



## 滴灌条件下不同水肥因子对温室番茄生长发育和产量的影响

孙文涛 汪仁

(辽宁省农科院环境资源与农村能源研究所, 沈阳, 110161)

**摘要:** 以番茄为供试作物, 在温室内采用二次D-饱和最优设计进行水肥试验, 探讨了滴灌条件下水、肥交互作用对温室番茄生育前期株高、茎粗以及产量的影响。试验结果表明: 植株高度与钾肥用量呈正相关关系, 植株的粗细与氮肥用量呈正相关关系; 影响番茄产量的主要因素是灌水量与钾肥用量的交互作用, 其次是氮肥用量; 从产量角度评价, 以中等氮肥用量、高钾肥用量和高灌水量为水肥调控的最佳组合。

**关键词:** 水肥耦合 温室 番茄 滴灌

保护地蔬菜生产为发展农村经济、增加农民收入和丰富城乡人民的菜篮子方面发挥着十分重要的作用。目前, 滴灌等先进灌溉方法正在被日益广泛地引入到保护地蔬菜生产中, 但在保护地这一特殊条件下如何科学地使用该方法尚缺少深入系统的研究; 另一方面, 保护地生产中施肥方面也存在着氮磷过剩, 而钾素及中微量元素严重不足等养分失调问题, 由此引发了较为严重的蔬菜生理病害和土壤退化现象。因此, 如何将灌水与施肥两者科学地结合起来, 使之更好地发挥作用, 不仅是一理论问题, 也具有十分重要的实际意义。

本试验目的在于对滴灌应用于保护地的灌水技术及灌水与施肥相配合的水肥管理技术进行探讨, 以期为保护地蔬菜生产进行科学的水肥综合管理, 发展综合农业技术, 实现农业的高产、优质提供技术支持与理论依据。

## 1. 研究方法

### 1.1 试验材料和方法

保护地微区试验于2005年3月~7月在辽宁省农科院土肥所蔬菜温室进行。供试土壤为耕型壤质草甸土。其土壤理化性质如表1。

表1 供试土壤基本理化性质

土层 (厘米)	pH	有机质 (%)	全氮 (毫克/公斤)	碱解氮 (毫克/公斤)	速效磷 (毫克/公斤)	速效钾 (毫克/公斤)	田间持水量 (%)
0~20	6.52	2.95	101	140	105	136	27.2

供试作物为番茄, 品种为L-402。移栽时番茄苗龄65天, 3月23日定植, 5月11日摘心。缓苗后每周一进行一次番茄株高和茎粗调查。共进行5次测定, 每次测定值取15株的平均值。株高量取叶片所能达到最高高度, 茎粗在地上1厘米处量取。

试验采用微区的方法进行, 共设10个处理, 各处理重复3次。每个小区面积为1.65米<sup>2</sup>, 番茄栽植的株距30厘米、行距55厘米, 每小区栽番茄10株。为防止水分互渗, 在小区之间埋设55厘米深的塑料布和油毡纸以作防渗隔离层。事先按设计要求配好肥料溶液, 肥料溶液注入塑料桶内, 将该桶置于桶底距地面1.92米高处, 溶液由塑料软管导出, 经滴灌管由滴头滴入土壤中。用测定土壤含水

量的方法确定灌水时间, 本试验计划湿润层为 0~20 厘米, 土壤湿润比以 70% 计。

## 1.2 试验设计

试验采用 310 二次 D-饱和和最优设计, 其编码及肥料、水分处理实施方案如下。

1.2.1 试验肥料: 试验用氮肥、钾肥、磷肥分别为尿素、硫酸钾和过磷酸钙。磷肥各处理用量相同, 均为  $P_2O_5$  14 公斤/亩, 全部做基肥施入。氮肥和钾肥 1/3 作为基肥施入, 其余的 2/3 在番茄第一穗果膨大期和第二穗果膨大期分两次以营养液的形式追施。

1.2.2 处理水平: 码值水平为: -1、0.1925、-0.2912、1 共 4 个处理水平。

氮素 (N) 水平: 即 5 公斤/亩(低水平)、15.6 公斤/亩(中等水平)、23 公斤/亩(丰富水平)、35 公斤/亩(高水平)。

钾肥 ( $K_2O$ ) 水平: 即 0 公斤/亩(不施钾肥)、14.2 公斤/亩(中等水平)、24 公斤/亩(丰富水平)、40 公斤/亩(高水平)。

灌水 (W) 水平: 至田间持水量的 90%(28.49 毫米、高水平)、74%(21.64 毫米、丰富水平)、64%(17.35 毫米、中水平)、50%(8.33 毫米、低水平)。

即: 各处理水肥配比方案为:

I 低 N、无 K、低 W; II 高 N、无 K、低 W; III 低 N、高 K、低 W; IV 低 N、无 K、高 W;  
V 低 N、丰 K、丰 W; VI 丰 N、丰 K、丰 W; VII 丰 N、无 K、低 W; VIII 中 N、高 K、高 W;  
IX 高 N、低 K、高 W; X 高 N、高 K、中 W。

## 2. 试验结果与分析

### 2.1 对番茄植株高度的影响

测定结果表明, 番茄生育前期株高基本随栽植后时间增长呈直线增加, 到 5 月 8 日(移栽后 45 天), 各处理间番茄株高测定值表现出了比较明显的差异(表 2)。一般认为, 在一定数量范围内, 水、肥供应越充足番茄植株生长越旺盛, 但水、肥过量供应反倒有可能引起负效应, 为此, 应用逐步回归方法对番茄株高、茎粗与水、肥处理间的关系进行统计计算, 逐步回归采用了如下数学公式表达:

$$y = b_0 + b_1N + b_2K + b_3W + b_4NK + b_5NW + b_6KW + b_7N^2 + b_8K^2 + b_9W^2 \quad (1)$$

式中  $y$  为观测的番茄植株茎粗或株高,  $N$ 、 $K$ 、 $W$  分别代表氮、钾 ( $K_2O$ ) 和水分用量,  $b_i$  为系数。考虑到能够引入到公式中的变量数量的多少, 引入与剔除变量的标准  $F$  选取为  $F = 2$ 。

番茄株高 ( $y$ ) 与氮肥 ( $N$ )、钾肥用量 ( $K_2O$ ) 和灌水量 ( $W$ ) 之间的关系式为:

$$y = 116.3642 + 2.1841K - 3.1905KW - 4.9923N^2 \quad (2)$$

$$(F = 20.414^{**}, F_{0.05} = 4.76, F_{0.01} = 9.78)$$

方程 (2) 的  $F$  检验结果达极显著水平, 说明可以用来定量描述水、肥用量与番茄株高间的关系。从方程的各项次系数可以看出, 番茄植株的株高与钾肥用量呈正相关, 即在一定范围内, 钾肥用量越高番茄株高越高。如表 2 所示, 处理 III 的植株明显高于处理 V 和处理 VI; 同样, 从处理 I (低 N、无 K 和低 W) 和处理 III (低 N、高 K、低 W) 的株高上也明显地反映出钾肥对植株株高的正效应。但钾肥用量与灌水量的交互呈负相关。说明在钾肥用量一定的条件下, 灌水越多不利于植株株高的增加, 反之亦然。株高与氮肥用量的平方项呈负相关, 说明氮肥用量过高, 对植株的株高呈负效应, 这与生产实际相符合, 氮肥过量使用, 引起硝化作用相对减弱, 致使植株生长受到抑制, 严重时会引起氨中毒。

表2 番茄移栽后不同时期株高测定结果(厘米)

处理	4月3日 (移栽后10天)	4月10日 (移栽后17天)	4月17日 (移栽后24天)	4月30日 (移栽后38天)	5月8日 (移栽后45天)
I	37.3	48.8	63.8	86.6	98.3
II	38.5	48.5	63.9	85.4	106.2
III	41.3	54.0	67.7	91.8	128.1
IV	41.9	54.5	68.9	94.6	102.2
V	42.2	55.1	70.4	95.9	120.0
VI	38.9	51.4	67.0	92.6	115.9
VII	37.7	50.9	65.0	90.5	115.1
VIII	40.0	53.3	68.3	93.8	105.8
IX	39.7	52.4	67.1	91.8	101.2
X	38.7	50.4	65.3	89.7	112.9

## 2.2 对番茄植株茎粗的影响

调查结果表明,不同处理的番茄移栽15天后,植株茎粗发生了不同程度的变化(表3见17页),各处理移栽时平均茎粗0.579厘米,到4月17日增加到0.937厘米,增长了0.358厘米,平均每天增加0.015厘米,说明番茄定植后15天左右,植株茎粗生长处于迅速增加期。而4月30日到5月8日,8天时间,平均每天茎粗增加0.002厘米,即定植30天后,植株茎粗生长速度变缓。

用逐步回归方法计算番茄茎粗(y)与氮肥(N)、钾肥用量(K<sub>2</sub>O)和灌水量(W)之间的关系,当引入与剔除变量的标准F选取为F=2,所得关系式为:

$$y=1.1813+0.0359N \quad (3)$$

$$(F=6.487^*, F_{0.01}=11.26, F_{0.05}=5.32)$$

从式(3)可以看出,在所有因子和交互项中,只有氮素因子对植株茎粗影响显著。式(3)F检验结果达到了5%显著水平,能够较好地表达水、肥因子与番茄茎粗的关系。该式说明番茄的茎粗与氮肥用量呈直线正相关,即在一定范围内,氮肥用量越高,番茄的茎粗越粗。5月8日茎粗测定结果以处理X为最大,这可能与高量的氮、钾肥用量与中等灌水量交互作用有关。(表3见17页)

## 2.3 不同处理对番茄产量影响

表4是番茄产量的试验结果。通过对各处理累计测产平均值进行回归统计,得出水肥交互作用对番茄产量的效应方程:

$$Y=6653.2074+2.8859N+1.5193K+0.2812W-3.223 \times 10^{-3}N^2-0.11043 \times 10^{-3}K^2-1.6564 \times 10^{-3}W^2+2.1018 \times 10^{-3}NK+2.8617 \times 10^{-3}NW+1.6112 \times 10^{-2}KW$$

式中Y为番茄产量(公斤/亩),N、K分别为氮肥和钾肥施用量(公斤/亩),W为累积灌水量(米<sup>3</sup>/亩)。由于本试验采用D—饱和设计,故这里对该回归方程的显著性进行x<sup>2</sup>检验,结果x<sup>2</sup>=0.027538,远远低于其临界值(x<sup>2</sup><sub>0.05</sub>=16.92, df=9),用上述方程计算出的番茄产量(y)与实测产量(x)两者关系呈Y=0.9989x+0.015 r=1.000\*\*线性关系,由此可以直观地看出,番茄产量效应方程能很好地表达番茄产量与施用氮肥、钾肥和灌水量之间的关系。

表4 番茄产量实测值与水肥效应方程计算值的比较 (公斤/亩)

处理	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
实测值	6968.5	7390.6	7584.1	7004.5	7754.5	8224.2	7394.7	8846.5	8162.8	8417.6
计算值	6968.3	7390.6	7584.1	7004.5	7754.5	8224.2	7394.7	8846.6	8162.8	8417.6

为了有效地克服各因子间的相互影响,用逐步回归分析方法对氮肥、钾肥用量和灌水量及其交互作用因子与番茄产量间的关系进行探讨,当变量引入和剔除标准选为 $F=1.5$ 时,入选的因子只有氮肥用量、灌水量与钾肥用量交互因子两项,其回归方程为

$$Y=7033.947+1.827KW +1.5360 \times 10^{-3}N$$

该式符号的意义同前。对该回归方程显著性进行F检验,结果达到1%显著水平 $[r=0.985, F=114.10, F(6,3)_{0.01}=9.78]$ ,从图1也可以看出,以由逐步回归方法求得的优化番茄产量水肥效应方程具有相当高的可靠性。由此可见,影响番茄产量最主要的因素是钾肥与灌水量的交互作用,其次为氮肥用量,其它因素则居次要地位。

钾素对番茄产量的影响作用可以从表4的数据中得到直观说明。在10个处理中,不管施用氮肥和灌水量水平如何,凡是未施用钾肥的处理(处理I、处理II、处理IV和处理VII),单位面积产量均未超过7400公斤/亩,平均为7240公斤/亩。施用钾肥数量中等水平的处理(处理V和处理VI),平均产量为7989公斤/亩;施用高量钾肥的处理(处理III、处理VIII和处理X),平均产量达到8288.6公斤/亩,高于中等钾肥用量处理平均产量299.2公斤/亩。在10个处理中,番茄单位面积产量超过8000公斤/亩的仅有4个,它们分别是处理VI、处理VIII、处理IX和处理X,其中以处理VIII为最高,其次为处理X,说明施用钾肥有利于番茄产量的提高。因此,从番茄产量高低角度评价,以中等氮肥用量、高量钾肥用量和高量灌水组合效果最佳。

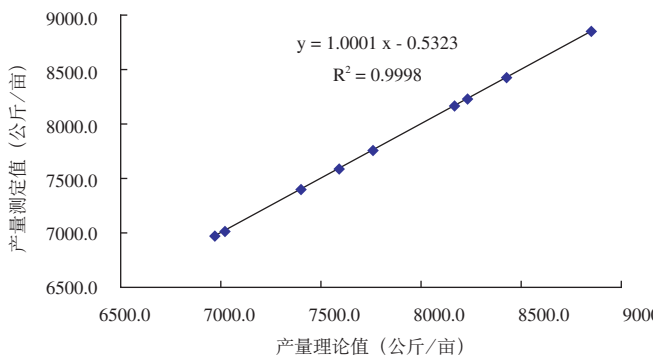


图1 优化水肥效应方程预测番茄产量与实测值的比较

### 3. 结论

本文以D-饱和最优设计、微区试验的方法,研究了保护地滴灌条件下,氮肥和钾肥用量、灌水量对番茄产量效应,所得主要结论如下。

(1) 氮肥、钾肥和灌水量对番茄产量均具有正效应,且符合报酬递减定律,过量施肥、灌水会引起明显的负效应,造成番茄减产。影响番茄产量的主要因素是灌水量与钾肥用量的交互作用,其次是

氮肥用量。

(2) 从产量角度评价,以中等氮肥用量、高钾肥用量和高灌水量为滴灌条件下水肥调控的最佳组合。

(3) 番茄植株高度与钾肥用量呈正相关关系,与氮肥用量的平方呈负相关关系。植株茎粗与氮肥用量呈正相关关系。

#### 参考文献:

- [1] 王兴仁,张福锁等.现代肥料试验[M].中国农业出版社,1995.
- [2] 高峰,张颖.蔬菜大棚、温室土壤存在的问题和对策[J],陕西农业科学,2004,5(4):44-46.
- [3] 何文寿.设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J],土壤,2004,36(3):235-242.
- [4] 侯彦林.生态平衡施肥的技术及理论体系[J],生态学报,2000,20(4):653-658.
- [5] 李建明,邹志荣.温室番茄节水灌溉指标的研究[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):110-112.
- [6] 吕家龙.番茄产量形成的生理研究[J].园艺学报,1983,10(4):245-252.
- [7] 饶立华.钾营养对番茄光合作用和产量形成的效应[J].浙江农业大学学报,1989,15(4):341-348.
- [8] 汪智慧.钾氮互作及配施微量元素对番茄产量和品质的影响[J].安徽农业科学,2000,28(2):233-234.
- [9] 杨小燕,卜玉山等.施钾对番茄产量和品质效应研究[J].新疆农业科学,2005,42(4):272-275.
- [10] 曾向辉.温室西红柿滴灌灌水制度试验研究[J].灌溉排水,1999,30(2):18-22.
- [11] Al-Najum-MA,Neimmah-AA,1989,The interactive effects of water quality and fertilizer levels on yield and quality of tomato *Lycopersicon esculentum* in sandy soil. *Journal of Agriculture and Water Resources Research, Soil and Water Resources*,8: 1,113-124.
- [12] Hart TK, 1996,Water management in drip-irrigated vegetable production. *Hort Technology*. 6(3):165-167.