

doi:10.11937/bfyy.20164967

# 大棚滴灌水肥一体化对番茄生长和产量的影响

于贤磊<sup>1</sup>, 窦超银<sup>1,2</sup>, 孟维忠<sup>2</sup>, 陈伟<sup>2</sup>, 延玮辰<sup>2</sup>

(1. 扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 辽宁省水利水电科学研究院, 辽宁 沈阳 110003)

**摘要:**以大棚番茄为研究对象,采用正交实验设计的方法研究了不同灌溉下限(15.6%、18.0%、20.4%)、施氮量(252.0、360.0、468.0 kg·hm<sup>-2</sup>)和施钾量(302.4、432.0、561.6 kg·hm<sup>-2</sup>)对番茄生长和产量的影响,并以传统沟灌灌溉作为对照,以确定适宜的水肥一体化灌溉施肥制度。结果表明:随着灌溉下限和氮、钾施用量的增大,株高、茎粗和叶面积指数(LAI)有减小的趋势,不同灌水下限和目标产量施肥量对株高和茎粗影响均不显著;在盛果期,低氮和低水处理 LAI 显著高于其它处理;与传统沟灌相比,滴灌具有增加产量的效果,考虑单因素作用,灌溉下限 18.0%、施氮量 360.0 kg·hm<sup>-2</sup>和施钾量 432.0 kg·hm<sup>-2</sup>分别获得最高产量 99.6、107.4、100.7 t·hm<sup>-2</sup>,其次为低灌溉下限和低肥量,高水分下限和高施肥量产量最低,即灌溉下限、氮素和钾素用量过高和过低均不利于高产;3个因素对产量影响的大小顺序为施氮量>施钾量>灌溉下限,获得高产量的最优组合为 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>W<sub>2</sub>。由此可见,在研究区施肥是影响设施农业产量的主要因素,高施肥量不利于高产,以土壤含水量为 18.0%,施氮量 360.0 kg·hm<sup>-2</sup>和施钾量 432.0 kg·hm<sup>-2</sup>进行水肥管理较为适宜。

**关键词:**滴灌;灌溉下限;随水施肥;施肥量;植株性状

**中图分类号:**S 641.225.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0007-07

滴灌水肥一体化是目前最先进的灌溉施肥技术之一,具有节水,节肥,省工,控温降湿,减少农药施用量及改善品质等优点<sup>[1-2]</sup>,是提高水肥利用效率、转变农业发展方式、缓解水资源紧缺的有效措施<sup>[3]</sup>。近年来,滴灌系统设备的不断改善和物联网智能化技术的日趋成熟,为水肥一体化的应用和精确调控水肥管理提供了硬件基础。但水肥一体化是一个复杂系统,包括灌溉系统,注肥系

统,控制系统和水肥制度等,其中,水肥制度直接影响作物生长,是决定水肥一体化技术效果的关键。

已有的研究表明水肥制度的制定受气候、土壤、作物和管理等多种因素影响,无统一参考标准,一般均根据试验因地制宜的制定。灌溉水量和施肥量是水肥制度的 2 个基本参数,基于土壤含水量下限控制和以目标产量施肥量为参考是确定参数的常用方法。有研究表明大棚番茄滴灌土壤含水量下限以田间持水量的 50%为宜<sup>[4]</sup>;秋冬茬番茄夏季育苗的灌水指标以基质的 75%相对持水量灌溉为宜<sup>[5]</sup>,但也有研究认为在基质相对含水率为 45%~55%的下限较为合适<sup>[6]</sup>。虞娜等<sup>[7]</sup>试验表明肥料用量以纯 N 和纯 K<sub>2</sub>O 均为 337.5 kg·hm<sup>-2</sup>时番茄产量最高,品质最好。董洁等<sup>[8]</sup>研究认为大棚番茄春季栽培尿素和硫酸钾最佳施用量分别为 1 875 kg·hm<sup>-2</sup>和 1 260 kg·hm<sup>-2</sup><sup>[7]</sup>;

**第一作者简介:**于贤磊(1992-),男,江苏丰县人,硕士研究生,研究方向为农业水土资源高效利用理论与技术。E-mail:2521002697@qq.com.

**责任作者:**窦超银(1982-),男,江苏如皋人,博士,高级工程师,现主要从事节水灌溉原理与技术等研究工作。E-mail:chydu@163.com.

**基金项目:**辽宁省科技攻关计划课题资助项目(2015103030)。

**收稿日期:**2017-02-22

王秀康等<sup>[9]</sup>综合考虑番茄产量和水分利用效率推荐氮肥用量为  $213.5 \sim 216.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 钾肥用量为  $133.4 \sim 135.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在辽宁地区, 水肥一体化灌溉施肥制度相关参数的研究还相对较少, 因此, 该研究针对辽宁地区滴灌水肥一体化技术应用现状, 对水肥一体化灌溉施肥制度开展基础研究, 以常规作物番茄为研究对象, 通过研究不同水肥条件对番茄生长和产量的影响, 以确定辽宁地区大棚番茄适宜灌溉施肥参数, 为该地区滴灌水肥一体化技术的合理应用和增产增效提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于辽宁省沈阳市黄家乡, 为平原地带, 属温带大陆性季风气候。供试土壤为粘壤土, 容重  $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 土壤饱和含水率为  $32.5\%$  (质量百分比, 下同),  $0 \sim 40 \text{ cm}$  土壤碱解氮、速效磷和速效钾平均含量分别为  $75.4$ 、 $18.4$ 、 $81.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有机质  $1.2\%$ , 土壤中等肥力偏下, 土壤 pH 7.1。

### 1.2 试验材料

供试番茄品种为“奥特优”, 由辽宁三星生态种业有限公司提供。

### 1.3 试验方法

试验于 2016 年 2 月 24 日至 7 月 15 日在辽宁省灌溉试验中心站进行。番茄采用大垄双行种植, 株行距  $0.45 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$ 。采用膜下滴灌灌

溉, 番茄定植前在垄中心铺设滴灌带, 滴头间距  $0.3 \text{ m}$ , 滴头流量  $1.38 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ , 覆膜完成后, 在滴灌带两侧水平距离  $0.2 \text{ m}$  处种植作物。番茄定植时, 为保证番茄缓苗率, 各处理统一灌水  $25 \text{ mm}$ 。此后, 根据试验方案进行灌溉。

番茄各处理施肥时间统一, 分别为种植前施底肥, 撒施腐熟的有机肥  $225 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , 施复合肥  $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。生长期追肥, 每次肥料用量根据处理设置而异。追肥均采用随水施肥的方式, 灌水  $15 \text{ mm}$ , 肥料在灌水约  $3/4 \sim 4/5$  时施完, 剩余水量用于冲洗管道内残留肥料。

试验采用正交设计, 根据灌溉下限、氮素使用量和钾素使用量设置不同处理。灌溉下限分别为  $15.6\%$  ( $W_1$ )、 $18.0\%$  ( $W_2$ ) 和  $20.4\%$  ( $W_3$ ); 氮素使用量设纯氮  $252.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_1$ )、 $360.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_2$ ) 和  $468.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_3$ ) 3 个水平, 钾使用量设纯钾 ( $K_2O$ )  $302.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $K_1$ )、 $432.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $K_2$ ) 和  $561.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $K_3$ ) 3 个水平。施肥量  $60\%$  用量作为底肥施入, 剩余用量分别在花期、坐果期、始收期和盛果期追施, 每次追施肥量为总量的  $10\%$ 。所施用的氮肥和钾肥分别为尿素 (含 N  $46\%$ ) 和硫酸钾 (含  $K_2O$   $50\%$ )。试验以当地传统种植采用沟灌灌溉方法作对照 (CK), 施肥量相当于中肥水平 (表 1)。试验在 3 个大棚中进行, 每 5 条垄为一小区 ( $7.5 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$ ), 设 5 条保护行, 单个大棚划分为 10 个小区, 随机布置 10 个处理, 每个处理设 3 次重复。

表 1

大棚番茄水肥一体化正交实验设计

Table 1

Orthogonal experimental design of tomato fertigation in the greenhouse

试验处理 Experimental treatment	水平组合 Factors combination	试验因素 Experimental factor		
		灌水下限 Lower limit of irrigation/%	施氮量 Nitrogen application dosage/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	施钾量 Potassium application dosage/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
1	$W_1 N_1 K_1$	15.6	252.0	302.4
2	$W_1 N_2 K_2$	15.6	360.0	432.0
3	$W_1 N_3 K_3$	15.6	468.0	561.6
4	$W_2 N_1 K_2$	18.0	252.0	432.0
5	$W_2 N_2 K_3$	18.0	360.0	561.6
6	$W_2 N_3 K_1$	18.0	468.0	302.4
7	$W_3 N_1 K_3$	20.4	252.0	561.6
8	$W_3 N_2 K_1$	20.4	360.0	302.4
9	$W_3 N_3 K_2$	20.4	468.0	432.0
10	CK	—	360.0	432.0

1.4 项目测定

土壤含水量通过 TRIME 测定,测量深度 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60 cm。番茄生长形态指标分别在苗期、花期、结果初期和盛果期用钢尺和游标卡尺测定株高、茎粗;叶面积在结果初期和盛果期之间开始摘果时加测 1 次(苗期叶面积较小未测定),叶面积指数(LAI)通过面积系数法计算得出,每个小区选 5 株观测。番茄产量每个小区用天平单独称量,结果期间每隔 3~5 d 采摘一次,累计得处理番茄产量。

1.5 数据分析

采用 Excel 2010 软件处理试验数据,单因素方差分析由 SPSS 11.5 软件分析。分析单因素对番茄生长和产量影响时,取单因素平均值。

2 结果与分析

2.1 水肥一体化对番茄生长的影响

2.1.1 株高

由表 2 可知,随着生育期的进行,各处理株高逐渐增大。花期到结果期株高增长最快,结果期到打顶次之,生长初期最缓慢,3 个时段日均生长 2.2、1.8、1.6 cm。从株高总体变化趋势来看,试

验设置各处理未改变作物生物学特性。

不同灌溉水分下限对番茄株高的影响表明,苗期 W<sub>1</sub> 处理与其它处理相比,株高最低,但差异未达显著水平;花期、结果初期和盛果期 W<sub>1</sub> 处理株高最高,W<sub>2</sub> 处理株高最低,其中,结果初期和盛果期 W<sub>1</sub> 处理与 W<sub>2</sub> 处理差异达到显著水平。CK 整个生长期株高与 W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 相近,花期后低于 W<sub>1</sub> 处理,在盛果期差异达到显著水平。株高的这种变化趋势可能是因为在番茄生长前期需要大量的水分保证生长需要,但随着生育期的进行,过多的水分反而会抑制株高的增长;不同氮量水平对番茄株高的影响表明,除了苗期 N<sub>1</sub> 处理较其它处理株高低之外,其它生育期 N<sub>1</sub> 处理株高均最高。苗期到结果初期处理之间差异不显著,盛果期 N<sub>1</sub> 处理株高显著高于 N<sub>2</sub> 和 CK。即氮肥施用量增加反不利于株高生长。不同钾量水平对番茄株高的影响表明,滴灌处理中,除了 K<sub>2</sub> 处理外,各水肥一体化处理株高均低于 CK。随着钾肥施用量的增加,植株株高有先增大后减小的趋势,花期和结果初期差异最为明显,其中花期 K<sub>2</sub> 处理与 K<sub>1</sub>、K<sub>3</sub> 处理差异达到显著水平,但花期后差异不再显著,说明施钾量过高和过低均不利于株高生长。

表 2 水肥一体化处理对番茄株高的影响

Table 2 Effects of fertigation application on plant height of tomato cm

试验因素 Experimental factor	处理 Treatment	苗期 Seedling stage	花期 Flowering stage	结果初期 Fruiting early stage	盛果期 Full productive stage
W	CK	17.7±2.9a	52.9±2.5a	105.5±4.6ab	143.7±9.2a
	W <sub>1</sub>	16.3±1.4a	53.5±6.3a	112.7±9.2b	157.1±7.9b
	W <sub>2</sub>	17.5±2.8a	49.4±8.0a	99.3±7.1a	139.1±5.9a
	W <sub>3</sub>	17.7±1.6a	52.7±2.2a	104.5±4.3ab	145.3±5.9a
N	CK	17.7±2.9a	52.9±2.5a	105.5±4.6a	143.7±9.2a
	N <sub>1</sub>	16.9±1.2a	53.9±4.3a	109.7±7.5a	154.2±6.5b
	N <sub>2</sub>	17.5±1.6a	51.7±6.2a	104.9±7.3a	142.6±7.7a
	N <sub>3</sub>	17.1±1.3a	49.9±2.8a	101.8±3.8a	144.8±4.5ab
K	CK	17.7±2.9a	52.9±2.5ab	105.5±4.6a	143.7±9.2a
	K <sub>1</sub>	16.2±1.2a	49.2±3.8a	103.0±6.1a	142.0±5.9a
	K <sub>2</sub>	18.3±1.8a	55.9±3.8b	110.5±7.1a	149.9±4.1a
	K <sub>3</sub>	17.0±1.6a	50.4±4.0a	102.9±6.2a	141.7±9.2a

注:同列均值后相同字母表示该生育期同一因素不同处理之间差异不显著,P>0.05。下同。  
Note: Within a column, data follow by the same letters indicate no significant difference (P>0.05). The same below.

2.1.2 茎粗

由表 3 可知,随着生育期的进行,各处理茎粗逐渐增大,结果期后茎粗基本稳定;茎粗变化缓

慢,从苗期到盛果期增长量在 5~7 mm;各处理之间茎粗差异较小,变幅在 1.5 mm 以内。CK 茎粗始终高于水肥一体化处理,但除在花期显著高

于  $W_2$ 、 $K_3$  处理外,其它处理差异均未达到显著水平。

灌溉下限对茎粗的影响表现为保持高水分下限有利于促进茎粗生长,但促进作用有限,除花期  $W_3$  处理茎粗显著高于  $W_2$  处理外,不同灌溉下限处理之间差异均未达到显著水平;施氮量对茎粗

影响较小,处理之间无明显变化趋势,方差分析表明,因施氮量引起的茎粗差异均未达到显著水平;随着钾肥使用量的增加,茎粗有减小趋势,但处理之间茎粗变幅较小。除在花期  $K_3$  处理茎粗显著小于 CK 和  $K_2$  处理外,不同处理之间差异均未达到显著水平。

表 3 水肥一体化处理对番茄茎粗的影响

Table 3		Effects of fertigation application on stem diameter of tomato				mm
试验因素	处理	苗期	花期	结果初期	盛果期	
Experimental factor	Treatment	Seedling stage	Flowering stage	Fruiting early stage	Full productive stage	
W	CK	6.9±0.4a	9.8±0.6a	12.1±1.4a	13.4±1.6a	
	$W_1$	6.0±0.5a	9.0±0.8ab	11.2±1.5a	12.5±0.6a	
	$W_2$	6.0±0.9a	8.5±0.5b	11.9±1.3a	12.7±1.1a	
	$W_3$	6.8±0.9a	9.8±0.8a	11.6±0.7a	13.2±0.6a	
N	CK	6.9±0.4a	9.8±0.6a	12.1±1.4a	13.4±1.6a	
	$N_1$	6.4±0.6a	9.5±0.5a	12.4±1.6a	13.4±0.4a	
	$N_2$	6.4±1.0a	9.8±0.8a	11.4±0.6a	12.7±0.6a	
	$N_3$	6.1±0.8a	9.0±1.0a	11.3±1.3a	12.3±1.1a	
K	CK	6.9±0.4a	9.8±0.6a	12.1±1.4a	13.4±1.6a	
	$K_1$	6.3±0.8a	8.9±0.7ab	11.2±1.6a	12.6±0.9a	
	$K_2$	6.3±0.5a	9.7±0.6a	12.4±0.8a	13.0±0.8a	
	$K_3$	6.2±0.8a	8.7±0.7b	11.2±0.3a	12.7±0.7a	

### 2.1.3 叶面积指数(LAI)

由表 4 可知,随着生育期的进行,叶面积指数逐渐增大,从花期均值 2.0 增长到盛果期 4.7,日均增长 8.9%,其中花期增速较慢,日均增长约 4.0%,结果期 LAI 增长较快,达到 11.0%。

不同灌溉下限对番茄 LAI 影响表明,花期 LAI 较小,处理之间变幅小,差异不显著;随着番茄生长, $W_1$  和  $W_3$  处理 LAI 接近,均高于 CK 和

$W_2$  处理,且  $W_3$  和  $W_1$  处理分别在始果期和盛果期与  $W_2$  处理差异达到显著水平;从始果期到盛果期, $W_1$  处理 LAI 增长最为明显,说明土壤水分含量保持在较高水平反不利于叶面积增加。施氮量对番茄 LAI 影响表明,花期 CK 的 LAI 最大,但和滴灌水肥一体化处理差异均未达到显著水平;花期后,LAI 随着施氮量的增加有减小的趋势,始果期和盛果期  $N_1$  处理 LAI 较  $N_3$  处理分别

表 4 水肥一体化处理对番茄 LAI 的影响

Table 4		Effects of fertigation application on leaf area index (LAI) of tomato			
试验因素	处理	花期	结果初期	始果期	盛果期
Experimental factor	Treatment	Flowering stage	Fruiting early stage	Harvesting early stage	Full productive stage
W	CK	2.1±0.1a	2.4±0.3ab	3.2±0.3ab	4.6±0.3ab
	$W_1$	2.0±0.2a	2.3±0.2a	3.3±0.4ab	5.1±0.3b
	$W_2$	1.8±0.2a	2.2±0.1a	2.9±0.5a	4.4±0.4a
	$W_3$	2.0±0.6a	2.7±0.3b	3.5±0.1b	4.6±0.4ab
N	CK	2.1±0.1a	2.4±0.3a	3.2±0.3a	4.6±0.3ab
	$N_1$	2.0±0.3a	2.5±0.1a	3.6±0.2b	5.1±0.2b
	$N_2$	1.8±0.1a	2.4±0.1a	3.2±0.3a	4.5±0.3a
	$N_3$	1.9±0.3a	2.3±0.6a	2.9±0.2a	4.5±0.3a
K	CK	2.1±0.1a	2.4±0.3a	3.2±0.3a	4.6±0.3a
	$K_1$	1.8±0.2a	2.3±0.2a	3.4±0.1a	4.4±0.4a
	$K_2$	1.8±0.2a	2.6±0.2a	3.7±0.3a	4.9±0.1a
	$K_3$	2.0±0.4a	2.4±0.4a	3.6±0.3a	4.8±0.3a

高出 24.1%和 13.3%，且差异均达到显著水平；同时，N<sub>2</sub> 和 N<sub>3</sub> 处理 LAI 一直低于 CK，尽管氮素是叶片生长需要的主要养分之一，但结果表明叶面积和施氮量并不成正比，高施氮量，尤其在滴灌条件下，不利于叶片生长。施钾量对番茄 LAI 的影响表明，花期仍是 CK 的 LAI 最大，处理之间差距小，差异不显著；随着番茄生长，花期后，K<sub>2</sub> 处理 LAI 始终高于其它处理，K<sub>3</sub> 处理效果低于 K<sub>2</sub> 处理，但高于 K<sub>1</sub> 处理和 CK；K<sub>1</sub> 处理 LAI 始终维持在相对较低水平；表明相对氮素，番茄喜钾，尽管试验各施钾量处理之间差异不显著，但高施钾量对 LAI 仍有一定的提升作用。

2.2 水肥一体化对番茄产量影响

由表 5 可知，对照 CK 产量 87.5 t·hm<sup>-2</sup>，除了处理 6 和处理 7 外，其余水肥一体化各处理产量均高于 CK。极差分析结果表明，不同灌溉下限水平下，产量从大到小顺序为 W<sub>2</sub>>W<sub>1</sub>>W<sub>3</sub>>CK，W<sub>2</sub> 处理产量最高，达到 99.6 t·hm<sup>-2</sup>，分别高出 CK、W<sub>3</sub> 和 W<sub>1</sub> 处理 13.8%、2.6%和 1.1%；不同氮量施用条件下，各处理产量从大到小顺序为 N<sub>2</sub> > N<sub>3</sub> > N<sub>1</sub> > CK，N<sub>2</sub> 处理产量 107.4 t·hm<sup>-2</sup>，分别高出 N<sub>1</sub>、N<sub>3</sub> 和 CK 16.5%、12.2%和 22.7%。不同钾量施用条件下，各处理产量从大到小顺序为 K<sub>2</sub>>K<sub>1</sub>>K<sub>3</sub>>CK，K<sub>2</sub> 处理产量 100.7 t·hm<sup>-2</sup>，分别高出 K<sub>3</sub>、K<sub>1</sub> 和 CK 5.6%、1.6%和 15.1%。说明与传统沟灌相比，滴灌具有增加产量的效果，灌溉下限、氮素和钾素用量过高和过低均不利于高产。

表 5 水肥一体化番茄产量极差分析

Table 5 Range analysis of the yield under fertigation condition

试验处理 Experimental treatment	试验因素 Experimental factor			产量 Yield /(t·hm <sup>-2</sup> )
	W	N	K	
1	1	1	1	94.3
2	1	2	2	99.3
3	1	3	3	102.0
4	2	1	2	104.8
5	2	2	3	106.8
6	2	3	1	87.1
7	3	1	3	77.4
8	3	2	1	116.0
9	3	3	2	98.0
K <sub>1</sub>	295.6	276.5	297.4	CK=87.5
K <sub>2</sub>	298.7	322.1	302.1	
K <sub>3</sub>	291.4	287.1	286.2	
K <sub>1</sub> 平均	98.5	92.2	99.1	Σ=885.7
K <sub>2</sub> 平均	99.6	107.4	100.7	
K <sub>3</sub> 平均	97.1	95.7	95.4	
优平均	W <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	
R <sub>j</sub>	2.5	15.2	5.3	
主次顺序	NKW			

根据正交实验产量方差分析结果(表 6)，灌溉下限、施氮量和施钾量对产量影响均不显著，原因可能是该试验误差大且自由度小。根据极差分析结果可以认为，W<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 和 K<sub>2</sub> 有利于高产，灌溉下限、施氮量和施钾量对产量的影响顺序为施氮量>施钾量>灌溉下限，获得高产量的最优组合为 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>W<sub>2</sub>。

表 6

水肥一体化番茄产量正交方差分析

Table 6 Variance analysis of the orthogonal test for the yield under fertigation condition

试验因素 Experimental factor	平方和 Quadratic sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	Sig.
W	8.95	2	4.47	0.015	0.985
N	379.64	2	189.82	0.646	0.608
K	44.48	2	22.24	0.076	0.930
误差	587.64	2			

3 讨论与结论

滴灌水肥一体化技术改变了传统水肥分离的田间管理模式，以水肥耦合作用理论为基础，滴灌水肥一体化一方面通过水分增强质流和扩散，使

土壤养分离子向作物根系的迁移；另一方面，通过施肥促进作物对水分的吸收、转运和利用<sup>[10]</sup>，从而有利于提高水肥资源的有效性和利用率。在设施农业中，滴灌水肥一体化更有利于改善土壤温度，温室气体温湿度，间接降低作物各种病害发

生<sup>[11-12]</sup>,这些技术优势均为提高生产和生态效益提供了理论基础。作物生长和产量的变化是对滴灌水肥一体化土壤和温室小气候条件变化的响应,是最为直接的应用效果体现,常作为滴灌水肥一体化灌溉施肥制度制定的主要依据。

袁宇霞等<sup>[10]</sup>研究表明适宜的水肥用量有利于作物生长健壮,当水肥用量过高时反不利于增长。刘浩等<sup>[13]</sup>和牛勇等<sup>[14]</sup>研究也得到同样结论,水肥过量易造成叶子过茂,花果脱落,坐果数降低,产生畸形果,影响果实的产量及品质。该试验结果与已有研究成果不完全一致,各处理茎粗差异不明显,这可能由于试验中水肥设置未构成茎粗生长的限制性因素,其生长主要受作物自身遗传特性影响。研究中处理之间株高和 LAI 的差异说明株高受灌溉方式相对施肥量更为明显,高水分下限和高施肥量均不利于株高和 LAI 生长,这可能是由于试验区地下水位高,且春夏茬周边农田均种植水稻,地下水位被进一步抬升,沟灌条件下湿润面积大,且干湿交替,有利于根系扩散生长并形成庞大的根系,为地上部分植株生长提供条件;而滴灌水肥一体化灌溉条件下,灌溉下限过高,土壤长期保持湿润,通气性差,不利于株高和 LAI 生长,在番茄生长的中后期,灌溉下限为 15.6% 可获得良好长势;高施肥量对水分吸收无法起到促控作用,不仅没有促进植株生长,在番茄生长中后期,反而会抑制植株生长,低氮和中钾用量即能够有利于植株生长。

研究者们在水肥用量对作物产量影响的研究中,结论较为统一,普遍认为适度用量可获得高产,高用量和低用量均不利于高产<sup>[10,13,15]</sup>。该研究表明灌溉下限过高,灌溉频繁,土壤长期保持湿润状态,较灌溉下限过低更不利于产量形成;在试验设定的氮肥和钾肥施用量范围内,肥料用量的改变对产量没有显著的增产或减产作用。根据极差分析结果,施氮量是影响地区番茄产量的主要因素,其

次为施钾量,灌溉下限作用最小,获得高产的最优组合是中氮,中钾和灌溉下限控制在 18.0%。

## 参考文献

- [1] BHAT R, SUJATHA S, BALASRNHA D. Impact of drip fertigation on productivity of arecanut (*Areca catechu* L.) [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 90(1-2): 101-111.
- [2] 李龙臣,曹嘉,李连忠,等.设施园艺滴灌技术发展中的问题及建议[J]. *山东林业科技*, 2003(2): 51-52.
- [3] 陈小彬.水肥一体化技术在设施农业中的应用调查:以绿丰农业科技有限公司为例[D].福州:福建农林大学,2014.
- [4] 李建明,潘铜华,王玲慧,等.水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(10): 82-90.
- [5] 田巧玲,王吉庆,邵秀丽,等.不同灌水下限对日光温室秋冬茬番茄穴盘苗生长的影响[J]. *北方园艺*, 2012(21): 39-41.
- [6] 赵青松,李萍萍,王纪章,等.不同灌水下限对黄瓜穴盘苗生长及生理指标的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(6): 31-35.
- [7] 虞娜,张玉龙,邹洪涛,等.温室内膜下滴灌不同水肥处理对番茄产量和品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 60-64.
- [8] 董洁,邹志荣,燕飞,等.不同施肥处理对大棚番茄养分吸收的影响[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(2): 155-158.
- [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.
- [10] 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.
- [11] JARVIS W R. Managing diseases in greenhouse crops [J]. *Plant Disease*, 1989, 73(3): 190-194.
- [12] GUZMAN-PLAZOLA R A, DAVIS R M, MAROIS J J. Effect of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) [J]. *Crop Protection*, 2003, 22(10): 1157-1168.
- [13] 刘浩,段爱旺,孙景生,等.温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2699-2704.
- [14] 牛勇,刘洪禄,吴文勇,等.不同灌水下限对日光温室黄瓜生长指标的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 28(3): 81-84.
- [15] 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.

## Effects of Fertigation Application on Growth and Yield of Tomato in Greenhouse

YU Xianlei<sup>1</sup>, DOU Chaoyin<sup>1,2</sup>, MENG Weizhong<sup>2</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>, YAN Weichen<sup>2</sup>

(1. School of Hydraulic Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009; 2. Water Conservancy and Hydropower Science Research Institute of Liaoning, Shenyang, Liaoning 110003)

**Abstract:** The experiments were carried out by using orthogonal test design. Tomato was taken as material, and irrigation limit (15.6%, 18.0% and 20.4%), dosage of nitrogen ( $252.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $360.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $468.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) and potassium ( $302.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $432.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $561.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) were conducted, while local furrow irrigation was used as check treatment. The results showed that, with the increasing irrigation limit and dosage of fertilizer, a decreasing trend of plant height, stem diameter and LAI was displayed; different irrigation limit and target yield dosage showed no significant effect on plant height and stem diameter, while at full productive stage, LAI treated with lower irrigation and lower nitrogen dosage was significantly higher than other treatments. Compared to the traditional furrow irrigation, drip irrigation had the effect of increasing yield. Considering the single factor, irrigation limit 18.0%, dosage of nitrogen  $360.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and potassium  $432.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  got the highest yield of  $99.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $107.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $100.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  respectively, which indicated that higher dosage and water content were adverse to yield, next lower dosage and water content. The order of the effective on the yield from high to low was dosage of nitrogen, dosage of potassium, and irrigation limit, and the optimum combination was  $\text{N}_2\text{K}_2\text{W}_2$ . Therefore, in the research area, fertilizer was the key factor to the yield and showed negative effect with high dosage. When fertigation was applied in the greenhouse, 18.0% as the irrigation limit,  $360.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of nitrogen and  $432.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of potassium was recommended.

**Keywords:** drip irrigation; irrigation limit; fertigation; fertilizer dosage; plant characteristic

## 欢迎订阅 2018 年《北方园艺》

主 管: 黑龙江省农业科学院  
刊 号: CN 23-1247/S

主 办: 黑龙江省农业科学院、黑龙江省园艺学会  
邮发代号: 14-150

半月刊 每月 15、30 日出版 单价: 15.00 元 全年: 360.00 元

投稿网址: [www.haasep.cn](http://www.haasep.cn)

全国各地邮局均可订阅, 或直接向编辑部汇款订阅。

自 2017 年 13 期起,《北方园艺》栏目改版, 设有研究论文、研究简报、设施园艺、园林花卉、资源环境生态、贮藏加工检测、中草药、食用菌、专题综述、产业论坛、不定期刊登栏目(农业经纬、农业经济、农业信息技术)、实用技术、新品种(彩版); 刊载文章力求体现科研—生产—技术服务的全产业链, 汇聚园艺行业最新科研成果, 跟踪园艺学科最新研究热点, 期待广大作者、读者、编委一如既往的支持我们。

中文核心期刊(1992—2014)

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

中国农业核心期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部  
邮编: 150086 电话: 0451-86674276 信箱: bfybjb@163.com

