网络出版时间:2015-04-13 12:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.05.029

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150413.1259.029.html>

不同营养液滴灌量对设施番茄生长、 产量及品质的影响

孙丽丽, 邹志荣, 韩丽蓉, 杨俊华

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】研究不同营养液滴灌量对温室番茄植株生长、果实产量及品质的影响, 筛选适合日光温室土壤栽培番茄的最优营养液滴灌量。【方法】以番茄 (*Lycopersicon esculentum*) “金鹏一号”为试材, 采用槽式栽培的方法, 以常规滴灌施肥为对照(CK), 共设 5 个(T1、T2、T3、T4、T5)渐次递增的营养液滴灌量处理, 以 T3 处理营养液(其中 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 610、270、1 069 kg/hm², 用水量为 7 500 L/hm²)为标准, T1、T2、T4、T5 处理营养液用量分别为 T3 处理的 50%、70%、130%和 150%, 测定不同营养液处理番茄植株营养生长期株高、茎粗以及成熟果实内的可溶性总糖、有机酸、维生素 C、可溶性蛋白、可溶性固形物及硝酸盐含量, 并统计各处理的果实产量。【结果】在植株营养生长期, 与 CK 相比, 处理 T5 茎粗增加 1.15 mm, 株高/茎粗降低, 番茄植株长势较好; 随营养液滴灌量的增加, T1、T2、T3、T4 和 T5 处理番茄果实的单果质量、单株产量及果实产量呈递增趋势, 且存在显著差异($P < 0.05$), 其中 T5 处理果实产量最高, 较 CK 增加了 61.14%。在测定的果实品质指标中, 可溶性蛋白、可溶性固形物以及硝酸盐的含量均随着营养液滴灌量的增加呈先降后增的变化趋势, 其中 T3 处理果实的可溶性蛋白及可溶性固形物含量最低, T2 处理果实的硝酸盐含量最低, 而 T5 处理果实可溶性总糖、可溶性蛋白、维生素 C 均最高, 其糖/酸值较 CK 提高了 20.22%。对番茄果实品质平均隶属函数值的分析表明, T5 处理番茄果实品质的平均隶属函数值最高。【结论】6 个营养液滴灌量处理中, T5 处理(营养液中 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 915、405、1 605 kg/hm², 水为 11 250 L/hm²)效果最佳, 不但可促进番茄植株的营养生长, 而且有利于提高果实产量及品质。

【关键词】 温室; 番茄; 营养液滴灌量; 产量; 果实品质

【中图分类号】 S641.206+.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)05-0135-08

Effects of nutrient solution amount on plant growth, yield and fruit quality of greenhouse tomato

SUN Li-li, ZOU Zhi-rong, HAN Li-rong, YANG Jun-hua

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

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of nutrition solution amount on plant growth, yield and fruit quality of greenhouse tomato to select the optimal rate for tomato cultivation in greenhouse. 【Method】 Tomato variety “Jinpeng No. 1” was selected and through cultivation method was adopted. Using conventional fertigation as control (CK), five treatments with different nutrition solution amounts (T1, T2, T3, T4, and T5) were set with gradually increased amounts. T3 (the fertilization amounts of N, P₂O₅, and K₂O were 610, 270, 1 069 kg/hm² and the water amount was 7 500 L/hm²) was used as standard, and nutrition solution amounts of T1, T2, T4, and T5 were 50%, 70%, 130%, and 150% of T3, respectively. The plant height, stem diameter, soluble sugar, organic acid, vitamin C, soluble protein,

【收稿日期】 2013-12-17

【基金项目】 国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-25-D-02); 陕西省农业系统专项资金项目

【作者简介】 孙丽丽(1985—), 女, 江苏徐州人, 在读硕士, 主要从事设施园艺生理生态研究。E-mail: sunlily139@163.com

【通信作者】 邹志荣(1956—), 男, 陕西延安人, 教授, 博士生导师, 主要从事设施园艺研究。E-mail: zouzhirong2005@163.com

soluble solid, nitrate and yield were analyzed. 【Result】 T5 was the most favorable for tomato growth with 1.15 mm increase in stem and decrease in the height to stem ratio compared with CK. The yield, fruit weight per plant and per fruit weight of T1, T2, T3, T4, and T5 increased gradually with significant differences ($P < 0.05$). T5 had the highest yield, which was 61.14% higher than that of CK. With the increase of nutrient solution amount, the contents of soluble protein, soluble solids and nitrate firstly increased and then decreased. T3 had the lowest contents of soluble protein and soluble solids, T2 had the lowest nitrate content, while T5 had the highest contents of total sugar, soluble protein, vitamin C and the mean membership index of T5 and the sugar/acid ratio was increased by 20.22% compared to that of CK. 【Conclusion】 T5 (the fertilization amounts of N, P_2O_5 , and K_2O were 915, 405, 1 605 kg/hm² and the water amount was 11 250 L/hm²) was the optimal treatment with promoted growth of tomato plants and improved fruit quality and yield.

Key words: greenhouse; tomato; nutrition solution amount; yield; fruit quality

随着设施农业的逐步推广,蔬菜的反季节上市在满足人们消费需求的同时也拉动了农民收入的增长,日光温室蔬菜生产已成为北方不少地区的主导产业,但对日光温室栽培条件下蔬菜合理施肥问题的研究,已明显落后于生产发展的实际需要。人们通常认为蔬菜喜水喜肥,所以农民在设施生产中常采取高水高肥的方式,由此带来了一系列问题,并进而限制了设施栽培的良性发展^[1-4]。对番茄(*Lycopersicon esculentum*)而言,国内外关于设施番茄栽培过程中水肥管理的研究较多,但大多数集中于水肥耦合^[5-6]或水肥^[7-10]单一因素的研究方面,针对番茄采用养液土耕技术进行的水肥管理研究尚鲜有报道。

养液土耕是日本开发的一种新型水肥管理技术,通过滴灌以液肥的形式供给作物所需的最低量养分及水分。日本的生产实践证明,与传统滴灌施肥相比,养液土耕技术通过合理的水肥管理促进作物长势,提高果实产量及品质^[11-13]。在国内,高艳明等^[14]利用养液土耕技术研究了不同营养液浓度、配方对番茄植株生长、果实产量及品质的影响,表明与传统滴灌施肥相比,滴灌营养液的土壤栽培处理可以增强番茄生长势,提高果实产量和品质。本试验在参考无土营养液栽培和营养液土培技术^[15-17]的基础上,根据番茄各生育时期的水肥需求规律^[18-22],采用番茄山崎配方配制标准营养液^[23-24],探讨养液土耕技术条件下设施番茄生育期不同营养液滴灌量对其生长、品质及产量的影响,以期为实现设施番茄高产优质生产提供理论依据,同时也对提高水肥利用效率、增进设施农业土壤生产潜力、建立健康的农业生态系统、减少环境污染等也具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试番茄(*Lycopersicon lycopersicum*)品种为“金鹏一号”,由陕西杨凌裕丰种业提供。

1.1.2 供试土壤 供试土壤为菜园土,土壤全氮、全磷、全钾含量分别为 0.39, 36.35 和 13.06 g/kg, 碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 24.43, 0.24 和 18.44 mg/kg。

1.1.3 供试肥料 (1)生物菌发酵型有机肥料。有机质含量 $\geq 45\%$,氮磷钾含量 $\geq 5\%$,有效活菌数 ≥ 0.6 亿/g,含微量元素锰、镁、硼、锌、铁等,购自杨凌乐都生物科技有限公司。

(2)供试氮磷钾肥。氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 12%),钾肥为硫酸钾(含 K_2O 50%),均购自杨凌丰田生物技术有限公司。

(3)营养液。按照山崎配方^[25]配制,其中大量元素配方肥料包括 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 、 KNO_3 、 $NH_4H_2PO_4$ 、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$,微量元素配方肥料包括 $Na_2Fe-EDTA$ 、 $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 、 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 、 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 、 H_3BO_3 、 $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 。

1.2 试验设计

试验于 2013 年 3—7 月在西北农林科技大学园艺场日光温室内进行。试验地块统一按 9 000 kg/hm² 用量施入生物菌发酵型有机肥料后整地。

试验共设 T1、T2、T3、T4、T5 及对照 6 个处理,其中以当地传统的滴灌常规施肥作对照(CK),即在番茄整个生育时期,依据农民的经验灌水,灌水量为 250 m³/hm²,N、 P_2O_5 、 K_2O 的总用量分别为 1 200, 975, 300 kg/hm²,其中 40% N 肥、90% P_2O_5 、34% K_2O 于种植番茄前基施,剩余 N、 P_2O_5 、 K_2O 进行追

施,追肥方式为穴施,追肥时 N、P₂O₅、K₂O 的具体比例以及追肥时期见表 1。T1~T5 处理统一采用番茄山崎配方配制营养液滴灌,其中 T3 处理营养液配方中肥料用量的确定方法为:根据目标产量法初步计算肥料用量,本试验设计每公顷目标产量为 150 t,每生产 1 t 番茄 N、P₂O₅、K₂O 的用量分别为 4.0、1.8 和 4.8 kg,再根据番茄山崎营养液配方中 N、P₂O₅、K₂O 的比例调整 N、P₂O₅、K₂O 肥的肥料

用量,计算所得的 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 610、270、1 069 kg/hm²。以 T3 处理营养液用量 7 500 L/hm²(其中 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 610、270、1 069 kg/hm²,水量 7 500 L/hm²)为标准,T1、T2、T4 及 T5 处理营养液(水、肥)用量依次为 T3 营养液用量的 50%、70%、130%、150%,各处理营养液中水和 N、P₂O₅、K₂O 的用量见表 2。

表 1 滴灌常规施肥处理中不同施肥时期 N、P₂O₅、K₂O 所占比例

Table 1 Ratios of N, P₂O₅ and K₂O in conventional fertigation treatment at different fertilization periods %

施肥方式 Fertilizing way	施肥时期 Fertilization time	氮(N) Nitrogen	磷(P ₂ O ₅) Phosphorus	钾(K ₂ O) Potassium
基肥 Basic fertilization		40	90	34
追肥 Topdressing	坐果期 Fruit setting stage	6	4	11
	始收期 First harvest time	11	6	16
	盛果期 Full bearing period	19	0	17
	盛采期 Harvest season	19	0	17
	末采期 Recovery stage	5	0	5

表 2 不同处理滴灌营养液中的水、肥用量

Table 2 Amounts of water and fertilizers of different treatments

处理 Treatment	水/(L·hm ⁻²) Water	N/ (kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)
CK	250 000	1 200	975	300
T1	3 750	305	135	535
T2	5 250	427	189	748
T3	7 500	610	270	1 069
T4	9 750	793	351	1 390
T5	11 250	915	405	1 605

试验采用槽式栽培,槽底及四周铺设废旧棚膜,各槽之间埋 50 cm 深的塑料薄膜,以防止槽间水肥相互渗透。每处理设 3 个重复,随机区组设置,共 18 个小区,小区面积为 4.4 m²,其中槽长 5.5 m,槽宽 0.8 m,番茄植株株行距为 30 cm×40 cm,双行定植,每槽定植 32 株。番茄苗期采用常规栽培管理,其他生育时期除施肥灌水外均进行常规管理。

在番茄全生育期,T1~T5 处理营养液滴灌频率为 1 次/d,且各处理开花坐果期、果实膨大期、采收初期、采收盛期、拉秧期的营养液滴灌量所占比例分别为 15%、35%、25%、20%、5%。各处理拉秧前 10 d 均停止营养液滴灌,只滴清水,此时各处理灌水量设置为同一水平。试验记录番茄开花坐果期、果实膨大期、采收初期、采收盛期以及拉秧期的持续时间分别为 21、27、7、35、15 d。

1.3 测定项目及方法

处理开始后,每个小区选取 9 株植株,定期测定株高(茎基部到生长点的长度)以及茎粗(茎基部的粗度),以观测植株的表现生长量。分小区采收番茄果实,田间直接称质量,并统计果实数量,分次采收

后累积计算产量。

取番茄第 2 穗成熟果实测定品质,其中抗坏血酸(Vc)含量采用钼蓝比色法^[26]测定,总酸含量采用酸碱滴定法^[26]测定,可溶性总糖含量采用蒽酮比色法^[26]测定,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[26]测定,硝酸盐含量采用硫酸-水杨酸法^[26]测定,可溶性固形物含量采用数显糖度仪测定。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2007 软件进行数据整理,用 SPSS 19.0 软件进行统计与分析,利用模糊数学中的隶属函数^[27]对番茄果实各品质指标进行分析。隶属函数数值计算公式为: $X(u) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100\%$ 。式中: X_i 为某一指标测定值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 为某一指标测定的最大值、最小值。对各处理的各品质指标求其隶属函数值,累加后再求其平均值。平均值越大,表明果实品质越好。

2 结果与分析

2.1 不同营养液滴灌量对番茄株高、茎粗的影响

作物在营养生长中通过光合作用合成碳水化合

物并积累干物质,而干物质积累量的大小直接反映在植株的株高、茎粗等形态指标上。表 3 显示,随着番茄生育期的延长,各处理番茄植株株高逐渐增大、茎逐渐变粗。处理前期(03-19),各处理番茄植株株高、茎粗均无显著差异;随着时间的推移,不同处理间植株株高、茎粗逐渐开始出现差异。至 04-30 植株打顶时,随着营养液滴灌量的增大,植株株高呈增长趋势;茎粗呈先增大后变小再增大的变化趋势,其

表 3 不同营养液滴灌量处理对番茄株高、茎粗的影响

Table 3 Effects of nutrition solution amount on tomato plant height and stem diameter

处理 Treatment	株高/cm Plant height				茎粗/mm Stem diameter			
	03-19	04-02	04-16	04-30	03-19	04-02	04-16	04-30
CK	23.00 a	59.00 ab	87.00 c	105.67 b	0.41 a	8.79 b	9.64 cd	9.81 c
T1	23.00 a	56.33 ab	81.00 d	93.33 c	0.42 a	8.55 b	9.22 e	9.38 d
T2	23.00 a	60.33 a	85.33 c	95.33 c	0.42 a	9.25 a	9.84 bc	10.19 b
T3	23.17 a	56.33 ab	88.00 c	102.67 b	0.41 a	8.72 b	9.41 de	9.64 cd
T4	23.67 a	57.00 ab	92.67 b	104.67 b	0.41 a	9.18 a	9.95 b	10.20 b
T5	23.33 a	54.67 b	98.33 a	113.33 a	0.41 a	9.38 a	10.76 a	10.96 a

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下表同。

Note: Different small letters in each column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同营养液滴灌量对番茄产量的影响

水肥是叶片制造有机物的重要原料,番茄植株通过根系吸收养分,制造合成的有机物经由韧皮部运输贮存于番茄果实,同化物在“源-库”间运输分配的过程决定着果实产量的高低,可知土壤水肥的供应状况是影响作物产量形成的重要因素。由表 4 可知,番茄的单果质量、单株产量、果实产量均随着营养液滴灌量的增加而增大。同时由表 4 的单果质量和单株产量计算可得平均单株挂果数,进而推知

表 4 不同营养液滴灌量处理对番茄产量的影响

Table 4 Effects of nutrition solution amount on tomato yield

处理 Treatment	单果质量/kg Fruit weight	单株产量/kg Yield per plant	小区产量/kg Experimental plot yield	果实产量/(kg·hm ⁻²) Fruit yield
CK	0.129 c	1.903 cd	60.97 cd	138 596.54 cd
T1	0.109 d	1.607 d	51.44 d	116 971.23 d
T2	0.126 c	2.143 c	68.57 c	155 927.21 c
T3	0.151 b	2.613 b	83.52 b	189 910.17 b
T4	0.174 a	2.893 ab	92.52 ab	210 381.25 ab
T5	0.180 a	3.070 a	98.14 a	223 335.84 a

2.3 不同营养液滴灌量对番茄果实品质的影响

土壤中的矿质元素对植物具有重要的生理作用,它既是植物生命活动的重要调节者,也是构成细胞物质的重要成分,在光合作用过程中直接参与光合物质的合成代谢,而矿质元素的吸收利用、番茄植株的物质代谢以及光合产物在源库间的运输都需要水分运输调节,因而番茄的品质与土壤水肥的含量状况关系密切。不同营养液滴灌量对番茄品质的影响见表 5。由表 5 可知,与 CK 相比,T1 和 T5 处理

中 T5 处理的茎粗最大,T2、T4 处理次之,T1 处理最小。说明在营养液浓度相同的前提下,营养液滴灌量高有利于番茄植株株高、茎粗的增加,故 T5 处理株高、茎粗最大,这可能是由于 T5 营养液滴灌量可使作物生长健壮,维持地上部分适宜的光合面积,避免植株营养生长过弱,从而促进“源”合成更多的同化物向“库”运输,有利于增产增收。

T2、T3、T4 和 T5 处理的平均单株挂果数相同,说明营养液滴灌量高于 T2 处理(5 250 L/hm²)时,番茄挂果率不受影响,果实产量与番茄单果质量有关(果实产量=果实数目×单果质量),可知增加营养液滴灌量有利于增加番茄果实的单果质量,从而使果实产量增加。6 个营养液滴灌处理中,T5 处理番茄的单果质量、单株产量、果实产量均最高,分别较 CK 提高了 39.53%,61.32%和 61.14%。

显著增加了果实可溶性总糖和可溶性固形物含量,T2、T4 和 T5 处理均显著增加了果实的有机酸含量,T5 处理可溶性蛋白含量显著增加,6 个处理中,T5 处理果实的可溶性总糖、有机酸、可溶性蛋白、可溶性固形物含量均最高。比较各处理的糖/酸值可知,T5 的糖酸值仅次于 T1,果实品质较优,且较 CK 提高了 20.22%。

表 5 还显示,与 CK 相比,T1、T2、T3、T4、T5 处理果实的维生素 C 含量分别降低了 19.23%,

18.15%, 28.83%, 33.44% 和 16.87%, 但 5 个营养液处理中以 T5 处理果实的维生素 C 含量最高。果实可溶性蛋白含量及可溶性固形物含量均随着营养液滴灌量的增加总体呈先降后升的变化规律。说明对于温室番茄果实的可溶性蛋白和可溶性固形物含量而言,所需的营养液滴灌量存在一个阈值,当营养

液滴灌量小于这个阈值时,番茄果实中的可溶性蛋白和可溶性固形物含量随着营养液滴灌量的增加而减少,而当营养液滴灌量大于阈值时,果实的可溶性蛋白和可溶性固形物含量将随着滴灌量的增大而增加。

表 5 不同营养液滴灌量处理对番茄果实品质的影响

Table 5 Effects of nutrition solution amount on quality of tomato

处理 Treatment	可溶性总糖/ (g · kg ⁻¹) Soluble sugar	有机酸/ (g · kg ⁻¹) Organic acid	糖酸比 Sugar/ acid ratio	维生素 C/ (mg · kg ⁻¹) Vitamin C	可溶性蛋白/ (mg · kg ⁻¹) Soluble protein	硝酸盐/ (mg · kg ⁻¹) Nitrate	可溶性 固形物/% Soluble solids
CK	44.14 c	4.93 d	9.00 b	116.04 a	34.75 ab	6.74 bc	4.93 c
T1	57.43 b	5.17 cd	11.11 a	93.72 b	33.59 b	7.95 b	5.43 a
T2	34.19 d	5.86 ab	5.84 c	94.98 b	30.86 bc	5.91 c	4.73 d
T3	45.59 c	4.99 cd	9.15 b	82.59 bc	28.73 c	6.57 bc	4.10 f
T4	33.31 d	5.61 bc	5.97 c	77.24 c	35.41 ab	7.07 bc	4.43 e
T5	69.03 a	6.40 a	10.82 a	96.46 b	38.93 a	9.53 a	5.13 b

果实中硝酸盐含量过多会危害人类的健康,美国卫生组织建议番茄中不得检出 NO₃⁻ [28]。由表 5 还可知,各处理温室番茄果实内的硝酸盐含量为 5.91~9.53 mg/kg,均未超过国家(GB 18406.1-2001)对无公害蔬菜的安全要求(NO₃⁻ ≤ 438 mg/kg)。本研究的 6 个处理中,T5 处理果实的硝酸盐含量最高,分析其原因存在两种可能性:一是营养液滴灌量的增加降低了植物对硝态氮的同化作用;二是在植株对硝态氮同化力不变的条件下,增加

营养液滴灌量可使番茄果实内的硝态氮残存量增加。

对不同处理番茄果实品质进行隶属函数分析,结果见表 6。从表 6 可以看出,T2、T3、T4 处理的平均隶属函数值均低于 CK,而 T1 与 T5 处理高于 CK,其中 T5 处理的平均隶属函数值最高,T3 处理最小,因平均隶属函数值是果实综合品质的评价指标,其值越大表示果实品质越好,所以 T5 处理果实的品质最佳。

表 6 不同营养液滴灌量处理番茄果实品质的隶属函数值

Table 6 Fruit quality membership index of treatments with different nutrition solution amounts

处理 Treatment	可溶性总糖 Soluble sugar	有机酸 Organic acid	糖酸比 Sugar-acid ratio	维生素 C Vitamin C	可溶性蛋白 Soluble protein	硝酸盐 Nitrate	可溶性 固形物 Soluble solids	平均隶属 函数值 Mean membership index
CK	30.32	0.00	59.96	100.00	59.02	22.93	62.41	47.81
T1	67.53	16.33	100.00	42.47	47.65	56.35	100.00	61.48
T2	2.46	63.27	0.00	45.72	20.88	0.00	47.37	25.67
T3	34.38	4.08	62.81	13.79	0.00	18.23	0.00	19.04
T4	0.00	46.26	2.47	0.00	65.49	32.04	24.81	24.44
T5	100.00	100.00	94.50	49.54	100.00	100.00	77.44	88.78

3 讨论

在蔬菜、作物的生长环境中,土壤的水肥状况与植株的生理活动密切相关,土壤中矿质元素供给量及水分的变化直接影响植株的生理变化,通过植株内部一系列信号转达,进而对植株的形态建成和产量产生一定的影响。因此,合理地安排水肥管理措施,能够有效地维持植株营养生长与生殖生长间的平衡,通过协调“源-库”关系达到增产和提高果实品质的目的。高艳明等^[14]的营养液土培番茄试验表

明,与常规滴灌栽培相比,营养液土培植株生长势较强,茎秆粗壮。本试验结果与高艳明等^[14]的一致,6 个处理中,在 04-16 和 04-30,均以 T5 处理植株的株高和茎粗最高,这是因为该处理下土壤为植株提供了充足的养分与水分,光合作用过程中无机物、水分供应量充足,充分保障了有机物的生成与运输,从而在番茄植株的营养生长期,植株株高、茎粗最大,长势健壮。

在本试验条件下,营养液用量 ≥ T2 (5 250 L/hm²) 的处理,即 T2、T3、T4 和 T5 处理的单果质

量增加而果实数目不受影响,表明增加营养液滴灌量可以提高果实产量,而增产仅受单果质量的影响,与果实数目并不相关,这与张国红等^[29]肥料施用量不同不会对果实单果质量产生影响的研究结果并不一致,也与安顺伟等^[30]果实产量与其单果质量和果实数目相关的研究结果不一致,这可能是由于营养液土培这种新的水肥管理方式中水肥间的互作作用所导致。张国红等^[29]、安顺伟等^[30]对番茄产量的研究主要集中在肥料这一单一因素上,而本研究同时分析了水肥这 2 种因素对番茄生长、产量及品质的影响,表明二者之间存在水肥耦合效应。水是肥的运输介质,不同水分条件下植株对养分的吸收利用能力不同,对产量的影响也会出现差异。在番茄栽培过程中,营养液滴灌方式极大地改善了温室番茄栽培过程中的土壤水肥条件以及温室内部的土壤、大气环境,有效地降低了设施番茄生长发育过程中植株与果实的发病率,这也是温室番茄增产的一个重要因素。

对番茄品质而言,低糖高酸、高糖低酸都不利于提高果实口感,因而人们习惯于将果实糖酸度作为评价果实风味的一项重要指标^[31]。在无土栽培中,研究者通过改变营养液成分或浓度的方法来达到改善果实品质的目的^[32]。本试验结果说明,利用营养液土培的技术手段通过改变营养液滴灌量可以达到改善果实品质的目的。高新昊等^[33]的研究结果显示,适度增施钾肥可以提高果实的维生素 C 及有机酸含量。本试验中,与 CK 相比,采用营养液滴灌的方式会降低番茄果实的维生素 C 含量,这是因为在本试验设计的 5 个水平的营养液滴灌量下,磷的施用量均低于 CK。前人的研究表明,在适宜的范围內增加磷肥的施用量,果实内的维生素 C 含量将有所增加^[34]。本试验结果与上述研究结果相一致,其原因可能在于供磷状况的好坏直接关系着蔬菜体内各种代谢过程以及碳水化合物的合成与转化。适量增施磷肥能提高抗坏血酸过氧化物酶的活性,其氧化产物单脱氢抗坏血酸和脱氢抗坏血酸也可以通过单脱氢抗坏血酸还原酶和脱氢抗坏血酸还原酶的作用而被还原,从而促进维生素 C 的合成与积累^[35]。综合分析番茄产量及相关果实品质的测定结果可知,T5 处理的产量最高,其相关果实品质指标的平均隶属函数值最大,说明所得番茄果实的品质最好,且产量较 CK 提高了 61.14%,果实糖/酸值为 10.82,远远高于参考标准的糖/酸值(6.0)^[36]。

4 结 论

在本试验条件下,根据温室番茄不同生长时期的水肥需求比例,分析了不同营养液滴灌量对番茄植株生长、品质及产量的影响。研究结果显示,T5 处理即 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 915,405,1 605 kg/hm²,水为 11 250 L/hm² 时的效果较佳,植株长势健壮,番茄产量与品质较佳,很好地协调了番茄植株的生长发育进程。

[参考文献]

- [1] 陈瑗丽,张玉龙,王铁良,等. 保护地低压节点渗灌水肥处理对番茄灌水量、产量和品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2010,28(1):49-53.
Chen Y L, Zhang Y L, Wang T L, et al. Effects of different water and fertilizer on irrigation amount, yield and fruit quality of tomato with low pressure of node subsurface irrigation in protected field [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(1):49-53. (in Chinese)
- [2] 刘明池,刘向莉. 不同灌溉方式对番茄生长和产量的影响 [J]. 华北农学报, 2005,20(1):93-95.
Liu M C, Liu X L. Effect of different irrigation methods on plant growth and yield of tomato [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2005,20(1):93-95. (in Chinese)
- [3] 韩建会,徐淑贞. 日光温室番茄滴灌节水效果及灌溉制度的评价 [J]. 西南农业大学学报, 2003,25(1):77-79.
Han J H, Xu S Z. Water-Saving effect of drip irrigation and evaluation of irrigation regimes for tomato production in solar energy greenhouses [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2003,25(1):77-79. (in Chinese)
- [4] 梁岳,卢恩胜. 温室番茄滴灌与沟灌对比试验研究 [J]. 安徽农业科学, 2007,35(6):1640-1641.
Liang Y, Lu E S. Contrast experimental in the dripping irrigation and furrow irrigation for tomato cultivation in greenhouse [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007,35(6):1640-1641. (in Chinese)
- [5] 陈碧华,郁庆炉,杨和连,等. 日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响 [J]. 广东农业科学, 2008(8):63-65, 78.
Chen B H, Hao Q L, Yang H L, et al. Effects of water and fertilizer coupling on tomato growth and development under drip fertilization in solar-greenhouse [J]. Guangdong Agricultural Science, 2008(8):63-65, 78. (in Chinese)
- [6] 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.
Chen X B, Pan L, Wang Q L, et al. Water-fertilizer coupling effects and its optimization in greenhouse tomato production [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2006,29(3):138-141. (in Chinese)
- [7] 沙海宁,孙权,李建设,等. 不同施氮量对设施番茄生长与产

- 量的影响及最佳用量 [J]. 西北农业学报, 2010, 12(3): 104-108.
- Sha H N, Sun Q, Li J S, et al. Effect of N fertilizer on growth, yield, quality of tomato and optimum application rate of N in greenhouse [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 12(3): 104-108. (in Chinese)
- [8] 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.
- Zhuge Y P, Zhang Y L, Zhang X D, et al. Effects of lower limit of subsurface drip irrigation on tomato growth and its yield in plastic tunnel [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 767-771. (in Chinese)
- [9] Harmanto V, Salokhe M, Babel M S, et al. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment [J]. Agricultural Water Management, 2005, 71: 225-242.
- [10] 田义, 张玉龙, 虞娜, 等. 温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 88-92.
- Tian Y, Zhang Y L, Yu N, et al. Effect of different low irrigation limit on growth, quality and yield of tomato under subsurface drip irrigation in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(5): 88-92. (in Chinese)
- [11] 曹云娥, 李建设, 高艳明. 蔬菜养液土耕技术综述 [J]. 吉林蔬菜, 2005(1): 46-48.
- Cao Y E, Li J S, Gao Y M. Review on technology of nutri-culture vegetable in soil [J]. Jilin Vegetable, 2005(1): 46-48. (in Chinese)
- [12] 赵淑梅, 李保明. 日本的营养液栽培现状及其新技术 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 171-173.
- Zhao S M, Li B M. Introduction to present status, development and new techniques of nutri-culture systems in Japan [J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(4): 171-173. (in Chinese)
- [13] 冈野邦夫. 养液栽培をめぐる最近の动向: 2 [J]. 农耕及び园艺, 2000, 75(2): 281-286.
- Okano Kunio. The tendency of nutri-culture; 2 [J]. Aerial Farming and Horticulture, 2000, 75(2): 281-286. (in Japanese)
- [14] 高艳明, 李建设, 曹云娥. 日光温室番茄滴灌营养液土培试验研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 121-126.
- Gao Y M, Li J S, Cao Y E. Study on the fertigation of tomato soil culture by drip irrigation in greenhouse [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15(6): 121-126. (in Chinese)
- [15] 胡池新, 刘芳. 无土栽培营养液对番茄产量和品质的影响 [J]. 河北农业科学, 2008, 12(6): 51-72.
- Hu C X, Liu F. Effects of nutrient solution on yield and quality of tomato under soilless culture [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008, 12(6): 51-72. (in Chinese)
- [16] 吕卫光, 赵京音, 姚政, 等. 现代化温室无土栽培番茄营养液管理技术调查 [J]. 中国蔬菜, 2002(1): 18-19, 28.
- Lü W G, Zhao J Y, Yao Z, et al. Investigation of the nutrient solution management of tomato cultivation in modern greenhouse [J]. China Vegetables, 2002(1): 18-19, 28. (in Chinese)
- [17] 张钰, 郭世荣, 孙锦. 营养液浓度和用量对醋糟基质栽培番茄生长、产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013(3): 87-91.
- Zhang Y, Guo S R, Sun J. Effects of different nutrition solution concentrations and amount on plant growth, yield and fruit quality of tomato in vinegar residue substrate [J]. Soil and Fertilizers Sciences in China, 2013(3): 87-91. (in Chinese)
- [18] 孙磊, 孙景生, 刘浩, 等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究 [J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 51-54.
- Sun L, Sun J S, Liu H, et al. Water requirement rules of tomato in sunlight greenhouse [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(2): 51-54. (in Chinese)
- [19] 徐淑贞, 张双宝, 鲁俊奇, 等. 日光温室滴灌番茄需水规律及水分生产函数的研究与应用 [J]. 节水灌溉, 2001(4): 26-28.
- Xu S Z, Zhang S B, Lu J Q, et al. Study and application on tomato water requirement law and CWPf with drop irrigation in covered land of sun shining [J]. Water Saving Irrigation, 2001(4): 26-28. (in Chinese)
- [20] 许金香, 高丽红. 日光温室不同栽培茬口番茄需水量初探 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 308-312.
- Xu J X, Gao L H. Primary study on water requirement of tomato in different season in solar greenhouse [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(5): 308-312. (in Chinese)
- [21] 程扶玖, 黄平, 邹运鼎, 等. 番茄营养元素吸收特性研究 [J]. 园艺学报, 1993, 20(1): 56-60.
- Cheng F J, Huang P, Zou Y D, et al. Investigation on characteristics of nutritive absorption of tomato [J]. Acta Horticulture Sinica, 1993, 20(1): 56-60. (in Chinese)
- [22] 齐红岩, 李天来, 郭泳, 等. 日光温室番茄长季节栽培条件下植株营养元素吸收特性的研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 3(1): 64-67.
- Qi H Y, Li T L, Guo Y, et al. Nutrients absorption properties of tomato in long-season cultivation in solar greenhouse [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000, 3(1): 64-67. (in Chinese)
- [23] 孙敏红, 许益娟. 不同营养液配方对番茄幼苗生长的影响 [J]. 广东农业科学, 2008(8): 55-57.
- Sun M H, Xu Y J. Effect of different nutrient solutions on growth of tomato seedlings [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2008(8): 55-57. (in Chinese)
- [24] 赵娜, 徐晶, 汪磊, 等. 不同肥料配方对番茄复合基质育苗的影响 [J]. 北方园艺, 2010(24): 49-50.
- Zhao N, Xu J, Wang L, et al. Effects of different fertilizer formula proportion on compound material seeding of tomato [J]. Northern Horticulture, 2010(24): 49-50. (in Chinese)
- [25] 安娜, 须晖, 孙周平, 等. 雾培番茄不同营养液配方的生产效果比较 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 60-63.
- An N, Xu H, Sun Z P, et al. Effects of different nutrient solution on the tomato plant with culture [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3): 60-63. (in Chinese)

- [26] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
Gao J F. Experimental guidance for plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005. (in Chinese)
- [27] 乔志霞, 沈火林, 安 岩. 番茄耐高温胁迫能力鉴定方法的研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 114-120.
Qiao Z X, Shen H L, An Y. The research of indentifying methods in tolerance to high temperature of tomato [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15(6): 114-120. (in Chinese)
- [28] 王朝辉, 李生秀. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 22-28.
Wang C H, Li S X. Influence of nitrogen rates on nitroate accumulation in vegetables [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 22-28. (in Chinese)
- [29] 张国红, 袁丽萍, 郭英华, 等. 不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(S1): 151-154.
Zhang G H, Yuan L P, Guo Y H, et al. Effects of fertilization levels on the growth and development of tomato in solar greenhouse [J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S1): 151-154. (in Chinese)
- [30] 安顺伟, 王永泉, 李红岭, 等. 灌水量对日光温室番茄生长、产量和品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 188-192.
An S W, Wang Y Q, Li H L, et al. Effects of different irrigation quantities on growth, yield and fruit quality of tomato in solar greenhouse [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(3): 188-192. (in Chinese)
- [31] 刘 静, 霍建勇, 冯 辉. 番茄风味品质相关性状研究综述 [J]. 辽宁农业科学, 2004(6): 39-40.
Liu J, Huo J Y, Feng H. Review on correlated character of tomato flavour quality [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2004(6): 39-40. (in Chinese)
- [32] 樊怀福, 杜长霞, 朱祝军. 调节营养液电导率对卡罗番茄果实品质和产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2011, 20(4): 102-105.
Fan H F, Du C X, Zhu Z J. Effect of nutrient solution conductivity regulation on quality and yield of kaluo tomato [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2011, 20(4): 102-105. (in Chinese)
- [33] 高新昊, 张志斌, 郭世荣. 氮钾化肥配合追施对日光温室番茄越冬长季节栽培产量与品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 375-378.
Gao X H, Zhang Z B, Guo S R. Effects of combined top application of inorganic nitrogen and potassium on the yield and quality of overwintering tomato in greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 375-378. (in Chinese)
- [34] 陈 钢, 吴礼树, 李煜华, 等. 不同供磷水平对西瓜产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1189-1192.
Chen G, Wu L S, Li Y H, et al. Effect of different phosphorous supply levels on yield and quality of watermelon [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1189-1192. (in Chinese)
- [35] 吴国喜, 陶 鸿, 胡克玲, 等. 钾肥对大棚番茄 Vc 和硝酸盐含量及相关酶活性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(8): 2225-2226.
Wu G X, Tao H, Hu K L, et al. Effects of potassium fertilizer of vitamin C, nitrate content and related enzyme activities of tomato greenhouse [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(8): 2225-2226. (in Chinese)
- [36] 徐明磊. 番茄高可溶性固形物种质的创造及相关基因的差异表达研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
Xu M L. Establishment of new tomato breeding germplasm of increasing soluble solids content and differential expression of genes related soluble solids content in tomato [D]. Chongqing: Southwest University, 2006. (in Chinese)

(上接第 134 页)

- [17] 刘学军. 基于规则格网数字高程模型解译算法误差分析与评价 [D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
Liu X J. On the accuracy of the algorithms for interpreting grid-based digital terrain model [D]. Wuhan: Wuhan University, 2002. (in Chinese)
- [18] Saleh A. Soil roughness measurement: Chain method [J]. Soil and Water Cons, 1993, 48(6): 527-529.
- [19] 赵龙山, 梁心蓝, 张青峰, 等. 基于 DEM 的黄土坡耕地地表糙度测定方法研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(4): 86-89, 94.
Zhao L S, Liang X L, Zhang Q F, et al. Surface roughness determination of the loess sloping field based on DEM [J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(4): 86-89, 94. (in Chinese)