

分根区交替滴灌营养液对番茄生长发育及品质的影响

陈志远, 陈一鑫, 高艳明, 李建设*

(宁夏大学 农学院, 银川 750000)

摘要:【目的】提高番茄产量和品质。【方法】试验采用完全随机区组设计, 设供液量: 450 mL (T1)、650 mL (T2)、850 mL (T3), 供液频率: 3 d/次 (C1)、2 d/次 (C2)、1 d/次 (C3) 共 9 个处理。研究了在分根区交替滴灌下供液量及供液频率对基质培番茄生长发育及果实品质的影响。【结果】营养液供液量的增加, 会降低番茄果实的品质, 不利于可溶性固形物的积累。从果实品质上而言, T1C2 处理可溶性固形物量为 6.97% 且单果质量适宜, 果实 Vc 量最高。其次, T1C2 处理水分利用效率最高, 为 67.06 kg/m³, 较 CK 提高 154.40%, T2C3 处理番茄的总产量最大, 为 13 409.10 kg/667m², T2C3 处理较 CK 增产 2 886.4 kg, 增幅达 27.4%。T2C3 处理番茄的单果质量可达 226.44 g, 番茄果质量偏大, 色泽红润, 具有良好的商品性。此外, T2C3 处理水分利用效率为 40.29 kg/m³, 较 CK 提高 52.85%。【结论】从果实品质上而言, T1C2 处理即分根区交替滴灌营养液模式下, 供液量: 单株滴灌 450 mL, 供液频率: 2 d/次的供液方式下 (T1C2 处理) 果实品质较优, 每天每株滴灌 650 mL 营养液, T2C3 处理产量最高。

关键词: 分根区; 番茄; 品质; 水分利用效率; 滴灌

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019417

陈志远, 陈一鑫, 高艳明, 等. 分根区交替滴灌营养液对番茄生长发育及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(7): 17-23.
CHEN Zhiyuan, CHEN Yixin, GAO Yanming, et al. Effects of Alternate Drip Irrigation of Nutrient Solution in Root Division Area on Growth and Quality of Matrix Cultured Tomato [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(7):17-23.

0 引言

【研究意义】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^[1]。日本相关研究机构以高品质化为目标, 通过控制水肥进行高糖度番茄的生产, 已风靡市场, 其价格远高于普通番茄^[2]。水肥是影响果实品质的主要因素, 科学合理的水肥控制是生产高糖度番茄的必要条件。因此, 如何在节水、保产的前提下, 最大限度地提高果实品质, 生产出高品质番茄, 对设施鲜食番茄生产具有重要意义。

【研究进展】科研人员对基质栽培的研究主要围绕基质筛选、水肥配比、灌溉模式, 而对于供液量及供液频率方面研究相对较少。刘祖贵等^[3]对日光温室番茄的理想灌水模式研究时得出, 在整个生育期中适宜的灌水下限为 70% 田间持水率; 余宏军等^[4]试验得出, 基质栽培秋茬番茄在中后期每株每天供液量适宜

范围为 500~700 mL。夏秀波等^[5]认为 80% 基质相对含水率可作为番茄基质栽培水分管理的量化指标。根系是植物吸收营养物质的主要器官, 植物体健康生长的关键在于是否拥有发达且充满活力的根系系统, 有研究表明^[7-8], 分根区交替滴灌可促进作物根系的补偿生长, 增强根系的分蘖能力、根密度。Davies 等^[6]试验表明, 分根区交替滴灌处理的西红柿与对照相比, 果实可溶性固形物量增加了 21%, 水分利用效率提高了 93%。康绍忠等^[9]发现, 控制 1/2 区域交替滴灌的根系总量与全部均匀灌水的相接近, 但根冠比却有了明显的增加, 由此说明地上部的生长对水分亏缺的反应比根系更为敏感。总的来说, 分根区交替滴灌营养液模式实现了根区土壤干湿交替变化, 既可增加果实糖分的积累, 也可减少土壤与基质的无效蒸发损失和总的灌溉用水量, 还可以促进根系的补偿生长, 提高根系对水分和养分的利用效率, 从而达到节水、丰产、优质、高效的目的^[10-11]。【切入点】前人对分根区灌溉模式、营养液供液量及供液频率的研究尚有不足。

【拟解决的关键问题】运用分根区交替滴灌营养液模式, 以设施番茄为试验材料, 设置不同的供液量及供液频率研究其对番茄植株生长发育及果实品质产量的影响, 以期提出一种设施鲜食番茄节水灌溉模式,

收稿日期: 2019-12-04

基金项目: 宁夏回族自治区“十三五”重大科技项目 (2016BZ0904)

作者简介: 陈志远 (1994-), 男。硕士研究生, 主要从事设施蔬菜栽培研究。E-mail: 200764279@qq.com

通信作者: 李建设 (1963-), 男。教授, 博士, 主要从事设施蔬菜栽培研究。E-mail: jslinxcn@163.com

为高糖度、优风味番茄生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验供试品种为大果番茄“TY1602”，由北京农林科学院国家蔬菜中心提供，试验采用基质栽培槽进行，槽体长 550 cm，宽 48 cm，深 30 cm。

1.2 试验方法

1.2.1 分根区交替滴灌营养液

试验采用分根区交替滴灌的方式进行营养液浇灌，为防止 2 侧根系水分的互渗对试验结果的影响，栽培槽中部即 24 cm 处用泡沫板将槽内空间等分为二，番茄定植在槽体中部的泡沫板上，且每槽仅定植 1 行番茄。槽体内距植株水平距离为 10 cm 的左右 2 侧各装 2 根滴灌带用于供液，除对照外，剩余 9 个处理共设 9 个灌水筒，每个灌水筒盛装 2 个基质栽培槽的用水量，共 18 个水泵，其中 9 个水泵负责 2 个相邻基质栽培槽内左侧滴灌带的供液，剩余 9 个水泵负责 2 个相邻基质栽培槽内右侧滴灌带的供液，每次浇灌营养液时，只开左侧或右侧 1 个水泵来进行浇灌，下次浇灌时则只开与之相反的另 1 水泵来进行浇灌，以实现植株左右 2 侧分根区交替浇灌的目的，每个水泵均与时间控制器相连，以此来控制与之相对应的供液时间。

1.2.2 试验设计

试验以传统滴灌营养液模式为对照 CK，供液量：单株 1 100 mL，供液频率：1 d/次，设有供液量、供液频率 2 个因素，供液量设 3 个水平：低水 T1：单株 450 mL，中水 T2：单株 650 mL，高水 T3：单株 850 mL。供液频率设 3 个水平：低频 C1：3 d/次，中频 C2：2 d/次，高频 C3：1 d/次，试验采用完全随机区组设计，共 10 个处理，分别为：CK、T1C3、T2C3、T3C3、T1C2、T2C2、T3C2、T1C1、T2C1、T3C1，每个处理 3 个重复。

1.2.3 栽培管理

试验在宁夏银川市国家科技园区核心区 2 号日光温室内进行，番茄于 2019 年 2 月 21 日定植，6 月 26 日拉秧，定植株距为 22 cm，行距 150 cm，栽植密度为 2 000 株/667 m²。试验 6 穗果打顶，并于定植 20 d 后开始处理，待番茄植株长至第 3 穗花时，因气温升高等原因各处理供液量需在原基础上增加 30%，待番茄植株长至第 4 穗花时，各处理供液量在已增加 30% 的基础上再增加 70% 的供液量，每个处理重复 3 次，试验期间除供液量及供液频率外，所有处理田间管理均保持一致。

1.3 指标测定

自开始处理之日起，各处理每隔 7 天运用“五点

取样法”在 0~20 cm 基质层内进行取样，采用烘干法测定基质质量含水率。

叶绿素荧光参数的测定：采用 FMS-2 脉冲式调制荧光仪测定，在番茄盛果期选择晴朗天气于 10:00 开始测量。在测定前每个处理取 5 株植株选取中部叶片暗适应 30 min 后测定其初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m)、最大光化学效率 ($F_{v/m}$)、光化学猝灭系数 (Q_p)、非光化学猝灭系数 (NPQ)。根系活力的测定：采用 TTC 法进行测定^[12]。

盛果期时，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、根总面积、根总体积等参数。

盛果期时测定植株的地上部和地下部鲜、干质量，计算其根冠比。地上部鲜质量：剪取植株地上部，用电子天平称质量。地下部鲜质量：将根部完整挖出，洗净并擦干后用电子天平称质量。干质量：鲜质量称完后，将其装入已知质量的信封中 105 ℃ 下杀青 30 min，80 ℃ 下烘至恒质量后用天平称质量。

在第 2 穗果成熟期，每小区选取 3 个果实进行果实品质的测定。可溶性固形物的测定：采用 TD-45 数字折光仪进行测定；可溶性糖量采用蒽酮比色法进行测定^[13]；硝酸盐量采用水杨酸法进行测定^[13]；Vc 量采用钼蓝比色法进行测定^[13]；有机酸量采用 NaOH 滴定法进行测定^[13]。

每个小区选取 6 株长势良好的番茄植株，每次采收时统计各小区总果数与脐腐果数，计算小区脐腐病发病率（小区脐腐病发病率=脐腐果数/总果数），小区脐腐病发病率的平均值即为该处理脐腐病发病率。番茄采收时按小区称质量，最终折合成 667 m² 产量。番茄植株拉秧后，计算各处理的水分利用效率，水分利用效率=番茄总产量/总用水量。

1.4 数据处理方法

利用 Excel 2016 进行数据处理，采用 SPSS 21 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 分根交替滴灌营养液对基质质量含水率的影响

由图 1 可知，在整个生育期中，CK 的基质质量含水率最大，T1C1 处理的基质质量含水率最小。

在 4 月 7 日由于温度升高等原因各处理均出现最小值，其中 CK 的基质质量含水率最小值为 59.55%；T1C1 处理的基质质量含水率最小值为 32.16%。而后因为阴雨天较多，各处理基质质量含水率均有一定程度的提高。在番茄整个生育期中各处理基质质量含水率呈上下波动趋势，其波动范围为 0%~4.2%。

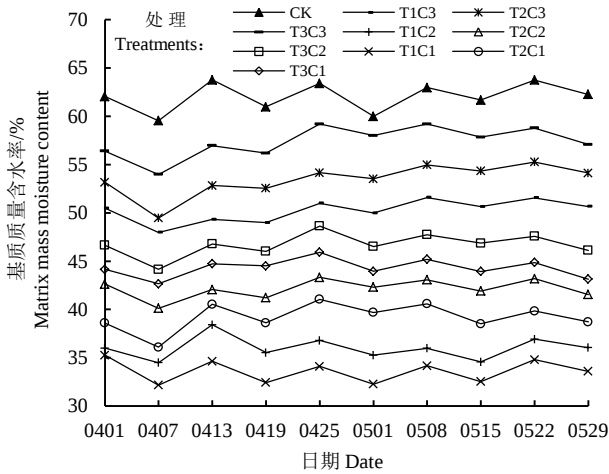


图 1 分根区交替滴灌下基质质量含水率

Fig.1 Matrix mass moisture content under alternate drip irrigation nutrient solution in root division area

表 1 分根区交替滴灌番茄叶绿素荧光

Table 1 Chlorophyll fluorescence parameters of tomato under alternate drip irrigation nutrient solution in root division area

处理 Treatments	初始荧光 F_0	最大荧光 F_m	PS II 最大光化学效率 $F_{v/m}$	光化学猝灭系数 Q_p	非光化学猝灭系数 NPQ
CK	181.40±5.71 bc	950.20±42.82 ab	0.81±0.01 a	0.50±0.04 a	1.71±0.10 ab
T1C3	274.20±26.88 a	836.20±18.36 ab	0.67±0.04 b	0.23±0.14 a	1.62±0.09 ab
T2C3	270.20±56.83 a	934.00±95.32 ab	0.72±0.04 ab	0.39±0.17 a	1.43±0.15 b
T3C3	206.20±20.77 abc	861.00±34.22 ab	0.76±0.03 ab	0.66±0.08 a	1.60±0.15 ab
T1C2	228.00±23.36 abc	912.60±55.16 ab	0.75±0.03 ab	0.44±0.20 a	2.01±0.07 a
T2C2	259.00±24.35 ab	990.40±41.94 a	0.73±0.03 ab	0.47±0.20 a	1.89±0.12 a
T3C2	230.80±19.28 abc	1015.60±35.46 a	0.77±0.02 a	0.47±0.16 a	1.83±0.15 ab
T1C1	218.60±22.25 abc	967.60±57.24 a	0.77±0.02 a	0.40±0.19 a	1.87±0.08 a
T2C1	191.00±10.15 abc	879.80±108.63 ab	0.79±0.01 a	0.51±0.13 a	1.93±0.17 a
T3C1	151.60±7.97 c	736.20±98.63 b	0.78±0.03 a	0.60±0.07 a	1.42±0.21 b

注 各列不同小写字母表示处理间差异达到 0.05 显著性检验水平，下同。

Note Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between treatments, the same as below.

2.2.2 分根区交替滴灌营养液对植株根系活力的影响

由图 2 知, T1C3 处理植株的根系活力最弱, T3C2 处理根系活力最强, 对于 C2 (2 d/次) 供液频率来说, T3C2 处理与 T1C2、T2C2 处理有显著性差异, 而在其他供液频率下, 各处理之间均无显著性差异。

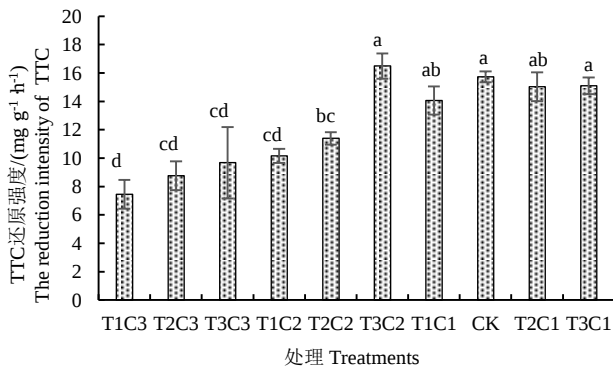


图 2 分根区交替滴灌下番茄植株根系活力

Fig.2 TTC in tomato root under alternate drip irrigation

2.2 分根区交替滴灌营养液对植株生理指标的影响

2.2.1 分根区交替滴灌对植株叶绿素荧光的影响

由表 1 可知, T1C3 处理初始荧光显著高于 CK、T3C1 处理, 但与其他处理均无显著性差异, 说明 T1C3 处理在光系统反应中心处于完全开放时的荧光产量远大于 CK、T3C1 处理; T3C2 处理最大荧光显著高于 T3C1 处理但与其他处理均无显著性差异, 说明 T3C2 处理电子传递情况要优于其他处理; CK 的 PSII 最大光化学效率显著高于 T1C3 处理而与其他处理无显著性差异, 说明 CK 光能转化效率高于 T1C3 处理, 对于光化学猝灭系数来说, 各处理间无显著性差异, 而对于非光化学猝灭系数, T1C2 处理最大, 各处理间有一定的差异。

对于同一供液频率不同供液量来说, 随着供液量的增加, 植株的根系活力呈上升趋势。对于同一供液量不同供液频率来说, 随着供液频率的降低, 植株的根系活力呈上升趋势。

2.3 分根区交替滴灌营养液对根系特征参数的影响

由表 2 可以得出, CK 的根长、根体积、根总面积、根平均直径均最大, 这可能是由于 CK 的供液量远大于其他处理, 使得植株根系生长发育旺盛, 在同一供液频率下, 各处理根总长、总体积、总面积随供液量的增加呈上升趋势, 在 T3C2 处理达到最大值且与其他处理除根总面积外均无显著性差异。对于根平均直径而言, 各处理之间无显著差异, 但随着供液频率的增加各处理根平均直径呈上升趋势。由此可见, 适当增加营养液供液量及供液频率, 可以促进植株根系的生长, 从而对植株地上部生长发育以及果实品质、产量产生积极影响。

表 2 分根区交替滴灌营养液对根系特征参数的影响

Table 2 Effects of alternate drip irrigation nutrient solution in root division area on eigenvalues of root

处理 Treatments	根总长/cm Total root length	根总体积/cm ³ Root volume	根总面积/cm ² Root surface area	根平均直径/mm Average root diameter
CK	1 079.85±99.74 a	33.40±3.48 a	460.79±35.62 a	1.23±0.02 a
T1C3	628.05±18.70 c	15.11±0.81 b	214.86±18.96 d	1.22±0.06 ab
T2C3	674.10±89.33 bc	18.62±3.31 b	256.99±5.24 abc	1.21±0.20 ab
T3C3	855.64±17.64 abc	24.07±0.23 ab	356.42±11.01 cd	1.12±0.03 ab
T1C2	735.16±131.14 bc	15.03±0.19 b	254.00±24.42 cd	1.20±0.03 ab
T2C2	827.47±69.64 abc	22.19±2.80 ab	323.71±35.81 bcd	1.16±0.08 ab
T3C2	961.71±88.31 ab	24.76±3.95 ab	383.55±46.99 ab	1.19±0.02 ab
T1C1	819.31±139.44 abc	15.83±3.27 b	286.35±43.44 bcd	0.97±0.04 b
T2C1	870.87±74.66 abc	17.84±2.17 b	312.72±20.91 bcd	1.09±0.04 ab
T3C1	891.79±104.96 abc	22.08±3.76 ab	369.96±62.61 abc	1.20±0.01 ab

2.4 分根区交替滴灌对植株干物质及根冠比的影响

由表 3 可知,对于同一供液量而言,各处理随供液频率的减少,植株地上部鲜质量呈先下降后上升的趋势,且 T2C1 处理的地上部鲜质量最大并显著高于 T1C2 处理,而与其他处理均无显著性差异。对于地下部鲜质量而言,各处理随供液频率的减少,其对应的地下部鲜质量呈上升趋势且 T2C1、T3C1 处理的地下部鲜质量、根冠比都显著大于其他处理,说明在

C1 (1 d/次) 供液频率下,植株地上部、地下部鲜质量及根冠比的提高产生积极影响。对各部位干物质质量而言,T1C3 处理根的干物质质量最大,其值为 32.72%,与 T2C1、T3C1 处理之间呈显著性差异。T2C2 处理茎的干物质质量最大,其值为 17.91%,与 T1C1 处理有显著性差异。T2C3 叶的干物质质量最大,其值为 16.11%,T2C3 处理(除 T1C2、T2C1 处理外)与其他处理之间均有显著性差异。

表 3 分根区交替滴灌营养液对番茄各部位干、鲜质量及根冠比的影响

Table 3 Effects of alternate drip irrigation nutrient solution in root division area on dry weight, fresh weight and root-shoot ratio

处理 Treatments	地上部鲜质量/g Shoot fresh weight	地下部鲜质量/g Root fresh weight	根冠比 Root shoot ratio	各部位干物质质量分数/% Mass fraction of dry matter		
				根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
CK	1 533.33±173.81 ab	12.08±2.07 b	0.008±0.001 c	29.33±2.46 a	10.17±0.72 ab	9.70±0.30 e
T1C3	1 323.33±68.88 ab	12.96±1.91 b	0.010±0.001 bc	32.72±9.35 a	12.23±0.22 ab	11.30±0.81 de
T2C3	1 316.67±197.01 ab	18.62±2.34 b	0.015±0.003 b	22.48±0.96 abc	12.84±0.78 ab	16.11±1.21 a
T3C3	1 233.33±46.31 ab	11.63±1.50 b	0.010±0.002 bc	23.22±1.90 abc	12.30±0.68 ab	12.24±1.62 bcde
T1C2	1 036.67±156.77 b	13.56±3.99 b	0.013±0.002 bc	25.46±3.04 abc	12.88±0.33 ab	14.27±0.60 abc
T2C2	1 102.00±107.72 ab	12.71±3.86 b	0.011±0.002 bc	28.00±1.43 ab	17.91±4.73 a	11.92±0.57 cde
T3C2	1 135.00±89.49 ab	14.15±1.55 b	0.012±0.001 bc	24.64±4.74 abc	16.09±4.31 ab	11.74±0.41 cde
T1C1	1 216.67±318.66 ab	17.24±5.30 b	0.015±0.003 b	28.93±1.28 a	8.49±4.25 b	12.20±1.03 bcde
T2C1	1 676.67±194.62 a	41.72±4.25 a	0.025±0.001 a	16.21±0.55 bc	13.89±0.58 ab	14.87±0.77 ab
T3C1	1 450.00±170.59 ab	34.05±2.87 a	0.024±0.001 a	14.70±0.16 c	13.03±0.61 ab	13.05±0.29 bcd

2.5 分根区交替滴灌营养液对番茄果实品质的影响

由表 4 可知,在同一供液频率下,随着供液量的增加,果实的可溶性固形物、Vc、可溶性糖、有机酸量随之降低。对于果实可溶性固形物量而言, T1C1 处理最高,为 7.33%, T3C3 处理最小,为 4.70%,在同一供液频率下,低水处理(T1)与中水,高水(T2、T3)处理间有显著性差异,说明低水处理(T1)更有利于番茄可溶性固形物的积累。分析原因可能是供液

量增加,稀释了果实内的糖量,不利于体内干物质的积累,从而呈下降趋势;对于果实 Vc、可溶性糖量而言, T1C2 处理最大, CK 最小,除 C1 (3 d/次) 供液频率外,其余处理在同一供液频率下,低水与中水、高水处理均出现显著性差异。对于果实硝酸盐量而言, T1C2 处理的硝酸盐量最大, CK 最小,各处理之间无明显差异。综上所述,低水处理(T1)的可溶性固形物、Vc、可溶性糖量均最高。

表 4 分根区交替滴灌营养液对番茄果实品质的影响

Table 4 Effects of alternate drip irrigation nutrient solution in root division area on fruit quality of tomato

处理 Treatments	可溶性固形物/% Soluble solid	Vc/ (mg ·100g ⁻¹)	硝酸盐/(mg kg ⁻¹) Nitrate content	可溶性糖/% Soluble sugar	有机酸/% Organic acid
CK	5.20±0.12 de	14.40±1.32 b	98.70±5.97 d	3.43±0.09 d	0.27±0.01 e
T1C3	7.07±0.24 ab	22.78±1.02 a	143.55±19.53 bc	5.05±0.16 ab	0.41±0.01 b
T2C3	5.17±0.09 de	17.96±1.20 b	151.39±2.46 bc	4.13±0.03 c	0.29±0.01 e
T3C3	4.70±0.10 e	15.81±1.68 b	136.67±6.95 bc	3.97±0.11 c	0.26±0.01 e
T1C2	6.97±0.07 ab	25.36±1.09 a	202.81±3.11 a	5.46±0.02 a	0.45±0.00 a
T2C2	5.67±0.13 cd	17.85±0.87 b	142.36±8.11 bc	4.31±0.16 c	0.35±0.01 cd
T3C2	5.80±0.26 c	16.40±0.67 b	160.24±3.90 b	4.23±0.15 c	0.28±0.01 e
T1C1	7.33±0.26 a	23.67±1.18 a	122.20±8.02 cd	5.20±0.23 ab	0.36±0.00 c
T2C1	6.80±0.15 b	25.16±1.99 a	139.66±7.38 bc	4.80±0.23 b	0.35±0.01 cd
T3C1	6.57±0.03 b	16.59±1.34 b	138.45±11.24 bc	4.04±0.11 c	0.33±0.00 d

2.6 分根区交替滴灌营养液对脐腐病发病率、产量、水分利用效率的影响

由表 5 可知，随着供液量的增加，果实单果质量呈升高趋势，T3C3 处理单果质量最大，为 251.26 g，T3C3 处理（除 CK 外）与其他处理均有显著性差异，T1C1 处理单果质量最小，其值为 112.96 g，分析原因可能是因为 T1C1 处理因缺水干旱不能满足正常的生长发育从而导致单果质量偏小。对于果实脐腐病发

病率来说，T2C1 处理发病率最高，T3C3 处理发病率最低，在同一供液量下，随着供液频率的减少，果实脐腐病发病率呈升高趋势。分析原因可能为：果实膨大期时，植株所需水分及营养物质质量相对较高，但随着供液频率的减少，基质含水率减少，植株所需水分及营养物质不能得到及时有效的补充，最终造成此情况的发生。

表 5 分根区交替滴灌营养液对脐腐病发病率、产量、水分利用效率的影响

Table 5 Effects of alternate drip irrigation nutrient solution in root division area on incidence of umbilical disease, yield, WUE

处理 Treatments	单果质量/g Weight of single fruit	脐腐病发病率/% Incidence of umbilical disease	小区产量/kg Yield of plot	折合 667m ² 产量/kg Yield	水分利用效率/(kg m ⁻³) Water use efficiency
CK	242.95±4.65 a	0.69±0.02 f	130.57±1.24 b	10 522.70±289.47 c	26.36
T1C3	120.20±7.80 f	5.52±0.16 e	102.22±1.07 d	8 170.27±88.92 e	51.91
T2C3	226.44±2.19 b	6.23±0.12 d	163.00±1.47 a	13 409.10±302.10 a	40.29
T3C3	251.26±4.74 a	0.46±0.04 f	158.24±1.47 a	12 874.22±46.08 b	37.19
T1C2	116.41±3.21 f	7.93±0.13 a	91.71±7.72 e	7 913.68±59.31 e	67.06
T2C2	146.23±2.50 de	6.08±0.11 d	115.32±1.26 c	9 320.78±100.54 d	61.53
T3C2	137.65±1.54 e	6.96±0.09 c	113.31±2.54 c	8 967.31±88.22 d	48.87
T1C1	112.96±3.28 f	7.58±0.11 b	87.38±1.14 e	7 157.12±123.30 f	64.90
T2C1	152.01±3.48 d	7.97±0.08 a	74.13±2.08 f	6 081.99±60.75 g	51.63
T3C1	211.41±5.80 c	7.81±0.06 ab	86.07±1.18 e	6 907.11±56.37 f	49.58

对于产量而言，T2C3 处理总产量最大，最大值为：13 409.1 kg/667m²，T2C1 处理最小，T2C3 处理与其他处理之间均有显著性差异，T2C3 处理总产量较 CK 增产 2 886.4 kg，增幅达 27.4%。对于水分利用效率来说，T1C2 处理水分利用效率最高，CK 水分利用效率最低。对于同一供液频率不同供液量来说，水分利用效率随供液量的增加呈下降趋势，对于同一供液量不同供液频率来说（除 C1 外），水分利用效率随供液频率的增加呈下降趋势。分析原因可能为 C1 处理因缺水严重，造成严重减产情况的发生，而供液量一定的情况下产量降低，导致植株水分利用效率的降

低。综合分析可知，在分根区交替滴灌营养液模式下，适当的增加营养液供液量及供液频率，对果实的增产、水分利用效率的提高具有积极作用。

3 讨论

高品质、优风味番茄的生产关键在于如何进行科学合理的水肥调控。本试验在分根区交替滴灌营养液模式下，适当地减少营养液供液量及供液频率可以提高番茄果实品质。该结论与吴泳辰等^[14]、马军勇等^[15]研究结论一致。若增加营养液供液量，番茄的可溶性固形物、Vc、可溶性糖量呈下降趋势，T1C1 处理可

溶性固形物最高, T3C3 处理可溶性固形物最低, 该结论与哈婷^[16]的研究结论一致, 分析原因可能为: 供液量过多相应的植株吸收水分过多, 不利于番茄果实糖分的积累甚至产生稀释作用, 从而导致果实品质变差, 风味变淡。相反适度增加供液频率, 减少供液量, 在分根区交替滴灌营养液模式下, 极易形成根区干湿交替的效果, 这样既保证了植株生长发育所需水量, 又能促进植株根系的“饥饿补偿效应”, 使植物根系活力增强, 促进根系对营养物质吸收, 间接促进了植株地上部生长及干物质的积累, 以此来达到节水、优质、丰产的目的对高糖度, 优风味番茄生产具有重要意义^[10-11]。郭文忠等^[17]提出增加营养液供液量及供液频率可以增加果实的产量, 这与本试验 C3 处理下果实产量所呈现的规律不符, 分析原因可能为供液频率太低, 植株根系长期处于缺水状态, 从而造成植株体内缺水严重, 长期如此导致植株根系发育不良对营养元素的吸收减小, 植株长势变弱, 脐腐病发病率随之升高, 最终造成产量不符合此规律的情况发生。袁宁宁等^[18]认为苗期灌水下限为田间持水率 60%, 开花坐果期灌水下限为田间持水率 70%, 结果期灌水下限为田间持水率 70%处理, 可显著提高产量及水分利用效率。杜太生等^[19]提出在相同灌溉定额条件下, 根系分区交替灌溉与常规灌溉相比仍有一定的增产潜力, 且显著提高作物产量水平的水分利用效率。本试验亦得出与之相似的结论, 从水分利用效率来看, 各处理水分利用效率较 CK 均有显著提高, 分析原因可能为过多的供液量使基质水分始终处于饱和状态, 抑制植株根系对水分的吸收, 从而影响了水分利用效率的提高。因此, 一定的亏缺灌溉对水分利用效率的提高具有积极影响。

4 结 论

1) 分根区交替滴灌营养液模式下, 供液量: 单株滴灌 450 mL, 供液频率: 2 d/次的供液方式下果实品质较优且节水显著。

2) 分根区交替滴灌营养液模式下, 每天每株滴灌 650 mL 营养液可获得较高产量同时提高水分利用效率。

参考文献:

- [1] 哈婷, 张向梅, 李建设, 等. 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[J]. 西北农业学报, 2017, 26(10): 1 484-1 491.
- HA Ting, ZHANG Xiangmei, LI Jianshe, et al. Effects of supply amounts and frequencies of nutrient solution on plant growth and fruit quality of highly sugary tomato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2017, 26(10): 1 484-1 491.
- [2] 张彩英. 日本高糖度番茄的栽培技术[J]. 世界农业, 1995(1): 28-29.

- ZHANG Caiying. Cultivation techniques of Japanese tomato with high sugar content [J]. World Agriculture, 1995 (1): 28-29.
- [3] 刘祖贵, 段爱旺, 吴海卿, 等. 水肥调配施用对温室滴灌番茄产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农村水利水电, 2003(1): 10-12.
- LIU Zugui, DUAN Aiwang, WU Haiqing, et al. Impacts of water-and-fertilizer allocation on tomato yield and water use efficiency in drip irrigation greenhouse[J]. China Rural Water and Hydropower, 2003(1): 10-12.
- [4] 余宏军, 刘伟, 蒋卫杰. 灌水量对基质培番茄生长和产量的影响[J]. 中国蔬菜, 2004(1): 32-33.
- YU Hongjun, LIU Wei, JIANG Weijie. Effect of irrigation amount on growth and yield of tomato grown in media[J]. China Vegetables, 2004(1): 32-33.
- [5] 夏秀波, 于贤昌, 高俊杰. 水分对有机基质栽培番茄生理特性、品质及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2 710-2 714.
- XIA Xiubo, YU Xianchang, GAO Junjie. Effects of moisture content in organic substrate on the physiological characters, fruit quality and yield of tomato plant[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2 710-2 714.
- [6] DAVIES WJ, BACON MA, THOMPSON DS. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture [J]. Journal of experimental botany, 2000, 51(350): 1 617-1 626.
- [7] 赵志成. 分根灌溉对设施黄瓜生长、生理特性及水分利用效率的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- ZHAO Zhicheng. The effect of root-root irrigation on the growth, physiological and water use efficiency of the facilities in the facility [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014.
- [8] 韩艳丽, 康绍忠. 控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 5-7.
- HAN Yanli, KANG Shaozhong. Effects of controlled root-divided alternative irrigation on nutrient uptake in maize[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(2): 5-7.
- [9] 康绍忠, 梁银丽. 调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 82-87.
- KANG Shaozhong, LIANG Yinli. Effects of regulated deficit irrigation on physiological indices and water use efficiency of maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14(4): 82-87.
- [10] 康绍忠, 张建华, 梁建生. 土壤水分与温度共同作用对植物根系水分传导的效应[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 211-219.
- KANG Shaozhong, ZHANG Jianhua, LIANG Jiansheng. The effect of coaction of soil moisture and temperature on water conduction of plant root system[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 1999, 23(3): 211-219.
- [11] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁, 等. 控制性交替灌溉: 一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997(1): 4-9.
- KANG Shaozhong, ZHANG Jianhua, LIANG Zongsuo, et al. Controlled alternating irrigation: a new idea of farmland water saving

- control [J]. *Agricultural Research in Arid areas*, 1997(1): 4-9.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版, 2007.
- ZOU Qi. *Experimental guidance on Plant Physiology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [13] 高俊风. 植物生理学试验技术[M]. 西安: 世界图书出版, 2000.
- GAO Junfeng. *Experimental techniques of plant physiology*[M]. Xi'an: World Book Publishing, 2000.
- [14] 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 Yongchen, HAN GuoJun, Chen Nianlai. Effects of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of processed tomato [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35 (7): 104-107.
- [15] 马军勇, 郑国玉, 周建伟, 等. 不同灌水下限对枣树光合特性、产量及品质的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(1): 31-36.
- MA Junyong, ZHENG Guoyu, ZHOU Jianwei, et al. The impact of the critical soil moisture used for scheduling deficit drip irrigation on photosynthesis, yield and quality of jujube tree[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(1): 31-36.
- [16] 哈婷. 基质培黄瓜、番茄、茄子营养液供液制度研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- HA Ting. *Studies on supply system of nutrient solution on cucumber, tomato and eggplant under substrate cultivation*[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017.
- [17] 郭文忠, 曲梅, 韦彦, 等. 灌溉频率对日光温室黄瓜生长发育及干物质积累的响应[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(5): 467-470.
- GUO Wenzhong, QU Mei, WEI Yan, et al. 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.
- [18] 袁宁宁, 白清俊, 张明智, 等. 温室番茄在宽垄覆膜沟灌下水分调亏下限指标研究[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(1): 17-23.
- YUAN Ningning, BAI Qingjun, ZHANG Mingzhi, et al. Optimizing the soil moisture threshold for scheduling deficit furrow irrigation of greenhouse tomato grown in raised bed with film mulching[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(1): 17-23.
- [19] 杜太生, 康绍忠, 王振昌, 等. 隔沟交替灌溉对棉花生长、产量和水分利用效率的调控效应[J]. *作物学报*, 2007, 33(12): 1 982-1 990.
- DU Taisheng, KANG Shaozhong, WANG Zhenchang, et al. Responses of cotton growth, yield, and water use efficiency to alternate furrow irrigation[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(12): 1 982-1 990.

Effects of Alternate Drip Irrigation of Nutrient Solution in Root Division Area on Growth and Quality of Matrix Cultured Tomato

CHEN Zhiyuan, CHEN Yixin, GAO Yanming, LI Jianshe*

(College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750000, China)

Abstract: 【Objective】 We aimed to explore the effects of the amount and frequency of the feed on the growth, development and fruit quality of tomato under the model of alternate drip irrigation of nutrient solution in the Root Division Area. 【Method】 For this test, we set the liquid supply volume as 450 mL (T1), 650 mL (T2), 850 mL (T3), and the liquid supply frequency as: 3 days/time (C1), 2 days/time (C2), and 1 day/time (C3) for 9 treatments under a completely randomized block design. 【Result】 The increase of nutrient liquid supply would decrease the quality of tomato fruit, which was not conducive to the accumulation of soluble solids. In terms of fruit quality, the content of soluble solids of T1C2 treatment was 6.97%, and the weight of single fruit was suitable, and the Vitamin C content of fruit was the highest. Secondly, the water use efficiency of T1C2 was the highest (67.06 kg/m^3), 154.40% higher than that of CK, which greatly reduced the waste of agricultural water resources and achieved the goal of optimal tomato yield and water saving. In terms of fruit yield, the total yield of tomato treated with T2C3 was the largest, which was $13\,409.10 \text{ kg/667m}^2$. Compared with CK, the yield of T2C3 increased by 2886.4 kg and up to 27.4%. The single fruit weight of T2C3 treatment tomato can be up to 226.44 g, and the fruit weight is relatively large, the color being ruddy with good commercial property. In addition, the water use efficiency of T2C3 treatment was 40.29 kg/m^3 , which was 52.85% higher than that of CK, indicating that T2C3 treatment could improve water use efficiency while increasing yield. 【Conclusion】 From the aspect of fruit quality, T1C2 treatment, under the mode of alternate drip irrigation of nutrient solution in root area, with liquid supply volume being 450 mL, and the liquid supply frequency being 2 days/time, is the ideal liquid supply quantity and liquid supply frequency. From the aspect of fruit yield, T2C3 treatment, under the mode of alternate drip irrigation of nutrient solution in root area, the drip irrigation of 650 mL nutrient solution per plant per day was the ideal liquid supply volume and liquid supply frequency.

Key words: root region; tomato; quality; water use efficiency; drip irrigation

责任编辑: 韩 洋