

## 西昌市高草乡水稻配方施肥“3414”大田试验肥料效应函数分析\*

陈 岗<sup>1</sup>, 薛国祥<sup>1</sup>, 王志民<sup>2</sup>

(1. 西昌市农业局 土肥站, 四川 西昌 615000; 2. 西昌学院 农学系, 四川 西昌 615013)

**【摘 要】**通过采用肥料效应函数法原理对试验结果进行回归分析, 获得西昌市紫潮砂泥田上水稻产量与氮、磷、钾肥料效应回归方程模型为  $Y=6406.46+23.3105N+9.317P+47.5099K-0.07359N^2-0.01474P^2-0.08069K^2+0.1159NP-0.09016NK-0.1968PK$ 。在设定的氮磷钾肥料0~3水平范围内符合肥料效应函数法原理的前提下, 可求得最高产量施肥量为氮肥(N)167.17 kg·hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.45 kg·hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)129.21 kg·hm<sup>-2</sup>, 最高产量11271.53 kg·hm<sup>-2</sup>; 最佳经济效益施肥量为氮肥(N)160.27kg·hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.28kg·hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)113.47kg·hm<sup>-2</sup>, 最佳经济效益施肥量产量11265.85kg·hm<sup>-2</sup>。

**【关键词】**水稻; 3414 试验; 肥料效应**【中图分类号】**S511.062 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2008)03-0017-06

西昌市位于川滇结合部中段, 地处北纬27° 32' ~ 28° 10'、东经101° 46' ~ 102° 25', 平均海拔1500m以上。幅员面积2655km<sup>2</sup>, 实有耕地面积29679公顷, 90%的稻田分布于海拔1160m~1800m之间的安宁河流域, 为攀西地区商品粮重地。为获得西昌市水稻主要推广品种在当地大宗土壤类型上的氮磷钾肥料效应函数模型和推荐施肥量, 建立同类型土壤测土配方施肥的应用指标体系, 按照农业部“测土配方施肥技术规范”和“四川省3414肥效试验方案”要求, 2006年3月至2006年9月在西昌市高草乡紫潮砂泥田土壤类型上进行了水稻氮磷钾“3414”肥效试验。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及供试土壤

试验地点位于西昌市高草乡大庄村3组(东经102° 09' 32", 北纬27° 45' 54", 海拔1484m)。土壤类型为水稻土土类、潴育水稻土亚类、潴育紫潮田土属、紫潮砂泥田土种, 耕层厚度22cm, 土体构型为A-P-W0-C, 肥力中等, 地力均一, 试验点耕层土壤测试结果见表1。

表1 试验点土壤性状测试表

取样层次 cm	有机质 g·kg <sup>-1</sup>	全氮 g·kg <sup>-1</sup>	水解氮 mg·kg <sup>-1</sup>	有效磷 mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾 mg·kg <sup>-1</sup>	pH	质地	结构
0~20	32.6	4.014	126.8	3.42	136.1	6.3	中壤	团粒状

### 1.2 供试品种

供试品种为Ⅱ优838, 由西昌市农业局种子站提供。

### 1.3 田间试验方案设计

“3414”试验方案吸收了回归最优化设计处理少、效率高的优点。具体是指氮、磷、钾3因素, 4水平, 14个处理, 不设重复, 其中4水平是: 0水平指不施肥; 2水平指当地最佳施肥量; 1水平=2水平×0.5; 3水平=2水平×1.5。根据土壤类型、土壤肥力和农户施肥状况调查, 确定高草乡紫潮砂泥田水稻氮磷钾“3414”肥料试验最适施肥量和最大施肥量水平。依据“3414”试验方案作出试验设计。

试验因子水平和试验方案设计见表2和表3。

表2 西昌市高草乡紫潮砂泥田水稻氮磷钾“3414”田间试验因子水平

项目	试验因子		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
最适施肥量(kg·hm <sup>-2</sup> )	138.00	90.00	72.00
试验所用肥料	尿素	过磷酸钙	氯化钾
肥料养分含量(%)	46.00	12.00	60.00

收稿日期: 2008-08-06

\*基金项目: 国家测土配方施肥项目。

作者简介: 陈 岗(1970-), 男, 农艺师, 主要从事土壤肥料研究与推广工作。

小区面积20m<sup>2</sup>,各小区随机排列,小区作埂,区间埂宽0.3m,周围设保护行,宽1.00m。按0.2m×0.17m等距离移栽。各处理间除施肥量及氮磷钾比例不同外,其它栽培管理措施同大面积生产并控制一致,每小区相同措施均在同一天内完成。

表3 西昌市高草乡紫潮砂泥田水稻氮磷钾“3414”肥料田间试验方案

处理号	代码	养分用量(kg·hm <sup>-2</sup> )			小区肥料用量(kg)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	尿素	过磷酸钙	氯化钾
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.00	90.00	72.00	0.00	1.50	0.24
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	69.00	90.00	72.00	0.30	1.50	0.24
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	138.00	0.00	72.00	0.60	0.00	0.24
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	138.00	45.00	72.00	0.60	0.75	0.24
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	138.00	90.00	72.00	0.60	1.50	0.24
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	138.00	135.00	72.00	0.60	2.25	0.24
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	138.00	90.00	0.00	0.60	1.50	0.00
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	138.00	90.00	36.00	0.60	1.50	0.12
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	138.00	90.00	108.00	0.60	1.50	0.36
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	207.00	90.00	72.00	0.90	1.50	0.24
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	69.00	45.00	72.00	0.30	0.75	0.24
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	69.00	90.00	36.00	0.30	1.50	0.12
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	138.00	45.00	36.00	0.60	0.75	0.12

\* 尿素50%做底肥、40%做分蘖肥、10%做拔节肥;过磷酸钙全部做底肥;氯化钾60%做底肥、40%做拔节肥。

## 2 结果分析

水稻于2006年3月16日播种,2006年9月28日收获后测产,结果见表4。

表4 西昌市高草乡紫潮砂泥田水稻“3414”田间试验结果

处理	代码	有效穗 (万穗hm <sup>-2</sup> )	穗实粒数 (粒)	千粒重 (g)	空秕率 (%)	籽粒重(kg·hm <sup>-2</sup> )		生物产量 (kg·hm <sup>-2</sup> )	基本苗 (万苗hm <sup>-2</sup> )	最高苗 (万苗hm <sup>-2</sup> )
						理论	实际			
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	162.0	149	26.1	9.1	6300.0	6435.0	10639.5	75.0	235.5
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	205.5	129.6	25.4	7.8	6765.0	8770.5	14748.0	79.5	300.0
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	234.0	146	25.4	17.3	8677.5	10771.5	18850.5	85.5	333.0
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	294.0	139	25	10.3	10216.5	10408.5	18214.5	105.0	487.5
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	271.5	145.4	25.6	12.49	10105.5	10702.5	18729.0	93.5	354.0
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	274.5	157	25.3	8.9	10903.5	11143.5	19501.5	61.5	613.5
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	279.0	159.5	24.6	11.29	10947.0	11455.5	20275.5	76.5	319.5
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	234.0	161	24.5	7.17	9229.5	10369.5	18934.5	64.5	457.5
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	271.5	145.2	24.9	6.48	9816.0	11077.5	19386.0	91.5	376.5
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	297.0	149.6	23.9	8.43	10618.5	11296.5	19768.5	76.5	501.0
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	282.0	152	24.1	15.14	10330.5	11394.0	21444.0	99.0	445.5
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	258.0	141	24.4	6.1	8875.5	10216.5	17428.5	78.0	460.5
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	256.5	144	24.1	19.8	8901.0	9733.5	16747.5	94.5	322.5
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	291.0	139	24.9	10.9	10072.5	10056.0	18412.5	84.0	532.5

### 2.1 氮磷钾肥料效应

#### 2.1.1 回归方程模型

根据表3、表4数据,用肥料效应函数法原理拟合水稻产量(Y)与氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)三元二次回归方程:

Y=6406.46+23.3105N+9.317P+47.5099K-0.07359N<sup>2</sup>-0.01474P<sup>2</sup>-0.08069K<sup>2</sup>+0.1159NP-0.09016NK-0.1968PK..... (1)

方程(1)相关系数(R)0.9942,方程标准误差(Sy)257.2705,经F检验得F=37.9935(F0.05=5.9988,F0.01=14.6591),达到极显著水平。由方差分析可以看出水稻产量(Y)与氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)施用量间存在显著的回归关系,方程可用于推荐施肥。

2.1.2 最高产量施肥量和最佳经济效益施肥量

根据作物产量与施肥量间的函数关系,当氮磷钾三个自变量的边际效益等于零时,可求出最高产量及其施肥量;当边际效益等于边际成本时,可求出最佳经济效益产量及其施肥量。通过边际分析进行施肥决策,用偏导数配置最高产量及最佳经济效益施肥配方案如下:

∂Y/∂N =23.3105-0.1427N+0.1159P-0.09016K..... (2)

∂Y/∂P =9.317+0.1159N-0.0295P-0.1968K ..... (3)

∂Y/∂K =47.5099-0.09016N-0.1968P-0.0869K..... (4)

方程中N、P、K为N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的施用量,Y为水稻产量。

令∂Y/∂N =∂Y/∂P=∂Y/∂K =0时,解方程(2)、(3)、(4)方程组,可求得最高产量施肥量为氮肥(N)167.17 kg.hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.45 kg.hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)129.21 kg.hm<sup>-2</sup>,最高产量为11271.53kg.hm<sup>-2</sup>。

令∂Y/∂N = PN/P;∂Y/∂P= PP/P;∂Y/∂K = PK/P,PN、PP、PK、P分别为N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O、水稻价格,以西昌市场现行价格,纯氮4.35元·kg<sup>-1</sup>、五氧化二磷4.17元·kg<sup>-1</sup>、氧化钾3.5元·kg<sup>-1</sup>、水稻1.80元·kg<sup>-1</sup>计算,解方程(2)、(3)、(4)方程组,可求得最佳经济效益施肥量为氮肥(N)160.27 kg.hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.28 kg.hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)113.47 kg.hm<sup>-2</sup>,最佳经济效益产量为11265.85 kg.hm<sup>-2</sup>。

比对两组数据,除磷肥施用量相同外,最佳经济效益施肥量较最高产量施肥量氮肥用量减少6.9kg.hm<sup>-2</sup>,钾肥用量减少15.74kg.hm<sup>-2</sup>,共计减少肥料投入85.11元·hm<sup>-2</sup>。水稻减产5.68 kg.hm<sup>-2</sup>,价值10.22元。核算最佳经济效益施肥量较最高产量施肥量增加产值74.89元·hm<sup>-2</sup>。

2.2 氮磷钾的单因素肥料效应

为了探讨氮磷钾三种肥料对水稻产量的影响,采用降维分析,将3个因素中的两个因素同时固定在0、1、2、3四个不同水平,代入方程(1)分别得到水稻产量与N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施用量的一元二次子模型,这些子模型的解析图形如图1、图2、图3所示。

2.2.1 氮的单因素肥料效应

如图1所示,令方程(1)中P、K施用量分别为0、1、2、3水平时,可得曲线Y<sub>0</sub>、Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub>,所对应的方程分别为方程(5)、(6)、(7)、(8)。

Y<sub>0</sub>=6406.46+23.311N-0.07359N<sup>2</sup>..... (5)

Y<sub>1</sub>=8081.70 +25.29N-0.07359N<sup>2</sup>..... (6)

Y<sub>2</sub>=8848.00 +27.27N-0.07359N<sup>2</sup>..... (7)

Y<sub>3</sub>=8705.32 +29.15N-0.07359N<sup>2</sup>..... (8)

图1表明,在P、K零水平时水稻低产;随P、K施用量在1~3水平内逐步增加,水稻产量在N素用量200kg.hm<sup>-2</sup>以下范围内随N素用量增加而提高,大于200kg.hm<sup>-2</sup>以上的施用量都将导致水稻减产。

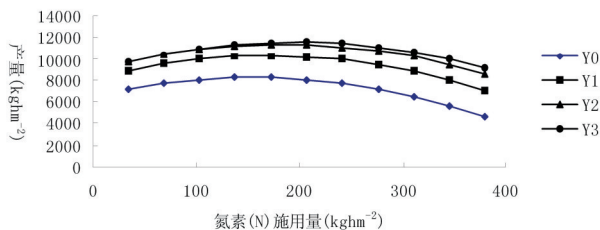


图1 氮素单因素肥料效应曲线图

### 2.2.2 磷的单因素肥料效应

如图2所示,令方程(1)中N、K施用量分别为0、1、2、3水平时,可得曲线 $Y_0$ 、 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ ,所对应的方程分别为方程(9)、(10)、(11)、(12)。

$$Y_0=6406.46+9.317P-0.01474P^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$Y_1=9044.42+10.23P-0.01474P^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$Y_2=10320.5+11.12P-0.01474P^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$Y_3=10235.04+12.05P-0.01474P^2 \dots\dots\dots (12)$$

图2表明,在N、K零水平时水稻低产;随N、K施用量在1~2水平内逐步增加,水稻产量随磷肥施用量增加而提高,同等磷肥施用量条件下,N、K施用量低于2水平时,水稻产量随N、K施用量增加增幅明显,高于2水平时,水稻产量随N、K施用量增加变化不大。

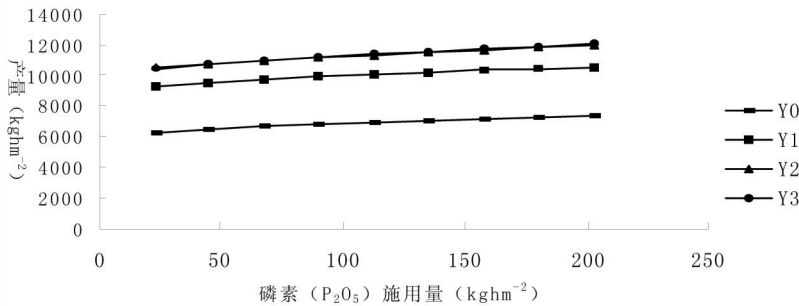


图2. 磷素单因素肥效曲线图

### 2.2.3 钾的单因素肥料效应

如图3所示,令方程(1)中N、P施用量分别为0、1、2、3水平时,可得曲线 $Y_0$ 、 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ ,所对应的方程分别为方程(13)、(14)、(15)、(16)。

$$Y_0=6406.46+47.51K-0.081K^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$Y_1=8411.76+32.43K-0.081K^2 \dots\dots\dots (14)$$

$$Y_2=10395.28+17.39K-0.081K^2 \dots\dots\dots (15)$$

$$Y_3=12287.23+2.28K-0.081K^2 \dots\dots\dots (16)$$

图3表明,在N、P施用量低于1水平时,水稻产量随钾肥施用量增加而大幅提高;在N、P施用量高于2水平时,水稻产量随钾肥施用量增加表现出先增加后降低的趋势。

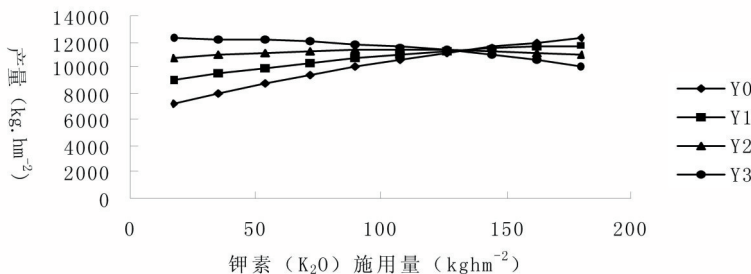


图3. 钾素单因素肥效曲线图

### 2.3 氮磷钾的双因素肥料效应

为寻求双因素对水稻产量的交互作用,对方程(1)进行降维分析,将三因素中一个因素固定为零水平,可得到其他两个因素与水稻产量的三个交互作用回归子模型,即方程(17)、(18)、(19)。

$$Y=6406.46+23.3105N+9.317P-0.07359N^2-0.01474P^2+0.1159NP \dots\dots\dots (17)$$

$$Y=6406.46+23.3105N+47.5099K-0.07359N^2-0.08069K^2-0.09016NK \dots\dots\dots (18)$$

$$Y=6406.46+9.317P+47.5099K-0.01474P^2-0.08069K^2-0.1968PK \dots\dots\dots (19)$$

三个回归子模型的曲面图分别如图4、图5、图6所示。

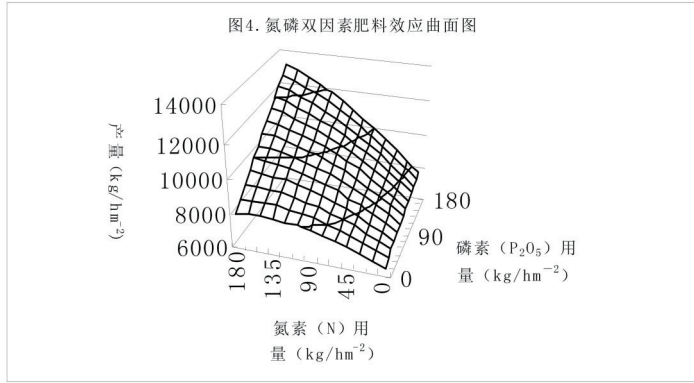


图4表明,在钾肥施用量为零水平时,随着氮磷肥用量的增加水稻产量持续增加,氮磷双因素联效应明显,低氮低磷水稻产量最低,高氮高磷水稻产量最高,保证足够氮肥和磷肥施用量可以获得高产。

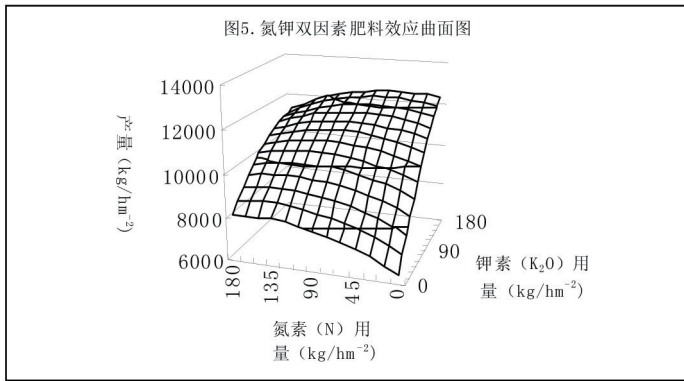


图5表明,在磷肥施用量为零水平时,随着氮钾肥用量的增加使水稻产量持续增加,氮钾双因素联效应明显,低氮低钾水稻产量最低;高钾中氮水稻产量最高;高钾高氮导致水稻减产。

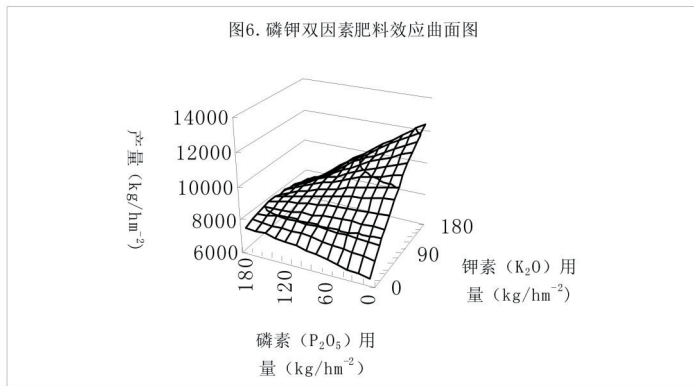


图6表明,在氮肥施用量为零水平时,随着磷钾肥用量的增加水稻产量持续增加,磷钾双因素有一定的联效应,缺氮时,低磷低钾和高磷高钾均可导致水稻减产,低磷高钾时水稻产量最高,钾素的增产效益较磷素更为显著。

### 3 结论与建议

#### 3.1 水稻肥料效应模型

供试土壤上水稻氮磷钾的肥料效应模型为:

$$Y=6406.46+23.3105N+9.317P+47.5099K-0.07359N^2-0.01474P^2-0.08069K^2+0.1159NP-0.09016NK-0.1968PK$$

其中Y为水稻产量,N、P、K为N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的施用量。

#### 3.2 推荐的施肥量及肥料配比

在设定的氮磷钾肥料0~3水平范围内符合肥料效应函数法原理的前提下,可求得最高产量施肥量为氮肥(N)167.17 kg.hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.45 kg.hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)129.21 kg.hm<sup>-2</sup>,最高产量11271.53 kg.hm<sup>-2</sup>;最佳

经济效益施肥量为氮肥(N)160.27 kg.hm<sup>-2</sup>、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)111.28 kg.hm<sup>-2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O)113.47 kg.hm<sup>-2</sup>,最佳经济效益施肥量产量11265.85 kg.hm<sup>-2</sup>。最佳经济效益施肥量较最高产量施肥量增加产值74.89元·hm<sup>-2</sup>,推荐的施肥量和肥料配比应以最佳经济效益施肥量为准。

### 3.3 建议

供试土壤上,氮肥、钾肥的施用效果明显,对水稻获得高产起决定性作用,磷肥对水稻的产量起辅助提高的作用。对试验方案因子水平与最佳经济效益施肥量比对分析,存在着原试验方案2水平氮肥、磷肥、钾肥施用量设置偏低的情况,建议调整用量后进一步试验确定。

### 注释及参考文献:

- [1]西昌市统计局.西昌统计年鉴2005[Z].2006:3-8.
- [2]西昌市农业局.西昌市独特气候与优势农产品的调查研究[Z].2005:1-10.
- [3]凉山州土壤普查办公室.凉山州土种志[Z].1987:43.
- [4]周鸣铮.土壤肥力测定与测土施肥[M].北京:中国农业出版社,1987:142-183.
- [5]高祥照,马常宝,杜森.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2005:8-1.3
- [6]慕成功,郑义.农作物配方施肥[M].北京:中国农业科技出版社,1994:1-31.

## The Fertilizer Effect Analyses of "3414" Field Experiment about Paddy Rice Rational Application of Fertilizers in Gaocao Countryside of Xichang City

CHEN Gang<sup>1</sup>, XUE Guo-xiang<sup>1</sup>, WANG Zhi-min<sup>2</sup>

(1. Station of Soil Fertilizer, Agricultural Bureau of Xichang City, Xichang, Sichuan 615000;  
2. Department of Agriculture, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

**Abstract:** Regression analysis of test result has been carried out by adopting the fertilizer effect function to follow principle, the regression equation model about paddy rice output and the nitrogen, phosphorus, potassic fertilizer expect in damp purple grit mud field has been gained. The regression equation mode is  $Y=6406.46 + 23.3105N + 9.317P + 47.5099K - 0.07359N^2 - 0.01474P^2 - 0.08069K^2 + 0.1159NP - 0.09016NK - 0.1968PK$ . Under the premise according with fertilizer effect function law principle in the setting up range 0~3 about nitrogen phosphorus and potassic fertilizer expects, the gaining result as follows: when the maximal output is 11271.53 kg.hm<sup>-2</sup>, the amounts applying fertilizer are respectively nitrogen fertilizer 167.17 kg.hm<sup>-2</sup>, phosphate fertilizers 111.45 kg.hm<sup>-2</sup>, potassic fertilizers (K<sub>2</sub>O) 129.21 kg.hm<sup>-2</sup>; when the best economic effect applies fertilizer to nitrogen fertilizer (N) expecting that 160.27 kg.hm<sup>-2</sup>, phosphate fertilizers (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 111.28 kg .hm<sup>-2</sup>, potassic fertilizers (K<sub>2</sub>O) 113.47 kg .hm<sup>-2</sup>, the best economic effect applies fertilizer measuring output 11265.85 kg.hm<sup>-2</sup>.

**Key words:** Paddy rice; 3414 tests; Fertilizer effect