

文章编号: 1007-4929(2013)12-0066-04

二级模糊综合评判法 在区域节水灌溉方式优选中的应用

张旭东, 孙仕军, 迟道才, 马娜娜, 樊玉苗

(沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 构建了二级模糊评判综合模型, 采用主客观相结合的复合赋权法, 即先用熵值法确定初始权重, 再依据决策者的语气算子进行调整, 对区域节水灌溉方式进行了优选。实例表明, 评价结果与实际情况相符, 方法简单易行, 思路清晰, 为节水灌溉方式的优选提供了可靠依据。

关键词: 节水灌溉; 指标体系; 模糊综合评判

中图分类号: S275 **文献标识码:** A

Application of Two-level Fuzzy Comprehensive Evaluation in Regional Water Saving Irrigation Types Selection

ZHANG Xu-dong, SUN Shi-jun, CHI Dao-cai, MA Na-na, FAN Yu-miao

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: This paper builds a two-level Fuzzy Comprehensive Evaluation model and introduces a combination of subjective and objective method to determine weight indexes. Namely, the initial weights are determined by entropy method, and then the weight indexes are adjusted according to the tone operator of the policy makers. The proposed method is applied to select the water-saving irrigation types in Fuxin area of Liaoning province. The instance shows that the evaluation result accords with the actual situation and the method is simple and clear, which provides reference for the water-saving irrigation selection.

Key words: water-saving irrigation; index system; fuzzy comprehensive evaluation

近年来, 粮食安全问题日益得到重视。随着全国高标准基本农田建设的大力推进, 东北等地节水增粮计划等的大力实施, 我国节水灌溉事业正迎来新的发展机遇。为了避免在发展过程中产生盲目性, 造成人力、物力的浪费, 科学合理地选择节水灌溉方式对粮食增产和农业增效具有重要的意义。节水灌溉方式的优选是一个多因素综合评价问题, 包括经济、技术、资源、社会等多个因素, 所确定的节水灌溉技术应与当地自然条件、经济发展水平、生产经营、管理体制相适应, 往往涉及模糊现象和模糊概念, 实践证明, 模糊优选决策理论在节水灌溉选择和评价中显示出一定的优越性^[1-7]。该方法不需要无量纲化, 且能很好地处理人的判断偏好固有的模糊性以及定性信息的模糊性。目前该方法在应用中, 指标权重的确定仍然是问题的焦点, 常用的方法有专家评估法、可能满意度法、落影函数

法, 专家打分法^[3], 层次分析法^[4]等, 然而, 指标较多时权重的确定比较困难, 评判的结果会与工程实际情况发生偏离。本文依据主客观相结合的赋权思路, 提出先用熵值法确定初始权重, 再依据决策者的语气算子调整的综合赋权方法。并以阜新北部地区节水灌溉方式的优选为例, 运用二级模糊综合评判模型对 5 种节水方式的适宜性进行了评价。

1 二级模糊综合评判模型

设共有 n 个待选择的方案, 判别集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 。将对评价结果有影响的因素按不同类别分成 k 个子集, 因素集记作 U_1, U_2, \dots, U_k , 其中 $U_l = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ($l = 1, 2, \dots, k$) 表示第 l 类子集全部方案的 m 个评价因素, 其特征量可用矩阵表示^[2]:

收稿日期: 2013-05-27

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303125)。

作者简介: 张旭东(1979-), 男, 讲师, 主要研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: zxxddd@126.com。

通讯作者: 孙仕军(1969-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水资源综合利用和农业节水方面教学和研究。E-mail: sunshijun2000@yeah.net。

$${}_l X_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

第 $j(j=1, 2, \dots, n)$ 方案第 $i(i=1, 2, \dots, m)$ 因素的特征量 x_{ij} 的隶属度可表示为 r_{ij} , r_{ij} 用下式计算:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \bigwedge_{j=1}^n x_{ij}}{\bigvee_{j=1}^n x_{ij} - \bigwedge_{j=1}^n x_{ij}} \quad (1)$$

或:

$$r_{ij} = \frac{\bigvee_{j=1}^n x_{ij} - x_{ij}}{\bigvee_{j=1}^n x_{ij} - \bigwedge_{j=1}^n x_{ij}} \quad (2)$$

式中: \bigvee 为取最大运算符; \bigwedge 为取最小运算符。

越大越优指标用式(1)计算, 越小越优指标用式(2)计算, r_{ij} 组成相对隶属度矩阵。

$${}_l R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

给 m 个评价因素赋予不同的权重值, 构成第 l 类指标的权向量 ${}_l A$

$${}_l A = ({}_l a_1, {}_l a_2, \dots, {}_l a_m) \quad a_i \geq 0 \quad (3)$$

同时, ${}_l A$ 满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$, 相对优属度采用如下模型:

$${}_l u_j = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [{}_l a_i (1 - r_{ij})]^p}{\sum_{i=1}^m ({}_l a_i g_l r_{ij})^p} \right\}^{\frac{2}{p}}} \quad (4)$$

式中: ${}_l u_j$ 为第 1 层第 l 子集的相对优属度向量, 即第一级模糊评判结果; p 为距离参数, $p=1$ 时为海明距离, $p=2$ 时为欧式距离。

将每类子集 U 作为一个元素, 用 ${}_l u_j$ 作为它的单因素评判, 这样 $X_{m \times n} = \{ {}_1 U, {}_2 U, \dots, {}_k U \}^T$ 是 $\{ V_1, V_2, \dots, V_n \}$ 上的特征量矩阵, 并按 U 的重要性给出权重分配 $A = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, 重新利用式(1-4)去掉左下标 l 计算, 可得二级模糊综合评判相对优属度, 最后根据隶属度最大原则进行排序或优选。二级综合模糊评判模型的示意图如图 1 所示。

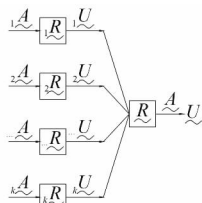


图 1 二级综合模糊评判模型的示意图

表 1 语气算子与相对隶属度关系^[8]

语气算子	同样	稍微	略为	较为	明显	显著	十分	非常	极其	极端	无可比拟
相对隶属度	1	0.818	0.667	0.538	0.429	0.333	0.25	0.176	0.111	0.053	0

3 应用实例

3.1 项目区概况

阜新蒙古族自治县位于辽宁省西北部, 地处东经 $121^{\circ}01'$

2 基于熵值法的主客观赋权法

各因素权重分配的合理与否直接影响评判结果的可信度。一般来说, 权重可通过主观赋权法或客观赋权法来确定, 主观赋权法包括层次分析法^[4,8]、专家咨询法^[3,8]、Delphi 法等, 客观赋权法包括熵值法(Entropy Method)、变异系数法等。这两种赋权法各自有的明显优点, 同时其不足之处主要表现在, 主观赋权法确定出的权重系数很大程度上取决于专家的知识结构、工作经验及偏好, 所确定出的权重存在主观随意性; 客观赋权法根据指标数据提供的信息量来获得权重摒弃了随意性, 但有时用其所得的评价或排序结果可能与决策者的主观意愿相反。

本文采用主客观相结合的方法确定权重, 首先用客观赋权法里的熵值法确定初始权重, 熵值法是一种根据各项指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权重的方法, 设 x_{ij} 为第 j 个方案中第 i 个因素的特征量, 对于第 j 个方案来说, x_{ij} 的差异越大, 该因素对系统比较的作用就越大, 所赋的权重将越大; 反之, 若 x_{ij} 的差异越小, 该因素在评价过程中对评价结果的影响是非常小的, 因此所赋的权重将比较小。然后再在此权重的基础上用决策者对该权重依据语气算子进行调整。具体确定权重的步骤如下:

(1) 计算特征比重值。

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

式中: P_{ij} 为第 i 因素中第 j 个方案的特征比重值, 对于越大越优型指标, 指标值 x_{ij} 直接代入式(5)计算; 对越小越优型指标, 则先取指标值 x_{ij} 的倒数, 再代入式(5)计算。

(2) 计算熵值。

$$e_i = \frac{-\sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln n} \quad (6)$$

式中: e_i 为第 i 因素的熵值, 且 $(e_i > 0)$ 。

(3) 确定初始权重。

$$a_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i} \quad (7)$$

式中: a_i 为第 i 因素的初始权重; g_i 为差异系数 $g_i = 1 - e_i$, g_i 越大, 越应重视该项指标的作用。

(4) 调整初始权重^[8]。决策者判断是否接受各指标的初始权重 a_i , 若不接受则依据语气算子与相对隶属度之间的关系表(见表 1)在初始权重的基础上进行调整, 即用初始权重乘以与语气算子相应的相对隶属度, 再进行归一化处理作为最终权重。

$-122^{\circ}26'$ 与北纬 $41^{\circ}44' - 42^{\circ}34'$ 之间。该区气候受东南亚季风影响, 属北温带大陆性季风气候。降水时空分布不均, 具有旱涝交替、连续干旱等特点。多年平均降雨量 500 mm 左右, 多年平均水面蒸发量 1 746 mm, 十年九旱的气候特点严重束缚

和制约着当地经济的可持续发展。项目区自 1978 年以来打了大量机井开采地下水, 地下水位逐年降低; 随着节水农业综合治理, 情况有较大的好转, 但水资源仍是当地农业持续发展的重要限制因素。近年来, 项目区本着集中连片治理、发挥规模效益的原则, 结合试验研究结果对全区进行节水灌溉技术推广。当地的主要作物为玉米, 考虑其种植习惯、灌水方法和喷灌机具的不同, 将节水灌溉工程技术方案分为 5 种: ①低压管道输水灌溉 S_1 , ②半固定式喷灌 S_2 , ③移动式喷灌 S_3 , ④卷盘式喷灌机 S_4 , ⑤滴灌 S_5 。拟通过模糊综合评判对这 5 种节水灌溉方式进行优选。

3.2 建立因素集

节水灌溉评价指标选取的科学与否, 直接关系到评价结果的正确性。本文参考相关文献^[3-8], 并根据指标体系的建立应遵循的可比性、相关性、整体性和简捷性的原则建立以下二层评价指标体系。

将节水灌溉综合评价的因素集按类别分为 4 个子集, 即:

$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, 左下标 1, 2, 3, 4 分别表示经济, 技术, 社会, 资源 4 类因素。

每类子集包含不同的指标:

$U_1 = \{ \text{内部收益率 } u_1, \text{投资回收期 } u_2, \text{年运行费 } u_3, \text{益本比 } u_4, \text{公顷投资 } u_5 \}$

$U_2 = \{ \text{灌水均匀度 } u_6, \text{灌水强度 } u_7, \text{灌溉水有效利用率 } u_8 \}$

$U_3 = \{ \text{安全可靠 } u_9, \text{地形适应性 } u_{10}, \text{农民接受程度 } u_{11}, \text{施工的可操作性 } u_{12} \}$

$U_4 = \{ \text{节水程度 } u_{13}, \text{增产程度 } u_{14}, \text{省工程度 } u_{15}, \text{节地程度 } u_{16} \}$

4 类子集中, U_1, U_2, U_4 为定量指标, 可通过工程本身或资料得出; U_3 为定性指标的, 可以聘请若干专家对指标打分量化, 使其值在 $[0, 1]$ 内, 每个方案的各指标特征值详见表 2。在 16 个子指标中, 投资回收期 u_2 , 年运行费 u_3 , 公顷投资 u_5 , 灌水强度 u_7 为越小越好型指标, 其余则为越大越好型指标。

3.3 二级模糊综合评价

以经济类指标为例, 由表 2 知, 经济的目标特征值矩阵为:

$${}_1X = \begin{pmatrix} 20 & 18 & 22 & 16.5 & 21 \\ 2.6 & 3.2 & 2.2 & 3.5 & 2.8 \\ 100 & 150 & 95 & 147 & 168 \\ 1.8 & 1.3 & 1.1 & 1.1 & 1.9 \\ 6\ 645 & 10\ 000 & 6\ 300 & 9\ 825 & 11\ 200 \end{pmatrix}$$

表 3 经济评价指标特征比重值、熵值、权重结算结果

经济因素	P					e_i	g_i	a_i
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5			
u_1	0.205	0.185	0.226	0.169	0.215	0.997	0.003	0.052
u_2	0.214	0.174	0.253	0.159	0.199	0.992	0.008	0.130
u_3	0.250	0.167	0.263	0.170	0.149	0.983	0.017	0.268
u_4	0.250	0.181	0.153	0.153	0.264	0.982	0.018	0.276
u_5	0.251	0.167	0.264	0.170	0.149	0.983	0.017	0.274

可得到经济指标的初始权向量:

$${}_1a = \{0.052, 0.130, 0.268, 0.276, 0.274\}$$

表 2 节水灌溉方式评价指标特征值

因素	方 案				
	低压管道输水灌溉 S_1	半固定式喷灌 S_2	移动式喷灌 S_3	卷盘式喷灌机 S_4	滴灌 S_5
内部收益率 $u_1/\%$	20	18	22	16.5	21
投资回收期 u_2/a	2.6	3.2	2.2	3.5	2.8
年运行费 $u_3/(\text{元} \cdot \text{hm}^{-2})$	100	150	95	147	168
益本比 u_4	1.8	1.3	1.1	1.1	1.9
公顷投资 $u_5/\text{元}$	6 645	10 000	6 300	9 825	11 200
灌水均匀度 $u_6/\%$	80	85	85	75	95
灌水强度 $u_7/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	8	6	7	8	6
灌溉水有效利用率 u_8	0.9	0.8	0.75	0.8	0.95
安全可靠 u_9	0.9	0.7	0.65	0.65	0.8
地形适应性 u_{10}	0.8	0.7	0.6	0.6	0.9
农民接受程度 u_{11}	1	0.9	0.7	0.4	0.8
施工可操作性 u_{12}	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8
节水程度 u_{13}	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
增产程度 u_{14}	0.1	0.15	0.17	0.17	0.3
省工程度 u_{15}	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3
节地程度 u_{16}	0.03	0.13	0.07	0.07	0.08

其中, 投资回收期 u_2 , 年运行费 u_3 , 公顷投资 u_5 为越小越优指标, 采用式(2)进行归一化; 内部收益率 u_1 和益本比 u_4 为越大越优指标, 采用式(1)求得各方案的相对隶属度矩阵为:

$${}_1R = \begin{pmatrix} 0.636 & 0.273 & 1.000 & 0 & 0.818 \\ 0.692 & 0.231 & 1.000 & 0 & 0.538 \\ 0.932 & 0.247 & 1.000 & 0.288 & 0 \\ 0.875 & 0.250 & 0 & 0 & 1.000 \\ 0.930 & 0.245 & 1.000 & 0.281 & 0 \end{pmatrix}$$

通过 $x_{ij}^* = 1/x_{ij}$, 把 u_2, u_3, u_5 指标转化为越大越优型指标; 用式(5)计算各方案的特征比重值, 最后根据式(6)及式(7)计算指标的熵值及权重, 结算结果见表 3。

然后, 将最重要的指标益本比 u_4 作为比较标准, 依次与其他 4 项指标应用表 1 中的语气算子进行二元比较, 根据地区实

际情况或已有的知识经验,决策者经慎重考虑,认为内部收益率 u_1 与 u_4 指标相比“略微”重要,查表 1 得到该语气因子相对隶属度为 0.667。对指标 2,3,5 进行类似的调整,它们的相对隶属度分别为 0.818,0.429,1,最后得到一组符合决策者观点的权向量 $[0.667, 0.818, 0.429, 1, 0.818]$,将其归一化后作为经济类指标调整后的权向量 $[0.178\ 7, 0.219\ 2, 0.115\ 0, 0.268\ 0, 0.219\ 2]$ 。因此,经济类指标的最终权重为:

$${}_1a = \{0.178\ 7, 0.219\ 2, 0.115\ 0, 0.268\ 0, 0.219\ 2\}$$

对于其他类指标,运用同样的方法和步骤,得到各权重向量为:

$${}_2a = \{0.268\ 4, 0.402\ 4, 0.329\ 2\}$$

$${}_3a = \{0.220\ 6, 0.270\ 6, 0.330\ 8, 0.178\ 0\}$$

$${}_4a = \{0.234\ 7, 0.286\ 9, 0.191\ 4, 0.286\ 9\}$$

用式(4)对第 1 层的经济、技术、社会、资源四类指标进行相对优属度计算,以其结果作为总目标关于各因素的特征量,组成二级综合评价的特征量矩阵,即:

$$X = \begin{pmatrix} {}_1U \\ {}_2U \\ {}_3U \\ {}_4U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.934 & 0.098 & 0.663 & 0.026 & 0.596 \\ 0.238 & 0.703 & 0.260 & 0.022 & 1.000 \\ 0.965 & 0.638 & 0.283 & 0.120 & 0.730 \\ 0.191 & 0.501 & 0.372 & 0.372 & 0.729 \end{pmatrix}$$

重复上述第一层的权重计算步骤,得第二层的权向量为:

$$a = [0.330\ 8, 0.178\ 0, 0.220\ 6, 0.270\ 6]$$

用式(4)取距离参数 $p=2$ 时算得二级综合评价的相对优属度:

$$U = [0.633\ 3, 0.335\ 3, 0.417\ 1, 0.035\ 8, 0.901\ 7]$$

根据最大隶属度原则进行优选,得到该地区灌水技术方案关于优越性的排序为:滴灌,低压管道,移动式喷灌,半固定式喷灌,卷盘式喷灌。

综合分析认为,在阜蒙县项目区发展节水灌溉应优选滴灌,因为该区是低山丘陵区,玉米种植面积很大,可使用滴灌方式进行补水灌溉,同时该地区的蔬菜、果树种植面积也比较大,滴灌适合于这些灌水次数频繁、经济价值较高的作物;其次是低压管道灌溉,不仅能满足项目区局部高地农作物的灌溉,而

且能适应当地农业生产责任制的要求,灌水时户与户之间的干扰少,农户自己能管好用好。从评判结果来看,喷灌(移动式,半固定式,卷盘式)的相对优属度均小于 0.5,因此,除了温室和大棚,喷灌不适合于在阜新地区西北部大规模推广,因该地区多风,多干旱,喷灌的蒸发损失大。综上,评价结果和直观分析结果一致,因此,建议今后在阜蒙县开展节水灌溉技术推广应以发展滴灌为主,适当控制喷灌的发展。

4 结 语

本文采用了节水灌溉方式的二级模糊综合优选模型,采用主、客观相结合的方法确定各层各因素的指标权重,克服了权重确定上的主观任意性及难以准确确定的缺点。当方案更多,考虑指标因素更全时,计算结果将优于其他模型,特别是在指标权重的确定上具有更明显的优越性,该模型尤其适用于多指标的情况。

参考文献:

- [1] 罗金耀,陈大雕,郭元裕.节水灌溉工程模糊综合评价研究[J].灌溉排水,1998,(2):16-21.
- [2] 严乐军.模糊综合评判法在节水灌溉项目投资决策中的应用[J].节水灌溉,2000,(4):11-13.
- [3] 张丽娟,韩江.模糊优选决策理论在沈阳地区节水灌溉方法选择中的应用[J].沈阳农业大学学报,2001,32(4):294-297.
- [4] 潘峰,梁川,王立坤.基于 AHP 的模糊物元模型在节水灌溉工程评标中的应用[J].中国农村水利水电,2002,(10):6-9.
- [5] 张庆华,白玉惠,倪红珍.节水灌溉方式的优化选择[J].水利学报,2002,(1):47-51.
- [6] 陈守煜,马建琴.模糊模式识别通用模型及在灌溉技术优选中的应用[J].水能源科学,2003,21(3):30-33.
- [7] 王得次,陈大雕.用模糊综合评判法选择最优节水灌溉方法[J].中国农村水利水电,1997,(12):21-24.
- [8] 卢玉邦,郭龙珠,郎景波.综合评价方法在节水灌溉方式选择中的应用[J].农业工程学报,2006,(2):33-36.
- [9] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998.

· 信 息 ·

欢迎订阅《节水灌溉》

《节水灌溉》是由中国国家灌排委员会、中国灌溉排水发展中心、武汉大学、国家节水灌溉北京工程技术研究中心共同主办的技术类期刊。是全国中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊,省(部)优秀科技期刊,入选“中国期刊方阵”。

栏目设置:试验研究、工程技术、水利经济、工程管理、技术讲座、国外动态、设备与市场、简讯等。

读者对象:从事节水灌溉行业的水利、农业、林业、机械及相关领域的技术人员、管理人员。

《节水灌溉》邮发代号 38-17,月刊,6.00 元/册,全年定价 72 元。每月 5 日出版,全国各地邮局征订,国内外公开发行。也可直接从编辑部订阅。

地址:武汉市珞珈山 武汉大学(二区)《节水灌溉》编辑部,邮编:430072,电话:(027)68776133,传真:(027)68776133,电子信箱:jieshuiguangai@188.com,联系人:关良宝,单位名称:节水灌溉编辑部,开户银行:中行水大支行,账号:84602219531708091001。