

文章编号: 1003-8701(2001)03-0026-06

优质高产水稻新品种吉粳 66 综合农艺措施与产量的数学模型分析

张俊国

(吉林省农科院水稻所, 吉林 公主岭 136100)

摘要:采用正交回归旋转组合设计方法,对吉林省优质晚熟品种吉粳 66 在栽培上的 5 个主要可控因子进行了研究。结果表明:①吉粳 66 新品种高产、稳产,平均产量效应为公顷 8 150.7 kg,若栽培技术得当,公顷产量最高可达 9 921.1 kg;②主要栽培措施对吉粳 66 产量作用大小的顺序为:施氮量>插秧方式>施磷量>插秧期>施钾量,特别是施氮量对产量起着决定性作用;③预测吉粳 66 公顷产量达到 9 000 kg 以上时,主要栽培措施应采用的数量为:插秧期在 5 月 22~24 日,插秧方式以 30.0 cm×(13.4~14.4)cm,施氮量每公顷 202.6~210.6 kg,磷肥(磷酸二铵)每公顷 250.0~262.9 kg,钾肥(硫酸钾)每公顷 85.2~105.0 kg。

关键词:水稻;吉粳 66;栽培因素;农艺措施;产量;数学模型

中图分类号:S511.05

文献标识码:A

吉粳 66(吉 91-2605)是吉林省农科院水稻所以吉 88-30(秋光/藤系 127)为母本,吉引 86-11 为父本,通过有性杂交于 1996 年育成的晚熟新品种,1997 年通过吉林省农作物品种审定委员会审定。该品种在连续 3 年的省区域试验中,平均公顷产量达到 8 367.0 kg,比秋光平均增产 3.1%,1998 年被评为吉林省第二届优质品种,说明该品种不仅高产,而且优质。从 2000 年起,该品种的种植面积迅速扩大,已成为取代秋光、超产一号等晚熟老品种的理想品种。为了明确吉粳 66 的最高产量潜力及主要栽培措施对产量的综合作用和主次关系,1999 年在所内对其进行了五因素二次回归正交旋转组合试验,探索吉粳 66 高产的最优栽培措施,为吉粳 66 在生产上稳产、高产并且迅速扩大种植面积提供科学依据。

1 试验设计

试验采用五因素二次回归正交旋转组合设计方法,各因素和水平线性编码见表 1。试验共 36 个处理组合(二分之一实施),各栽培因素在各处理组合内的实施水平见表 2。

小区长 7.10 m,宽 1.8 m,面积 12.78 m²,6 行区。全试验 36 个小区分成 3 个正交区组,正交区组内的小区随机排列。采用大楼盘育苗方法,4 月 12 日播种,每盘播催芽种子 50 g,每小区播 2 盘,插秧时每穴均插 4 苗;试验设在本所试验田,土壤为黑钙土,肥力中等。本田

收稿日期:2000-11-22

作者简介:张俊国(1954-),男,吉林省农安县人,吉林省农科院水稻所副研究员,硕士,主要从事水稻育种和栽培技术研究。

表1 因素水平无量纲线性编码

因素	水平间距	水平线性编码($r=2.0000$)				
		-2	-1	0	1	2
X_1 插秧期 (月·日)	5	0 (5·15)	5 (5·20)	10 (5·25)	15 (5·30)	20 (6·04)
X_2 插秧方式 (cm×cm)	100	300 (30×10)	400 (30×13.3)	500 (30×16.7)	600 (30×20)	700 (30×23.3)
X_3 施氮量 (kg/hm ²)	50	35	85	135	185	235
X_4 施磷量 (kg/hm ²)	27.6	18.4	46.0	73.6	101.2	128.8
X_5 施钾量 (kg/hm ²)	25	12.5	37.5	62.5	87.5	112.5

注:施氮量为纯氮量,施磷量为P₂O₅量,施钾量为K₂O量。

表2 各因素在各处理组合内的实施水平及小区产量

组合	X_1 插秧期 (月·日)	X_2 插秧方式 (cm×cm)	X_3 施氮量 (kg/hm ²)	X_4 施磷量 (kg/hm ²)	X_5 施钾量 (kg/hm ²)	Y 产量 (kg/hm ²)
1	5·30	30×20.00	185	101.2	87.5	7 880
2	5·30	30×20.00	185	46.0	37.5	7 920
3	5·30	30×20.00	85	101.2	37.5	7 970
4	5·30	30×20.00	85	46.0	87.5	7 350
5	5·30	30×13.33	185	101.2	37.5	8 850
6	5·30	30×13.33	185	46.0	87.5	7 990
7	5·30	30×13.33	85	101.2	87.5	7 640
8	5·30	30×13.33	85	46.0	37.5	7 640
9	5·20	30×20.00	185	101.2	37.5	8 860
10	5·20	30×20.00	185	46.0	87.5	8 210
11	5·20	30×20.00	85	101.2	87.5	7 500
12	5·20	30×20.00	85	46.0	37.5	7 510
13	5·20	30×13.33	185	101.2	87.5	8 930
14	5·20	30×13.33	185	46.0	37.5	8 490
15	5·20	30×13.33	85	101.2	37.5	7 540
16	5·20	30×13.33	85	46.0	87.5	7 580
17	6·04	30×16.67	135	73.6	62.5	8 340
18	5·15	30×16.67	135	73.6	62.5	7 340
19	5·25	30×23.33	135	73.6	62.5	7 220
20	5·25	30×10.00	135	73.6	62.5	8 270
21	5·25	30×16.67	235	73.6	62.5	8 500
22	5·25	30×16.67	35	73.6	62.5	5 890
23	5·25	30×16.67	135	128.8	62.5	8 370
24	5·25	30×16.67	135	18.4	62.5	8 250
25	5·25	30×16.67	135	73.6	112.5	8 080
26	5·25	30×16.67	135	73.6	12.5	8 280
27	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 320
28	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	7 910
29	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	7 990
30	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 300
31	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 300
32	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 400
33	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 380
34	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	8 510
35	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	7 670
36	5·25	30×16.67	135	73.6	62.5	7 880

氮肥分返青肥、分蘖肥和穗肥3次施用,磷、钾肥均作为底肥一次施用。本田防除杂草、水层管理等和一般生产田相同。

各小区在收获前按平均数取样5株调查株高、穗粒数、空秕率及千粒重等性状,然后小区去除边株边行后收获7.0 m²实测产量,测产结果折算成公顷产量后列于表2,并利用计算

机进行统计分析。

2 试验结果分析

2.1 建立栽培因素与产量关系的函数模型

根据表 2 的产量数据,按旋转回归设计原理,确定栽培因子与产量呈函数关系:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i X_i + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^5 b_{ii} X_i^2 \pm \delta$$

经计算机计算求解,得到吉粳 66 产量与各栽培因素间的回归模型:

$$Y_{(\text{kg}/\text{h}^2)} = 8150.7 + 25.8X_1 - 148.3X_2 + 484.2X_3 + 113.3X_4 - 87.5X_5 - 33.8X_1X_2 - 145.0X_1X_3 + 25.0X_1X_4 - 83.8X_1X_5 - 82.5X_2X_3 - 2.5X_2X_4 - 58.8X_2X_5 + 83.8X_3X_4 - 32.5X_3X_5 - 52.5X_4X_5 - 48.3X_1^2 - 72.0X_2^2 - 209.5X_3^2 + 69.3X_4^2 + 36.8X_5^2 \quad (1)$$

为了确定模型(1)的实际意义,对其进行了失拟和回归显著性检验。具体结果如下:

$$F_1 = MS_{\text{失}}/MS_{\text{误}} = 2.92 < F_{0.05}(6, 9) = 3.37$$

$$F_2 = MS_{\text{回}}/MS_{\text{剩}} = 3.38 > F_{0.01}(20, 15) = 3.36$$

模型(1)经过上面的 F 检验,表明了不仅该试验中栽培因素对产量的作用(F_2)达到了极显著水平,而且试验误差(F_1)明显小于允许的限值,说明回归模型拟合良好,复相关系数 $R = 0.9045$,因此,模型(1)是有效的。对各项回归系数的 t 测验结果表明, b_3, b_{33}, b_2 达到了 $\alpha = 0.01$ 的极显著水平, B_{13}, B_4 达到了 $\alpha = 0.05$ 的显著水平。

2.2 模型的优化

利用计算机,在约束条件($-2 \leq X_i \leq 2, i = 1, 2, \dots, 5$)下,对模型(1)求最优解,得出每公顷产量最大值为 9 921.1 kg,这是吉粳 66 品种的最高产量潜力,此时各项栽培因素的决策数量为:

$$X_1 = 0.1 (\text{插秧期为 5 月 26 日})$$

$$X_2 = -1.3 (\text{插秧方式为 } 30.0 \text{ cm} \times 12.3 \text{ cm})$$

$$X_3 = 1.9 (\text{施氮量为 } 230 \text{ kg}/\text{h}^2)$$

$$X_4 = 2.0 (\text{施磷量为 } 128.8 \text{ kg}/\text{h}^2)$$

$$X_5 = -2.0 (\text{施钾量为 } 25.0 \text{ kg}/\text{h}^2)$$

上述最优解是吉粳 66 在高氮肥、高磷肥、密植条件下可以达到的最高产量。当然,不同年份会略有差异,但由于其频率太低,生产上不易出现,因此实际意义不大。为此,采用频率

表 3 吉粳 66 公顷产量 ≥ 8500 kg 的高产栽培技术方案

编码值	X_1 (插秧期)		X_2 (插秧方式)		X_3 (施氮量)		X_4 (施磷量)		X_5 (施钾量)	
	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)
-2	147	23.5	194	31.0	0	0	45	7.2	193	30.8
-1	157	25.0	188	30.0	8	1.3	49	7.8	129	20.6
0	135	21.6	138	22.0	98	15.7	96	15.3	98	15.7
1	107	17.1	75	12.0	270	43.1	170	27.2	97	15.5
2	80	12.8	31	5.0	250	39.9	266	42.5	109	17.4
加权平均数	-0.293 9		-0.701 3		1.217 3		0.899 4		-0.319 5	
S_x	0.053 5		0.046 8		0.030 0		0.049 5		0.059 2	
95%置信区间	-0.398 7 ~ -0.189 2		-0.792 9 ~ -0.609 6		1.158 5 ~ 1.276 0		0.802 4 ~ 0.996 3		-0.435 5 ~ -0.203 5	
农艺措施	5.23 ~ 5.24		30 × (14.0 ~ 14.6)		192.9 ~ 198.8		95.7 ~ 101.1		51.6 ~ 57.4	

分布的统计方法,对模型(1)在约束条件下($-2 \leq X_i \leq 2, i=1, 2, \dots, 5$),各因素取步长为1,组成3 125个方案,经频率分析,公顷产量 $\geq 8\ 500\text{ kg}$ 的组合有626个,占全部方案的20%,结果详见表3。

表3结果表明:要使吉粳66公顷产量达到8 500 kg以上,在栽培措施上插秧期宜在5月23~24日,插秧方式应在 $30.0\text{ cm} \times (14.0 \sim 14.6)\text{ cm}$ 之间,施氮量每公顷为192.9~198.8 kg,施磷量每公顷95.7~101.1 kg(折合磷酸二铵208.1~219.8 kg),施钾量每公顷51.6~57.4 kg(折合硫酸钾103.2~114.8 kg)。

若要进一步提高产量,使公顷产量达到9 000 kg以上,经频率分析,在全部组合中出现214个,占全部组合的6.85%,说明只要栽培技术得当,吉粳66完全可以获得公顷9 000 kg以上的产量,结果详见表4。

表4 吉粳66公顷产量 $\geq 9\ 000\text{ kg}$ 的高产栽培技术方案

编码值	X_1 (插秧期)		X_2 (插秧方式)		X_3 (施氮量)		X_4 (施磷量)		X_5 (施钾量)	
	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)
-2	57	26.6	72	33.6	0	0	5	2.3	85	39.7
-1	51	23.8	70	32.7	0	0	3	1.4	46	21.5
0	44	20.6	45	21.0	17	7.9	3	1.4	28	13.1
1	33	15.4	20	9.4	89	41.6	49	22.9	22	10.3
2	29	13.6	7	3.3	108	50.5	154	72.0	33	15.4
加权平均数	-0.345 8		-0.841 1		1.425 2		1.607 5		-0.598 1	
S_x	0.094 0		0.074 8		0.044 0		0.054 9		0.100 9	
95%置信区间	-0.530 0~-0.161 6		-0.987 8~-0.694 4		1.339 0~1.511 5		1.500 0~1.715 1		-0.795 8~0.400 4	
农艺措施	5.22~5.24		$30.0 \times (13.4 \sim 14.4)$		202.6~210.6		115.0~120.9		42.6~52.5	

从表4可见:要进一步提高产量,磷肥和氮肥施用量明显增加,钾肥施用量有所减少,而插秧期和插秧方式与公顷产量在8 000 kg以上时相近。

2.3 各因素的产量效应分析

模型(1)中的各因素(X_i)均经过了无量纲线性代换,偏回归系数已经标准化,因此,可以从其平方项绝对值大小直接判断各栽培因素对产量的作用程度。 b_0 值则表示着一个品种的平均产量水平,从模型(1)可知,吉粳66的 b_0 值为公顷8 150.7 kg,说明该品种的丰产性很好。各因素对产量影响大小的顺序为 X_3 (施氮量) $>X_2$ (插秧方式) $>X_4$ (施磷量) $>X_1$ (插秧期) $>X_5$ (施钾量),尤其是 b_3 和 b_{33} 的值远大于其它偏回归系数。说明了对吉粳66产量起决定作用的栽培因素是施氮量,其次为插秧方式和施磷量,而插秧期和施钾量对产量的影响较小。插秧期对产量影响不大可能与试验当年生育期间气温较平年略高有关。

为了明确各栽培因素对产量的单一效应,对模型(1)采用“降维法”,即固定其中4个因素在0水平上,导出另一变量与产量的回归方程:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 8\ 150.7 + 25.8X_1 - 48.3X_1^2 \\
 Y_2 &= 8\ 150.7 - 148.3X_2 - 72.0X_2^2 \\
 Y_3 &= 8\ 150.7 + 484.2X_3 - 209.5X_3^2 \\
 Y_4 &= 8\ 150.7 + 113.3X_4 + 69.3X_4^2 \\
 Y_5 &= 8\ 150.7 - 87.5X_5 + 36.8X_5^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

从方程(2)可见:产量与5个栽培因素之间均呈二次曲线关系,各因素与产量的效应如图1所示。

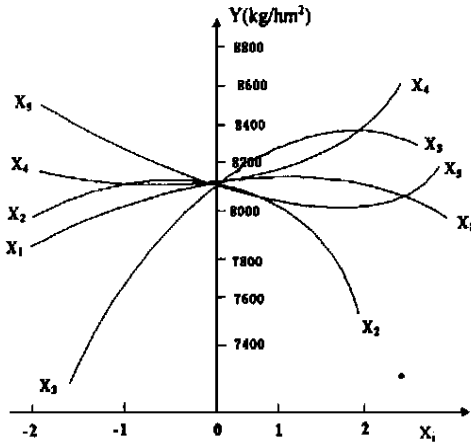


图 1 吉粳 66 各栽培因素对产量的影响

从图 1 可见:施氮量对产量的效应最明显,在 $-2 \sim 0$ 水平取值范围内,随着施氮量的增加,产量近直线上升,曲线的峰点在 $X_3 = 1.1556$ (施氮量为 192.8 kg/hm^2)。说明吉粳 66 要想获得高产,施氮量不应少于公顷 185 kg 。除施氮量外,对产量影响较大的还有插秧方式和施磷量,插秧方式在 $-2 \sim 0$ 水平取值范围内,产量变化很小,而在 $0 \sim 2$ 水平范围内,随着株距加大,产量明显下降,该曲线的峰值在 $X_2 = -1.03$ (插秧方式为 $30.0 \text{ cm} \times 13.2 \text{ cm}$)处。因此,对吉粳 66 来说,还是应适当密植,插秧株数不应少于 20 株/m^2 。

施磷量对产量的影响主要在 $0 \sim 2$ 水平范围内,随着施磷量的增加,产量明显上升,因此,要提高吉粳 66 的产量,施磷量(磷酸二铵)公顷不应少于 200 kg 。从插秧期和施钾量来看,在整个试验范围内,对产量的影响均较小。

2.4 单项栽培措施的经济效益分析

在进行农业经济效益分析时,需要明确产量随各栽培因素水平值变化的增减速率,为此,对方程(2)求一阶偏导数,得到下列方程组:

$$d_y/d_{x_1} = 25.8 - 96.6X_1$$

$$d_y/d_{x_2} = -148.3 - 144.0X_2$$

$$d_y/d_{x_3} = 484.2 - 419.0X_3$$

$$d_y/d_{x_4} = 113.3 + 138.6X_4$$

$$d_y/d_{x_5} = -87.5 + 73.6X_5$$

将各因素不同水平编码值代入上述方程组,可求出不同水平下各栽培因素的边际产量,通过对各因素边际产量的分析可以进行经济效益的判断。各因素的边际产量见表 5。

表 5 吉粳 66 不同水平的边际产量

因素	水平 编 码 值				
	-2	-1	0	1	2
X_1 (插秧期)	219.0	122.4	25.8	-70.8	-167.4
X_2 (插秧方式)	139.7	-4.3	-148.3	-292.3	-436.3
X_3 (施氮量)	1322.2	903.2	484.2	65.2	-353.8
X_4 (施磷量)	-163.9	-25.3	113.3	251.9	390.5
X_5 (施钾量)	-234.7	-161.1	-87.5	-13.9	59.7

从表 5 可见:插秧期不宜晚于 0 水平(5 月 25 日),而插秧方式不应稀于 -1 水平($30.0 \text{ cm} \times 13.33 \text{ cm}$),否则经济效益明显下降。施氮量的边际产量差异最大,适宜值在 1 水平(185 kg/hm^2)左右,若再增加施用量会使经济效益明显下降,磷肥施用量以 0 水平(73.6 kg/hm^2)经济效益明显,而钾肥施用量以 1 水平(87.5 kg/hm^2)左右为宜。

3 结 论

吉粳 66 品种丰产性好,在吉林省中上等肥力的土壤上,平均产量效应为公顷 8150.7

kg, 最高可达 9 921.1 kg。

主要栽培措施对吉粳 66 产量影响大小的顺序为施氮量 > 插秧方式 > 磷肥施用量 > 插秧期 > 钾肥施用量, 尤其是施氮量对吉粳 66 的产量起决定性作用。

预测吉粳 66 公顷产量在 9 000 kg 以上时, 主要栽培措施应采用的数量为: 插秧期 5 月 22~24 日, 插秧方式 30.0 cm × (13.4~14.4)cm, 施氮量每公顷 202.6~210.6 kg, 施磷(P₂O₅)量每公顷 115.0~120.9 kg, 施钾(K₂O)量每公顷 85.2~105.0 kg。

对各因素边际产量的分析结果表明: 5 月 25 日插秧, 行株距为 30.0 cm × 13.3 cm, 公顷施氮量 185 kg、施磷量 73.6 kg、施钾量 87.5 kg, 能获得较好的经济效益。

参考文献:

- [1] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1986.
- [2] 孙西石, 等. 玉米主要农艺措施产量函数模型的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1987, 9(4): 11-18.
- [3] 吴志强, 等. 杂交水稻的高产栽培技术体系研究[J]. 福建农学院学报, 1989, 18(1): 19-24.
- [4] 张俊国, 等. 中早熟水稻优良新品种吉 89-45 高产稳产规范化栽培技术初探[J]. 吉林农业科学, 1994, (3): 25-30.
- [5] 李 彻, 等. 水稻优质、高产、多抗新品种吉粳 66 的选育及栽培技术[J]. 吉林农业科学, 1998, (2): 11-14.

Model-Maths Analysis of Synthetic Agronomic Measures and Yield for High Quality, High Yield New Rice Variety Jijing 66

ZHANG Jun-guo

(Rice Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100, China)

Abstract: By adopting the orthogonal-tyrating-regression design, 5 main elements for cultivation in Jilin province of high quality, late matured variety-Jijing 66 were studied. The results showed: (1) Jijing 66 was high and stable yield variety, average yield level was 8 150.7 kg/ha. If cultivation is proper, the highest yield can reach 9921.1 kg per ha; (2) The order to the function of the yield of Jijing 66 in main cultivated measure was fertilizer N dressed > the way of transplant rice seedlings > fertilizer P dressed > transplanting date > fertilizer K dressed. fertilizer N dressed was the most important. It was decisive factor to the yield; (3) It was estimated that when the yield of Jijing 66 reaches 9 000 kg per ha, the main cultivated measures should be below: transplanting date is from May 22 to May 24; the way of transplanting rice seedlings is 30.0 cm × (13.4~14.4)cm; fertilizer N dressed is 202.2~210.6 kg per ha; fertilizer P dressed is 250.0~262.9 kg per ha; fertilizer K dressed is 85.2~105.0 kg per ha.

Key words: Rice; Jijing 66; Cultivated factor; Agronomic measures; Yield; Model-maths analysis