

氮、磷、钾不同配比对高寒地区 水稻生育及产量的影响

崔一龙 刘海峰 付民杰 全炳武 许周源

(延边大学农学院农学系,龙井 133400)

提 要 氮、磷、钾不同配比对水稻生长发育的影响,随施氮量的增加株高和分蘖数明显增加,稻株折损重与施钾量呈极显著正相关,与氮肥施用量呈显著负相关。氮、磷、钾不同配比下的水稻生产最优模型为: $Y = 719.1905 + 57.514X_1 + 34.1465X_2 + 28.9068X_3 - 16.75X_1X_2 + 17.25X_1X_3 - 31.8574X_1^2 - 14.2139X_2^2 + 6.8235X_3^2$,最佳经济效益肥料施用量为: N 177.8 kg/hm², P₂O₅ 63.7 kg/hm², K₂O 118.8 kg/hm²,最优配比为 2.8:1:1.9。

关键词 生长发育;折损重;最优模型;最优配比

合理施肥是创高产、提高经济效益的主要栽培技术措施之一。稻田这一动态体系,对于不同肥料的施用要求较为严格。氮、磷、钾肥的合理配施,有利于稻株个体的生长发育及群体结构的改善,从而使稻田结构趋于优化,发挥稻田的自动调节能力,达到高产、低耗、增效的生产目的。

本文采用正交区组二次回归旋转设计,分析了不同施肥水平对稻株生长发育及折损重的影响,并建立了不同氮、磷、钾水平下的水稻生产函数模型,得出最佳经济效益的肥料配比。

1 材料与方 法

1.1 试验条件

本试验于 1997 年在延边大学农学院农学系试验田进行。供试品种为藤系 138,土壤肥力中等,区组间土壤肥力相近,有机质含量为 2.62%,pH 值为 5.9,速效氮、磷、钾含量分别为 164.51、34.47 和 140.82 mg/kg,全氮、全磷、全钾分别为 0.267%、0.038% 和 2.05%。4~9 月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 2 850.6 $^\circ\text{C}$,5 月下旬、6 月上旬低温各达 $t_{\text{日平均}} = 13.4^\circ\text{C}$ 和 13.1°C 。9 月 15 日的 t_{min} 为 1.6°C ,此时轻霜降临,日照时数为 1 268.8 h,降雨量为 508.5 mm。前期低温造成严重延迟性冷害,后期轻霜提前,导致稻株结实率下降。

1.2 试验设计与方法

田间试验设计采用正交区组二次回归旋转设计,施氮量(X_1)、磷量(X_2)、钾量(X_3)作为控制变量。试验各变量水平值及编码见表 1。

试验共设 20 个小区,小区面积为 30 m²,于 4 月 15 日播种,5 月 20 日移栽,插秧密度为 30 cm × 26 cm。本田氮肥以底肥、分蘖肥、补肥、穗肥和粒肥分期施入,其比例为 4:1:2:2:1。

磷、钾肥作底肥一次施入,其它管理按单灌不排的常规方法进行。移栽时秧苗素质见表2。

表1 变量水平及编码值($r=1.633$) (单位: g/m^2)

| 编 码 | X_1 | X_2 | X_3 |
|-----|----------|----------|----------|
| r | 19.500 0 | 12.000 0 | 12.000 0 |
| 1 | 16.980 4 | 9.674 2 | 9.674 2 |
| 0 | 13.000 0 | 6.000 0 | 6.000 0 |
| -1 | 9.019 6 | 2.325 8 | 2.325 8 |
| -r | 6.500 0 | 0.000 0 | 0.000 0 |
| 变幅 | 3.980 4 | 3.674 2 | 3.674 2 |

表2 秧苗素质

| 项 目 | 出苗率 (%) | 成苗率 (%) | 株高 (cm) | 叶龄 | 分蘖率 (%) | 茎基粗 (mm) | 总根数 (个) | 短白根 数(个) | 最长根 长(cm) | 风干重* (地上/地下) | 断根发根力 (个)** |
|-----|------------|------------|------------|-----|------------|-------------|------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|
| 测定值 | 96.1 | 98.0 | 14.8 | 4.5 | 75.0 | 3.0 | 18.6 | 5.8 | 21.00 | 0.429/0.150 | 8.8 |

* 10株, ** 12 d后测定

1.3 调查项目及方法

生育期间调查株高、叶龄、叶色、茎数和抽穗期。6月每周测2次,7月每周测1次,8月初隔天调查抽穗数,9月每隔10 d调查1次,秋季测定平方米产量,同时取2穴进行室内考种,室内测定结实率、千粒重、茎基粗、节间长、秆壁厚和折损重等,同时计算理论产量。

2 结果与分析

2.1 不同氮、磷、钾配比对水稻生长发育的影响

2.1.1 对株高、叶龄的影响

施氮量增加,株高增加;施磷、钾肥则差异不明显,见图1。

施氮量增加,叶龄有增加的趋势,高低氮肥施用量间相差0.3叶,施磷、钾肥差异不明显。

2.1.2 对分蘖数、抽穗期的影响

施氮量增加,分蘖数增加;施磷、钾肥差异不明显,见图2。

氮肥施用量对抽穗期影响较大,施氮量增加,抽穗期呈延迟趋势,施磷、钾肥影响不明显。

2.1.3 对节间生长的影响

氮、磷、钾不同肥料配比对折损重的影响。经统计分析表明,区组间无显著差异($F=4.5459$),失拟方差($F=1.7138$)不显著。说明不存在其它显著影响本试验的因素,编码值回归方程为:

$$Y = 170.173 - 13.656 8X_1 + 5.673 7X_2 + 52.097 6X_3 - 8.75X_1X_2 - 9.75X_1X_3 - 7.25X_2X_3 - 21.489X_1^2 + 1.788 6X_2^2 + 37.975 7X_3^2 \quad (1)$$

由(1)式简单降维分析可知,施氮量增加,折损重下降,而施磷、钾肥增加,折损重呈增加趋势。经回归系数t检验表明, b_0 (常数项)、 b_3 (钾肥一次项)、 b_9 (钾肥二次项)达极显著水平, b_1 (氮肥一次项)达显著水平,因此最优模型为:

$$Y = 170.173 - 13.656 8X_1 + 52.097 6X_3 + 37.975X_3^2 \quad (2)$$

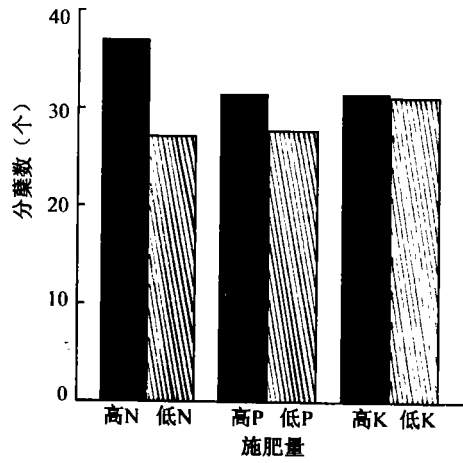
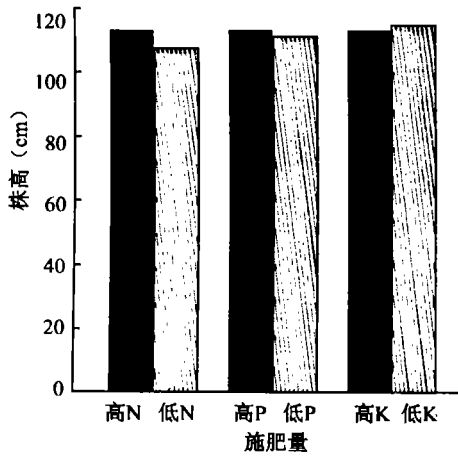


图1 不同施肥量对株高的影响

图2 不同施肥量对分蘖的影响

■ 1区 ▨ 2区

■ 1区 ▨ 2区

由(2)式可知,随施钾量增加,折损重增加较明显,且本试验不存在最高点(随施钾量增加,折损重无限增大),但考虑植物对肥料的吸收特性及肥料间的相互作用,应在合适的范围内增施钾肥,以提高植株抗倒伏能力。

对影响折损重的植株形成因素进行多元回归和相关分析表明,折损重与茎基粗呈显著正相关,与1+2节长度呈显著负相关(表3)。回归方程如下:

$$Y = 35.8997 + 430.971 6X_1 + 826.642 5X_2 - 6.348 6X_3 + 0.472 4X_4 \quad (3)$$

其中 X_1 为茎基粗度, X_2 为秆壁厚, X_3 为1+2节长度, X_4 为2节以上长度(均为 cm)。

表3 折损重与影响折损重因素相关分析

| 项目 | 折损量 | 茎基粗度 | 秆壁厚 | 1+2节长度 | 2节以上长度 |
|--------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|
| 折损重 | | 0.831 1** | 0.629 9** | -0.823 0** | 0.522 1* |
| 茎基粗度 | 0.570 9* | | 0.530 6* | -0.703 6** | 0.550 9* |
| 秆壁厚 | 0.198 9 | -0.019 2 | | -0.622 9** | 0.388 2 |
| 1+2节长度 | -0.522 7* | -0.057 8 | -0.234 2 | | -0.447 3 |
| 2节以上长度 | 0.078 6 | 0.245 8 | 0.085 2 | -0.001 1 | |

注:右上角为简单相关系数, $r_{0.05}(18) = 0.444$, $r_{0.01}(18) = 0.561$

左下角为偏相关系数, $r_{0.05}(15) = 0.482$, $r_{0.01}(15) = 0.606$

2.2 不同氮、磷、钾比对产量及产量构成因素的影响

2.2.1 产量构成因素相关分析

在产量构成因素中平方米穗数、每穗粒数、结实率与产量呈极显著正相关,而千粒重对产量影响不明显(表4)。其回归方程为:

$$Y = -2 607.048 + 2.319 9X_1 + 9.368 6X_2 + 12.031 2X_3 + 24.674 5X_4 \quad (4)$$

其中 X_1 为平方米穗数(个), X_2 为每穗粒数(个), X_3 为结实率, X_4 为千粒重(g)。

2.2.2 对产量的影响

表4 产量与产量构成因素相关系数

| 项目 | 产量 | 平方米穗数 | 每穗粒数 | 结实率 | 千粒重 |
|-------|-----------|------------|------------|----------|----------|
| 产量 | | 0.278 6 | 0.414 4 | 0.138 0 | 0.254 4 |
| 平方米穗数 | 0.911 0** | | -0.300 0 | -0.678 7 | -0.124 9 |
| 每穗粒数 | 0.886 5** | -0.896 3** | | -0.074 6 | 0.308 6 |
| 结实率 | 0.887 5 | -0.948 5** | -0.871 4** | | 0.040 7 |
| 千粒重 | 0.277 2 | -0.244 4** | -0.118 3 | -0.219 2 | |

注:右上角为简单相关系数, $r_{0.05}(18) = 0.444$, $r_{0.01}(18) = 0.561$

左下角为偏相关系数, $r_{0.05}(15) = 0.482$, $r_{0.01}(15) = 0.606$

正交区组二次回归旋转组合设计的结构矩阵及试验结果见表5。

表5 结构矩阵及计算结果

| N_0 | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | y | Y |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 581.400 0 | 588.789 0 |
| 2 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 676.400 0 | 668.303 4 |
| 3 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 654.700 0 | 667.268 4 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 797.600 0 | 795.410 1 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 729.800 0 | 719.190 5 |
| 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 711.400 0 | 719.190 5 |
| 7 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 552.400 0 | 554.275 4 |
| 8 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 784.700 0 | 771.816 9 |
| 9 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 671.600 0 | 679.382 0 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 722.000 0 | 714.296 3 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 716.500 0 | 719.190 5 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 724.900 0 | 719.190 5 |
| 13 | 1 | -r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 0 | 0 | 558.600 0 | 540.316 3 |
| 14 | 1 | r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 0 | 0 | 709.400 0 | 728.157 0 |
| 15 | 1 | 0 | -r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 0 | 618.500 0 | 625.525 2 |
| 16 | 1 | 0 | r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 0 | 743.600 0 | 737.047 8 |
| 17 | 1 | 0 | 0 | -r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 689.500 0 | 690.181 8 |
| 18 | 1 | 0 | 0 | r | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | r | 784.800 0 | 784.591 5 |
| 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 713.800 0 | 719.190 5 |
| 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 718.900 0 | 719.190 5 |

$XX = 2.403 8$

根据试验进行正交区组间方差分析表明,区组间方差不显著($F = 0.321$),区组间基础养分差异不明显。按表5数据拟合的编码值,其方程如下:

$$Y = 719.190 5 + 57.54X_1 + 34.146 5X_2 + 28.906 8X_3 - 16.75X_1X_2 - 17.25X_1X_3 - 5.6X_2X_3 - 31.857 4X_1^2 - 14.213 9X_2^2 + 6.823 5X_3^2 \quad (5)$$

由(5)式计算的估测产量列于表5的Y列,可见,估测值(Y)与实测值(y)比较接近, X^2 较小,说明数学模型拟合的较好。该模型方差分析表明,失拟方差不显著($F = 1.696$),表明不存在其它显著影响本试验的因素。回归模型F检验达极显著水平($F = 64.399 1$);回归系数t检验结果,各回归系数除氮、磷交互项外均达显著或极显著水平,故氮、磷、钾不同配比下的水稻生产最优模型为:

$$Y = 719.190 5 + 57.514X_1 + 34.146 5X_2 + 28.906 8X_3 - 16.75X_1X_2 + 17.25X_1X_3 - 31.857 4X_1^2 - 14.213 9X_2^2 + 6.823 5X_3^2 \quad (6)$$

2.2.3 高产经济施肥方案

对数学模型(6)应用微机在 $-1.6 \leq X_i \leq 1.6$ 范围内取步长 0.1, 寻求最高产量组合点为

实际施氮量 177.8 kg/hm² (编码 1.2), 施磷量 78.4 kg/hm² (编码 0.5), 施钾量 118.8 kg/hm² (编码 1.6)。获最高产量 8 426.4 kg/hm² (水分含量 6%), 折合标准水分 (水分含量 14%) 的产量为 9 210.9 kg/hm²。按边际平衡原理, 以 1997 年氮、磷、钾肥及稻谷价格为准解得最佳产量为 8 404.3 kg/hm² (水分含量 6%), 折合标准水分的产量为 9 186.1 kg/hm², 施氮、磷、钾肥量分别为 177.8 kg/hm²、63.7 kg/hm² 和 118.8 kg/hm², 最优配比为 2.8:1:1.9。

3 结 论

不同施肥量对株高、分蘖数、叶龄有一定影响, 施氮量增加, 株高、分蘖数明显增加, 施磷、钾肥无明显差异; 不同施肥量对叶龄影响不大, 但高氮情况下, 叶龄有增加趋势。

稻株折损重与施钾肥呈极显著正相关, 与氮肥施用量呈显著负相关, 增施钾肥可显著提高植株抗倒伏能力; 折损重与茎基粗度显著正相关, 与 1+2 节长度显著负相关, 结果表明茎基粗度增加, 秆壁厚增加, 折损重增加。

氮、磷、钾肥不同配比对产量影响最优模型 (编码值) 为:

$$Y = 719.1905 + 57.514X_1 + 34.1465X_2 + 28.9068X_3 - 16.75X_1X_2 + 17.25X_1X_3 - 31.8574X_1^2 - 14.2319X_2^2 + 6.8235X_3^2$$

最佳经济效益产量为 9 186.1 kg/hm² (含水量 14%), 施肥量分别为: N 177.8 kg/hm², P₂O₅ 63.7 kg/hm², K₂O 118.8 kg/hm², 最优配比为: 2.8:1:1.9。

参 考 文 献

- 1 徐中儒. 农业试验最优回归设计. 哈尔滨: 黑龙江省科技出版社, 1988, 10
- 2 熊振民等. 中国水稻. 北京: 中国农业科技出版社, 1990, 533~544
- 3 任成礼等. 水稻施用化肥的增产效应及其经济效益分析. 吉林农业大学学报, 1990, 12(3)
- 4 王福荣等. 水田开发新技术. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991, 49~74
- 5 吕龙石等. 氮、磷肥及种植密度对茄果产量的影响. 延边农学院学报, 1994, 16(3): 139~144
- 6 崔一龙等. 不同密度下水稻自动调节能力的研究. 延边大学农学学报, 1997, 19(2): 110~113

Effect of Different Proportion of N, P and K on Rice Development and Yield of Low - Temperature Area

CUI Yilong et al.

(College of Agriculture, Yanbian University, Longjing 133400)

Abstract The influence of different proportion of N, P and K on the growth and development of rice showed; with the raise of fertilizer N dressed, rice plant height and tiller numbers obviously increased. Rice's loss heavy was significantly correlated with the volume of pouring K, but to the amount of applying N was significant and negative correlation. Under the different proportion of N, P and K, the optimum model of rice production was $Y = 719.1905 + 57.5140X_1 + 34.1465X_2 + 28.9068X_3 -$

$16.75X_1X_2 + 17.25X_1X_3 - 31.8574X_1^2 - 14.2139X_2^2 + 6.8235X_3^2$. In order to obtain the best economic results, the dressing amount of fertilizer was N 177.8 kg/hm², P₂O₅ 63.7 kg/hm², K₂O 118.8 kg/hm² and the best coordinate rate was 2.8:1:1.9.

Key words Grow and develop, Loss heavy, Optimum model, Best coordinate rate

(责任编辑:任 禾)

本刊征稿简则

《吉林农业科学》是吉林省农业科学院主办的综合性农业科学技术刊物。主要刊登内容包括:作物栽培、育种、土壤肥料、耕作、农业机械、植物保护、园艺、农机、畜牧兽医、农业气象和农业经济等专业的科学论著、试验研究报告、技术推广及农业科研动态、国外农业考察报告等。为保证刊物质量,使其达到规范化、标准化的要求,特制订本简则。希望作者予以大力合作,欢迎来稿。

本刊对稿件的要求是:

1. 取材真实,数据可靠,科学性强,文字精练朴实。一般每篇文章不超过 5 000 字(特殊情况例外)。

2. 来稿请写明作者姓名(一般不超过 5 名),工作单位,邮政编码。来稿应有中文提要(一般不超过 300 字)、关键词(3~8 个)、正文、参考文献。重要的学术论文、研究报告和专题论文请附英文摘要和英文关键词。一般文章只附英文题目。

3. 参考文献只列正文引用与参考的主要文献。文中引用的参考文献按出现的先后顺序排列。每条参考文献必须列出的内容、标点符号及其顺序:图书为著者·书名·出版地:出版者,出版年,起讫页码;期刊为作者·篇名·刊名,出版年,卷(期):起讫页码。

4. 文中图表和数据要清楚、准确,外文字母用印刷体,照片黑白分明(不用彩色照片)。

5. 文中计量单位采用国家法定计量标准,在公式、图表和文字叙述中,一律使用单位的国际符合。

6. 来稿请用 16 开稿纸书写,字迹端正。外文字母要分清大小写、正斜体,符号的上下角位置要有明显区别。形状相似的英、拉、希腊文字请用铅笔注明。

7. 本刊有权对来稿作文字性修改、删节,如作者不同意修改,请在来稿时声明。

8. 由于办刊经费不足,本刊自 1996 年起向作者收取部分版面费,每页 50 元,稿费照付。稿件收到后 6 个月内发出“刊用通知”,接不到“通知”者可自行处理。来稿一经刊出,即送样本。

来稿请寄:吉林省公主岭市西兴华街 6 号《吉林农业科学》编辑部。

邮政编码(136100)