

网络出版日期:2017-10-18

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20171018.1733.020.html

营养液供液量及供液频率对高糖度番茄生长、产量及品质的影响

哈 婷,张向梅,李建设,高艳明

(宁夏大学 农学院,银川 750021)

摘 要 为探索营养液供液量及供液频率对高糖度番茄生长、产量及品质的影响,设计营养生长期每株每天供液量为 150 mL(W1)、210 mL(W2)、270 mL(W3),开花结果期加倍,供液频率为 1 次(T1)、2 次(T2)、3 次(T3)。结果表明:高糖度番茄果实品质随营养液供液量的增加而降低,供液量为 W1、W2 处理的可溶性总糖质量分数、有机酸质量摩尔浓度显著高于 W3 处理。维生素 C、可溶性固形物质量分数表现为 T3 处理高于 T1、T2,W1T3、W2T3 处理的可溶性固形物质量分数分别达到 8.37%、8.33%;W2T3 处理的株高、茎粗和光合速率最大,与 W1T1 相比分别提高 30.6%、26%、68.9%;供液频率为 T3 处理时,W2T3 处理的产量、单果质量、单株结果数最大,与 W3T3 处理相比,产量提高 11.3%,而 W1、W2 处理的水分利用效率显著高于 W3。综合分析,W2T3 处理最佳,即番茄在营养生长期每株每天营养液供液量为 210 mL,在开花结果期供液量加倍,每天供液 3 次,有利于促进高糖度番茄的生长,提高果实品质。

关键词 高糖度番茄;供液量;供液频率;产量;品质

中图分类号 S641.2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)10-1484-08

番茄是北方温室主要的栽培蔬菜之一,具有较高的科研和经济价值^[1]。随着生活水平的提高,人们对番茄品质的要求也越来越严格,高糖度、营养价值较高的番茄日益受到消费者的欢迎。日本相关研究机构以高品质化为目标,通过控制水肥和限根技术进行高糖度番茄(含糖量在 8% 以上)的生产,已风靡市场,价格远高于普通番茄^[2]。水肥是影响果实品质的主要因素,科学合理的水肥供液量与供液频率是生产高糖度番茄的必要条件。充足的供液量有利于产量的增加,但是降低了果实中的可溶性固形物、维生素 C、有机酸等的质量分数,同时也造成了水资源的浪费^[3]。因此,如何在保证产量和节约水资源的前提下,最大限度的提高果实品质,生产出高糖度的番茄,一直是国内外学者们研究的课题。国内的研究者通过控制水分和设定供液频率对樱桃番茄^[4]、大果番茄^[5]进行试验研究,结果表明:适当进行水分胁迫、增加供液频率能够明显的提高果实的品质及产量。近几年,国外的学者提出采用营养液栽培

技术生产高糖度番茄,该技术是无土栽培中重要的组成部分,可以实现水肥一体化,更有助于植物对水分和养分的吸收^[6]。研究者大多集中于对营养液浓度及配比的探索,认为营养液不同浓度与配比会影响番茄的品质^[7-9],而对于营养液不同供液量与供液频率对高糖度番茄生产的研究鲜有报道。因此,本试验以生产高糖度番茄为出发点,采用营养液栽培技术,分析供液量及供液频率对番茄生长生理指标、产量品质及水分利用率的影响,以期在高糖度番茄的生产提供更为合理的生产依据与技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2016 年 3 月—7 月在宁夏园艺博览园科研开发区智能玻璃温室中进行,该地区属于温带大陆性气候,四季分明。栽培基质为混合基质,理化性质为:pH 6.54,电导率 1.603 mS·cm⁻¹,速效氮 509 mg·kg⁻¹,速效钾 154

收稿日期:2016-08-29 修回日期:2016-10-30

基金项目:国家科技支撑计划(2014BAD05B02);宁夏科技支撑计划(2016BN01)。

第一作者:哈 婷,女,硕士研究生。研究方向:蔬菜栽培生理生态。E-mail:562176694@qq.com

通信作者:高艳明,女,硕士生导师。研究方向:设施蔬菜无土栽培与营养施肥。E-mail:myangao@163.com

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $135.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,体积质量 $0.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。供试材料为日本品种‘粉太郎’(沈阳德亿农业发展有限公司提供),植株所需养分由营养液(宁夏大学研发的营养液)提供,配方见表 1。

1.2 试验设计

分别设计 3 个不同供液量、供液频率处理,每株每天的营养液供液量及供液频率设计见表 2。番茄的营养生长期为 3 月 20 日到 4 月 23 日,开花结果期为 4 月 24 日到 7 月 15 日。采用完全交互设计,共 9 个处理,各处理重复 3 次。基质袋

培,双排定植,每袋栽 3 株,行距 90 cm,株距 30 cm,小区面积 4.78 m^2 。

1.3 试验装置

先在营养液池中将营养液配好,然后通过水泵将营养液输送到 200 L 的水桶中,在每个水桶中放置 1 个 45 W 潜水泵,将营养液通过插箭滴灌系统输送至植株根部,每株配置 1 个插箭,每个潜水泵控制 1 个处理(3 个小区)。通过前期预试验计算灌溉所需时间,利用时间控制器(金科德定时器,慈溪市科德电器厂生产)进行灌水处理,试验装置见图 1。

表 1 番茄营养液元素配方

Table 1 Elements formula of nutrient solution in tomato

元素 Element	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ Mass concentration	400	40	40	280	60	40	40	3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01

表 2 营养液供液量与供液频率

Table 2 Design of supply amounts and frequency of nutrient solution

处理 Treatment	供液频率(T)/(次·d ⁻¹) Supply frequency of nutrient solution	供液量(W)/(mL·d ⁻¹) Supply amount of nutrient solution		供液时刻 Time of fluid supply
		营养生长期 Vegetative growth period		
		开花结果期 Flowering period		
W1T1	1(T1)	150(W1)	300(W1)	8:00
W2T1	1(T1)	210(W2)	420(W2)	8:00
W3T1	1(T1)	270(W3)	540(W3)	8:00
W1T2	2(T2)	150(W1)	300(W1)	8:00,16:00
W2T2	2(T2)	210(W2)	420(W2)	8:00,16:00
W3T2	2(T2)	270(W3)	540(W3)	8:00,16:00
W1T3	3(T3)	150(W1)	300(W1)	8:00,11:00,16:00
W2T3	3(T3)	210(W2)	420(W2)	8:00,11:00,16:00
W3T3	3(T3)	270(W3)	540(W3)	8:00,11:00,16:00

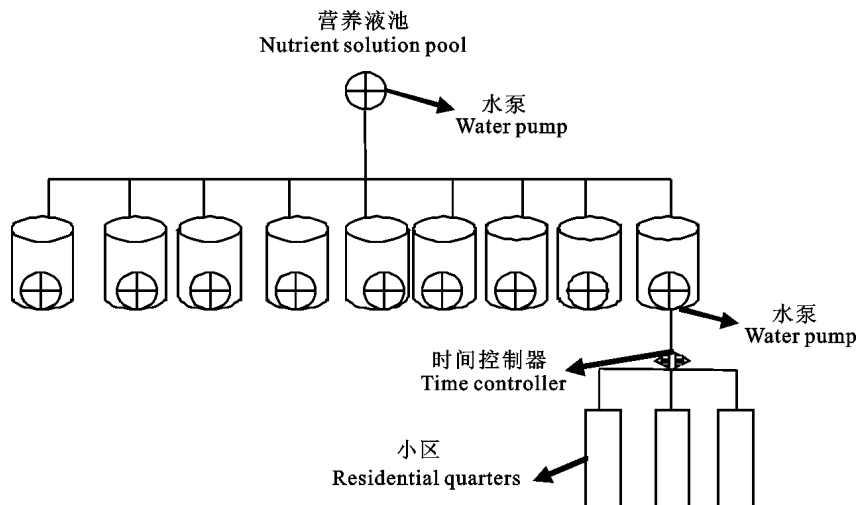


图 1 试验装置平面简图

Fig. 1 The plan of experiment equipment

1.4 测定指标及方法

1.4.1 地上部指标 定植后各小区选5株植株进行挂牌,各处理开始灌水后,依据《番茄种质资源描述规范和数据标准》^[10],每14 d测定番茄植株株高和茎粗,地上和地下部干物质质量分数采用烘干法,根冠比为地上部干物质质量/地下部干物质质量。

1.4.2 根系的发育情况 拉秧期,采用Epson expression 1680型扫描仪对根样进行扫描,扫描出的图像用Win-RHIZO根系分析软件进行分析得到根样的根长。

1.4.3 光合指标 盛果期,采用德国WALZ GFS3000光合仪测定光合指标,各处理随机选取3株,对从顶部往下数第3片功能叶进行测定,取其平均值。

1.4.4 生理指标 盛果期,各小区选取3株植株,取3片中部叶片测定电导率^[11]、细胞膜透性^[11]、丙二醛^[11]、根系活力^[11]。

1.4.5 果实品质指标 可溶性总糖采用蒽酮比色法^[11]测定,维生素C采用钼蓝比色法^[11]测定,可溶性固形物采用TD-45数字折光仪测定,有机酸采用NaOH滴定法^[11]测定。

1.4.6 产量及水分利用效率 采收时测定单果质量、单株结果数,统计各小区的平均产量并折算,计算水分利用效率。

1.5 数据处理方法

利用Excel 2007进行数据处理,采用DPS 7.05软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 营养液供液量与供液频率对番茄地上部的影响

由表3可知,营养液供液量及供液频率对番茄地上部有一定的影响,在相同供液频率下,随供液量的增加,番茄株高、茎粗及地上部干物质质量逐步增加,而根冠比呈下降趋势。W2T3处理株高、茎粗达到最大值,与W1T1相比分别提高30.6%、26%。供液量为W1处理的地上部干物质质量低于W2、W3处理,且W2T3处理最大,与W1T1相比提高51.7%,两处理间差异显著。根冠比最大的为W1处理,W2次之,W3最小,W1T1处理根冠比最大,各处理差异显著。综上所述可知,适当增加供液量有利于地上部的纵向及横向生长,但是抑制根冠比的增大。

表3 不同营养液供液量与供液频率处理下番茄地上部分($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on shoot of tomato

处理 Treatment	平均株高/cm Average of plant height	平均茎粗/mm Average of stem diameter	单株地上部干物质质量/g Dry mass of shoot	单株地下部干物质质量/g Dry mass of root	根冠比 Root/Shoot
W1T1	65.84±6.89 a	6.11±1.07 a	59.70±4.90 c	1.97±0.32 a	0.053±0.005 a
W2T1	72.46±7.96 a	6.43±1.53 a	61.43±4.24 c	2.60±0.16 a	0.032±0.005 c
W3T1	79.41±7.15 a	6.59±1.46 a	64.13±5.13 c	2.57±0.44 a	0.023±0.004 c
W1T2	68.68±5.68 a	6.08±1.41 a	65.22±2.58 bc	2.51±0.11 a	0.034±0.012 bc
W2T2	73.97±7.85 a	6.84±1.61 a	71.70±2.66 ab	2.23±0.52 a	0.032±0.004 c
W3T2	76.21±7.48 a	7.24±1.72 a	72.70±3.41 ab	2.83±0.37 a	0.023±0.007 c
W1T3	72.33±6.38 a	7.27±1.84 a	75.10±2.66 ab	1.87±0.23 a	0.050±0.019 ab
W2T3	85.96±8.83 a	7.70±2.42 a	90.56±5.60 a	2.93±0.59 a	0.035±0.010 bc
W3T3	80.27±8.08 a	7.58±2.05 a	88.89±5.63 a	2.85±0.34 a	0.021±0.007 c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters in each column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

2.2 营养液供液量与供液频率对番茄根系的影响

根的发育状况直接影响植物的生长和产量品质。由表4可知,各指标在不同处理下的变化趋势基本一致,随供液量及供液频率的增加呈上升趋势,在相同供液频率下,W2T3、W3T3处理的根总长、根总体积显著高于其他处理,且W2T3处理较W1T3处理分别提高6.9%、9.6%,两处

理间差异显著。在相同供液量下,番茄植株的根总面积和根平均直径由大到小的顺序为T3、T2、T1,且W2T3处理的根总面积最大,较W2T1、W2T2处理分别提高46.2%、37.5%。可见,适当增加营养液供液量、提高供液频率能够促进根系的生长,提高吸收水肥的能力,有助于番茄品质与产量的提高。

表 4 营养液供液量与供液频率对单株番茄根系的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on root of each tomato plant

处 理 Treatment	根总长/cm Root length	根总体积/cm ³ Root volume	根总面积/cm ² Root area	根平均直径/mm Root diameter
W1T1	466.11±48.80 c	4.87±0.76 c	145.42±25.92 c	0.91±0.15 b
W2T1	480.50±46.02 c	5.11±0.85 c	156.49±14.12 bc	0.96±0.09 ab
W3T1	494.32±39.26 c	6.21±1.19 b	159.08±15.58 bc	1.25±0.06 ab
W1T2	510.68±58.29 c	5.25±0.68 c	153.04±17.29 bc	0.98±0.08 ab
W2T2	521.19±55.10 bc	6.19±1.45 b	166.33±19.68 abc	1.45±0.15 a
W3T2	575.89±62.56 ab	6.52±0.81 b	197.46±16.44 abc	1.19±0.08 ab
W1T3	576.07±45.48 ab	6.65±0.54 ab	207.40±20.13 ab	0.97±0.08 ab
W2T3	615.58±32.15 a	7.29±0.45 a	228.78±21.63 a	1.29±0.16 ab
W3T3	618.11±35.30 a	7.20±0.63 a	221.86±24.12 a	1.23±0.16 ab

2.3 营养液供液量与供液频率对番茄光合指标的影响

光合作用是植物吸收和运输水分的主要动力,光合能力的强弱影响植株生长及品质的形成。由表 5 可知,番茄叶片蒸腾速率、气孔导度、光合速率随供液量及供液频率的增加呈上升趋势,以 W2T3 处理最大,高于其他处理,分别较 W1T1

处理提高 61.9%、123.5%、68.9%。在相同供液量下,胞间二氧化碳摩尔分数略有下降,随供液频率的增加,胞间二氧化碳摩尔分数由大到小的顺序为 T1>T2>T3,且 W1T1、W2T1、W3T1 处理高于其他处理,但各处理无显著差异。可见,光合速率与胞间二氧化碳摩尔分数并非正相关关系,这可能与温室环境有一定的关系。

表 5 供液量与供液频率对番茄光合指标的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on photosynthesis index of tomato

处 理 Treatment	$T_r/$ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	$G_s/$ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	$C_i/$ (μ mol·mol ⁻¹)	$P_n/$ (μ mol·m ⁻² ·s ⁻¹)
W1T1	4.20±0.91 a	132.49±17.41 c	371.68±30.27 a	5.45±0.26 c
W2T1	5.03±0.59 a	140.74±21.56 c	383.88±54.11 a	6.52±0.60 c
W3T1	6.06±0.73 a	206.30±20.64 bc	383.82±61.72 a	8.59±0.57 ab
W1T2	4.51±0.34 a	208.61±23.53 bc	332.50±41.43 a	6.64±0.36 c
W2T2	5.21±1.01 a	224.13±19.45 b	315.24±41.83 a	7.70±0.58 bc
W3T2	6.67±0.95 a	240.85±20.74 ab	353.25±38.46 a	8.67±0.20 ab
W1T3	5.43±1.03 a	225.40±24.36 b	337.06±32.34 a	7.74±0.68 bc
W2T3	6.80±1.19 a	296.23±30.58 a	331.80±37.31 a	9.21±0.57 a
W3T3	6.75±1.08 a	290.16±32.11 a	315.40±49.74 a	9.11±0.85 a

2.4 营养液供液量与供液频率对番茄电导率、细胞膜透性、丙二醛、根系活力的影响

由表 6 可知,随供液量的增加,番茄叶片的细胞膜透性、电导率、丙二醛质量摩尔浓度逐步下降,不同供液量处理下各指标表现为 W1>W2>W3。其中,W1T1 处理的细胞膜透性、电导率最大,而 W2T3、W3T3 处理较小,W1T1 处理下的丙二醛质量摩尔浓度较 W2T3、W3T3 增加 54.6%、62.1%。可能是由于 W1T1 处理的番茄叶片受到一定程度的水分胁迫,而 W2T3 和 W3T3 水分胁迫程度较小。在相同供液量下,随

供液频率的增加,各处理根系活力呈增加的趋势,W2T3 处理达到最大值,高于其他处理。

2.5 营养液供液量与供液频率对番茄品质的影响

番茄品质与水肥用量关系密切,品质的好坏直接决定蔬菜的商品价值。由表 7 可知,番茄果实品质在不同处理下的变化基本一致,即随供液量及供液频率的增加呈下降趋势,在相同供液频率下,供液量为 W1、W2 处理的可溶性总糖质量分数、有机酸质量摩尔浓度显著高于 W3 处理,W2T3 处理达到最大值,较 W3T3 分别提高

13.1%、12.8%。在相同供液量下, T3 处理的维生素 C、可溶性固形物质量分数均高于 T1、T2, W1T3、W2T3 的可溶性固形物质量分数分别达到 8.37%、8.33%, 显著高于其他处理。综合分析

可知, 供液量过多或过少均不利用番茄品质的提高, 适当的供液量与高频供液次数有利于提高高糖度番茄的品质。

表 6 不同营养液供液量与供液频率处理下番茄电导率、细胞膜透性、丙二醛及根系活力 ($\bar{x} \pm s$)

Table 6 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on mass fraction of membrane permeability, conductivity, MDA and root activity of tomato

处理 Treatment	细胞膜透性/% Membrane permeability	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) Conductivity	丙二醛/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) MDA molality	根系活力/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) Root activity
W1T1	47.4 ± 3.57 a	130.90 ± 13.29 a	1.67 ± 0.16 a	21.51 ± 1.17 e
W2T1	46.8 ± 5.77 a	129.63 ± 9.85 a	1.41 ± 0.06 a	25.04 ± 2.28 de
W3T1	42.6 ± 2.13 ab	116.97 ± 11.76 a	1.34 ± 0.13 a	29.04 ± 3.01 d
W1T2	45.1 ± 5.07 ab	124.23 ± 12.79 a	1.27 ± 0.03 a	35.00 ± 4.05 c
W2T2	44.0 ± 2.94 ab	120.33 ± 11.55 a	1.27 ± 0.04 a	40.27 ± 4.35 b
W3T2	40.6 ± 4.13 ab	109.60 ± 10.47 a	1.26 ± 0.04 a	47.48 ± 4.01 a
W1T3	39.8 ± 2.92 ab	115.30 ± 12.13 a	1.17 ± 0.02 a	45.65 ± 3.88 a
W2T3	35.7 ± 3.05 b	109.10 ± 9.01 a	1.08 ± 0.05 a	49.21 ± 4.15 a
W3T3	30.6 ± 2.72 ab	102.50 ± 8.96 a	1.03 ± 0.04 a	48.09 ± 5.26 a

表 7 不同营养液供液量与供液频率处理下番茄品质 ($\bar{x} \pm s$)

Table 7 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on quality of tomato

处理 Treatment	w (可溶性总糖)/ ($\mu\text{g} \cdot \mu\text{g}^{-1}$) Soluble sugar	w (维生素 C)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Vitamin C	w (可溶性固形物)/% Soluble solid	有机酸/ ($\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Organic acid
W1T1	3.19 ± 0.09 d	190.3 ± 1.75 b	7.23 ± 0.10 bc	0.35 ± 0.002 c
W2T1	2.75 ± 0.21 d	195.5 ± 1.10 bc	6.93 ± 0.15 c	0.34 ± 0.002 c
W3T1	2.41 ± 0.07 d	198.5 ± 1.05 bc	6.67 ± 0.09 c	0.33 ± 0.004 c
W1T2	3.76 ± 0.17 d	199.1 ± 0.09 bc	7.43 ± 0.23 bc	0.40 ± 0.012 b
W2T2	3.43 ± 0.13 d	196.7 ± 1.32 bc	7.07 ± 0.10 c	0.36 ± 0.016 c
W3T2	2.90 ± 0.09 d	188.2 ± 1.21 bc	6.73 ± 0.10 c	0.34 ± 0.006 c
W1T3	4.21 ± 0.09 b	219.4 ± 0.81 a	8.37 ± 0.19 a	0.43 ± 0.010 a
W2T3	4.41 ± 0.22 a	215.0 ± 0.67 b	8.33 ± 0.25 a	0.44 ± 0.021 a
W3T3	3.90 ± 0.10 c	200.7 ± 1.07 b	7.37 ± 0.18 bc	0.39 ± 0.003 b

2.6 供液量与供液频率对产量及水分利用效率的影响

水肥是影响作物产量的直接因素。由表 8 可知, 在相同供液量下, 供液频率为 T3 处理的单果质量、单株结果数显著高于其他处理, 以 W2T3 处理最好, 较 W2T1 分别提高 33.3%、24.0%。供液频率一定, W1 处理的产量低于 W2、W3 处理, W2T3 处理产量最大, W3T3 处理提高 11.3%。而水分利用效率随供液量增加呈下降趋势, W1、W2 处理大于 W3, 综合分析可知, 增加供液量与供液频率有利于产量的提高, 但会降低水分利用效率, W2T3 处理为提高番茄产量理想的供液量与供液频率。

3 讨论与结论

水肥调控是提高高糖度番茄品质的关键技术措施, 许多研究表明适当地减少水肥供液量、增加供液频率可提高番茄果实品质^[12-15]。本试验中, 随营养液供液量的增加, 番茄的可溶性总糖和维生素 C 质量分数、有机酸质量摩尔浓度呈下降趋势, 供液频率为 T3 处理的可溶性固形物质量分数均高于其他处理。可能是由于水分对果实中糖和酸有稀释作用, 过多的水分会导致可溶性糖及有机酸浓度下降, 风味变淡^[16]。此外, 还与 W1、W2 处理受到一定程度的水分胁迫有关, 适度地控制水分会使番茄植株含水量减少, 同时增加供

表 8 营养液供液量与供液频率对产量及水分利用效率的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 8 Effect of supply amounts and frequencies of nutrient solution on yield and water use efficiency

处理 Treatment	单果质量/kg Fruit mass	单株结果数 Fruit number per plant	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	供液量/(m ³ ·hm ⁻²) Amount of liquid	水分利用效率/(kg·m ⁻³) Water use efficiency
W1T1	0.15±0.004 c	14.71±0.26 b	44 938.78±4 450.05 d	1 118.97	40.16
W2T1	0.15±0.003 c	15.72±0.87 b	62 339.38±2 230.15 bc	1 566.47	39.80
W3T1	0.16±0.002 bc	15.75±0.31 b	63 525.47±2 936.34 bc	2 013.98	31.54
W1T2	0.16±0.002 b	14.28±0.80 b	59 269.51±5 222.38 c	1 118.97	52.97
W2T2	0.17±0.003 b	15.76±0.41 b	68 409.36±6 886.04 bc	1 566.47	43.67
W3T2	0.17±0.003 b	15.95±0.51 b	83 863.39±6 612.43 a	2 013.98	41.64
W1T3	0.16±0.004 bc	18.25±0.47 a	61 467.26±4 024.23 bc	1 118.97	54.93
W2T3	0.20±0.006 a	19.49±0.14 a	83 968.04±6 077.04 a	1 566.47	53.06
W3T3	0.20±0.005 a	18.86±0.37 a	75 421.23±4 193.75 ab	2 013.98	37.45

液频率,可产生干湿交替效果,促进干物质积累,达到节水又提高品质的目的^[17-18]。孙丽丽等^[19]则认为 5 d 供液 1 次有利于提高果实的品质,与本试验结论相反,主要是因为果实品质的形成不仅与水量的多少有关,也取决于水肥的浓度配比以及其他环境因素。

番茄植株生长发育的情况决定后期果实品质及产量的形成。本试验研究发现:增加供液量与供液频率,株高、茎粗及地上部干质量均逐渐增加,以 W2T3 最好,这一结论与王韬等^[20]研究基本一致,增加供液频率,可以使番茄吸收的水分更多地参与到光合作用中,提高叶片的光合速率,促进植株地上部的纵向及横向生长^[21]。有研究提出适量的供液量与供液频率,可以提高果实的产量与水分利用效率^[22-24]。本试验研究发现,W1、W2 处理果实的单果质量、单株结果数及产量有所增加,而水分利用效率随供液量的增加下降,主要原因可能是水肥过高使基质水分达到饱和状态,抑制根系对水分及养分的吸收,影响水分利用效率的提高。

综上所述可得,营养液供液量的增加,会降低果实的品质,不利于高糖度番茄的生产。供液量为 W1、W2 处理的可溶性总糖质量分数、维生素 C 质量分数、有机酸质量摩尔浓度均高于 W3 处理,此外,W1T3、W2T3 的可溶性固形物质量分数达到最大值,分别为 8.37%、8.33%。而当供液频率为 T3 时,W2T3 处理的植株长势,根系生长较好,产量最大,较 W3T3 处理提高 11.3%,水分利用效率则表现为 W1、W2 处理大于 W3。在高糖度番茄的生产中,既要考虑品质,也要保障产量和水分利用率的增加。因此,综合考虑 W2T3 处理是高糖度番茄生产较为理想的营养液供液量

与供液频率,即番茄在营养生长期营养液供液量为每株每天 210 mL,在开花结果期营养液供液量为每株每天 420 mL,供液频率为每天供液 3 次。

参考文献 Reference:

- [1] 周 博,陈竹君,周建斌.水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分质量分数的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):58-62.
ZHOU B, CHEN ZH J, ZHOU J B. Effect of different fertilizer and water managements on the yield and quality of tomatoes and nutrient accumulations in soil cultivated in sunlight greenhouse [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2006, 34(4): 58-62 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张彩英.日本高糖度番茄的栽培技术[J].世界农业,1995,17(1):28-29.
ZHANG C Y. Cultivation techniques of high sugar content tomato in Japanese [J]. *Agriculture of World*, 1995, 17(1): 28-29 (in Chinese).
- [3] 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 SH 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 Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(3): 188-192 (in Chinese with English abstract).
- [4] 周 筠,高艳明,李建设.不同灌水量对温室夏茬樱桃番茄植株生长和果实品质的影响[J].北方园艺,2011,41(16):66-69.
ZHOU Y, GAO Y M, LI J SH. Effect of different irrigation amount on plant growth and fruit quality of cheery tomato in the greenhouse [J]. *Northern Horticulture*, 2011, 41(16): 66-69 (in Chinese with English abstract).
- [5] 姚 磊,杨阿明.不同水分胁迫对番茄生长的影响[J].华北农学报,1997,12(2):103-107.
YAO L, YANG A M. Influences of different water stress on tomato growth [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1997, 12(2): 103-107 (in Chinese with English abstract).

- [6] 丁亮. 日本高糖度番茄的栽培[J]. 农村科技开发, 1997, 18(7):12.
DING L. Cultivation of high sugar content tomato in Japan[J]. *Development of Rural Technology*, 1997, 18(7): 12(in Chinese).
- [7] 别之龙, 徐加林, 杨小峰. 营养液浓度对水培生菜生长和硝酸盐积累的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 109-112.
BIE ZH L, XUN J L, YANG X F. Effects of different nutrient solution concentrations on the growth and nitrate accumulation of hydroponic lettuce [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(12): 109-112(in Chinese with English abstract).
- [8] 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 CH X, ZHU ZH J. Effect of nutrient solution conductivity regulation on quality and yield of kaluo tomato [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(4): 102-105(in Chinese with English abstract).
- [9] 吕炯璋, 桑鹏图, 李灵芝, 等. 不同营养液配方与浓度对番茄幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(2): 112-116.
LÜ J ZH, SANG P T, ZHANG L ZH, *et al.* Effect of nutrient solution with different formulas and concentrations on the growth of tomato seedling [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2010, 30(2): 112-116(in Chinese with English abstract).
- [10] 李锡香. 番茄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1-4.
LI X X. Standard of Germplasm Resources and Data of Tomato [M]. Beijing, China Agriculture Press, 2006: 1-4 (in Chinese).
- [11] 高俊风. 植物生理学试验技术[M]. 西安: 世界图书出版, 2000.
GAO J F. Experimental Techniques of Plant Physiology [M]. Xi'an: The World of Books Press, 2000(in Chinese).
- [12] 吴泳辰, 韩国君, 陈年来. 调亏灌溉对加工番茄产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(7): 104-107.
WU Y CH, HAN G J, CHEN N L, *et al.* Effects of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of processing [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(7): 104-107 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2011.
LIN X J. Effects of different irrigation and fertilizer levels on fruit quality and antioxidant system and soil environment of tomato in the greenhouse [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [14] 史晋鹏, 刘明池, 季延海, 等. 不同供液频率对基质槽培番茄产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(6): 1058-1063.
SHI J P, LIU M CH, JI Y H, *et al.* Effect of different supply frequencies of nutrient on the yield and quality tomato in trough substrate cultivation [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(6): 1058-1063(in Chinese with English abstract).
- [15] BASCLGA J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen application [J]. *Acta Horticulture*, 1993, 32(335): 149-153.
- [16] 刘浩, 孙景生, 王聪聪. 灌溉对蔬菜品质影响的研究现状及发展趋势[J]. 中国农村水利水电, 2011, 53(4): 81-84.
LIU H, SUN J SH, WANG C C, *et al.* Research on the effects of irrigation on the quality of vegetables [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2011, 53(4): 81-84 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2699-2704.
LIU H, DUAN A W, SUN J SH, *et al.* Effects of soil moisture regime on greenhouse tomato yield and its formation under drip irrigation [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(11): 2699-2704 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘明池. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2002, 22(6): 4-6.
LIU M CH. Effect of deficit irrigation on yield and quality of cherry tomato [J]. *China Vegetables*, 2002, 22(6): 4-6 (in Chinese with English abstract).
- [19] 孙丽丽, 邹志荣, 韩丽蓉, 等. 营养液滴灌频率对设施番茄生长与果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 119-124.
SUN L L, ZOU ZH R, HAN L R, *et al.* Effects of nutrition solution drip irrigation frequency on plant growth and fruit quality greenhouse tomato [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(3): 119-124 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王韬, 邹志荣, 李凤仙, 等. 灌溉频率对温室沙培甜瓜生长, 水分利用及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(11): 153-160.
WANG T, ZOU ZH R, LI F X, *et al.* Effects of different irrigation rates on growth and fruit quality of muskmelon in solar greenhouse [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2011, 39(11): 153-160 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王正, 刘明池, 季延海, 等. 不同供液量对封闭式无机基质槽培番茄的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(34): 60-64.
WANG ZH, LIU M CH, JI Y H, *et al.* Effects of different amounts of nutrient supplying on tomato in enclosed inor-

ganic substrate circulation trough[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(34): 60-64 (in Chinese with English abstract).

[22] 郭文忠. 灌溉频率对日光温室黄瓜生长发育及干物质积累的影响[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(5): 467-470.

GUO W ZH. The primary study on response of growth, yield and dry matter of cucumber under different irrigation frequency in solar greenhouse [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(5): 467-470 (in Chinese with English abstract).

[23] MORECROFT M D. Experimental investigations on the

environment determination of ^{13}C at different altitude[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1990, 141(231): 1303-1308.

[24] 郑国保, 孔德杰, 张源沛, 等. 不同灌水量对日光温室番茄产量、品质和水分利用效率的影响[J]. *北方园艺*, 2011, 35(11): 47-49.

ZHENG G B, KONG D J, ZHANG Y P, *et al.* The effect of irrigation quantity on yield and quality and WUE of tomato in greenhouse [J]. *Northern Horticulture*, 2011, 35(11): 47-49 (in Chinese with English abstract).

Effects of Supply Amounts and Frequencies of Nutrient Solution on Plant Growth and Fruit Quality of Highly Sugary Tomato

HA Ting, ZHANG Xiangmei, LI Jianshe and GAO Yanming

(College of Agriculture of Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract In order to explore effects of supply amounts and frequencies of nutrient solution on growth and fruit quality of highly sugary tomato, two factors of supply amount and frequency were considered in the experiment. Supply amount was 150 mL per plant (W1), 210 mL per plant (W2), 270 mL per plant (W3) and supply frequency was 1 times everyday (T1), 2 times everyday (T2), 3 times everyday (T3) in the growth period. During the flowering period, the amount of nutrient solution was doubled. The results showed that the fruit quality of tomato decreased with the increase of the supply amount, the mass fraction of soluble sugar and organic acid in the treatment of W2 and W1 was significantly higher than W3. The mass fraction of vitamin C and soluble solid in T3 treatment was higher than that in T1 and T2. The mass fraction of soluble solid of W1T3 and W2T3 treatments were 8.37% and 8.33%, respectively. Compared with W1T1, the value of plant height, stem diameter and photosynthetic rate in W2T3 was the best and increased by 30.6%, 26%, 68.9% respectively; when the frequency of nutrition solution was T3, the yield, fruit mass, and per plant of W2T3 treatment was the largest, and compared with W3T3, yield increased by 11.3%. However, the water use efficiencies of W1 and W2 were significantly higher than W3; therefore, W2T3 was the best option for improving growth and fruit quality of highly sugary tomato, which the supply amount was 210 mL per plant in the vegetative growth period and 420 mL per plant in the flowering period, while the supply frequency was 3 times every day.

Key words Highly sugary tomato; Supply amounts of nutrient solution; Supply frequency of nutrient solution; Yield; Quality

Received 2016-08-29 **Returned** 2016-10-30

Foundation item National Science and Technology Support Program (No. 2014BAD05B02); Sci-tech Support Project of Ningxia (No. 2016BN01).

First author HA Ting, female, master student. Research area: vegetable cultivation. E-mail: 562176694@qq.com

Corresponding author GAO Yanming, female, master supervisor. Research area: vegetable cultivation. E-mail: myangao@163.com