

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.11.015

温室甜瓜加氧灌溉综合效益评价*

谢恒星¹ 蔡焕杰¹ 张振华²

(1. 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;
2. 鲁东大学地理与规划学院, 烟台 264025)

【摘要】 采用基于客观赋值法的熵权信息法与主观赋值法相结合的综合评价方法对不同加氧频率处理温室甜瓜综合效益进行评价,并对各加氧处理进行综合效益排序。结果表明,2天1次的加氧频率处理综合效益最好,每天1次的次之,不加氧处理的综合效益优于3天1次和每天2次处理,沟灌处理的综合效益最差。加氧灌溉均可以不同程度地提高温室甜瓜的产量和品质,但由于加氧处理增加了电费及滴灌设备及管件等资金投入,致使一些加氧处理综合效益降低。地下滴灌的温室甜瓜综合效益始终优于沟灌。

关键词: 温室甜瓜 加氧灌溉 综合效益评价
中图分类号: S652 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)11-0079-05

Evaluation of Comprehensive Benefit in Greenhouse
Muskmelon under Aeration Irrigation

Xie Hengxing¹ Cai Huanjie¹ Zhang Zhenhua²

(1. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China 2. College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract

Evaluation of comprehensive benefit was conducted in greenhouse muskmelon under aeration irrigation by applying comprehensive evaluation method, which associated entropy information method based on objective weighting with subjective weighting method. Results showed that the comprehensive benefit order in every treatment was once per two days, once per day, none aeration, once per three days, twice per day, and furrow irrigation treatment. Aeration irrigation could improve yield and quality of greenhouse muskmelon differently, but the comprehensive benefit of some aeration treatments decreased because of the investment of electricity, drip facility, et al. The comprehensive benefit of greenhouse muskmelon in subsurface irrigation treatment was better than in furrow irrigation treatment.

Key words Greenhouse muskmelon, Aeration irrigation, Comprehensive benefit evaluation

引言

滴灌被称为最节水的灌溉技术之一^[1~2],其中地下滴灌由于地表蒸发量小、利于耕作和节约地表空间而得到了广泛的关注^[3~6]。但低水头、高频率的灌溉方式使得滴头附近的土壤水分过饱和,土壤与地表的空气交换受到抑制,土壤空气含量降低,从

而抑制了土壤微生物的活性和作物根系的生长,进而影响到作物的生理特性^[7~9]。加氧灌溉(通常为向根区土壤增加空气)缓解了以上问题,它通过机械穿孔、文丘里吸气原理或化学物质分解释放氧气等方式增加土壤的通气性或氧气含量^[10~12]。实践证明,加氧处理后作物植株的生长状况得到改善,叶片光合、作物产量和水分利用效率(WUE)都得到了

收稿日期: 2010-05-12 修回日期: 2010-06-23
* 国家自然科学基金资助项目(50779059,50609022)和山东省高等学校科研发展计划资助项目(J07YF16)
作者简介: 谢恒星,博士生,主要从事节水灌溉技术研究, E-mail: xiehengxing@nwsuaf.edu.cn
通讯作者: 蔡焕杰,教授,博士生导师,主要从事农业节水和水资源高效利用研究, E-mail: caihj@nwsuaf.edu.cn

不同程度的提高^[13~15]。

甜瓜在我国种植面积较大,其播种面积和总产量分别占世界总量的 26.860% 和 42.605%。甜瓜产业已经成为我国一个具有国际竞争力和较大经济增长空间的重要园艺产业^[16]。甜瓜需水量较大,但陕西关中平原地区的灌溉方式仍然采用传统的沟灌,不仅浪费了宝贵的水资源,造成生产成本的提高,而且潮湿的环境易使植株患病,影响到产量^[17]。加氧灌溉在甜椒^[11]、南瓜、大豆和棉花^[13]等蔬菜和经济作物上进行了应用,效益显著,但在温室甜瓜中的应用相对较少。本文研究加氧灌溉在关中地区温室甜瓜生产中的应用,探讨该种灌溉方式的节水增产效益,从而为该技术的推广应用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

加氧灌溉试验于 2009 年 4~7 月在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室的玻璃温室内进行。玻璃温室结构为房脊型,长、宽和高分别为 36、10.3 和 4 m,温室内南、北墙分别装有大型风机和湿帘来调节室内的温、湿度。玻璃温室内 0~70 cm 土层平均土壤干容积密度为 1.38 g/cm³,田间持水量为 23.6% (质量含水率)。土壤有机质含量为 14.03 g/kg,全氮含量为 1.21 g/kg,全磷含量为 1.07 g/kg,全钾含量 21.16 g/kg,土壤肥力中等。

1.2 试验设置与布置

试验品种为“一品天下 208”,基质穴盘育苗,4 月 19 日 3 叶 1 心时定植在垄上。垄的横截面为等腰梯形,上底、下底和高分别为 30、60 和 20 cm,垄长为 350 cm。每垄定植 1 行甜瓜,甜瓜的株距和行

距分别为 40 cm 和 100 cm。试验采用单因素完全随机区组设计,3 次重复,分别设置地下滴灌的加氧频率为 T1—不加氧,T2—每天 2 次,T3—每天 1 次,T4—2 天 1 次,T5—3 天 1 次,另外设置常规沟灌处理 T6,每小区面积为 7.2 m²,为防止水分侧渗,小区之间用深 70 cm 的塑料薄膜隔离。输气毛管为直径 16 mm 的聚乙烯管,埋深 20 cm,与输水毛管间隔 10 cm 并排埋设,出气处为直径 6 mm、间隔 120° 的 3 个出气口,出气口用 2 mm 厚的无纺布包裹,以防止土壤颗粒进入毛管和保证出气均匀。通过空气压缩机向输气毛管内通气,通气量为

$$V=\frac{1}{1\,000}SL\left(1-\frac{\rho_b}{\rho_s}\right)$$

(1)

式中 V ——每次加气量,L
 S ——垄的横截面积,900 cm²
 L ——垄长,350 cm
 ρ_s ——土壤密度,2.65 g/cm³
 ρ_b ——土壤容积密度,1.397 g/cm³

据此可以得到每垄每次的加气量为 148.942 L。

利用 $\phi 20$ cm 蒸发皿控制普通地下滴灌和加氧灌溉的灌水量^[18~20],灌水周期为 2 d,即每次的灌水量为 2 d 内的蒸发皿累计蒸发量(mm)^[19]。沟灌采用经验控水,即土壤含水率下降到 55% θ_f (θ_f 为田间持水量)时开始灌水,灌水上限约为 θ_f 。

温室甜瓜的施肥、打药等其他田间管理措施均相同。

1.3 项目观测与方法

本研究涉及温室甜瓜的投入与产出项,其中的投入项包括水费、电费、人工费、滴灌设备及管件费等,产出项包括成熟期、单果重、果实糖度、果型指数和口感风味等。

表 1 温室甜瓜加氧处理总灌水量和全生育期

Tab.1 List of applied water amount and total development time under aeration irrigation treatment of greenhouse muskmelon

参数	T1	T2	T3	T4	T5	T6
总灌水量/mm	214.748	225.515	221.779	222.587	213.012	606.471
全生育期/d	72	71	70	69	71	73

水费(E_w ,元/m²)为总灌水量(T_w ,mm)的函数,以 1.70 元/m³的水价计算,水费为

$$E_w=\frac{1.70}{1\,000}T_w$$

(2)

电费(E_e ,元)为压缩机的运转费用,可表示为全生育期(D,d)、加氧频率($F,F_{T1}=F_{T6}=0,F_{T2}=2,F_{T3}=1,F_{T4}=1/2,F_{T5}=1/3$)、电价(0.497 元/(kW·h))和压缩机单次做功(W ,压缩机的额定功率 $P=$

800 W,每次加氧运转 1 min,则 $W=0.013$ kW)的函数,即

$$E_e=0.497WFD$$

(3)

人工费(E_l ,元)为 D 的函数,以 25.00 元/d 的劳动力价格计算,人工费为

$$E_l=25D$$

(4)

成熟期以最晚熟处理日期记为 0,每早熟一天记为 1^[21];单果重、果型指数和口感风味为每处理 5

个长势良好、大小均一、3 次重复共 15 个果的平均值。单果重由精度为 0.01 g 的电子天平称量,由小区面积推算单位产量;糖度采用手持式糖度计测定;果型指数为果实的纵横径比与 1 的差值的绝对值,该值越小则果实越圆滑,销售情况也越好;口感风味采用专家打分法,即分别由随机挑选的西北农林科技大学的实验员和当地农民各 10 人组成评判小组,以满分为 10 分的标准进行打分,取其均值作为该处理的果实口感风味的得分;单价受到成熟期、单果重和果型指数等指标的影响,成熟期越早,果型指数越小,单价也越高。

2 结果与分析

2.1 综合评价方法原理

在多指标综合评价中,指标权重系数对评价结果影响较大。确定指标权重的方法有主观赋值法和客观赋值法,主观赋值法根据评测者的实践经验和主观意愿对指标进行权重系数的确定,该方法较接近实际,但忽视了指标之间的相互联系,缺少科学依据;客观赋值法依据指标之间的联系程度和其所提供信息量的大小确定该指标的重要程度,该方法具有较强的理论基础,但缺少主观灵活性,当评测者认为某项指标占有较大的权重时,评价结果往往不理想。熵权信息法是一种基于熵权理论的多指标综合评价方法,熵是信息无序程度的度量,熵值越小,表明其指标值的变异程度越大,提供的信息量也越多,该指标在综合评价中的权重也越大。熵权信息法与主观赋值法相结合,既考虑了各项指标所提供的信息量,又兼顾了评测者的主观看法,是一种科学、全面的评价方法^[21]。

设由 m 个待评项目, n 个评价指标组成的原始指标数据矩阵记为

$$\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n} \tag{5}$$

某项指标 r_j 的信息熵为

$$E_j = - \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (j=1,2,\cdots,n) \tag{6}$$

其中
$$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij} \tag{7}$$

式中 p_{ij} ——第 j 个指标下第 i 个待评项目的比重
第 j 个指标的熵值又可以记为

$$e_j = \frac{1}{\ln m} E_j \quad (j=1,2,\cdots,n) \tag{8}$$

则第 j 个指标的客观权重为

$$\theta_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \tag{9}$$

其中, $0 \leq \theta_j \leq 1, \sum_{j=1}^n \theta_j = 1$ 。

与主观权重相对应的客观权重记为 w_j , 且 $0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1$, 主、客观权重相结合, 最终确定各项指标的综合权重为

$$\gamma_j = \theta_j w_j / \sum_{j=1}^n (\theta_j w_j) \quad (j=1,2,\cdots,n) \tag{10}$$

矩阵 $\mathbf{R}$ 中每列的最优值为 r_j^* , 对矩阵 $\mathbf{R}$ 中的元素分别作越大越优型和越小越优型标准化处理, 得到标准化后的数据元素 d_{ij} 为

$$d_{ij} = \begin{cases} r_{ij}/r_j^* & (\text{指标 } j \text{ 的值越大越好}) \\ r_j^*/r_{ij} & (\text{指标 } j \text{ 的值越小越好}) \end{cases} \tag{11}$$

为了克服极值对模型的影响, 采用功效系数法对原始数据矩阵中的极值项进行变换^[22]。设矩阵 $\mathbf{R}$ 中每列的最劣值为 r_j^w , 则变换之后的数据 r'_{ij} 为

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij} - r_j^w}{x_j^* - x_j^w} \times 0.6 + 0.4 \tag{12}$$

结合式 (10) 和式 (11) 可以得到各评价项目的综合评价系数(熵权评价值) λ_i 为

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n (\gamma_j d_{ij}) \tag{13}$$

综合评价系数按从高到底的次序排列, 即得到各评价项目的优劣程度。

2.2 温室甜瓜的综合效益评价

依据熵权信息法与主观赋值法相结合的原理及计算步骤, 选取水费、电费、人工费、滴灌设备及管件费等资金投入项和成熟期、单果重、果型指数、口感风味及单价等产出项作为评价指标, 以不同加氧灌溉处理为待评项目(表 2), 计算得到各评价指标熵权信息值及各评价项目综合评价系数如表 3、表 4。

由综合评价系数可知, 不同处理温室甜瓜综合效益排序为 $T4 > T3 > T1 > T5 > T2 > T6$, 即一定频率的加氧灌溉可以提高温室甜瓜的综合效益。其中 2 天 1 次的加氧频率处理综合效益最优, 每天 1 次的次之, 不加氧普通地下滴灌处理的综合效益优于 3 天 1 次和每天 2 次处理, 沟灌处理的综合效益最差。加氧灌溉均可以提高温室甜瓜的产量和品质(表 2), 但由于加氧处理(T5 和 T2)增加了用电及滴灌设备及管件等资金投入, 致使最终的综合效益低于不加氧处理的普通地下滴灌。无论加氧与否, 地下滴灌的温室甜瓜综合效益始终优于沟灌, 这与前人的研究一致^[23~24]。

3 结论

(1) 应用基于客观赋值法的熵权信息法与主观赋值法相结合的综合评价方法对温室甜瓜综合效益进行了评价, 该方法既考虑到了评价指标之间的相

表 2 各灌溉处理温室甜瓜投入、产出及主客观权重值

Tab.2 List of investment, benefit and subjective weights of greenhouse muskmelon in different water supply treatments

试验设置	水费 /元·m ⁻²	电费 /元	人工费 /元	滴灌设备及 管件费/元	成熟期	单果 重/g	果型 指数	口感 风味	单价 /元·kg ⁻¹
T1	0.365	0	1800	0.616	1	953.604±20.139	0.042±0.004	9.1±0.031	2.82
T2	0.383	1.893	1775	1.231	2	970.659±14.432	0.062±0.006	9.2±0.028	3.69
T3	0.377	0.933	1750	1.231	3	1076.698±33.131	0.034±0.002	9.3±0.091	5.02
T4	0.378	0.460	1725	1.231	4	1098.110±14.857	0.029±0.001	9.7±0.014	6.29
T5	0.362	0.316	1775	1.231	2	1077.878±18.744	0.076±0.003	9.5±0.086	4.23
T6	1.031	0	1825	0	0	941.328±9.249	0.057±0.004	9.0±0.051	2.00
主观权重	0.110	0.114	0.113	0.111	0.112	0.112	0.104	0.112	0.112

表 3 各评价指标熵权信息

Tab.3 List of entropic coefficients of evaluation indexes

参数	水费	电费	人工费	滴灌设备及 管件费	成熟期	单果重	果型指数	口感风味	单价
e_j	0.941756	0.967763	0.999908	0.976734	0.978045	0.998849	0.969499	0.999818	0.965080
θ_j	0.287555	0.159159	0.000456	0.114864	0.108395	0.005681	0.150585	0.000899	0.172405
γ_j	0.286451	0.164313	0.000466	0.115463	0.109942	0.005762	0.141825	0.000912	0.174866

表 4 各评价项目综合评价系数

Tab.4 Comprehensive evaluation coefficients of evaluated terms

试验设置	T1	T2	T3	T4	T5	T6
综合评价系数	0.757376	0.634927	0.776761	0.874605	0.719731	0.558314

互联系及所提供信息量的大小,又考虑到了评测者的主观看法,是一种较为科学、全面的综合评价方法。

(2) 综合效益评价结果表明,虽然加氧处理均不同程度地提高了温室甜瓜的产量和品质,但由于加氧处理增加了电费、滴灌设备及管件投入等额外的费用,致使综合效益并非均高于不加氧普通地下

滴灌,其中2天1次和每天1次的加氧频率可以获得更高的产出、投入比,可以作为温室甜瓜加氧处理的操作规范。

(3) 采用加氧频率控制加氧量,同时兼有持续、间歇和灌后等不同的加氧方式,不仅涉及加氧方式对温室甜瓜产量和品质的影响,而且探讨了不同加氧方式下各处理措施的综合效益变化。

参 考 文 献

1 Meshkat M, Warner R C, Workman S R. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 43(1): 79~86.

2 Kere G M, Liu N G, Nyalala S P O. Influence of drip irrigation schedule and mulching material on yield and quality of greenhouse tomato (Lycopersicon esculentum Mill. ‘Money Maker’)[J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2003, 2(14): 1052~1058.

3 Phene C J, Davis K R, Hutmacher R B, et al. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes[J]. Acta Horticulturae, 1987, 200: 101~113.

4 Hutmacher R B, Mead R M, Shouse P. Subsurface drip: improving alfalfa irrigation in the west[J]. Irrigation Journal, 1996, 45: 48~52.

5 Hassanli A M, Ahmadirad S, Beecham S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(2): 357~362.

6 白丹, 王晓愚, 宋立勋, 等. 地下滴灌毛管水力要素试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 19~22.

Bai Dan, Wang Xiaoyu, Song Lixun, et al. Hydraulic factors of laterals in subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 19~22. (in Chinese)

- 7 Meyer W S, Barrs H D, Smith R C G, et al. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in a clay soil[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1985, 36(2): 171 ~ 185.
- 8 Drew M C. Soil aeration and plant root metabolism[J]. Soil Science, 1992, 154(4): 259 ~ 267.
- 9 孙周平, 郭志敏, 王贺. 根际通气性对马铃薯光合生理指标的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 125 ~ 128.
Sun Zhouping, Guo Zhimin, Wang He. Effects of different rhizosphere ventilation treatments on photosynthetic and physiological indices of potato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(3): 125 ~ 128. (in Chinese)
- 10 Kurtz K W, Kneebone W R. Influence of aeration and genotypes up on root growth of creeping bentgrass at supraoptimal temperature[J]. International Turfgrass Society Research Journal, 1980, 3: 145 ~ 148.
- 11 Goorahoo D, Carstensen G, Zoldoske D F, et al. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell peppers[J]. International Water and Irrigation, 2002, 22(2): 39 ~ 42.
- 12 Petigara B R, Blough N V, Mignerey A C. Mechanism of hydrogen peroxide decomposition in soils[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(4): 639 ~ 645.
- 13 Bhattarai S, Huber S, Midmore D J. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soil[J]. Annals of Applied Biology, 2004, 144(3): 285 ~ 298.
- 14 Wuertz H. Subsurface drip irrigation: on-farm responses and technical advances[C] // College of Agricultural and Home Economics, New Mexico State University. Drip Irrigation for Row Crops, Cooperative Extensive Service, Circular 573, 2000.
- 15 Bhattarai S P, Midmore D J. Oxygenation of rhizosphere with subsurface aerated irrigation water improves lint yield and performance of cotton on saline heavy clay soil[C] // 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 2004.
- 16 刘君璞, 许勇, 孙小武, 等. 我国西瓜甜瓜产业“十一五”的展望及建议[J]. 中国瓜菜, 2006(1): 1 ~ 3.
- 17 张静, 任卫新, 严健. 番茄膜下滴灌综合效益分析[J]. 节水灌溉, 2004(1): 29 ~ 30.
- 18 Yuan B Z, Kang Y, Nishiyama S. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse[J]. Irrigation Science, 2001, 20(3): 149 ~ 154.
- 19 Zeng C Z, Bie Z L, Yuan B Z. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(4): 595 ~ 602.
- 20 赵伟霞, 蔡焕杰, 单志杰, 等. 无压灌溉日光温室番茄高产指标[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 16 ~ 21.
Zhao Weixia, Cai Huanjie, Shan Zhijie, et al. High yield indicators of greenhouse tomato under non-pressure irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 16 ~ 21. (in Chinese)
- 21 汤瑞凉, 王葵. 农作物品种综合评判的熵权系数法研究[J]. 资源开发与市场, 2002, 18(5): 3 ~ 4.
Tang Ruiliang, Wang Yan. Method of entropic coefficients for comprehensive evaluation of crop varieties[J]. Resource Development & Market, 2002, 18(5): 3 ~ 4. (in Chinese)
- 22 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(12): 98 ~ 102.
Guo Xianguang. Application of improved entropy method in evaluation of economic result[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1998(12): 98 ~ 102. (in Chinese)
- 23 Ayars J E, Phene C J, Hutmacher R B, et al. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory[J]. Agricultural Water Management, 1999, 42(1): 1 ~ 27.
- 24 Lamm F R, Trooien T P. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas[J]. Irrigation Science, 2003, 22(3 ~ 4): 195 ~ 200.

(上接第 114 页)

- 17 Lopez C. Focus on the supramolecular structure of milk fat in dairy products[J]. Reproduction Nutrition Development, 2006, 46(1): 497 ~ 511.
- 18 Jaros D, Petrag J, Rohm H, et al. Milk fat composition affects mechanical and rheological properties of processed cheese [J]. Applied Rheology, 2001, 11(1): 19 ~ 25.
- 19 郭本恒. 干酪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- 20 Mistry V V, Anderson D L. Improving the sensory characteristics of reduced-fat cheese[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1995, 367: 371 ~ 382.
- 21 Zhang H, Takenaka M, Isobe S. DSC and electrophoretic studies on soymilk protein denaturation[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2004, 75(3): 719 ~ 726.
- 22 Walstra P. On the stability of casein micelles[J]. Journal of Dairy Science, 1990, 73(8): 1965 ~ 1979.