

▪ 作物水肥高效利用 ▪

文章编号: 1672-3317 (2023) 06-0001-09

不同水氮供应对温室番茄各穗层果实 养分和产量构成的影响

李欢欢¹, 宋嘉雯^{1,2}, 孙景生¹, 王景雷¹, 强小嫚¹, 刘浩^{1*}, 郑明³, 娄玉军³

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所/农业农村部作物需水与调控重点开放实验室,

河南 新乡 453002; 2. 塔里木大学 水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300;

3. 内蒙古自治区水利事业发展中心, 呼和浩特 010020)

摘要:【目的】探明不同水氮供应对温室番茄各穗层果实养分和产量构成的影响。【方法】设计 4 个施氮水平 (0、150、300、450 kg/hm², 分别记为 N0、N1、N2、N3) 和 3 个基于 20 cm 标准蒸发皿累积蒸发量 (E_{pan}) 的灌溉水平 (50% E_{pan} 、70% E_{pan} 、90% E_{pan} , 分别记为 I1、I2、I3), 研究不同水氮供应对温室番茄各穗层果实含水率 (FW)、全氮量 (FTN)、全钾量 (FTK) 和产量构成的影响。【结果】番茄不同穗层的果实养分和产量构成要素存在显著差异, 其中第 1 穗层不协调的氮、钾比例不利于产量构成要素的提高, 第 2 穗层氮、钾的协同作用促使该穗层坐果数和平均单果质量最大。增加灌水量显著提高了各穗层 FW 、坐果数和平均单果质量, 但灌水量超过 70% E_{pan} 时, 各穗层坐果数增幅较小。增施氮肥显著降低了各穗层 FW , 促进了各穗层果实对氮、钾的吸收, 提高了坐果数和产量; 当施氮量超过 150 kg/hm² 时, 各穗层坐果数和产量增幅较小。与 N0 处理相比, N1、N2、N3 处理各穗层的平均坐果数分别提高了 13.94%、10.38%、10.68%, 产量分别提高了 13.63%、10.66%、8.42%。【结论】本研究区域最优的水氮管理模式为: 施氮量 150 kg/hm²+灌水定额 70% E_{pan} 。

关键词: 水氮; 温室番茄; 果实养分; 产量构成

中图分类号: S274.5

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022534

OSID:



李欢欢, 宋嘉雯, 孙景生, 等. 不同水氮供应对温室番茄各穗层果实养分和产量构成的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(6): 1-9.

LI Huanhuan, SONG Jiawen, SUN Jingsheng, et al. Effects of Water and Nitrogen Applications on Yield Components and Nutritional Composition of Greenhouse Tomatoes in Different Trusses[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(6): 1-9.

0 引言

【研究意义】番茄因口感好、营养丰富和含有抗氧化物质而备受消费者青睐^[1-2]。我国是番茄生产大国, 番茄产量从 2014 年的 5.26×10^7 t 增长至 2019 年的 6.29×10^7 t, 提高了 19.58%^[3]。番茄产量不仅受自身基因调控, 还受灌溉、施肥、气候和农艺措施等因素影响, 灌溉和施氮是影响番茄产量最重要的因素。

水、氮是影响作物生长发育和产量形成的 2 个主要限制因子^[4]。种植者为获得高额利润仍沿用传统的高水高氮灌溉施氮模式, 但过量灌溉和施氮不仅不利于产量和品质的提升, 还会导致土壤养分淋

失^[5-6]、氧化亚氮排放量增加^[7]、地下水污染^[8-9]等一系列环境问题。因此, 合理的水氮管理是实现资源高效利用的关键^[10-11]。

【研究进展】灌溉和施氮直接影响土壤中水分和养分状况, 间接影响植株养分变化。番茄 50% 以上的养分都集于果实^[12], 养分吸收状况决定了果实生长, 最终影响产量^[13]。以往研究^[14-16]表明, 番茄产量随着灌水量和施氮量的增大而增大, 超过一定范围则增幅不大甚至降低。灌溉和施氮可显著促进果实对氮、钾的吸收^[13], 适量的氮、钾施用可促进对彼此的吸收, 促进果实产量的形成; 反之会阻碍产量的形成^[17]。

番茄是营养和生殖生长同步进行的作物, 各穗层果实被叶片遮荫的面积和厚度各不相同, 导致接收太阳辐射的强度和时长也不同。各穗层果实生长发育不同步致使植株向各穗层果实转运的水分和养分也存在差异, 成熟果实的水分占鲜质量的 89%~95%^[18], 养分占整株养分的 50% 以上^[12]。番茄

收稿日期: 2022-09-26 修回日期: 2022-11-29 网络出版日期: 2023-05-05
基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (FIRI2022-15)
作者简介: 李欢欢 (1988-), 女, 助理研究员, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 13939018910@163.com
通信作者: 刘浩 (1977-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物水分生理及高效用水技术研究。E-mail: liuhao-914@163.com
©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

产量由各穗层的坐果数和单果质量构成,因此,果实水分和养分对各穗层产量构成要素必然会产生影响^[11,19]。目前,果实养分及产量构成要素在不同果枝间的变化已在苹果、枣和板栗等果树方面开展了研究;苹果和枣的产量构成要素在中部果枝最大;板栗产量构成要素在下部果枝最小,在中部和上部果枝间无显著差异^[20-22]。【切入点】然而,有关番茄果实养分和产量构成要素的研究大多局限于某一或某几穗层果实,更多的研究侧重于整株养分吸收和产量^[11,14,23],缺乏不同灌水量和施氮量对各穗层果实养分和产量构成要素的影响研究。【拟解决的关键问题】因此,本研究通过温室滴灌番茄试验,研究不同水氮供应对番茄各穗层果实含水率、养分和产量构成要素的影响,以期为实现温室番茄各穗层产量同步提升的水肥管理模式提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2020年3—7月在中国农业科学院新乡综合试验基地(35°9'N, 113°47'E, 海拔78.7 m)的温室中进行,该地区多年平均降水量为548.3 mm,多年平均蒸发量为1 908.7 mm,属暖温带大陆性季风气候,多年平均气温为14.1℃,日照时间为2 398.8 h,无霜期为200.5 d。

温室坐北朝南,东西走向,地表下沉50 cm,顶部和南侧面均覆盖无滴聚乙烯薄膜,墙体内镶嵌60 cm厚度的保温材料。为保证温室内夜间温度,在无滴聚乙烯膜表面覆盖2.5 cm厚度的棉被,温室内的温湿度由通风口控制。温室内土壤为粉砂壤土,0~60 cm土层的土壤体积质量为1.59 g/cm³,田间持水率为23% (质量含水率),番茄移栽前土壤养分状况如表1所示。

表1 试验开始前0~60 cm土层的土壤养分状况

土层/cm	速效磷量/ (mg kg ⁻¹)	碱解氮量/ (mg kg ⁻¹)	速效钾量/ (mg kg ⁻¹)	有机 质量/%	pH值	电导率/ (μS cm ⁻¹)
0~20	47.87	61.91	343.44	1.34	8.61	256.92
20~40	9.10	34.52	207.51	0.82	8.73	207.09
40~60	5.27	24.22	139.47	0.67	8.76	189.40

1.2 农艺栽培措施

番茄供试品种为火凤凰,生长发育至五叶一心时,采用宽窄行种植模式(65 cm×45 cm,株距30 cm),将长势一致、健康的幼苗移栽至每个小区。坐5穗果后留顶叶3~4片打顶,每穗层留果3~4个,侧枝生长至3~5 cm时进行移除,进入开花期后每7天

进行1次喷花,以提高番茄坐果率。其他农艺管理措施在所有处理间均一致。在每穗层90%的果实变红时开始进行采摘,5月21日采摘第1穗层果实,各穗层果实单独采摘,每7天采摘2次。

1.3 试验设计

采取裂区试验,设计4个施氮水平(主区)和3个灌溉水平(副区),共12个处理,每个处理重复3次。4个施氮水平分别为0、150、300、450 kg/hm² (分别记为N0、N1、N2、N3),3个灌溉水平的灌水定额分别为累积蒸发量(E_{pan})的50% (I1)、70% (I2)和90% (I3),其中 E_{pan} 为番茄冠层上方20 cm处的标准蒸发皿(直径20 cm,深11 cm)的累积蒸发量^[14]。所有小区施入等量的磷肥120 kg/hm² (Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, P₂O₅比例为14%) and 钾肥300 kg/hm² (K₂SO₄, K₂O比例为50%)。移栽前,将所有磷肥、40%的氮、钾肥均匀洒至土壤表层作为底肥,剩余60%分别在各穗层果实膨大期通过灌溉系统随水追肥。试验开始后于每日07:00采用量程为10 mm的量筒测量前1天的蒸发量,测量结束后将蒸发皿洗净,并重新注入20 mm蒸馏水,当 E_{pan} 达到(20±2) mm时,所有处理开始灌溉。移栽后,为保证活苗,所有处理灌溉20 mm活苗水,当0~40 cm土层的土壤含水率首次下降至田间持水率的65%±5%时,开始进行首次灌溉,试验结束前7 d停止灌溉。

1.4 观测项目与方法

1) 灌水定额计算式为:

$$I = \frac{E_{\text{pan}} \times K \times A}{1000}, \quad (1)$$

式中: I 为灌水量(m³); E_{pan} 为冠层上方20 cm处的标准蒸发皿的累积蒸发量(mm); K 为标准蒸发皿累积蒸发量控制灌溉的百分比(%); A 为控制灌溉小区面积(m²)。

2) 果实含水率(FW):于果实成熟期在各小区每个穗层选取4个大小均匀、无损伤、无病虫害且色泽一致的新鲜果实,用蒸馏水将每个果实清洗干净并擦干后测量其鲜质量,首先将新鲜果实放置在105℃烘箱中杀青30 min,在75℃烘箱中烘干至恒质量,最后用精度为0.01 g的电子天平测量其干质量,果实含水率的计算式为:

$$FW = \frac{W_{\text{鲜}} - W_{\text{干}}}{W_{\text{鲜}}} \times 100\%, \quad (2)$$

式中: FW 为果实含水率(%); $W_{\text{鲜}}$ 为果实鲜质量(g); $W_{\text{干}}$ 为果实干质量(g)。

3) 果实养分:将测量果实含水率对应的果实干物质粉碎后过0.15 mm筛,测量果实干物质的全氮

(TN) 和全钾 (TK) 量, 其中 TN 采用 AA3 流动分析仪 (AA3, Germany) 测定, TK 采用火焰光度计法测定, 并将干物质水平的氮、钾量转化为鲜果水平上的量, 新鲜果实全氮量 (FTN) 和全钾量 (FTK) 的计算式为:

$$FTN = \frac{100-FW}{100} \times TN, \quad (3)$$

$$FTK = \frac{100-FW}{100} \times TK, \quad (4)$$

式中: *FTN* 和 *FTK* 分别为新鲜果实的全氮量和全钾量 (mg/g)。

4) 果实坐果数、单果质量和产量: 为消除边际效应, 于果实成熟采摘期在每个小区中间选择 20 株植株, 记录 20 株植株每穗层的果实数, 每个处理重复 3 次, 并使用精度为 0.01 g 的电子天平称量每穗层的单个果实质量, 对各穗层果实产量进行单独核算。

1.5 数据处理方法

采用 Microsoft Excel 2016 和 Origin 2018 软件对数据进行分析 and 作图, 采用统计软件 SPSS 17.0 对试验数据进行方差分析, 采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

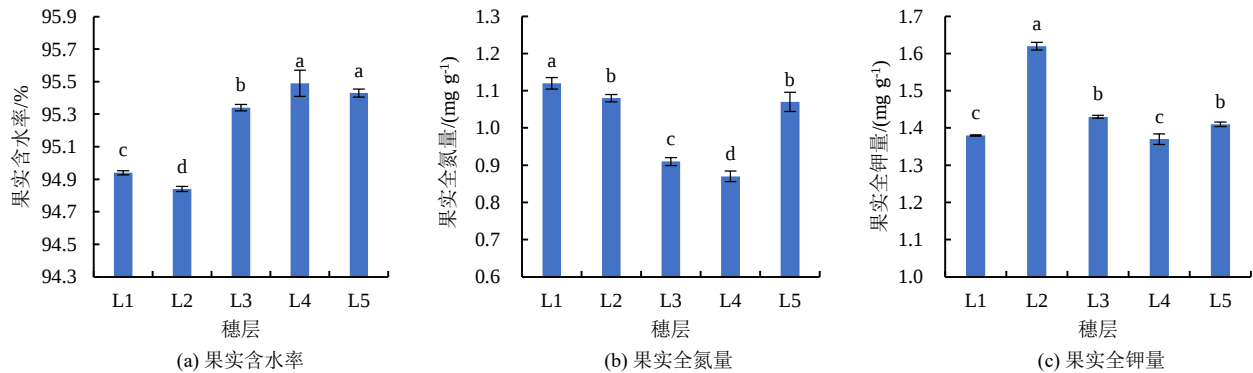


图1 番茄不同穗层间平均果实含水率、全氮量和全钾量的变化

Fig.1 Variation of average fruit water content, total nitrogen and total potassium among trusses for single-plant tomato

表 2 不同水氮处理下温室番茄各穗层果实含水率

Table 2 Effects of different water and nitrogen treatments on fruit water content of each truss in greenhouse tomato

处理		第 1 穗层/%	第 2 穗层/%	第 3 穗层/%	第 4 穗层/%	第 5 穗层/%
N	N0	95.16a	95.01a	95.59a	95.55a	95.49a
	N1	94.99b	94.92ab	95.29b	95.52a	95.44a
	N2	94.93b	94.76ab	95.28b	95.47a	95.41a
	N3	94.70c	94.65b	95.19b	95.41a	95.39a
I	I1	94.77c	94.64b	95.17b	95.36b	95.28b
	I2	94.93b	94.81b	95.28b	95.49ab	95.43ab
	I3	95.14a	95.06a	95.56a	95.62a	95.58a
Duncan(P)	N	**	ns	**	ns	ns
	I	***	***	***	**	**
	N×I	ns	ns	ns	ns	ns

注 表中小写字母是 5%显著水平下指标在纵向之间的差异性, *代表 $P<0.05$ 的显著性, **表示 $P<0.01$ 的显著性, ***表示 $P<0.001$ 的显著性, 下同。

2.2 灌水量和施氮量对各穗层果实养分的影响

2.2.1 各穗层果实全氮量 (FTN)

FTN 随穗层增加呈先减小后增大的变化规律 (图 1 (b)), 其中第 1 穗层最大, 第 4 穗层最小;

2 结果与分析

2.1 灌水量和施氮量对番茄各穗层果实含水率的影响

由图 1 (a) 可知, 番茄不同穗层间果实含水率 (*FW*) 存在显著差异。*FW* 随穗层增加呈先减小后增大的变化趋势, 其中第 4 穗层最大, 第 5 穗层次之, 第 2 穗层最小。

灌水量和施氮量对各穗层 *FW* 影响的方差分析结果表明 (表 2), 灌水量显著影响每穗层 *FW*, 施氮量仅显著影响第 1 穗层和第 3 穗层 *FW*, 而灌水量和施氮量的交互作用对各穗层 *FW* 均无显著影响。各穗层 *FW* 均随灌水量增大而增大, 与 I1 处理相比, I2 处理和 I3 处理各穗层 *FW* 平均分别提高了 0.16% 和 0.37%。各穗层 *FW* 均随施氮量增大而减小, 与 N0 处理第 1~第 5 穗层 *FW* 相比, N1 处理的 *FW* 分别降低了 0.19%、0.09%、0.31%、0.03% 和 0.05%, N2 处理的 *FW* 分别降低了 0.25%、0.26%、0.32%、0.08% 和 0.08%, N3 处理的 *FW* 分别降低了 0.49%、0.38%、0.42%、0.15% 和 0.11%, 说明增施氮肥对第 1~第 3 穗层 *FW* 影响相对较大, 而对第 4 穗层和第 5 穗层 *FW* 影响较小。

与第 4 穗层相比, 第 1、第 2、第 3 穗层和第 5 穗层的 *FTN* 分别提高了 28.61%、24.22%、4.33% 和 23.37%。灌水量、灌水量和施氮量的交互作用对各穗层 *FTN* 均未产生显著影响, 施氮量显著影响各穗

层 *FTN*。与 N_0 处理第 1~第 5 穗层的 *FTN* 相比, N_1 分别提高了 30.93%、26.32%、29.11%、13.58% 和处理的 *FTN* 分别提高了 10.31%、10.53%、13.92%、14.00%, 说明增施氮肥对第 1~第 3 穗层 *FTN* 的影响 4.94% 和 4.00%, N_2 处理的 *FTN* 分别提高了 20.62%、大于其对第 4 穗层和第 5 穗层的影响 (表 3)。
16.84%、16.46%、9.88% 和 10.00%, N_3 处理的 *FTN*

表3 水氮对温室番茄各穗果实全氮量 (*FTN*) 和全钾量 (*FTK*) 的影响

Table 3 Effects of water and nitrogen on the content of fruit total nitrogen and total potassium among trusses in greenhouse tomato

处理		<i>FTN</i> /(mg g ⁻¹)					<i>FTK</i> /(mg g ⁻¹)				
		第 1 穗层	第 2 穗层	第 3 穗层	第 4 穗层	第 5 穗层	第 1 穗层	第 2 穗层	第 3 穗层	第 4 穗层	第 5 穗层
N	N_0	0.97d	0.95c	0.79c	0.81b	1.00c	1.26d	1.51c	1.32c	1.29c	1.35b
	N_1	1.07c	1.05bc	0.90b	0.85b	1.04bc	1.34c	1.60bc	1.43b	1.35b	1.41ab
	N_2	1.17b	1.11ab	0.92b	0.89a	1.10ab	1.41b	1.66ab	1.45ab	1.40ab	1.43a
	N_3	1.27a	1.20a	1.02a	0.92a	1.14a	1.50a	1.71a	1.50a	1.42a	1.46a
I	I1	1.12a	1.09a	0.92a	0.88a	1.07a	1.37a	1.64a	1.45a	1.39a	1.44a
	I2	1.11a	1.08a	0.92a	0.86a	1.07a	1.37a	1.62a	1.43a	1.36a	1.40a
	I3	1.12a	1.06a	0.88a	0.87a	1.07a	1.40a	1.60a	1.40a	1.36a	1.40a
Duncan(P)	N	***	***	***	***	*	***	***	***	***	*
	I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	N×I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

2.2.2 各穗层果实全钾量 (*FTK*)

FTK 随穗层增加呈先增大后减小的变化规律 (图 1 (c)), 其中第 2 穗层最大, 第 4 穗层最小, 第 1、第 2、第 3 穗层和第 5 穗层的 *FTK* 相比第 4 穗层分别增加了 0.75%、18.57%、4.32% 和 3.28%。

灌水量、灌水量和施氮量的交互作用对各穗层 *FTK* 均未产生显著影响, 施氮量显著影响各穗层 *FTK*。与 N_0 处理的第 1~第 5 穗层的 *FTK* 相比, N_1 处理的 *FTK* 分别提高了 6.35%、5.96%、8.33%、4.65% 和 4.44%, N_2 处理的 *FTK* 分别提高了 11.90%、9.93%、9.85%、8.53% 和 5.93%, N_3 处理的 *FTK* 分别提高了 19.05%、13.25%、13.64%、10.08% 和 8.15%, 说明增施氮肥对第 1~第 3 穗层 *FTK* 的影响大于对第 4 穗层和第 5 穗层的影响。

2.3 灌水量和施氮量对各穗层产量构成要素的影响

2.3.1 各穗层坐果数

番茄不同穗层间坐果数的变化如图 2 (a) 所示。坐果数随穗层的增加呈先增大后减小的变化规律, 其中第 2 穗层最大, 第 3 穗层次之, 第 5 穗层最小。

灌水量和施氮量均极显著影响各穗层坐果数 (除第 2 穗层外), 灌水量和施氮量的交互作用仅显著影响第 1、第 4、第 5 穗层的坐果数 (表 4)。适量增加灌水量有利于提高各穗层坐果数, 但灌水量超过 70% E_{pan} 时的提升幅度不大甚至下降。与 I1 处理相比, I2 处理和 I3 处理的单株总坐果数分别提高了 11.51% 和 12.23%。适量增施氮肥有利于提高各穗层的坐果数, 但施氮量超过 150 kg/hm² 时, 提升幅度较小甚至下降 (除第 4 穗层外); 与 N_0 处理比较, N_1 、 N_2 处理和 N_3 处理的单株总坐果数分别提高了 15.33%、10.95% 和 13.87% (表 4)。

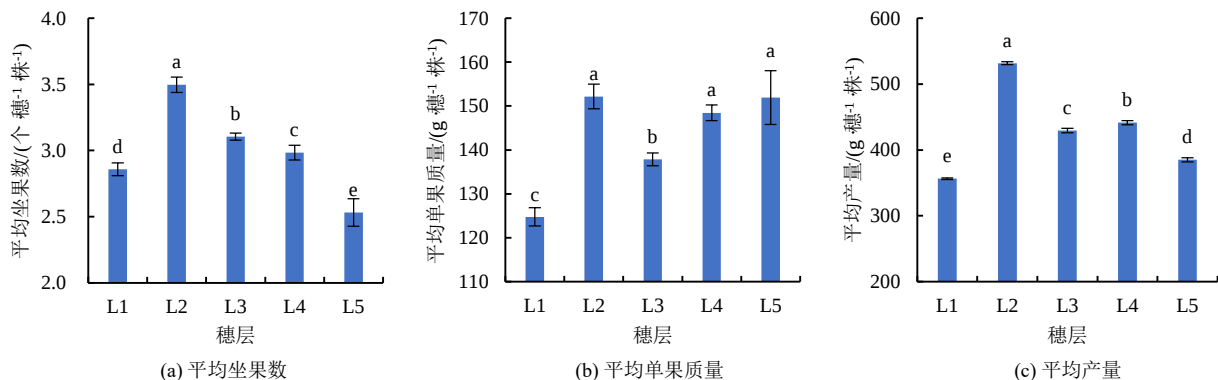


图 2 单株番茄不同穗层间平均坐果数、单果质量和产量

Fig.2 Variation of average fruit-setting number, fruit weight and yield among trusses for single-plant tomato

2.3.2 各穗层平均单果质量

番茄不同穗层间的平均单果质量存在显著差异 (图 2 (b)), 其中第 2 穗层最大, 第 1 穗层最小, 但第 2、第 4、第 5 穗层的平均单果质量无显著差异。

与第 1 穗层相比, 第 2、第 3、第 4 穗层和第 5 穗层的平均单果质量分别提高了 21.96%、10.50%、18.98% 和 21.76%。

灌水量、施氮量对各穗层平均单果质量的方差

分析表明（表 5），灌水量显著影响各穗层的平均单果质量，施氮量仅显著影响第 1、第 3 穗层和第 5 穗层平均单果质量，灌水量和施氮量的交互作用仅显著影响第 4 穗层的平均单果质量。同一施氮量下（除 N0 处理下的第 5 穗层和 N1 处理下的第 4 穗层外），增加灌水量有利于提高各穗层平均单果质量；

与 I1 处理相比，I2 处理和 I3 处理的单株平均单果质量分别提高了 5.05%和 12.23%。增施氮肥显著降低了第 1 穗层平均单果质量，提高了第 3 穗层和第 5 穗层平均单果质量，但无论对于哪一穗层，施氮量超过 150 kg/hm² 时提高幅度均不大甚至有下降趋势，且施氮对单株平均单果质量无显著影响。

表 4 水氮对单株番茄各穗层坐果数的方差分析

Table 4 Variance analysis of water and nitrogen on fruit-setting number per truss of single-plant tomato

处理		坐果数/(个穗 ⁻¹)					
		第 1 穗层	第 2 穗层	第 3 穗层	第 4 穗层	第 5 穗层	合计
N	N0	2.6b	3.4a	2.7c	2.7b	2.3c	13.7c
	N1	3.0a	3.6a	3.5a	2.9b	2.8a	15.8a
	N2	2.8b	3.5a	3.2b	3.1a	2.6ab	15.2b
	N3	3.1a	3.4a	3.1b	3.3a	2.4bc	15.3b
I	I1	2.7b	3.3c	2.9b	2.8b	2.2b	13.9b
	I2	2.9b	3.7a	3.2a	3.1a	2.6a	15.5a
	I3	3.1a	3.5b	3.2a	3.1a	2.7a	15.6a
Duncan(P)	N	***	ns	***	***	***	***
	I	***	***	***	***	***	***
	N×I	***	ns	ns	*	***	*

表 5 水氮对单株番茄每穗层平均单果质量的方差分析

Table 5 Variance analysis of water and nitrogen on average fruit weigh per truss of single-plant-tomato

处理		第 1 穗层/g	第 2 穗层/g	第 3 穗层/g	第 4 穗层/g	第 5 穗层/g	平均值/g
N0	I1	125.07bcd	145.84cde	130.31cd	145.49cd	142.97def	137.94fg
	I2	131.48abc	150.09abcde	136.75bc	147.69bcd	139.41ef	141.09ef
	I3	143.26a	158.93abc	145.41ab	160.42abc	149.05bcde	151.41abc
N1	I1	117.98cde	147.15bcde	142.67ab	168.66a	132.62f	141.82def
	I2	121.63bcd	155.02abcd	144.69ab	137.34d	146.31cdef	141.00ef
	I3	129.26abcd	161.76ab	149.18a	145.69cd	153.75bcde	147.93bcd
N2	I1	115.85de	139.18e	118.71e	138.54d	157.67bc	133.99g
	I2	121.01bcde	159.8abc	135.43bcd	149.28bcd	161.3b	145.36cde
	I3	129.4abcd	164.73a	146.32ab	161.72ab	162.88ab	153.01ab
N3	I1	106.66e	141.06de	124.86de	119.59e	144.05cdef	127.24h
	I2	120.4cde	146.89bcde	135.53bcd	144.49d	157.02bcd	140.86ef
	I3	135.27ab	155.61abcd	144.63ab	162.48ab	176.09a	154.81a
N	N0	133.27a	151.62a	137.49b	151.20a	143.81b	143.48a
	N1	122.96b	154.65a	145.51a	150.56a	144.22b	143.58a
	N2	122.09b	154.57a	133.49b	149.84a	160.62a	144.12a
	N3	120.77b	147.86a	135.01b	142.18a	159.05a	140.97a
I	I1	116.39b	143.31c	129.14c	143.07b	144.33c	135.25c
	I2	123.63b	152.95b	138.10b	144.70b	151.01b	142.08b
	I3	134.30a	160.26a	146.38a	157.58a	160.44a	151.79a
Duncan(P)	N	**	ns	*	ns	*	ns
	I	**	***	***	**	***	***
	N×I	ns	ns	ns	***	ns	**

2.3.3 各穗层产量

番茄不同穗层间的产量存在显著差异（图 2（c）和表 6），产量随穗层增加呈先增大后减小的变化趋势，其中第 2 穗层最大，第 1 穗层最小。第 1~5 穗层产量分别占单株总产量的 13.49%~19.42%、21.43%~27.19%、17.34%~22.83%、17.32%~22.99%和 15.12%~19.71%。

灌水量、施氮量及灌水量和施氮量的交互作用均极显著影响各穗层果实产量（ $P<0.001$ ）。同一施

氮量下，各穗层产量均随灌水量的增大而增大，与 I1 处理相比，I2 处理和 I3 处理的单株总产量分别提高了 17.53%和 25.91%，但 I2 处理的单株总产量相比 I3 处理的仅降低了 6.66%。同一施氮量下，适量施氮有利于提高各穗层产量，但施氮量超过 150 kg/hm² 时提高幅度较小甚至下降，与 N0 处理相比，N1、N2 处理和 N3 处理的单株总产量分别提高了 13.63%、10.66%和 8.42%。

表 6 水氮对单株番茄各穗层产量的影响

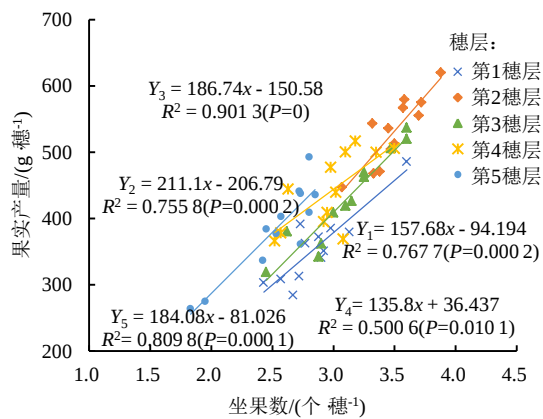
Table 6 Effects of water and nitrogen on each truss yield of single-plant-tomato

处理		第 1 穗层/g	第 2 穗层/g	第 3 穗层/g	第 4 穗层/g	第 5 穗层/g	合计/g
N0	I1	303.37fg	446.95g	319.36g	366.16f	275.15g	1 710.99h
	I2	362.79cd	555.23bcd	408.79d	377.97ef	336.97f	2 041.74f
	I3	391.41b	566.81bc	380.27e	477.21b	377.40e	2 193.11d
N1	I1	341.06e	504.58f	462.51c	444.13c	361.75e	2 114.03e
	I2	379.42bc	574.95b	520.19ab	394.75de	409.23c	2 278.54c
	I3	372.46bc	579.39b	536.71a	439.13c	435.89b	2 363.59b
N2	I1	313.02f	470.79g	342.12fg	408.76d	384.54de	1 919.23g
	I2	308.29f	619.98a	419.28d	499.79ab	437.98b	2 285.32c
	I3	385.09b	542.98cde	505.84b	499.96ab	441.05b	2 374.92b
N3	I1	284.28g	467.65g	361.95ef	368.81f	264.20g	1 746.88h
	I2	351.07de	512.91ef	426.42d	505.42a	402.96cd	2 198.78d
	I3	485.69a	535.99de	469.55c	516.67a	492.93a	2 500.82a
N	N0	352.52b	523.00bc	369.47c	407.11c	329.84c	1 981.94d
	N1	364.32a	552.97a	506.47a	426.00b	402.29b	2 252.05a
	N2	335.47c	544.58ab	422.42b	469.50a	421.19a	2 193.16b
	N3	373.68a	505.52c	419.31b	463.63a	386.70b	2 148.83c
I	I1	310.44c	472.49b	371.49c	396.96c	321.41c	1 872.78c
	I2	350.39b	565.77a	443.67b	444.49b	396.78b	2 201.09b
	I3	408.66a	556.30a	473.09a	483.24a	436.82a	2 358.11a
Duncan(P)	N	***	***	***	***	***	***
	I	***	***	***	***	***	***
	N*I	***	***	***	***	***	***

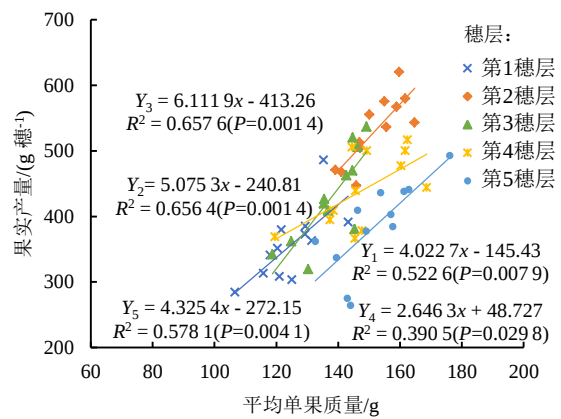
2.3.4 各穗层产量构成要素与产量的关系

番茄各穗层产量构成要素与其对应穗层产量之间的相关分析如图 3 所示。由图 3 (a) 可知, 各穗层产量与坐果数均呈极显著的正相关。各穗层产量

与平均单果质量均呈显著的正相关 (图 3 (b))。各穗层坐果数对产量的影响明显大于平均单果质量的影响。



(a) 产量与坐果数的相关性



(b) 产量与平均单果质量的相关性

图 3 单株番茄各穗层产量与坐果数和平均单果质量的相关性

Fig.3 Correlation between fruit yield, fruit-setting numbers and average fruit weight for each fruit truss

3 讨论

番茄不同穗层果实生长发育在时间上的不同步势必会造成其对水分和养分的吸收存在差异。本研究发现, 果实 *FTN* 随着穗层增加呈先降低后升高的变化趋势。主要原因如下: 一是从库源理论角度来说, 在果实生长发育过程中, 下层 (第 1、第 2 穗层) 果实坐果早, 中层 (第 3、第 4 穗层) 开花坐果时, 下层果实正处于快速膨大的生长旺盛阶段, 强

库有利于吸收更多的养分; 二是中层果实含水率显著高于下层 (图 1 (a)), 果实水分的稀释作用导致该层果实 *FTN* 显著降低。当顶层 (第 5 穗层) 的果实处于快速膨大期时, 植株营养生长已趋于稳定, 且前 3 穗层果实已成熟, 第 4 穗层果实已趋于成熟, 植株吸收的养分主要用于顶层果实的生长, 使顶层果实 *FTN* 提高。

适量施氮有利于钾的累积吸收, 过量或不足均不利于其对钾的吸收^[12]。由于不同穗层间 *FTN* 差异

较大，导致各穗层果实对钾的吸收差异较大。果实全钾量（*FTK*）在第 2 穗层最大，一方面是第 2 穗层 *FTN* 较适宜，促进了果实对钾的吸收，而齐红岩等^[17]和王军伟等^[24]研究表明，适量施氮可以促进果实对钾的吸收；另一方面是该穗层果实含水率的浓缩作用引起（表 2）。尽管第 1 穗层果实含水率较小，具有浓缩作用，但该层 *FTK* 不是最大的，因 *FTN* 过高抑制了果实对钾的吸收^[12]，说明施氮对果实钾吸收的影响大于果实含水率浓缩作用的影响。中层 *FTK* 较小，一方面是果实含水率的稀释作用引起的（表 2）；另一方面是 *FTN* 较低（图 1（b））不利于果实对钾的吸收^[12]。顶层 *FTK* 较低是果实含水率的稀释作用和氮过高抑制对钾的吸收共同影响的。因此，番茄的养分管理与粮食作物“前蓄后转”的养分调控理念不同^[25]，应依据自身长势、留穗层数及每穗层果实所需养分以“前降中补后降”的追肥管理策略进行，以达到节肥增效的目的。

减少灌水量使韧皮部汁液向果实的转运受阻，汁液中溶质浓度增加使通过木质部向果实输送的水量减小^[26]，因此果实含水率随灌水量的减少而显著降低，与前人研究结果类似^[27]。本研究发现，灌水量对 *FTN* 和 *FTK* 无显著影响，但以往研究结果表明，灌水量显著影响果实全氮量^[9,28]，这与本研究结果不一致。各穗层 *FTN* 和 *FTK* 随施氮量增大而显著增大，可能是增加施氮量促进了番茄根系的生长，使其从土壤中吸收更多的养分^[29]，这与汤明尧等^[12]的研究结果一致。

番茄不同穗层间坐果数和平均单果质量存在显著差异，且第 2 穗层坐果数和平均单果质量最大，可能是由于该穗层 *FTN* 和 *FTK* 较大（图 1（c）），二者的协同作用促进了番茄坐果、果实膨大和产量形成。孙红梅等^[30]也认为，合适的氮、钾浓度可显著增加番茄坐果和产量；第 5 穗层坐果数最少，主要是因为该穗层果实暴露在空气中的时长和面积增大，且该穗层开花坐果期 10:00—16:00 时间段空气温度较高，湿度小，高温低湿引起花蕾灼伤而降低了坐果率^[31]。由于第 1 穗层果实处于最底层，接收的太阳辐射较弱，光合能力弱^[32]，且高氮低钾不协调的氮、钾比例不利于果实膨大^[30]，使第 1 穗层平均单果质量降低，导致产量也降低。今后仍需进一步探究不同追肥模式对番茄各穗层果实产量构成要素的调控机制，以实现各穗层果实产量协同提升的目标。

本研究发现，适量增加灌水量可提高各穗层坐果数、平均单果质量和产量，但灌水量超过 70%*E_{pan}* 各穗层坐果数提高幅度不大甚至降低。Veit-Kohler 等^[33]研究表明，增加灌水量可显著提高

坐果数，但对单果质量无显著影响，这与本研究结果不一致。这可能是前人在果实生长阶段实施水分调控，且亏缺灌溉处理的灌水量相比高水处理下降了 15.00%。各穗层产量随灌水量的增大而提高，这与前人^[14,34]研究结果一致。适量施氮可显著提高各穗层坐果数、产量和单株产量，但施氮量超过 150 kg/hm²，其提高幅度不大甚至下降。一方面是施氮量超过了植株生长所需的最佳需氮量，破坏了植株重要的酶系统而停止生殖生长^[35]；另一方面是施氮量过大导致果实在膨大期落果而降低坐果数^[36]，致使产量下降。Loan 等^[37]研究表明，适量施氮（低于 180 kg/hm²）可提高坐果数，但对单株平均单果质量无显著影响，与本研究结果类似。但也有研究得出不同结论，如 Rashid 等^[38]和 Ahmad 等^[39]研究表明适量增施氮肥可显著提高单果质量和坐果数，过量施氮反而降低，这与本研究结果不一致，可能是种植密度及留穗层数不同，或是土壤基础肥力和区域气候差异所致。本研究发现番茄总产量主要受第 2 穗层和第 3 穗层产量影响，而第 1 穗层和第 5 穗层产量占总产量比例较小。因此，今后仍需进一步研究不同追施比对番茄各穗层产量形成的影响，明晰不同水氮供应对番茄各穗层果实产量构成要素形成的调控机制。

4 结 论

温室番茄不同穗层间果实含水率、养分吸收和产量构成要素存在显著差异，适时适量的灌水施氮对提高温室番茄各穗层果实养分吸收及产量形成具有重要作用。

增加灌水量显著提高了各穗层果实含水率、平均单果质量和坐果数，但灌水量超过 70%*E_{pan}* 时各穗层坐果数提高幅度不大甚至下降。

增施氮肥显著降低了各穗层果实含水率，提高了各穗层果实对养分的吸收和坐果数，但施氮量超过 150 kg/hm² 时各穗层坐果数提高不显著甚至降低，与 N0 处理相比，N1、N2 处理和 N3 处理单株总坐果数分别提高了 15.33%、10.95%和 11.68%。

增加灌水量主要是通过增加单果质量来提高产量，施氮主要是通过调控果实对氮、钾的吸收影响坐果数进而影响产量。综合考虑本研究区域最优的水氮管理模式为：施氮量 150 kg/hm²+灌水定额 70%*E_{pan}*。

（作者声明本文无实际或潜在的利益冲突）

参考文献：

- [1] DU Y D, CAO H X, LIU S Q, et al. Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and

- nitrogen under drip irrigation in Northwestern China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(5): 1 153-1 161.
- [2] LU J, SHAO G C, CUI J T, et al. Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis[J]. Agricultural Water Management, 2019, 222: 301-312.
- [3] 李欢欢. 温室番茄水氮互作效应与优化灌溉施氮模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- LI Huanhuan. Study on water-nitrogen interaction effect of tomato in greenhouse and optimized irrigation nitrogen application mode[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021.
- [4] 张超, 白云岗, 柴仲平, 等. 水肥协同对葡萄果粒生长、产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(7): 44-50.
- ZHANG Chao, BAI Yungang, CHAI Zhongping, et al. Effect of water and fertilizer synergy on growth, yield and quality of grape fruit[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(7): 44-50.
- [5] GALLARDO M, ELIA A, THOMPSON R B. Decision support systems and models for aiding irrigation and nutrient management of vegetable crops[J]. Agricultural Water Management, 2020, 240: 106 209.
- [6] MIN J, ZHANG H L, SHI W M. Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production[J]. Agricultural Water Management, 2012, 111: 53-59.
- [7] HE F F, JIANG R F, CHEN Q, et al. Nitrous oxide emissions from an intensively managed greenhouse vegetable cropping system in Northern China[J]. Environmental Pollution, 2009, 157(5): 1 666-1 672.
- [8] ZHANG W F, DOU Z X, HE P, et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(21): 8 375-8 380.
- [9] JALIL SHESBAHREH M, MOVAHHEDI DEHNAVI M, SALEHI A, et al. Effect of irrigation regimes and nitrogen sources on biomass production, water and nitrogen use efficiency and nutrients uptake in coneflower (*Echinacea purpurea* L.)[J]. Agricultural Water Management, 2019, 213: 358-367.
- [10] 张新燕, 王浩翔, 牛文全. 水氮供应对温室滴灌番茄水氮分布及利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(9): 106-115.
- ZHANG Xinyan, WANG Haoxiang, NIU Wenquan. Effects of water and N-fertilizer supplies on the distribution and use efficiency of water and nitrogen of drip-irrigated tomato in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(9): 106-115.
- [11] BADR M A, ABOU-HUSSEIN S D, EL-TOHAMY W A. Tomato yield, nitrogen uptake and water use efficiency as affected by planting geometry and level of nitrogen in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2016, 169: 90-97.
- [12] 汤明亮, 张炎, 胡伟, 等. 不同施氮水平对加工番茄养分吸收、分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1 238-1 245.
- TANG Mingyao, ZHANG Yan, HU Wei, et al. Effects of different nitrogen rates on nutrition absorption, distribution and yield in tomato[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(5): 1 238-1 245.
- [13] 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 膜下滴灌水肥耦合促进番茄养分吸收及生长[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 70-80.
- XING Yingying, ZHANG Fucang, ZHANG Yan, et al. Irrigation and fertilization coupling of drip irrigation under plastic film promotes tomato's nutrient uptake and growth[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(21): 70-80.
- [14] LIU H, LI H H, NING H F, et al. Optimizing irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality and water use efficiency of greenhouse tomato[J]. Agricultural Water Management, 2019, 226: 105 787.
- [15] ZOTARELLI L, SCHOLBERG J M, DUKES M D, et al. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(1): 23-34.
- [16] WANG C X, GU F, CHEN J L, et al. Assessing the response of yield and comprehensive fruit quality of tomato grown in greenhouse to deficit irrigation and nitrogen application strategies[J]. Agricultural Water Management, 2015, 161: 9-19.
- [17] 齐红岩, 李天来, 富宏丹, 等. 不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 2 268-2 272.
- QI Hongyan, LI Tianlai, FU Hongdan, et al. Effects of different rates of nitrogen and potassium on nutrient levels in tomato and soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 2 268-2 272.
- [18] 李欢欢, 刘浩, 庞婕, 等. 水氮互作对盆栽番茄生长发育和养分累积的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 272-279.
- LI Huanhuan, LIU Hao, PANG Jie, et al. Effects of water and nitrogen interaction on growth and nutrient accumulation of potted tomatoes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 272-279.
- [19] QU Zhaoming, QI Xingchao, LIU Yanli, et al. Interactive effect of irrigation and polymer-coated potassium chloride on tomato production in a greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2020, 235: 106 149.
- [20] 王琰, 范崇辉, 江道伟, 等. 苹果不同树形树冠特性和果实品质的比较[J]. 西北农业学报, 2011, 20(12): 93-97.
- WANG Yan, FAN Chonghui, JIANG Daowei, et al. Comparison on crown characteristics and fruit quality of different tree canopy shapes[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2011, 20(12): 93-97.
- [21] 卢明艳, 宋锋惠, 史彦江, 等. 骏枣不同树形冠层结构、产量和果实品质的比较[J]. 经济林研究, 2021, 39(4): 10-17.
- LU Mingyan, SONG Fenghui, SHI Yanjiang, et al. Comparison of canopy structures, yield and fruit quality in different shapes of Junzao[J]. Non-Wood Forest Research, 2021, 39(4): 10-17.
- [22] 马雅莉, 郭素娟. 叶幕微环境与板栗枝叶生长及果实产量的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(4): 47-57.
- MA Yali, GUO Sujuan. The relationship between leaf canopy micro environment, chestnut branch and leaf growth and fruit yield[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(4): 47-57.
- [23] MASOOD S, ZHAO X Q, SHEN R F. *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 272: 109 581.
- [24] 王军伟, 黄科, 毛舒香, 等. 基质栽培番茄营养液中氮、钾最佳浓度研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 2 019-2 028.
- WANG Junwei, HUANG Ke, MAO Shuxiang, et al. Optimum levels of nitrogen and potassium in the irrigation water for best growth and quality of tomato in soilless culture[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(11): 2 019-2 028.
- [25] 贾宋楠. 施肥对不同茬口设施番茄生长发育与养分吸收利用的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.
- JIA Songnan. Effects of fertilizer supply on growth, development, nutrient absorption and utilization of tomato in different cropping facilities[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2017.
- [26] MITCHELL J P, SHENNAN C, GRATTAN S R, et al. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1991, 116(2): 215-221.
- [27] MEDYOUNI I, ZOUAOUI R, RUBIO E, et al. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(4): 1 949-1 960.
- [28] ERDAL, ERTEK A, ŞENYİĞİT U, et al. Effects of different irrigation programs and nitrogen levels on nitrogen concentration, uptake and utilisation in processing tomatoes (*Lycopersicon esculentum*)[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(12): 1 653.
- [29] MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants[M]. London: Academic Press, 1995.
- [30] 孙红梅, 田爱民, 须晖, 等. 不同氮水平下钾肥对棚栽番茄的影响[J].

- 长江蔬菜, 2002(S1): 45-47.
- SUN Hongmei, TIAN Aimin, XU Hui, et al. Influence of K^+ fertilizer under different N level on greenhouse tomato[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2002(S1): 45-47.
- [31] 薛义霞, 李亚灵, 温祥珍. 空气湿度对高温下番茄生殖生长的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 291-295.
- XUE Yixia, LI Yaling, WEN Xiangzhen. Effects of air humidity on the flowering and fruit-setting of tomato under high temperature[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(15): 291-295.
- [32] 刘涛. 不同植物物种密度制约条件下光资源竞争研究[D]. 青海: 青海师范大学, 2019.
- LIU Tao. Plant light competition research between different species under density constraint conditions[D]. Qinghai: Qinghai Normal University, 2019.
- [33] VEIT-KÖHLER U, KRUMBEIN A, KOSEGARTEN H. Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of *Lycopersicon esculentum*[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 1999, 162(6): 583-588.
- [34] CHEN J L, KANG S Z, DU T S, et al. Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition[J]. Agricultural Water Management, 2014, 146: 131-148.
- [35] RIOS-GONZALEZ K, ERDEI L, LIPS S H. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources[J]. Plant Science, 2002, 162(6): 923-930.
- [36] 汪吉东, 曹云, 常志州, 等. 沼液配施化肥对太湖地区水蜜桃品质及土壤氮素累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 379-386.
- WANG Jidong, CAO Yun, CHANG Zhizhou, et al. Effects of combined application of biogas slurry with chemical fertilizers on fruit qualities of *Prunus persica* L. and soil nitrogen accumulation risk[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 379-386.
- [37] LOAN N T, CAN T T M. Effects of cover methods and nitrogen levels on the growth and yield of tomato[J]. Vietnam Journal of Agricultural Sciences, 2021, 4(2): 1 021-1 033.
- [38] RASHID Anwar, RAB Abdur, MOHAMMAD Haji, et al. Effect of row spacing and nitrogen levels on the growth and yield of tomato under walk-in polythene tunnel condition[J]. Pure and Applied Biology, 2016, 5(3): 66-73.
- [39] AHMAD C M S, CHAUDHRY M A. Effect of nitrogen on some yield parameters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under Maidugari environmental conditions[J]. Sarhad Journal of Agriculture, 1990, 6(2): 155-158.

Effects of Water and Nitrogen Applications on Yield Components and Nutritional Composition of Greenhouse Tomatoes in Different Trusses

LI Huanhuan¹, SONG Jiawen^{1,2}, SUN Jingsheng¹, WANG Jinglei¹,
QIANG Xiaoman¹, LIU Hao^{1*}, ZHENG Ming³, LOU Yujun³

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Water Use and Regulation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinxiang 453002, China; 2. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarin University, Alaer 843300, China; 3. Inner Mongolia Water Conservancy Development Center, Hohhot 010020, China)

Abstract: 【Objective】 Water and nitrogen are two factors influencing crop growth and yield the most. The purpose of this paper is to experimentally study their combined effect on fruit water content, nutrient translocation and accumulation, and yield components of fruits in different trusses of greenhouse tomato. 【Method】 The experiment was conducted in a solar greenhouse. It consisted of four pure nitrogen application amounts: 0 (N0), 150 (N1), 300 kg/hm² (N2) and 450 kg/hm² (N3), and three irrigation treatments by irrigating 50% (I1), 70% (I2) or 90% (I3) of the evaporation measured from a standard 20 cm pan (E_{pan}) installed in the greenhouse. In each treatment, we measured fruit water (FW) content, fruit total nitrogen (FTN) content, fruit total potassium (FTK) content, and the yield components of the fruits in every truss. 【Result】 There were significant differences in fruit nutrients and yield components between the trusses. The incongruous N/K ratio in the first truss did not support the improvement of yield components. The synergistic effect of N and K in the 2nd truss resulted in the largest fruit-setting numbers and average fruit weight. Increasing irrigation amount had no significant effect on FTN and FTK contents in every truss, but significantly increased FW content, fruit-setting numbers, average fruit weight and fruit yield of every truss. However, the increase in fruit-setting numbers in every truss became small when the irrigation amount exceeded 70% of E_{pan} . Increasing nitrogen fertilization significantly reduced FW content in every truss, promoted translocation of N and K to the fruits, and increased the fruit-setting numbers and fruit yield. However, the increase in fruit-setting numbers and yield was small or even negative when nitrogen fertilization exceeded 150 kg/hm². Compared with N0, N1, N2 and N3 increased the average fruit-setting numbers of every truss by 13.94%, 10.38% and 10.68% respectively, and the fruit yield by 13.63%, 10.66% and 8.42%, respectively. The significant difference in fruit-setting numbers and average fruit weight in each truss between the treatments was due to the variation in translocation of nutrient and water to the fruits in different trusses. 【Conclusion】 The optimal irrigation and nitrogen fertilization for greenhouse tomato studied in this paper is to irrigate 70% of E_{pan} and fertilize 150 kg/hm² of nitrogen.

Key words: water and nitrogen; greenhouse tomato; fruit nutrients; yield components

责任编辑: 韩 洋