

不同水氮供应模式对设施番茄生长及产量的影响

张新燕¹, 王浩翔¹, 牛文全^{1,2*}

(1.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:【目的】探索合理的设施番茄水肥一体化滴灌系统模式 and 设计方法。【方法】以设施番茄为研究对象, 通过设置滴灌毛管布置方式(T1(1管1行)、T2(1管2行)、T3(1管3行)、灌水量(W1(50%ET₀)、W2(70%ET₀)、W3(90%ET₀))和施氮量(N1(120 kg/hm²)、N2(180 kg/hm²)、N3(240 kg/hm²))3因素3水平试验, 研究了番茄生长发育及产量指标对水氮供应的响应。【结果】灌水量和施氮量对番茄株高、茎粗、叶面积指数、光合作用、叶绿素量及产量均有显著影响。植株株高、茎粗、光合作用和产量随灌水量和施氮量的增加而增加, 但在生育后期N2水平株高和茎粗最大, 灌水因素对株高、茎粗和产量的影响大于施氮因素; 各处理叶面积指数最大差异出现在结果初期, 最大值(T1 W2N2处理)最小值(T3 W2N1处理)相差2.57; 影响叶片叶绿素量的施氮因素大于灌水因素, 中水(W2)、中肥(N2)叶绿素SPAD值最高, 在结果初期达66.2; 不同滴灌毛管布置方式影响最小, 均无显著差异。【结论】适宜的灌水量和施氮量不仅有利于番茄的生长, 还能获得较高产量。毛管布置方式为T2(1管2行)、灌水量W2(70%ET₀)、施氮量N3(N 240 kg/hm²), 其番茄植株生长发育最好, 经济产量最高(107 104.0 kg/hm²)。

关键词: 设施番茄; 滴灌施肥; 生长指标; 生理指标; 产量

中图分类号: S274.1; S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020054

张新燕, 王浩翔, 牛文全. 不同水氮供应模式对设施番茄生长及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(11): 55-60.

ZHANG Xinyan, WANG Haoxiang, NIU Wenquan. The Effects of Different Water-nitrogen Couplings on Growth and Yield of Greenhouse Tomato [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(11): 55-60.

0 引言

【研究意义】水肥的合理利用是提高作物生长和产量的关键因素^[1-2]。番茄需求量大, 营养价值高, 是蔬菜类生产中产量最高的品种, 在我国可四季生产, 但由于水肥施用不当而影响到番茄的生长和产量的提高^[3-4]。国内外学者对滴灌施肥条件下番茄的生长发育、产量等方面进行了大量研究。【研究进展】研究^[5-6]发现滴灌施肥可以同时节肥并提高作物产量, 增加施肥量和适当上调灌水下限可以显著提高番茄的光合速率、干物质量, 并通过滴灌施肥番茄的水肥调控效应发现, 节水25%和节肥25%可获得最高的产量和水分利用效率^[7], 且认为不同施入方式下灌水量和施肥量对番茄植株的影响很大, 与常规沟灌施肥相比, 滴灌施肥产量与灌水量和施肥量正相关, 增加施肥量带来的增产效应大于灌水, 且增加灌水量, 降低

施肥量, 水分利用效率逐渐下降, 肥料偏生产力逐渐上升^[8]。对膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研究发现灌水量和施肥量对番茄株高、产量影响显著, 番茄茎粗与施肥量差异显著^[9]。施肥量对秋冬茬番茄单果质量具有负效应, 果实产量随着施肥量增加呈先上升后下降的抛物线趋势^[10]。滴灌施肥模式除了考虑灌水量和施肥量因素外, 田间滴灌布置方式对其也有重要影响。在沙地番茄覆膜滴灌条件下, 1管1行布置方式其15 cm土层深度土壤含水率大于1管2行布置, 且大于30 cm土层深度, 而滴灌带数量对产量没有显著影响^[11], 增大滴管带间距是减少滴灌系统投资的重要因素之一^[12], 1管2行布置比1管1行布置滴灌带长度减少25%~50%、微管减少33%~55%, 可节省投资35%~41%^[13]。【切入点】国内对设施番茄滴灌施肥的研究中基本没有考虑田间滴灌毛管布置方式的影响, 国外主要考虑滴灌布置方式的影响, 很少考虑结合水肥共同作用进行研究, 而三者对番茄生长均有互作效应。为此, 本研究通过设施番茄滴灌施肥模式试验, 研究设施番茄不同田间滴灌毛管布置方式、灌水量、施肥量的优化配置。【拟解决的关键问题】探

收稿日期: 2020-02-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400202)

作者简介: 张新燕(1972-), 女, 河南开封人。副教授, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: xnvxy@nwsuaf.edu.cn

通信作者: 牛文全(1972-), 男, 甘肃甘谷人。研究员, 主要从事水土资源高效利用与节水灌溉技术研究。E-mail: nwq@vip.sina.com

索水肥一体化滴灌系统模式和设计方法,以期设施番茄水肥一体化技术的推广应用提供技术支撑和理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学北区旱作实验温室,位于东经 108°04',北纬 34°50'。室外年平均气温 13 °C,多年平均降水量 645 mm,年平均蒸发量 1 500 mm。温室长度 24.5 m、跨度 6 m、高度 2.5 m,内均分为 27 个测坑(小区),测坑长 2 m、宽 1.5 m,深度 2 m。测坑四周及底二四砖砌墙,水泥抹面,不透水;坑内土壤为杨凌壤土,体积质量 1.35~1.40 g/cm³,土壤基本理化性质为:pH 值 7.86,有机质量 1.152%,全氮量 0.123%,全磷量 0.078%,全钾量 1.850%。

供试番茄品种为毛粉 802,为无限生长型的中晚熟品种,具有果实肉厚,不易裂果,品质佳,商品性好,坐果力强,产量高等特点。供试氮肥为尿素,含氮 46%。

滴灌施肥设备主要由水源、水表、液压比例施肥泵、滴灌管和输配水管道等组成。供试用比例施肥泵进出水口径 25 mm,流量 20~2 500 L/h,水压 0.02~0.3 MPa。采用内镶式滴灌管,管径 $d=16$ mm,壁厚 0.20 mm,工作压力 50~100 kPa,滴头间距 0.30 m,额定流量 2.0 L/h。

1.2 试验设计

设置田间滴灌毛管布置方式、灌水量和施氮量 3 个因素。滴灌毛管布置方式设为 1 管 1 行(T1,滴灌管布设于各植株行)、1 管 2 行(T2,滴灌管布设于 2 植株行间)和 1 管 3 行(T3,滴灌管布设于 3 植株行的中间行) 3 个水平。灌水量设为 50% ET_0 (W1)、70% ET_0 (W2) 和 90% ET_0 (W3) 3 个水平(ET_0 根据王健等^[14]日光温室 Penman-Monteith 修正公式,估算结果为 310 mm)。参照当地施肥管理,施氮量设为 120 kg/hm² (N1)、180 kg/hm² (N2)、240 kg/hm² (N3)。采用三因素三水平正交试验设计,每个处理 3 个重复,共 27 个小区。番茄幼苗移栽定植时,按照番茄植株行距 50 cm、株距 30 cm,南北行向种植。

试验前对棚室测坑土地进行翻耕、平整。首先按施用量 20 010 kg/hm² 施入有机质量为 43%的有机底肥,深翻。6 月 15 日定植,定植后所有处理均灌定植缓苗水 30 mm。之后平均每隔约 10 d 灌 1 次水,在番茄生长期(6 月 24 日—9 月 25 日)共灌水 10 次,试验 W1、W2、W3 处理实际灌水总量分别为 160、220、280 mm。灌水量通过水表计量控制。不同处理

氮肥各等分为 10 份,配成肥液,通过液压比例施肥泵随灌溉水施入。田施磷肥(120 kg/hm²)全部基施,在结果期的第 1 穗果膨大期和第 2 穗果膨大期追施钾肥(150 kg/hm²),其他管理遵照温室番茄管理措施进行。

根据番茄生长特性结合田间实地观测,对比番茄生育阶段划分标准,将番茄生育期划分为苗期(6 月 15 日—7 月 25 日,包括缓苗期),花期(7 月 26 日—8 月 5 日),结果成熟期(8 月 6 日—9 月 25 日)。

1.3 测定指标及方法

株高、茎粗的测定:随机选取小区中不同株行长势正常的 3 株植株作为测定样本,在植株定植后 20 d 开始测量,每间隔 15 d 测 1 次。番茄各生育期植株株高用直(卷)尺测量从植株根部到顶端,茎粗用游标卡尺测植株茎秆子叶节上面的第 1 节间。

叶面积指数测定:采用长宽乘法,量出测坑中样本植株的每一片绿叶长和宽,并采用计数法记录测坑植株数和样本植株叶片数,计算单株叶面积和叶面积指数。

光合作用:在天气晴朗,光照充分的 09:00 左右,选取植株样本上顶叶,采用 LI-6400 便携式光合测定仪(LI-COR, Lincoln, USA)测光合作用。

叶绿素 SPAD 测定:选取植株样本靠近中上部、位置相同的健康叶片,采用手持便携式 SPAD-520 叶绿素测定仪测定叶片 SPAD 值。

产量测定:在果实成熟期,分别采摘每个小区成熟果子,用电子天平称质量。

2 结果与分析

2.1 水氮供应模式对番茄生长指标的影响

2.1.1 水氮供应模式对番茄株高茎粗的影响

由表 1 可知,番茄株高随着生育阶段的发展而增高,苗期不同处理株高差异不明显,平均株高 35.6 cm。随着植株生长,不同处理的影响差异随之增大,花期最大株高(T1W3N3 处理)与最小株高(T1W1N1 处理)相差 20.7 cm,至结果成熟期最大株高(T1W3N3 处理)与最小株高(T3W1N3 处理)相差 32.3 cm,其差异增大了约 1/3,且平均株高增加到 142.8 cm。

番茄茎粗随着生育阶段发展而增大,苗期平均茎粗仅有 2.8 mm,到结果期茎粗增加到 12.8 mm。处理之间的差异也随着生育期的发展而增大,由苗期相差 1.0 mm 增大到结果成熟期最大茎粗(T1W3N3 处理)与最小茎粗(T3W1N3 处理)相差 5.7 mm,增大了近 6 倍。

表 1 分析了不同管道布置方式 T、灌水量 W 和施氮量 N 对番茄株高、茎粗的显著性影响。随灌水量和施氮量的增加,植株株高和茎粗增加,仅在生育后期施氮影响表现不同,N2 处理株高和茎粗最大,N3

处理次之，可见适宜的施氮水平可以促进番茄生长，过多过少都会限制其生长发育。不同水氮供应模式下苗期（7月5日）番茄株高均没有显著差异；灌水水平在生育中后期均差异显著；施氮 N2 和 N3 水平在结果初期（8月5日）株高没有显著差异，其他均有显著差异。不同灌水水平和施氮水平下植株茎粗均没

有显著差异，仅灌水水平在生长中后期差异显著。相较于灌水因素和施氮因素，毛管布置方式的影响较小。毛管布置方式 T1 和 T2 水平下花期（7月20日）番茄株高和茎粗有显著差异，而 T3 水平与 T1、T2 水平除苗期外均差异显著；不同毛管布置方式对植株茎粗的影响均没有显著差异。

表 1 番茄株高茎粗的变化

Table 1 Change of stem length and thick of tomato

因素 Factors	平均株高/cm Average stem length				平均茎粗/mm Average stem thick			
	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日
T1	37.0±2.1a	78.1±4.9a	129.6±9.0a	146.0±4.4a	3.3±0.3a	8.2±0.5a	12.9±0.4a	13.4±0.7a
T2	35.2±2.7a	77.2±5.6b	128.7±9.5a	144.5±9.4a	3.5±0.3a	7.6±0.6b	12.8±1.1a	13.0±0.5a
T3	34.4±2.1a	74.6±4.6c	125.7±8.2b	140.7±11.9b	3.3±0.1a	7.8±0.1b	11.8±0.3b	12.4±0.9b
W3	36.3±2.9a	85.0±8.1a	136.1±8.9a	158.5±9.8a	3.7±0.3a	8.6±0.1a	14.4±1.0a	15.3±0.9a
W2	35.4±2.3a	76.8±1.1b	127.8±8.5b	140.2±6.8b	3.5±0.2a	7.8±0.4b	12.1±0.8b	12.5±0.2b
W1	34.9±2.3a	68.1±6.2c	119.8±11.7c	132.5±6.2c	3.0±0.2b	7.2±0.6c	11.0±0.8c	11.4±0.2c
N3	36.4±2.1a	78.2±7.7a	129.7±10.2a	143.5±9.6b	3.7±0.2a	8.3±0.8a	12.7±0.8a	13.3±1.4a
N2	35.1±1.3a	77.3±2.7b	128.5±4.0a	147.0±9.5a	3.2±0.1b	8.0±0.2a	12.8±0.8a	13.6±1.0a
N1	35.0±2.7a	74.4±1.1c	125.5±11.0b	140.7±6.0c	3.2±0.2b	7.4±0.1b	11.8±0.8b	12.4±0.9b

注 T 为毛管布置方式；W 为灌水量(mm)；N 为施氮量(kg/hm²)。表中±为标准差，同列不同字母表示差异显著(P<0.05)；下同。

Note T is the layout of the drip irrigation pipeline in field; W is the irrigation amount (mm); N is the N-fertilizer amount (kg/hm²). Symbol ± shows standard deviation, different letters in the same column indicate significant difference at (P<0.05); Same as below.

2.1.2 水氮供应模式对番茄叶面积指数 LAI 的影响

叶面积指数是反映作物群体大小的动态指标。如图 1 所示，不同水氮供应模式番茄叶面积指数随着番茄植株生长先增大后减小。由于苗期各处理番茄植株叶片较少，且单片叶片叶面积较小，苗期叶面积指数 LAI 平均值仅为 1.67，各处理间差异最小，相差仅 0.36。随着生长，在番茄花期各处理叶面积指数增长速度相

对加快，与生育时间基本成直线增加，到花期 LAI 平均值增加到 2.47，至结果初期，叶面积指数已达到最大值 6.19。之后逐渐减小，到结果中期番茄植株底部的叶片开始衰亡，叶面积指数减小为 5.46，后期仅为 5.01。各处理间差异最大出现在结果初期，最大值（T1W2N2 处理）与最小值（T3W2N1 处理）相差 2.57。

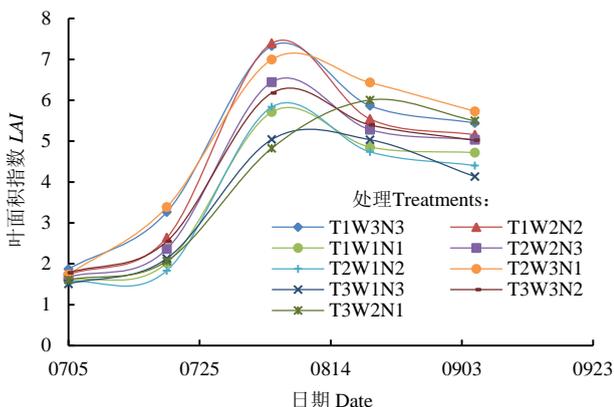


图 1 水氮供应模式下番茄叶面积指数

Fig.1 Tomato LAI on water and N-fertilization supply

2.2 水氮供应模式对番茄生理指标的影响

2.2.1 水氮供应模式对番茄光合作用的影响

番茄净光合速率在整个生育期呈波浪形变化（图 2），苗期光合作用较弱，平均值 6.40 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，花期光合作用增强，平均值基本达到峰值，15.61 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，且不同处理间差异增大。到番茄结果期，初期光合作用较强，后期较快速减小，下降幅度最大的是 T3W2N1 处理，幅度达到 12.6 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由表 2 可见，在番茄生育期，不同毛管布置方式下光合

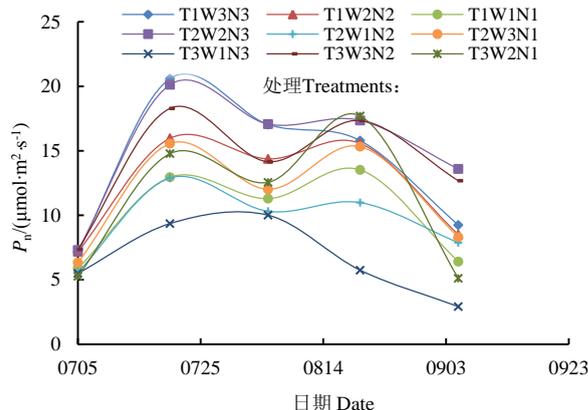


图 2 水氮供应模式下番茄净光合速率

Fig.2 Tomato P_n on water and N-fertilization supply

作用没有显著差异。在苗期，不同灌水量水平和施氮量水平光合作用差异显著，在其他生育阶段灌水 W1 水平和 W2、W3 水平有显著差异，而 W2 水平和 W3 水平间没有显著差异，施氮水平结果类同，仅在结果中期（8月20日）N3 水平与 N1、N2 水平差异显著。可得，对番茄光合影响最大的是灌水因素，随灌水量的增加，光合作用增强，反映了叶片对水分状况的敏感，间接反映了土壤水分对光合速率的影响。其次是施氮因素，基本表现为随着施氮量的提高，光合作用

增强。而毛管布置方式对光合影响最小。

表 2 番茄光合速率和叶绿素的变化

Table 2 Change of photosynthetic rate P_n and SPAD of tomato

因素 Factors	净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic rate P_n					SPAD				
	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日	9月5日	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日	9月5日
T1	6.74±0.56a	16.50±1.13a	14.23±0.17a	14.96±0.74a	8.05±0.50ab	50.70±1.48a	49.90±1.99a	61.80±4.47a	53.70±2.44a	49.70±1.73a
T2	6.41±0.37a	16.19±0.94a	13.13±0.59a	14.55±1.27a	9.93±0.41a	49.50±1.75a	49.80±3.13a	60.40±5.64a	55.20±3.80a	52.00±4.37a
T3	6.04±0.51a	14.14±0.89a	12.24±0.98a	13.59±0.91a	6.90±0.60b	48.90±4.07a	49.40±3.61a	58.30±5.42a	52.00±3.27a	47.90±4.72a
W1	5.66±0.57b	11.73±0.39c	10.53±0.77b	10.08±0.34b	5.74±0.38b	42.20±1.79b	47.10±0.37b	57.50±0.95b	49.80±3.01b	48.00±1.43a
W2	6.58±0.33a	16.96±0.97b	14.66±0.68a	16.88±1.05a	9.06±0.55a	51.90±0.21a	52.10±4.40a	62.40±4.03a	55.90±3.18a	50.60±2.85a
W3	6.95±0.61a	18.15±0.46a	14.40±0.86a	16.15±1.71a	10.08±0.63a	54.90±3.96a	49.80±3.37ab	60.60±4.92ab	55.20±3.32a	51.00±3.03a
N1	5.83±0.44b	14.43±0.64c	11.95±0.32b	15.51±0.75b	6.61±0.48b	47.50±2.38b	43.80±0.44b	57.80±3.46b	51.20±2.43b	43.50±3.05b
N2	6.71±0.54a	15.72±0.46b	12.94±0.45a	14.63±1.43b	9.69±0.65a	49.00±2.36ab	52.60±0.10a	62.90±3.75a	56.20±3.06a	53.80±4.41a
N3	6.65±0.55ab	16.69±1.45a	14.70±0.95a	12.96±0.89a	8.58±0.69a	52.60±1.90a	52.60±3.27a	59.80±1.64ab	53.50±3.21ab	52.30±5.25a

2.2.2 水氮供应模式对番茄叶绿素 SPAD 的影响

由表 2 可知,在番茄生育期间,不同毛管布置方式下 SPAD 没有显著差异。在苗期和花期灌水水平 W1 和 W2 有显著差异,但 W2 和 W3 水平无显著差异,到结果末期,不同灌水水平均没有显著差异,到结果末期,不同灌水水平均没有差异;施氮 N2 和 N3 水平在各个阶段无显著差异,但和 N1 水平有差异。可见适宜的灌水和施肥即可保证植株代谢和生长需求,过高灌水(W3)和施氮(N3)并没有促进代谢。同时,可以得出对番茄叶绿素量影响最大的是施肥因素,N2 水平叶绿素 SPAD 最大,N3 水平次之。其次是灌水因素,同样表现为 W2 水平叶绿素 SPAD 最大,W3 水平次之。可见适宜的施氮量和灌水量有利于叶绿素 SPAD 值提高。

表 3 水氮供应模式对番茄产量的影响

Table 3 Effect on yield of tomato on water and N-fertilization supply

处理 Treatments	因素 Factors			产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) Yield
	T	W	N	
T1W3N3	1	3	3	104140.3
T1W2N2	1	2	2	101618.7
T1W1N1	1	1	1	75490.0
T2W2N3	2	2	3	107104.0
T2W1N2	2	1	2	80670.7
T2W3N1	2	3	1	93914.8
T3W1N3	3	1	3	84630.5
T3W3N2	3	3	2	96159.5
T3W2N1	3	2	1	86780.0
k1	93749.7	80263.7	85394.9	-
k2	93896.5	98500.9	92816.3	-
k3	89190.0	98071.5	98624.9	-
极差 Range	4706.5	18237.2	13230.0	-
较优水平 Better level	T2	W2	N3	-

2.3 水氮供应模式对番茄产量影响

水氮供应模式对番茄产量的影响见表 3。灌水因素 W 和施氮因素 N 对番茄产量均有显著性影响,灌水水平 W1 和 W2 下番茄产量产生极显著差异,W2

和 W3 水平差异不显著;施肥水平 N1、N2、N3 均差异显著,N1 和 N2 以及 N2 和 N3 水平均没有极显著差异,但 N1 和 N3 水平之间差异极显著。不同毛管布置方式 T1、T2、T3 水平均没有极显著差异,而 T2 和 T3 水平产生显著差异。由极差分析可得,产量极差最大的是灌水因素,为 18 237.2 kg/hm^2 ,其次为施氮因素,毛管布置方式最小,仅为 4 706.5 kg/hm^2 ,比较可知,获得番茄高产的灌水量因素、施氮肥模式以及毛管布置方式的最优水平组合为 W2、N3、T2,该处理平均产量最高,为 107104.0 kg/hm^2 。

柯布-道格拉斯 (Cobb-Douglas) 生产函数模型运用数学的方法来描述生产过程中变量与变量之间的依存关系,表达多种投入因素对产量的影响程度。研究中由于毛管布置方式对番茄产量没有显著影响,因此以灌水量 (W) 和施氮量 (N) 为自变量,番茄产量为因变量,通过边际分析,建立 Cobb-Douglas 模型为:

$$Y = e^{7.98} W^{0.3677} N^{0.2722}, \quad (1)$$

式中: Y 为产量 (kg/hm^2); W 为灌水量 (mm); N 为施氮肥量 (kg/hm^2)。

在试验条件下,灌水量的生产弹性大于施氮肥量的生产弹性,即灌水量每增加 1%,番茄产量增加约 37%,施氮肥量每增加 1%,番茄产量增加约 30%。可见对番茄产量的影响,灌水因素大于施肥因素。

3 讨论

灌水对番茄株高、茎粗和叶面积指数等生长指标均有显著影响,且影响大于施肥因素,株高和茎粗均随灌水量和施氮量的增大而增大,叶面积指数随着番茄植株生长先增大后减小。袁宇霞等^[4]、张燕等^[7]、王秀康等^[9]研究结果均表明,增加灌水量和施肥量可以显著提高番茄株高、茎粗、叶面积和产量,但施肥量过高也不利于番茄生长和产量提高。而贾宋楠等^[10]研究发现,试验条件下施肥量对设施番茄叶片数影响

不显著,与株高和叶面积正相关,但因试验中施肥处理不同,施肥量与茎粗成负相关。同时,番茄生长指标也受其生育时期的影响而不同,张燕等^[7]发现生育前期不同水肥处理茎粗无显著差异,至生育末期出现显著差异。

设施番茄的光合作用在花期达到最强,受灌水和施肥模式的影响差异显著,且影响最大的是灌水因素,随灌水量的增加,光合作用增强,其次是施肥水平,基本表现为随着施肥水平的提高,光合作用增强。袁宇霞等^[4]、张燕等^[7]也发现增加施肥量和适当上调灌水下限可以显著提高番茄的光合速率和产量。而番茄叶绿素水平受施氮肥量影响较大,其次是灌水因素。研究发现适宜的灌水和施肥有利于叶绿素 *SPAD* 值提高,过高过低都会影响叶绿素水平。

与王秀康等^[9]研究结果相同,灌水因素和施肥处理对番茄产量影响均差异显著。在现有地力和生产力水平下,对番茄产量的影响,灌水因素大于施肥因素,灌水量每增加 1%,番茄产量增加约 37%,施肥量仅使产量增加不足 30%。而邢英英等^[8]认为水、肥是作物生长的 2 大影响因子,不合理的灌溉与氮肥量不仅难于增加产量,还会使土壤累积硝态氮,造成环境污染。产量和植株氮素吸收量均与灌水量和施氮肥量正相关,增加施肥量带来的增产效应大于灌水。贾宋楠等^[10]研究得出施肥量对秋冬茬设施番茄单果质量具有负效应,果实产量随着施肥量增加呈先上升后下降的抛物线趋势,即适量施肥可提高产量及水分利用效率。造成以上不同研究结果的原因均与具体的实验条件控制及当地的地力水平等因素有关。

不同毛管布置方式下番茄生长指标和产量均没有极显著差异。1 管 3 行毛管布置灌水不均匀,影响番茄植株生长和产量,而 1 管 1 行和 1 管 2 行布置方式在产量上没有显著差异。由于受当地土壤、环境等具体条件影响不同,这与 Mbarek 等^[15]的研究不同。Mbarek 等^[15]研究了滴灌技术不同毛管布置方式对温室番茄产量的影响,得出 1 管 2 行产量最高。而 Satpute 等^[13]研究了沙壤土滴灌带铺设方式和种植结构对番茄产量和系统投资的影响,认为种植结构对产量没有显著影响,而 1 管 2 行布置比 1 管 1 行布置可节省投资 35%~41%。因此综合考虑田间铺设的管道数量和投资,1 管 2 行较 1 管 1 行节约用管,结合不同毛管布置方式对番茄生长和产量的影响等因素,1 管 2 行是最佳毛管布置方式。

4 结论

1) 随灌水量和施氮量的增加,番茄株高和茎粗增大,光合作用增强,灌水对株高、茎粗、光合作用

的影响明显大于施氮影响。叶面积指数 *LAI* 呈先增大后减小的趋势。适宜的灌水和施氮有利于叶绿素 *SPAD* 值提高。

2) 灌水因素和施氮模式对番茄产量影响显著,且灌水因素大于施氮因素。获得番茄高产的灌水量因素、施氮模式以及毛管布置方式的最优水平组合为 W2 (70% *ET₀*)、N3 (240 kg/hm²)、T2 (1 管 2 行)。

参考文献:

- [1] 忠智博, 翟国亮, 邓忠, 等. 水氮施量对膜下滴灌棉花生长及水氮分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1):67-76.
ZHONG Zhibo, ZHAI Guoliang, DENG Zhong, et al. The impact of N application and drip irrigation amount on cotton growth and water and n distributions in soil mulched with film [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 67-76.
- [2] 高晶霞, 吴雪梅, 牛勇琴, 等. 拱棚辣椒水肥一体化技术试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(Supp.2): 42-47.
GAO Jingxia, WU Xuemei, NIU Yongqin, et al. Experimental study on water and fertilizer integration technology of capsicum in arch shed[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(Supp.2): 42-47.
- [3] 贺会强, 陈凯利, 邹志荣, 等. 不同施肥水平对日光温室番茄产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(7): 135-140.
HE Huiqiang, CHEN Kaili, ZHOU Zhirong, et al. Effects of different fertilization levels on yield and quality of greenhouse tomato[J]. Journal of Northwest A & F University (Na.Sci Ed), 2012, 40(7): 135-140.
- [4] 袁宇霞, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 76-83.
YUAN Yuxia, ZHANG Fucang, ZHANG Yan, et al. Effects of irrigation threshold and fertilization on growth, yield and physiological properties of fertigated tomato in greenhouse[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(1): 76-83.
- [5] BAR Yosef B, SAGIV B. Response of tomatoes to N and water applied via trickle irrigation system. I.[J]. Nitrogen. Agron.J., 1982, 74: 633-637.
- [6] LARA D, ADJANOHOUN A, RUIZ J. Response of tomatoes sown in the non-optimal season to fertigation on a compacted red ferrallitic soil[J]. Cultivar Tropicales, 1996, 17(1): 8-9.
- [7] 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): 206-212.
ZHANG Yan, ZHANG Fucang, YUAN Yuxia, et al. The effect of irrigation and fertilization on growth and quality of tomato under fertigation in greenhouse[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(2): 206-212.
- [8] 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.
XING Yingying, ZHANG Fucang, ZHANG Yan, et al. Effect of irrigation and fertilizer coupling on greenhouse tomato yield, quality, water and nitrogen utilization under fertigation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(4): 713-726.
- [9] 王秀康, 邢英英, 张富仓. 膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研

- 究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 141-150.
- WANG Xiukang, XING Yingying, ZHANG Fucang. Optimal amount of irrigation and fertilization under drip fertigation for tomato[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 141-150.
- [10] 贾宋楠, 范凤翠, 刘胜尧, 等. 滴灌施肥对设施番茄生长和品质的影响[J]. 节水灌溉, 2017(7): 28-37.
- 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, 34.
- [11] PITTS D J, ARNOLD C E, GRIMM J M. Influence of lateral tubing location and number on growth and yield of tomatoes with micro irrigation[J]. In: Proceedings of the Florida State Horticulture Society, 1989, 102: 304-307.
- [12] LAMM F R, STONE L R, MANGES H L, et al. Optimum lateral spacing for subsurface drip-irrigated corn[J]. Trans. ASABE, 1997, 40: 1 021-1 027.
- [13] SATPUTE G U, PAWADE M N. Effect of drip layout and planting geometries of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) on crop yield and cost of drip system[J]. In: International Agricultural Engineering Conference, 1992, 3: 218-240.
- [14] 王健, 蔡焕杰, 李红星, 等. 日光温室作物蒸发蒸腾量的计算方法研究及其评价[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6):11-14.
- WANG Jian, CAI Huan Jie, LI Hong Xing, et al. Study and evaluation of the calculation methods of reference crop evapotranspiration in solar-heated greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(6): 11-14.
- [15] MBAREK K B, BOUJELBEN A. Behavior of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and red pepper (*Capsicum annum* L.) crops under greenhouse conditions conducted in single and twin rows[J]. Tropicultura, 2004, 22(3): 97-103.

The Effects of Different Water-nitrogen Couplings on Growth and Yield of Greenhouse Tomato

ZHANG Xinyan¹, WANG Haoxiang¹, NIU Wenquan^{1,2*}

(1.College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: 【Background】 Tomato is one of the most consumed vegetables in the world and is often grown in greenhouse to bridge the seasonal production gap. Drip fertigation is commonly used in greenhouse tomato production as it not only saves water and fertilizer but could also improve tomato yield and quality. 【Objective】 The objective of this paper is to experimentally explore the drip fertigation system most suitable for greenhouse tomato production. 【Method】 The experiment of drip fertigation was carried out in a dry-land greenhouse and considered three factors: layout of the drip pipeline, irrigation and nitrogen application. We compared three pipeline layouts: one lateral line for each row (T1), one lateral line between two rows (T2), one lateral line between three rows (T3); three irrigation levels: 50% ET_0 (W1), 70% ET_0 (W2) and 90% ET_0 (W3); and three nitrogen levels: 20 kg/hm²(N1), 180 kg/hm²(N2) and 240 kg/hm²(N3). 【Result】 Both irrigation and fertilization affected plant height, stem diameter, leaf area index, photosynthesis, chlorophyll content and yield. Plant height, stem diameter, photosynthesis and yield increased with both irrigation amount and nitrogen application, especially the former two under N2 at later growth stage. Irrigation impacted plant height, stem diameter and fruit yield more than the nitrogen did, and the maximum difference in leaf area index between the treatment was at the beginning of the fruiting stage, with the difference between the maximum in T1+W2+N2 and the minimum in T3+W2+N1 being 2.57. In contrast, nitrogen application affected the chlorophyll content more than the irrigation did, with the SPAD of chlorophyll in W2 and N2 being the highest (66.2) at the beginning of the fruiting stage. The impact of the layouts of pipeline was least, and no significant difference was found between the three layouts. 【Conclusion】 Optimally coupling irrigation and nitrogen application not only promoted tomato growth, but also improved the yield. For our experiments, the optimal drip fertigation was one lateral pipeline between two plant rows, irrigating 70% of ET_0 and fertilizing 240 kg/hm² of nitrogen, which gave the highest yield 107 104.0 kg/hm².

Key words: greenhouse tomato; drip fertigation; growth indicators; physiological indexes, fruit yield

责任编辑：韩洋