

基于组合权重 TOPSIS 模型的温室西瓜 调亏灌溉综合效益评价

魏光辉

(新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

【摘要】 本文以温室西瓜为例,为节约灌溉用水,提高西瓜水分利用效率,研究西瓜旱作栽培技术,建立了包括其生长性状、果实品质与水分利用 3 个方面 17 项指标的调亏灌溉综合效益评价模型,引入熵权法和层次分析法确定评价指标权重,得到不同灌溉方案的优劣排序。研究结果为干旱区作物调亏灌溉提供了一定的理论参考。

【关键词】 组合权重;西瓜;调亏灌溉;TOPSIS 模型;综合评价

中图分类号: TV93

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2018)01-023-05

Evaluation on comprehensive benefit of greenhouse watermelon regulated deficit irrigation based on combination weight TOPSIS model

WEI Guanghui

(Xinjiang Tarim River Basin Authority, Korla 841000, China)

Abstract: In the paper, greenhouse watermelon is adopted as an example. A deficit regulation irrigation integrated effect evaluation model is established in order to save irrigation water, improve water use efficiency, and study watermelon dry cultivation technique, the model includes three aspects of growth characteristic, fruit quality and water utilization as well as 17 indicators. Entropy method and analytic hierarchy process (AHP) are introduced to determine evaluation index weights. The advantage and disadvantage sequence of different irrigation plans are obtained. The research results provide certain theoretical reference for crops deficit regulation irrigation in arid areas.

Key words: combination weights; watermelon; deficit regulation irrigation; TOPSIS model; comprehensive evaluation

我国是一个水资源短缺的农业大国,节约灌溉用水,提高水分利用率,对于水资源的高效利用具有重要意义^[1-3]。西瓜是一种耗水量较大的作物,提高西瓜水分利用率,实现西瓜旱作栽培,是干旱区西瓜优质高效生产面临的重要课题。非充分灌溉是利用作物本身具有一定的生理节水与抗旱能力,针对水资源的紧缺性与用水效率低下的普遍性而提出的一种节水技术。调亏灌溉是非充分灌溉的重要体现^[4],可通过对作物生育的某些阶段,人为施加一定的水分胁迫,调节植物的生长和营养物质分配,达到节水提质增效的目的。

Yesim E 等^[5]研究发现:适度的水分亏缺可提高大田西瓜可溶性固形物和糖含量,减小瓜皮厚度。郑健等^[6-7]研究表明:调亏灌溉能够调整作物营养生长与生殖生长的关系,并有利于改善果实品质、提高水分利用效率。郑健等^[8]采用 E601 型蒸发器控制灌溉水量,研究调亏灌溉对温室西瓜水分利用效率及品质的影响。截至目前,有关温室西瓜调亏灌溉制度综合评价的研究还比较少。

TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) 模型称为“逼近理想解排序方法”,是

有限方案多目标决策评价的一种常用技术。本文在前人研究的基础上,将 AHP 和熵的概念引入到评价指标权重的确定中,采用组合权重 TOPSIS 模型对温室西瓜不同调亏灌溉方案进行综合评价^[9],以期为干旱区西瓜滴灌灌溉制度提供理论参考。

1 调亏灌溉评价体系建立

1.1 评价指标体系

温室西瓜调亏灌溉制度评价体系包括西瓜生长性状、果实品质与水分利用 3 个方面。其中生长性状包括株高、茎粗、坐果率、叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率与叶片水分利用率 7 项指标;果实品质包括单果重量、果皮厚、果实纵径、果实横径、果形指数(纵径/横径)、VC 含量、蛋白质含量与可溶性固形物含量 8 项指标;水分利用包括产量与灌溉水利用率 2 项指标^[9]。由此,选取影响灌溉制度评价的 3 个方面 17 项指标进行综合评价(评价指标体系见表 1)。

表 1 温室西瓜调亏灌溉制度评价体系

目标层	准则层	评价指标层
温室西瓜调亏灌溉制度 A	生长性状 B1	株高 C1/cm
		茎粗 C2/mm
		坐果率 C3/%
		叶绿素含量 C4/(mg/g)
		净光合速率 C5/[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
		蒸腾速率 C6/[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
		叶片水分利用效率 C7/[($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)]
	果实品质 B2	单果质量 C8/kg
		果皮厚 C9/mm
		果实纵径 C10/cm
		果实横径 C11/cm
		果形指数 C12
		VC 含量 C13/(mg/g)
		蛋白质含量 C14/(mg/kg)
		可溶性固形物含量 C15/%
	水分利用 B3	产量 C16/(t/hm ²)
		灌溉水利用率 C17/[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]

1.2 指标权重

1.2.1 熵权法

将评价指标矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$ 归一化,形成判断矩阵 $\mathbf{B} = (b_{ij})_{m \times n}$ 。

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

式中 i ——评价方案;

j ——评价指标;

x_{\max}, x_{\min} ——第 j 个指标在各方案中的最大与最小值。

定义第 j 个评价指标的熵值,则有

$$H_j = \frac{1}{-\ln m} \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$f_{ij} = \frac{(1 + b_{ij})}{\sum_{j=1}^n (1 + b_{ij})} \quad (3)$$

则第 j 个评价指标的熵权为 β_j , 得权重向量 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n)$, 即

$$\beta_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, \sum_{j=1}^n \beta_j = 1 \quad (4)$$

1.2.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是由运筹学家萨迪(T. L. Saaty)于 1977 年建立的一种非结构决策理论,目前广泛应用于工程技术、经济管理等领域。该方法首先针对评价体系(见表 1),由专家对不同层次指标的相对重要性进行两两对比,并以 1~9 的标度进行量化;之后,由量化结果构造两两对比的判断矩阵,对其进行排序计算,确定评价指标权重;最后,通过对判断矩阵进行一致性检验以保证计算的科学性和可靠性,若检验通过,表明结果可信,反之需重新赋值。

本文选择 AHP 法和熵权法对评价指标进行组合赋权,确定指标权重:

$$w_j = \frac{\alpha_j \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \beta_j}, \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (5)$$

式中 α_j 和 β_j ——AHP 法和熵权法确定的指标权重。

2 调亏灌溉评价模型

TOPSIS 法是根据评价对象与理想目标的接近程度进行排序的,计算步骤如下:

a. 形成决策矩阵。指标集为 $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$, 方案 M_i 对应指标 C_j 的值为 z_{ij} , 形成多目标决策矩

阵 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ 。

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

对上述矩阵进行无量纲处理,构建标准化矩阵

$V = (v_{ij})_{m \times n}$ 。

$$v_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij})^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中 v_{ij} ——第 i 个方案的第 j 个指标的标准化值,将其与指标权重相乘,得加权标矩阵 $R =$

$$(r_{ij})_{m \times n};$$

$$r_{ij} = w_j \cdot v_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

b. 计算理想解和负理想解。评价指标的理想解 x_j^+ 与负理想解 x_j^- 计算方法如下:

越大越优型指标

$$x_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} (r_{ij}), x_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} (r_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

越小越优型指标

$$x_j^+ = \min_{1 \leq i \leq m} (r_{ij}), x_j^- = \max_{1 \leq i \leq m} (r_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

c. 贴近度计算。确定各评价指标与正、负理想解 x_j^+, x_j^- 的距离 S_i^+, S_i^- :

$$S_j^+ = \sum_{j=1}^n \left\{ x_j^+ \lg \frac{x_j^+}{x_{ij}^+} + (1 - x_j^+) \lg \frac{1 - x_j^+}{1 - x_{ij}^+} \right\}$$

$$S_j^- = \sum_{j=1}^n \left\{ x_j^- \lg \frac{x_j^-}{x_{ij}^-} + (1 - x_j^-) \lg \frac{1 - x_j^-}{1 - x_{ij}^-} \right\} \quad (11)$$

$$\varepsilon_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (12)$$

根据 ε_i 值的大小对方案集合 M_i 排序, ε_i 越大方案越优,反之越劣。

3 模型应用

根据刘炼红等^[9]的相关数据资料,对温室西瓜不同调亏灌溉制度进行综合评价,调亏灌溉制度设计见表 2,各处理下的作物生长、品质等情况见表 3。

表 2 西瓜不同生育期灌溉频率处理 单位:d

处理	苗期 (0.4E _p)	开花坐果期 (0.8E _p)	果实膨大 (1.6E _p)	成熟期 (0.8E _p)
T1	2	2	2	2
T2	2	4	4	4
T3	2	6	6	6
T4	4	2	4	6
T5	4	4	6	2
T6	4	6	2	4
T7	6	2	6	4
T8	6	4	2	6
T9	6	6	4	2

注 E_p 为一定时间间隔内的蒸发量。

表 3 不同处理西瓜生长与品质指标

评价指标	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
C1	241	235	199	237	207	212	205	216	183
C2	7.5	7.7	7.1	7.9	7.6	7.3	7.4	7.8	6.9
C3	94.83	95.00	91.67	96.67	95.00	93.33	98.33	98.33	91.00
C4	4.14	4.43	3.98	4.60	3.98	4.11	4.01	4.00	3.93
C5	29.43	29.58	26.2	30.36	27.50	27.58	26.80	27.77	25.71
C6	7.48	5.82	5.76	5.83	6.43	6.91	6.26	6.84	5.67
C7	4.02	5.13	4.57	5.27	4.28	4.04	4.29	4.13	4.55
C8	5.28	5.18	4.83	5.27	4.59	5.00	4.91	4.99	4.90
C9	9.96	9.88	10.56	8.30	8.80	8.85	8.61	8.67	10.02
C10	22.15	21.60	19.93	21.35	21.18	20.35	20.45	20.60	20.38
C11	21.03	21.00	19.45	21.00	20.50	19.95	19.90	19.85	20.08
C12	1.05	1.03	1.03	1.02	1.03	1.02	1.03	1.04	1.02
C13	10.83	12.92	13.33	13.87	10.99	12.48	11.22	14.1	11.19
C14	0.26	0.29	0.31	0.35	0.28	0.27	0.28	0.33	0.24
C15	10.75	11.93	12.3	12.85	10.83	11.9	11.85	12.43	10.75
C16	62.60	61.47	55.33	63.72	54.51	58.29	60.35	61.32	55.76
C17	298.33	292.91	263.68	303.64	259.75	277.77	287.59	292.23	265.74

注 各指标单位见表 1。

3.1 计算决策矩阵

利用表3中的9个处理的17个评价指标构建决

策矩阵Z,根据式(7)进行无量纲化处理,得标准化决策矩阵V,见表4。

表4 评价指标标准化值

评价指标	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
C1	0.372	0.363	0.307	0.366	0.320	0.327	0.317	0.334	0.283
C2	0.335	0.343	0.317	0.352	0.339	0.326	0.330	0.348	0.308
C3	0.333	0.334	0.322	0.339	0.334	0.328	0.345	0.345	0.320
C4	0.334	0.357	0.321	0.371	0.321	0.331	0.323	0.322	0.317
C5	0.351	0.353	0.313	0.362	0.328	0.329	0.320	0.332	0.307
C6	0.392	0.305	0.302	0.305	0.337	0.362	0.328	0.358	0.297
C7	0.298	0.380	0.339	0.391	0.317	0.300	0.318	0.306	0.337
C8	0.352	0.345	0.322	0.351	0.306	0.333	0.327	0.333	0.327
C9	0.356	0.353	0.377	0.297	0.315	0.316	0.308	0.310	0.358
C10	0.353	0.345	0.318	0.341	0.338	0.325	0.326	0.329	0.325
C11	0.345	0.345	0.319	0.345	0.336	0.327	0.327	0.326	0.329
C12	0.340	0.333	0.333	0.330	0.333	0.330	0.333	0.337	0.330
C13	0.291	0.348	0.359	0.373	0.296	0.336	0.302	0.379	0.301
C14	0.297	0.331	0.354	0.400	0.320	0.308	0.320	0.377	0.274
C15	0.305	0.338	0.349	0.364	0.307	0.337	0.336	0.352	0.305
C16	0.352	0.345	0.311	0.358	0.306	0.327	0.339	0.344	0.313
C17	0.352	0.345	0.311	0.358	0.306	0.327	0.339	0.344	0.313

3.2 确定指标权重

根据 AHP 法计算得到评价指标权重 $\alpha = (0.0456, 0.0515, 0.0533, 0.0803, 0.0554, 0.0712, 0.0711, 0.0405, 0.0701, 0.0471, 0.0544, 0.075, 0.0612, 0.0558, 0.0612, 0.0473, 0.0586)$; 由熵值法计算得评价指标权重 $\beta = (0.0477, 0.0457, 0.0524, 0.0793, 0.0561, 0.0692, 0.0725, 0.0438, 0.0612, 0.0564,$

$0.0542, 0.0709, 0.0659, 0.0526, 0.0607, 0.0557, 0.0556)$; 由式(5)计算得到组合权重 $w = (0.0360, 0.0389, 0.0462, 0.1053, 0.0514, 0.0815, 0.0852, 0.0294, 0.0709, 0.0439, 0.0488, 0.0884, 0.0667, 0.0485, 0.0615, 0.0435, 0.0539)$ 。

3.3 加权决策矩阵

根据式(8)得到加权决策矩阵X,见表5。

表5 评价指标加权计算值

评价指标	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
C1	0.0134	0.0131	0.0111	0.0132	0.0115	0.0118	0.0114	0.0120	0.0102
C2	0.0130	0.0134	0.0123	0.0137	0.0132	0.0127	0.0128	0.0135	0.0120
C3	0.0154	0.0154	0.0149	0.0157	0.0154	0.0151	0.0159	0.0159	0.0148
C4	0.0351	0.0376	0.0338	0.0390	0.0338	0.0349	0.0340	0.0339	0.0333
C5	0.0181	0.0182	0.0161	0.0186	0.0169	0.0169	0.0164	0.0170	0.0158
C6	0.0319	0.0248	0.0246	0.0249	0.0274	0.0295	0.0267	0.0292	0.0242
C7	0.0254	0.0324	0.0289	0.0333	0.0270	0.0255	0.0271	0.0261	0.0287
C8	0.0103	0.0101	0.0095	0.0103	0.0090	0.0098	0.0096	0.0098	0.0096
C9	0.0252	0.0250	0.0268	0.0210	0.0223	0.0224	0.0218	0.0220	0.0254
C10	0.0155	0.0151	0.0140	0.0150	0.0148	0.0143	0.0143	0.0144	0.0143
C11	0.0168	0.0168	0.0156	0.0168	0.0164	0.0160	0.0159	0.0159	0.0161
C12	0.0300	0.0295	0.0295	0.0292	0.0295	0.0292	0.0295	0.0297	0.0292
C13	0.0194	0.0232	0.0239	0.0249	0.0197	0.0224	0.0201	0.0253	0.0201
C14	0.0144	0.0161	0.0172	0.0194	0.0155	0.0150	0.0155	0.0183	0.0133
C15	0.0187	0.0208	0.0214	0.0224	0.0189	0.0207	0.0207	0.0217	0.0187
C16	0.0153	0.0150	0.0135	0.0156	0.0133	0.0143	0.0148	0.0150	0.0136
C17	0.0190	0.0186	0.0168	0.0193	0.0165	0.0176	0.0183	0.0186	0.0169

3.4 贴进度计算

根据评价指标的性质,利用式(9)或式(10)计算得到正、负理想解;由式(11)、式(12)计算各评价方案与正、负理想解的距离 S^+ 、 S^- 及相对贴进度 ε_i ,计算结果如下:

$$S^+ = (0.0016, 0.0008, 0.0016, 0.0004, 0.0016, 0.0012, 0.0014, 0.0008, 0.0026);$$

$$S^- = (0.0010, 0.0012, 0.0006, 0.0025, 0.0005, 0.0007, 0.0006, 0.0014, 0.0001);$$

$$\varepsilon_i = (0.3853, 0.6041, 0.2772, 0.8555, 0.2266, 0.3709, 0.2987, 0.6512, 0.0499)。$$

根据各评价方案的贴进度值,对其进行优劣排序(见表6)。

表6 各方案贴进度计算及排序

处理编号	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
贴进度值	0.3853	0.6041	0.2772	0.8555	0.2266	0.3709	0.2987	0.6512	0.0499
排序	4	3	7	1	8	5	6	2	9

由表6可知,T4处理为最优调亏灌溉制度,即在保证总灌水量相等的前提下,苗期每4d灌1次水、开花坐果期每2d灌1次水、果实膨大期每4d灌1次水、成熟期每6d灌1次水,此灌溉制度为最优灌溉制度。

3.5 评价结果分析

由表3可知,T4处理的株高和茎粗均最大,且具有较高的光合能力和水分利用率,这保证了植株的正常营养生长,会制造出更多的光合产物,在抵御早春逆境胁迫时更有优势。在产量和水分利用率方面,T4处理有着较高的单果质量、总产量和灌溉水利用效率,且T4的果实蛋白质含量相对较高,甜度高,综合品质较优。此外,T4处理的果皮最薄,仅8.30mm,增加了西瓜的可食用部分。综上所述,T4处理为最优灌溉方案是科学可信的,也是正确的。

通过与刘炼红^[9]分析结果对比,发现两者结论完全一致(T4处理为最优方案),这不仅验证了本模型的准确性,也说明其计算结果是可靠与科学的。

4 结论

本文构建了基于TOPSIS法的温室西瓜调亏灌溉综合效益评价模型,对评价指标引入熵权法与AHP法计算组合赋权,并将上述方法用于不同调亏灌溉方案的综合评价与优选,结果表明T4处理为最优调亏灌溉

制度。研究结果为干旱区作物调亏灌溉提供了一定的理论参考。◆

参考文献

- [1] 开赛尔·斯依提,朱卫东,等.新疆叶尔羌河灌区典型作物棉花灌溉试验[J].水利建设与管理,2010(7):81-82,78.
- [2] 程静,苏孝敏,张晨辰.干旱地区膜下滴灌技术甜瓜种植模式试验研究[J].水资源开发与管理,2015(1):57-63.
- [3] 王海军.新疆干旱区节水灌溉工程技术的探讨[J].水资源开发与管理,2015(2):56-58.
- [4] 陈玉民,肖俊夫,王宪杰.非充分灌溉研究进展及展望[J].灌溉排水,2001,20(2):73-75.
- [5] Yesim E, Nedim Y A. Yield response of watermelon to irrigation shortage[J]. Scientia Horticulturae, 2003, 98:365-383.
- [6] 郑健,蔡焕杰.调亏灌溉对温室小型西瓜水分利用效率及品质的影响[J].核农学报,2009,23(1):159-164.
- [7] Sensoy S, Ertek A, Ibrahim O, et al. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.) [J]. Agricultural Water Management, 2007, 88(1/3):269-274.
- [8] 郑健,蔡焕杰,王健.日光温室小型西瓜调亏灌溉综合效益评价模型[J].农业机械学报,2011,42(7):124-129.
- [9] 刘炼红,莫言玲.调亏灌溉合理滴灌频率提高大棚西瓜产量及品质[J].农业工程学报,2014,30(24):95-104.