

氮钾肥对南粳44产量和品质的影响

杨艳华 张亚东 朱 镇 陈 涛 赵庆勇 周丽慧 王才林

(江苏省农业科学院粮食作物研究所,江苏省优质水稻工程技术研究中心,国家水稻改良中心南京分中心,江苏 南京 210014)

摘要:采用二次饱和D-最优设计,研究了氮、钾肥对南粳44产量和品质的影响,在此基础上建立了以氮、钾肥施用量为变量因子,南粳44产量为目标函数的二元二次数学模型。就品质而言,氮、钾肥显著影响南粳44的外观品质和营养品质,其中较高的施氮量显著降低稻米的食味值,而一定的钾肥施用量则相应提高稻米的食味值。模型解析表明:氮、钾肥对南粳44的产量也有显著的影响,其中氮肥对南粳44产量的影响大于钾肥;氮肥、钾肥之间存在显著的交互效应。氮(尿素)和钾(氯化钾)施用量分别小于 750 kg/hm^2 和 366 kg/hm^2 时,产量随施肥量的增加而提高。经计算机模拟得出,在本试验条件下,南粳44产量超过 $9\,289.5\text{ kg/hm}^2$ 的施肥量为尿素: $325.5\sim 750\text{ kg/hm}^2$,氯化钾: $228\sim 366\text{ kg/hm}^2$ 。

关键词:水稻;氮;钾;产量;品质

中图分类号:S143.1 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2010)增刊-0225-05

Effects of Nitrogen and Potassium on Yield and Quality of Nanjing 44

YANG Yan-hua, ZHANG Ya-dong, ZHU Zhen, CHEN Tao,
ZHAO Qing-yong, ZHOU Li-hui, WANG Cai-lin

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu High Quality Rice R & D Center Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: The effects of nitrogen and potassium on yield and quality of Nanjing 44 (*Oryza sativa* L.) were studied with the design of double saturated D-optimal regression. Meanwhile a mathematical model was established, in which the nitrogen and potassium fertilized were independent variables and the yield of Nanjing 44 was dependent variables. The results of quality showed that nitrogen and potassium significantly affected appearance quality and nutrition quality of Nanjing 44. A higher amount of nitrogen significantly reduced taste value of the rice, while a certain amount of potash fertilizer correspondingly improved taste value of the rice. The models analysis also showed that nitrogen and potassium could significantly influence the yield of Nanjing 44, and nitrogen had heavier effect than potassium. At the same time, there was significant interaction between nitrogen and potassium. Within the amount of urea 750 kg/ha , KCl 366 kg/ha , yield increased with the increase of fertilizer. According to computer simulation, the most suitable amounts of fertilizer for over $9\,289.5\text{ kg/ha}$ yield of Nanjing 44 were urea $325.5\sim 750\text{ kg/ha}$, KCl $228\sim 366\text{ kg/ha}$.

Key words: Rice; Nitrogen; Potassium; Yield; Quality

南粳44原名宁4009,属早熟晚粳稻品种,由江苏省农业科学院粮食作物研究所经南粳38系统选育,于2004年育成。该品种株高100 cm左右,全生育期158 d左右,株型紧凑,长势较旺,穗型中等,叶色浅绿,分蘖性较强,群体整齐度好,后期熟色好。2007年1月通过江苏省品种审定委员会审定(审定

编号:苏审稻200709),在近几年的示范推广中均表现出很好的高产抗倒伏特性^[1-2]。已有研究表明,氮、钾肥对多种作物的生长发育、产量和品质有显著的影响^[3-6]。2009年,南粳44在江苏全省的推广面积达400多万亩,而目前关于南粳44合理施肥的研究报道尚不多见。因此,本研究通过氮钾肥配施

收稿日期:2010-05-20

基金项目:江苏省人事厅博士后资助项目;农业部超级稻新品种选育与示范项目;农业部跨越计划项目;江苏省农科院博士后基金和江苏省农业科技自主创新基金(CX[08]603)

作者简介:杨艳华(1973-),女,山东济宁人,助理研究员,博士,主要从事植物分子生物学与分子进化、作物遗传育种研究。

通讯作者:王才林(1959-),男,江苏无锡人,研究员,博士,主要从事水稻遗传育种及品质改良研究。

对南粳 44 产量和品质的影响开展了相关研究工作,期望在施肥水平、水稻产量及品质之间找到一个平衡点。在保证最佳经济效益的前提下,通过合理施肥提高南粳 44 的产量并改进其品质,为南粳 44 的高产优质提供技术支持,这对实现南粳 44 的高产、优质及大面积推广有着极为重要的现实意义。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2009 年在江苏省农科院试验田进行。供试土壤为偏酸性土壤, pH 值 6.19, 含有机质 16.5 g/kg, 碱解氮 110 mg/kg, 速效磷 37.7 mg/kg, 速效钾 94 mg/kg (中科院南京土壤所测定)。磷肥 (P_2O_5) 作基肥一次施入。氮肥 (尿素, 含氮量 $\geq 46.4\%$) 分 3 次施入, 基肥施 0%, 移栽后 7 d 施 60%, 移栽后 15 d 施 20%, 孕穗期施 20%。钾肥 (氯化钾, $K_2O \geq 60\%$) 分 2 次施入, 基肥施 0%, 移栽后 7 d 施 50%, 7 月中旬施 50%。5 月 10 日播种, 湿润育秧, 6 月 12 日移栽, 20 cm \times 26.7 cm, 12 株 \times 15 行。试验小区面积为 9.6 m², 随机排列, 重复 3 次。为了研究合适的氮、钾肥用量及氮钾肥的配合比例, 采用二次饱和 D-最优设计, 试验结构矩阵见表 1。

表 1 试验结构矩阵及氮钾肥配比结果

Tab. 1 Test structure matrix and the results of nitrogen-potassium ratio

处理 Treatment	编码 Code	氮肥(X_1) Nitrogen		编码 Code	钾肥(X_2) Potassium	
		尿素 /(kg/hm^2) Urea			氯化钾/ (kg/hm^2) Potassium chloride	
T1	-1	0		-1	0	
T2	1	750		-1	0	
T3	-1	0		1	525	
T4	-0.131 5	325.65		-0.131 5	228	
T5	1	750		0.394 5	366	
T6	0.394 5	522.9		1	525	

1.2 试验方法

1.2.1 产量及营养品质测定 收获时按小区计产, 去除边行, 并折合每公顷产量, 收获 60 d 后用食味仪 (日本佐竹公司生产, 型号 RCTA-41A) 测定稻米的食味值、直链淀粉含量以及蛋白质含量。

1.2.2 外观品质测定 南粳 44 一般有 13 ~ 15 个一次枝梗, 在测定粒长、粒宽、千粒重和垩白米率的差异时, 为了保证结果的准确性, 对南粳 44 按穗上枝梗部位分类取样, 上、下两部各 3 ~ 4 个一次枝梗分别标记为上部 and 下部, 中间 4 个一次枝梗标记为中部。

粒长: 随机数取完整无损的精米 (精度为国家标准一等) 10 粒, 平放于测量板上, 按照头对头、尾对尾, 不重叠、不留隙的方式, 紧靠直尺摆成一行, 读出长度。双试验误差不超过 0.5 mm, 重复 3 次, 取平均值。粒宽: 将测量过粒长的 10 粒精米, 平放于测量板上, 按照同一个方向肩靠肩 (即宽度方向) 排列, 用直尺测量, 读出宽度。双试验误差不超过 0.3 mm, 重复 3 次, 取平均值。千粒重: 随机数取完全晒干的实粒 1 000 粒称重, 重复 3 次, 其差值不大于其平均值的 3%, 以克表示, 保留至小数点后一位。垩白米率: 随机数取完整精米 100 粒, 计算具垩白的米粒占总粒数的百分比, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.3 统计分析方法 采用 Excel 2003、SPSS 17.0 软件和山东农业大学生物统计 AMS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮钾肥对南粳 44 外观品质的影响

由表 2 可以看出, 在千粒重方面, 不同施肥水平总体表现趋于一致, T1 - T6 六个小区穗上部籽粒的千粒重均比穗中、下部籽粒的千粒重高, 其中以穗下部籽粒的千粒重为最低。所有 6 个小区穗中、下部籽粒的千粒重差异不显著, 但与穗上部籽粒的千粒重差异显著 ($P < 0.05$)。对于垩白米率而言, 垩白米率以穗下部籽粒为最高, 穗上部籽粒的垩白米率则相对较低。其中 T2、T5 小区的垩白米率显著高于其他几个小区的垩白米率, 表明氮肥对垩白米率的影响较大, 能显著影响稻米的外观品质。粒长、粒宽测定的结果和千粒重的结果相似, 穗上部籽粒的粒长、粒宽大于穗中、下部籽粒的粒长、粒宽。对于粒长而言, 除了 T1、T3 小区之外, 其余 4 个小区穗上、中和下部籽粒的粒长、粒宽皆差异不显著 ($P > 0.05$)。对于粒宽而言, 除 T5 小区之外, 其他 5 个小区穗上部籽粒的粒宽皆大于穗中、下部籽粒的粒宽, 且差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 氮钾肥对南粳 44 营养品质的影响

研究表明, 稻米的蛋白质含量对稻米的食味品质具有明显的负向效应, 适度控制稻米的蛋白质含量有利于改善稻米的食味品质^[7-8]。本研究结果表明, 在一定范围内, 稻米的食味值随着蛋白质含量的增加显著降低, 如 T1 和 T3 小区, T2 和 T5 小区 (表 3)。相关性分析结果表明, 食味值与蛋白质含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 二者的回归方程为 $Y = -5.695 6X + 176.79$ ($R^2 = 0.989 9$)。同稻米蛋白质含量一样, 稻米的食味值随着稻米直链淀粉

含量的增加而显著降低,二者的回归方程为 $Y = -4.770\ 3X + 100.33$ ($R^2 = 0.968\ 2$)。研究表明,较高的施氮量能显著降低稻米的食味值,如 T2 小区稻米的食味值最低,其次为 T5 小区,与其他各小区差异显著(表 3)。稻米食味值最高的为 T3 小

区,其次为 T1 小区,二者的区别在于钾肥施用量的不同,T2 和 T5 小区也呈现出相似的结果。由此可以得出,在相同施氮条件下,一定的钾肥施用量会提高稻米的食味值。

表 2 不同穗位粒长、粒宽、千粒重和垩白率

Tab. 2 Grain length, grain width, 1 000-grain weight and chalky rate of Nanjing 44 at different positions in a panicle

外观品质 Appearance quality	穗上部位 Parts of the panicle	处理 Treatment					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
千粒重/g 1 000-grain weight	上部	28.1±0.14 c	26.0±0.14 b	29.0±0.10 b	26.1±0.12 b	25.6±0.10 b	26.3±0.13 b
	中部	26.6±0.09 b	24.9±0.11 a	27.4±0.07 a	24.7±0.06 a	24.2±0.16 a	24.9±0.30 a
	下部	26.2±0.06 a	24.8±0.28 a	27.4±0.20 a	24.8±0.11 a	23.9±0.09 a	24.7±0.19 a
垩白米率/% Chalky rate	上部	11.80±0.37 a	17.20±0.37 a	14.80±0.37 a	14.40±0.51 a	17.40±0.51 a	15.80±0.37 a
	中部	13.20±0.37 b	19.60±0.51 b	16.40±0.58 b	16.20±0.51 b	21.20±0.58 b	18.20±0.37 b
	下部	14.80±0.37 c	24.00±0.45 c	18.80±0.58 c	22.80±0.37 c	26.80±0.66 c	24.20±0.58 c
粒长/mm Grain length	上部	4.74±0.025 b	4.62±0.022 a	4.74±0.046 b	4.64±0.036 a	4.63±0.028 a	4.64±0.026 a
	中部	4.69±0.035 b	4.57±0.021 a	4.58±0.035 a	4.60±0.042 a	4.59±0.030 a	4.61±0.032 a
	下部	4.60±0.025 a	4.57±0.042 a	4.68±0.030 ab	4.56±0.035 a	4.55±0.047 a	4.59±0.018 a
粒宽/mm Grain width	上部	3.02±0.009 c	2.95±0.021 b	3.03±0.018 b	2.97±0.023 b	2.97±0.032 a	2.99±0.008 c
	中部	2.91±0.007 b	2.83±0.013 a	2.93±0.025 a	2.87±0.026 a	2.90±0.045 a	2.92±0.011 b
	下部	2.80±0.015 a	2.81±0.024 a	2.87±0.027 a	2.86±0.021 a	2.87±0.012 a	2.86±0.023 a

注: 不同小写字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$),下同。
Note: The different small letters indicate that the differences are significant at the 0.05 level in the same column. The same followed.

表 3 氮钾肥处理对南粳 44 产量和品质的影响

Tab. 3 Effects of different treatment on yield and quality of Nanjing 44

处理 Treatment	产量/(kg/hm ²) Yield	直链淀粉/% Amylose	蛋白质/% Protein	食味值 Taste value
T1	6 477.0±95.3	20.58±0.083 b	8.58±0.070 b	59.67±0.615 d
T2	9 682.5±114.3	22.20±0.037 f	10.57±0.021 f	50.67±0.211 a
T3	7 674.0±144.2	20.32±0.031 a	8.30±0.037 a	61.50±0.428 e
T4	9 636.0±140.0	21.33±0.033 d	9.45±0.043 d	54.83±0.307 c
T5	9 289.5±216.6	21.92±0.054 e	10.05±0.062 e	52.17±0.307 b
T6	9 001.5±213.4	21.13±0.067 c	9.08±0.087 c	55.83±0.543 c

2.3 氮钾肥对南粳 44 产量的影响

2.3.1 回归模型的建立 由表 3 可以看出,氮、钾肥对南粳 44 的产量有显著影响,与对照 T1 小区相比,T2 - T6 小区的增产率分别为 49.49% , 18.48% ,48.77% ,43.42% 和 38.98%。以氮、钾肥用量编码为自变量,产量为因变量,通过计算机模拟,得出南粳 44 产量与氮、钾肥之间的数学模型:

$$Y_1 = 653.1 + 63.9X_1 - 3.7X_2 - 43.0X_1X_2 - 72.0X_1^2 - 46.1X_2^2$$

其中: Y_1 为南粳 44 的产量; X_1 为施氮量对应的编码值; X_2 为施钾量对应的编码值。

对上述效应方程进行 F 检验, $F = 192.3 > F_{0.01(5,12)} = 5.06$, 达到极显著水平,因此回归方程能反映氮、钾肥对产量影响的真实情况。对各偏回归系数进行 F 检验, $F_{(1)} = 128.66^{**}$, $F_{(1,1)} = 38.60^{**}$, $F_{(2)} = 0.43$, $F_{(1,2)} = 46.01^{**}$, $F_{(2,2)} = 15.79^{**}$,除了 $F_{(2)} = 0.43$ 差异不显著之外,其余差异均达极显著水平 [$F_{0.01(1,12)} = 9.33$]。说明氮钾肥两个因子对

产量均有显著的影响,并且两因子之间的交互效应显著。

2.3.2 模型解析

2.3.2.1 主因子效应分析 由于氮、钾肥对产量的回归方程已经过无量纲编码代换,因此各偏回归系数绝对值的大小可反映各因子的重要程度。从回归模型的一次项可以看出, X_1 的偏回归系数(63.9)大于 X_2 的偏回归系数绝对值(3.7),说明氮肥对南粳 44 产量的影响大于钾肥。

2.3.2.2 单因子效应分析 将两个编码值自变量中的一个固定在 0 水平,可以得到另一个自变量与目标函数的关系,即单因子效应方程。

由产量效应方程得到以下两个方程:

$$Y_1 = 653.1 + 63.9X_1 - 72.0X_1^2$$
$$Y_2 = 653.1 - 3.7X_2 - 46.1X_2^2$$

其中 Y_1 、 Y_2 分别表示产量的氮、钾肥效应方程。

将单因子效应方程绘制成图 1 可以看出,在本

试验范围内,南粳 44 的产量先随着施肥量的增加而增加,达最大值后,产量开始随着施肥量的增加而降低。南粳 44 产量和施肥量的极值分别为:

$Y_{1\max} = 10\ 008\ X_1 = 0.443\ 3$ 即施氮肥 (541.2 kg/hm²);

$Y_{2\max} = 9796.5\ X_2 = 0$ 即施钾肥 (262.5 kg/hm²);

下标 max 表示最高产量。

2.3.2.3 因子边际效应分析 对各单因子效应方程求自变量的导数得到该变量因子的边际效应方程:

$$dy/dx_1 = 63.9 - 144.0X_1 \quad (1)$$

$$dy/dx_2 = -3.7 - 92.1X_2 \quad (2)$$

方程 (1) 和 (2) 分别表示氮、钾肥对产量的边际效应方程。

由边际效应方程可以看出,方程 (1) 斜率的绝对值大于方程 (2) 斜率的绝对值,因此说明氮肥变化对南粳 44 产量的影响较钾肥变化的影响大。

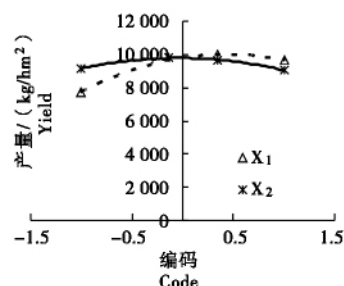


图 1 单因子效应分析

Fig. 1 Analysis of single factor effect

表 4 X_1 和 X_2 对产量 Y 的交互效应值

Tab. 4 Analysis of nitrogen (X_1) and potassium (X_2) interaction effect

		X_2 编码 Code				统计参数 Statistical parameters		
		-1	-0.131 5	0.349 5	1	平均值 \bar{x}	标准差 s	CV
X_1 编码 Code	-1	6 477.0	7 668.0	7 882.5	7 657.5	7 422.0	638.3	0.086
	-0.131 5	8 931.0	9 636.0	9 555.0	8 989.5	9 277.5	369.0	0.040
	0.349 5	9 624.0	10 035.0	9 775.5	9 004.5	9 610.5	437.4	0.046
	1	9 682.5	9 753.0	9 289.5	8 281.5	9 252.0	678.2	0.073
统计参数 Statistical parameters	平均值 \bar{x}	8 679.0	9 273.0	9 126.0	8 484.0			
	标准差 s	1 507.2	1 082.9	852.2	646.1			
	CV	0.174	0.117	0.093	0.076			

2.3.2.4 因子交互效应分析 本试验确定的回归模型存在交互项,并且其偏回归系数差异显著,因此可以得知氮、钾肥之间的交互效应显著,说明在综合施肥条件下,南粳 44 产量的提高不单纯是各因子单独效应的线性累加,同时还存在着配合效应,即因子交互效应。

将 X_1 、 X_2 取试验设计编码值时的产量 (Y_1) 列成表 4。由表 4 可以看出,氮肥与钾肥的交互效应有一最优区域,即 X_1 范围: -0.131 5 ~ 1 (尿素: 325.5 ~ 750 kg/hm²), X_2 范围: -0.131 5 ~ 0.349 5 (氯化钾: 228 ~ 366 kg/hm²),产量 9 289.5 ~ 10 035 kg/hm²,超出这一范围,氮肥和钾肥的施用量无论是增加还是减少,南粳 44 的产量均表现为下降。

2.3.2.5 高产及最佳经济效益施肥方案 在实际的农业生产中,不仅要考虑作物的产量和品质,还要兼顾生产成本,即要综合考虑投入和产出比来计算最佳经济效益的施肥量。目前稻谷的市场价格为: 2.0 元/kg,氮肥 1.8 元/kg,钾肥 2.6 元/kg。利用计算机进行模拟,得出本试验条件下,南粳 44 产量为: 10 057.5 kg/hm² 的最佳经济效益及产量施肥方案。此时 X_1 的编码值为: 0.529 (尿素: 573 kg/hm²), X_2 的编码值为: -0.287 (氯化钾: 187.5 kg/hm²)。此时的利润为(只计算肥料成本): 18 596.1 元/hm²。

3 结论

研究表明,氮、钾肥对南粳 44 的产量和品质均有显著的影响,并且氮肥对南粳 44 产量的影响大于钾肥,二者存在着显著的交互效应。已有研究认为,食味品质是衡量稻米品质性状的最重要指标之一,也是稻米品质改良的最终目标^[9]。一般认为,直链淀粉含量低,则稻米的食味品质好^[10-12]。由于直链淀粉含量对稻米的食味品质有着直接的影响,因此将直链淀粉含量作为衡量稻米品质的一个重要指标^[10-12]。稻米的蛋白质含量与稻米的食味呈负相关,蛋白质含量越高,米饭的食味就越差^[8,10],本研究结果与其一致。本试验结果表明,较高的施肥水平会提高稻米的直链淀粉含量及蛋白质含量,进而影响其食味值,其中氮肥对食味值的影响较大,显著地降低了稻米的食味值,而钾肥则在一定程度上提高了稻米的食味值,对稻米的营养品质有所改善。氮、钾肥同样也影响南粳 44 的粒长、粒宽、千粒重和垩白米率等外观品质。

经计算机模拟可知,在一种施肥量相对不变的条件下,氮(尿素)和钾(氯化钾)施用量分别小于 750 kg/hm² 和 366 kg/hm² 时,南粳 44 的产量随着施肥量的增加而提高,超过上述用量,则南粳 44 的

产量下降。本试验条件下,南粳 44 产量达到 $9\,289.5\text{ kg/hm}^2$ 以上的施肥量为尿素: $325.5 \sim 750\text{ kg/hm}^2$,氯化钾: $228 \sim 366\text{ kg/hm}^2$ 。在实际的农业生产中,通常要综合考虑生产成本与收益,因此要对南粳 44 的产量进行最佳经济效益分析。通过计算机模拟计算,得出本试验条件下南粳 44 最优施肥方案为尿素: 573 kg/hm^2 、氯化钾: 187.5 kg/hm^2 ,此时南粳 44 的产量达 $10\,057.5\text{ kg/hm}^2$,利润为: $18\,596.1\text{ 元/hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] 邱金美,王金明,徐 辉,等. 高产、优质粳稻“南粳 44”特征特性及栽培技术[J]. 上海农业科技, 2009(2): 29.
- [2] 万荣华. 抗条纹叶枯病新品种“南粳 44”特征特性及高产栽培技术[J]. 上海农业科技, 2008(3): 41.
- [3] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等. 施氮量和栽插密度对超高产水稻中早 22 产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(5): 507–512.
- [4] 张祥明,郭熙盛,李泽福,等. 氮肥运筹对晚稻武运粳 7 号物质积累和产量的效应[J]. 中国稻米, 2007(2): 41–43.
- [5] 贺 帆,黄见良,崔克辉,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 123–132.
- [6] 谢正荣,沈小妹,叶凤山,等. 氮肥运筹对武运粳 7 号产量与品质的影响研究[J]. 中国稻米, 2006(2): 40–43.
- [7] 吴洪恺,梁国华,严长杰,等. 水稻不同生态型品种间直链淀粉含量的变异及其遗传分析[J]. 作物学报, 2006, 32(9): 1301–1305.
- [8] 于洪兰,王伯伦,王 术,等. 不同类型水稻品种的产量与食味品质的关系比较[J]. 作物杂志, 2009(1): 46–49.
- [9] 张坚勇,万向元,肖应辉,等. 水稻品种食味品质性状稳定性分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(6): 788–794.
- [10] 王 艳,崔 晶,王小波,等. 不同肥料种类对水稻食味品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2009(3): 8–10.
- [11] 许仁良,戴其根,霍中洋,等. 施氮量对水稻不同品种类型稻米品质的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 26(1): 66–68.
- [12] 赵居生,陈秀琴,李素敏,等. 施肥对粳稻食味品质的影响[J]. 天津农业科学, 2004, 10(3): 15–17.