

温室黄瓜配方施肥 N, P, K 模型构建*

陈晓红, 邹志荣, 李 军, 杨 旭, 贺忠群

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 采用3因素5水平2次正交旋转组合设计,研究了N、P、K肥配施对黄瓜产量的影响,建立了温室黄瓜产量形成的肥料反应模式,利用回归模型对最优化施肥量、各肥料要素的单因子效应及其交互效应进行了探讨。结果表明,养分配比适宜可提高温室黄瓜的产量,当N、P、K配比为1 0 68 1,对应的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)用量分别为314.9、213.0、321.0 kg/hm²时,温室黄瓜最高产量可达120 052.5 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] 黄瓜; 配方施肥; 模型构建

[中图分类号] S642.206⁺.2; S625.5⁺.4 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2003)06-0085-05

黄瓜是深受人们喜爱的瓜类蔬菜,是北方地区露地生产及温室生产的主要蔬菜之一。近年来,由于人们一味追求高产,盲目大量施肥,尤其在日光温室造成肥料浪费,土壤盐分积累,氮、磷、钾比例失调^[1,2]。因此,本研究试图通过建立数学模型,进行氮、磷、钾3因子对产量影响的定量研究,以期为温室黄瓜的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

津春2号。

1.2 试验地概况

试验于2002-03~07在西北农林科技大学园艺学院试验站进行。供试土壤养分含量分别为碱解氮81.00 mg/kg,速效磷19.37 mg/kg;速效钾113.16 mg/kg。

1.3 施用肥料概况

有机肥养分含量分别为N 1.91%, P₂O₅ 2.15%, K₂O 2.35%,有机质58.58%;无机肥中氮肥为尿素,含N量46%,利用率40%;磷肥过磷酸钙,含P₂O₅ 16%,利用率20%;钾肥为硫酸钾,含K₂O 33%,利用率35%。应用肥料量的计算公式为:应用肥料量=施用量/(肥料养分含量×利用率)。

1.4 试验设计

试验采用3因素5水平2次正交旋转组合设计^[3]。

根据杨陵地区春季日光温室的栽培水平,目标产量定为187 500 kg/hm²^[4],计算出黄瓜吸收养分分别为N 315 kg/hm², P₂O₅ 180 kg/hm², K₂O 636 kg/hm²。

土壤可提供养分量(kg/hm²)=土壤速效养分(mg/kg)×各项系数×15。

各项系数^[5]由蔬菜土地利用系数(一般蔬菜为0.8)、蔬菜不同生长季节的养分调节系数(早春茬为0.7)和土壤速效养分利用率(结合目前施肥状况及参考有关资料^[5],碱解氮为0.6,速效磷为0.5,速效钾为1.0)决定。则土壤可供N、P、K养分的含量为:

$$N = 81.00 \times 0.0504 \times 15 = 61.236 \text{ kg/hm}^2;$$

$$P_2O_5 = 19.37 \times 0.042 \times 15 = 12.203 \text{ kg/hm}^2;$$

$$K_2O = 113.16 \times 0.084 \times 15 = 142.581 \text{ kg/hm}^2。$$

施用有机肥可供养分量=有机肥施用量(7 500 kg/hm²)×有效含量×利用率。

有机肥利用率由土杂肥的养分利用率决定。参考文献[6],N、P、K的养分利用率分别为20%、25%和40%,则需施用有机养分量为:

$$N = 7\,500 \times 1.91\% \times 20\% = 28.65 \text{ kg/hm}^2;$$

$$P_2O_5 = 7\,500 \times 2.15\% \times 25\% = 40.35 \text{ kg/hm}^2;$$

$$K_2O = 7\,500 \times 2.35\% \times 40\% = 70.50 \text{ kg/hm}^2。$$

应施养分量=黄瓜吸收养分量-土壤可供养分-有机肥可供养分。则应施N、P、K养分量为:

$$N = 315 - 61.236 - 28.65 = 225.1 \text{ kg/hm}^2;$$

* [收稿日期] 2002-12-16

[基金项目] 国家“十五”攻关项目(2001BA503B10)

[作者简介] 陈晓红(1978-),女,陕西咸阳人,在读硕士,主要从事日光温室及蔬菜营养研究。

$P_2O_5 = 180 - 12 \cdot 203 - 40 \cdot 35 \div 127.4 \text{ kg/hm}^2$; 423.0 kg/hm^2 , 将此水平定为 1。N, P, K 各因子不同水平的施用量如表 1 所示, 不同水平所需施用的

由以上计算可知, 产量达到 187.500 kg/hm^2 化肥量见表 2。

时需施入 N, P, K 的养分量分别为 225.1, 127.4 和

表 1 不同水平时 N, P, K 的施用量

Table 1 Different rate of N, P and K application

肥料 Fertilizer	r	1	0	- 1	- r
N	282.0	225.1	141.0	57.0	0
P_2O_5	160.5	127.4	79.5	31.5	0
K_2O	532.5	423.0	265.5	108.0	0

表 2 不同 N, P, K 水平所需施用的化肥量

Table 2 Fertilizer application amount with different concentrations of N, P and K

化肥 Fertilizer	r	1	0	- 1	- r
尿素 $CO(NH_2)_2$	1.533	1.222.5	766.5	310.5	0
过磷酸钙 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O + CaSO_4 \cdot 2H_2O$	5.016	3.984.0	2.484.0	984.0	0
硫酸钾 K_2SO_4	4.584	3.663.0	2.298.0	934.5	0

2 结果与分析

本试验各处理施肥情况和所得产量列于表 3。

其中, 磷肥作基肥 1 次施入; 氮肥 30% 作基肥, 追肥

分别在开花结果初期、盛期及盛末期分 3 次平均施入; 钾肥 50% 基肥, 剩余 50% 在结瓜盛期 1 次施入^[4]。

表 3 试验处理方案及产量

Table 3 Design of experiment and yield

处理号 No.	尿素/(g · 株 ⁻¹) Carbamide			过磷酸钙/(g · 株 ⁻¹) Calcium superphosphate			硫酸钾/(g · 株 ⁻¹) Potassium sulfate		产量/ Yield (kg · hm ⁻²)
	x_1	基肥 Basal-manuring	追肥 Post-manuring	x_2	施肥量 Quantity of manuring	x_3	基肥 Basal-manuring	追肥 Post-manuring	
1	1	6.12	14.28	1	66.40	1	30.56	30.56	112.764
2	1	6.12	14.28	1	66.40	- 1	7.80	7.80	116.707.5
3	1	6.12	14.28	- 1	16.40	1	30.56	30.56	110.380.5
4	1	6.12	14.28	- 1	16.40	- 1	7.80	7.80	99.559.5
5	- 1	1.56	3.64	1	66.40	1	30.56	30.56	105.424.5
6	- 1	1.56	3.64	1	66.40	- 1	7.80	7.80	111.201
7	- 1	1.56	3.64	- 1	16.40	1	30.56	30.56	105.336
8	- 1	1.56	3.64	- 1	16.40	- 1	7.80	7.80	97.941
9	r	7.68	17.92	0	41.40	0	19.16	19.16	106.708.5
10	- r	0	0	0	41.40	0	19.16	19.16	103.041
11	0	3.84	8.96	r	83.60	0	19.16	19.16	114.129
12	0	3.84	8.96	- r	0	0	19.16	19.16	98.799
13	0	3.84	8.96	0	41.40	r	38.20	38.20	106.395
14	0	3.84	8.96	0	41.40	- r	0	0	101.439
15	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	109.720.5
16	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	113.382
17	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	109.548
18	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	108.774
19	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	111.921
20	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	112.789.5
21	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	109.765.5
22	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	108.172.5
23	0	3.84	8.96	0	41.40	0	19.16	19.16	110.947.5

以产量为目标函数, 以 N, P, K 3 因子 (x_1, x_2, x_3) 为决策变量, 对表 3 数据进行计算机处理, 得到

黄瓜 3 因素反应的方程为:

$$y = 7.230.8 + 160.7x_1 + 418.4x_2 + 110.9x_3 -$$

$$95.2x_1^2 - 57.4x_2^2 - 126.7x_3^2 + 40.8x_1x_2 + 29.5x_1x_3 - 223.6x_2x_3 \quad (1)$$

进行显著性检验, 总回归 $F = 13.198 > 4.19$, 达显著水平, 表明 N, P, K 与黄瓜产量间存在显著回归关系。去除 $\alpha = 0.25$ 不显著项后, 方程可简化为

$$y = 7.230.8 + 160.7x_1 + 418.4x_2 + 110.9x_3 - 95.2x_1^2 - 57.4x_2^2 - 126.7x_3^2 - 233.6x_2x_3 \quad (2)$$

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, 故可直接由其绝对值大小来判断各因子对目标函数的相对重要性。因此, 3 因素对产量的影响程度为 $P > N > K$ 。而前人研究^[5]表明, 氮肥是产量的最大影响因素, 在生产中, 农民为追求高产, 也一味多施氮肥。因供试土壤含磷量为 19.37 mg/kg , 属于低磷水平, 因此, 磷成为影响黄瓜产量的主要因子。

2.2 单因子效应分析

在模式(2)中, 分别将 2 个变量固定在零水平, 进行降维分析, 可得到以 3 个因素中 1 个施肥要素为决策变量的偏回归模型:

$$y_1 = 7.230.8 + 160.7x_1 - 95.2x_1^2;$$

$$y_2 = 7.230.8 + 418.4x_2 - 57.4x_2^2;$$

$$y_3 = 7.230.8 + 110.9x_3 - 126.7x_3^2;$$

分别对其求导, 可得出 N, P, K 边际产量的反应模式

$$\frac{dy_1}{dx_1} = 160.7 - 190.4x_1;$$

$$\frac{dy_2}{dx_2} = 418.4 - 114.8x_2;$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} = 110.9 - 253.4x_3;$$

令 $\frac{dy_i}{dx_i} = 0$, 求出 y_i 达极大值时各肥料要素单独施用的最适量, 可得 $x_1 = 0.844$, $x_2 = 3.64$, $x_3 = 0.438$ 。

黄瓜属于喜氮作物, 在低氮水平时, 边际产量很大, 产量迅速上升, x_1 编码值为 0.844 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, 出现氮过量而减产的现象。

磷的变化趋势和氮相似, 但变化较氮剧烈, P 的单点极值 $x_2 = 3.64$, 超过了本试验方案最高水平

1.682, 这可能是由于土壤的低磷水平, 使土壤对过磷酸钙的强烈固定及作物对磷的低吸收利用率所致。

钾肥在 $x_3 = 0.4076$ 时产量达最高, 低于或高于此水平都将造成产量降低。

2.3 N, P, K 交互效应分析

2.3.1 N, P 交互效应分析 令 $x_3 = 0$, 由模式(2)得出 N, P 的交互效应方程为:

$$y_{(1,2)} = 7.230.8 + 160.7x_1 + 418.4x_2 - 95.2x_1^2 - 57.4x_2^2$$

经计算得, $x_1 = 0.844$, $x_2 = 3.64$ 时产量最高, 交互效应对产量的影响见表 4。

表 4 N, P 用量变化对产量的影响

Table 4 Effect of N and P quantity variation on yield

条件 Condition	因素变化 Factor variety	产量 Yield
$x_1 < 0.844, x_2 < 3.64$	N-, P-	
$x_1 > 0.844, x_2 < 3.64$	N+, P-	
$x_1 < 0.844, x_2 > 3.64$	N-, P+	
$x_1 > 0.844, x_2 > 3.64$	N+, P+	

注: “+”表示“增加”, “-”表示“降低”, “-”表示“不变”。下同。

Note: “+” means “increase”, “-” means “decrease”, “-” means “no-change”. The following tables are the same

2.3.2 N, K 交互效应分析 令 $x_2 = 0$, 由模式(2)得出 N, K 的交互效应方程为:

$$y_{(1,3)} = 7.230.8 + 160.7x_1 + 110.9x_3 - 95.2x_1^2 - 126.7x_3^2$$

经计算, $x_1 = 0.844$, $x_3 = 0.438$ 时产量最高, 氮钾交互效应对产量的影响见表 5。

表 5 N, K 用量变化对产量的影响

Table 5 The effect of N and K quantity variation on yield

条件 Condition	因素变化 Factor variety	产量 Yield
$x_1 < 0.844, x_2 < 0.438$	N-, K-	
$x_1 > 0.844, x_2 < 0.438$	N+, K-	
$x_1 < 0.844, x_3 > 0.438$	N-, K+	
$x_1 > 0.844, x_3 > 0.438$	N+, K+	

2.4 模型寻优

根据方程(2)在计算机上进行选优结果显示, 黄瓜产量最高 ($y_{\max} = 120.0525 \text{ kg/hm}^2$) 时, N, P, K 3 因子的取值分别为 1, 1.682, -1 (表 6)。

表 6 最高产量的各因子组合

Table 6 Combination of factors for optimal yield

肥料 Fertilizer	因子 Factor	编码值 Coding quantity	实际肥料用量/(kg·hm ⁻²) Fertilizer dosage
尿素 CO(NH ₂) ₂	x ₁	1	1 222.5
过磷酸钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2H ₂ O+ CaSO ₄ ·2H ₂ O	x ₂	1.682	5 016.0
硫酸钾 K ₂ SO ₄	x ₃	-1	934.5

3 模型验证

3.1 试验概况

供试品种为津春 2 号, 试验于 2002-07~11 在原温室进行。供试土壤养分含量为: 碱解 N 85.72 mg/kg, 速效 P₂O₅ 19.12 mg/kg, 速效 K₂O 133.26 mg/kg, 有机肥养分含量同前。

3.2 试验设计

根据第 1 次试验结果, 在计算机上进行模型选优, 得到黄瓜产量 $y_{\max} = 120\,052.5$ kg/hm² 时, N, P, K 3 因子取值分别为 1, 1.682, -1。为了确保模型的可靠性和准确性, 试验依据模型选出的最优组合 A、最差组合 B 和农民一般施肥水平 CK, 共设 3 个处理, 进行模型验证试验。

3.2.1 A 处理养分施用量 根据模型寻优得出的最佳 N, P, K 配比为 1, 1.682, -1, 施 N, P₂O₅ 和 K₂O 的量分别为 225.1, 160.5 和 108.0 kg/hm², 加上有机肥料提供的 N, P₂O₅, K₂O 养分分别为 28.65, 40.35, 70.5 kg/hm² 和土壤可提供的 N, P₂O₅, K₂O 为 61.236, 12.203, 142.581 kg/hm², 就是黄瓜整个生育期需要的养分。

A 处理土壤应施养分 = 黄瓜所需养分 - 土壤可供有效养分 - 有机肥可供养分。

第二次土壤可供有效养分 N, P₂O₅, K₂O 分别为 64.80, 12.00, 167.85 kg/hm², 有机肥施用量如前, 所以 A 处理土壤应施 N, P₂O₅, K₂O 分别为 221.40, 160.65, 73.65 kg/hm²。

3.2.2 B 处理养分施用量 前次试验得出的最差组合 N, P, K 分别为 0, -r, 0, 对应施用 N, P₂O₅, K₂O 的量分别为 141.0, 265.5 kg/hm²。计算方法如 A 处理, 得出 B 处理施 N, P₂O₅, K₂O 的量分别为 137.40, 0, 325.35 kg/hm²。

3.2.3 CK 处理养分施用量 根据调查, 农民普遍

施 N, P₂O₅, K₂O 分别为 138.0, 48.0, 86.7 kg/hm²。各处理纯养分施用量及肥料施用量见表 7 和表 8。

表 7 不同处理 N, P, K 的施用量

肥料 Fertilizer	K in different treatments kg/hm ²		
	A	B	CK
N	221.40	137.40	138.0
P ₂ O ₅	160.65	0	48.0
K ₂ O	73.65	325.35	86.7

表 8 不同处理 N, P, K 的肥料施用量

Table 8 Fertilizer application amount with different treatment of N, P, K kg/hm²

肥料 Fertilizer	A	B	CK
尿素 CO(NH ₂) ₂	1 203.0	747	750
过磷酸钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2H ₂ O+ CaSO ₄ ·2H ₂ O	5 020.5	0	1 500
硫酸钾 K ₂ SO ₄	715.5	2 817	750

3.2.4 施肥方法 处理 A 和处理 B 中, 磷肥作基肥 1 次施入; 氮肥 30% 作基肥, 追肥分别在开花结果初期、盛期及盛末期平均分 3 次施入; 钾肥 50% 基肥, 剩余 50% 在结瓜盛期 1 次施入, 方法同前; CK 处理中, 氮肥 30% 作基肥, 追肥分别在开花结果初期、盛期及盛末期平均分 3 次施入, 钾肥全部作基肥 1 次施入。

3.3 试验结果与分析

不同 N, P, K 配比对黄瓜产量影响很大, 由表 9 可以看出, A > CK > B, 差异达极显著水平。说明由模型所得 N, P, K 配比的栽培效果明显优于其他配比。生产中普遍采用的施肥方式, 只是根据经验和估计, 产量居中^[7-9], 而由模型选出的较差配方产量最低, 说明其 N, P, K 配比失衡, 影响了黄瓜生长发育。由此证明, 构建的模型准确、可靠。

表 9 不同处理对黄瓜产量的影响

Table 9 Yield of different treatment

处理号 Treatment No.	重复 1 Repeat 1	重复 2 Repeat 2	重复 3 Repeat 3	平均 Average	5% 显著水平 Significant level	1% 显著水平 Very significant level
A	59 730	61 380	59 535	60 373.5	a	A
CK	55 290	53 385	57 660	54 594.0	b	B
B	51 045	51 615	51 150	51 459.0	c	C

4 讨 论

试验证明, 温室黄瓜产量对N, P, K 的反应关系符合3因素2次正交旋转组合回归模型。在本试验的土壤肥力条件下, 磷肥是影响黄瓜产量的主要因子。研究表明, 供试土壤为缺磷土壤, 所以首先要保证充足的磷肥, 才能在N 与K 合理配施的情况下得到高产。

本试验结果表明, 黄瓜达到最高产量时, 所需的

N, P_2O_5 , K_2O 量分别为 314.9, 213.0, 321.0 kg/hm^2 。其比例为 1:0.68:1, 与前人的研究结果一致^[10]。但在黄瓜结瓜初期, 白粉病发生非常严重, 严重地制约了黄瓜的产量, 致使实际产量低于目标产量。这是由于蔬菜作物生长在一个错综复杂的环境中, 各因子不同程度地影响着蔬菜的生长和发育, 模型寻优结果是否随发病情况、土壤、环境因子间的差异而发生较大的变化, 还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 刘长庆, 王德科, 王连建, 等. 大棚蔬菜平衡施肥试验研究[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1): 45- 46
- [2] 丰 泉. 蔬菜配方施肥[J]. 湘西科技, 2001, (1): 24- 24
- [3] 白厚义, 肖俊章. 田间研究及统计分析[M]. 西安: 世界图书出版社, 1998: 229- 237.
- [4] 唐俊昌, 邹志荣, 程智慧. 高效设施园艺生产技术大全[M]. 西安: 西安地图出版社, 2001.
- [5] 全国土壤肥料总站肥料处. 蔬菜配方施肥[M]. 北京: 农业出版社, 1990
- [6] 慕成功, 郑 义. 农作物配方施肥[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- [7] 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(3): 86- 90
- [8] 朱亚萍, 赵治书. 番茄配方施肥研究[J]. 西南农业大学学报, 1999, 21(2): 166- 169
- [9] 邵吉安, 沈建国. 大蒜配方施肥研究技术[J]. 上海农业科技, 2000, (5): 67- 67.
- [10] 马国瑞. 蔬菜施肥指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000

Establish formula model on balanced fertilization of N, P and K to cucumber in greenhouse

CHEN Xiao-hong, ZUO Zhi-rong, LI Lian, YANG Xu, HE Zhong-qun

(College of Horticulture, North West Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By means of quadratic component rotational design, the effect of N, P and K balanced fertilization on the yield of cucumber was studied. The reaction model between the cucumber yield and the fertilizers was also established. Then based on the model, optimal quantity of fertilizer, the effect of single factor and interaction were studied. Right ratio of fertilizer could improve the production. The amount of N, P_2O_5 and K_2O for the highest yield were 314.9, 213.0 and 321.0 kg/hm^2 respectively, with ratio of N : P_2O_5 : K_2O , 1 : 0.68 : 1. The verification experiment proved that the model is accurate and reliable.

Key words: cucumber; balanced fertilization formula; model construction