

中棚番茄产量的氮磷钾效应模式 及最优施肥参数的确定

井立军¹ 邹志荣² 刘建辉² 张合一² 刘晓辉¹

(1 天津市蔬菜研究所, 天津 300381; 2 西北农业大学园艺系, 陕西杨陵)

摘 要 采用三因素二次饱和 D- 最优设计方案, 对中棚番茄氮磷钾最优化施肥问题进行了定量研究, 建立了中棚番茄产量形成的肥料反应模式, 利用回归模式对最优化施肥量、各种肥料要素的单独产量的效应规律及其互作效应进行了探讨。

关键词 番茄 氮 磷 钾 配方施肥

中图分类号 S641. 206 文献标识码 A 文章编号 1000- 7091(1999)03- 0086- 05

回归设计理论和系统分析技术的发展为定量地开展诸生态因子及栽培要素与作物产量形成关系的研究提供了有效方法, 利用回归模式作运筹分析, 即可得出作物生长的最佳栽培生态条件, 从而实现作物科学研究的定量化, 这是当前国内外作物科学研究中的一个比较活跃的领域。由于保护地设施内部小气候条件分布复杂, 栽培面积有限, 采用常规试验设计方法开展多因子栽培和施肥试验是比较困难的。本试验采用三因素二次饱和 D- 最优设计方法, 建立了氮磷钾与产量的函数模型, 从而可获得高产增收的最佳农艺组合方案, 实现栽培技术指标定量化, 为实现宏观指导、技术决策、资源分配和科学管理提供科学依据。

1 材料和方法

试验于 1990 年 1 月~ 6 月在西安市未央区六村堡乡进行。

1. 1 试验设计

采用三因素二次饱和 D- 回归设计方案(表 1), 设 10 个处理, 二次重复, 小区面积 4 m × 5 m, 东西向随机排列于紧邻的两个中棚内。

1. 2 供试品种及栽培方式

试验品种为早魁, 1 月 1 日土温室育苗, 2 月 10 日分苗, 3 月 21 日定植, 苗龄 80 d, 平畦栽培, 每小区三畦, 株行距 0. 33 m × 0. 44 m, 4 月 22 日开始采收。

1. 3 栽培管理

表 1 氮磷钾三要素的设计水平及编码 kg/ 667m²

编码值(z)	x ₁ (N)	x ₂ (P ₂ O ₅)	x ₃ (K ₂ O)
1	45	37. 5	35
0. 1925	26. 8	22. 4	20. 9
- 0. 2915	15. 9	13. 3	12. 4
- 1	0	0	0

1998- 09- 14 收稿。

作者简介: 井立军, 男, 1968 年生, 助理研究员, 农学硕士, 主要从事茄果类蔬菜遗传育种及栽培技术研究工作。

施农家肥 3 t/667 m², 人工破碎后撒于棚内, 施有机肥前后土壤的有机质、全氮、速效磷、速效钾含量分别为: 9.56 g/kg、0.571 g/kg、18.5 mg/kg、160 mg/kg 和 10.10 g/kg、0.825 g/kg、33.8 mg/kg、214 mg/kg。供试肥料为尿素(含氮 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 60%)。过磷酸钙做为基肥一次性施入, 尿素和氯化钾各 50% 做基肥施入, 另 50% 分两等份作追肥两次施入。

其它栽培条件与一般生产管理相同, 各小区灌水量与通风量保持一致, 5 月 10 日揭棚。

2 结果与分析

2.1 产量的测定

每小区栽番茄 135 株, 取中间一畦的中间 30 株测产, 实际小区测产面积 4.4 m², 各小区产量折合成 667 m² 产量。

2.2 统计分析

利用微机对数据进行处理, 得出中棚番茄产量形成的反应模式如下:

$$y = 3688.4032 - 83.2979Z_1 + 9.9026Z_2 - 71.1245Z_3 - 358.9884Z_1^2 - 252.4727Z_2^2 + 481.4230Z_3^2 - 21.2604Z_1Z_2 - 126.0375Z_1Z_3 - 551.0870Z_2Z_3 \dots\dots\dots (1)$$

对模式(1) 进行显著性检验, 结果如下: F_回= 170.423^{**}, 当 df₁= 9, df₂= 10 时, F_{0.05}= 3.02, F_{0.01}= 4.94, 可见回归达极显著水平。

对各项回归系数进行 t 检验, t₁= 5.632^{**}, t₂= 0.672, t₃= 4.852^{*}, t₁₁= 12.699^{**}, t₂₂= 8.931^{**}, t₃₃= 17.029^{**}, t₁₂= 4.563^{*}, t₁₃= 7.228^{**}, t₂₃= 31.602^{**}。

将编码值回归方程转换为自然变量方程:

$$y = 3004.5 + 34.7546x_1 + 57.9837x_2 - 20.3913x_3 - 0.7091x_1^2 - 0.7181x_2^2 + 0.1572x_3^2 - 0.0504x_1x_2 - 0.3201x_1x_3 - 1.6795x_2x_3 \dots\dots\dots (2)$$

对各处理的产量理论值和实测值做相关分析, 得决定系数 R²= 0.888, 由此可见, 模型(2) 对本试验结果的预测精度极佳, 可以达到极好的拟合性。

2.3 模式的优化与解析

2.3.1 模式的最优解 对于目标函数 y, 根据多元函数求极值的理论, 当 $\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0$ 时, 模式(2) 中的 y 取得极大值 y_{max}, 但从(2) 看出钾的一次项系数 b₃< 0, 即其一级主效应为负, 表明只要增施钾肥就会造成减产, 所以求最优解时, 应使 x₃= 0, 解下列两个联立方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 34.7546 - 1.4182x_1 - 0.0504x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= 57.9837 - 1.4362x_2 - 0.0504x_1 = 0. \end{aligned}$$

解得 x₁= 24.9, x₂= 39.5, 代入回归方程, 得 y_{max}= 4550.6, 即在本试验条件下, 可获得的最高产量为 4550.6 kg/667m², 达到此产量的施肥方案为施 N 24.9 kg/667m², 施 P₂O₅ 39.5 kg/667m²。

2.3.2 氮磷钾三要素的单独产量反应 在模式(2) 中, 分别将两个变数固定在零水平, 进行降

维分解,可得三个以其中一个施肥要素为决策变量的偏回归模式:

$$y_1 = 3004.5 + 34.7546x_1 - 0.7091x_1^2;$$

$$y_2 = 3004.5 + 57.9837x_2 - 0.7181x_2^2;$$

$$y_3 = 3004.5 - 20.3913x_3 + 0.1572x_3^2。$$

对其分别求导,可得出氮、磷、钾的边际产量反应模式:

$$\frac{dy_1}{dx_1} = 34.7546 - 1.4182x_1;$$

$$\frac{dy_2}{dx_2} = 57.9837 - 1.4376x_2;$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} = -20.3913 + 0.3144x_3。$$

令 $\frac{dy_i}{dx_i} = 0$ ($i = 1, 2$), 求出 y_i 达极大值时各肥料要素单独施用的最适量, 得 $x_1 = 24.5$, $x_2 = 40.3$ 。当 $\frac{dy_3}{dx_3} = 0$ 时, 由于抛物线开口向上, 所以有极小值, 因此, 最适施用量仍以 $x_3 = 0$ 为准。

在低氮水平时, 边际产量很大, 产量迅速上升, 中氮水平时, 边际产量趋近于零, 产量达最大。之后, 边际产量转为负值, 产量开始下降, 出现了氮过量而减产的现象。

磷的变化趋势和氮相似, 但变化较氮更剧烈。磷的单点极值 $x_2 = 40.3$, 超过本试验方案磷素施入的高限。这可能是因为土壤对过磷酸钙有强烈的固定作用, 致使速效磷的量降低。因此, 研究施用磷肥的适宜种类、时期和方法, 提高磷肥的利用率是农业发展的迫切需要。

钾素的产量反应曲线属于不理想型, 即增施钾肥造成减产, 出现这种现象的原因可能是土壤中的含钾量已很充分或增施钾肥使其它各种养分之间比例失调, 因此钾肥应施于速效钾含量较低的耕地上的喜钾作物。

上述单点极值和总模式的极点值有些差异, 说明氮、磷、钾的交互作用也对产量构成影响。
2.3.3 氮、磷、钾的互作效应 在模式(2)中存在着3个显著的互作项, 说明在综合施肥条件下, 产量的提高不单是各种肥料增产效应的线性累加, 还存在着配合效应。

氮、磷互作: 令 $x_3 = 0$, 由模式(2)得出氮磷互作效应方程:

$$y_{12} = 3004.5 + 34.7546x_1 + 57.9837x_2 - 0.7091x_1^2 - 0.7181x_2^2 - 0.0504x_1x_2$$

当氮处于中等水平时, 互作效应大, 当 P_2O_5 达到 $35\text{kg}/667\text{m}^2$ 左右时, 互作效应最大, 再增加磷肥的施用量, 互作效应开始降低, 可能此时磷素的过量破坏了氮磷之间应保持的养分平衡关系。

氮钾互作: 同样得出氮钾互作效应方程, 随着钾肥用量的增大, 互作效应逐渐降低, 表明低钾水平时, 互作效应较大, 增施钾肥不仅单独产量反应下降, 而且降低氮肥的肥效, 引起交互作用的负效应。

磷钾互作: 磷钾互作效应与氮钾互作效应大体类似, 区别在于钾水平的高低与磷的互作效应差别很大。

2.4 最佳经济栽培方案的确定

番茄平均市场价格为 1.00 元/kg, 纯 N 价格为 2.32 元/kg, 纯 P_2O_5 价格为 2.17 元/kg,

当边际产量等于肥料与产品的价格比时, 即 $\frac{\partial y}{\partial x_i} = \frac{P_{xi}}{P_{yi}}$, 能取得最大的经济利润。根据这一原理, 对模式 (2) 分别求偏导:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 34.7546 - 1.4182x_1 - 0.0504x_2 = \frac{2.32}{1.00};$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = 57.9837 - 1.4362x_2 - 0.0504x_1 = \frac{2.17}{1.00}.$$

得 $x_1 = 21.5$, $x_2 = 38.1$, 即取得最大经济利润时应采取的栽培方案为施氮 $21.5 \text{ kg}/667\text{m}^2$, 施 P_2O_5 $38.1 \text{ kg}/667\text{m}^2$, 此与最高产量栽培方案十分接近, 说明增施氮、磷肥不会出现增产不增收的现象。

3 讨论

试验证明, 番茄作物对氮磷钾的反应关系符合三元二次回归模式, 经过连续三年的观测, 模型基本稳定, 但模型的参数是否因不同气候、不同品种、不同土壤肥力水平之间的差异而发生较大的变化, 还有待于做进一步的研究。

番茄是连续座果、多次采收的作物, 若将整个生育期分段探讨出各子阶段的最佳施肥量及其它最佳参数, 再综合分析, 有可能得出更为合理的施肥方案, 值得作进一步的研究。

采用二次最优饱和 D-回归设计中棚番茄的多因子施肥试验, 试验规模小, 有利于环境因子和土壤因子的均一控制, 减小实验误差, 适宜在开展蔬菜多因子栽培试验和探索标准化栽培技术研究中应用。

参 考 文 献

- 1 李祖荫, 张福锁, 章荣超等. 磷肥施用量与土壤速效磷动态变化的研究. 土壤肥料, 1985(5): 31~34
- 2 张秀英, 李庆荣, 周宝库. 夏玉米氮磷、氮钾交互作用效果. 土壤肥料, 1989(2): 43~44
- 3 陈寿伦, 李仁岗. 农田施肥原理与实践. 北京: 农业出版社, 1981.
- 4 清华大学编著. 最优化设计基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 5 陶勤南. 土壤营养、植物营养与合理施肥. 北京: 农业科技出版社, 1984.

Reaction Model for N, P, K to Tomato Yield and Defination of the Optimum Parameter for Fertilizing in the Middle Sheds

Jing Lijun¹ Zou Zhirong² Liu Jianhui² Zhang Heyi² Liu Xiaohui¹

(1 Tianjin Vegetable Research Institute, Tianjin 300381

2 Department of Horticulture, Northwestern Agricultural University, Yangling)

Abstract The devices of 3 factors and 2 powers saturation D were adopted in this test. Using urea, calcium superphosphate and potassium chloyide, we had quantitative studies on the issues of the optimum applying fertilizer- N, P, K and set up reaction model of fertilizer for tomato yields in the middle sheds. The optimum feritilizer dose, reaction law for output to every kind of fertilizers and interaction law were probed into respectively according to regression model.

Key words: Tomato; N; P; K; Rational fertilizing