

栽培密度和肥料对甘蓝产量的影响

张 勇,程智慧,张恩慧,王妍妮

(西北农林科技大学园艺学院蔬菜花卉研究所, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 采用栽培密度、氮、磷、钾四因素二次回归通用旋转组合设计, 建立了甘蓝产量与四因素的耦合回归数学模型; 分析了四因素对甘蓝产量影响的顺序为氮>密度>钾>磷; 密度×氮、氮×钾交互效应显著; 筛选出 667 m²(平方米)产量≥4 800 kg(公斤)的四因素最佳组合为密度 2 431~2 475 株, N20.3 kg~21.4 kg(公斤), P₂O₅6.7 kg~7.3 kg(公斤), K₂O15.5 kg~16.8 kg(公斤)。

关键词: 结球甘蓝; 密度; 肥料; 产量

中图分类号: S635 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2004)05-0054-02

甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*)是我国重要蔬菜之一, 全国各地普遍栽培。有关甘蓝高产栽培的肥料配比研究很多, 但由于各试验材料及环境气候等条件的不同, 试验结果有较大差异^[1,2], 而且由于试验设计本身存在的局限性, 不能反映出各个肥料因素间的互作效应关系。秦甘 80 甘蓝是首批国家农业科技成果转化资金项目转化品种, 在中西部地区进行大面积区域试验与示范。本试验综合研究栽培密度、氮、磷、钾各因素及其交互作用对秦甘 80 产量的影响, 通过建立密度肥料与产量回归模型方程, 为该品种及其同类型品种春季高产栽培提供栽植密度和施肥的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在西北农林科技大学园艺学院试验地进行, 土壤为粘壤土, 定植前测定 0 cm~20 cm(厘米)深土壤: pH 值 8.1, 有机质 13.9 g/kg(克/公斤), 全氮 0.98 g/kg(克/公斤), 全磷 1.432 g/kg(克/公斤), 全钾 17.1 g/kg(克/公斤), 碱解氮 84 mg/kg(毫克/公斤), 速效磷 47 mg/kg(毫克/公斤), 速效钾 144 mg/kg(毫克/公斤)。

1.2 试验设计

试验采用四因素二次回归通用旋转组合设计, 31 个处理, 小区面积 13.3 m²(平方米), 随机排列, 各因素水平及编码见表 1。

1.3 试验安排

选用西北农林科技大学园艺学院育成的中熟甘蓝“秦甘 80”。供试肥料为尿素(N46.4%), 过磷酸钙(P₂O₅16%), 硫酸钾(K₂O33%)。2002 年 10 月 25 日露地育苗, 小弓棚覆盖越冬, 2003 年 3 月 17 日定植。磷肥 100% 做基肥施入, 氮

表 1

因素水平编码

水平	密度(x ₁) (株/667 m ²)	N(x ₂) (kg/667 m ²)	P ₂ O ₅ (x ₃) (kg/667 m ²)	K ₂ O(x ₄) (kg/667 m ²)
+2	2800	33.33	13.33	26.67
+1	2550	25	10	20
0	2300	16.67	6.67	13.33
-1	2050	8.33	3.33	6.67
-2	1800	0	0	0

肥和钾肥 40% 做基肥, 4 月 15 日(莲坐期)施 20% 的氮肥和钾肥, 5 月 5 日(包心始期)施 40% 的氮肥和钾肥, 追肥均采用环施。6 月 8 日采收测产。

2 结果与分析

2.1 数学模型的建立

根据四因素二次回归通用旋转组合设计原理编制计算程序^[3,4], 对试验结果(表略)经运算得到产量(Y)与栽培密度(x₁)、氮(x₂)、磷(x₃)、钾(x₄)耦合回归模型为:

$$y = 4851.9 + 168.7x_1 + 271.5x_2 + 32.7x_3 + 92.9x_4 + 48.7x_1x_2 + 16.6x_1x_3 + 6.8x_1x_4 + 7.7x_2x_3 + 39.1x_2x_4 + 18.0x_3x_4 - 163.1x_1^2 - 316.4x_2^2 - 143.4x_3^2 - 137.6x_4^2 \dots (1)$$

对方程(1)进行方差分析, $F_1 = 1.40^{**} < F_{0.05}(10, 6) = 4.06$, 表明无失拟因素存在, $F_2 = 115.9^{**} > F_{0.05}(14, 16) = 2.37$, 总决定系数 $R^2 = 0.989$, 表明模型与实际情况拟合性很好, 进一步对方程各项回归系数显著性检验, $df = 16$ 查 t 值表 $t_{0.05} = 2.120$, $t_{0.01} = 2.921$, 可知磷的一次项显著, 其余一次项的和二次项均极显著, 交互项除密度×N、N×K 在 $t_{0.05}$ 水平显著外其余项不显著。交互项与其它项均不相关, 即不影响其它项系数, 可依 t 值由低至高分步去掉 $t_{0.05}$ 水平不显著项, 每去一项重新进行方差分析和拟合度检验。调整后得回归模型方程: $y = 4851.9 + 168.7x_1 + 271.5x_2 + 32.7x_3 + 92.9x_4 + 48.7x_1x_2 + 16.6x_1x_3 + 6.8x_1x_4 + 7.7x_2x_3 + 39.1x_2x_4 + 18.0x_3x_4 - 163.1x_1^2 - 316.4x_2^2 - 143.4x_3^2 - 137.6x_4^2 \dots (2)$ 方程(2)可用于寻求最佳配方和进行生产预报。

2.2 主因素效应分析

由于采用通用旋转组合设计, 偏回归系数已标准化, 一次项系数绝对值大小可直接反映变量对产量的影响程度, 正负



第一作者简介: 张勇, 助理研究员, 1996 年毕业于南京农业大学园艺系, 毕业分配至陕西省农科院蔬菜花卉所, 现工作于西北农林科技大学园艺学院蔬菜花卉所, 2001 年攻读本校蔬菜专业硕士学位。主要从事甘蓝、洋葱栽培生态生理研究。

* 国家农业科技成果转化资金项目(02EFN216100583)

收稿日期: 2004-06-25

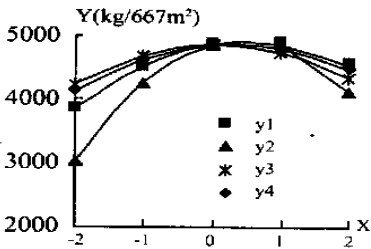
号表示因素的作用方向。因此由方程一次项系数可知试验各因素作用大小关系为: 氮> 密度> 钾> 磷。

2.3 单因子效应分析

对模型方程(2)采用“降维法”即分别将其它因素固定在“零”水平时, 得一组各因素与产量的偏回归子模型如下:

$$y_1=4851.9+168.7x_1-163.1x_1^2$$
$$y_2=4851.9+271.5x_2-316.4x_2^2$$
$$y_3=4851.9+32.7x_3-143.4x_3^2$$
$$y_4=4851.9+92.9x_4-137.6x_4^2$$

根据子模型可求得单因素回归方程的极值点为: $x_1^*=0.517$ (密度 3 643 株/667 m²(平方米)), $x_2^*=0.429$ (N 20. 2 kg/667 m²(公斤)/平方米), $x_3^*=0.114$ (P₂O₅ 7. 0 kg/667 m²(公斤/平方米)), $x_4^*=0.338$ (K₂O 15. 6 kg/667 m²(公斤/平方米)), 再依次给各因素取值, 求得产量并作曲线图。从图 1 可明显看出, 产量随各因素水平的变化均为开口向下的抛物线, 各因素极值点为极大值点, 如果偏离极值点即栽培密度和施肥量偏低或偏高均导致产量下降。同时从各因素对产量影响的变异度看, 氮肥的作用最大(CV=16. 4%), 密度其次(CV=8. 6%), 再者为钾肥(CV=6. 3%), 磷肥最小(CV=5. 9%)。这一结果与主因素对产量影响的大小顺序一致, 同时表明密度的效应也是相当大的, 这说明在栽培甘蓝时不但要平衡施肥, 密度也是重点考虑的因素之一。



单因子效应曲线图

表 2 密度×氮、氮×钾效应 (单位: kg/667 m²)

x ₂ (N)	x ₂ (密度)					x ₄ (K ₂ O)				
	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
-2	2248.3	2808.9	3043.3	2951.5	2533.5	2463.5	2891.0	3043.3	2920.4	2522.3
-1	3371.6	3980.9	4264.0	4220.9	3851.6	3606.0	4072.6	4264.0	4180.2	3821.2
0	3862.1	4520.1	4851.9	4857.5	4536.9	4115.7	4621.4	4851.9	4807.2	4487.3
1	3719.8	4426.5	4807.0	4861.3	4589.4	3992.6	4537.4	4807.0	4801.4	4520.6
2	2944.7	3700.1	4129.3	4232.3	4009.1	3236.7	3820.6	4129.3	4162.8	3921.1

2.4 因素间的互作效应分析

分别固定其余两因素在零水平, 得到二元回归子模型:

$$y_{x_1x_2}=4851.9+168.7x_1+271.5x_2+48.7x_1x_2-163.1x_1^2-316.4x_2^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$y_{x_2x_4}=4851.9+271.5x_2+92.9x_4+39.1x_2x_4-316.4x_2^2-137.6x_4^2 \dots\dots\dots (4)$$

根据上述二式计算出密度(x₁)与氮(x₂)、氮与钾(x₄)不同水平组合时的甘蓝产量(表 3)。由表 3 知, 密度和氮肥在高水平时产量变幅较大, 但只有在适中水平, 即密度为 1 和氮肥为 0 水平时密度×氮才出现最大值, 这说明高密度需配施高氮肥, 但合理密植要根据品种特征特性和土壤肥力而

定^[5, 6]; 氮、钾均为 0 和-2 水平时氮×钾效应分别出现最大值和最小值, 这表明只有氮、钾量维持在合理范围内并保证适当比例才能最好地发挥肥效^[7]。

2.5 最优组合方案

根据建立的产量与栽培密度、施氮量、施磷量、施钾量耦合回归模型, 取步长为 0. 5, 利用计算机对 6 561 个方案进行比较寻优, 找出密度、N、P、K 分别为 0. 5、0. 5、0. 5 水平时最高产量为 4 986. 1 kg/667 m²(公斤/平方米)。对其中产量≥4 800 kg/667 m²(公斤/平方米)的 93 个方案进行频数分析(见表 4), 结果表明: 最优组合方案为 667 m²(平方米)栽培密度 2 431~2 475 株, N20. 3 kg~21. 4 kg(公斤), P₂O₅ 6. 7 kg~7. 3 kg(公斤), K₂O 15. 5 kg~16. 8 kg(公斤), N、P、K 比例为 3:1:2. 3。

表 3 产量≥4 800 kg/667 m²组合寻优方案

编码值	X ₁ (密度)次数	X ₂ (N)次数	X ₃ (P ₂ O ₅)次数	X ₄ (K ₂ O)次数
1.5	6	0	0	2
1	30	22	7	23
0.5	26	49	28	33
0	21	22	35	28
-0.5	0	0	22	7
-1	0	0	1	0
加权平均数	0.613	0.500	0.097	0.419
标准误	0.045	0.036	0.048	0.049
95%置信区间	0.525~0.701	0.430~0.570	0.003~0.190	0.322~0.516
最佳方案	2431~2475	20.3~21.4	6.7~7.3	15.5~16.8
	株/667m ²	kg/667m ²	kg/667m ²	kg/667m ²

3 结论

本试验条件下, 得出的结球甘蓝产量与栽培密度(x₁)、施氮量(x₂)、施磷量(x₃)、施钾量(x₄)耦合回归模型经检验达到了显著水平, 可以用于实际生产。四因素影响结球甘蓝产量的顺序为施氮量> 密度> 施钾量> 施磷量, 密度与氮以及氮与钾的交互作用达到显著水平。

四因素水平过低或过高都将造成产量下降, 只有在密度合理且施肥均衡时才能节本增效取得高产。类似条件下, 667 m²(平方米)产量≥4 800 kg(公斤)的四因素最佳组合为: 栽培密度 2 431~2 475 株, N20. 3 kg~21. 4 kg, P₂O₅ 6. 7 kg~7. 3 kg, K₂O 15. 5 kg~16. 8 kg(公斤)。

参考文献:

[1] 何天秀, 何成辉, Michel Marchand, 等. N、P、Mg 营养平衡与甘蓝高产优质的关系[J]. 西南农业学报, 1999, (12): 50~56.
[2] 程秀珍. 测土施肥技术在甘蓝上的应用[J]. 北方园艺, 1997(4): 11~13.
[3] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 高等教育出版社, 2000.
[4] 白厚义, 肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安: 世界图书出版社, 1998.
[5] 张振贤. 蔬菜生理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1983.
[6] 陆幅一. 蔬菜栽培生态生理[M]. 杨凌: 西北农业大学教材, 1986.
[7] 祖艳明, 林克惠. 钾营养的交互作用及其对作物产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2000(2): 3~7.