6 & 0.016\ 6 & 0.024\ 9 & 0.033\ 2 & 0.008\ 3 & 0 & 0.008\ 3 \\ 0.053\ 0 & 0.016\ 3 & 0.057\ 1 & 0.048\ 9 & 0 & 0.024\ 5 & 0.053\ 0 & 0.004\ 1 & 0.032\ 6 \\ 0.046\ 8 & 0.011\ 7 & 0.023\ 4 & 0.035\ 1 & 0.011\ 7 & 0.023\ 4 & 0.046\ 8 & 0.0351 & 0 \\ 0.010\ 2 & 0.020\ 4 & 0 & 0.010\ 2 & 0.020\ 4 & 0.030\ 6 & 0.020\ 4 & 0.010\ 2 & 0.030\ 6 \\ 0.008\ 3 & 0.015\ 4 & 0.026\ 1 & 0 & 0.004\ 7 & 0.033\ 2 & 0.022\ 5 & 0.034\ 4 & 0.046\ 2 \\ 0.131\ 4 & 0 & 0.140\ 8 & 0.075\ 1 & 0.046\ 9 & 0.009\ 4 & 0.018\ 8 & 0 & 0.037\ 6 \\ 0.022\ 7 & 0.015\ 2 & 0 & 0.007\ 6 & 0.015\ 2 & 0.022\ 7 & 0.007\ 6 & 0.015\ 2 & 0.030\ 3 \end{pmatrix}$$

依据公式(13)和(14)可确定每个灌溉乡镇各个评价指标的正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- ,正理想解与负理想解分别为:

$$z_0^+ = (0.068\ 9\ 0.098\ 9\ 0.033\ 1\ 0.118\ 6\ 0.075\ 7\ 0.038\ 3\ , \\ 0.122\ 6\ 0.059\ 1\ 0.033\ 2\ 0.057\ 1\ 0.046\ 8\ 0.030\ 6\ , \\ 0.034\ 4\ 0.140\ 8\ 0.030\ 3)$$

$$z_0^- = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$$

依据公式(15)和(16)分别计算每个灌溉乡镇各个评价指标同正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的灰色关联系数,再根据公式(17)和(18)则可以得到每个灌溉乡镇各个评价指标同正理想

解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的加权灰色关联度,计算结果如表4所示。

根据公式(19)和(20)分别计算每个灌溉乡镇各个评价指标同正理想解 z_0^+ 和负理想解 z_0^- 的欧式距离,计算结果如表5所示。

依据公式(21)分别对表4、表5中的 γ_i^+ 、 γ_i^- 、 d_i^+ 和 d_i^- 进行规范化处理,规范化结果如表6所示。

根据公式(22)计算每个灌溉乡镇的相对贴近度,并根据相对贴近度 E_i 的大小,对其排序,相对贴近度及其排序结果如表7所示。

表4 各灌溉乡镇评价指标与正负理想解的加权灰色关联度

关联度	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
γ_i^+	0.695 8	0.418 7	0.758 1	0.614 0	0.532 0	0.452 6	0.475 4	0.415 3	0.500 5
γ_i^-	0.460 5	0.752 2	0.426 7	0.528 0	0.562 4	0.696 6	0.681 5	0.758 8	0.627 8

表5 各灌溉乡镇评价指标与正负理想解的欧式距离

距离	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
d_i^+	0.134 2	0.258 7	0.087 2	0.148 6	0.176 5	0.241 9	0.236 3	0.251 4	0.213 5
d_i^-	0.219 1	0.074 7	0.249 4	0.201 3	0.162 7	0.085 3	0.114 0	0.081 6	0.132 3

表6 规范化结果

规范化	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
C_i^+	0.917 8	0.552 3	1.000 0	0.809 9	0.701 8	0.597 0	0.627 1	0.547 8	0.660 2
C_i^-	0.606 9	0.991 3	0.562 3	0.695 8	0.741 2	0.918 0	0.898 1	1.000 0	0.827 4
D_i^+	0.518 7	1.000 0	0.337 1	0.574 4	0.682 3	0.935 1	0.913 4	0.971 8	0.825 3
D_i^-	0.878 5	0.299 5	1.000 0	0.807 1	0.652 4	0.342 0	0.457 1	0.327 2	0.530 5

表7 各灌溉乡镇相对贴近度及其排序

项 目	灌 区								
	七星台	问安	百里洲	顾家店	马家店	仙女	安福寺	白洋	董市
E_i	0.614 8	0.299 6	0.689 8	0.560 1	0.487 5	0.336 3	0.374 4	0.307 4	0.418 8
排序	2	9	1	3	4	7	6	8	5

通过表 7 可以看出枝江市乡镇节水灌溉效益的优劣顺序为百里洲>七星台>顾家店>马家店>董市>安福寺>仙女>白洋>问安,节水灌溉效益最好的为百里洲,其次为七星台,再次为顾家店。百里洲镇位于湖北省宜昌市枝江市长江中游荆江段首段,是万里长江第一大江心洲,七星台镇与百里洲镇隔长江相望,雨量充沛,水资源丰富,这两个乡镇节水灌溉效益在枝江市名列前茅,评价结果与实际情况相符。

为了验证本文所提方法的有效性和可行性,现把文献[6]和文献[4]所提方法应用于本文实例,对所得结果进行对比分析,对比结果如表 8 所示。

表 8 3 种不同方法下的各乡镇节水灌溉效益排序对比

方法	节水灌溉效益排序
文献[6] 所提方法	百里洲>七星台>顾家店>马家店>董市>安福寺>仙女>白洋>问安
文献[4] 所提方法	百里洲>七星台>马家店>安福寺>董市>问安>仙女>白洋>顾家店
本文方法	百里洲>七星台>顾家店>马家店>董市>安福寺>仙女>白洋>问安

通过表 8 可以看出,本文所提方法与文献[6]所提方法结果一致,与文献[4]所提方法结果略有些差别,但节水灌溉效益排名前 2 的乡镇一样。分析了产生差异的原因,数据标准化处理方式不一样,文献[4]只单一用熵值法确定权重系数,求得的评价指标权重也不一样,完全通过隶属度去得到各乡镇节水灌溉效益综合评价,显得有些不合理。

4 结 语

本文旨在为节水灌溉综合效益评价提出一种新的评价方法,在评价方法及理论上有所创新,综合本文主要做了以下几个方面的工作。

(1) 以一种新的视角来建立区域节水灌溉综合效益评价指标体系,从经济层面、资源层面、技术层面、社会层面和环境层面 5 个方面全方位考虑,丰富和完善了节水灌溉效益评价指标体系内容。

(2) 针对传统熵权法的不足和局限,对熵权法进行改进,使其应用范围更广,更加合理和实用。

(3) 采用改进熵权法与群决策相对熵集结方法求得的组合权重相比其他组合权重方法能更加全面反映评价指标的相对重要性,放大评价指标之间重要性差异,求得的评价指标权重向量更合理。

(4) 对 TOPSIS 方法与灰色关联分析分别作改进,并把这两者有机地结合在一起,给出一种新的相对贴近度度量方式,同时还引入一个考虑决策者偏好的变量,比单独使用 TOPSIS 方法或灰色关联分析更具优越性,且实用性和应用性更强。

本文的研究工作不仅丰富了属性的赋权方法,而且丰富了节水灌溉效益评价理论与方法。此方法不仅能够应用到节水灌溉效益综合评价中,而且能够应用到其他方面的评价中,所提方法值得借鉴和推广。

参考文献:

[1] 冯保清.我国节水灌溉利益相关者关系分析[J].农村水利,2013,(21):32-34.

[2] 尤 敏,吴凤平,沈俊源.常年灌溉地带节水灌溉效益评估——基于动态可拓 TOPSIS 法[J].节水灌溉,2017,(6):73-76.

[3] 张晓琳,霍再林,佟 玲,石羊河流域主要作物节水灌溉效益评价[J].中国农村水利水电,2014,(8):15-17,21.

[4] 杜发兴,戈春华,吴贺林.基于改进模糊综合评价模型的节水灌溉效益评价[J].节水灌溉,2017,(11):77-79,83.

[5] 阳眉剑,吴 深,于赢东,等.农业节水灌溉评价研究历程及展望[J].中国水利水电科学研究院报,2016,14(3):210-218.

[6] 肖俊龙,刘永强,田 浪,等.熵权模糊物元模型在节水灌溉综合效益评价的应用[J].排灌机械工程报,2016,34(9):809-814.

[7] 张玉玲,迟国泰,祝志川.基于变异系数-AHP 的经济评价模型及中国十五期间实证研究[J].管理评论,2011,23(1):3-13.

[8] 武春友,郭玲玲,于惊涛.基于 TOPSIS-灰色关联分析的区域绿色增长系统评价模型及实证[J].管理评论,2017,29(01):228-239.

[9] 宁宝权,陕振沛.基于改进熵和灰关联分析的模糊物元分析模型及应用[J].数学的实践与认识,2016,46(20):280-284.

[10] 费良军,王锦辉,王光社,等.基于改进熵权-G1-博弈论法的灌区运行状况综合评价[J].排灌机械工程学报,2015,33(10):895-900.

[11] 赵 萌,陈亚男,沈 哲.两型社会动态评价模型及其应用——基于熵权法-相对熵集结模型的组合赋权[J].技术经济,2014,33(11):103-109.

[12] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002:135-141.

[13] 鲁春阳,文 枫,杨庆媛,等.基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断——以重庆市为例[J].资源科学,2011,33(3):535-541.

[14] 张 阳,张 橙.基于 TOPSIS-灰色关联度分析的水资源配置方案综合评价[J].统计与决策,2017,(18):62-65.

(上接第 101 页)

[9] 付 强,蒋睿奇,王子龙,等.基于改进萤火虫算法的土壤水分特征曲线参数优化[J].农业工程学报,2015,31(11):117-122.

[10] 高雄飞,刘元会,郭建青,等.土壤水分特征曲线模型参数识别的多邻域粒子群算法[J].干旱地区农业研究,2014,(6):48-52.

[11] 刘竹溪,刘景植.水泵及水泵站[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

[12] 王梅仙,张钦扬.提高中小型混流泵装置效率技术初探[J].江苏水利,2014,(3):20-21.

[13] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]// IEEE International Conference on Neural Networks, 1995,(4):1 942-1 948.