

温室茄子水肥耦合数学模型及其优化方案研究

陈修斌^{1,2}, 邹志荣², 熊汉琴³

(1 甘肃河西学院园艺系, 甘肃 张掖 734000;

2 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨陵 712100; 3 陕西汉中农业学校, 陕西 汉中 723000)

摘 要: 采用 3 因素二次回归通用旋转组合设计, 研究了灌水量、钾肥、磷肥的耦合效应对茄子的影响, 得到茄子产量对 3 因素的回归数学模型。结果表明: 在本试验条件下, 3 因素影响茄子产量的顺序为施钾量> 灌水量> 施磷量。各因素间存在交互作用, 水与钾、水与磷、钾与磷在低于 1.132 和 2.312, 0.714 和 0.431, - 4.289 和 4.092 水平时对产量存在正相关关系, 在分别高于以上水平时又会呈负相关关系。经过计算机模拟, 得到茄子最高产量达 76 459.34 kg/hm² 时, 相对应的灌水量、施钾量、施磷量分别为 2 904.6 m³/hm²、78.6 kg/hm²、15.5 kg/hm²。对试验结果进行的验证表明, 构建的模型准确可靠。

关键词: 茄子; 水肥耦合; 数学模型; 优化方案; 温室

中图分类号: S641.1; S607

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)03-0201-03

Effect of Water- Fertilizer Coupling on Maths Model and Optimized Scheme of Eggplant in Greenhouse

CHEN Xiu-bin^{1,2}, ZOU Zhi-rong², XIONG Han-qin³

(1 Department of Horticulture of Hexi College, Zhangye 734000, Gansu, China;

2 Department of Horticulture, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China;

3 Hanzhong Agricultural School, Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

Abstract: By means of quadratic general rotational combination design, the comprehensive effects of H₂O, N, K₂O fertilizer on eggplant was studied, three water- fertilizer coupling regression models demonstrating the relationships between yield and factors were established. Analysis results showed: The effect of three factors on the yield of eggplant increased by degree in the series of K₂O > H₂O > P₂O₅. The interaction among these three factors existed. There is positive interaction among them in the level lower than 1.132 and 2.312, 0.714 and 0.431, - 4.289 and 4.092; and negative interaction among them higher than the levels. By simulation with computer, the amount of N, H₂O and K₂O for the highest yield were 2 904.6 m³/hm², 78.6 kg/hm², 15.5 kg/hm² respectively. The experiment proved that the model is accurate and reliable.

Key words: eggplant; water- fertilizer coupling; maths model; optimized scheme; greenhouse

茄子是我国北方地区温室栽培的主要蔬菜之一。多年来主要依靠肥水的大量投入来提高产量, 不合理灌水施肥不仅造成水资源和肥料的浪费, 导致茄子发病率高、品质下降, 而且土壤硝酸盐淋失, 微量元素缺乏及环境的污染。近年来, 国内外对农作物的水肥耦合技术进行了研究^[1-4], 取得了很大的成绩。大量研究证明^[5,6]养分和水分结合起来能有效提高水肥资源的利用率, 但这些研究大多集中于旱地作物。而在温室滴灌条件下, 茄子的水肥耦合技术研究尚稀见报道。

本研究以茄子为材料, 分析灌水量、钾肥及磷肥与茄子产量的关系, 定量研究水肥对茄子产量和水肥耦合效应的影响, 从而为茄子高产优质和高效栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2002-01-07 在甘肃张掖市新墩镇蔬菜基地温室进行。供试土壤容重为 1.42 g/cm³, 有机质含量为 16.31 g/

收稿日期: 2004-02-18

基金项目: 国家科技部“十五”重点攻关项目(2001BA503B10)

作者简介: 陈修斌(1968-), 河南邓州人, 讲师, 在职硕士, 主要从事设施蔬菜栽培与生理方面的研究。

kg, 碱解氮 76 50 mg/kg, 速效磷 15 28 mg/kg, 速效钾 167. 38 mg/kg, pH 为 7. 42。

1. 2 供试材料

目前温室主栽品种天津快园茄。

1. 3 试验方法

试验采用三因素二次回归通用旋转组合设计^[7], 以产量为目标函数, 以灌水量、施钾量、施磷量 3 因素为因变量, 构建数学模型。三因素不同水平的编码值见表 1。

表 1 全生育期灌水量、磷肥、钾肥试验因素水平编码

变量	$X_1(\text{H}_2\text{O})/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	$X_2(\text{K}_2\text{O})/$ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	$X_3(\text{P}_2\text{O}_5)/$ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
+ r	3300 0	157. 2	76 5
+ 1	2904 6	125. 4	60 9
0	2325 0	78 6	38 3
- 1	1745 4	31. 8	15 5
- r	1350 0	0 0	0 0

供试无机肥中钾肥为硫酸钾, 含 K_2O 330 g/kg, 利用率 35%; 磷肥为过磷酸钙, 含 P_2O_5 160 g/kg, 利用率 20%; 钾肥和磷肥各 1/3 做基肥施入各小区内, 剩余肥料分别在结果前期、结果盛期各施入 1/3。试验前各处理氮肥做基肥一次性施足。

小区面积 6 0 m²。小区之间深埋 50 cm 塑料隔离, 防止不同小区之间水分和养分相互影响。每畦定植 2 行, 株行距分别为 0 3 m 和 0 4 m, 每穴 1 株, 保苗 76 500 株/hm²。滴灌管布置在中间, 滴头间距 0 3 m, 滴头距植株 0 10 cm, 滴头流量 0 98 L/h。滴灌时按各处理灌水定额不同, 分别计算滴灌延续时间, 然后用闸阀控制, 精确记载流量、灌水量。每次灌水前后测定各处理土壤含水量, 作为灌溉依据。具体水肥指标见表 2。

试验采用高畦栽培, 畦高 0 3 m, 畦底宽 0 6 m, 上口宽 0 4 m, 畦沟宽 0 4 m。于 2002 年 1 月 3 日播种, 4 月 28 日开花结果, 7 月 12 日拉秧。采收时按各处理分别统计产量。

2 结果与分析

2. 1 产量目标函数数学模型的建立与检验

根据表 2 试验产量结果, 以产量为目标函数(y), 以灌水量(x_1)、磷肥(x_2)、钾肥(x_3) 三因素为控制变量, 对数据进行计算机处理, 得到茄子产量对三因素的回归数学模型:

$$y = 65968.32 + 1917.27x_1 + 4510.71x_2 + 1279.13x_3 - 1523.19x_1^2 - 1138.43x_2^2 - 1978.03x_3^2 + 664.11x_1x_2 + 596.76x_1x_3 - 3482.63x_2x_3$$

经显著性检验: $F_1 = 2.118 < F_{0.05} = 5.05$, 失拟不显著, 拟合很好。 $F_2 = 4.183 > F_{0.05} = 3.02$, 表明方程回归关系达到显著水平。 F 检验说明产量与各因素拟合很好, 可以进行效应分析及预测。

表 2 试验方案与各处理产量结果

处理	$X_1(\text{H}_2\text{O})$	$X_2(\text{K}_2\text{O})$	$X_3(\text{P}_2\text{O}_5)$	产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
1	- 1	- 1	- 1	67806. 0
2	- 1	- 1	1	71802. 0
3	- 1	1	- 1	65482. 5
4	- 1	1	1	54615. 0
5	1	- 1	- 1	60799. 5
6	1	- 1	1	66246. 0
7	1	1	- 1	60192. 0
8	1	1	1	52675. 5
9	- 1. 682	0	0	61924. 5
10	1. 682	0	0	58143. 0
11	0	- 1. 682	0	69412. 5
12	0	1. 682	0	52821. 0
13	0	0	- 1. 682	61299. 5
14	0	0	1. 682	56220. 0
15	0	0	0	65134. 5
16	0	0	0	68200. 3
17	0	0	0	64807. 2
18	0	0	0	64008. 5
19	0	0	0	66354. 0
20	0	0	0	67764. 8

2. 2 各因素及其交互作用与产量之间的关系

2. 2. 1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换, 其偏回归系数已经标准化, 故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。因此, 3 因素对产量的影响程度大小为 $x_2 > x_1 > x_3$, 即钾肥> 灌水量> 磷肥。

2. 2. 2 单因子效应分析

将回归模型中的灌水量、磷肥、钾肥 3 因子中的两个固定在零水平, 求得单因素对产量的偏回归子模型。

灌水量: $y = 65968.32 + 1917.27x_1 - 1523.19x_1^2$

施钾量: $y = 65968.32 + 4510.71x_2 - 1138.43x_2^2$

施磷量: $y = 65968.32 + 1279.13x_3 - 1978.03x_3^2$

分别对其求导, 令 $dy_i/dx_i = 0$, 求得 y_i 达极大值时各要素单独施用的最适量, 可得 $x_1 = 0.629$, $x_2 = 1.981$, $x_3 = 0.216$ 。

茄子对土壤水分的反应比较敏感, 在灌水量较低水平下, 边际产量较大, 产量迅速提高, x_1 编码值为 0.629 时, 边际产量趋近于零, 产量达最高, 之后边际产量转化为负值, 产量开始下降, 出现随灌水量的增加而减产的现象。钾的变化趋势和灌水量相似, 但变化更剧烈, 钾的极值点 $x_2 = 1.981$, 超过了本实验方案最高水平 1.682, 这可能是由于作物对钾的低吸收利用率所致^[8]。磷肥在 $x_3 = 0.216$ 时产量最高, 低于或高于此水平产量都会降低。

2. 2. 3 三因子的交互效应分析

实验中三因子之间对产量的影响有明显的交互耦合作

用。灌水量与钾肥、磷肥呈正交互作用,钾肥与磷肥呈负交互作用。按薛尔维斯德多元函数极值判别法则^[9],通过对产量模型的解析,分别得到 H₂O 与 K₂O、H₂O 与 P₂O₅、K₂O 和 P₂O₅ 的交互效应。其交互效应分界点分别为 1.132 和 2.312,0.714 和 0.431,-4.289 和 4.092,在其低于此相应水平时对产量存在正相关关系,高于此水平时又会呈负相关关系。

2.2.4 灌水量、钾肥、磷肥的优化组合及相应产量

通过对产量模型的解析,分析了灌水量、钾肥、磷肥各因子对产量的影响程度,得出 3 因子的取值分别为 1、0、-1,其相对应 H₂O、K₂O、P₂O₅ 用量分别为 2 904.6 m³/hm²、78.6 kg/hm²、15.5 kg/hm² 时,以此量化指标栽培茄子,产量可达最高值 76 459.34 kg/hm²。

3 模型验证

3.1 试验概况

供试品种为天津快园茄,试验于 2002-07-12 在原试验温室进行。供试土壤养分含量为碱解 N 80.20 mg/kg、速效 P₂O₅ 18.36 mg/kg、速效 K₂O 169.80 mg/kg。

3.2 试验设计

为了确保模型的可靠性和准确性,试验依据模型寻优得到的最佳组合 A、最差组合 B 和生产上一般灌水施肥量 CK,共设三个处理,各处理设置同前,重复三次,随机排列,进行模型的验证试验。各处理灌水量、磷肥、钾肥施用量见表 3。

表 3 各处理灌水量、氮肥、钾肥施用量

处理	X ₁ (H ₂ O)/ (m ³ ·hm ⁻²)	X ₂ (K ₂ O)/ (kg·hm ⁻²)	X ₃ (P ₂ O ₅)/ (kg·hm ⁻²)
A	2904.6	78.6	15.5
CK	3300.0	110.31	76.5
B	2904.6	125.4	60.9

参考文献:

[1] 张振贤,张福墁.我国设施园艺相关生理研究进展[J].农业工程学报,2002,18:117-123

[2] 杨丽娟,张玉龙,须晖.设施栽培条件下节水灌溉技术[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):130-132

[3] 冯绍元,王广兴.滴灌棉花水肥耦合效应的田间试验研究[J].中国农业大学学报,1998,3(6):59-62

[4] Phene C J, Huttmacher R B, Davis K R, et al. Water fertilizer management of processing tomatoes[J]. Acta Hort, 1990, 277: 137-193

[5] Baselga Yrizarry J J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen application[J]. Acta Hort, 1993, 335: 149-153

[6] Smatstria A G, Locascio S J. Tensiometer-controlled, drip-irrigation scheduling of tomato [J]. Applied Engineering in Agriculture, 1996, 12(3): 315-319

[7] 袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2000.366-385

[8] 陈晓红,邹志荣,李军,等.温室黄瓜配方施肥 N、P、K 模型构建[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(6):86-87

[9] 穆兴民.水肥耦合效应与协同管理[M].北京:中国林业出版社,1999.142-143

[10] 顾斌杰,杨广欣,张敦强,等.雨水集蓄利用技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001

[11] 井立军,邹志荣,刘建辉,等.中棚番茄产量的氮磷钾效应模式及最优施肥参数的确定[J].华北农学报,1999,14:86-90

[12] 葛晓光.菜田土壤与施肥[M].北京:中国农业出版社,2002.194-195

3.3 试验结果与分析

不同灌水量、钾肥、磷肥对茄子产量影响很大,由表 4 可以看出,A>CK>B,差异达极显著水平。说明由模型选优所得灌水量、钾肥和磷肥配比的栽培效果明显优于其它配比。生产上普遍采用的灌水施肥量,产量居中^[10,11],而由模型选出的较差组合产量最低,说明灌水量、钾肥、磷肥配比失衡,影响了茄子生长发育。由此证明,构建的模型准确可靠。

表 4 不同处理对茄子产量的影响 kg/hm²

处理	重复 1	重复 2	重复 3	平均	5% 显著水平	1% 显著水平
A	69300	86460	66480	68070	a	A
CK	59640	61920	61245	60930	b	B
B	53730	54075	55185	54330	c	C

4 结论与讨论

在本试验条件下,得出了滴灌茄子水肥耦合模型,经检验达到了显著水平,可以用于预报和指导生产。试验证明,水、钾、磷三因素影响茄子产量的顺序为钾肥>灌水量>磷肥。这一结果表明:茄子对营养元素的吸收量是钾大于磷,与前人关于茄子对营养元素的吸收量的大小研究的结果相吻合^[12]。在本试验中,水分成为影响茄子产量居钾素后的第二因子,说明在茄子的生长过程中,钾素对茄子生长发育及产量的影响程度高于水分的影响。

试验结果证明,茄子产量达到最高值 76 459.34 kg/hm² 时,相对应的灌水量、施钾量、施磷量分别为 2 904.6 m³/hm²、78.6 kg/hm²、15.5 kg/hm²。各因素间存在交互作用,得到水与钾、水与磷、钾与磷在低于 1.132 和 2.312,0.714 和 0.431,-4.289 和 4.092 水平时对产量存在正相关关系,在分别高于以上水平时又会呈负相关关系。