

文章编号:1672-3317(2018)08-0008-07

不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响

付蕾¹, 魏珉^{1,2*}, 李岩^{1,2}, 杨凤娟^{1,3}, 史庆华^{1,3}, 王秀峰^{1,4}

(1. 山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; 2. 农业农村部黄淮海设施农业工程科学观测实验站, 山东泰安 271018; 3. 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; 4. 环渤海湾地区设施蔬菜优质高效生产协同创新中心, 沈阳 110866)

摘要:【目的】节水节肥、优质高效生产。【方法】以‘安莎19’、‘奥黛丽’甜椒品种为试材, 设传统沟灌定期冲肥(CK1)、常规滴灌定期追肥(CK2)、每日定量滴灌1/4剂量(T1)、1/2剂量(T2)、3/4剂量(T3)、1剂量(T4)山崎甜椒专用配方加微量元素通用配方营养液共6个处理, 在日光温室条件下研究了不同灌溉施肥方式对土壤栽培甜椒生长、产量及品质的影响。【结果】与CK1和CK2比较, 每日定量滴灌营养液的处理促进了甜椒植株生长, 增大了根长、根表面积、根体积、根尖数及根干物质量, 增强了根系活力和SOD活性, 降低了丙二醛量, 提高了果实产量并能部分改善其品质, 同时水分生产效率和肥料偏生产力显著提高; 随着滴灌营养液浓度增加, 甜椒生长势、产量、品质和水分生产效率基本呈先升高后降低变化趋势, 肥料偏生产力逐渐减小; T2处理的甜椒单株结果数最多, 产量最高, T1、T3和T4处理产量无显著性差异; 与CK1、CK2相比, T2处理冬春茬分别增产31.11%和22.44%, 秋冬茬分别增产35.52%和16.29%, 节水率9.45%~30.92%, 节肥率59.71%~64.60%; Vc、可溶性糖和游离氨基酸质量分数均以T2处理最高, CK1最小。【结论】每日定量滴灌营养液有利于促进甜椒生长, 提高产量, 改善品质, 并显著提高水肥利用效率, 本试验条件下以T2处理效果最好。

关键词:甜椒; 灌溉; 施肥; 日光温室; 产量; 品质

中图分类号: S641.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggpps.2017.0395

付蕾, 魏珉, 李岩, 等. 不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 8-14.

0 引言

水肥是作物生长发育和生产力水平提高的关键因素^[1-2]。我国设施蔬菜栽培多采用传统经验管理模式, 水肥用量大, 不利于植株生长, 同时带来资源浪费和环境污染等问题^[3]。水分和养分精准管理能有效提高水肥利用效率, 获得更高的经济和生态效益^[4-5]。因此, 研究精准灌溉施肥技术对设施蔬菜生产具有重要意义。

关于水肥精准控制技术对作物生长及水肥利用效率的影响, 国内外学者进行了较多研究, 特别是在设施农业发达国家, 已在生产中得到较广泛应用。荷兰采用封闭的营养液循环系统, 通过计算机自动控制, 营养液可回收利用, 极大提高了水肥利用效率, 与土壤栽培相比, 黄瓜无土栽培节水节肥分别达21%和34%^[6]。以色列利用精准的灌溉系统, 地表滴灌水分利用效率达88%, 地下滴灌达95%^[7]。20世纪90年代, 日本开发出养液土耕技术, 根据作物的生育阶段, 每天供给必要、适量的水分和养分, 实现了真正意义上的水肥精准控制, 肥料利用率提高到70%以上, 与常规滴灌施肥比较, 土壤养液栽培黄瓜增产17%~20%, 氮肥用量减少26%~30%^[8]。20世纪90年代以来, 我国设施蔬菜水肥一体化技术不断研发与应用, 取得了显著的节水、节肥、增产效果^[3,9-10], 但常规的滴灌施肥模式主要凭借经验, 灌溉根据土壤水分状况、施肥按照作物生育时期分次进行, 灌溉、施肥间隔时间长, 水肥供给与蔬菜生长需求并不完全吻合。近年来, 水肥精准管理技

收稿日期: 2017-07-02

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2014BAD05B03); 山东省农业重大应用技术创新课题(鲁财农指(2015)16号); 国家大宗蔬菜产业技术体系建设专项(CARS-23)

作者简介: 付蕾(1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事设施蔬菜栽培研究。E-mail: 1379587823@qq.com

通信作者: 魏珉(1968-), 男, 教授, 主要从事设施蔬菜与无土栽培研究。E-mail: minwei@sdau.edu.cn

术逐渐成为人们关注和研究的热点^[11-12]。甜椒是我国设施栽培的主要蔬菜作物之一,生长发育过程对水肥需求相对严格,但目前关于甜椒水肥精准管理技术的研究甚少。本试验在日光温室土壤栽培条件下,研究不同灌溉施肥方式对甜椒生长、产量和品质以及水肥利用效率的影响,以期为设施甜椒精准高效灌溉施肥技术的建立提供一定理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试甜椒品种为‘安莎19’(冬春茬)和‘奥黛丽’(秋冬茬)。尿素、硝酸钙、硝酸钾、磷酸二氢铵、硫酸镁、硫酸钾、磷酸二氢钾购自上海永通化工有限公司;螯合铁、硼酸、硫酸锌、硫酸锰、钼酸铵、硫酸铜购自天津凯通化学试剂有限公司。

1.2 试验处理

1.2.1 冬春茬试验

冬春茬试验于2016年2—6月在山东农业大学园艺实验站日光温室中进行。土壤碱解氮质量分数136.5 mg/kg,速效磷质量分数51.72 mg/kg,速效钾质量分数168.07 mg/kg,pH值6.50,EC值0.62 mS/cm(土水质量比为1:5)。

在预备试验基础上,设置6个处理:CK1为传统沟灌定期冲肥;CK2为常规滴灌定期追肥;T1为每日定量滴灌1/4剂量山崎甜椒专用配方营养液(以下简称营养液,微量元素浓度相同,均按通用配方^[13]);T2为每日定量滴灌1/2剂量营养液;T3为每日定量滴灌3/4剂量营养液;T4为每日定量滴灌1剂量营养液。每处理3个小区作为3次重复,随机排列。每小区长5 m,宽1.05 m,面积5.25 m²。小区之间埋深50 cm的塑料薄膜,防止水肥侧渗。整地前每小区施入12 kg鸡粪并深耕混匀。2月28日定植,小行距50 cm,大行距80 cm,株距45 cm。CK1缓苗后浇缓苗水,然后蹲苗至门椒坐果,此后保持土壤湿润;CK2根据土壤湿度确定灌溉时间和灌溉量。CK1和CK2施肥总量相同,施肥方式见表1。甜椒植株四秆整枝,常规管理,将门椒摘除,此上留3层果打顶。

表1 传统沟灌和常规滴灌处理的施肥方式及施肥量

处理	施肥方式	施肥量/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK1-传统沟灌定期冲肥	底肥	136.7	227.1	162.6
	提苗肥	55.2	0	0
	追肥(门椒坐果后)	62.1	0	74.5
	追肥(对椒坐果后)	62.1	0	74.5
	追肥(四母斗坐果后)	69.0	0	116.2
	追肥(四母斗上层果实坐果后)	69.0	0	116.2
	总计	454.1	227.1	544.0
CK2-常规滴灌定期施肥	定植后每隔12 d随水滴灌施肥1次,全生育期共8次	56.8	28.4	68.0
	总计	454.1	227.1	544.0

每日定量滴灌营养液的处理通过计算机控制灌溉时间和灌溉量,每天滴灌1次,每株灌溉量见表2,缓苗期以清水代替营养液。

表2 每日滴灌营养液处理的供液量

生育期	冬春茬			秋冬茬		
	日期	处理时间/d	供液量/(L·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)	日期	处理时间/d	供液量/(L·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)
缓苗期	0301—0307	7	0.3	0831—0906	7	0.4
	0308—0314	7	0.15	0907—0917	11	0.2
果实采收之前	0315—0328	14	0.2	0918—1002	15	0.3
	0329—0421	24	0.3	1003—1015	13	0.4
	0422—0430	9	0.4	1016—1030	15	0.5
果实开始采收后	0501—0604	35	0.5	1031—1201	31	0.4
	0606—0626	21	0.55	1202—1213	12	0.3
	-	-	-	1214—1228	15	0.2

1.2.2 秋冬茬试验

秋冬茬试验于2016年8—12月在日光温室中进行。土壤碱解氮质量分数194.6 mg/kg,速效磷质量分数79.59 mg/kg,速效钾质量分数175.13 mg/kg,pH值6.80,EC值0.92 mS/cm。8月31日定植,定植方法、试验处

理、小区设置同冬春茬试验。每日定量滴灌营养液,每株灌溉量见表2,缓苗期以清水代替。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株生长及生理指标测定

每个处理选取长势一致的9株甜椒挂牌标记,定植90 d后,测定株高和茎粗。结果盛期,每个处理选取长势一致的植株6株,将茎、叶分开,洗净擦干,置于105℃烘箱中杀青15 min,75℃恒温烘干,测干物质量;同时将根系小心取出,用水洗净,用WinRHIZO(2007年版)根系分析系统测定根长、根表面积、根体积、根直径和根尖数等指标,然后于105℃杀青15 min,75℃烘干至恒质量,称干物质量。

结果盛期,每个处理选取长势一致的植株6株,TTC法测定根系活力^[14]。取3~5 cm生长根和褐色木质根剪碎混匀,称取0.5 g,液氮速冻后存于-80℃冰箱中,SOD活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定^[15],丙二醛量采用硫代巴比妥酸比色法测定^[16]。

1.3.2 产量品质及水肥利用效率测定

每小区选择长势一致的5株甜椒植株挂牌标记,记录采收日期、每次采收果数和单果质量,计算单株果数和单株产量。每个处理取大小和色泽基本一致的9个对椒果实测定品质。维生素C采用2,6-二氯酚靛酚比色法测定,可溶性糖采用蒽酮比色法测定,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250法测定,游离氨基酸采用茚三酮显色法测定^[14]。

水分生产效率(WUE)为产量和生育期内总灌水量的比值^[17];肥料偏生产力(PFP)为产量与施肥量(投入的N、P₂O₅、K₂O总质量)的比值^[18]。

1.4 数据统计与分析方法

采用Microsoft Excel 2007和DPS 7.05软件进行数据处理和统计分析,并用Duncan新复极差法进行差异显著性检验($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 灌溉施肥方式对甜椒植株生长和生理代谢的影响

2.1.1 生长量

不同处理甜椒的株高、茎粗和干物质量见表3。由表3可知,对冬春茬甜椒而言,每日定量滴灌营养液的处理株高、地上部干物质量和根干物质量均高于CK1和CK2,但部分尚未达到显著性水平;随着营养液浓度增加,各项指标均呈先升高后降低的变化趋势,以T2处理最大,其中地上部干物质量分别比CK1和CK2高31.37%和16.46%,根干物质量分别比CK1和CK2高155.15%和62.91%。茎粗以T2处理最大,但处理间无显著性差异。

表3 不同处理甜椒株高、茎粗和干物质量

处理	冬春茬				秋冬茬			
	株高/cm	茎粗/mm	地上部干物质量/(g·株 ⁻¹)	根干物质量/(g·株 ⁻¹)	株高/cm	茎粗/mm	地上部干物质量/(g·株 ⁻¹)	根干物质量/(g·株 ⁻¹)
CK1	99.0±1.8d	13.90±0.3a	40.77±2.42d	1.36±0.02d	75.0±5.9b	12.45±0.5a	34.48±1.41d	1.38±0.02c
CK2	99.5±1.2d	14.27±0.3a	45.99±1.95c	2.13±0.23c	77.5±6.3b	12.68±0.4a	36.41±1.39c	1.93±0.23b
T1(1/4S+T)	100.8±0.9cd	14.47±0.1a	51.96±2.33ab	3.31±0.28a	78.7±3.8ab	12.86±0.4a	37.62±2.31bc	2.31±0.28ab
T2(1/2S+T)	107.0±2.1a	14.67±0.2a	53.56±0.98a	3.47±0.37a	83.7±3.3a	13.03±0.6a	40.98±2.21a	2.87±0.37a
T3(3/4S+T)	104.8±0.9b	14.11±0.2a	48.97±1.43bc	3.22±0.04ab	79.0±0.9ab	12.93±0.3a	38.61±1.07b	2.62±0.04a
T4(1S+T)	102.0±0.8c	14.26±0.3a	46.37±1.22c	2.99±0.316b	78.7±5.3ab	12.87±0.3a	36.57±1.29c	2.39±0.32ab

注 表中数值为平均值±标准差,同列不同字母表示差异达5%显著水平。S:山崎甜椒专用营养液配方,T:微量元素通用配方。下同。

与冬春茬相比,秋冬茬甜椒的生长势较弱。株高以T2处理最大,其他处理间无显著性差异;各处理的植株茎粗差异不显著。每日定量滴灌营养液处理的地上部干物质量、根干物质量均高于CK1和CK2,以T2处理最大,地上部干物质量分别比CK1和CK2高18.85%和12.55%,根干物质量分别比CK1和CK2高107.97%和48.70%。

2.1.2 根系形态特征

表4所示为不同处理甜椒根系生长特性。由表4可知,对冬春茬甜椒而言,每日定量滴灌营养液处理的根长、根表面积、根体积和根尖数均显著高于CK1和CK2,以T2处理最高,除T1和T4处理的根体积、T1和

T3处理的根尖数差异不显著外,各项指标处理间均呈显著性差异。

表4 不同处理甜椒根系生长特性

处理	冬春茬				秋冬茬			
	根长/cm	根表面积/cm ²	根体积/cm ³	根尖数	根长/cm	根表面积/cm ²	根体积/cm ³	根尖数
CK1	1 336.3±18f	532.2±18f	40.4±1.8e	3 899±162e	1 070.7±51c	453.2±34e	37.8±3.0e	3 117±103e
CK2	1 875.5±72e	772.2±36e	54.5±4.0d	5 476±110d	1 265.4±117b	653.3±26d	49.2±4.6d	4 052±70d
T1(1/4S+T)	2 701.8±119b	1 240.6±43b	88.9±3.1c	7 433±255b	1 320.3±39b	921.6±23c	80.8±9.6c	4 956±113c
T2(1/2S+T)	2 911.4±37a	1 406.3±17a	118.8±4.7a	9 839±100a	1 665.9±91a	1 161.9±56a	106.7±2.9a	5 775±116a
T3(3/4S+T)	2 522.2±75c	1 134.5±52c	95.3±2.4b	7 375±74b	1 596.9±57a	986.6±29b	93.0±4.9b	5 447±140b
T4(1S+T)	2 373.9±47d	976.7±32d	85.4±1.9c	6 968±193c	1 345.6±95b	868.4±32c	80.2±5.1c	5 312±124b

与冬春茬相比,秋冬茬甜椒各项根系形态指标均明显降低。根长、根表面积、根体积、根尖数均以T2处理最大,分别比CK1和CK2高55.59%和31.65%、156.38%和77.85%、182.28%和116.87%、85.27%和42.52%。随滴灌营养液浓度增大,各项指标均呈先升高后降低的变化趋势。

2.1.3 生理代谢活性

表5为不同处理甜椒的根系生理特性。由表5可知,无论冬春茬和秋冬茬,每日定量滴灌营养液的根系活力和SOD活性均高于CK1和CK2,尽管有些尚未达到显著差异水平,以T2处理根系活力和SOD活性最高,分别达63.32 μg/(g·h)和137.68 U/g。随着滴灌营养液浓度增加,根系活力和SOD活性均呈先升高后降低的变化趋势。丙二醛量以T2处理最低,显著低于CK1和CK2,冬春茬分别低27.06%和22.61%,秋冬茬分别低35.43%和21.31%。

表5 不同处理甜椒根系生理特性

处理	冬春茬			秋冬茬		
	根系活力/ (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	SOD活性/ (U·g ⁻¹)	丙二醛量/ (nmol·g ⁻¹)	根系活力/ (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	SOD活性/ (U·g ⁻¹)	丙二醛量/ (nmol·g ⁻¹)
CK1	54.09±3.9c	89.73±4.5d	6.43±0.10a	44.97±2.1c	83.89±4.2e	4.46±0.13a
CK2	58.66±4.4c	102.20±6.0c	6.06±0.17a	49.65±2.3b	93.75±0.6d	3.66±0.06b
T1(1/4S+T)	63.32±1.6b	125.51±7.2b	5.11±0.14bc	51.59±2.6b	128.82±6.0b	3.28±0.07c
T2(1/2S+T)	74.33±5.0a	137.68±4.9a	4.69±0.33c	59.63±2.1a	142.97±3.0a	2.88±0.09d
T3(3/4S+T)	73.15±3.9a	118.04±6.1b	5.21±0.31b	57.62±1.0a	117.51±1.5c	3.29±0.16c
T4(1S+T)	59.44±1.3bc	106.26±6.7c	5.41±0.33b	56.28±2.8a	113.61±3.7c	3.65±0.19b

2.2 灌溉施肥方式对甜椒产量品质及水肥利用效率的影响

2.2.1 果实产量和品质

不同处理甜椒产量及其构成因素见表6。从表6可以看出,冬春茬甜椒单株果数以T2处理最大,显著高于CK1,但与其他处理间无显著性差异。每日定量滴灌营养液的处理单果质量均高于CK1和CK2,以T2处理最高,与CK1、CK2差异显著。单株产量以T2处理最高,达1 147.6 g/株,而CK1和CK2单株产量分别为875.3 g/株和937.3 g/株,仅为T2处理的76.27%和81.67%。

表6 不同处理甜椒产量及其构成因素

处理	冬春茬			秋冬茬		
	单株果数/ (个·株 ⁻¹)	单果质量/g	单株产量/ (g·株 ⁻¹)	单株果数/ (个·株 ⁻¹)	单果质量/g	单株产量/ (g·株 ⁻¹)
CK1	6.0±0b	145.88±1b	875.3±46c	4.5±0.5b	150.16±13a	655.4±33c
CK2	6.6±0.6ab	142.91±10b	937.3±49bc	5.0±0.2ab	152.76±4a	763.8±20b
T1(1/4S+T)	7.0±1ab	149.34±5ab	1025.7±444b	5.2±0.8ab	152.02±17a	786.8±21b
T2(1/2S+T)	7.3±0.6a	161.27±7a	1147.6±89a	5.6±0.5a	159.48±12a	888.2±43a
T3(3/4S+T)	6.6±0.6ab	152.13±9ab	960.6±50bc	5.0±0.1ab	159.52±6a	797.6±16b
T4(1S+T)	6.3±0.6ab	148.34±5ab	949.0±49bc	5.3±0.4ab	151.03±13a	776.8±17b

与冬春茬相比,秋冬茬甜椒单株果数和单株产量明显下降,但单果质量差异不大。除CK1的单株果数较低外,其他处理间无显著性差异。各处理的单果质量无显著差异。单株产量以T2处理最高,分别比CK1和CK2高出35.52%和16.29%,滴灌营养液的其他处理间产量无显著差异。

表7所示为不同处理甜椒果实品质。分析表7可知,冬春茬甜椒中,除T4处理的Vc量与CK1、CK2差异不显著外,滴灌营养液的其他处理均显著高于CK1和CK2,且以T2处理最高,分别比CK1和CK2高73.31%和47.98%。可溶性糖量以T1和T2处理较高,其他处理间均无显著性差异。可溶性蛋白量随营养液浓度升高

而逐渐增加,以 T3、T4 处理较高。除 T2 处理的游离氨基酸量较高外,其他处理间无差异。

表 7 不同处理甜椒果实品质

处理	冬春茬				秋冬茬			
	Vc 量/ (10 ² ·mg·g ⁻¹)	可溶性 糖量/%	可溶性蛋白 量/(mg·g ⁻¹)	游离氨基酸 量/(mg·g ⁻¹)	Vc 量/ (10 ² ·mg·g ⁻¹)	可溶性 糖量/%	可溶性蛋白 量/(mg·g ⁻¹)	游离氨基酸 量/(mg·g ⁻¹)
CK1	88.86±3.51c	4.62±0.19b	1.30±0.05cd	1.99±0.07b	91.60±3.03d	3.48±0.20b	2.79±0.11 a	1.44 ±0.02c
CK2	104.07±4.21c	4.68±0.25b	1.40±0.07bc	2.05±0.08ab	103.10±4.08c	3.21±0.13b	2.78±0.25 a	1.51±0.14c
T1(1/4S+T)	134.36±5.87b	5.12±0.05a	1.09±0.03e	2.16±0.11ab	121.88±7.88b	4.21±0.20a	2.21±0.10 b	1.83±0.24b
T2(1/2S+T)	154.00±6.23a	5.16±0.14a	1.25±0.04d	2.24±0.08a	139.23±5.43a	4.43±0.29a	2.25±0.05 b	2.21±0.13a
T3(3/4S+T)	124.28±2.65b	4.65±0.10b	1.55±0.06a	2.16±0.04ab	108.50±1.63c	4.09±0.14a	2.32±0.26 b	1.61±0.15bc
T4(1S+T)	93.48±1.95c	4.71±0.16ab	1.49±0.06ab	2.15±0.16ab	105.68±3.09c	4.26±0.23a	2.37±0.23ab	1.57±0.16c

对于秋冬茬甜椒,果实 Vc 量以 T2 处理最高, T1 处理次之,二者差异显著并显著高于其他处理, CK1 最低。每日定量滴灌营养液的处理可溶性糖量显著高于 CK1 和 CK2,但滴灌营养液处理间差异不显著。游离氨基酸量以 T2 处理最高,分别比 CK1 和 CK2 高 53.47% 和 46.36%。

2.2.2 水肥利用效率

不同处理水分生产效率和肥料偏生产力见表 8。由表 8 可知,无论冬春茬还是秋冬茬,每日定量滴灌营养液的处理水分生产效率、肥料偏生产力均明显高于 CK1 和 CK2。水分生产效率随营养液浓度增加,呈现先升高后降低趋势,以 T2 处理最高,冬春茬比 CK1 和 CK2 分别高 89.85 % 和 39.92 %,秋冬茬比 CK1 和 CK2 分别高 82.71 % 和 28.41 %。滴灌营养液处理的肥料偏生产力随营养液浓度升高而降低,以 T1 处理最高, T2 处理次之, T2 处理肥料偏生产力冬春茬比 CK1 和 CK2 分别高 3.03 和 2.76 倍,秋冬茬分别高 3.71 和 3.02 倍。

表 8 不同处理甜椒水肥利用效率

茬口	处理	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	水分生产效率/ (kg·m ⁻³)	施肥量/(kg·hm ⁻²)					总计	肥料偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO		
冬春茬	CK1	2 527.05	13.20±0.70d	454.10	227.10	544.00	0	0	1 225.20	27.23±1.45e
	CK2	1 995.30	17.91±0.95c	454.10	227.10	544.00	0	0	1 225.20	29.16±1.54e
	T1(1/4S+T)	1 745.70	22.39±0.97b	57.30	24.53	117.41	34.99	12.49	246.72	196.10±8.46a
	T2(1/2S+T)	1 745.70	25.06±1.95a	114.60	49.05	234.83	69.98	24.98	493.44	109.71±8.52b
	T3(3/4S+T)	1 745.70	20.97±1.10b	171.90	73.58	352.24	104.96	37.46	740.14	61.24±3.21c
T4(1S+T)	1 745.70	20.72±1.08b	229.20	98.10	469.65	139.95	49.95	986.85	45.39±2.36d	
秋冬茬	CK1	2 117.25	11.80±0.60d	454.10	227.10	544.00	0	0	1 225.20	20.11±1.27e
	CK2	1 734.30	16.79±0.45c	454.10	227.10	544.00	0	0	1 225.20	23.56±0.69e
	T1(1/4S+T)	1 570.35	19.10±0.51b	50.36	21.56	103.20	30.75	10.95	216.86	171.26±4.68a
	T2(1/2S+T)	1 570.35	21.56±1.05a	100.73	43.13	206.40	61.50	21.90	433.67	94.70±5.55b
	T3(3/4S+T)	1 570.35	19.36±0.40b	151.09	64.69	309.60	92.25	29.10	646.73	58.28±1.18c
T4(1S+T)	1 570.35	18.85±0.41b	201.45	86.25	412.80	123.00	43.95	867.45	42.46±1.11d	

3 讨论

株高和茎粗是反映植株生长状况的重要指标。前人研究表明,滴灌施肥条件下辣椒株高和茎粗明显优于传统处理^[9]。本试验发现,尽管不同处理间茎粗差异不显著,但与传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥处理相比,滴灌营养液处理的甜椒株高和地上部干物质质量增加,以 T2 处理最大,显著高于传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥处理。

根系是植株吸收水分和养分的主要器官,合理灌溉施肥可促进棉花根系发育,增强根系活力和抗氧化酶活性,提高产量^[20]。本试验中,每日定量滴灌营养液的处理甜椒根长、根表面积、根体积、根尖数、根干物质质量均较传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥增加,根系活力增强, SOD 活性升高,丙二醛产生量减少。这可能是由于每日滴灌营养液的处理降低了土壤体积质量和 EC,增加了土壤总孔隙度、酶活性和有益微生物数量,改善了土壤的理化和生物学特性^[12,21],从而为根系生长发育提供了良好的环境。

灌溉施肥方式影响蔬菜产量和品质。樊兆博等^[9]试验表明,与传统灌溉施肥相比,番茄水肥一体化可分别减少灌水量和氮肥用量 46% 和 78%,增加产量 19.6%;高艳明等^[11]研究发现,番茄土壤栽培滴灌营养液比常规滴灌施肥减少施肥量 23.2%~73%,提高产量 8.2%~22.8%;谷丽丽等^[12]研究表明,与传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥相比,黄瓜土壤栽培每天滴灌 1/4 剂量山崎专用配方加微量元素通用配方营养液可减少灌水量 30% 以上、施肥量 70% 以上,提高产量 25% 以上。本试验中,与 CK1 和 CK2 相比, T2 处理使冬春茬

甜椒分别增产 31.11% 和 22.44%，秋冬茬分别增产 35.52% 和 16.29%，节水率 9.45%~30.92%，节肥率 59.71%~64.60%，与上述研究结果具有一定相似性。每日滴灌营养液的处理，随着营养液浓度增加，甜椒果实中维生素 C、可溶性糖、游离氨基酸量呈现先增加后降低趋势，低营养液浓度下的各项品质指标均优于传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥处理，这说明灌溉水量和施肥量同时影响果实品质形成，Patane 等^[22]、张燕等^[23]在番茄上得到了相似的研究结果。

土壤栽培滴灌营养液是 20 世纪 90 年代初日本研发的一种新型灌溉施肥方式。该技术将土壤栽培与无土栽培有机结合在一起，根据作物生长阶段的需求，通过营养和土壤诊断，每天给作物提供必要、适量的养分、水分和氧气，真正实现了水肥配施和精准调控^[8]。与常规滴灌施肥方法相比，该技术使水分和养分的供应更平稳均衡；而且，营养液以点滴方式入渗，水分和养分在根系吸收的有限范围内，减少了蒸发和渗漏，避免了肥料浪费和流失，减轻了环境污染^[11-12]。土壤栽培滴灌营养液技术具有操作省力、资源节约、环境友好、高产高效等优点，伴随设施农业的现代化，必将具有广阔应用前景，但亟须明确不同作物种类及不同栽培条件下的水肥精准化管理指标。

4 结论

与传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥相比，每日定量滴灌营养液促进了甜椒植株生长发育，增强了生理代谢活性，提高了果实产量并能部分改善其品质，同时可显著提高水分生产效率和肥料偏生产力，减少水肥用量。随着滴灌营养液浓度的增加，甜椒生长势、产量、品质和水分生产效率基本呈先升高后降低变化趋势，肥料偏生产力逐渐减小，以 T2 处理的甜椒单株结果数最多，产量最高，同时具有最高的 Vc、可溶性糖和游离氨基酸质量分数。与传统沟灌定期冲肥和常规滴灌定期追肥相比，T2 处理增产率 16.29%~35.52%，节水率 9.45%~30.92%，节肥率 59.71%~64.60%。综合考虑产量、品质、水肥利用效率等因素，每日定量滴灌 1/2 剂量山崎甜椒专用配方加微量元素通用配方营养液的效果最好。

参考文献：

- [1] 王鹏勃, 李建国, 丁娟娟, 等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2):314-323.
- [2] 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4):713-726.
- [3] 杨丽娟, 张玉龙, 须晖. 棚室蔬菜生产中灌溉技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 264-267.
- [4] 刘传和, 陈少华, 黎锦洪. 水肥一体化对山地栽培菠萝生长及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(1):102-106.
- [5] BANEDJSCHAFIE S, BASTANI S, WIDMOSER P, et al. Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat[J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(1):1-7.
- [6] 郭世荣, 孙锦, 束胜, 等. 国外设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 43-52.
- [7] 杜中平. 以色列节水灌溉与水肥一体化考察报告[J]. 青海农林科技, 2012(4): 17-20.
- [8] 青木宏史, 梅津宪治, 小野信一. 养液土耕栽培的理论与实际[M]. 日本: 诚文堂新光社, 2001.
- [9] 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现平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 970-976.
- [10] 孔清华, 李光永, 王永红, 等. 不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 21-25.
- [11] 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.
- [12] 谷丽丽, 魏珉, 侯加林, 等. 精准灌溉施肥对日光温室土壤性状及黄瓜产量品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22): 4 507-4 516.
- [13] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [14] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] PROCHAZKOVA D, SAIRAM R K, SRIVASTAVA G C, et al. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves[J]. *Plant Science*, 2001, 161(4):765-771.
- [16] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. *Planta*, 1999, 207(4): 604-611.
- [17] 刘战东, 肖俊夫, 刘祖贵, 等. 膜下滴灌不同灌水处理对玉米形态、耗水量及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 60-64.
- [18] 贾宋楠, 范凤翠, 刘胜尧, 等. 施肥量对温室滴灌番茄干物质累积、产量及水肥利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 21-29.
- [19] 韩广泉, 冯雪程, 郑群, 等. 灌溉施肥技术对温室辣椒生长、产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 88-92.
- [20] 罗宏海, 张宏芝, 陶先萍, 等. 膜下滴灌条件下水氮供应对棉花根系及叶片衰老特性的调节[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 2 142-2 150.
- [21] 柴仲平, 梁智, 王雪梅, 等. 不同灌溉方式对棉田土壤物理性质的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(5):57-59.
- [22] PATANE C, TRINGALI S, SORTINO O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4):590-596.
- [23] 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):207-212.

Effects of Different Fertigation on Growth, Yield and Quality of Solar-greenhouse Sweet Pepper

FU Lei¹, WEI Min^{1,2*}, LI Yan^{1,2}, YANG Fengjuan^{1,3}, SHI Qinghua^{1,3}, WANG Xiufeng^{1,4}

(1. College of Horticultural Science and Engineering of Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Scientific Observing and Experimental Station of Environment Controlled Agricultural Engineering in Huang-Huai-Hai Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tai'an 271018, China;

3. State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China;

4. Collaborative Innovation Center of Protected Vegetable Surround Bohai Gulf Region, Shenyang 110866, China)

Abstract: **【Objective】** Physiological development of crop is controlled by water and nutrient availability, and this paper is to study the impact of different fertigation on yield and fruit quality of sweet pepper grown in solar greenhouse. **【Method】** The experiments examined two varieties, 'Ansha19' and 'Aodaili', and compared six treatments: conventional furrow irrigation with periodic fertilizer topdressing (CK1), conventional drip irrigation with periodic fertilization (CK2), daily fertigation with 1/4, 1/2, 3/4 and 4/4 of the strengthened Yamazaki specific nutritious ingredients for sweet pepper formula along with the recipes of trace elements, which were referred as to T1, T2 T3 and T4 respectively. The effects of different fertigation on growth, yield and quality of the sweet pepper cultivated in a solar greenhouse were measured. **【Result】** Compared with CK1 and CK2, daily fertigation with the nutrient solution promoted growth of the sweet pepper, increased the length, surface area, volume, apex number and dry matter of the root, enhanced root vigor and SOD activity, decreased malondialdehyde content, improved fruit yield and quality, water use efficiency and partial productivity of the fertilizer. With nutrient concentration in the drip irrigation increasing, the growth, yield, quality and water production efficiency of the sweet pepper first increased and then decreased, while the partial productivity of the fertilizer decreased monotonically. Fruit number and yield maximized in T2, and there was no significant difference in them between T1, T3 and T4. Compared to CK1 and CK2, T2 increased the yield of spring-pepper by 31.11% and 22.44% respectively, and of autumn-winter pepper by 35.52% and 16.29%, respectively, in addition 9.45%~30.92% increase in water saving and 59.71%~64.60% fertilizer saving. The contents of Vc, soluble sugar and free amino acid were the highest in T2 and lowest in CK1. **【Conclusion】** Daily fertigation promotes the growth and yield of the sweet pepper, in addition to improving its fruit quality, water and fertilizer use efficiency.

Key words: sweet pepper; irrigation; fertilization; solar greenhouse; yield; quality

责任编辑:陆红飞