

灌水和施肥对温室滴灌施肥番茄生长和品质的影响

张 燕,张富仓,袁宇霞,强生才,方栋平

(西北农林科技大学,旱区农业水土工程教育部重点实验室,中国旱区节水农业研究院,陕西 杨凌 712100)

摘 要: 本研究目的在于分析滴灌施肥技术下,不同水肥耦合模式对温室番茄的生长和品质的影响。试验选取番茄惠玉 0806 为试材,设 100% ET₀ (I₁), 75% ET₀ (I₂), 50% ET₀ (I₃) 3 个水分水平,外加高肥 [F₁ (N 480 kg·hm⁻²、P₂O₅ 240 kg·hm⁻²、K₂O 300 kg·hm⁻²)], 中肥 [F₂ (N 360 kg·hm⁻²、P₂O₅ 180 kg·hm⁻²、K₂O 225 kg·hm⁻²)], 和低肥 [F₃ (N 240 kg·hm⁻²、P₂O₅ 120 kg·hm⁻²、K₂O 150 kg·hm⁻²)] 3 个肥料水平,共 9 个处理。结果表明:水肥条件的高低与株高及茎粗成正相关,I₂F₂ 处理其产量、干物质累积量和灌溉水利用效率均最高,依次为 102 042.3 kg·hm⁻²、37.19 × 10³ kg·hm⁻² 和 37.3 kg·m⁻³。对番茄品质而言,其灌水量和施肥量之间表现出明显的耦合交互作用,I₂F₂ 处理其番茄 Vc 含量 (27.05 mg·100g⁻¹)、番茄红素含量 (71.53 μg·g⁻¹) 均最高,糖酸比 (9.57) 显著低于其余处理,其可溶性固形物含量 (7.3%) 较最高值 I₃F₁ 低 24.7%。综合分析,中水中肥 (I₂F₂) 模式,在高产的同时,其品质总体优于其它处理,极端水肥措施均不利于番茄生长及品质的提高。

关键词: 滴灌施肥;灌水量;施肥量;产量;品质

中图分类号: S626.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0206-07

The Effect of Irrigation and Fertilization on Growth and Quality of Tomato under Fertigation in Greenhouse

ZHANG Yan, ZHANG Fu-cang, YUAN Yu-xia, QIANG Sheng-cai, FANG Dong-ping

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A greenhouse fertigation experiment was conducted to study the effects of different irrigation and fertilization on growth and quality of tomato, which can provide a theoretical basis for the high yield and good quality water and fertilizer coupling model in this field. In the experiment, the tomato cultivar 'HuiYu 0806' was chosen as experiment material, and designed with two factors and three levels, three irrigation amounts [I₁ (100% ET₀), I₂ (75% ET₀), I₃ (50% ET₀)], three NPK fertilizer application rates [F₁ (N480 kg·hm⁻², P₂O₅ 240 kg·hm⁻², K₂O 300 kg·hm⁻²), F₂ (N360 kg·hm⁻², P₂O₅ 180 kg·hm⁻², K₂O 225 kg·hm⁻²), F₃ (N 240 kg·hm⁻², P₂O₅ 120 kg·hm⁻², K₂O 150 kg·hm⁻²)], and three replicates. The result showed that there had a positively correlated between the tomato plant height, stem diameter and the levels of irrigation and fertilizer in terms of growth and water use, the combinations of fertilization and irrigation treatment (I₂F₂) had high yield (102 042.3 kg·hm⁻²), dry matter accumulation (37.19 × 10³ kg·hm⁻²) and irrigation water use efficiency (IWUE) (37.3 kg·m⁻³). There was a significant coupling effects of irrigation ration and fertilizer on the tomato quality. the I₂F₂ treatment had a high content of Vc content (27.05 mg·100g⁻¹) and lycopen content (71.53 μg·g⁻¹) and a low sugar-acid ratio (9.57), the soluble solids content (7.3%) in tomato fruits compared with other treatments. Based on the synthesis analysis, the I₂F₂ treatment has high yield and good quality compared with other irrigation and fertilization treatments.

Keywords: Fertigation; Irrigation quantity; fertilizer amount; yield; quality

收稿日期:2013-10-24
基金项目:国家“十二五”863 计划课题(2011AA100504);国家自然科学基金(50879073)
作者简介:张 燕(1989—),山西晋中人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: zhangyan2729@163.com。
通信作者:张富仓(1962—),陕西武功人,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术的研究。E-mail: zhangfc@nwsuaf.edu.cn。

灌溉施肥 (Fertigation) 是灌溉 (Irrigation) 和施肥 (Fertilizer) 相结合的一项新技术。滴灌施肥技术是滴灌的同时,利用新型施肥设备将肥料溶液按照作物生育期对养分的需求等条件均匀施在作物根系附近,用来精确控制灌水量和施肥量的技术^[1]。该技术可保持作物根际有适宜水分和养分浓度,实现节水节肥并减少肥料的下渗,减轻对环境的污染^[2-5]。在以色列等农业发达国家,75%~85%的灌溉方式均采用滴灌施肥技术^[6]。

番茄是我国重要的蔬菜作物之一,也是北方温室大棚栽培的主要蔬菜作物之一。近年来,较多学者就不同灌溉和施肥对番茄的生长、产量、水肥利用和品质的影响进行了大量的研究^[7-10]。国内一些学者也开展了较多的试验研究。为确定温室番茄最优的灌水量和施肥量组合,较多的学者采用二因素或三因素通用旋转组合设计等研究温室番茄的水肥耦合效应^[11-13],因此确定适宜的水肥耦合模式对于生长及品质的影响显得尤为重要。在传统的温室蔬菜种植中,普遍存在着肥料施用量不统一,农民的施肥标准大约为 ($\text{N}480\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),但是基于产量的推荐施肥量约为 ($\text{N}360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\ 225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);对于水分的控制,很多学者是基于土壤灌水下限来确定番茄灌水量,从而来制定灌溉制度^[14-16]。实际上,对于温室作物来说,利用潜在作物的蒸发蒸腾量 (ET_0) 进行灌溉制度的确定是国外目前较常用的方法^[17-18]。其方法具有精度高,适应性强的特点。本试验采用滴灌施肥技术,利用 Penman-Monteith 公式计算作物需水量,研究了不同

灌溉和施肥量对番茄生长、产量和品质的影响,以期探索出温室番茄全生育期的水肥需求规律,从而为确定温室番茄高产优质的水肥耦合模式提供理论与技术依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2012 年 8 月—2013 年 1 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日光温室内进行。供试番茄品种为惠玉 0806。供试土壤为重壤土,0~20 cm 土层含有有机质 $14.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤容重为 $1.43\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,田间持水量为 23.67% (质量含水率),土壤 pH 为 7.8,碱解氮为 $63\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷为 $58.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾为 $146.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。番茄于 8 月 15 日定植,1 月 15 日拉秧,采取垄作膜下滴灌种植模式,其中垄宽 1.2 m,沟宽 0.3 m,双行栽植,番茄行距 0.6 m,株距 0.4 m,滴灌带铺放在两行中间,滴头距番茄根部 0.3 m。

1.2 试验设计

试验设灌水量和施肥量两个因素,灌水量设三个水平,分别是 100% ET_0 (I_1), 75% ET_0 (I_2) 和 50% ET_0 (I_3),全生育期灌水量温室 ET_0 的变化如图 1 所示。施肥量设三个水平,分别是高肥 F_1 ($\text{N}\ 480\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、中肥 F_2 ($\text{N}\ 360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\ 225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 和低肥 F_3 ($\text{N}\ 240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\ 150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),共 9 个处理,3 次重复,共 27 个小区。各处理之间采取随机排列。为防止各处理之间水肥互渗,各小区之间埋设 0.5 m 隔水膜。

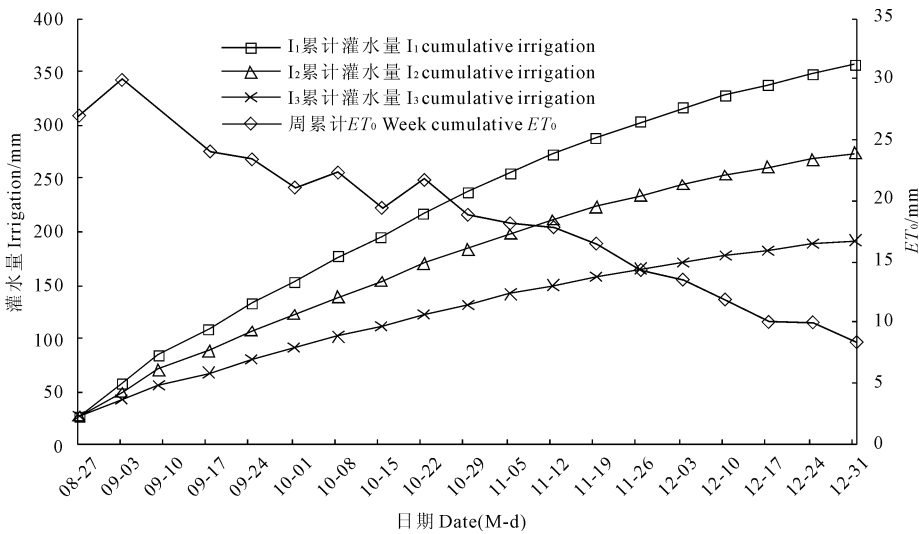


图 1 番茄全生育期各处理累计灌水量和 ET_0 周变化

Fig.1 Different water treatments and weekly variation of ET_0 of tomato growth period

施用肥料分别选用尿素,磷酸二氢铵,硝酸钾,通过比例施肥器按量(低肥、中肥和高肥)与配比(1:1:2:2:2)分别在苗期,开花坐果期,第一穗果膨大期,第二穗果膨大期,第三穗果膨大期随灌溉水滴灌施入。

温室 ET_0 计算由温室内安装的全自动气象站观测数据获得。由于温室室内空气边界层属非中性稳定层结果,蒸发和热量传输仍然存在,但风速为零。 ET_0 计算依照王健等(2006)的日光温室 Penman - Monteith 修正公式(1)^[19]。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{1713(e_a - e_d)}{T + 273}}{\Delta + 1.64\gamma} \quad (1)$$

为保证灌水量准确均匀,采取固定水头供水,每个小区装有独立的水表和阀门。缓苗结束后每 7 天灌一次水,灌溉定额按设计水平进行。

1.3 测定指标与方法

在番茄缓苗期结束后,每 15 天测定植株的株高和茎粗,至留 4 穗果摘心时(11 月 10 日)。用直尺和游标卡尺测定株高(从茎基部到叶顶端)、茎粗(从茎基部向上约一寸处,纵横测垂直交叉茎粗,取均值)。除去每个小区首部和尾部一米的保护行,从中间随机选取 14 株测定产量。与此同时分别测定根、茎、叶和果实的干物质量,每棵植株地上部分与地下部分生物量之和为该处理的单株干物质量。当第一穗果实达到红熟期时,在测产小区随机取第一穗成熟度相近的 10 个果实,以保证样品的一致性,然后测

定各小区番茄品质。可溶性固形物采用手持 WAY—2S 型阿贝折射仪测定;有机酸用 NaOH 滴定法测定;可溶性糖用蒽酮比色法测定;维生素 C 用钼蓝比色法测定;番茄红素用紫外分光光度法测定。

1.4 数据处理

实验数据利用 DPS 软件中的 Duncan 多重比较法比较数据差异的显著性。所有图表均在 Excel 2003 软件下完成。

2 结果与分析

2.1 不同水肥条件对温室番茄生长的影响

2.1.1 株高 图 1 为膜下滴灌施肥不同水分处理下 3 种施肥水平番茄全生育期株高的变化。由图可见,随着番茄生育期的推进,各处理的株高均呈线性增长。生育期初期,处理间差异不明显,从坐果期开始,差异逐渐显现。在同一灌水量条件下,株高随施肥量的增加而显著增加。 I_1 水分水平下, F_1 的株高最终达到 172.2 cm,分别比 F_2 和 F_3 高 6.4% 和 16.2%; I_2 水分水平下, F_1 分别比 F_2 和 F_3 高 2.9% 和 7.5%; I_3 水分水平下, F_1 分别比 F_2 和 F_3 高 5.1% 和 7.5%。从灌水量和施肥量的耦合效应看, I_1F_1 处理的株高最大,为 172.2 cm,这与土壤水肥过量导致了番茄植株的徒长有关;其次分别为 I_2F_1 (162.8 cm)、 I_1F_2 (161.8 cm)、 I_2F_2 (160.3 cm),表现为适当的水肥配比利于番茄植株的生长; I_3F_3 最低,为 146.8 cm,缺水缺肥抑制了植株生长。

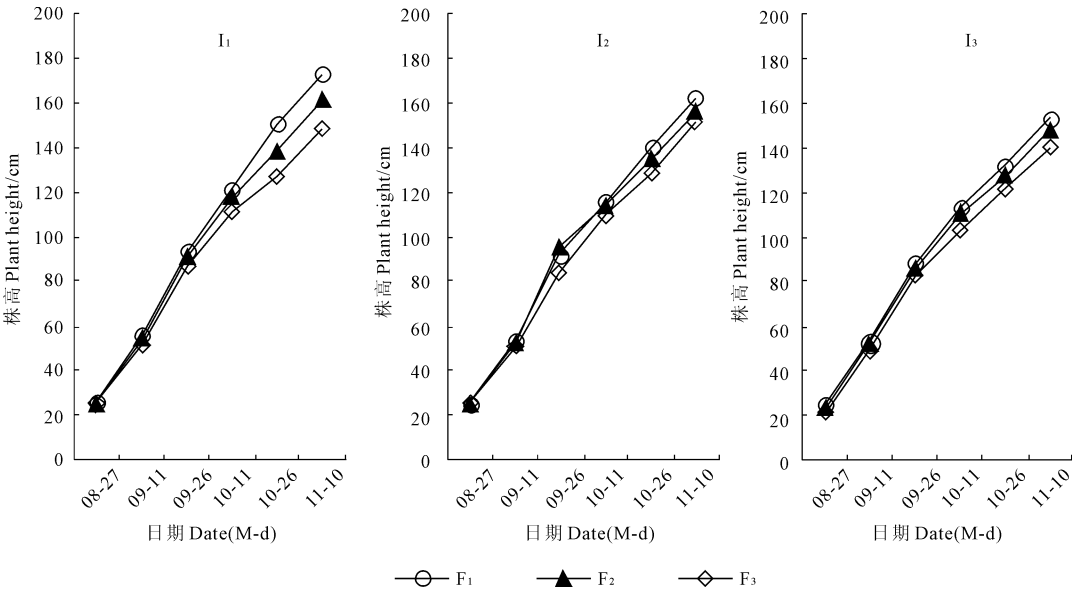


图 2 不同水肥处理对番茄株高的影响

Fig.2 Effects of different irrigation and fertilizer treatments on plant height of tomato

2.1.2 茎粗 不同水肥条件处理对番茄茎粗的影响见表 2 所示。随着番茄植株的增长,各处理的番茄茎粗都在增加。8 月 27 日、9 月 25 日和 10 月 11 日,各处理间差异不显著。10 月 26 日,在同一施肥量下,不同灌水量对番茄茎粗影响规律不同,F₁ 肥料水平下,I₂ 的茎粗分别比 I₁ 和 I₃ 高 4.5% 和 9.2%;F₂ 肥料水平下,I₃ 与其他两处理间差异显著,

I₃ 的番茄茎粗分别比 I₁ 和 I₂ 低 1.9% 和 24.7%;F₃ 肥料水平下,I₃ 的番茄茎粗分别比 I₁ 和 I₂ 低 17.5% 和 11.7%。11 月 10 日,在 $P=0.05$ 水平下,各处理间达到显著差异,I₂F₂ 茎粗最大为 14.93 mm,I₁F₁ 低于 I₂F₂,但其灌水量与施肥量均最大,说明高水高肥不利于番茄生长;I₃F₃ 茎粗最小,为 11.35 mm,比 I₂F₂ 低 24.0%。

表 1 不同水肥处理对番茄茎粗的影响

Table 1 Effects of different irrigation and fertilizer treatments on stem diameter of tomato

灌水处理 Irrigation treatment	施肥量 Fertilizer quantity	茎粗 Stem diameter/mm					
		8 月 27 日	9 月 11 日	9 月 26 日	10 月 11 日	10 月 26 日	11 月 10 日
I ₁	F ₁	4.61a	6.65a	8.88ab	10.67a	12.42b	13.63c
	F ₂	4.55a	6.52a	8.71ab	10.43a	13.36a	14.27b
	F ₃	4.71a	6.68a	8.46bc	10.37a	11.23d	12.87d
I ₂	F ₁	4.78a	6.61a	8.76ab	10.51a	12.98a	13.72c
	F ₂	4.66a	6.80a	9.18a	10.86a	13.62a	14.93a
	F ₃	4.51a	6.55a	8.88ab	10.10a	10.68d	11.86f
I ₃	F ₁	4.49a	6.60a	8.18c	9.71ab	11.89c	13.01d
	F ₂	4.47a	6.20b	8.51bc	10.06a	10.92d	12.36e
	F ₃	4.45a	6.64a	8.42bc	9.31b	9.56e	11.35g

注:表中数值为平均值($n=3$),同列不同字母表示显著性差异($P<0.05$), $P>0.05$ 差异不显著。下同。
Note: Values are means ($n=3$), different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), $P>0.05$, no significance. The same as below.

2.2 不同水肥条件对温室番茄干物质累积量、产量及灌溉水利用效率的影响

2.2.1 干物质累积量及产量 表 2 为滴灌施肥不同水肥条件对番茄植株干物质累积量及产量的影响。由表可见,在同一灌水量条件下,随着施肥量的增加,番茄植株的干物质累积量变化趋势不尽相同。I₁ 水分水平下,F₁ 和 F₃ 的番茄植株干物质累积量分别比 F₂ 低 4.9% 和 9.0%;I₂ 水分水平下,F₁ 和 F₃ 的番茄植株干物质累积量分别比 F₂ 低 14.4% 和 29.1%,表现为适中的施肥量(F₂) 对番茄植株干物质累积量有明显的促进作用;I₃ 水分水平下,干物质累积量随施肥量的增加而增加,F₁ 的番茄植株干物质累积量分别比 F₂ 和 F₃ 高 3.1% 和 12.2%。在同一肥料水平下,灌水量对番茄植株干物质累积量的影响达到了显著水平。F₁ 肥料水平下,随灌水量的增加干物质累积量亦增加,I₁ 的番茄植株干物质累积量较 I₃ 高 22.9%;F₂ 肥料水平下,I₂ 的番茄植株干物质累积量分别比 I₁ 和 I₃ 高 4.4% 和 38.0%;F₃ 肥料水平下,I₁ 的番茄植株干物质累积量比 I₂ 和 I₃ 分别高 13.5% 和 32.0%。由此可见,番茄干物质累积量在不同灌水和施肥水平下表现出明显的耦合交互作用,I₂F₂ 处理的番茄植株干物质累积量最高,为

$37.19 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为 I₁F₂,为 $35.92 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,番茄植株干物质质量累积最低的处理是 I₃F₃,为 $24.77 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 2 不同水肥处理对番茄干物质累积量和产量的影响

Table 2 Effects of different irrigation and fertilizer treatments on stem dry weight and yield of tomato

灌水处理 Irrigation treatment	施肥量 Fertilizer quantity	干物质累积量 Dry weight /($10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产量 Yield /($10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
I ₁	F ₁	34.16b	89.17b
	F ₂	35.92ab	98.30ab
	F ₃	32.69bc	77.48c
I ₂	F ₁	31.83bc	86.25bc
	F ₂	37.19a	102.04a
	F ₃	28.81cd	77.18c
I ₃	F ₁	27.80d	64.76e
	F ₂	26.97d	70.76d
	F ₃	24.77e	59.95f

由表 2 可见,I₂F₂ 处理产量最高,达到 $102.04 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在同一灌水量条件下,随着施肥量的增加番茄产量呈单峰型变化趋势。I₁ 水分条件下,F₂ 与 F₁ 和 F₃ 相比,分别增产 10.2% 和 26.9%;I₂ 水

分条件下, F_1 和 F_3 的产量分别比 F_2 低 15.5% 和 24.4%; I_3 水分条件下, F_1 和 F_3 的产量分别比 F_2 低了 8.5% 和 15.3%, 施肥量对番茄产量的影响达到了显著水平。不同施肥水平下, I_3 处理产量均显著低于 I_1 和 I_2 , 表现为水分亏缺不利于番茄增产。

2.2.2 不同水肥条件对番茄生育期灌溉水利用效率的影响 图 3 为不同水肥条件对番茄生育期灌溉水利用效率的影响。由图可以看出, 随着灌水量的降低(356.2 ~ 273.9 mm), 灌溉水利用效率却呈增长趋势, 其平均灌溉水利用效率依次为: $24.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $32.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $34.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 在同等水分条件下, 适中施肥量(F_2)的灌溉水利用效率最高, 其次为高施肥量(F_1), 最后为低施肥量(F_3), 其平均灌溉水利用效率从 F_1 到 F_3 依次为: $30.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $33.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $27.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 其中 I_2F_2 处理的灌溉水利用效率最高为 $37.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 其次为 I_3F_2 ($36.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), 两者差异不大。最低的为 I_1F_3 处理, 其灌溉水利用效率仅为 $21.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2.3 不同水肥条件对温室番茄品质的影响

2.3.1 可溶性固形物 由表 3 可以看出, 在同一灌水量条件下, 施肥量对其影响不显著; 在同一施肥量

条件下随灌水量的减少, 可溶性固形物含量显著提高, 且各处理间差异在 $P = 0.05$ 水平下差异明显。在 F_1 肥料水平下, I_1 的可溶性固形物含量与 I_2 和 I_3 相比, 分别降低了 21.7% 和 44.3%; F_2 肥料水平下, I_1 的可溶性固形物含量较 I_2 和 I_3 分别降低 31.5% 和 43.8%; F_3 肥料水平下, I_1 的可溶性固形物含量与 I_2 和 I_3 相比, 分别降低了 19.7% 和 39.5%。总体来说, 灌水量对可溶性固形物含量的影响比施肥量大, 且减少灌水量可显著提高可溶性固形物含量。

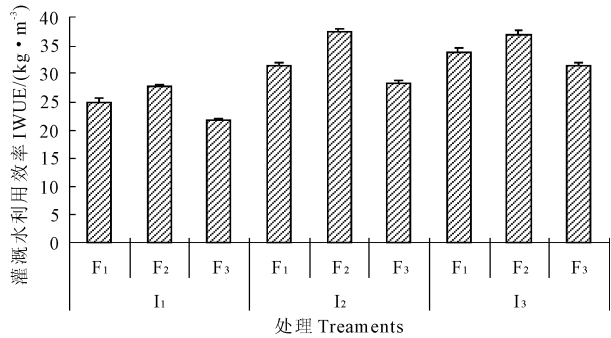


图 3 不同水肥处理对番茄生育期灌溉水利用效率的影响

Fig.3 Effects of different irrigation and fertilizer treatments on IWUE of tomato

表 3 不同水肥处理对番茄品质的影响

Table 3 Effects of different irrigation and fertilizer treatments on quality of tomato

灌水量 Irrigation amount	施肥量 Fertilizer quantity	可溶性固形物 Soluble solids/%	维生素 C Vc /(mg·100g ⁻¹)	番茄红素 Lycopene /(μg·g ⁻¹)	可溶性糖 Soluble sugar/%	有机酸 Organic acid/%	糖酸比 Sugar-acid ratio
I_1	F_1	5.4c	15.92b	49.20c	2.45c	0.39a	6.29d
	F_2	5.0c	24.09a	62.05ab	3.12bc	0.42a	7.42c
	F_3	4.9c	17.59b	34.63d	3.52b	0.34ab	10.34bc
I_2	F_1	6.9b	14.66bc	60.83ab	2.66c	0.30b	8.86c
	F_2	7.3b	27.05a	71.53a	3.35b	0.35ab	9.57c
	F_3	6.1b	19.04b	43.11cd	3.99ab	0.30b	13.50b
I_3	F_1	9.7a	10.69c	41.13cd	3.32b	0.23d	14.42b
	F_2	8.9a	23.28ab	68.03a	3.83ab	0.28c	13.68b
	F_3	8.1a	16.90b	28.80d	4.33a	0.21d	20.62a

2.3.2 Vc 由表 3 可以看出, 处理 I_2F_2 的 Vc 含量最高, 为 $27.05 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 。在同一灌水量条件下, Vc 含量随着施肥量的增加先增加后降低的。 I_1 水分水平下, F_3 和 F_1 的 Vc 含量分别比 F_2 降低了 23.8% 和 31.1%, F_1 和 F_3 处理与 F_2 处理间差异显著; I_2 水分水平下, F_1 和 F_3 的 Vc 含量与 F_2 相比, 分别下降了 43.7% 和 26.9%, 各处理间差异显著; I_3 水分水平下, F_1 和 F_3 的 Vc 含量与 F_2 相比, 分别下降了 51.6% 和 24.1%。在同一施肥量条件下, 灌水量对 Vc 含量的影响呈不同规律, F_1 肥料水平下, I_3

的 Vc 含量与 I_1 和 I_2 相比, 分别降低了 32.8% 和 27.0%, 各处理间差异达到显著水平; F_2 肥料水平下, I_2 的 Vc 含量最高, 为 $27.05 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 处理 I_1 和 I_3 的 Vc 含量分别比 I_2 降低了 10.9% 和 13.9%; F_3 肥料水平下, 各处理差异不显著。

2.3.3 番茄红素 由表 3 可以看出, 处理 I_2F_2 的番茄红素含量最高, 为 $71.53 \text{ μg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在同一灌水量条件下, 番茄红素含量随着施肥量的增加先增加后降低。 I_1 水分条件下, F_3 的番茄红素含量较 F_1 和 F_2

分别低 29.6%和 44.2%; I_2 水分条件下, F_1 和 F_3 的番茄红素含量与 F_2 相比,分别下降了 14.9%和 39.7%; I_3 水分条件下, F_3 的番茄红素含量与 F_1 和 F_2 相比,分别下降了 30.0%和 57.6%,处理间差异显著。在同一施肥量条件下,随灌水量的增加,番茄红素含量先增加后降低。 F_1 肥料水平下, I_1 和 I_3 的番茄红素含量与 I_2 相比,分别降低了 19.1%和 32.4%; F_2 肥料水平下, I_2 的番茄红素含量最高,为 $71.53\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, I_1 和 I_3 的番茄红素含量分别比 I_2 降低了 13.2%和 4.9%; F_3 肥料水平下, I_1 和 I_3 的番茄红素含量分别比 I_2 降低了 19.7%和 33.2%。

2.3.4 可溶性糖 由表 3 可以看出,处理 I_3F_3 的可溶性糖含量最高,为 4.33%。在同一灌水量下,可溶性糖含量随着施肥量的增多而降低。 I_1 水分条件下, F_1 的可溶性糖含量比 F_2 低 23.7%, F_2 比 F_3 低 19.9%; I_2 水分条件下, F_1 的可溶性糖含量比 F_2 低 19.4%, F_2 比 F_3 低 16.0%; I_3 水分条件下, F_1 的可溶性糖含量比 F_2 低 13.3%, F_2 比 F_3 低 11.5%。在同一施肥量下,番茄可溶糖含量随着灌水量的增加反而减少。 F_1 肥料水平下, I_1 的可溶性糖含量比 I_2 降低 7.9%, I_2 比 I_3 降低 19.9%; F_2 肥料水平下, I_1 可溶性糖含量比 I_2 降低 6.9%, I_2 的可溶性糖含量比 I_3 降低 12.5%,处理间差异达到显著水平; F_3 肥料水平下, I_1 的番茄可溶性糖含量比 I_2 降低 11.8%, I_2 的可溶性糖含量比 I_3 降低 7.9%,处理间差异达到显著水平。

2.3.5 有机酸 关于有机酸,在同一灌水量下,番茄有机酸含量随着施肥量的增加先增加后降低,但下降幅度不同。 I_1 水分条件下, F_1 和 F_3 的有机酸含量与 F_2 相比,分别下降了 7.1%和 19.2%; I_2 水分条件下,处理 F_1 、 F_3 的有机酸含量与 F_2 相比,均下降了 14.2%; I_3 水分条件下, F_1 和 F_3 的有机酸含量与 F_2 相比,分别下降了 17.9%和 25.0%。在同一施肥量下,番茄有机酸含量随着灌水量的增加而增加。 F_1 肥料水平下, I_2 的有机酸含量比 I_1 降低 23.1%, I_3 的有机酸含量比 I_2 降低 23.3%; F_2 肥料水平下, I_2 有机酸含量比 I_1 降低 16.7%, I_3 比 I_2 降低 20.0%; F_3 肥料水平下, I_2 的番茄有机酸含量比 I_1 降低 11.8%, I_3 比 I_2 降低 30.0%,处理间差异达到显著水平。

总体来说,不同水平灌水量和施肥量之间表现出明显的耦合交互作用,确定适宜的番茄水肥耦合参数,对于提升质番茄品质具有重要的现实意义。经过比对分析, I_2F_2 处理番茄 Vc、番茄红素含量最

高,其可溶性固形物含量仅较最高的 I_3F_1 处理低 24.7%;同时其糖酸比在 $P=0.05$ 水平上也是所有处理中最小的,其值仅为 9.57。故 I_2F_2 处理下番茄品质表现为较优的组合。

3 讨论和结论

本试验研究了不同灌水量和施肥量对番茄生长、产量和品质特性的影响。结果表明,随着灌水量和施肥量的增加,株高逐渐增大,水肥盈余使株高徒长(I_1F_1 株高为 172.2 cm),与诸葛玉平等^[20]的研究一致。而 I_1F_1 茎粗比 I_1F_1 低 9.5%,表明过高的灌水施肥量在番茄生长旺盛期反而会抑制茎粗增长,这与武慧平等^[21]的研究一致。袁丽平等^[22]研究认为,滴灌施肥的番茄产量随施肥量增加而增加,但本试验结果显示 I_2F_2 处理的产量最高($102\ 042.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),分别比 I_1F_1 和 I_1F_2 高 14.4%和 3.8%,且 I_2F_2 处理的灌溉水利用效率亦最高($37.3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), I_1F_1 和 I_1F_2 仅为 $25.0\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $27.6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。过高或过低的灌水施肥量均会抑制番茄产量与干物质量的累积,适当的灌水施肥量促进产量、干物质量的积累。林兴军^[23]研究表明,番茄产量随着灌水量的增加而增加,但果实品质下降,水分利用效率下降,番茄产量随肥料用量的增加而提高,果实品质与番茄受旱早程度有显著关系,亏缺灌溉显著提高了果实品质。灌水可增加番茄产量,却会降低果实内糖、有机酸等可溶物的含量^[24]。本试验研究结果显示,较高的灌水量不利于可溶性固形物含量的增加。牛晓丽等^[25]研究认为在适宜的范围内增加施氮量可显著提高可溶性固形物含量,但本试验中施肥量对可溶性物含量没有显著影响,这可能是因为灌水量对其影响更为显著,且试验条件不尽相同。随着灌水量和施肥量的增加,维生素 C、番茄红素含量呈现先增大后减小的规律, I_2F_2 的维生素 C、番茄红素含量均最高,分别是 $27.05\text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 和 $71.53\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。王柏柯等^[26]认为尿素和钾肥对提高番茄红素含量有很大作用,且这种影响呈显著水平。牛晓丽等^[27]研究认为随着施氮量和施钾量的增加,番茄红素含量先减少后增加,维生素含量降低。本试验中 I_3F_3 的糖酸比最高(20.62),随灌水量和施肥量的增加,糖酸比显著降低,其中 I_2F_2 为 9.57,比 I_3F_3 降低 53.6%。贾彩建等^[8]认为过量施肥导致可溶性糖含量下降,在其试验条件下中肥水平可溶性糖含量最高。不同研究者的试验结论不尽相同,可能是因为各试验的外在条件(气候、土壤、供试材料)的不同,

进而导致作物生长、产量和品质各项指标的差异。

参 考 文 献:

[1] Kafkafi U, Tarchitzky J. Fertigation, a tool for efficient fertilizer [C]//International Fertilizer Industry Association, Paris, France, 2011.

[2] Dasberg S, Bresler E. Drip irrigation manual [C]//International irrigation information center. Publication No. 9, Bet Dagan, Israel, 1985.

[3] Goldberg D, Gomat B, Rimon D. Drip irrigation principles, design and agricultural practices [M]. Drip irrigation scientific publications, Kfar Shmariahu, Israel, 1976.

[4] Neilsen D, Parchomchuk P, Neilsen G H, et al. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high density apple orchards [J]. J. Am. Soc. Hort. Sci. 1998, 123(4):706-713.

[5] 夏敬源,彭世琪.我国灌溉施肥技术的发展与展望[J].中国农业推广,2006,22(5):4-6.

[6] Sneh M. The history of fertigation in Israel [C]//Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation Proc. Haifa, Israel, 1995:1-10.

[7] 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,(11):55-58.

[8] 贾彩建,周海燕,刘新渠,等.滴灌施肥对温室番茄产量及品质的影响[J].山东农业科学,2008,(8):70-72.

[9] 栗岩峰,李久生,饶敏杰.滴灌施肥时水肥顺序对番茄根系分布和产量的影响[J].农业工程学报,2006,22(7):205-207.

[10] 王克武,肖 艳,贾小红,等.滴灌施肥条件下番茄施氮量的确定[J].中国蔬菜,2005,(增刊):67-69.

[11] 陈碧华,郜庆炉,孙 丽.番茄日光温室膜下滴灌水肥耦合效应研究[J].核农学报,2009,23(6):1082-1086.

[12] 陈碧华,郜庆炉,杨和连,等.华北地区日光温室番茄膜下滴灌水肥耦合技术研究[J].干旱地区农业研究,2008,23(5):80-83.

[13] 陈修斌,潘 林,王勤礼,等.温室番茄水肥耦合数学模型及其优化方案研究[J].南京农业大学学报,2006,29(3):138-141.

[14] 袁宇霞,张富仓,张 燕.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.

[15] 耿德刚,徐俊伟,戈振超,等.温室大棚番茄滴灌试验研究及效益分析[J].江苏农业科学,2013,41(5):132-133.

[16] 虞 娜,张玉龙,黄 毅,等.温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量影响的研究[J].土壤通报,2003,34(5):179-183.

[17] Rangjian Qiu, Shaozhong Kang, Taisheng Dua, et al. Effect of convection on the Penman - Monteith model estimates of transpiration of hot pepper grown in solar greenhouse [J]. Scientia Horticulturae, 2013,160:163-171.

[18] Lu Zhang, R Lemeur. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman - Monteith estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1992,68:209-228.

[19] 王 健,蔡焕杰,李红星,等.日光温室作物蒸发蒸腾量的计算方法研究及其评价[J].灌溉排水学报,2006,25(6):11-14.

[20] 诸葛玉平,张玉龙,张旭东,等.塑料大棚渗灌灌水下限对番茄生长和产量的影响[J].应用生态学报,2004,15(5):767-771.

[21] 武慧平,朱铭强,张盼盼,等.土壤含水量对温室樱桃番茄生长发育及果实品质的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):32-36.

[22] 袁丽平,米国全,赵灵芝.水氮耦合供应对日光温室番茄产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2008,(4):69-73.

[23] 林兴军.不同水肥对日光温室番茄品质和抗氧化系统及土壤环境的影响 [D].杨凌:中国科学院水土保持研究所,2011.

[24] Basclga Yrisarry J J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen applications [J]. Acta Hort, 1993,335:149-153.

[25] 牛晓丽,周振江,李 瑞,等.根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄可溶性固形物含量的影响[J].中国农业科学,2012,45(5):893-901.

[26] 王柏柯,帕提古丽,余庆辉,等.水肥调控对加工番茄品质、产量影响研究[J].新疆农业科学,2008,45(2):323-326.

[27] 牛晓丽,周振江,李 瑞,等.水肥供应对番茄中番茄红素含量的影响[J].园艺学报,2011,38(11):2111-2120.