

水稻精量节肥防治面源污染高产栽培模式研究*

杨安贵 陈国惠 卫云飞 吴文彬 冯 丽

(西南农业大学农学与生命科学学院 重庆 400716)

摘 要 采用二次回归组合设计试验研究水稻栽培精量节肥技术,建立了水稻栽培密度、施N量和施P量数字模型,该模型寻优结果表明水稻种植密度为20.9628万丛/hm²、施N素折尿素379.05 kg/hm²、施P素折过磷酸钙476.85 kg/hm²时,其稻谷理论最高产量可达9211.5kg/hm²。

关键词 水稻栽培 施肥技术 精量节肥 面源污染

Research on rice high-yielding culture mode with applying fertilizer in extractive quantity to control nonpoint-source pollution. YANG An-Gui, CHEN Guo-Hui, WEI Yun-Fei, WU Wen-Bin, FENG Li (College of Agronomy and Life Science, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716), *CJEA*, 2005, 13(1): 122~124

Abstract Using the orthogonal quadratic regression design method, a cultivation technology mode to retain rice high yield with applying fertilizer in extractive quantity is studied, and a numeric mode of the density of rice planting, quantity of applying N and quantity of applying P is established, the results show that the theoretical maximal yield of rice is 9211.5 kg/hm² when the planting density of rice is 209628 clumps/hm², the application amounts of N and P are 379.05kg/hm² and 476.85kg/hm², respectively.

Key words Rice planting, Technology of applying fertilizer, Fertilizer in extractive quantity, Nonpoint-source pollution

本试验根据水稻不同生育期吸肥特点,研究确立了水稻基肥、分蘖肥、穗肥和粒肥分次施用的精量节肥技术,为水稻生产精量施肥及有效防治农业面源污染提供理论依据。

1 试验材料与与方法

表1 水稻试验各因素水平设计
Tab.1 Different factor levels of the test in rice

水平 Levels	种植密度(X ₁)/万窝·hm ⁻² Density	施尿素(X ₂)/kg·hm ⁻² Applying nitrogen	施过磷酸钙(X ₃)/kg·hm ⁻² Applying phosphorus
1.215	25.5000	600.0	750.0
1	24.1725	546.9	683.7
0	18.0000	300.0	375.0
-1	11.8275	53.1	66.3
-1.215	10.5000	0.0	0.0
变化间距 Δ	6.1725	246.9	308.7

试验于2003年春在三峡库区腹心地带涪陵区南沱镇夏家村进行,该地海拔高度270m,供试水稻品种为稳产高产、抗病虫性较好的杂交种“Ⅱ优838”。试验采用三元二次回归正交组合设计^[1],重复2次。试验因素为栽插密度X₁(按南方稻区设计),施N量X₂(施N总量,折合为尿素计量,分4次施入,基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥=

50:30:10:10),施P量X₃(作基肥1次性施入,折合为过磷酸钙计算)。试验各因素水平设计见表1,三元二次正交组合设计见表2。小区面积16m²(4m×4m),重复内15个小区随机排列,排成1行,2次重复排2行,重复间设宽50cm的排灌水沟,同一重复小区间不开挖排灌水沟,但筑土埂分隔。每小区四周皆筑土埂封闭,且土埂用两边入土深度为33cm的塑料薄膜包裹。每小区皆在通往排灌水沟的一面开挖1个进出水口以便排灌,排灌工作完成即封闭进出水口,以保持每小区的相对独立,试验全程皆封闭小区管理直至水稻收获,试验区周围种植同品种水稻作保护带。除试验处理因素设置差异外,其余农事操作包括播种、地膜育秧、移栽、病虫害防治等同大田管理,水稻播种期为3月1日。按三元二次回归正交组合设计试验标准方法分析,并建立数字模型与各因素显著性检验,经检验显著后进行寻优得出优化数字模型^[1]。以小区为单位

* 国家科技部项目“区域生态环境安全和生态经济系统重建关键技术研究及示范”部分研究内容

收稿日期:2003-12-31 改回日期:2004-01-31

收获计产,以每小区中间一行的中间 10 窝记录其性状并整理成平均值。其中田间记录株高和每窝有效穗数,室内考种记录穗长、穗着粒数、穗实粒数、空壳率和千粒重等。本研究仅对产量性状作完整分析。

2 结果与分析

水稻精量节肥三元二次正交组合设计稻谷产量结果见表 3。由表 3b 行值得回归方程式(1):

$$\hat{y} = 7658.18 + 597.7X_1 + 704.5X_2 + 499.3X_3 + 37.3X_1X_2 - 142.3X_1X_3 + 107X_2X_3 - 180.1X_1^2 - 1097.6X_2^2 - 754.8X_3^2$$

式(1) b_0 值计算式为:

$$b_0 = \sum y/n - (\sum X_i^2/n) \times \sum b_{ij} = 7658.18 \quad (2)$$

表 3 水稻精量节肥三元二次回归正交组合设计产量*

Tab.3 Yield of orthogonal quadratic regression design of rice planting density ,quantity of applying N and P

处理号 Treatment number	X_0	种植密度(X_1) Density	施尿素(X_2) Applying nitrogen	施 P 肥(X_3) Applying phosphorus	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1'	X_2'	X_3'	产量/kg·hm ⁻² (y) Yield
1	1	1	1	1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	8610
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	6930
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	6049.5
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	5853
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	6936
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	5742
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	5580
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	3759
9	1	1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	9006
10	1	-1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	8085
11	1	0	1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	8143.5
12	1	0	-1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	7536
13	1	0	0	1.215	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	8583
14	1	0	0	-1.215	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	8109
15	1	0	0	0	0	0	0	-0.73	-0.73	-0.73	7089
A	15	10.95	10.95	10.95	8	8	8	4.36	4.36	4.36	$\sum y = 106011$
D	106011.0	6544.5	7714.6	5467.4	298.5	-1138.5	856.5	-2702.2	-4785.6	-3291.1	$SS_y = 29394899$
b	7067.4	597.7	704.5	499.3	37.3	-142.3	107.0	-180.1	-1097.6	-754.8	$SS_u = 21753130$
u	3911459	5435165	2729905	11138	162023	91699	1674744	5252745	2484252		$SS_Q = 7641769$

*表中 $A = \sum X^2, D = \sum Xy, b = D/A, u = D^2/A$ 。

对回归方程式(1)进行显著性检验其结果见表 4。表 4 表明 X_1X_2 、 X_1X_3 和 X_2X_3 3 项 F 值不显著且 <1 , 应从方程(1)中删除,其余 F 值 >1 的项保留并进行第 2 次显著性检验,其结果见表 5。在回归正交组合设计中达 0.25 显著水平的项对依变数有显著贡献,应予以保留,故 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 和 X_3^2 均达显著水平,回归方程应为式(3),该式可作为建立水稻产量数字模型的基本方程式:

$$\hat{y} = 7658.18 + 597.7X_1 + 704.5X_2 + 499.3X_3 - 180.1X_1^2 - 1097.6X_2^2 - 754.8X_3^2 \quad (3)$$

表 4 水稻种植密度与精量节肥回归关系方差显著性检验

Tab. 4 Variance analysis of regression of yield result with rice planting density, quantity of applying N and P

变异来源 Variance fountain	自由度 Degrees of freedom	平方和 Sum of square	均方 Mean square	F	显著程度 Prominence grade
X ₁	1	3911459	3911459	2.56	0.25
X ₂	1	5435165	5435165	3.55	0.25
X ₃	1	2729905	2729905	1.78	0.25
X ₁ X ₂	1	11138	11138	0.01	ns
X ₁ X ₃	1	162023	162023	0.11	ns
X ₂ X ₃	1	91699	91699	0.06	ns
X ₁ ²	1	1674744	1674744	1.09	Δ
X ₂ ²	1	5252745	5252745	3.43	0.25
X ₃ ²	1	2484252	2484252	1.62	Δ
回 归	9	21753130	2417014	1.58	Δ
离回归	5	7641769	1528354		
总变异	14	29394899			

施过磷酸钙:

$$\Delta_2 \times X_2 + 300 = 246.9 \times 0.32 + 300 = 379.05(\text{kg}/\text{hm}^2) \quad (8)$$

$$\Delta_3 \times X_3 + 375 = 308.7 \times 0.33 + 375 = 476.85(\text{kg}/\text{hm}^2) \quad (9)$$

试验施基肥前 4 月 5 日试验田按对角线 5 点取样法取土样混合分析,其结果为全 N 1.29g/kg, 碱解氮 86.26mg/kg, 全 P 0.72g/kg, 速效磷 21.20mg/kg。水稻收割即试验后 8 月 20 日对高施 N 肥小区(11 号处理小区)、低施 N 肥小区(12 号处理小区)、高施 P 肥小区(13 号处理小区)和低施 P 肥小区(14 号处理小区)取样,其结果为 11 号处理小区全 N 为 1.31g/kg, 碱解氮 92.08mg/kg, 12 号处理小区全 N 为 1.28g/kg, 碱解氮 85.86 mg/kg, 表明土壤全 N 与试验前基础水平基本一致, 碱解氮试验后施高 N 小区比施低 N 小区略有增高, 这部分 N 素营养将在 8~9 月份南方暴雨频繁期随水径流入江河造成面源污染。对 13 号处理小区分析得全 P 0.74g/kg, 速效磷 25.35mg/kg, 14 号处理小区全 P 0.73g/kg, 速效磷 22.12mg/kg, 表明土壤中全 P 与试验前基础水平基本一致, 速效磷试验后施高 P 小区比施低 P 小区略有增高, 这部分 P 素营养将在收稻前后暴雨频繁期随水径流入江河造成面源污染。

3 小结与讨论

本试验根据所建数字模型寻优结果所得水稻高产节肥优化方案为种植密度 20.9628 万窝/hm², 施 N 素肥料折合尿素 379.05kg/hm², 施 P 素折合过磷酸钙 476.85kg/hm², 此时稻谷理论产量最高, 可达 9211.5kg/hm²。目前三峡库区稻谷平均产量为 7500kg/hm² 左右, 而传统施肥法施 N 素 225kg/hm² 折合尿素 489kg/hm², 施 P₂O₅ 150kg/hm² 折合过磷酸钙 769.5kg/hm², 过量施肥给长江水体面源污染带来巨大压力^[2], 在保持单产不变前提下, 从栽培技术出发 N、P 肥均有精量节肥空间, 从农艺措施入手堵住面源污染源头为有效途径。

参 考 文 献

- 1 杨安贵主编. 农业试验设计基础及统计分析. 重庆: 重庆大学出版社, 1994
- 2 Young R. A. A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44(2): 168~173

运用数学极值原理, 求出式(3) \hat{y} 值最大时自变数 X₁、X₂ 和 X₃ 的取值, 即就式(3)分别对 X₁、X₂ 和 X₃ 求偏导且令之为零, 再求解 X₁、X₂、X₃ 即得。

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial X_1} = 597.7 - 360.2X_1 = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial X_2} = 704.5 - 2195.2X_2 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial X_3} = 499.3 - 1509.6X_3 = 0 \quad (6)$$

解式(4)~(6)得 X₁ = 0.48, X₂ = 0.32, X₃ = 0.33。该处理方案可得稻谷产量 9211.5 kg/hm², 再将 X₁、X₂ 和 X₃ 代码值按表 1 换算为各因素的处理值, 即为最优处理值。插秧密度:

$$\Delta_1 \times X_1 + 180000 = 61725 \times 0.48 + \quad (7)$$

$$180000 = 209628(\text{窝}/\text{hm}^2)$$

施尿素:

表 5 水稻种植密度与精量节肥第 2 次回归关系方差显著性检验

Tab. 5 The second variance analysis of regression of yield result with rice planting density, quantity of applying N and P

变异来源 Variance fountain	自由度 Degrees of freedom	平方和 Sum of square	均方 Mean square	F	显著程度 Prominence grade
X ₁	1	3911459	3911459	3.95	0.10
X ₂	1	5435165	5435165	5.49	0.05
X ₃	1	2729905	2729905	2.76	0.25
X ₁ ²	1	1674744	1674744	1.69	0.25
X ₂ ²	1	5252745	5252745	5.31	0.05
X ₃ ²	1	2484252	2484252	2.51	0.25
回 归	6	21488270	3581378	3.62	0.05
离回归	8	7906629	988329		
总变异	14	29394899			