

# 盐碱湿地井灌水稻配方施肥的研究

李秀军

(中国科学院长春地理研究所, 长春 130021)

**提 要** 本文通过对盐碱湿地井灌水稻氮、磷、钾三要素配方施肥试验结果分析,得到了三要素与水稻产量的数学模型:

$$y = 7\,362.848 + 586.472x_1 + 495.954x_2 + 209.739x_3 + 102.826x_1x_2 + 91.931x_2x_3 - 298.448x_1^2 - 264.262x_2^2 - 241.885x_3^2$$

计算出模型最优解为:施纯氮 235.45 kg/h, 施磷( $P_2O_5$ ) 85.82 kg/hm<sup>2</sup>, 施钾( $K_2O$ ) 63.58 kg/h, 并得到了最佳效益施肥量为:施纯氮为 207.85 kg/h, 施磷为( $P_2O_5$ ) 78.12 kg/h, 施钾( $K_2O$ ) 为 59.60 kg/h, 最佳施肥配方比例为 3.5 : 1.3 : 1。

**关键词** 盐碱湿地;井灌;水稻;配方施肥;数学模型

松嫩平原具有广泛的盐碱湿地分布。近年来随着对地下水的有效利用,开采地下水资源,采用井灌种稻的方法,盐碱湿地被开发种稻的面积逐渐增大。但是,由于盐碱湿地土壤中特殊的物理、化学及生物学性质,以及地下水作为水源水温低不利于水稻生长,稻田经常排水洗盐等等特点的存在,使得盐碱湿地水稻管理有其特殊性,尤其是施肥管理上就更有其独特之处。因此,研究盐碱湿地井灌水稻氮、磷、钾配方施肥技术,对于提高水稻产量和经济效益,进而推广井灌水稻,开发盐碱湿地的经验,更好的指导水稻生产具有重要意义。

## 1 试验地点及自然条件

试验地点选在松嫩平原腹地的大安市叉干镇东大泡盐碱湿地开发区,位于北纬 45°25′, 东经 123°25′。供试土壤为盐化沼泽土,其土壤的化学性质见表 1。试验区属半湿润半干旱区,多年平均降水 413.7 mm, 太阳年总辐射量 525.9 kJ/c,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 2 921.3 °C, 无霜期 137 d。地下水位较浅,埋深仅 1.3~2.0 m, 矿化度较高。稻田灌溉用水为埋深 80~100 m 的承压水,矿化度较低,水质较好。

表 1 供试土壤化学性质

土层 (cm)	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	可溶盐 (%)
0~7	8.7	24.2	1.0	0.5	18.7	43.1	15.3	158.9	0.283
8~22	8.3	12.5	0.7	0.6	19.3	26.9	3.1	35.0	0.318
23~50	9.3	3.0	0.3	1.4	15.8	16.9	2.6	62.9	0.241

## 2 材料和方法

试验采用二次回归正交设计,设氮、磷、钾肥 3 个施肥因素,根据土壤中的养分含量状况设置 5 个水平(各因素水平见表 2)。试验设 3 个区组、17 个小区,区组内随机排列,小区面积 130~360 m<sup>2</sup> 不等。氮肥用尿素和硫酸铵两种肥料(底肥施用尿素,追肥用硫酸铵),磷肥用磷酸二铵,钾肥用硫酸钾。氮肥的三分之一、磷肥的全部和钾肥的二分之一作底肥于泡田洗盐两次后,耙地前均匀撒施于田内,并同时施入硫酸锌 15 kg/h (土壤缺锌)。余下的氮肥以蘖肥、补肥、穗肥和粒肥分 4 次追施,其比例为 2.5:1:2:1,余下的钾肥在拔节期一次性追施。供试品种为吉优 1 号,5 月 15 日育秧,5 月 20 日插秧,插秧密度为 30 cm × 13 cm,每穴插 4~6 株。成熟期 9 月 27 日测产,每小区随机取 7 个 1 m<sup>2</sup> 样方进行室内考种。试验小区管理同其它稻田。

表 2 因素水平编码

因素	0 水平	间距	编码(r=1.353)				
			-r	-1	0	1	r
氮肥(纯 N) x <sub>1</sub>	175	50	107	125	175	225	243
磷肥(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) x <sub>2</sub>	60	20	33	40	60	80	87
钾肥(K <sub>2</sub> O) x <sub>3</sub>	50	20	23	30	50	70	77

## 3 结果分析

表 3 试验简化矩阵及产量

区号	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y(kg/h)	区号	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y(kg/h)
1	1	1	1	8 097.04	10	-1.353	0	0	6 034.94
2	1	1	-1	7 392.72	11	0	1.353	0	7 564.00
3	1	-1	1	6 734.84	12	0	-1.353	0	6 185.52
4	1	-1	-1	6 384.25	13	0	0	1.353	7 196.39
5	-1	1	1	6 608.49	14	0	0	-1.353	6 635.07
6	-1	1	-1	6 101.83	15	0	0	0	7 386.80
7	-1	-1	-1	5 648.60	16	0	0	0	7 401.54
8	-1	-1	-1	5 518.66	17	0	0	0	7 310.16
9	1.353	0	0	7 589.39					

试验结果(表 3)经统计回归分析,得二次回归方程如下:

$$y = 7\,362.848 + 586.472x_1 + 495.954x_2 + 209.739x_3 + 102.826x_1x_2 + 52.914x_1x_3 + 91.931x_2x_3 - 298.448x_1^2 - 264.262x_2^2 - 241.885x_3^2 \quad (1)$$

此方程为 3 个施肥因素与产量的数学模型。

### 3.1 模型检验

为了证实模型的实际可靠性,需对方程(1)进行有效性检验,F 检验结果(表 4)表明:回归模型只有交互作用项 x<sub>1</sub>x<sub>3</sub> 未达到 5% 的显著水平,其余各项均达到 1% 的极显著水平,回归模型也达到 1% 的极显著水平。说明盐碱湿地井灌水稻氮、磷、钾 3 种肥料对产量均有显

著影响,由 3 种施肥因素与产量所构成的回归模型能很好的反映施肥因素与产量的关系。

表 4 方差分析与 F 检验

变异原因	自由度(f)	偏差平方和(Q)	F 值	F <sub>0.05</sub>	F <sub>0.01</sub>	
一次项	x <sub>1</sub>	1	4 001 143 .302	885 .56 **	5 .59	12 .20
	x <sub>2</sub>	1	2 858 503 .929	632 .67 **		
	x <sub>3</sub>	1	513 016 .514	113 .54 **		
交互项	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	1	84 585 .901	18 .72 **		
	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	1	22 398 .919	4 .96		
	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	1	67 610 .838	14 .96 **		
二次项	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	597 223 .744	132 .18 **		
	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	468 238 .251	103 .63 **		
	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	392 299 .512	86 .83 **		
回归	9	900 502 .910	221 .45 **	3 .68	6 .72	
剩余	7	27 404 .614				
失拟	5	22 590 .860	1 .877	19 .3	99 .3	
误差	2	4 813 .754				
总计	16	9 032 425 .524				

失拟性检验结果(表 4)表明,失拟因素不显著( $F_{失拟} < F_{0.05}$ ),即本试验所得回归模型失拟因素很小,可忽略不计而一并归为误差范畴。由此可得试验的误差方差:

$$S_e = \frac{Q_{剩}}{f_{剩}} = 62 .569$$

进一步对回归系数进行 t 检验得:

$$t_0 = 28 .266^{**} \quad t_{11} = 1 .842^* \quad t_{12} = 0 .581$$

$$t_1 = 2 .745^{**} \quad t_{22} = 1 .631^* \quad t_{13} = 0 .299$$

$$t_2 = 2 .321^* \quad t_{33} = 1 .493^* \quad t_{23} = 0 .519$$

$$t_3 = 0 .982 \quad (* * \text{ 达到 } 5\% \text{ 显著水平}, * \text{ 达到 } 20\% \text{ 显著水平})$$

$t_0, t_1, t_2, t_3, t_{11}, t_{22}, t_{33}, t_{12}, t_{23}$  达到显著水平或在方程中有作用,而  $t_{13}$  作用较小,再加上前面 F 检验结果不显著,可舍去  $x_1x_3$  交互作用项,其余项保留,方程变为:

$$y = 7 362 .848 + 586 .472x_1 + 495 .954x_2 + 209 .739x_3 + 102 .826x_1x_2 + 91 .931x_2x_3 - 298 .448x_1^2 - 264 .262x_2^2 - 241 .885x_3^2 \quad (2)$$

### 3.2 模型最优解

求目标函数的最优解,即:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, (n=3)$$

在约束条件  $-r < x_i < r, i=1, 2, 3$  (本试验  $r=1 .353$ ) 下的非线性规划问题,也就是求极值问题,意即在满足方程的一阶偏导数的条件下,所求得的  $x_i$  值。因此,对方程(2)分别求一阶偏导数得:

$$\frac{dy}{dx_i} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dx_1} = 586 .472 - 596 .896x_1 + 102 .826x_2$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 495.954 + 102.826x_1 - 528.524x_2 + 91.931x_3$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 209.739 + 91.931x_2 - 483.770x_3 \quad (4)$$

将(3)分别代入方程组(4),可得系数矩阵:

$$\begin{bmatrix} -596.896 & 102.826 & 0 \\ 102.826 & -528.524 & 91.931 \\ 0 & 91.931 & -483.770 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 586.472 \\ 495.954 \\ 209.739 \end{bmatrix} \quad (5)$$

解得: $x_1 = 1.209$

$$x_2 = 1.291$$

$$x_3 = 0.679$$

(6)

将(6)中的 $x_i$ 值分别按水平编码换算成施肥量,得最高产量的施肥量为:施氮肥(纯氮) 235.45 kg/h,施磷肥( $P_2O_5$ ) 85.82 kg/h,施钾肥( $K_2O$ ) 63.58 kg/h,其比例为 3.70 : 1.35 : 1。这是在此种地力和栽培水平下的施肥量上限,施肥量再增加,产量并不增加。

### 3.3 各因素对产量的影响分析

为了分析各因素与产量的关系,分别将各因素设定在零水平,得方程:

$$y_1 = 7362.848 + 586.472x_1 - 298.448x_1^2$$

$$y_2 = 7362.848 + 495.954x_2 - 264.262x_2^2$$

$$y_3 = 7362.848 + 209.703x_3 - 241.885x_3^2$$

(7)

根据(7)可绘出各施肥因素与产量的关系图。

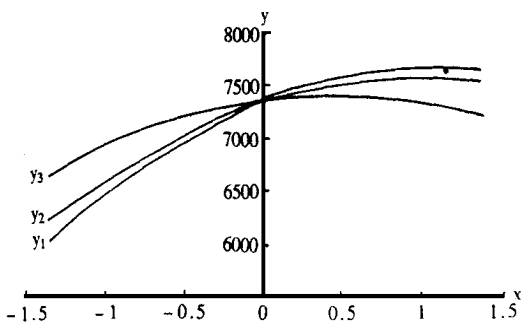


图1 各施肥因素与产量关系

从图1中可以看出,当 $x_1 < 0.983$ ,  $x_2 < 0.938$ ,  $x_3 < 0.434$ ,即施氮肥量少于 224.15 kg/h,施磷量( $P_2O_5$ )低于 78.76 kg/hm<sup>2</sup>,施钾量( $K_2O$ )低于 58.68 kg/h时,随着施肥量的增加,产量增加,当高于这一施肥量时,随施肥量增加,产量不再增长,反而有下降趋势。这可能是由于盐碱地经常排水洗盐造成了有效养分的流失,肥料施用过多会加重盐分含量而造成危害,肥料过多还会带来贪青晚熟,从而使产量降低。

进一步对(7)求一阶导数得:

$$\frac{dy_1}{dx_1} = 586.472 - 596.896x_1$$

$$\frac{dy_2}{dx_2} = 495.954 - 528.524x_2$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} = 209.739 - 483.770x_3$$

(8)

将不同编码值分别代入(8)得表5。

表 5 各因素不同水平下的边际产量

因素	编 码 值					kg
	-r	-1	0	1	r	
x <sub>1</sub>	1 394 .072	1 183 .368	586 .472	-10 .424	-221 .128	
x <sub>2</sub>	1 211 .047	1 024 .478	495 .954	-32 .57	-219 .139	
x <sub>3</sub>	864 .280	693 .509	209 .739	-274 .031	-444 .802	

由表 5 可知,施氮量低于 125 kg/h 纯氮时,每增加 1 kg/h 纯氮的用量可增产 23 .67 kg;施氮量达到 175 kg/h 时,每公斤氮可增产 11 .3 kg;施氮量超过 225 kg/h 时,增加施氮量不再增产。施磷量为 40 kg/h 时,每增加 1 公斤的磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)可增产 51 .22 kg;施磷量为 60 kg/h 时,每增施 1 kg 磷可增产 24 .80 kg;施磷量达到 80 kg/h 时,再增施磷肥不再增产。施钾肥为 30 kg/h 时,每公斤钾(K<sub>2</sub>O)可增产 34 .69 kg;施钾量为 50 kg/h 时,每公斤钾可增产 10 .49 kg;施钾量达到 70 kg/h 时,增施钾肥并不增产。

### 3.4 最佳效益分析

在水稻生产中,施肥量与产量之间有一最佳效益问题,即何时为最佳经济施肥量问题。如前所述,随着施肥量的增加,增产幅度将有所降低,这就存在一最佳效益问题。为此我们引入方程:

$$P_i dy - q dx_i \geq 0 \quad (9)$$

$$\text{即: } \frac{dy}{dx_i} \geq \frac{q}{P_i} \quad (10)$$

(P<sub>i</sub>:肥料单价元/kg, q:水稻单价元/kg)

也就是说边际产量等于或大于边际成本时,可获得最大经济效益(利润)。

由 P = 最大施肥量养分折价/总区间编码绝对值

可得:P<sub>1</sub> = 431 .042

$$p_2 = 192 .905 \quad (11)$$

$$p_3 = 91 .057$$

$$q = 1 .50$$

将(11)代入(10),计算后再代入(4)得:

$$299 .111 - 596 .896x_1 + 102 .826x_2 = 0$$

$$367 .351 + 102 .826x_1 - 528 .524x_2 + 91 .931x_3 = 0 \quad (12)$$

$$149 .034 + 91 .931x_2 - 483 .770x_3 = 0$$

解方程组(12)得:

$$x_1 = 0 .657$$

$$x_2 = 0 .906 \quad (13)$$

$$x_3 = 0 .480$$

将(13)各编码值换算成施肥量为:施氮肥(纯氮) 207 .85 kg/h, 施磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 78 .12 kg/h, 施钾肥(K<sub>2</sub>O) 59 .60 kg/h, 为最佳效益施肥量,其比例为 3 .5 : 1 .3 : 1。当施肥量超过这一水平时,所获利润将降低。

(下转封三)

ization were analyzed based on the present situation of ecological condition in Changbai Mountain, resources of the rana, market, production and processing. The concrete suggestion for accomplishing rana production industrialization was proposed.

**Key words** Rana, Production industrialization, Intensive breeding, production and processing

---

(上接第 30 页)

## 4 结 语

通过对盐碱湿地井灌水稻氮、磷、钾配方施肥试验研究, 获得氮、磷、钾 3 种施肥因素与水稻产量的数学模型:

$$y = 7362.848 + 586.472x_1 + 495.954x_2 + 209.739x_3 + 102.826x_1x_2 + 91.931x_2x_3 - 298.448x_1^2 - 264.262x_2^2 - 241.885x_3^2$$

并得到模型的最优解: 施纯氮 235.45 kg/h, 施磷( $P_2O_5$ ) 85.82 kg/h, 施钾( $K_2O$ ) 63.58 kg/h, 其施肥比例为 3.7 : 1.35 : 1。同时得到了最佳效益施肥量为: 施纯氮 207.85 kg/h, 施磷( $P_2O_5$ ) 78.12 kg/h, 施钾( $K_2O$ ) 59.60 kg/h。从而获得了盐碱地井灌水稻氮、磷、钾三要素施肥的最佳配方。

### 参 考 文 献

- 1 丁希泉. 农业应用回归设计. 长春: 吉林省科学技术出版社, 1986

---

(上接第 44 页)

### 参 考 文 献

- 1 陈幼春. 当今肉牛业的前景. 中国西门塔尔牛增刊, 1995
- 2 冯仰廉等著. 实用肉牛学. 北京: 科学出版社(第四版), 1995
- 3 陈幼春. 皮埃蒙特牛育种近期进展. 黄牛杂志, 1994(3)

## The Primary Studies on Selection of Variety and Utilization for Beef Cattle in Jilin Province

Hu Chenghua Zhang Guoliang

(Academy Branch of Animal Husbandry of Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100)

**Abstract** The paper dealt with the selection of beef cattle variety, establishment of crossbreeding system and variety combination for beef cattle crossbreeding system according to the actual situation of beef cattle production, demand of consume market and possibility of development in the future in Jilin province.

**Key words** Beef cattle, Selection of variety, Establishment of system for beef cattle crossbreeding, Variety combination.