

# 有机无土栽培配施氮磷钾与番茄产量数学模型的研究

徐琼华, 王国伟, 徐峥嵘

(玉溪农业职业技术学院, 云南 玉溪 653100)

**摘 要:**以“金鹏一号”番茄为试材, 采用三元二次回归饱和 D-最优试验设计方法, 研究了有机无土栽培配施氮磷钾对番茄不同时期产量的影响, 以期建立 N、P、K 肥施用量与番茄产量形成之间的方程模型。结果表明: N、P、K 对番茄的早期、中期和后期产量都有明显的影响, 番茄前期的最佳施肥量每次是 N 0.72 g/株、 $P_2O_5$  0.35 g/株、 $K_2O$  1.00 g/株时, 番茄小区最高产量达 16.49 kg; 番茄中期的最佳施肥量每次是 N 0.78 g/株、 $P_2O_5$  0.29 g/株、 $K_2O$  1.30 g/株时, 番茄小区最高产量达 22.06 kg; 番茄后期的最佳施肥量每次是 N 0.74 g/株、 $P_2O_5$  0.30 g/株、 $K_2O$  1.11 g/株时, 番茄小区最高产量达 18.01 kg。

**关键词:**番茄; 有机生态无土栽培; 氮磷钾肥料; 产量

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0012-04

番茄是人们喜食的重要蔬菜, 在设施蔬菜生产中占有重要地位。由于生产中不合理的施用肥料而导致设施内土壤出现次生盐渍化, 引起蔬菜产量和品质下降<sup>[1]</sup>。有机基质栽培是近年来新兴的无土栽培形式, 能够明显提高作物的产量和品质。采用有机生态型无土栽培技术可有效克服由次生盐渍化和土传病害引起的土壤连作障碍。目前番茄有机生态型无土栽培虽然有较大生产面积, 但在有机生态型无土栽培番茄过程中, 主要是靠个人的经验进行追肥, 没有量化的追肥指标作指导。在科研上还缺乏对设施有机生态型无土栽培番茄需肥特点和平衡施肥深入系统的研究。国内关于番茄科学施肥的研究较多, 但局限于追肥量与番茄产量方面<sup>[2-5]</sup>, 而关于番茄有机无土栽培肥料配施方面的研究报道甚少, 该试验以番茄为试材, 研究了有机生态型无土栽培方式中氮、磷和钾肥施用量与番茄产量的关系, 以期对番茄高产优质无土栽培科学施肥提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试“金鹏一号”番茄由西安金鹏种苗有限公司生产。

供试栽培基质为蘑菇渣和沙混合物, 按蘑菇渣: 沙=5: 5(体积比)混合。定植前对栽培基质的养分含量进

行了测定, 供试基质全氮 0.94%, 全磷 0.51%, 全钾 0.42%; 供试无机肥氮肥为尿素(含 N 46%), 磷肥为过磷酸钙(含  $P_2O_5$  17%), 钾肥为硫酸钾(含  $K_2O$  50%), 有机肥为“滇乐思福”牌精制有机肥, 精制有机肥养分含量为: 全氮 1.27%、全磷 0.79%、全钾 1.5% (在实际追肥折算时用全氮、全磷、全钾计算)。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验处理** 番茄于 2011 年 8 月 24 日播种, 10 月 8 日定植。定植 20 d 开始进行追肥处理, 以后每隔 10 d 追肥 1 次, 拉秧前 1 个月停止追肥。2011 年 12 月 5 日开始采收番茄, 2012 年 7 月 3 日拉秧。将番茄产量按前期(2011 年 12 月 5 日至 2012 年 2 月 10 日)、中期(2 月 11 日至 4 月 24 日)、后期(4 月 25 日至 7 月 3 日)分别进行计算。

**1.2.2 试验方法** 番茄采用槽培的方式, 栽培槽宽 48 cm, 小区面积为 2.2 m<sup>2</sup>, 每小区定植 11 株(相当于 3 400 株/667m<sup>2</sup>)。试验采用三元二次回归饱和 D-最优设计, 试验设计因素水平见表 1。选取氮肥( $X_1$ )、磷肥( $X_2$ )和钾肥( $X_3$ )的追肥施用量为控制变量, 在每个处理中精制有机肥与无机肥(尿素、过磷酸钙和硫酸钾)用量的体积比例为 6: 4。氮肥( $X_1$ )、磷肥( $X_2$ )和钾肥( $X_3$ )的追肥施用量包括有机肥和无机肥, 如  $X_1$ (N)既包括有机肥中的 N, 也包括无机肥中的 N;  $X_2$  和  $X_3$  也一样。在整个试验过程中, 同一处理每次肥料施用量保持不变。根据 N、P、K 肥试验设计上下限<sup>[6-7]</sup>确定试验设计的具体实施方案(表 2)。整个试验设 10 个处理, 3 次重复。

**第一作者简介:**徐琼华(1975-), 女, 云南玉溪人, 农业推广硕士, 讲师, 现主要从事设施园艺等课程教学与科研工作。E-mail: mami1975@126.com.

**收稿日期:**2013-04-15

表 1 N、P、K 肥试验设计的上下限

Table 1 Top and bottom limitation of N,P,K fertilizer experiment design

养分 Nutrient	上限 Top limitation/g·株 <sup>-1</sup>	下限 Bottom limitation/g·株 <sup>-1</sup>
N	1.2	0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.6	0.1
K <sub>2</sub> O	1.4	0.3

表 2 试验设计方案及施肥水平

Table 2 Experiment design and fertilizing level

处理号 Treatment No.	编码方案 Coding scheme			追肥量				实际追肥量			
				Application of fertilizer/g · 株 <sup>-1</sup>				Actual application of fertilizer/g · 株 <sup>-1</sup>			
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	[Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O]	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	有机肥	
1	—1	—1	—1	0.2	0.1	0.3	0.37	0.68	0.53	2.36	
2	1	—1	—1	1.2	0.1	0.3	2.47	0.50	0.45	5.12	
3	—1	1	—1	0.2	0.6	0.3	0.22	4.50	0.37	7.64	
4	—1	—1	1	0.2	0.1	1.4	0.29	0.49	2.65	5.15	
5	—1	0.192	0.192	0.2	0.398	0.956	0.24	2.84	1.70	7.17	
6	0.192	—1	0.192	0.769	0.1	0.956	1.52	0.47	1.74	5.59	
7	0.192	0.192	—1	0.769	0.398	0.3	1.48	2.85	0.39	7.07	
8	—0.291	1	1	0.554	0.6	1.4	0.89	4.25	2.46	11.40	
9	1	—0.291	1	1.2	0.277	1.4	2.34	1.67	2.51	9.77	
10	1	1	—0.291	1.2	0.6	0.69	2.29	4.25	1.04	11.38	

1.3 数据分析

以 N、P、K 追肥施入量为自变量,分别计为 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 和 X<sub>3</sub>,以番茄早期、中期、后期产量为因变量,计为 Y,利用 DPS 软件对 N、P、K 施入量与番茄产量进行了二次多项式回归分析,建立 N、P、K 追肥施入量对番茄早期、中期、后期产量的二次多项式回归方程。

2 结果与分析

2.1 氮、磷、钾施用量与番茄早期产量的关系

由表 3 可知,氮、磷、钾施入量与番茄早期产量关系如下:

$$Y = -7.56 + 32.73X_1 + 29.43X_2 + 14.23X_3 - 19.78X_1^2 - 21.83X_2^2 - 4.69X_3^2 - 6.37X_1X_2 - 2.03X_1X_3 - 9.60X_2X_3 \dots\dots(1)。$$

表 3 番茄各段时期产量

Table 3 The yield of tomato in different stage

kg/小区

处理 Treatment	早期产量 Early stage yield				中期产量 Middle stage yield				后期产量 Late stage yield			
	I	II	III	平均 Average	I	II	III	平均 Average	I	II	III	平均 Average
1	3.83	4.22	4.65	4.23	8.07	9.01	8.25	8.44	3.22	4.28	3.88	3.79
2	7.84	8.20	8.07	8.04	12.75	12.75	12.27	12.59	4.66	5.34	5.92	5.31
3	8.24	9.79	9.65	9.23	10.15	10.75	10.35	10.42	4.14	4.88	4.49	4.50
4	9.84	9.62	9.37	9.61	14.64	15.50	14.85	15.00	10.39	11.94	10.87	11.07
5	11.05	11.32	11.29	11.22	15.25	15.75	16.15	15.72	10.35	11.62	10.84	10.94
6	14.45	15.26	15.42	15.04	19.27	18.95	20.75	19.66	14.76	15.82	15.46	15.35
7	14.60	14.22	14.44	14.42	18.75	17.95	17.55	18.08	13.54	14.92	14.96	14.47
8	12.93	13.42	13.47	13.27	17.52	16.77	17.75	17.35	10.32	10.48	10.92	10.57
9	11.08	11.36	11.17	11.20	18.85	19.34	18.75	18.98	11.74	12.98	13.54	12.75
10	10.48	11.07	9.61	10.39	15.33	15.35	14.45	15.04	9.32	10.98	10.96	10.42

表 4

偏回归系数显著性检验(早期)

Table 4

Significance test of partial regression coefficient(early stage)

$b_j$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
计算结果 Results	-7.56	32.73	29.43	14.23	-19.78	-21.83	-4.69	-6.37	-2.03	-9.60
$t_j$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$
计算结果 Results	12.73	28.98	13.02	12.74	25.03	6.91	7.19	6.54	4.57	10.84

注:  $df_e=20$  时的显著性临界值分别为  $t_{0.01}=2.84, t_{0.05}=2.09$ 。以下同。

Note: Significant critical value were  $t_{0.01}=2.84, t_{0.05}=2.09$ , while  $df_e=20$ . The same below.

对回归方程模型(1)进行显著性检验,经检验发现  $F_u=104.04, F_{0.01}=3.45$ , 回归模型达极显著水平, 相关系数  $R_a=0.99^{**}$ , 说明回归关系很密切, 试验因子与产量间存在着非常明显的函数关系, 即模型成立。对回归方程(1)中的偏回归系数显著性进行  $t$  检验, 从表 4 可以看出, 回归系数  $b_j$  均达到了 1% 以上显著水平, 说明回归方程中的各项可以用来推荐施肥和预测作物产量。对回归模型(1)寻求最优解, 进行小区最高产量优化<sup>[8]</sup>。当  $X_1=0.72, X_2=0.35$  和  $X_3=1.00$  时, 方程达到最大值  $Y_{\max}=16.49$ 。根据方程得到番茄前期的追肥方案, 即每次 N 为 0.72 g/株,  $P_2O_5$  为 0.35 g/株,  $K_2O$  为 1.00 g/株时, 番茄最高产量可达 16.49 kg/小区。同时, 3 种肥料的施肥比例为 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$  (0.72 : 0.35 : 1) 为 1 : 0.48 : 1.39。

## 2.2 氮、磷、钾施用量与番茄中期产量的关系

由表 3 可知, 氮、磷、钾施入量与番茄中期产量关系如下:  $Y = -3.10 + 28.14X_1 + 34.22X_2 + 14.27X_3 - 16.73X_1^2 - 39.43X_2^2 - 4.32X_3^2 - 2.30X_1X_2 + 1.16X_1X_3 -$

$7.38X_2X_3 \dots \dots (2)$ 。

对回归方程模型(2)进行显著性检验, 经检验发现  $F_u=99.32, F_{0.01}=3.45$ , 回归模型达极显著水平, 相关系数  $R_a=0.99^{**}$ , 说明回归关系很密切, 试验因子与产量间存在着非常明显的函数关系, 即模型成立。

对回归方程(2)中的偏回归系数显著性进行了  $t$  检验, 由表 5 可知, 除回归系数  $b_7$  和  $b_8$  不显著外, 其余均达到了 1% 以上显著水平。考虑到  $b_7$  和  $b_8$  虽不显著, 但  $b_1, b_2, b_3$  却很显著, 而且  $b_8$  也达到了 5% 以上显著水平, 所以仍保留原回归方程中的各项, 用来推荐施肥和预测作物产量。对回归模型(2)寻求最优解, 进行小区最高产量优化<sup>[8]</sup>。当  $X_1=0.78, X_2=0.29$  和  $X_3=1.30$  时, 方程达到最大值  $Y_{\max}=22.06$ 。根据方程得到番茄中期的追肥方案, 即每次 N 为 0.78 g/株,  $P_2O_5$  为 0.29 g/株,  $K_2O$  为 1.30 g/株时, 番茄最高产量可达到 22.06 kg/小区。同时, 3 种肥料的施肥比例为 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$  (0.78 : 0.29 : 1.30) 为 1 : 0.37 : 1.68。

表 5

偏回归系数显著性检验(中期)

Table 5

Significance test of partial regression coefficient(middle stage)

$b_j$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
计算结果 Results	-3.10	28.14	34.22	14.27	-16.73	-39.43	-4.32	-2.30	-1.16	-7.38
$t_j$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$
计算结果 Results	4.42	21.10	12.83	10.82	17.93	10.57	5.60	2.00	2.21	7.05

## 2.3 氮、磷、钾施用量与番茄后期产量的关系

由表 3 可知, 氮、磷、钾施入量与番茄后期产量有如下关系:  $Y = -9.77 + 30.95X_1 + 40.23X_2 + 18.74X_3 - 21.16X_1^2 - 51.73X_2^2 - 6.20X_3^2 + 6.45X_1X_2 - 1.50X_1X_3 - 12.97X_2X_3 \dots \dots (3)$ 。

对回归方程模型(3)进行显著性检验, 经检验发现  $F_u=71.27, F_{0.01}=3.45$ , 回归模型达极显著水平, 相关系数  $R_a=0.99^{**}$ , 说明回归关系很密切, 试验因子与产量

间存在着非常明显的函数关系, 即模型成立。对回归方程(3)中的偏回归系数显著性进行了  $t$  检验, 由表 6 可知, 除回归系数  $b_8$  不显著外, 其余均达到了 1% 以上显著水平。考虑到  $b_8$  虽不显著, 但  $b_1$  和  $b_3$  却很显著, 而且  $b_8$  也达到了 5% 以上显著水平, 所以仍保留原回归方程中的各项, 用来推荐施肥和预测作物产量。对回归模型(3)寻求最优解, 进行小区最高产量优化<sup>[8]</sup>。当  $X_1=0.74, X_2=0.30$  和  $X_3=1.11$  时, 方程达到最大值  $Y_{\max}=18.01$ 。

表 6

偏回归系数显著性检验(后期)

Table 6

Significance test of partial regression coefficient(late stage)

$t_j$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
计算结果 Result	-9.77	30.95	40.23	18.74	-21.16	-51.73	-6.20	6.45	-1.50	-12.97
$t_j$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$
计算结果 Result	10.70	17.81	11.58	10.91	17.42	10.64	6.17	4.30	2.20	9.52

根据方程得到番茄后期的追肥方案,即每次 N 为 0.74 g/株, $P_2O_5$  为 0.30 g/株, $K_2O$  为 1.11 g/株时,番茄最高产量可达到 18.01 kg/小区。同时,3 种肥料的施肥比例为 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$ (0.74 : 0.30 : 1.11) 为 1 : 0.40 : 1.51。

### 3 结论

该试验研究了以有机生态型无土栽培配施氮、磷和钾肥施用量对番茄产量的影响,建立了番茄产量与配施 N、P、K 施肥量的数学模型,对建立的数学模型进行显著性检验,确定了模型的可靠性、可行性与有效性,为指导生产与理论研究提供了可行的定量依据。

通过对模型分析得到了不同时期最佳的施肥配方:番茄前期当 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$ (0.72 : 0.35 : 1) 为 1 : 0.48 : 1.39 时,番茄小区最高产量可达 16.49 kg;番茄中期当 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$ (0.78 : 0.29 : 1.30) 为 1 : 0.37 : 1.68 时,番茄小区最高产量可达到 22.06 kg;番茄后期当 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$ (0.74 : 0.30 : 1.11) 为 1 : 0.40 : 1.51 时,番茄小区最高产量可达 18.01 kg。

### 参考文献

[1] 李健勇,张勇,耿忠义,等.有机基质栽培番茄化肥施用效果研究[J].

安徽农业科学,2007,35(10):2946-2947,2969.

[2] 孙红梅,李天来,须晖,等.不同氮水平下钾元素对大棚番茄产量及品质影响[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):68-71.

[3] 吴彤东,沈明星,陆长婴.有机无机肥配比比例对大棚番茄产量及品质的影响[J].上海农业科技,2006(2):86-87.

[4] 周艳丽,程智慧,孟焕文,等.有机基质配比对番茄生长发育及产量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报,2005,33(1):79-82.

[5] 吴彤东,沈明星,陆长婴,等.高氮水平下钾肥用量对大棚番茄产量及品质的影响[J].江苏农业科学,2008(2):201-203.

[6] 张倩.有机番茄无土栽培[J].蔬菜栽培,2007(2):27.

[7] 韩世东.设施园艺[M].北京:中国农业大学出版社,2011.

[8] 毛达如.植物营养研究方法[M].北京:中国农业大学出版社,2005.

[9] 董立国,李生宝,蔡进军.玉米氮磷钾肥用量数学模型及优化模式的研究[J].土壤通报,2007,38(1):194-196.

[10] 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.

[11] 黄玉碧,明道绪,延昭.三因素随机区组试验结果的二次回归分析法[J].四川农业大学学报,1997,15(4):424-430.

[12] 刘中平,宋小顺,张麦生,等.氮磷钾肥效三元二次回归模型施肥参数方法探讨[J].中国农技推广,2011,27(2):36-38.

## Study on A Mathematical Model for the Relationship Between Amounts of N,P,K Application and Tomato Yield in Eco-organic Soilless Culture

XU Qiong-hua, WANG Guo-wei, XU Zheng-rong

(Yuxi Agricultural Vocational and Technical College, Yuxi, Yunnan 653100)

**Abstract:** Taking *Solanum lycopersicum* 'Jinpeng No.1' as material, by the saturating D-optimal design in ternary quadratic regression, the influence of cooperation application of N,P,K in the organic and soilless culture on the yield of *Solanum lycopersicum* in different stages were studied, and the equation model between the application amount of N,P,K and the yield of *Solanum lycopersicum* were also established. The results showed that the influence of N,P,K nutrient on the yield of *Solanum lycopersicum* in the early, middle and late stage were obvious. In the early stage, the optimum application amount of N was 0.72 g,  $P_2O_5$  0.35 g, and  $K_2O$  1.00 g each plant every time, and the highest yield was up to 16.49 kg each square. In the middle stage, the optimum application amount of N was 0.78 g,  $P_2O_5$  0.29 g, and  $K_2O$  1.30 g each plant every time, and the highest yield was up to 22.06 kg each square. In the late stage, the optimum application amount of N was 0.74 g,  $P_2O_5$  0.30 g, and  $K_2O$  1.11 g each plant every time, and the highest yield was up to 18.01 kg each square.

**Key words:** tomato; eco-organic and soilless culture; N,P and K fertilizer; yield