

番茄育苗基质多目标营养施肥优化模型研究

徐琼华¹, 岳艳玲², 师进霖¹

(1. 玉溪农业职业技术学院, 云南 玉溪 653100; 2. 云南农业大学 园林园艺学院, 云南 昆明 650201)

摘要: 试验从理论上建立了番茄育苗基质多目标营养施肥系统模型, 依据番茄壮苗标准, 在肥料效应函数模型的基础上, 应用最优化方法中的数学规划理论建立的番茄育苗基质多目标营养施肥优化分析模型。结果表明: 该系统模型全面地解决了番茄育苗基质的多目标营养施肥问题, 运用该模型进行优化分析, 可满足番茄壮苗标准且使干重最大的营养施肥优化模型为: N 1.432 g/盘, P₂O₅ 3.030 g/盘, K₂O 1.259 g/盘。

关键词: 番茄育苗; 多目标施肥; 系统模型; 优化分析

中图分类号: S 641.206⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)16-0062-04

番茄基质育苗 N、P、K 肥施用量是以壮苗为目标的, 而番茄幼苗的壮苗标准是由多项指标决定的, 该试验以番茄幼苗基质的多目标营养施肥问题为突破口, 开展多目标营养施肥研究工作。应用数学规划理论建立系统模型, 通过优化分析, 可确定出番茄育苗基质 N、

P、K 肥最佳推荐施肥量。这一系统模型全面地解决了番茄育苗基质的多目标营养施肥问题, 为番茄育苗生产的科学化、标准化、规范化及工厂化提供了技术支持。

1 理论与模型研究

1.1 番茄幼苗的壮苗标准

番茄幼苗的壮苗指标及其量化标准见表 1。叶绿素含量(mg/g): 用丙酮提取, 分光光度计测定; 叶面积(cm²): 每株幼苗所有叶片的叶面积; 株高(cm): 幼苗地上部分平均高度; 根体积(cm³): 每株幼苗根系的

第一作者简介: 徐琼华(1975-), 女, 硕士, 讲师, 现主要从事农学及设施园艺等教学与科研工作。E-mail: yxsgx@tom.com。

基金项目: 玉溪农业职业技术学院院级科研资助项目(2007xy06)。

收稿日期: 2011-05-20

[11] Rihi M A. A revision of the genus *Trichoderma* [J]. Mycol Papers, 1969, 116: 1-56.

[12] Gams W, Bissett J. Morphology and identification of *Trichoderma* [C]// Kubicek C, Harman G. *Trichoderma and Gliocladium*. Pennsylvania: Taylor & Francis Incorporated, 1998: 3-34.

[13] Bell D K, Wens H D, Malkham C R. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against fungal pathogens [J]. Phytopath, 1982, 72: 379-382.

[14] 王文祥, 丁杏苞. 月腺大戟根中的乙酰间苯三酚类衍生物 [J]. 药理学报, 1999, 34(7): 514-517.

[15] 孟昭礼, 罗兰, 尚坚, 等. 人工模拟杀菌剂银泰对 10 种植物病原菌的室内生物测定 [J]. 莱阳农学院学报, 1999, 16(2): 124-126.

[16] 孟娜, 周守标, 蒋继宏. 月腺大戟 (*Euphorbia ebracteolata*) 根部提取抑菌作用的测定 [J]. 生物学杂志, 2005(22): 15-17.

[17] 全鑫, 薛保国, 杨丽荣, 等. 生防菌株 YB-81 的鉴定及其对番茄灰霉病的防效 [J]. 植物保护, 2010, 36(5): 57-60.

[18] 黄后琚, 韦春洪, 韦勇. 康地蕾得细粒剂防治番茄青枯病试验 [J]. 广西植保, 2005, 18(4): 5.

[19] 刘娜, 周宝利, 李铁修, 等. 化感物质己二酸二异丁酯对茄子黄萎病及幼苗生长的效应 [J]. 园艺学报, 2009, 36(7): 1065-1070.

[20] 高智谋, 曹君, 潘月敏, 等. 哈茨木霉 TH-1 对棉花枯萎病菌和黄萎病菌的拮抗机制研究 [J]. 棉花学报, 2007, 19(3): 168-172.

[21] 孟娜, 汤斌, 黄晓东, 等. 4 种木霉菌对棉花黄萎病菌抑制作用的测定 [J]. 生物学杂志, 2007, 24(4): 59-61.

Selection of Biocontrol *Trichoderma* Strains for Controlling Eggplant *Verticillium* Wilt

TANG Lin¹, ZHAO Hui²

(1. Department College of Life Science, Luoyang Normal University, Luoyang, Henan 471023; 2. Plant Protection Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: Eleven strains of seven different species of *Trichoderma* which were isolated from the rhizosphere soil of eggplant production base in the White Horse Temple of Luoyang City were carried on inhibitory control effect test and the indoor screening by antagonistic experiments etc. The results showed that *Trichoderma* had good control effect on *Verticillium* Wilt of eggplant. The control efficacy of seven *Trichoderma* strains was significantly better than carbendazim. They were T16, T12, T10, T19, T18, T9 and T23 strains. The control efficacies of T16 and T12 were the best. And relative control effects were 76.97% and 71.21%. They had a certain value.

Key words: eggplant *Verticillium* Wilt; *Trichoderma*; biological control

体积;茎粗(cm):每株茎的平均粗度,游标卡尺测量子叶下端;壮苗指数:壮苗指数=(茎粗/株高)×全株干重;干重(g):每株幼苗地上部分和地下部分烘干的重

量。当幼苗各项指标均满足表 1 要求后,其干物重越大越好。

表 1 番茄壮苗指标及其量化标准

壮苗指标	叶绿素含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	叶面积/ cm^2	根体积/ cm^3	茎粗/cm	壮苗指数	株高/cm
量化标准	>1.55	>96	>0.60	>0.55	>17.5	<25

1.2 试验设计方案及试验测定项目

试验设计方案采用三因素五水平三元二次回归饱和 D 最优设计^[1-2],根据文献资料确定 N、P、K 肥试验设计上下限,在此记为: $N[\alpha_1, \beta_1]$; $P_2O_5[\alpha_2, \beta_2]$; $K_2O[\alpha_3, \beta_3]$ 。根据 N、P、K 肥试验设计上下限及因素水平和编码即可确定试验设计的具体实施方案。测定项目:叶绿素、叶面积、株高、根体积、茎粗、壮苗指数、干重。

1.3 肥料效应函数模型的建立

1.3.1 参数估计 根据试验测定结果,以 N、P、K 肥单位面积施用量为自变量,分别记为 x_1, x_2, x_3 ;以叶绿素含量、叶面积、根体积、茎粗、壮苗指数、株高、干重为因变量,分别记为 $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$ 。运用回归最优设计的统计方法进行参数估计^[3-4],建立各指标的肥料效应函数模型如下:

$$Y_i = f_i(x_1, x_2, x_3) = a_{i0} + a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + a_{i4}x_1^2 + a_{i5}x_2^2 + a_{i6}x_3^2 + a_{i7}x_1x_2 + a_{i8}x_1x_3 + a_{i9}x_2x_3 \dots \dots \dots (1)$$
,其中 $a_{ij}(i=1,2,\dots,7; j=1,2,\dots,9)$ 为各肥料效应的偏回归系数, $a_{i0}(i=1,2,\dots,7)$ 为各肥料效应的常数项。以上各肥料效应模型反映了各肥料因子的变化对试验指标影响的变化规律。

1.3.2 模型回归效果的显著性检验 为了检验各肥料效应的函数模型的拟合效果和可信度,需要对每个肥料效应函数模型的回归效果进行显著性检验。其模型回归效果的显著性检验可采用理论值 \hat{y}_i 与实测值 y_i 进行比较的方法进行,具体检验方法有皮尔逊(Pearson) χ^2 测定法,回归系数的显著性检验采用 t 检验法^[5]。

1.4 番茄基质育苗多目标营养施肥优化模型及其优化分析

为满足番茄壮苗标准的要求,使得①叶绿素含量>1.55(mg/g)、②叶面积>96(cm^2)、③根体积>0.60(cm^3)、④茎粗>0.55(cm)、⑤壮苗指数>17.5、⑥株高<25(cm),并且在此壮苗标准约束下,要求干重愈大愈好。根据这一要求和数学规划理论^[6-7],建立番茄基质育苗多目标营养施肥优化模型如下:

$$\text{Max } y_7 = f_7(x_1, x_2, x_3);$$

S. t:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, x_3) > 1.55, \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, x_3) > 96, \\ y_3 &= f_3(x_1, x_2, x_3) > 0.6, \\ y_4 &= f_4(x_1, x_2, x_3) > 0.55, \\ y_5 &= f_5(x_1, x_2, x_3) > 17.5, \\ y_6 &= f_6(x_1, x_2, x_3) < 25 \dots \dots \dots (2). \\ \alpha_1 &\leq x_1 \leq \beta_1, \alpha_2 \leq x_2 \leq \beta_2, \alpha_3 \leq x_3 \leq \beta_3. \end{aligned}$$

其中 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 依次为 N、P、K 肥试验设计的下限; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 依次为 N、P、K 肥试验设计的上限。

模型(2)实质上是一非线性规划模型,其含义是在满足壮苗标准的前提下,使得干重达到最大,以使幼苗素质达到最优。根据数学规划理论,所需确定的番茄育苗基质多目标营养施肥 N、P、K 肥最佳单位面积施肥量就是非线性规划问题(2)的最优解 $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)$,其中 x_1^*, x_2^*, x_3^* 即为可使幼苗各项目指标均满足标准要求,且使干重达最高的 N、P、K 肥单位面积施用量,即番茄幼苗基质施肥的最佳推荐施肥量。

非线性规划问题(2)的最优解 $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)$,可通过下述线性逼近迭代法确定。

第一,把规划问题(2)标准化为:

$$\text{Min } Z(X) = -y_7 = -f_7(x_1, x_2, x_3);$$

S. t:

$$\begin{aligned} H_1(X) &= y_1 - 1.55 = f_1(x_1, x_2, x_3) - 1.55 > 0, \\ H_2(X) &= y_2 - 96 = f_2(x_1, x_2, x_3) - 96 > 0, \\ H_3(X) &= y_3 - 0.6 = f_3(x_1, x_2, x_3) - 0.6 > 0, \\ H_4(X) &= y_4 - 0.55 = f_4(x_1, x_2, x_3) - 0.55 > 0, \\ H_5(X) &= y_5 - 17.5 = f_5(x_1, x_2, x_3) - 17.5 > 0, \\ H_6(X) &= y_6 - 25 = f_6(x_1, x_2, x_3) - 25 < 0 \\ X - N &\geq 0, M - X \geq 0 \dots \dots \dots (3). \end{aligned}$$

其中 $X = (x_1, x_2, x_3)^T$, $N = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)^T$, $M = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)^T$ 。

第二,取定允许误差 ϵ ,一般取 $\epsilon = 10^{-4}$ 。

第三,根据小区试验的实测值,选一满足规划问题(2)约束条件的试验点为迭代初始点,记为 $X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})^T$ 。

第四,选择恰当的迭代初始步长限制 $\zeta^{(0)} = (\zeta_1^{(0)}, \zeta_2^{(0)}, \zeta_3^{(0)})$,且令 $S_i = 0$ 。

第五,确定线性规划问题:

$$\begin{aligned} \text{Min } F(X) &= Z(X^{(S)}) + Z(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}); \\ \text{S. t: } G_1(X) &= H_1(X^{(S)}) + H_1(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ G_2(X) &= H_2(X^{(S)}) + H_2(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ G_3(X) &= H_3(X^{(S)}) + H_3(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ G_4(X) &= H_4(X^{(S)}) + H_4(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ G_5(X) &= H_5(X^{(S)}) + H_5(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ G_6(X) &= H_6(X^{(S)}) + H_6(X^{(S)})^T(X - X^{(S)}) > 0, \\ X - N &\geq 0, M - X \geq 0, |X - X^{(S)}| \leq \zeta. \end{aligned}$$

的最优解,记为 $X^{(S+1)} = (x_1^{(S+1)}, x_2^{(S+1)}, x_3^{(S+1)})^T$ 。

第六,判断 $X^{(S+1)}$ 是否满足规划问题(2)的约束条件。若不满足,则适当缩小步长限制 $\zeta^{(S)} = (\zeta_1^{(S)}, \zeta_2^{(S)}, \zeta_3^{(S)})^T$ 中各分量的取值,并转向第五步,重新确定向量 $X^{(S+1)}$ 的取值,否则进行下一步。

第七,判断 $X^{(S+1)}$ 是否满足收敛准则 $|Z(X^{(S)})^T (X^{(S+1)} - X^{(S)})| < \epsilon$, 若满足,则停止迭代, $X^{(S+1)} = (x_1^{(S+1)}, x_2^{(S+1)}, x_3^{(S+1)})^T$ 即为规划问题(2)的最优解。否则令 $\zeta^{(S+1)} = \zeta_1^{(S)}$, $S := S+1$, 并转向第五步继续迭代。

2 模型应用研究

2.1 材料与方法

2.1.1 试验材料 番茄品种为贵妃;基质为草炭:蛭石=2:1;供试肥料氮肥:尿素(含 N 46.4%),磷肥:普通磷酸钙(含 P_2O_5 12.0%),钾肥:硫酸钾(含 K_2O 50.0%)。采用 72 孔育苗基质盘,每盘为 1 个处理试验小区,设 3 次重复。基质配制:草炭:蛭石为 2:1,按试验方案分别将处理所需加入的肥料溶解于水,喷洒入定量的混合基质中,充分搅拌均匀,装入穴盘,每盘装基质 2.5 kg。2008 年 10 月 21 日催芽,25 日播种,采用人工摆种,每孔种芽 1 粒,放置于玉溪农业职业技术学院温室,六叶一心取苗,苗龄 55 d。由于供试肥料一次性全部施入基质中,日常只需定量浇灌清水,以保持基质湿润,其它按常规进行管理。

2.1.2 试验设计方法 试验采用三元二次回归饱和 D 最优设计方案,试验设计范围的上下限见表 2。根据表 2 及三元二次回归饱和 D 最优设计方案编码值确定出具体的试验实施方案和试验结果见表 3。设有无肥

表 3 试验测定结果

处理	$x_1/g \cdot 盘^{-1}$	$x_2/g \cdot 盘^{-1}$	$x_3/g \cdot 盘^{-1}$	$y_1/mg \cdot g^{-1}$	y_2/cm^2	y_3/cm^3	y_4/cm	y_5	y_6/cm	y_7/mg
1	0.29	0.86	0.29	1.48	81.06	0.56	0.51	15.58	17.51	535
2	2.9	0.86	0.29	1.77	90.23	0.7	0.63	18.81	19.53	583
3	0.29	4.32	0.29	1.56	85.37	0.65	0.68	20.40	20.37	611
4	0.29	0.86	2.9	1.73	84.64	0.61	0.65	19.76	18.82	572
5	0.29	2.93	1.85	1.69	92.52	0.71	0.77	22.87	21.45	637
6	1.85	0.86	1.85	1.76	98.73	0.75	0.72	21.68	19.73	594
7	1.85	2.93	0.29	1.71	98.85	0.79	0.74	21.57	22.23	648
8	1.22	4.32	2.9	1.72	94.77	0.68	0.67	18.84	21.87	615
9	2.9	2.11	2.9	1.73	94.29	0.69	0.71	20.41	20.49	589
10	2.9	4.32	1.22	1.69	93.27	0.67	0.69	18.84	21.5	587
CK	0	0	0	0.75	48.13	0.30	0.30	4.56	13.50	154

注:表中各试验指标的测定结果为 3 次重复的平均值。

$$y_4 = 0.29 + 0.12X_1 + 0.19X_2 + 0.18X_3 - 0.019X_1^2 - 0.025X_2^2 - 0.034X_3^2 - 0.014X_1X_2 - 0.013X_1X_3 - 0.016X_2X_3 \quad (7),$$

$$y_5 = 9.25 + 3.69X_1 + 5.42X_2 + 5.41X_3 - 0.58X_1^2 - 0.71X_2^2 - 1.0099X_3^2 - 0.57X_1X_2 - 0.38X_1X_3 - 0.56X_2X_3 \quad (8),$$

$$y_6 = 14.2 + 2.47X_1 + 3.14X_2 + 1.11X_3 - 0.48X_1^2 - 0.44X_2^2 - 0.15X_3^2 - 0.079X_1X_2 - 0.33X_1X_3 - 0.024X_2X_3 \quad (9),$$

$$y_7 = 439.76 + 71.6X_1 + 91.82X_2 + 33.96X_3 - 14.06X_1^2 - 12.94X_2^2 - 4.52X_3^2 - 6.63X_1X_2 - 9.14X_1X_3 - 3.16X_2X_3 \quad (10)。$$

运用 t 检验对模型(4)~(10)进行回归系数显著性检验,各模型回归系数显著性检验均显著。运用皮尔逊(Pearson) χ^2 测定法对模型(4)~(10)回归效果进行显著性检验,模型(4)~(10)的回归效果均显著。模型(4)~(10)可作为进一步分析的依据。

对照,各试验处理 3 次重复。根据试验设计方案,对各试验处理番茄苗的叶绿素含量(y_1)、叶面积(y_2)、根体积(y_3)、茎粗(y_4)、壮苗指数(y_5)、株高(y_6)、干重(y_7)进行测试,试验处理及测定结果见表 3。

表 2 N,P,K 肥试验设计的上下限

养分	上限 $/g \cdot 盘^{-1}$	下限 $/g \cdot 盘^{-1}$
N	2.9	0.29
P_2O_5	0.86	4.32
K_2O	2.9	0.29

2.2 结果与分析

2.2.1 肥料效应函数模型的建立 运用回归设计统计方法进行参数估计,建立各试验指标的肥料效应函数模型如下:

$$y_1 = 1.33 + 0.202X_1 + 0.076X_2 + 0.15X_3 - 0.021X_1^2 - 0.0089X_2^2 - 0.01X_3^2 - 0.016X_1X_2 - 0.039X_1X_3 - 0.009X_2X_3 \quad (4),$$

$$y_2 = 67.7 + 18.4X_1 + 8.47X_2 + 8.63X_3 - 4.5X_1^2 - 1.36X_2^2 - 2.18X_3^2 - 0.48X_1X_2 - 0.37X_1X_3 - 0.23X_2X_3 \quad (5),$$

$$y_3 = 0.38 + 0.21X_1 + 0.14X_2 + 0.092X_3 - 0.045X_1^2 - 0.021X_2^2 - 0.02X_3^2 - 0.013X_1X_2 - 0.012X_1X_3 - 0.0078X_2X_3 \quad (6),$$

2.2.2 番茄育苗基质多目标营养施肥优化模型及优化分析 运用试验中 1.4 的方法,建立起番茄育苗基质多目标营养施肥优化模型如下:

$$\max y_7 = 439.76 + 71.6X_1 + 91.82X_2 + 33.96X_3 - 14.06X_1^2 - 12.94X_2^2 - 4.52X_3^2 - 6.63X_1X_2 - 9.14X_1X_3 - 3.16X_2X_3。$$

s. t:

$$y_1 = 1.33 + 0.202X_1 + 0.076X_2 + 0.15X_3 - 0.021X_1^2 - 0.0089X_2^2 - 0.01X_3^2 - 0.016X_1X_2 - 0.039X_1X_3 - 0.009X_2X_3 > 1.55,$$

$$y_2 = 67.7 + 18.4X_1 + 8.47X_2 + 8.63X_3 - 4.5X_1^2 - 1.36X_2^2 - 2.18X_3^2 - 0.48X_1X_2 - 0.37X_1X_3 - 0.23X_2X_3 > 96,$$

$$y_3 = 0.38 + 0.21X_1 + 0.14X_2 + 0.092X_3 - 0.045X_1^2 - 0.021X_2^2 - 0.02X_3^2 - 0.013X_1X_2 - 0.012X_1X_3 - 0.0078X_2X_3 > 0.60,$$

$$y_4 = 0.29 + 0.12X_1 + 0.19X_2 + 0.18X_3 - 0.019X_1^2 -$$

$0.025X_2^2 - 0.034X_3^2 - 0.014X_1X_2 - 0.013X_1X_3 - 0.016X_2X_3 > 0.55$,

$y_5 = 9.25 + 3.69X_1 + 5.42X_2 + 5.41X_3 - 0.58X_1^2 - 0.71X_2^2 - 1.0099X_3^2 - 0.57X_1X_2 - 0.38X_1X_3 - 0.56X_2X_3 > 17.5$,

$y_6 = 14.2 + 2.47X_1 + 3.14X_2 + 1.11X_3 - 0.48X_1^2 - 0.44X_2^2 - 0.15X_3^2 - 0.079X_1X_2 - 0.33X_1X_3 - 0.024X_2X_3 < 25$.

$0.29 \leq X_1 \leq 2.9, 0.86 \leq X_2 \leq 4.32, 0.29 \leq X_3 \leq 2.9$.

对其进行优化分析,结果如下: $x_1^* = 1.432, x_2^* = 3.03, x_3^* = 1.259$.

在 3 种养分的施用量下,各指标的优化值如下:

$y_1 = 1.78, y_2 = 103.1, y_3 = 0.81, y_4 = 0.80, y_5 = 23.39, y_6 = 22.49, y_7 = 651.18$.

从优化结果可知,满足番茄壮苗标准,且使干重最大的 N、P、K 肥最佳推荐施用量为: N 1.432 g/盘, P_2O_5 3.03 g/盘, K_2O 1.259 g/盘。此施肥量下,叶绿素 1.78 mg/g,叶面积 103.10 cm²,根体积 0.81 cm³,茎粗 0.80 cm,壮苗指数 23.49,株高 22.49 cm,干重 651.18 mg。

2.2.3 模型可靠性验证 为了进一步验证所建立理论系统模型的可靠性,针对上述优化结果,于 2009 年 3 月 11 日至 5 月 7 日进行比较试验,设 2 个处理,1 个处理施肥采用上述优化的结果(同时进行基质消毒),另 1 个处理采用当地常规生产试验中肥料配比。5 月 7 日取苗,对幼苗进行 7 项指标的测定,结果表明优化施肥方案下的幼苗素质各试验指标均好于生产试验中的肥料配比。

3 结论

运用该模型进行优化分析,在满足番茄壮苗标准,且使干重最大的前提下,N、P、K 肥最佳推荐施用量为: N 1.432 g/盘, P_2O_5 3.030 g/盘, K_2O 1.259 g/盘。在此施肥量下,叶绿素达 1.78 mg/g,叶面积

达 103.1 cm²,根系体积达 0.81 cm³,茎粗达 0.80 cm,壮苗指数达 23.39,株高达 22.49 cm,干重达 651.18 mg,各项指标均优于常规育苗水平。

该试验所建番茄育苗基质多目标营养施肥理论系统模型,可用于番茄育苗的科学化、标准化、规范化提供技术支持。该理论系统模型的研究思路和方法可为其它作物的多目标营养施肥问题提供思路和解决问题的途径,依据不同的壮苗标准,把理论系统模型运用到其它的作物幼苗多目标营养施肥问题的研究,在下一步研究中继续探讨。

工厂化育苗发展越来越快,育苗基质大多采用复合型基质,番茄幼苗苗龄较长,每株幼苗营养面积小,对养分供应十分敏感。利用该试验的研究结果来指导番茄工厂化育苗具有良好的发展前景。

参考文献

- [1] 郭诗松. 回归分析及其试验设计[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1983: 297-302.
- [2] 徐仲儒. 农业试验最优回归分析[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1988.
- [3] 余家林. 农业多元试验统计[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [4] 汪志忠. 概率论及统计应用[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2005.
- [5] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1986.
- [6] 王玉杰, 张大克. 多元肥料效应函数模型的优化方法[J]. 生物数学学报, 2002, 17(1): 74-77.
- [7] 赵斌, 王勇. 多元二次肥料效应函数极值的判别及函数优化[J]. 杂粮作物, 2001, 21(2): 42-45.
- [8] 张思平. 钾营养对番茄光和生理及氮磷钾吸收的动态影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2005(5): 54-57.
- [9] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [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] 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.
- [12] 王玉杰, 张大克. 水稻苗床多目标营养施肥优化模型[J]. 生物数学学报, 2003, 18(4): 467-472.

Study on Multi-objective Fertilization Optimization Model of Tomato Seedlings Growth Media

XU Qiong-hua¹, YUE Yan-ling², SHI Jin-lin¹

(1. Yuxi Agricultural Vocational and Technical College, Yuxi, Yunnan 653100; 2. College of Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract: In this paper, the multi-objective optimization fertilization problem of tomato seedling were studied. According to mathematical statistics and mathematical program theory, a theoretical system model including experimental design, regression analysis, reducing dimension analysis and optimization analysis were established. The results showed that a set of system theoretical method was given to study and analyzed the multi-objective fertilization of tomato seedling. Using of the model for optimization analysis, so hard the premise, N, P, K usage and fat was the best to recommend: N 1.432 g/offer, P_2O_5 3.030 g/offer, K_2O 1.259 g/offer.

Key words: tomato seedling cultured; multi-objective fertilization; system model; optimization analysis