

网络出版时间:2016-06-08 16:21

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.07.030

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160608.1621.060.html>

水肥对番茄产量、品质 and 水分利用率的 影响及综合评价

张 军, 李建明, 张中典, 黄红荣, 潘铜华, 范 洁

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**优化设施番茄水肥一体化灌溉施肥制度。**【方法】**以“金棚1号”番茄为试材,在2013年研究总结的水肥总量(灌水量 $2\,518.74\text{ m}^3/\text{hm}^2$, N $542.58\text{ kg}/\text{hm}^2$, P_2O_5 $206.30\text{ kg}/\text{hm}^2$, K_2O $940.03\text{ kg}/\text{hm}^2$)基础上,上下浮动30%后,设置T1(中水中肥)、T2(中水低肥)、T3(中水高肥)、T4(低水中肥)、T5(高水中肥)5个处理,以传统沟灌为对照,在滴灌条件下研究不同水肥对番茄产量、品质 and 水分利用效率的影响,并用模糊综合评价方法,通过赋予客观权重和主观权重后得到综合权重,对不同水肥处理下番茄综合品质、产量 and 水分利用效率进行综合评价。**【结果】**试验结果表明:在一定范围内番茄产量随水肥用量的增加先增高后降低;水分利用效率随灌水量的增加呈下降趋势,合理施肥有利于水分利用效率的提高;中水中肥和低水中肥条件下番茄综合品质较好,水分或肥料过多均会造成番茄品质下降;T1处理的综合表现最优,产量最高,为 $130.80\text{ t}/\text{hm}^2$,品质较好,水分利用率较高,为 $51.90\text{ kg}/\text{m}^3$;与沟灌对照(产量 $115.40\text{ t}/\text{hm}^2$,水分利用效率 $23.46\text{ kg}/\text{m}^3$)相比,T1处理产量、水分利用效率分别提高了13.34%,121.23%。**【结论】**利用综合评价法得出的设施番茄水肥一体化最优水肥用量为灌水量 $2\,518.74\text{ m}^3/\text{hm}^2$, N $542.58\text{ kg}/\text{hm}^2$, P_2O_5 $206.30\text{ kg}/\text{hm}^2$, K_2O $940.03\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

【关键词】 水肥一体化;番茄产量;番茄品质;水分利用效率;综合评价法

【中图分类号】 S641.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)07-0215-08

Effect of water and fertilizer on yield, quality and water use efficiency of tomato

ZHANG Jun, LI Jianming, ZHANG Zhongdian,

HUANG Hongrong, PAN Tonghua, FAN Jie

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** This study aimed to optimize integrated water and fertilizer management system for tomatoes. **【Method】** “Jinpeng No. 1” tomato was used as test materials. On the basic irrigation and fertilizing total amounts (irrigation $2\,518.74\text{ m}^3/\text{hm}^2$, N $542.58\text{ kg}/\text{hm}^2$, P_2O_5 $206.30\text{ kg}/\text{hm}^2$, and K_2O $940.03\text{ kg}/\text{hm}^2$), 5 treatments including T1 (middle water and middle fertilizer), T2 (middle water and low fertilizer), T3 (middle water and high fertilizer), T4 (low water and middle fertilizer), and T5 (high water and middle fertilizer) were set with 30% increase or decrease in irrigation and fertilizing amount. Using furrow irrigation as control, the influence of different irrigation and fertilizer on yield, quality and water use efficiency of tomato was investigated. Fuzzy comprehensive evaluation method was also used to comprehensively evaluate quality, yield and water use efficiency with the integration of objective and subjective

【收稿日期】 2014-12-31

【基金项目】 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B06);国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD29B01)

【作者简介】 张 军(1990—),男,重庆万州人,在读硕士,主要从事设施园艺研究。E-mail:wszjunjun@163.com

【通信作者】 李建明(1966—),男,陕西洛川人,教授,博士,博士生导师,主要从事设施园艺研究。E-mail:lijianming66@163.com

weights.【Result】Tomato yield increased firstly and then decreased with the increase of irrigation and fertilizer amounts. With the increase of irrigation,water use efficiency decreased,and reasonable fertilization was beneficial to the increase of the water use efficiency. The comprehensive quality of tomato was high with middle water and middle fertilizer or low water and middle fertilizer,while too much of water and fertilizer caused the decrease of quality of tomato. The general performance of T1 was best with highest yield of 130.80 t/hm²,good quality,and high water use efficiency of 51.90 kg/m³. Comparing with furrow irrigation,the yield and water use efficiency of T1 increased by 13.34% and 121.23%.【Conclusion】The optimal irrigation and fertilizing amounts for tomatoes under the integrated water and fertilizer management were irrigation 2 518.74 m³/hm²,N 542.58 kg/hm²,P₂O₅ 206.30 kg/hm²,and K₂O 940.03 kg/hm².

Key words:integrated water and fertilizer management;yield of tomato;quality of tomato;water use efficiency;comprehensive evaluation method

水肥是影响作物生长发育的两大重要因素,也是最易控制的因素。目前,大多设施蔬菜灌溉与施肥仍沿用露地蔬菜“大水大肥”的粗放管理模式,这不但对作物生长发育不利,还会引起水肥资源浪费和环境污染^[1-2]。水肥一体化技术是通过滴灌系统将灌溉与施肥相结合,作物在吸收水分的同时吸收养分,具有高效利用、节约成本、改善土壤微生态环境等优点,是当前条件下优化设施蔬菜生产的重要技术^[2]。不同水肥对番茄产量、品质和水分利用效率等方面均有影响,只根据某一指标来确定作物水肥一体化管理制度显然不够全面,因此需要采取综合评价方法对多个指标信息进行加工和提炼,从多方面进行决策^[3-4]。

2013 年,李建明等^[5]研究了灌溉上限与施肥量耦合对大棚番茄产量及水分利用等方面的影响,并据此总结出一套设施番茄土壤栽培水肥一体化管理制度,这对温室番茄的生产具有指导意义。为验证该制度,本试验在此基础上设置了不同水肥水平,以传统沟灌为对照,从产量、品质和水分利用等方面进行分析,并对不同处理进行综合评价,以期为优化大棚番茄水肥一体化管理制度提供补充。

表 1 2013 年总结的番茄不同时期水肥一体化管理制度

Table 1 Integrated water and fertilizer management for tomato in different periods in 2013

不同时期 Different times	距定植后时间/d Days after planting	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²) Irrigation amount	施肥量/(kg·hm ⁻²) Fertilizing amount	
			N	K ₂ O
苗期 Seedling stage	8~25	134.93	69.57	85.46
开花坐果期 Blossoming and bearing fruits stage	26~45	359.82	139.13	205.10
结果初期 Fruiting early stage	46~65	719.64	167.02	239.28
结果盛期 Fruiting prosperously stage	66~120	1 304.35	167.02	410.19
全生育期 Whole growth period		2 518.74	542.58	940.03

注:磷肥 P₂O₅ 用量为 206.30 kg/hm²,作基肥施入,氮肥和钾肥随水施入。
Note:P₂O₅ amount of 206.30 kg/hm² was applied as base fertilizer. Nitrogen and potassium fertilizers are applied with watering.

1 材料与方法

1.1 试验场地与材料

试验于 2014 年 3 月至 7 月在西北农林科技大学北校区园艺场的塑料大棚内进行。试验土壤体积质量 1.36 g/cm³,田间最大持水量 24.5%,有机质含量 15.84 g/kg,碱解氮 86.56 mg/kg,速效磷 150.52 mg/kg,速效钾 240.18 mg/kg,pH 值 7.2。供试番茄品种为“金棚 1 号”,试验所用肥料为尿素(总 N≥46.4%)、过磷酸钙(P₂O₅≥16%)和硫酸钾(K₂O≥57.0%)。

1.2 试验设计与方法

以灌水量和施肥量为试验因子,采用滴灌与传统沟灌 2 种灌溉方式,以传统沟灌作为对照。根据 2013 年研究总结的水肥一体化管理制度(表 1),以其水肥总量(灌水量 2 518.74 m³/hm²,N 542.58 kg/hm²,P₂O₅ 206.30 kg/hm²,K₂O 940.03 kg/hm²)为基准,上下浮动 30%后将水、肥分别设低、中、高 3 个水平,并将各水平按标准进行组合,得到 5 个滴灌水肥处理,各处理水肥用量如表 2 所示。

表 2 本试验中的番茄水肥处理方案

Table 2 Water and fertilizer treatment schemes for tomato in this experiment

灌溉方式 Irrigation method	处理编号 Treatment number	水肥组合 Combination of irrigation and fertilizer	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²) Irrigation amount	施肥量/(kg·hm ⁻²) Fertilizing amount		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
滴灌 Drip irrigation	T1	中水中肥 Middle water and middle fertilizer	2 518.74	542.58	206.30	940.03
	T2	中水低肥 Middle water and low fertilizer	2 518.74	379.76	144.38	658.02
	T3	中水高肥 Middle water and high fertilizer	2 518.74	705.40	268.22	1 222.04
	T4	低水中肥 Low water and middle fertilizer	1 763.12	542.58	206.30	940.03
	T5	高水中肥 High water and middle fertilizer	3 274.36	542.58	206.30	940.03
沟灌 Furrow irrigation	CK		4 919.94	542.58	206.30	940.03

注:磷肥作基肥施入,氮肥和钾肥随水施入。
Note:Phosphorous P₂O₅ is applied as base fertilizer,nitrogen and potassium fertilizer are applied with watering.

每个处理设 3 次重复,随机区组排列。试验小区长 5 m,宽 1.2 m,3 月 21 日定植,7 月 20 日拉秧。番茄株距 30 cm,行距 60 cm,小区边缘设保护行,相邻小区间用塑料薄膜将土壤隔开,防止处理间水肥通过土壤相互渗透。畦上覆膜,采用膜下滴灌及水肥一体化管理模式,除过磷酸钙作为基肥一次施入外,其余肥料均按少量多次的原则随水施入,具体水肥管理如表 1 所示,沟灌水肥同常规管理方法。各处理除水肥用量不同外,其余农艺措施均相同。

1.3 测定项目及方法

番茄产量按小区统计,自 2014-06-10 开始采收至 7 月 20 日结束,每隔 5 d 对成熟度一致的果实进行采收并称质量。第 2 穗果成熟时,在每小区随机选取 3 个成熟度相同的番茄用于品质测定,其中可溶性酸用酸度计测定,可溶性固形物用折光仪测定;测定其他品质指标时,先将番茄用蒸馏水洗净,再用组织捣碎机研磨均匀,果实可溶性糖含量采用蒽酮比色法,V_C 含量采用钼蓝比色法,硝酸盐含量采用水杨酸-硫酸法^[6],番茄红素含量采用分光光度计法,糖酸比=可溶性糖/可滴定酸。本试验中的水分利用效率(WUE)为灌溉水利用效率^[7]:

$$WUE=Y/I。$$

式中:Y 为各处理番茄的总产量,kg;I 为生育期内灌水量,m³。

1.4 综合评价方法

1.4.1 模糊综合评价方法^[8] 设有 n 个待评价方案,每个方案有 m 个评价指标,则构建有 n 个方案、 m 个评价指标的评价特征值矩阵:

$$\mathbf{X}=(x_{ij})。$$
 (1)

式中: x_{ij} 为方案 j 指标 i 的特征值($i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n$)。

在实际决策中,将番茄各评价指标分为越大越优型和越小越优型两类,各类指标对优的相对隶属

度计算公式如下。

越大越优型:

$$r_{ij}=(x_{ij}-x_{i\min})/(x_{i\max}-x_{i\min})。$$
 (2)

越小越优型:

$$r_{ij}=(x_{i\max}-x_{ij})/(x_{i\max}-x_{i\min})。$$
 (3)

式中: r_{ij} 为方案 j 中指标 i 的特征值对优的相对隶属度; $x_{i\min}$ 表示方案集中指标 i 的最小特征值; $x_{i\max}$ 表示方案集中指标 i 的最大特征值。

根据式(2)和式(3)将评价指标特征值矩阵 $\mathbf{X}$ 归一化处理,消除各指标量纲不同带来的影响,得到各评价指标对优的相对隶属度矩阵:

$$\mathbf{R}=(r_{ij})。$$
 (4)

假设评价指标的综合权向量(W)为 $W=(w_1,w_2,\cdots,w_m)^T$,满足 $0\leq w_i\leq 1$ 。

多方案比较仅限于可供选择的 n 个方案,因此具有相对性。在可供选择的 n 个方案中,定义相对最优方案隶属度与相对最劣方案隶属度分别为 $G=(g_1,g_2,\cdots,g_m)^T,D=(d_1,d_2,\cdots,d_m)^T$,其中, $g_i=\sum_{j=1}^n \vee r_{ij},d_i=\sum_{j=1}^n \wedge r_{ij}。$

根据加权广义欧式权距离与最小二乘法准则可得方案 j 的相对优属度 u_j 为:

$$u_j=\left\{1+\frac{\sum_{i=1}^m[\omega_i(g_{ij}-r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m[\omega_i(r_{ij}-d_{ij})]^2}\right\}^{-1}。$$
 (5)

$0<u_j<1,u_j$ 值越大,表明该方案越好。

1.4.2 权重的确定 构建 n 个可行方案 m 个评价指标的特征矩阵 $\mathbf{Y}=(y_{ij})$,其中 $i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n$ 。应用式(2)和式(3)将评价指标特征值矩阵归一化处理得矩阵 $\mathbf{B}=(b_{ij}),b_{ij}$ 为方案 j 中指标 i 的特征值对优的相对隶属度。

根据熵的定义,确定评价指标 i 的熵值 H_i 为:

$$H_i=\frac{1}{\ln}\left[\sum_{j=1}^nf_{ij}\ln f_{ij}\right],$$
 (6)

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^n b_{ij}}.$$

(7)

式中: $0 \leq H_i \leq 1$,为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,假定 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$; $i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n$ 。

利用熵值计算评价指标 i 的熵权 w_{ei} :

$$w_{ei} = \frac{\sum_{i=1}^m H_i + 1 - 2H_i}{\sum_{i=1}^m (\sum_{i=1}^m H_i + 1 - 2H_i)}.$$

(8)

采用熵权与主权重相结合计算评价指标 i 的综合权重 w_i :

$$w_i = \frac{w_{si} \cdot w_{ei}}{\sum_{i=1}^m (w_{si} \cdot w_{ei})}.$$

(9)

式中: w_{si} 为评价指标 i 的主权重。

由于番茄品质包含多项指标,在综合评价时,首先对各处理的品质进行综合评价,再利用各处理的综合品质、产量和水分利用效率 3 个指标进行最终评价^[9]。

1.5 数据处理

采用 Excel 及 DPS 软件对数据进行方差分析及图表制作,采用 Duncan's 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同水肥对番茄产量的影响

从表 3 可以看出,从灌溉方式上看,除了 T4 处理外,采用滴灌的番茄产量均高于传统沟灌 CK,且 T1、T3、T5 处理的产量与 CK 的差异达到显著水平。从滴灌的 5 个处理看,T1 处理产量最高,T4 处理最低,T1 处理与 T3 处理的产量差异不显著,但二者均显著高于 T2 处理,说明在灌水量相同的条

件下,在一定范围内随着施肥量的增加,番茄产量有所提高,但当施肥量增加到一定程度时,这种正效应会逐渐消失,甚至表现为一定程度的下降;T1、T4、T5 处理番茄产量依次为 $T1 > T5 > T4$,且三者之间差异均达到显著水平,表明在施肥量相同的条件下,在一定范围内,随着灌溉量的增加,番茄产量显著提高,当灌溉量增加到一定程度后,产量增加效益不明显,甚至出现下降趋势;T2、T4 处理的产量均较低,说明灌溉施肥下限对番茄产量的形成具有较大影响,尤其 T4 处理的产量显著低于 T2 处理,说明灌水量过低比施肥不足导致的减产程度更加严重。T1、T3、T5 处理间差异小于 T1、T4、T5 处理间差异,表明灌溉量对番茄产量形成的影响要大于施肥量。

2.2 不同水肥对番茄水分利用率的影响

如表 3 所示,不同处理对番茄水分利用效率的影响存在明显差异。总体而言,采用滴灌方式 5 个处理的水分利用效率均显著高于沟灌处理,其中 T4 处理水分利用率最高,达到 53.70 kg/m^3 ,CK 最低,只有 23.46 kg/m^3 ,仅为 T4 处理的 43.69% 。与 T1 处理相比,CK 多消耗 $2\,401.20 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 水,但产量反而降低了 15.4 t/hm^2 ,说明传统大水漫灌的生产方式不仅对水资源造成了极大的浪费,而且也不能提高产量。T4 处理的产量虽最低,但水分利用效率却最高,说明产量越高并不一定水分利用效率也越高,所以在实际生产中应该根据作物需求进行合理灌溉,既不能造成水分的严重浪费,也不能因为水分不足而造成产量大幅下降。此外,合理的施肥有助于产量提高,增加了单位灌水量所生产的产量,即提高了水分利用效率。

表 3 不同水肥处理对番茄产量和水分利用效率的影响

Table 3 Effect of different water and fertilizer treatments on yield and water use efficiency of tomato

灌溉方式 Irrigation method	处理 Treatment	产量/(t·hm ⁻²) Yield	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation amount	水分利用效率/(kg·m ⁻³) Water use efficiency
滴灌 Drip irrigation	T1	130.80 a	2 518.74	51.90 b
	T2	118.90 cd	2 518.74	47.18 c
	T3	127.50 ab	2 518.74	50.58 b
	T4	94.70 e	1 763.12	53.70 a
	T5	123.70 bc	3 274.36	37.76 d
沟灌 Furrow irrigation	CK	115.40 d	4 919.94	23.46 e

注:同列数据后标不同小写字母表示 0.05 水平时差异显著;下表同。
Note: Different small letters in each column mean significant difference at $P=0.05$. The same below.

2.3 不同水肥对番茄品质的影响

2.3.1 对单一品质指标的影响 不同处理下番茄果实品质的各项指标如表 4 所示。表 4 结果表明,不同水肥对番茄各指标的影响差异较大。T5 和

CK 处理可溶性固形物含量较其他处理有所提高,表明增加灌溉量有利于提高番茄可溶性固形物含量;可溶性酸含量的变化规律不明显,T2 处理较低,说明较低肥料用量会使番茄果实的可溶性酸含量降

低;可溶性糖含量随着施肥量的增加而增大,随着灌溉量的增加先升高后降低,沟灌可溶性糖含量最低;高水处理的糖酸比较低;V_c 含量表现为低水处理较高,高肥处理较低;水肥对番茄红素的影响具有显著差异,随着灌溉量增加,番茄红素含量显著降低,以

中肥处理较高,肥料过高或过低都会使番茄红素不同程度降低;硝酸盐含量也随不同水肥水平表现出显著差异,主要随施肥量的降低而降低,同时灌水量过高或过低都会使番茄果实中硝酸盐含量有所升高。

表 4 不同水肥处理对番茄单一品质指标的影响

Table 4 Effect of different water and fertilizer treatments on single quality index of tomato								
灌溉方式 Irrigation method	处理 Treatment	可溶性 固形物/% Soluble solid	可溶性酸/% Soluble acid	可溶性糖/ (mg·g ⁻¹) Soluble sugar	糖酸比 Sugar acid ratio	V _c / (mg·g ⁻¹)	番茄红素/ (μg·g ⁻¹) Lycopene	硝酸盐/ (μg·g ⁻¹) Nitrate nitrogen
滴灌 Drip irrigation	T1	5.60 b	0.64 b	42.66 b	6.67 a	69.58 bc	55.73 b	265.22 e
	T2	5.50 b	0.56 c	37.78 c	6.74 a	67.59 d	42.07 c	259.46 f
	T3	5.70 b	0.72 a	44.82 a	6.23 b	59.14 e	39.89 d	343.72 d
	T4	5.60 b	0.61 b	38.00 c	6.23 b	80.29 a	63.10 a	388.63 c
	T5	6.40 a	0.70 a	38.42 c	5.49 c	68.44 cd	36.76 e	444.93 a
沟灌 Furrow irrigation	CK	6.50 a	0.63 b	32.96 d	5.27 c	70.04 b	33.45 f	409.45 b

2.3.2 对综合品质的影响 只从单一指标进行分析很难判断不同水肥对番茄品质形成的影响,为了更全面地反映各处理对番茄品质的影响,需要将单一品质指标结合起来,对不同处理进行综合评价,从而得到各处理对番茄综合品质的影响,更好地判断哪种水肥处理更有利于形成较好的番茄品质。

选择可溶性固形物、可溶性酸、可溶性糖、糖酸比、V_c 含量、番茄红素含量、硝酸盐含量等 7 项品质指标对各处理进行综合评价。首先用 6 个处理测得 7 项单一指标形成评价特征值矩阵,利用式(2)和(3)对评价特征值矩阵进行归一化处理(除硝酸盐含量为越小越优型指标外,其余 6 个指标均为越大越优型),得到各评价指标对优的相对隶属度矩阵;利用式(6)和(7)计算各指标的熵值,再利用式(8)求得

各指标的熵权(客观权重),同时将主观权重与客观权重进行线性组合,利用式(9)确定各指标的综合权重。在确定主观权重时,参照文献[10]中所确定的专家权重,适当降低可溶性酸、糖酸比等指标所占权重,适当提高 V_c、番茄红素等指标权重,最终确定各指标所占权重如表 5 所示。

利用式(5)计算各处理的相对优属度 u_j 值,根据 u_j 值的大小对各处理进行排序如表 6 所示,各处理 u_j 值大小为 T1>T4>T2>T5>CK>T3,表明 T1 处理番茄综合品质最好,但其 u_j 值与 T4 处理十分接近,说明中水中肥和低水中肥有利于提高番茄品质;T3 处理品质最差,T5、CK 处理的 u_j 值较低,说明肥料或水分过高均会降低番茄果实品质。

表 5 番茄单一品质指标所占权重

Table 5 Weight of single quality index of tomato				
指标 Index	H_i	客观权重 Objective weight	主观权重 Subjective weight	综合权重 Integrated weight
可溶性固形物 Soluble solid	0.677 7	0.150 1	0.17	0.177 9
可溶性酸 Soluble acid	0.845 5	0.140 5	0.07	0.068 6
可溶性糖 Soluble sugar	0.857 7	0.139 8	0.12	0.117 0
糖酸比 Sugar acid ratio	0.829 5	0.141 4	0.10	0.098 6
V _c	0.862 0	0.139 6	0.18	0.175 2
番茄红素 Lycopene	0.752 6	0.145 8	0.20	0.203 4
硝酸盐 Nitrate nitrogen	0.807 7	0.142 7	0.16	0.159 2

表 6 不同水肥处理番茄的综合品质排序

Table 6 Rank of integrated quality of tomato in different water and fertilizer treatments					
处理 Treatment	综合评价优属度 Optimal membership degree of comprehensive evaluation	综合排序 Comprehensive ranking	处理 Treatment	综合评价优属度 Optimal membership degree of comprehensive evaluation	综合排序 Comprehensive ranking
T1	0.662 5	1	T4	0.640 8	2
T2	0.384 9	3	T5	0.329 2	4
T3	0.287 1	6	CK	0.315 1	5

2.4 番茄产量、品质和水分利用效率的综合评价

通过上述分析可以看出,不同水肥组合对番茄的产量、品质和水分利用效率的影响均有差异,而产量、品质和水分利用效率分别反映了不同灌溉施肥处理所产生的经济效益、营养效益和节水效益,因此结合产量、品质和水分利用效率对各处理进行综合评价是比较科学的。

由于番茄品质有多项指标,为了使评价结果更加合理,选择品质综合评价优属度参与最终评价,具体方法与综合品质相同。由表 7 可以看出,利用熵权法计算出的客观权重为:产量 0.307 9,综合品质 0.382 5,水分利用效率 0.309 7,三者相差不大,但笔者认为这与实际情况不完全符合,结合实际情况,确定主观权重排序为产量>综合品质>水分利用效率,再将主观权重与客观权重进行线性组合,最终确

表 7 不同水肥处理番茄综合评价指标所占权重

评价指标 Evaluation index	H_i	客观权重 Objective weight	主观权重 Subjective weight	综合权重 Integrated weight
产量 Yield	0.887 4	0.307 9	0.5	0.465 5
综合品质 Comprehensive quality	0.683 6	0.382 5	0.3	0.347 1
水分利用效率 Water use efficiency	0.882 2	0.309 7	0.2	0.187 4

表 8 不同水肥处理番茄综合效益排序

处理 Treatment	综合评价优属度 Optimal membership degree of comprehensive evaluation	综合排序 Comprehensive ranking	处理 Treatment	综合评价优属度 Optimal membership degree of comprehensive evaluation	综合排序 Comprehensive ranking
T1	0.999 7	1	T4	0.395 6	5
T2	0.582 7	3	T5	0.568 8	4
T3	0.628 1	2	CK	0.288 1	6

3 讨 论

水肥是影响作物产量形成的关键因素,水分与养分共同影响着植物的生长发育^[11]。本试验结果表明,灌水和施肥量均过低会导致番茄产量减少,过高对产量没有显著的提高,反而会出现一定程度的降低,只有灌水和施肥量保持在适宜水平才能获得较高产量,这与前人的研究结果^[5,12-15]一致。韦泽秀等^[16]研究表明,随灌水量的增加土壤微生物多样性先增加后降低,说明适当的水分处理有助于土壤微生物多样性形成,从而形成良好的土壤环境,有利于促进植物根系的生长和养分吸收。同时,本试验水肥一体化栽培管理模式下的番茄产量总体上均高于传统沟灌,与樊兆博等^[17]的研究结果一致,这可能是由于肥料溶于水,通过滴灌系统渗入根系周围,使作物主要根系区的土壤始终保持在最佳含水量和最优养分状态,更有利于作物对水肥的吸收和

定各评价指标的综合权重为产量(0.465 5)>综合品质(0.347 1)>水分利用效率(0.187 4)。而由表 8 可以看出,T1 处理的综合评价优属度得分最高,CK 得分最低,表明采用滴灌方式的水肥一体化栽培模式所产生的综合效益均优于沟灌;比较 T1、T2、T3 处理可知,在水分相同的条件下,随着肥料用量的增加,综合得分呈先升高后降低趋势;比较 T1、T4、T5 处理可知,在施肥量相同的情况下,综合得分同样表现为先升高后降低,说明水肥用量过多或过少都会造成综合效益的降低,只有水肥用量均保持在适宜水平才会获得较高的综合效益。从表 8 还可以看出,在 5 个滴灌处理中,T4、T5 处理得分较低,为水分最多和最少的处理,说明灌溉量对综合效益的影响较大。

利用^[18]。

在番茄众多品质指标中,硝酸盐含量一直是人们关注的热点。本试验研究表明,硝酸盐含量主要随施肥量的降低而降低,灌水量过高或过低都会使番茄果实中的硝酸盐含量有所升高。但陈碧华等^[19]研究表明,边际硝酸盐含量随灌水量增加呈减少趋势,这与本试验结果有所差异。此外,本试验对各处理下番茄果实品质进行了综合评价,表明低水中肥和中水中肥有利于提高番茄品质,与吴雪等^[10]的结果相近。但有关水肥与番茄品质的研究结果存在较大差异,仍有待更进一步的探索。

水分利用效率表征作物产量与耗水量的关系,是研究作物生长与水分关系的重要参数^[20]。本试验结果表明,水肥一体化管理模式下的水分利用效率均显著高于沟灌,充分体现了水肥一体化体系有较好的节水效果,也反映了传统漫灌方式对水资源的极大浪费。同时本研究发现,产量越高,其水分利

用效率不一定越高。张辉等^[21]研究表明,番茄水分利用效率随其产量增加而呈抛物线型变化。本试验 T4 处理水分利用效率最高,但其产量在所有处理中最低,这可能是由于其灌水量较低,番茄植株受到了一定程度干旱胁迫,所以水分利用效率并不一定越高越好。在实际生产中,应当结合产量与灌水量,考虑综合效益,既不能由于缺水造成作物大量减产,又不能因灌水过多造成水分的严重浪费。

确定各评价指标所占权重是综合评价的重要环节,主观赋值法较接近实际,但忽视了指标之间的相互联系,缺少科学依据;客观赋值法具有较强的理论基础,但缺少主观灵活性^[22]。虞娜等^[23]利用基于熵权的 TOPSIS 模型对保护地番茄水肥效应进行了评价,但其确定各指标权重时仅利用熵权系数法,使获得结果与实际情况有一定偏差,如产量所占权重仅为 0.025 7,较其他指标明显偏小。本研究在确定权重时采用熵权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和实际情况,使评价结果更加科学、可靠。

4 结 论

1) 番茄水肥一体化栽培管理模式明显优于传统沟灌。水肥一体化条件下最优处理番茄产量高出沟灌 15.4 t/hm²,综合品质优属度为沟灌的 2.1 倍,水分利用效率为沟灌的 2.21 倍,灌水量减少 2 401.20 m³/hm²,节约了 48.81% 用水。

2) 水肥一体化条件下,番茄产量随水肥用量的增加而提高,超过一定范围后,这种提高效应不显著,甚至表现为一定程度的下降;中水中肥和低水中肥条件下番茄综合品质较高,适当降低灌水量有利于番茄品质的提高,过多的水分或肥料均会造成番茄品质下降;水分利用效率随灌水量的增加呈下降趋势,合理施肥有利于水分利用效率的提高。

3) 利用综合评价法从番茄产量、品质和水分利用效率 3 方面对各水肥处理进行综合评价可知,最佳用水量为 2 518.74 m³/hm²,施肥量为 N 542.58 kg/hm²、P₂O₅ 206.30 kg/hm²、K₂O 940.03 kg/hm²,其综合评价优属度值为 0.999 7,高于其他处理,表明这种水肥一体化管理制度是合理、可靠的。

[参考文献]

[1] 谢 伟,黄 璜,沈建凯.植物水肥耦合研究进展[J].作物研究,2007,21(5):541-546.

- Xie W, Huang H, Shen J K. Progress in plant fertilizer coupling [J]. Crop Research, 2007, 21(5): 541-546.
- [2] 倪宏正,尤 春,倪 玮.设施蔬菜水肥一体化技术应用[J].中国园艺文摘,2013(4):140-141,192.
- Ni H Z, You C, Ni W. Application of integration of water and fertilizer technology of greenhouse vegetable [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2013(4): 140-141, 192.
- [3] 王 晖,陈 丽,陈 昱,等.多指标综合评价方法及权重系数的选择[J].广东药学院学报,2007,23(5):583-589.
- Wang H, Chen L, Chen K, et al. Multi-index evaluation method and the choice of weight coefficient [J]. Journal of Guangdong College of Pharmacy, 2007, 23(5): 583-589.
- [4] 陈述云,张崇甫.多指标综合评价方法及其优化选择研究[J].数理统计与管理,1994,13(3):18-21.
- Chen S Y, Zhang C F. On methodology of multi-indicator composite evaluation [J]. Application of Statistics and Management, 1994, 13(3): 18-21.
- [5] 李建明,潘铜华,王玲慧,等.水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2014,30(10):82-90.
- Li J M, Pan T H, Wang L H, et al. Effects of water-fertilizer coupling on tomato photosynthesis, yield and water use efficiency [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 82-90.
- [6] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2012.
- Gao J F. Plant physiology experiment instruction [M]. Beijing: Higher Education Press, 2012.
- [7] 郑 健,蔡焕杰,王 健,等.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.
- Zheng J, Cai H J, Wang J, et al. Fuzzy evaluation to integration benefit of regulated deficit irrigation of mini-watermelon based on information entropy [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 124-129.
- [8] 周惠成,张改红,王国利.基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J].水利学报,2007,38(1):100-106.
- Zhou H C, Zhang G H, Wang G L. Multi-objective decision making approach based on entropy weights for reservoir flood control operation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1): 100-106.
- [9] 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,2006,22(2):33-36.
- Lu Y B, Guo L Z, Lang J B. Application of integrated appraisal method to water-saving irrigation pattern selection [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(2): 33-36.
- [10] 吴 雪,王坤元,牛晓丽,等.番茄综合营养品质指标构建及其对水肥供应的响应[J].农业工程学报,2014,30(7):119-127.
- Wu X, Wang K Y, Niu X L, et al. Construction of comprehensive nutritional quality index for tomato and its response to water and fertilizer supply [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(7): 119-127.
- [11] 王智琦,马忠明,张立勤.水肥耦合对作物生长的影响研究综

述 [J]. 甘肃农业科技, 2011(5): 44-48.

Wang Z Q, Ma Z M, Zhang L Q. A review of couple effect of water and fertilizer on crop development [J]. Gansu Agr Sci and Techn, 2011(5): 44-48.

[12] 侯伟娜, 刘旭, 何翠, 等. 不同水肥处理对日光温室番茄品质及产量的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(1): 25-28.

Hou W N, Liu X, He C, et al. Effects of different irrigation and fertilization treatments on tomato quality and yield in solar greenhouse [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(1): 25-28.

[13] 张燕, 张富仓, 袁宇霞, 等. 灌水和施肥对温室滴灌施肥番茄生长和品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 206-212.

Zhang Y, Zhang F C, Yuan Y X, et al. The effect of irrigation and fertilization on growth and quality of tomato under fertigation in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(2): 206-212.

[14] 虞娜, 张玉龙, 邹洪涛, 等. 温室内膜下滴灌不同水肥处理对番茄产量和品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 60-64.

Yu N, Zhang Y L, Zou H T, et al. Effects of different water and fertilization treatments on yield and fruit quality of tomato with plastic mulching and drip irrigation in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(1): 60-64.

[15] 袁宇霞, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 76-83.

Yuan Y X, Zhang F C, Zhang Y, et al. Effects of irrigation threshold and fertilization on growth, yield and physiological properties of fertigated tomato in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(1): 76-83.

[16] 韦泽秀, 梁银丽, 山田智, 等. 不同水肥条件下番茄土壤微生物群落多样性及其与产量品质的关系 [J]. 植物生态学报, 2009, 33(3): 580-586.

Wei Z X, Liang Y L, Shan T Z, et al. Relation of soil microbial diversity to tomato yield and quality under different soil water conditions and fertilizations [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(3): 580-586.

[17] 樊兆博, 刘美菊, 张晓曼, 等. 滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表观平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 970-976.

Fan Z B, Liu M J, Zhang X M, et al. Effect of dripper fertigation on tomato yield and apparent N balance in a greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(4): 970-976.

[18] 刘保伟. 加快水肥一体化进程提升灌溉施肥水平 [J]. 内蒙古农业科技, 2014(3): 71-74.

Liu B W. Speed up the process of the integration of water and fertilizer and improve the level of fertigation [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2014(3): 71-74.

[19] 陈碧华, 郜庆炉, 段爱旺, 等. 水肥耦合对番茄产量和硝酸盐含量的影响 [J]. 河南农业科学, 2007(5): 87-90.

Chen B H, Gao Q L, Duan A W, et al. Coupling effect of water and fertilizer on tomato yield and nitrate content [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007(5): 87-90.

[20] 于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

Yu G R, Wang Q F. Ecophysiology of plant photosynthesis, transpiration, and water use [J]. Beijing: Science Press, 2010.

[21] 张辉, 张玉龙, 虞娜, 等. 温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水分利用效率的关系 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 425-432.

Zhang H, Zhang Y L, Yu N, et al. Relationship between low irrigation limit and yield, water use efficiency of tomato in under-mulching-drip irrigation in greenhouse [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(2): 425-432.

[22] 谢恒星, 蔡焕杰, 张振华. 温室甜瓜加氧灌溉综合效益评价 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 79-83.

Xie H X, Cai H J, Zhang Z H. Evaluation of comprehensive benefit in greenhouse muskmelon under aeration irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 79-83.

[23] 虞娜, 吴昌娟, 张玉玲, 等. 基于熵权的 TOPSIS 模型在保护地番茄水肥评价中的应用 [J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 456-460.

Yu N, Wu C J, Zhang Y L, et al. Application of TOPSIS model method based on entropy weight to evaluate coupling effect of irrigation and fertilization of greenhouse tomato [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(4): 456-460.