

氮、磷和钾肥施用量对有机生态型无土栽培 温室黄瓜产量影响的研究

孙军利¹, 赵宝龙¹, 蒋卫杰², 孙治强³, 余宏军²

(1. 新疆石河子大学农学院, 832000; 2. 中国农科院蔬菜花卉所, 北京 100081; 3. 河南农业大学, 郑州 450002)

摘要: 采用二次回归饱和 D-最优试验设计方法研究了固态 N、P 和 K 肥施用量对日光温室有机生态型无土栽培春茬黄瓜产量的影响, 建立了 N、P 和 K 肥施用量与早、中、后期黄瓜产量形成之间的数学模型。试验结果表明: N、P 及 K 对黄瓜的早期产量影响极显著, 产量区间为 2 400~3 260 g/小区的最佳施肥量(单位: g/株/次)为 N 0.83, P₂O₅ 0.37, K₂O 0.86; P、K 是影响黄瓜中期产量的主要因素, 产量区间为 6 400~9 200 g/小区的最佳施肥量分别为 N 0.66, P₂O₅ 0.33, K₂O 0.90; 黄瓜生长后期, N 肥对黄瓜产量的影响极其显著, 产量区间为 2 000~2 940 g/小区的最佳施肥量为 N 0.61, P₂O₅ 0.40, K₂O 0.94。

关键词: 黄瓜; 基质; 无土栽培; 氮、磷、钾; 数学模型

中图分类号: S606⁺.2; S642.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2006)06-0010-03

黄瓜是人们喜食的重要蔬菜, 在日光温室蔬菜生产中占有重要地位。但由于生产上不合理的大量施用肥料而导致温室土壤出现次生盐渍化, 采用有机生态型无土栽培技术可有限的克服由次生盐渍化和土传病害引起的土壤连作障碍, 但在科研上也缺乏对日光温室有机生态型无土栽培黄瓜需肥特点和平衡施肥深入系统的研究^[1,2]。为此, 进行了温室有机生态型无土栽培黄瓜施肥量与产量关系的研究, 以期黄瓜高产高质生产提供理论依据。

1 材料与方法

试验供试品种为中农 202(中国农科院蔬菜花卉所提供)。试验场所为中国农业科学院蔬菜花卉研究所日光温室。采用有机生态型无土栽培方式, D-最优回归试验设计(见表 1), 选取氮肥(X₁)、磷肥(X₂)和钾肥(X₃)的施用量为变量, 有机肥与无机肥的质量比例为 6:4。所用有机肥为消毒鸡粪, 所用无机氮肥、磷肥和钾肥分别为硫酸铵(N 21%)、过磷酸钙(P₂O₅ 17%)和硫酸钾(K₂O 50%)。试验设置 10 个处理, 3 次重复, 小区面积 2.7 m², 每小区定植 12 株(相当于 3 000 株/667 m²)。每次每小区除去边缘 4 株作为保护株外, 其余的 8 株均取样。

试验所用有机肥主要来自大型现代化养鸡场, 经发酵、高温消毒烘干的消毒鸡粪。这种消毒鸡粪无臭味, 含氮 4.21%~5.22%, 磷 1.50%~2.10%, 钾 0.62%~1.94%, 钙 6.16%~7.68%, 镁 0.68%~1.34%, 铁 0.2%。此外, 还含有锰、

表 1 试验设计方案及施肥水平

处理号	码值方案			施肥水平(g/株/次)		
	X ₁	X ₂	X ₃	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	-1	-1	-1	0.2	0.1	0.3
2	1	-1	1	1.2	0.1	0.3
3	-1	1	-1	0.2	0.6	0.3
4	-1	-1	1	0.2	0.1	1.4
5	0.1925	0.1925	-1	0.8	0.4	0.3
6	0.1925	-1	0.1925	0.8	0.1	0.96
7	-1	0.1925	0.1925	0.2	0.4	0.96
8	-0.2912	1	1	0.55	0.6	1.4
9	1	-0.2912	1	1.2	0.28	1.4
10	1	1	-0.2912	1.2	0.6	0.69

铜、锌、钼、硼等微量元素。由于消毒鸡粪中营养元素不能满足植物正常生长发育的要求, 必须加入一定量的速效无机肥料。

定植前每个小区槽内, 施消毒鸡粪 0.81 kg, 定植 20 d 后开始追肥, 每 10 d 追施 1 次, 常规管理。试验于 2 月 12 日播种, 3 月 12 日三叶一心时定植。4 月 9 日开始采收黄瓜, 7 月 15 日拉秧。定植前对栽培基质的农化性状进行了测定, 供试基质全氮 0.83%, 全磷 0.40%, 全钾 0.39%; 速效氮 368 mg/kg, 速效磷 547 mg/kg, 速效钾 118 mg/kg。

试验数据利用 DPS(Data processing system)软件进行分析处理。

2 结果与分析

将黄瓜产量按前期(4 月 9 日至 5 月 3 日)、中期(5 月 4 日至 6 月 19 日)、后期(6 月 20 日至 7 月 15 日)分别进行计算, 各时期产量见表 2。

由表 2 可以看出, 中期产量明显高于早期产量和后期产量, 黄瓜的主要产量集中在采收中期, 中期产量占到全生育期产量的 55%~65%, 前期产量占总产量的 18%~24%, 后期产量占总产量的 14%~22%。因此, 尽量延长结果中期的时间可以增加黄瓜的总产量, 这就需要合理施肥, 增强温室管理, 尽量延长叶片寿命, 从而延长采收时间。重复间的产量差异较大, 这是由于温室内光、温条件的差异造成的。



第一作者简介: 孙军利, 女, 1976 年生, 2003 年获河南农业大学蔬菜学硕士, 现任石河子大学农学院讲师, 主要从事园艺植物栽培与生理的研究。

*基金项目: 科技部“十五”863 项目(2001AA247012)资助

收稿日期: 2006-06-14

表 2		黄瓜前、中、后期产量												g/ 小区	
处理水平	早期产量				中期产量				后期产量				平均		
	I *	II	III	平均	I	II	III	平均	I	II	III	平均			
1	1 810	2 051	2 123	1 995	6 178	6 246	6 905	6 443	1 046	1 638	2 359	1 681			
2	1 272	2 423	2 547	2 081	4 735	5 876	6 968	5 860	584	1 501	1 660	1 248			
3	1 327	1 858	2 249	1 811	5 083	6 508	6 989	6 193	447	2 191	2 821	1 820			
4	1 485	1 906	2 124	1 838	4 760	6 949	7 463	6 391	1 059	1 563	2 182	1 601			
5	1 464	2 112	2 578	2 051	6 149	6 305	7 405	6 620	1 558	1 670	2 240	1 823			
6	1 827	2 089	2 110	2 009	6 483	7 233	7 453	7 056	989	2 465	2 936	2 130			
7	1 309	1 764	3 236	2 103	5 786	5 893	6 676	6 118	1 441	1 798	2 106	1 782			
8	2 352	2 849	2 874	2 692	5 000	5 215	9 193	6 469	2 166	2 530	3 233	2 643			
9	1 929	2 427	3 260	2 539	6 153	7 661	8 762	7 525	1 769	1 992	2 747	2 169			
10	1 333	2 576	3 061	2 323	4 881	5 293	7 523	5 899	1 047	1 356	2 558	1 654			

*: I II III代表三次重复

2.1 氮、磷、钾施入量与黄瓜早期产量的关系

以 N、P、K 肥施入量为自变量, 黄瓜总产量为因变量, 利用 DPS 软件对 N、P、K 施入量与黄瓜产量进行二次多项式回归分析, 建立了 N、P、K 施入量对黄瓜产量的二次多项式回归模型。氮、磷、钾施入量与黄瓜早期产量有如下关系:

$$Y_1=2111+201X_1+166X_2+174X_3-41X_1^2+77X_2^2+118X_3^2+49X_1X_2+38X_1X_3+21X_2X_3(F=10.6^{**})\cdots(1)$$

经检验, 方程(1)的 F 检验达到极显著水平, 相关系数 R=0.95, 该数学模型与田间试验结果高度拟合。对各回归系数进行 F 测验, 结果表明: N、P 及 K 的一次项均达到极显著水平, P、K 间的交互作用达到极显著水平。说明在该肥力水平下, N、P、K 施入量对黄瓜早期产量影响都很明显。N、P 和 N、K 间互作都有增产作用, 但其增产效果均不明显。

(1)式的二次项回归系数矩阵各阶顺序主子行列式分别为:
 $|A_1|=-82<0$ $|A_2|=-15.029<0$ $|A_3|=6.7\times10^5>0$

驻点不是最大值, 不能用于边际分析。但通过统计检验, 该方程回归关系极显著, 可以用频率分析方法寻优来提出试验范围内生产因素的优化组合。对(1)式采用频率分析方法寻优结果见表 3。

表 3 黄瓜前期产量区间为 2 400~3 260 g/小区的频率分析

因素水平	氮肥 N	频数	频率	磷肥 P ₂ O ₅	频数	频率	钾肥 K ₂ O	频数	频率
1	-1	1	0.053	-1	2	0.103	-1	3	0.164
2	-0.2912	8	0.421	-0.2912	8	0.414	-0.2912	8	0.436
3	0.1925	2	0.105	0.1925	4	0.207	0.1925	2	0.109
4	1	8	0.421	1	5.33	0.276	1	5.33	0.291

由表 3 看出: N、P、K 肥在因素为中低水平(z=-0.2912)时, 各因素频率出现的比率高, 而 N 在高水平(z=1)时, 因素频率也较高, 但综合考虑肥料效应, 以中低水平为宜; 而在 N、P 肥为低水平(z=-1)时, 因素频率出现的比率普遍偏低, K 肥在中高水(z=0.1925)时, 因素频率出现的比率低。

根据施肥水平为各因素水平与其对应的频率的乘积之和, 由上表可以算得各因素码值: X₁=0.266; X₂=0.092; X₃=0.021。

根据 Z_j=z_{ij}+△_j(X_j-X_{ij}), 可以求出 2 400~3 260 g/小区产量区间各生产因素加权平均数的优化组合方案: 氮肥 Z₁=0.83(g/株/次), 磷肥 Z₂=0.37(g/株/次), 钾肥 Z₃=0.86(g/株/次)。

2.2 氮、磷、钾施入量与黄瓜中期产量的关系

氮、磷、钾施入量与黄瓜中期产量有如下关系:

$$Y_2=6662+148X_1-480X_2+254X_3-376X_1^2-177X_2^2+160X_3^2-94X_1X_2+480X_1X_3-389X_2X_3(F=5.9^{**})\cdots(2)$$

经检验, 方程(2)的 F 检验达到极显著水平, 相关系数 R=0.92, 该数学模型与田间试验结果高度拟合。对各回归系数进行 F 测验, 结果表明: P 的一次项达到极显著水平, K 的一次项达到显著水平, N、K 互作和 P、K 互作都达到极显著水平。说明在该肥力水平下, P、K 是影响黄瓜产量的主要因素, 但 P 的施用对产量表现为负增产效应。N、K 互作有显著的增产作用, P、K 互作对产量影响极显著, 但对产量表现为负增产效应; N、P 互作虽然有增产作用, 但其增产效果不明显。这大概与基质中 N、P 肥的含量较高而 K 肥的含量偏低有关。

(2)式的二次项回归系数矩阵各阶顺序主子行列式分别为:
 $|A_1|=-752<0$ $|A_2|=2.6\times10^5>0$ $|A_3|=2.2\times10^8>0$

驻点不是最大值, 不能用于边际分析。但通过统计检验, 该方程回归关系极显著, 可以用频率分析方法寻优来提出试验范围内生产因素的优化组合。对(2)式采用频率分析方法寻优结果见表 4。

表 4 黄瓜中期产量区间为 6 400~9 200 g/小区的频率分析

因素水平	氮肥 N	频数	频率	磷肥 P ₂ O ₅	频数	频率	钾肥 K ₂ O	频数	频率
1	-1	6	0.237	-1	6	0.237	-1	5	0.211
2	-0.2912	8	0.316	-0.2912	8	0.316	-0.2912	4	0.169
3	0.1925	6	0.237	0.1925	6	0.237	0.1925	8	0.338
4	1	5.33	0.210	1	5.33	0.210	1	6.67	0.282

由表 4 可看出: N、P 肥在因素为中低水平(z=-0.2912)时, 因素频率出现的比率高, 而 K 肥在中高水平(z=0.1925)时, 因素频率出现的比率高; N、P 肥为高水平(z=1)时, 各因素频率出现的比率普遍偏低, 而 K 肥在中低水平(z=-0.2912)时, 因素频率出现的比率低。

根据施肥水平为各因素水平与其对应的频率的乘积之和, 由上表可以算得各因素码值: X₁=-0.073; X₂=-0.073; X₃=0.087。

根据 Z_j=z_{ij}+△_j(X_j-X_{ij}), 可以求出 6 400~9 200 g/小区产量区间各生产因素加权平均数的优化组合方案: 氮肥 Z₁=0.66(g/株/次), 磷肥 Z₂=0.33(g/株/次) 钾肥 Z₃=0.90(g/株/次)。

2.3 氮、磷、钾施入量与黄瓜后期产量的关系

氮、磷、钾施入量与黄瓜后期产量有如下关系:

$$Y_3=2140-65X_1+62X_2+260X_3-469X_1^2+171X_2^2-58X_3^2-166X_1X_2+244X_1X_3+55X_2X_3(F=12.1^{**})\cdots(3)$$

经检验, 方程(3)的 F 检验达到极显著水平, 相关系数 R=0.96, 该数学模型与田间试验结果高度拟合。对各回归系数进行 F 测验, 结果表明: K 的一次项达到极显著水平, 对产量表现为正的增产效应, 而 N、P 对产量的影响不明显; N 的二次项达到极显著水平, N、K 和 N、P 交互作用都达到极显著水平。说明在该肥力水平下, K 是影响黄瓜产量的主要因素。N、K 和 N、P 互作有显著的增产作用, N、P 对产量影响极显著, 但对产量表现为负增产效应; P、K 互作虽然有增产作用, 但其增产效果不明显。

(3)式的二次项回归系数矩阵各阶顺序主子行列式分别为:
 $|A_1|=-938<0$ $|A_2|=-3.5\times10^5<0$ $|A_3|=1.8\times10^7>0$

驻点不是最大值, 不能用于边际分析。但通过统计检验,

该方程回归关系极显著, 可以用频率分析方法寻优来提出试验范围内生产因素的优化组合。对(3)式采用频率分析方法寻优结果见表5。

表5 产量区间为 2 000~2 940 g/小区的频率分析

因素水平	氮肥 N	频数	频率	磷肥 P ₂ O ₅	频数	频率	钾肥 K ₂ O	频数	频率
1	-1	5	0.195	-1	4	0.200	-1	4	0.194
2	-0.2912	12	0.468	-0.2912	4	0.200	-0.2912	4	0.194
3	0.1925	6	0.234	0.1925	4	0.200	0.1925	6	0.484
4	1	2.66	0.104	1	8	0.400	1	6.67	0.323

由表4可看出: N肥在因素为中低水平($z = -0.2912$)时, 因素频率出现的比率较高, 而K肥在高水平($z = 1$)时, 因素频率出现的比率较高; N肥为高水平($z = 1$)时, 因素频率出现的比率偏低, 而P、K肥在低($z = -1$)、中低水平($z = -0.2912$)时, 因素频率出现的比率较低。

根据施肥水平为各因素水平与其对应的频率的乘积之和, 由上表可以算得各因素码值: $X_1 = -0.182$; $X_2 = 0.181$; $X_3 = 0.16$ 。

根据 $Z_j = Z_{1j} + \Delta_j(X_j - X_{1j})$, 可以求出 2 000~2 940 g/小区产量区间各生产因素加权平均数的优化组合方案: 氮肥 $Z_1 = 0.61$ (g/株/次), 磷肥 $Z_2 = 0.40$ (g/株/次), 钾肥 $Z_3 = 0.94$ (g/株/次)。

3 讨论与小结

黄瓜是一种产量高、需肥多的蔬菜。从黄瓜整个生育期的需肥情况可以看出:

在黄瓜生长的过程中, 各个阶段对各种肥料的需求量是不相同的。早期的N肥需求量较多, P、K肥在结果后期需求量较多。通过频率分析, 黄瓜的生长早期, 最佳氮、磷、钾的比例为 $0.83:0.37:0.86 \approx 2.3:1:2.3$ 所需氮肥、钾肥的水平比较高; 黄瓜生长的中期, 最佳氮、磷、钾的比例为 $0.66:0.33:0.90 \approx 2:1:2.7$, 氮肥、磷肥的需求量降低, 但对钾肥的需求量增高; 黄瓜生长的后期, 氮、磷、钾的施肥比例为 $0.61:0.4:0.94 \approx 1.5:1:2.4$, 所需氮肥水平降低, 但磷肥和钾肥的需求量增多。前期对氮肥的需求量明显的高于中期及后期的氮肥需求量, 其原因大概是早期植株形态构建的需要。

在本试验肥力条件下, N、K、P、K肥的互作增产效果较

好, 而N、P肥的互作对产量的影响很小, 可能是因为基质中含的N、P肥偏高。N、P及K肥对产量的贡献率大小为 $K > P > N$, 考虑该肥力条件下黄瓜植株对N、P及K肥的需求吸收特点, N与P对产量贡献率的错位可能与基质中氮肥含量偏高有关。具体的真正原因有待于进一步的试验研究。

为了检验试验模型的可靠性和预测结果, 还应该进一步利用最佳施肥方案进行示范试验。同时, 还需要同常规施肥水平下做对照试验, 以检测最佳施肥方案与常规施肥方案之间是否存在着显著性差异。

N、P及K是三种主要的植物生长必需元素, 黄瓜在生长过程中对这三种元素的吸收量有待于进一步的研究, 以期找出植株对N、P及K的吸收量与黄瓜产量的关系。

参考文献:

- [1] Jiang Weijie, Liu Wei, Yu Hongjun et al. Development of Soilless Culture in Mainland China[J]. 农业工程学报(英), 2001, 17(1): 10-15.
- [2] Zheng Guanghua, Jiang Weijie, Bai Gangyi et al. High Quality No Pollution Tomato Production, The Proceedings of 1995 International Symposium on Non-pollution Vegetable and Green Food Engineering[M]. China Agricultural Science Tech Press(英), 1995, 86-93.
- [3] 王兴仁, 张福锁. 现代肥料试验设计[M]. 中国农业出版社, 1996.
- [4] 蒋卫杰, 刘伟, 余宏军, 等. 蔬菜无土栽培新技术[M]. 北京: 金盾出版社, 1999.
- [5] 范双喜. 黄瓜高产栽培新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [6] 龚建华, 何军. 黄瓜群体叶面积无破坏性速测方法研究[J]. 中国蔬菜, 2001(4): 7-9.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 王曰鑫. 无公害蔬菜施肥概论[M]. 中国农业科技出版社, 2001.
- [9] 白纲义, 黄德明. 蔬菜配方施肥新技术[M]. 中国农业出版社, 1999.
- [10] 魏国强, 孙治强, 常高正, 等. 不同施肥量对温室基质栽培番茄产量与品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(4): 385-387.
- [11] 范富, 张庆国, 范伟全. 春棚黄瓜施肥模型的研究[J]. 内蒙古民族大学学报, 2001, 16(3): 261-264.
- [12] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统. 华夏英才基金学术文库, 2002.

Study on Effect of N, P and K on Greenhouse Cucumber Yield of Eco-organic Soilless Culture

SUN Jun-li¹, ZHAO Bao-long¹, JIANG Wei-jie², SUN Zhi-qiang³, YU Hong-jun²

(1. Shihezi University of Xinjiang, 832000; 2. College Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 3. Hennan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract Adopted twice saturated regression and D-optimal design to study the effect of nutrient N, P and K on cucumber yield by directly supplying solid N、P and K fertilizer (mixture of organic and inorganic fertilizers) in eco-organic type soilless culture system. The maths models between fertilization rate and yield was established. The results indicated that N, P and K nutrient had significant effect on cucumber early yield. The optimum fertilization rate of N, P and K were 0.83 (unit: g/plant/time, the same as follows), 0.37 and 0.86 respectively during early growing stage; P and K had significant effect on cucumber middle yield, the optimum fertilization rate of N, P and K were 0.66, 0.33 and 0.90 respectively during middle growing stage; N had significant effect on cucumber late yield. The optimum fertilization rate of N, P and K were 0.61, 0.40 and 0.94 respectively during late growing stage.

Key words Cucumber; Media; Soilless cultural; N、P、K; Maths model