

灌溉施肥对基质栽培番茄产量、 品质及水肥利用率的影响

王蔚杰, 王发东*, 张晓燕
(金昌市农艺研究院, 甘肃 金昌 737100)

摘 要:【目的】探讨灌溉施肥对设施番茄生长、产量、品质及水肥利用率的影响, 筛选适合河西干旱区日光温室番茄栽培的最佳灌溉施肥模式。【方法】采用基质(玉米秸秆 50%+炉渣 30%+牛粪 20%+生物菌)栽培方式, 共设 4 个处理: 农户模式 T0 (N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 615、315、750 kg/hm², 灌水量 6 000 m³/hm²)、常规模式 T1 (N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 435、150、600 kg/hm², 灌水量 4 500 m³/hm²)、优化模式 T2 (与 T1 处理相比, 施肥量、灌水量均下浮 10%) 和优化模式 T3 (与 T1 处理相比, 施肥量、灌水量均上浮 10%)。【结果】不同灌溉施肥模式可显著影响番茄产量、品质和水肥利用率。与 T0 处理相比, 随着施肥量和灌水量减少, 番茄生物量、氧化酶活性、脯氨酸、产量及水肥利用率呈先增后减的变化趋势, 即 T3 处理最高, T1 处理次之, T0 处理最低, 且 T3 处理与 T0 处理间差异显著。丙二醛量以 T0 处理最高, 商品率以 T3 处理最大(87%); T3 处理糖酸比 5.13, 风味最好。T1、T2、T3 处理比 T0 处理显著增产 3.6%~27.8%, 其中 T3 处理产量最高为 152 489.25 kg/hm²。T3 处理灌溉水利用率、肥料偏生产力最大, 分别为 30.8 kg/m³、116.9 kg/kg。【结论】N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 480、165、660 kg/hm², 灌水量为 4 950 m³/hm² 的灌溉施肥模式最佳, 可促进番茄植株生长, 有利于果实品质、产量及水肥利用率的提高。

关键词: 设施番茄; 灌溉施肥; 产量; 品质; 水肥利用率

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022218

OSID: 

王蔚杰, 王发东, 张晓燕. 灌溉施肥对基质栽培番茄产量、品质及水肥利用率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(4): 51-56.

WANG Weijie, WANG Fadong, ZHANG Xiaoyan. Integrated Effects of Irrigation and Fertilization on Fruit Yield and Quality and Water-fertilizer Use Efficiency of Substrate-cultured Tomato[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(4): 51-56.

0 引言

【研究意义】设施蔬菜因其明显的反季节栽培特征, 使得北方大部分地区冬季栽培蔬菜成为可能, 经济效益和社会效益显著^[1]。番茄是戈壁设施蔬菜的主栽品种, 种植面积、产量和产值均居戈壁设施蔬菜生产的主导地位, 已成为助推区域农村经济发展和实现农民脱贫致富的支柱产业之一^[2]。近年来, 由于不合理的水肥管理, 菜农在设施蔬菜生产中盲目地采取高水高肥, 造成资源浪费和生产成本增加, 引起土壤养分失衡、盐渍化、土传病害频发等土壤质量退化问题, 直接影响蔬菜的正常生长发育, 降低品质和产量。因此, 合理灌水施肥能够改善设施番茄生长, 提高品质和产量^[3-6]。

【研究进展】目前, 国内外学者对番茄的水肥需求规律进行了研究^[7-8], 也有许多学者针对滴灌施肥对不同种类设施蔬菜(番茄、黄瓜、西葫芦等)生长、产量、品质及水肥利用率的影响等开展了大量研究^[9-12]。与常规施肥相比, 滴灌施肥显著提高了设施蔬菜的产量、水肥利用率, 可以增产 11%~80%、节水 28%~31%、节肥 18%~59%^[13]。这些研究一般未采用水肥一体化方式, 或未考虑番茄各生育期需水差异或所需养分总量和比例差异^[14]。【切入点】由于戈壁干旱区设施蔬菜的水肥一体化技术尚不完善, 且参考已有的番茄水肥方案进行了戈壁日光温室下的适应性筛选, 但均未得到最优的水肥模式, 尚需深入研究, 尤其是河西戈壁干旱区^[15-18]。【拟解决的关键问题】因此, 基于番茄各生育期的水肥需求规律, 选取不同灌溉施肥模式, 综合分析其对设施番茄生长发育、产量、品质及水肥利用率的影响, 探讨适宜河西干旱区日光温室番茄栽培的最佳灌溉施肥供应模式, 以期设施番茄水肥高效利用提供理论依据。

收稿日期: 2022-04-19

基金项目: 甘肃省现代农业科技支撑体系区域创新中心重点科技项目(2020GAAS02)

作者简介: 王蔚杰(1989-), 男, 农艺师, 硕士研究生, 主要从事节水农业与作物育种研究。E-mail: 1139420117@qq.com

通信作者: 王发东(1969-), 男, 林业工程师, 主要从事节水农业与果树栽培研究。E-mail: 370921749@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为“塞硒柿二号”，由宁夏巨丰种苗有限责任公司提供。栽培基质为混合商品基质（玉米秸秆 50%+炉渣 30%+牛粪 20%+生物菌），由甘肃省酒泉康多生态农业科技发展有限公司生产，其中有机质、总氮、 P_2O_5 、 K_2O 质量分数分别为 3.2%、0.6%、0.2%、2.15%，含水率为 16.1%。取 3 种供试肥料：尿素（含 N 46%，甘肃刘化（集团）有限责任公司生产）、芬王（N： P_2O_5 ： K_2O =19：19：19，大量元素水溶肥，芬王高科科技集团股份有限公司生产）、迪斯科（N： P_2O_5 ： K_2O =16：6：26，高钾水溶肥，迪斯科化工集团股份有限公司生产）。

1.2 试验设计

试验于 2020 年 8 月—2021 年 3 月在金昌市植物园日光温室进行，温室东西长 30 m，南北宽 8 m，水肥一体化管理。试验共设 4 个处理：①农户水肥模式 T0： N 、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 615、315、750 kg/hm²，灌水量 6 000 m³/hm²；其中，尿素、芬王、迪斯科肥料的施用量分别为 179.40、971.10、2 175 kg/hm²。②常规水肥模式 T1： N 、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 435、150、600 kg/hm²，灌水量 4 500 m³/hm²；其中，尿素、芬王、迪斯科的施用量分别为 130.50、78.90、2 250 kg/hm²。③优化水肥模式 T2：与 T1 处理相比，施肥量、灌水量均下浮 10%， N 、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 390、135、540 kg/hm²，灌水量为 4 050 m³/hm²；其中，尿素、芬王、迪斯科肥料的用量分别为 114.15、71.10、2 025 kg/hm²。④优化水肥模式 T3：与 T1 处理相比，施肥量、灌水量均上浮 10%， N 、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 480、165、660 kg/hm²，灌水量为 4 950 m³/hm²；其中，尿素、芬王、迪斯科肥料的用量分别为 146.70、86.85、2 475 kg/hm²。

试验采用基质栽培方式，槽底及四周铺设黑色园艺地布，槽宽 40 cm，槽间距 80 cm。试验采用随机区组设置，每个处理设 3 个重复，共 12 个小区，小区面积为 15 m²。2020 年 8 月 10 日育苗，选取健壮、长势整齐一致的番茄幼苗于 9 月 17 日定植。每槽定植 1 行，株行距为 40 cm×80 cm。

T0—T3 处理中，总施肥量 40%N 肥、80% P_2O_5 肥、30% K_2O 肥用于番茄种前基施，剩余肥料进行追施，追肥时在番茄苗期、开花坐果期、果实膨大期、结果盛期、收获期 N 、 P_2O_5 、 K_2O 肥的滴灌比例分别为 12：6：7、15：8：10、15：6：19、10：0：19、8：0：15。在番茄整个生育时期，依据当地农户经验进行滴灌，液肥滴灌频率为 7~10 d/次；T0—T3 处理

在番茄苗期、开花坐果期、果实膨大期、结果盛期和收获期的灌溉水量占总灌溉水量的比例分别为 29%、10%、30%、19%、12%。试验记录番茄苗期、开花坐果期、果实膨大期、结果盛期及收获期的持续时间分别为 53、10、25、32、40 d。

1.3 测定方法

除灌溉施肥外，番茄全生育期均采用常规栽培管理，种前测定基质养分和土壤含水率，整个生育期仪器连续自动监测基质水分与室内外温湿度。植株长至采收时打顶，留 5 穗果，生长期去掉多余的叶片。试验开始后，每个小区分别选取 9 株番茄，在苗期、开花坐果期、果实膨大期、结果盛期、收获期分别测定株高（茎基部到生长点的长度）、茎粗（茎基部的粗度）、叶面积和叶绿素量。株高用卷尺测定，茎粗用游标卡尺测定，叶面积用叶面积测定仪（恒美 YMJ-A）测定，叶绿素量用叶绿素荧光仪（恒美 HM-YA）测定。分小区采收果实，田间称质量，统计果实数量，每次采收时计产及测定果实性状，至收获时算总产量。

番茄的生理生化和果实品质指标分析由金昌市农艺研究院完成。超氧化物歧化酶（SOD）和过氧化物酶（POD）活性、脯氨酸（Pro）和丙二醛（MDA）量分别采用氮蓝四唑（NBT）法、愈创木酚法、磺基水杨酸法及硫代巴比妥酸显色法测定。采集番茄植株第 2 穗成熟果实来测定果实品质指标，番茄可溶性蛋白质、可溶性糖、维生素 C、可溶性固形物、总酸量分别采用考马斯亮蓝 G-250 染色法、蒽酮比色法、紫外分光光度计法、数显糖度仪、酸碱滴定法测定。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS 22.0 软件进行数据处理与统计分析。采用单因素 ANOVA 检验法，评估不同处理间差异显著性，显著性水平为 5%。

2 结果与分析

2.1 不同处理对番茄株高、茎粗、叶面积及叶绿素的影响

图 1 显示，在整个生育期，随着时间推移，各处理番茄株高、茎粗和叶面积均逐渐增加。所有处理番茄株高均比 T0 处理高，T3 处理最高，T1 处理次之，T1、T2、T3 处理与 T0 处理之间差异显著。随着生育期推进，各处理番茄茎粗逐渐出现差异，T3 处理茎粗最大，T1 处理次之，T0 处理最小，各处理间差异显著。苗期—果实膨大期属于番茄营养生长阶段，各处理叶面积出现差异，T3 处理最大，T1 处理次之，T0 处理最小。结果盛期和收获期，各处理番茄叶面积差异显著。随着施肥量和灌水量的减少，番茄株高、

茎粗和叶面积呈先增大后减小的变化趋势。

随着生育期推进,各处理番茄 SPAD 值呈先增加后减小趋势(图 1)。番茄生长前期,SPAD 值快速增加,各处理 SPAD 值出现差异,T3 处理 SPAD 值

最高,T1 处理和 T2 处理次之,T0 处理最低。结果盛期—收获期,SPAD 值逐渐减小,T3 处理 SPAD 值最高,与其他处理均差异显著。这说明 T3 处理下番茄光合作用更强,有利于番茄产量提高。

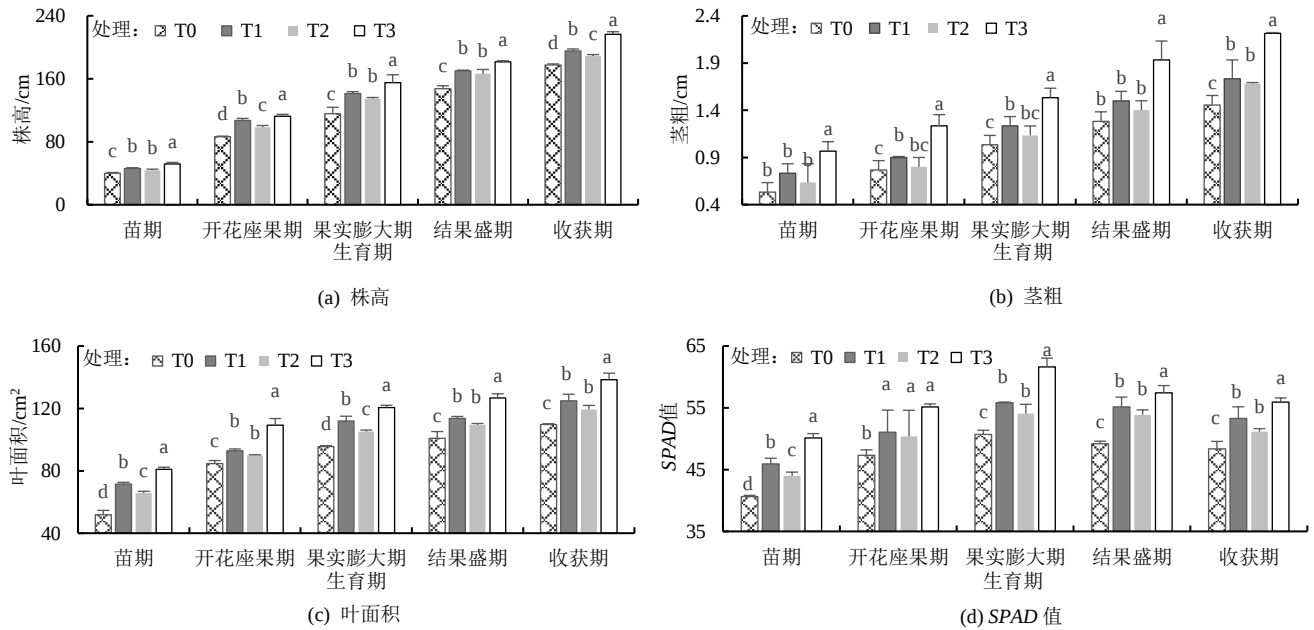


图 1 不同水肥模式对番茄株高、茎粗、叶面积及 SPAD 值的影响

Fig.1 Effects of different fertilization and irrigation models on the plant height, stem diameter, leaf area and chlorophyll content of tomato

2.2 不同处理对番茄叶片 SOD 活性和 POD 活性、Pro 量和 MDA 量的影响

从表 1 可以看出,不同灌溉施肥模式对番茄叶片 SOD、POD 活性、Pro 量和 MDA 量的影响程度不同。T0 处理番茄叶片 SOD、POD 活性和 Pro 量均低于其他处理,T3 处理最高,T1 处理次之。各处理间 SOD 活性差异不显著。T3 处理 POD 活性与 T0 处理差异显著,但 T1、T2 处理与 T0 处理差异不显著。T3、T1 处理 Pro 量显著高于 T0 处理,T2 处理与 T0 处理差异不显著。T0 处理番茄叶片 MDA 量显著高于其他处理,T3 处理最低,T1 处理次之,T3、T2、T1 处理与 T0 处理间差异显著。这说明番茄叶片中 SOD、POD 活性和 Pro、MDA 量与水肥的关系十分密切,在适宜的灌溉施肥模式下,叶片中 SOD、POD 活性及 Pro 量最高,MDA 量最低,有利于番茄植株生长。综上所述,T3 处理下的番茄生理表现最好,植株的生长能力最强。

表 1 不同处理番茄叶片 SOD 活性和 POD 活性、Pro 量和 MDA 量

处理	SOD 活性/ (U·g ⁻¹)	POD 活性/ (U·g ⁻¹)	Pro 量/ (ug·g ⁻¹)	MDA 量/ (mmol·g ⁻¹)
T0	289.2±13.5a	152.8±14.7b	333.7±44.7b	14.3±2.3a
T1	344.3±19.7a	172.9±8.2ab	521.6±31.6a	7.3±1.4b
T2	301.6±24.2a	161.3±12.1b	471.1±24.8ab	8.6±1.5b
T3	381.3±31.2a	198.5±6.8a	538.2±37.0a	2.0±0.8c

注 同列不同字母表示处理间差异显著 (P<0.05), 下同。

2.3 不同处理对番茄果实品质的影响

不同水肥处理对番茄果实中可溶性蛋白质、可溶性糖、维生素 C、可溶性固形物、总酸和糖酸比的影响程度不同(表 2)。不同灌溉施肥处理番茄果实品质指标量变化趋势一致,以 T0 处理最低,T2 处理和 T1 处理次之,T3 处理最高。T3、T2、T1 处理与 T0 处理间番茄果实可溶性糖量、维生素 C、总酸量差异极显著,T3 处理与 T0 处理可溶性固形物量、糖酸比差异显著。T3 处理可溶性蛋白质质量分数显著高于 T0 处理,达 2.7 mg/g,T1、T2 处理高于 T0 处理。适宜的糖酸比是决定番茄口感品质的重要参数之一。各处理糖酸比均小于 6.0,表明番茄果实偏酸;T3 处理高于 T0 处理,表明合理水肥调控可改善番茄果实糖酸适宜度。这说明 T3 处理更有利于番茄可滴定酸和糖分的积累,番茄品质更好,营养价值较高。

表 2 不同处理对番茄果实品质的影响

处理	可溶性蛋白 质量分数/ (mg·g ⁻¹)	可溶性 糖量/%	维生素 C 质量分数/ (mg·kg ⁻¹)	可溶性 固形物 量/%	总酸量/%	糖酸比
T0	1.8±0.2b	2.9±0.1c	178.5±1.0d	3.8±0.4b	0.63±0.1d	4.68±0.1b
T1	2.5±0.1ab	3.5±0.2b	194.6±2.1b	4.4±0.4ab	0.72±0.1b	4.82±0.2b
T2	2.4±0.3ab	3.3±0.1b	187.9±1.6c	4.3±0.2ab	0.69±0.0c	4.78±0.1b
T3	2.7±0.2a	4.2±0.1a	209.6±4.3a	5.1±0.3a	0.81±0.1a	5.13±0.2a

2.4 不同处理对番茄果实性状的影响

从表 3 可以看出,各水肥处理对番茄果实性状和商品率的影响程度不同。各番茄果实性状指标数值变化趋势一致,其他处理均高于 T0 处理,T3 处理最大,T1 处理和 T2 处理次之。T3、T2、T1 处理番茄果实纵径分别较 T0 处理增加 1.3、0.5、0.8 cm,各处理间差异显著。果实横径以 T3 处理最大,为 8.2 cm,各处理之间差异显著。各处理果形指数均大于 0.9,差异很小。T3 处理的果实硬度最大,为 2.7 kg/cm²,T1 处理和 T2 处理次之,T0 处理的硬度小于 2.0 kg/cm²。T1、T2、T3 处理与 T0 处理的商品率差异显著,T3 处理最大(87%),T1 处理和 T2 处理次之,T0 处理最小(82%)。故合理的灌溉施肥模式能够明显促进番茄果实生长,显著提高番茄商品率。

2.5 不同处理对番茄产量、水肥利用率的影响

由表 4 可知,不同水肥处理下番茄的产量、水肥利用率差异明显。T0 处理下番茄单果质量、单株结果数、单株产量、产量均低于其他处理,T3 处理最高。T3、T2、T1 处理的产量、灌溉水分利用率和肥

料偏生产力与 T0 处理差异极显著。T3 处理产量最高,达 152 489.25 kg/hm²,T1、T2 处理次之,分别为 135 254.25、123 689.25 kg/hm²。T3、T1、T2 处理产量较 T0 处理分别增加 27.8%、13.3%、3.6%,T3 处理显著高于 T1、T2 处理,说明合理的灌溉施肥可有效提高番茄产量。与 T0 处理相比,优化灌溉施肥模式显著提高灌溉水分利用率和肥料偏生产力,T3 处理的灌溉水分利用率和肥料偏生产力均为最大分别为 30.8 kg/m³、116.9 kg/kg。故合理的灌溉施肥模式可以显著提高番茄产量和水肥利用率。

表 3 不同处理对番茄果实性状的影响

Table 3 Effects of different treatments on the fruit characters of tomato

处理	果实纵径/cm	果实横径/cm	果形指数	硬度/(kg·cm ⁻²)	商品率/%
T0	6.5±0.1d	7.0±0.2c	0.93±0.0a	1.5±0.1d	82±1.5c
T1	7.3±0.2b	7.7±0.1b	0.95±0.1a	2.3±0.1b	86±1.5ab
T2	7.0±0.1c	7.5±0.4b	0.93±0.1a	2.0±0.0c	84±1.5b
T3	7.8±0.1a	8.2±0.3a	0.98±0.0a	2.7±0.1a	87±0.6a

表 4 不同处理对番茄产量、水肥利用率的影响

Table 4 Effects of different treatments on the yield and water-fertilizer utilization efficiency of tomato

指标	T0 处理	T1 处理	T2 处理	T3 处理
单果质量/g	162±1.5c	180±1.7b	170±10.0c	216±1.5a
单株结果数/个	14±1.0c	16±1.0ab	15±1.0bc	17±1.0a
单株产量/kg	2.26±0.18c	2.88±0.16b	2.55±0.27bc	3.68±0.22a
产量/(kg·hm ⁻²)	119 355.75±2.33d	135 254.25±6.47b	123 689.25±4.07c	152 489.25±2.07a
增产/%	-	13.3±1.5b	3.6±0.4c	27.8±0.9a
灌溉水分利用率/(kg·m ⁻³)	19.9±0.1c	30.1±0.3b	30.5±0.2a	30.8±0.1a
肥料偏生产力/(kg·kg ⁻¹)	71.0±0.3c	114.1±1.2b	116.1±0.9a	116.9±0.4a

注 同行不同字母表示各处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。

3 讨论

蔬菜生长与栽培基质的水肥情况密切相关。刘中良等^[19]研究发现,合理的 N、P、K 配比水溶肥可促进番茄植株生长,提高番茄叶绿素量和氧化酶活性,N、P、K 比为 16:7:35 时番茄叶绿素量最高。本研究中,番茄整个生育期,与农户水肥模式相比,随着施肥量和灌水量的减少,番茄株高、茎粗、叶面积和叶绿素量均呈先增大后减小的变化趋势,其中 T3 处理株高(51.7~216.7 cm)、茎粗(0.97~2.21 cm)、叶面积(81~138.5 cm²)、SPAD 值(50.13~55.9)最大,T1、T2 处理次之,T0 处理最小,不同处理间差异显著。这可能是因为 T3 处理为番茄提供了更充足的水分和养分,水分、矿质元素供应量充足,充分保障了有机物的生成与运输,从而促进了番茄植株生长和提高了叶片光合色素产量。此外,T3 处理的 SOD、POD 活性及 Pro 量最高,各处理排序为 T3 处理>T1

处理>T2 处理>T0 处理,这主要是因为栽培基质中水分和矿质元素供给量的变化直接影响植株的生理变化。T3 处理的水肥施用量更为合理,提高了氧化酶活性和脯氨酸量,番茄的生理表现更好。这与刘中良等^[19]的研究结果一致。

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,对产量和品质的影响也会出现差异。因此,合理的水肥管理,能够有效地维持植株营养生长与生殖生长的平衡,通过协调“源-库”关系达到增产和提高果实品质的目的^[20]。本研究表明,与农户水肥模式相比,随着灌水量和施肥量的减少,番茄产量和品质呈先增后减的变化趋势,即 T3 处理最高,T1、T2 处理次之,T0 处理最低。T1—T3 处理的可溶性蛋白质、可溶性糖、VC、可溶性固形物、总酸均大于 T0 处理,以 T3 处理最大,T3 处理糖酸比 5.13,风味最好。这是因为 T3 处理极大地改善了番茄栽培过程中的基质水肥条件,更适宜于各生育期

的水肥需求规律,很好地协调了植株营养生长与生殖生长,提高了叶片 *SPAD* 值,进而提高了植株光合速率,积累更多的光合产物,从而提高了番茄植株的果实产量和品质。张军等^[21]研究表明,只有灌水量和施肥量保持在适宜水平才能获得较高产量和有利于提高番茄品质,这与本研究结果一致。

水肥利用率表征作物产量与耗水量、施肥量的关系,是研究作物生长与水分、养分关系的重要参数。不同生育期番茄的水肥需求特性不同,土壤水分和营养元素的变化直接影响番茄的生理生化过程,进而影响植株的生长发育和产量。因此,应根据番茄需水需肥特性合理灌溉施肥,水肥过多或过少均对番茄生长起到抑制作用^[22]。张军等^[21]研究表明,中水中肥处理的番茄水分利用率较高(51.9 kg/m³),这与本研究的结果一致。在本研究中,T3 处理灌溉施肥模式下的灌溉水分利用率(30.8 kg/m³)和肥料偏生产力(116.9 kg/kg)最大,同时 T3 处理植株的生长表现最好、产量最高。这主要是因为 T3 处理灌溉施肥模式更符合番茄的水肥需求特性,可以形成植株根际与基质环境的动态平衡,有利于番茄对水分和养分的吸收利用,促进番茄生长发育,从而提高番茄产量和水肥利用效率。

4 结 论

1) 随施肥量和灌水量减少,番茄生物量、氧化酶活性、脯氨酸、品质、产量及水肥利用率呈先增加后减少的变化趋势,T3 处理最高,T1 处理次之,T0 处理最低,且 T3 处理与 T0 处理差异显著。

2) T3 处理(灌水量为 4 950 m³/hm²,N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 480、165、660 kg/hm²)能较好地协调番茄植株生长发育,提高果实品质、产量及水肥利用效率,增产效果最明显,可作为河西戈壁干旱区日光温室番茄栽培的最优灌溉施肥模式。

参考文献:

- [1] 孙丽丽,邹志荣,韩丽蓉,等.不同营养液滴灌量对设施番茄生长、产量及品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(5):135-142.
SUN Lili, ZOU Zhirong, HAN Lirong, et al. Effects of nutrient solution amount on plant growth, yield and fruit quality of greenhouse tomato[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015, 43(5): 135-142.
- [2] 康恩祥,王晓巍,张玉鑫,等.戈壁日光温室基质栽培番茄新品种筛选初报[J].甘肃农业科技,2020(12):48-52.
KANG Enxiang, WANG Xiaowei, ZHANG Yuxin, et al. Screening of new tomato cultivars cultivated on substrate in Gobi solar greenhouse[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2020(12): 48-52.
- [3] 张守才,赵征宇,孙永红,等.设施栽培番茄的氮磷钾肥料效应研究[J].中国土壤与肥料,2016(2):65-71.
ZHANG Shoucai, ZHAO Zhengyu, SUN Yonghong, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on tomato cultivation in greenhouse[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2016(2): 65-71.
- [4] 梁玉芹,董畔,宋炳彦,等.肥料减施对设施番茄产量和品质的影响[J].河北农业大学学报,2017,40(1):21-24,53.
LIANG Yuqin, DONG Pan, SONG Bingyan, et al. Effect of fertilizer reduction on yield and quality of greenhouse tomatoes[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2017, 40(1): 21-24, 53.
- [5] 郭雅琨,尹艺璐,李建勇,等.肥料减量对番茄植株生长、果实品质及需肥规律的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2019,37(6):248-255.
GUO Yakun, YIN Yilu, LI Jianyong, et al. Effects of reducing fertilizer on plant growth, fruit quality and fertilizer requirement of tomato[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science), 2019, 37(6): 248-255.
- [6] 张洋,李旺雄,刘晓奇,等.施钾量对设施基质栽培番茄生长生理及其产量和品质的影响[J].西北植物学报,2021,41(10):1 725-1 735.
ZHANG Yang, LI Wangxiong, LIU Xiaoqi, et al. Effect of potassium application rate on growth physiology, yield and quality of tomato cultivated in facility substrate[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(10): 1 725-1 735.
- [7] 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.
JIA Songnan, FAN Fengcui, LIU Shengyao, et al. Impact of the amount of fertilization on yield and water-fertilizer use efficiency of tomato grown in a solar greenhouse under drip fertigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(5): 21-29.
- [8] 刘军,高丽红,黄延楠.日光温室两种茬口下番茄干物质及氮磷钾分配规律研究[J].中国农业科学,2004,37(9):1 347-1 351.
LIU Jun, GAO Lihong, HUANG Yannan. Study on distribution of nitrogen, phosphorus and potassium of tomato in different crops in solar greenhouse[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(9): 1 347-1 351.
- [9] 黄红荣,李建明,张军,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄光合、产量和干物质分配的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):6-12.
HUANG Hongrong, LI Jianming, ZHANG Jun, et al. Effect of water and fertilizer coupling on photosynthesis, production and dry matter distribution of tomato under drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(7): 6-12.
- [10] 邢英英.温室番茄滴灌施肥水肥耦合效应研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
XING Yingying. Effect of water and fertilizer coupling on greenhouse tomato under fertigation[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2015.
- [11] 岳霆,杨平,巩法江,等.水分对设施番茄果实发育和产量的影响[J].农业科技通讯,2017(7):212-214.
YUE Ting, YANG Ping, GONG Fajiang, et al. Effects of water on fruit development and yield of protected tomato[J]. Agricultural Science and Technology Newsletter, 2017(7): 212-214.
- [12] 王蔚杰,张晓燕,李文虎,等.不同施肥量对设施西葫芦产量和养分需求规律的影响[J].农业开发与装备,2021(11):231-232.
WANG Weijie, ZHANG Xiaoyan, LI Wenhui, et al. Effects of different fertilization amounts on the yield and nutrient demand of protected zucchini[J]. Agricultural Development & Equipments, 2021(11): 231-232.
- [13] 贾宋楠,范凤翠,刘胜尧,等.滴灌供肥对设施番茄生长和品质的影响[J].节水灌溉,2017(7):28-33,37.
JIA Songnan, FAN Fengcui, LIU Shengyao, et al. The effect of drip irrigation on growth and quality of tomato in greenhouse[J]. Water Saving Irrigation, 2017(7): 28-33, 37.
- [14] 杨丹妮,常丽英,沈海斌,等.基于水肥耦合模型的上海地区设施番茄水肥方案研究[J].上海农业学报,2017,33(4):82-89.
YANG Danni, CHANG Liying, SHEN Haibin, et al. Water-fertilizer scheme of greenhouse tomato production in Shanghai based on the

- water-fertilizer coupling model[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2017, 33(4): 82-89.
- [15] 韩宏伟, 刘会芳, 王强, 等. 化肥减施对设施番茄生长生理、产量和品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(5): 863-870.
HAN Hongwei, LIU Huifang, WANG Qiang, et al. Effects of chemical fertilizer reducing on physiological characteristics, yield and quality of greenhouse tomatoes[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(5): 863-870.
- [16] 戚瑞生, 李少清, 王作丰. 追肥量和灌水量对设施番茄产量的影响[J]. *农业科技与信息*, 2018(3): 18-22.
QI Ruisheng, LI Shaoqing, WANG Zuofeng. Effects of topdressing and irrigation on the yield of protected tomato[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2018(3): 18-22.
- [17] 王文军, 朱克保, 叶寅, 等. 水肥一体肥料减量对大棚番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(28): 38-42.
WANG Wenjun, ZHU Kebao, YE Yin, et al. Effect of reducing fertilizer application on yield, quality and fertilizer utilization of greenhouse cultivation tomato under integration of water and fertilizer[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(28): 38-42.
- [18] 蒯佳琳, 王晓巍, 张玉鑫, 等. 追肥量对戈壁日光温室基质槽培番茄产量及品质的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2020(8): 36-39.
KUAI Jialin, WANG Xiaowei, ZHANG Yuxin, et al. Effect of topdressing amount on yield and quality of tomato cultured in Gobi solar greenhouse[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2020(8): 36-39.
- [19] 刘中良, 郑建利, 孙哲, 等. 不同NPK配比水溶性肥料对设施番茄品质及产量的影响[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2016, 34(6): 44-49.
LIU Zhongliang, ZHENG Jianli, SUN Zhe, et al. Effects of Different NPK ratio of water soluble fertilizer on tomato quality and yield in protected house[J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2016, 34(6): 44-49.
- [20] 潘瑞炽. *植物生理学*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
PAN Ruichi. *Plant physiology*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [21] 张军, 李建明, 张中典, 等. 水肥对番茄产量、品质和水分利用率的影响及综合评价[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(7): 215-222.
ZHANG Jun, LI Jianming, ZHANG Zhongdian, et al. Effect of water and fertilizer on yield, quality and water use efficiency of tomato[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2016, 44(7): 215-222.
- [22] 蒋卫杰, 余宏军, 朱德蔚, 等. 基质高产栽培番茄氮磷钾优化施肥方案研究[J]. *中国农业科技导报*, 2006, 8(5): 45-49.
JIANG Weijie, YU Hongjun, ZHU Dewei, et al. Study on optimization of N, P and K fertilizer on high yield tomato cultivation in growing media[J]. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2006, 8(5): 45-49.

Integrated Effects of Irrigation and Fertilization on Fruit Yield and Quality and Water-fertilizer Use Efficiency of Substrate-cultured Tomato

WANG Weijie, WANG Fadong*, ZHANG Xiaoyan
(Jinchang Academy of Agriculture, Jinchang 737100, China)

Abstract: 【Objective】 Water and nutrients combine to mediate crop acquisition of resources from soil. This paper studies the integrated effect of irrigation and fertilization on yield and fruit quality, as well as water use efficiency of substrate-cultured tomato. 【Method】 The experiment was conducted in a solar greenhouse at Hexi in northwestern China. The substrates used in the experiment comprised 50% of corn straw, 30% of slag, and 20% of cow dung and biological microbes. There were four irrigation-fertigation treatments: N 615 kg/hm², P₂O₅ 315 kg/hm², K₂O 750 kg/hm², and irrigation 6 000 m³/hm² (T0, used by local farmers); N 435 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 600 kg/hm², and irrigation 4 500 m³/hm² (T1); reducing the irrigation and fertilization in T0 by 10% (T2), reducing the irrigation and fertilization in T1 by 10% (T3). For each treatment, we measured fruit yield and quality, and its water use efficiency. 【Result】 Irrigation and fertilization affected fruit yield and quality, and the water-fertilizer utilization efficiency significantly. The biomass, oxidase activity, proline, quality indexes, yield, and water-fertilizer utilization efficiency of the crop were the highest in T3, least in T0, with T1 and T2 between. T3 gave the highest commercial-standard tomato fruits (87%) and best fruit flavor, with the ratio of soluble sugar to organic acids being 5.13. Compared to T0, other treatments increased the fruit yield by 3.6% to 27.8%. T3 gave the highest yield (152 489.25 kg/hm²), the highest irrigation water use efficiency and partial fertilizer productivity, which were 30.8 kg/m³ and 116.9 kg/kg, respectively. 【Conclusion】 Irrigating 4 950 m³/hm² of water coupled with fertilizing 480 kg/hm² N, 165 kg/hm² P₂O₅ and 660 kg/hm² K₂O was optimal to improve growth, fruit yield and quality, and water-fertilizer use efficiency of the substrate-cultured tomato grown in solar greenhouses in the arid areas in Hexi, northwestern China.

Key words: protected tomato; irrigation and fertilization; yield; quality; water and fertilizer utilization efficiency

责任编辑: 白芳芳