

河西绿洲茄子铁、锰、锌肥配施量化管理指标研究^①

陈修斌¹, 刘 华^{2*}, 张文斌³, 范惠玲¹, 李翊华¹

(1 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000; 2 甘肃省经济作物技术推广站, 兰州 730000;

3 甘肃张掖市经济作物技术推广站, 甘肃张掖 734000)

摘 要:采用 3 因素 2 次回归通用旋转组合设计, 研究了铁、锰、锌肥配施对茄子生长的影响, 得到茄子产量对 3 因素的回归数学模型。结果表明: 3 因素影响茄子产量的顺序为施锰量>施铁量>施锌量。各因素间存在交互作用, 铁与锰、铁与锌、锰和锌在低于 0.525 和 1.268、0.525 和 0.416、1.268 和 0.416 施肥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 34.62 t/hm² 时, 相对应的铁、锰、锌肥用量分别为 47.85、35.85、6.15 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; 铁、锰、锌肥配施; 量化指标

中图分类号: S641.1

随着农村产业结构的调整, 甘肃张掖市已建成反季节蔬菜、高原夏菜、轻工原料蔬菜“三大优势蔬菜”的特色产业蔬菜基地。截至 2010 年, 全市蔬菜种植面积 46.6 万亩。茄子是本区高原夏菜种植的主要蔬菜种类之一, 已成为农民增收和农业增效的支柱产业。有试验表明: 在蔬菜生产中施用钙、镁、硼、锌、铁微肥后, 蔬菜产量增加 15% 以上, 品质显著提高, 各种病害明显减轻^[1-2]。近年来, 在生产中农民为了提高蔬菜产量, 大量施用氮磷钾化肥, 导致微量元素的用量相对不足。在茄子栽培田间常表现为茄子幼叶变黄, 叶片基部出现灰黄色斑点, 沿叶脉向外扩展, 有时脉间焦枯坏死, 从顶部向茎叶发展; 有时表现茎叶全体发黄, 植株不开花、不现蕾结果; 有时表现植株矮化, 老叶比正常叶小, 叶柄背向弯曲, 并快速坏死, 数天后植株即枯萎。究其原因分别为缺铁、锰、锌的症状。本试验以茄子为材料, 定量研究不同微量元素铁、锰、锌用量对茄子产量的影响, 以期茄子高产、优质、高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011—2012 年在张掖绿洲农业示范园区进行。供试土壤为灌漠土, 0~20 cm 耕层土壤有机

质含量 11.06 g/kg, 碱解氮 60.83 mg/kg, 速效磷 7.23 mg/kg, 速效钾 146.70 mg/kg, pH 7.65, 总孔隙度 48.06%, 质地砂壤。

1.2 试验材料

供试材料为中日紫茄(长型)。

1.3 试验方法

试验采用 3 因素 2 次回归通用旋转组合设计^[3], 以产量为目标函数, 以施铁量(FeSO₄·7H₂O, 含 Fe 201 g/kg)、施锰量(MnSO₄·H₂O, 含 Mn 318 g/kg)、施锌量(ZnSO₄·7H₂O, 含 Zn 210 g/kg) 3 因素为因变量, 构建数学模型。3 因素不同水平的编码值见表 1。

表 1 全生育期铁、锰、锌肥试验因素水平编码
Table 1 Codes of different fertilization rates

变量 (Z _j)	FeSO ₄ ·7H ₂ O (kg/hm ²)	MnSO ₄ ·H ₂ O (kg/hm ²)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O (kg/hm ²)
+r	60.00	45.00	30.00
+1	47.85	35.85	23.85
0	30.00	22.5	15.00
-1	12.15	9.15	6.15
-r	0.00	0.00	0.00
j	17.85	13.35	8.85

试验设计共 20 个处理 采用高畦栽培 畦宽 80 cm, 沟宽 40 cm, 2011 年 3 月 12 日于日光温室播种育苗,

基金项目: 甘肃省农业科技创新项目(GNCX2011-12)资助。

* 通讯作者(hualiuz@163.com)

作者简介: 陈修斌(1968—), 男, 河南邓州人, 硕士, 教授, 主要从事园艺植物栽培与生理方面的研究。E-mail: chenxiubin2003@163.com

5 月 15 日定植露地,每畦定植二行,株距 40 cm,行距 50 cm,每处理种植一畦,面积 24 m²(1.2 m×20 m),每畦种植 120 株,保苗 7.1 万株/hm²,各处理随机重复 3 次。每处理结合整地普施有机肥 67.5 t/hm²;尿素施用量 0.52 t/hm²,其中 75% 做底肥,25% 做追

肥在盛果期施入;磷酸二铵用量 0.6 t/hm²;硫酸钾用量 0.45 t/hm²;铁、锰、锌微肥在整地做畦时采用条施方式一次性施入。6 月 21 日开始采收,9 月 15 日拉秧。采收时按各处理分别统计产量。试验处理方案见表 2。

表 2 各试验处理方案
Table 2 Scheme of test treatments

处理	x_1 (FeSO ₄ ·7H ₂ O)	x_2 (MnSO ₄ ·H ₂ O)	x_3 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	处理	x_1 (FeSO ₄ ·7H ₂ O)	x_2 (MnSO ₄ ·H ₂ O)	x_3 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)
1	1	1	1	11	0	1.682	0
2	1	1	-1	12	0	-1.682	0
3	1	-1	1	13	0	0	1.682
4	1	-1	-1	14	0	0	-1.682
5	-1	1	1	15	0	0	0
6	-1	1	-1	16	0	0	0
7	-1	-1	1	17	0	0	0
8	-1	-1	-1	18	0	0	0
9	1.682	0	0	19	0	0	0
10	-1.682	0	0	20	0	0	0

注:表中“1、-1、0、-1.682、1.682”代表各因子不同水平的编码值。

1.4 模型的验证试验设计

验证试验于 2012 年 3 至 9 月在原试验地进行,供试品种为中日紫茄,供试土壤养分含量为碱解氮 62.31 mg/kg、速效磷 7.69 mg/kg、速效钾 150.43 mg/kg。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 和生产上一般施肥量 CK,共设 3 个处理,各处理设置同前,重复 3 次,随机排列,进行模型的验证试验。各处理铁、锰、锌肥施用量见表 3。

表 3 各处理铁、锰、锌肥施用量
Table 3 Fertilizing amounts of Fe, Mn and Zn under different treatments

处理	FeSO ₄ ·7H ₂ O (kg/hm ²)	MnSO ₄ ·H ₂ O (kg/hm ²)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O (kg/hm ²)
A	47.85	35.85	6.15
CK	30.00	22.50	15.00
B	30.00	0.00	15.00

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 4 试验产量结果,以产量为目标函数(y),以施铁量(x_1)、施锰量(x_2)、施锌量(x_3)3 因素为控制变量,对数据进行计算机处理,得到茄子产量对 3 因素的回归数学模型: $y = 33.68 + 1.85x_1 + 3.98x_2 + 1.63x_3 - 1.76x_1^2 - 1.57x_2^2 - 1.96x_3^2 + 0.52x_1x_2 + 0.76x_1x_3 - 3.68x_2x_3$ 。经显著性检验: $F_1 = 2.58 < F_{0.05} = 4.67$,失拟不显著,拟合很好。 $F_2 = 10.32 > F_{0.01} = 5.78$,表明方

程回归关系达到极显著水平。 F 检验说明产量与各因素拟合很好,方程有效,可以进行效应分析及预测。剔除 $\alpha=0.10$ 不显著项后,简化后的回归方程为: $y = 33.68 + 1.85x_1 + 3.98x_2 + 1.63x_3 - 1.76x_1^2 - 1.57x_2^2 - 1.96x_3^2 - 3.68x_2x_3$ 。

表 4 各处理产量结果
Table 4 Yield of different treatments

处理	产量 (t/hm ²)	处理	产量(t/hm ²)
1	30.96	11	32.57
2	34.62	12	15.97
3	28.55	13	24.63
4	17.74	14	19.37
5	23.97	15	28.28
6	29.33	16	31.02
7	23.46	17	27.63
8	15.83	18	27.17
9	24.57	19	29.17
10	21.26	20	30.92

注:表中同一处理的产量为 3 次重复的平均值。

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 由于设计中各因素均经无量纲线性编码处理^[3],各偏回归系数不受因素取值的大小和单位的影响,即已经标准化,其绝对值的大小直接反映变量对产量的影响程度。从回归模型中可以看出,回归系数绝对值的大小为 $3.98 > 1.85 > 1.63$,得出本试验中 3 因素对产量影响的顺序依次为 x_2 、 x_1 、

x_3 ，即施锰量>施铁量>施锌量。

2.2.2 单因子效应分析 将回归模型中的施铁量、施锰量、施锌量 3 因子中的两个固定在 0 水平，求得单因素对产量的偏回归子模型。施铁量： $y = 33.68 + 1.85x_1 - 1.76x_1^2$ ，施锰量： $y = 33.68 + 3.98x_2 - 1.57x_2^2$ ，施锌量： $y = 33.68 + 1.63x_3 - 1.96x_3^2$ 。分别对其求导，令 $dy/dx_i = 0$ ，求得 $y_i(i = 1, 2, 3)$ 达极大值时各要素单独施用的最适量，可得 $x_1 = 0.525$ ， $x_2 = 1.268$ ， $x_3 = 0.416$ 。施铁量、施锰量、施锌量与茄子产量之间呈抛物线关系，在较低水平下，边际产量较大，产量迅速提高。施铁量的 x_1 编码值为 0.525 时，边际产量趋近于 0，产量达最高，之后边际产量转化为负值，产量开始下降，出现随施铁量的增加而减产的现象。施锰量的变化趋势和施铁量相似，但变化更剧烈，其极值点 $x_2 = 1.268$ ，这说明微量元素锰的用量对茄子生育要比铁和锌影响要剧烈。施锌量在极值点 $x_3 = 0.416$ 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 试验中 3 因子之间对产量的影响有明显的交互耦合作用。按薛尔维斯德多元函数极值判别法则^[4]，通过对产量模型的解析，

分别得到铁与锰、铁与锌、锰和锌的交互效应分界点。其交互点值分别为 0.525 和 1.268、0.525 和 0.416、1.268 和 0.416，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 施铁量、施锰量、施锌量的优化组合及相应产量 通过对产量模型的解析，分析了施铁量、施锰量、施锌量各因子对产量的影响程度，得出 3 因子的取值分别为 1、1、-1，其相对应铁、锰、锌肥用量分别为 47.85、35.85、6.15 kg/hm² 时，以此量化指标栽培茄子，产量可达到最高值 34.62 t/hm²。

2.3 验证试验结果

不同施肥量对茄子产量影响很大，由表 5 可以看出，A>CK>B，差异达极显著水平。说明由模型选优所得施铁量、施锰量、施锌量配比的产量最高，施肥成本、施肥利润、肥料投资效率分别为 4 100 元/hm²、8 600 元/hm² 和 2.10 元/元，栽培效果明显优于其他配比。生产上普遍采用的施肥量，产量居中^[5-10]，而由模型选出的较差组合产量最低，说明施铁量、施锰量、施锌量配比失衡，影响了茄子生长发育。由此证明，构建的模型准确可靠。

表 5 不同处理对茄子产量的影响
Table 5 Effects of different treatments on Eggplant yield

处理	小区产量 (kg/小区)	产量 (t/hm ²)	增产量 (t/hm ²)	增产值 (万元/hm ²)	肥料成本 (万元/hm ²)	肥水利润 (万元/hm ²)	肥水投资效率 (元/元)
B	74.98	31.25 bC					
A	85.64	35.68 aA	4.43	1.27	0.41	0.86	2.10
CK	81.00	33.75 bB	2.50	0.72	0.32	0.41	1.28

注：茄子 2 860 元/t、有机肥 350 元/t、尿素 1 350 元/t、磷酸二铵 2 900 元/t、硫酸亚铁 13 500 元/t、硫酸锰 15 600 元/t、硫酸锌 18 670 元/t；产量后大写字母表示处理间差异在 $P < 0.01$ 水平极显著。

3 结论与讨论

在本试验条件下，得出了茄子对微量肥料铁、锰、锌施用量的最佳配比模型，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，铁、锰、锌肥 3 因素影响茄子产量的顺序为施锰量>施铁量>施锌量，茄子产量可达到最高值 34.62 t/hm² 时，其相对应铁、锰、锌肥用量分别为 47.85、35.85、6.15 kg/hm²；同时试验的 3 因素间存在交互作用，得到铁与锰、铁与锌、锰和锌的交互效应分界点，其交互点值分别为 0.525 和 1.268、0.525 和 0.416、1.268 和 0.416，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。

本试验得到的茄子对铁、锰、锌肥用量的最佳配比，在本地区或同类地区进行推广应用，可以有效补充因微量肥料不足而导致茄子出现的生理病害的发

生，同时可以协调土壤中大量元素与微量元素的平衡关系，有利于增强茄子植株对营养元素的全面吸收，促进茄子生长发育，增强其抗病性，对于进一步提高茄子的产量和品质，实现农业增效、农民增收，具有十分重要的应用价值和推广前景。

参考文献：

[1] 王广奎, 王晓梅, 杨忠堂. 微肥在蔬菜上的科学施用[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 173-174

[2] 唐培玉, 王素珍, 唐培. 微肥在蔬菜生产上的应用[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(15): 196

[3] 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

[4] 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

[5] 井立军, 邹志荣, 刘建辉, 张合一, 刘晓辉. 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

- [6] 杨彬, 陈修斌, 鄂利锋, 许耀照. 温室辣椒水肥耦合效应研究[J]. 土壤, 2009, 41(2): 278–281
- [7] 陈修斌, 张红菊, 赵怀勇, 张文斌, 王勤礼. 河西走廊加工型胡萝卜 N、P、K 肥配施数学模型构建与优化方案研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 540–543
- [8] 陈修斌, 潘林, 王勤礼, 谢鑫星. 温室番茄水肥耦合数学模型及其优化方案研究[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 138–141
- [9] 马波, 田军仓. 压砂地西瓜水肥耦合模型及优化组合方案[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 24–29
- [10] 汪建飞, 邢素芝, 于群英, 李孝良. 结球甘蓝 NPMg 肥配施数学模型的研究[J]. 土壤, 2004, 36(4): 412–415

Quantitative Indices of Fe, Mn and Zn Fertilizers for Eggplant in Hexi Oasis

CHEN Xiu-bin¹, LIU Hua^{2*}, ZHANG Wen-bin³, FAN Hui-ling¹, LI Yi-hua¹

(1 Agriculture and Biotechnology College, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China; 2 Economic Crops Technology Promotion Stations of Gansu, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3 Economic Crops Technology Promotion Stations of Zhangye, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Factor quadratic regression with 3 general rotation designs was adopted to study the effects of Fe, Mn and Zn fertilizers on the growth of eggplant, and the regression model was obtained among yields and 3 factors. The results showed that the influence of 3 factors on eggplant yield was in order of Mn> Fe> Zn. There were interactions among various factors. Fe and Mn, Fe and Zn, and Mn and Zn had positive correlations to yield below levels of fertilization 0.525 and 1.268, 0.525 and 0.416, 1.268 and 0.416, but had negative correlation when levels of fertilization being higher. The highest yield of eggplant was 34.62 t/hm² based on computer simulation, corresponding to the fertilizer amounts of Fe, Mn and Zn were 47.85 kg/hm², 35.85 kg/hm² and 6.15 kg/hm², respectively. The established model was validated accurately and reliably by tests.

Key words: Eggplant, Fe, Mn and Zn fertilizers, Quantitative indicators