

内薯3号马铃薯综合农艺措施 产量函数模型分析

谢智明 姚裕琪 梁德霖

(内蒙古农科院马铃薯小作物所 呼和浩特)

摘 要

本试验应用二次回归正交旋转设计试验方法, 研究了马铃薯主要栽培措施(水分、氮肥、磷肥和种植密度)与产量的关系, 建立了数学模型, 得出了各因素与产量的主次关系和双因素搭配的产量效应, 根据模型求极值找到了亩产3205.5公斤的最佳农艺措施(灌溉水120~150mm, 尿素19.8公斤/亩, 三料磷0.1公斤/亩, 密度3352.3株/亩)。为总结马铃薯栽培经验与指导生产提供了新的方法。

1 前 言

马铃薯在我区农业生产中占有很重要地位, 但单产较低, 平均亩产仅有500公斤左右, 为了提高马铃薯单产, 许多单位曾多采用单因子试验方法研究栽培因子对农作产量的影响^[1, 2, 3]。但水分、肥料、密度等多因素与马铃薯产量之间的综合关系研究得不多, 而多因素的如通径分析等方法, 也是线性模型, 为此, 我们在单因素试验研究基础上, 于1988~1989年应用二次回归正交旋转设计方法, 研究了内薯3号马铃薯的产量与水分、施氮肥、施磷肥和密度之间的综合关系及其数学模型, 为马铃薯高产栽培提供科学依据。

2 试验设计与方法

试验采用二次回归正交旋转组合设

计^[4, 5], 其数学模型为:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum b_{1i}x_i + \sum b_{ij}x_i x_j + \sum b_{11i}x_i^2$$

试验选用灌溉量、施氮量、施磷量和密度4个因素, 自变量设计水平和编码如表1, 供试品种为内薯3号原种。

表1 自变量因素水平及编码

因 素	零水 平	间距	1=2 自变量设计水平及编码				
			-2	-1	0	1	2
x ₁ 灌溉量 (次)	2	1	0	1	2	3	4
x ₂ 氮 量 (公斤/亩)	3	2.5	0	2.5	5	7.5	10
x ₃ 磷 量 (公斤/亩)	5	2.5	0	2.5	5	7.5	10
x ₄ 密 度 (株/亩)	3 500	750	2 000	2 750	3 500	4 250	5 000

注: 灌溉量每次30mm, 氮磷按口肥1/2, 追肥1/2分别施入

试验共31个小区, 小区面积18平方米, 行长6米, 6行区, 每行株数因密度不同而变化, 试验地土壤为栗钙土, 前作为大麦, 4月29日人工点种, 9月28日收获。出苗后除草3次, 培土1次, 其它农艺措施均按当地习惯。

3 计算结果与检验

根据表2的试验结果。按照下列公式分别计算出常数项、一次项、交互作用项和二次项的回归系数。

$$b_0 = k \sum_{a=1}^{31} y_a + E \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{a=1}^{31} x_{ai}^2 y_a \right)$$

$$b_i = c^{-1} \sum_{a=1}^{31} x_{ia} y_a$$

$$b_{ij} = mc^{-1} \sum_{a=1}^{31} x_{ia} x_{ja} y_a$$

$$b_{ii} = (l^2 - G) \sum_{a=1}^{31} x_{ai}^2 y_a$$

$$+ G \sum_{i=1}^4 \left[L \sum_{a=1}^{31} (x_{ia} y_a) + E \sum_{a=1}^{31} y_a \right]$$

表3 试验设计结构矩阵及产量结果

试验号	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	产量 (公斤)	试验号	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	产量 (公斤)
1	1	1	1	1	3 185.6	17	2	0	0	0	3 063.6
2	1	1	1	-1	3 307.6	18	-2	0	0	0	3 000.2
3	1	1	-1	1	3 184.2	19	1	2	0	0	3 224.0
4	1	1	-1	-1	2 975.1	20	0	-2	0	0	2 854.6
5	1	-1	1	1	2 887.9	21	0	0	2	0	3 048.3
6	1	-1	1	-1	3 009.4	22	0	0	-2	0	3 505.3
7	1	-1	-1	1	3 309.9	23	0	0	0	2	3 420.5
8	1	-1	-1	-1	3 000.2	24	0	0	0	-2	2 722.0
9	-1	1	1	1	3 222.1	25	0	0	0	0	3 139.0
10	-1	1	1	-1	2 820.1	26	0	0	0	0	3 292.8
11	-1	1	-1	1	3 275.5	27	0	0	0	0	3 072.9
12	-1	1	-1	-1	2 456.8	28	0	0	0	0	3 334.3
13	-1	-1	1	1	3 377.9	29	0	0	0	0	2 705.3
14	-1	-1	1	-1	2 748.1	30	0	0	0	0	3 285.5
15	-1	-1	-1	1	3 085.5	31	0	0	0	0	3 161.3
16	-1	-1	-1	-1	3 095.2						

计算结果, 得出马铃薯产量与各因素间的数学关系式为:

$$\hat{y} = 3240.329 + 37.379x_1 + 27.329x_2 - 30.338x_3 + 146.263x_4 + 61.356x_1x_2 - 20.269x_1x_3 - 97.956x_1x_4 + 69.356x_2x_3 + 31.894x_2x_4 - 33.381x_3x_4 - 36.105x_1^2 - 34.252x_2^2 + 25.218x_3^2 - 26.251x_4^2$$

$$R^2 = 0.8694$$

复相关系数为0.9324, 对该回归式进行显著性检验, $F = 7.605 > F_{0.01}$ ($F_{0.01} = 3.45$) 达到0.01显著水准。可见, 该方程式反应出的水分、氮肥、磷肥和密度4因素对马铃薯产量共同作用是显著的, 回归方程与实际情况拟合较好, 可以信赖。

4 分析与讨论

4.1 最优组合的确定

由函数对各因素一阶偏导数等于零的公式 $\partial \hat{y} / \partial x_i = 0$ 求极值。作为本试验的最优组合, 将各回归系数代入式中, 整理后得出:

$$\begin{aligned} -72.210x_1 + 61.356x_2 - 20.269x_3 - 97.956x_4 &= -37.379 \\ 61.356x_1 - 68.504x_2 + 69.356x_3 + 31.894x_4 &= -27.329 \\ -20.269x_1 + 69.356x_2 + 50.436x_3 - 33.381x_4 &= 30.338 \\ -97.956x_1 + 31.894x_2 - 33.381x_3 - 52.502x_4 &= -146.263 \end{aligned}$$

解此方程组, 则得

$$x_1 = 2.417, x_2 = 1.649, x_3 = -0.825, x_4 = -0.197$$

若将此 x_i 值代入回归方程中, 则得 $\hat{y} = 3205.5$, 这就是最高产量及其相应的各因素水平, 从试验结果又可以看出, 当取 $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 0$ 水平, 即各因素均取标准水平时, 其产量为3140.3公斤。可见, 它是最高产量的可靠估计值, 将 x_i 译码, 得到最优组合各因子相应的值。

3350株/亩。

4.2 各因素与产量的关系

为了进一步明确各因素与产量的关系, 采用“降低法”来解析^[6], 如果只考虑一个因素变化而其余因素均固定在适宜水平上(如固定其余3个自变量取零水平), 便可得出各因素与产量的偏回归解析子模型:

$$\text{水分: } \hat{y}_1 = 3140.329 + 37.379x_1 - 36.105x_1^2$$

$$\text{氮肥: } \hat{y}_2 = 3140.329 + 27.329x_2 - 34.252x_2^2$$

$$\text{P肥: } \hat{y}_3 = 3140.329 - 30.338x_3 + 25.218x_3^2$$

$$\text{密度: } \hat{y}_4 = 3140.329 + 146.263x_4 - 26.251x_4^2$$

按上述方程作成图1, 显而易见各因素

$x_1 = 4.4$ 次(即132毫米), $x_2 = 9.122$ 公斤N/亩(即19.84公斤尿素/亩) $x_3 = 2.938$ 公斤 P_2O_5 /亩(即6.35公斤三料磷/亩), $x_4 = 3352.3$ 株/亩,

由此可知, 在含磷量较高的地块, 高产马铃薯的尿素与三料磷肥用比为3:1, 在生育期间外界补充水量(不包括雨)应为120~150毫米左右, 若考虑自然降雨(常年降雨量以400毫米计算), 那么, 外界补充总水量应为520~550毫米左右。施氮量为9公斤/亩, 施磷量为3公斤/亩, 合理密度为

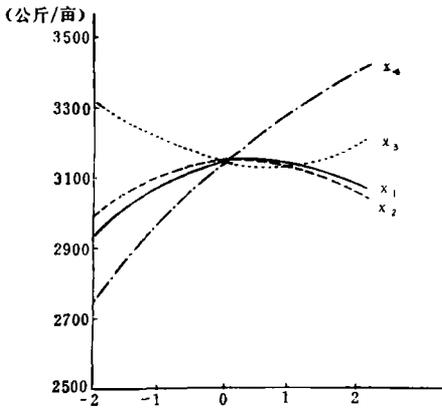


图1 各因素与产量的关系

x_1 (水分); x_2 (N肥); x_3 (P肥); x_4 (密度)

与产量呈抛物线关系(图1),但是各因素的作用是不同的, x_4 (密度)的回归线较陡,说明密度对产量的影响很大。高密度时($x_4 > 2.78$)因个体生长细弱,群体结构不合理,中下部叶片光能利用率降低,极大地影响到干物质的积累,低密度时,虽然个体生长很壮,但没有足够的群体,同样干物质重量也不高。只有在适宜密度下,个体生长好,群体结构又合理,才有利于增加干物质重量,提高产量,从单因素 x_4 (密度)的回归方程看, x_4 最佳点在2.78,即5500株/亩,此时最佳产量为3344.1公斤/亩。 x_2 (N肥)在 $x_2 = 0.4$ 水平产量最高、 x_1 (水分)在 $x_1 = 0.5$ 时产量最高,说明设计时代码为零的取值是合理的,此外,因选用的试验地含磷量较高,所以磷肥的效果不明显,当 x_3 (P肥)在 $-2 \sim 0.6$ 范围内,产量下降, $x_3 \geq 0.6$ 时产量上升。

各因素在不同水平条件下对产量增减的效果,是由各因素与产量的关系曲线的斜率来表示,对各因素的编回归模型再分别求一阶偏导数:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} = b_i + 2b_{ii}x_i$$

就可得到各子模型的一阶偏导数:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 37.379 - 72.210x_1;$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = 27.379 - 68.504x_2;$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = -30.328 + 50.436x_3;$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_4} = 146.263 + 52.502x_4;$$

根据以上4个直接方程作图2如下:

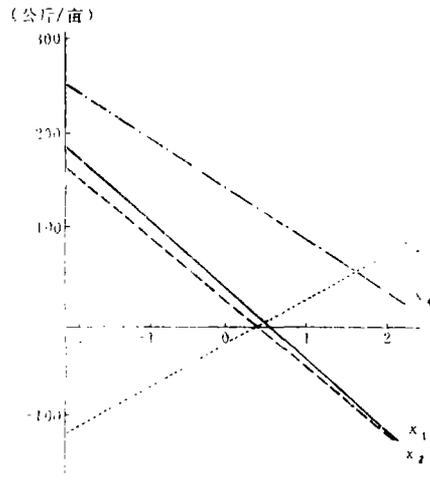


图2 各因素在不同条件下的增产效果

从图2可见,各因素对产量增减的作用效果均随其施用水平的高低而呈直线的增减,其中 x_4 (密度)在 $-2 \leq x_4 \leq 2$ 范围内,为正值即增产,但增产程度随 x_4 的水平提高而成直线降低。 x_1 (水分)和 x_2 (N肥)分别在 $-2 \leq x_1 \leq 0.52$ 和 $-2 \leq x_2 \leq 0.4$ 范围内为正值即增产,增产程度也随 x_1 的水平提高而下降;当 x_1 分别大于0.52和0.40时,为负值即减产,减产程度随 x_1 水平的提高而增大。 x_3 (P肥)当施用水平高于0.6时,为正值即增产,当施用水平低于0.6时,为

负值即减产, 但减产的程度随磷肥用量的增加而减少。

4.3 双因素与产量的关系

如果只考虑 2 个因素的变化, 而其余固定在适宜水平上, 则可得出这两个因素共同影响产量的关系式为:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$$

4.3.1 密度和氮肥对产量的关系

当 $x_1 = 0, x_3 = 0$ 时, N 肥 (x_2) 与密度 (x_4) 两因素函数子模型为:

$$\hat{y} = 3140.329 + 27.329x_2 + 146.263x_4 + 31.894x_2x_4 - 34.252x_2^2 - 26.251x_4^2$$

经计算求出 N 肥与密度两因素交互效应对马铃薯产量的影响, 列入表 3, 并作图 3。

从表 3 和图 3 可以明显看到, 在密度较低的情况下 (2000~35 株/亩) 增加 N 肥用

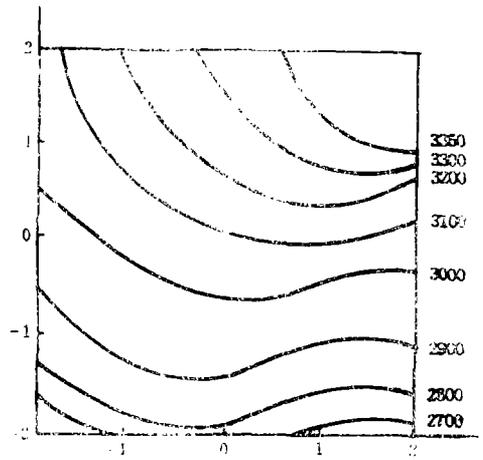


图 3 密度与 N 肥两因素交互效应下的等产线

量, 马铃薯产量未见明显增加; 在密度较高情况下 (3500~500 株/亩), 马铃薯产量随 N 肥施用量的增加而增加。从图表还可看出, 马铃薯产量不论在高 N 肥或低 N 肥条件下均随密度的增大而提高。

4.3.2 N 肥与 P 肥对产量的关系

N 肥 (x_2) 与 P 肥 (x_4) 两因素函数子模型为:

$$\hat{y} = 3140.329 + 27.329x_2 - 30.338x_3 + 69.356x_2x_3 - 34.252x_2^2 + 25.218x_3^2$$

经计算求出 N 肥与 P 肥两因素交互效应对马铃薯产量的影响, 列入表 4, 并作图 4。

表 3 N 肥与密度交互效应对马铃薯产量的影响

x_2	N 肥					\bar{x}	S	CV%
	-2	-1	0	1	2			
-2	2551.13	2640.00	2742.80	2672.80	2532.87	2627.78	86.93	3.31
-1	2839.94	2938.13	2967.82	2928.99	2890.18	2913.01	49.37	1.69
0	2948.67	3078.75	3140.33	3133.41	3057.98	3071.84	77.29	2.52
1	3073.39	3166.87	3263.34	3285.31	3344.54	3226.09	106.69	3.31
2	3050.94	3202.48	3327.87	3384.72	3373.08	3264.81	146.02	4.50
\bar{x}	2839.81	3005.25	3087.83	3080.90	3039.73			
S	269.59	228.22	236.41	285.94	347.72			
CV%	7.25	7.59	7.66	9.28	11.44			

表4 N肥和P肥交互效应对马铃薯产量的影响

P 肥	N 肥					\bar{x}	S	CV%
	-2	-1	0	1	2			
-2	3387.64	3379.01	3301088	3156.24	3354.83	3315.92	95.31	2.87
-1	3142.93	3203.66	3195.89	3119.61	3044.18	3141.25	64.76	2.06
0	2943.66	3078.75	3140433	3133.41	3057.98	3131.83	158.15	5.05
1	2804.83	3004.27	3135.21	3197.64	3191.56	3066.70	165.76	5.41
2	2711.44	2980.25	3180.53	3313.31	3375.69	3112.62	270.24	8.68
\bar{x}	2999.10	3129.18	3190.77	3183.84	3204.13			
S	271.42	161.84	67.28	77.66	157.19			
CV%	9.05	5.25	2.11	2.44	4.91			

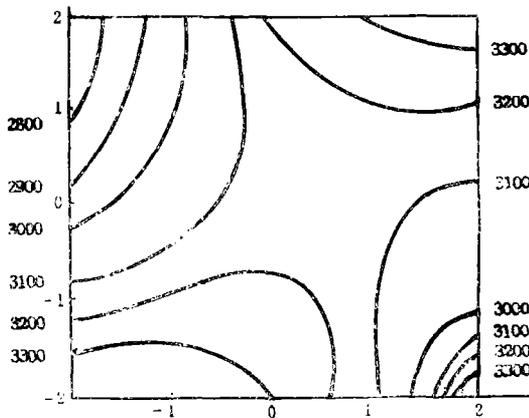


图4 N肥与P肥两因素交互效应下的等产线

从表4和图4可以看出,在施磷量较低情况下(2.5~5公斤/亩)增加氮肥用量,马铃薯产量变化不明显,在施磷量较高情况下(7.5~10公斤/亩),马铃薯产量随施氮

量的增加而提高,在不施磷的情况下(0公斤/亩),增加氮肥用量,马铃薯产量反而下降,若继续加大N肥用量,产量还会有所回升,从图表还可看出,在施氮量较低情况下(0~7.5公斤/亩),增加磷肥用量,其产量会明显下降趋势,在施氮量中等水平时(5~7.5公斤/亩),增加磷肥用量,产量变化不明显,在高氮肥条件,增加磷肥用量,产量有所下降,若继续加大磷肥用量(5~10公斤/亩),产量反而会上升。

5 小 结

a. 根据“四因素二次回归正交旋转组合设计”试验结果,统计得出水分、施氮量、施磷量、密度与马铃薯产量之间的关系式如下:

$$\hat{y} = 3140.329 + 37.379x_1 + 27.329x_2 - 30.338x_3 + 146.263x_4 + 61.356x_1x_2 - 20.269x_1x_3 - 97.956x_1x_4 + 69.356x_2x_3 + 31.894x_2x_4 - 33.381x_3x_4 - 36.105x_1 - 34.252x_2 + 25.218x_3 - 26.251x_4$$

并求得复相关系数 $R = 0.9324$ 。经显著性检验, $F = 7.605 \geq F_{0.01} = 3.45$, 达到1%显著水平。

b. 对马铃薯产量来说, 适宜的各因素组织为: 生育期间外界补充总水量(包括降雨及灌溉)为520~550mm, 施氮量9公斤/亩, 施磷量3公斤/亩, 密度为3330株/亩。

c. 各因素与马铃薯产量均呈二次曲线(抛物线)关系: $\hat{y} = b_0 + b_j x_j + b_{jj} x_j^2$ 。但各因素作用不同, 密度作用最大, 水分和施氮量次之, 施磷肥效果不明显。

d. 双因素与马铃薯产量之间的关系均呈二次曲面方程式:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_j x_j + b_{ij} x_i x_j + b_{ii} x_i^2 + b_{jj} x_j^2$$

它不反映出任何两因素是相互影响的,

并且两个因素之间相互影响的效果在马铃薯产量上反映明显。

参 考 文 献

- 1 朱明首, 棉花高产优质高效益综合农艺措施数学模型的研究. 华北农学报, 1988, 3(1)
- 2 丁希泉, 大豆干物质重量与水分、肥料、密度等栽培因素间的数学模型研究. 中国油料, 1984, (4)
- 3 宋贵庆, 墨河54号大豆品种综合农艺措施产量函数模型分析. 大豆科学, 1985, 4(4)
- 4 马育华等. 田间试验及统计方法. 农业出版社, 1988, 第二版
- 5 丁希泉, 回归分析在农业生产上的应用. 吉林农科院情报室, 1978
- 6 桑育春等. 5元2次正交旋转回归模型数学分析方法. 河北农学报, 1986, 9(1)

ANALYSIS OF THE FUNCTION MODEL FOR THE INTEGRATED AGRICULTURAL MEASURES AND YIELD OF VARIETY INNER MONGOLIA NO. 3 POTATOES

Xie Zhiming, Yao Yuqi and Liang Delin

(Institute of potatoes of Inner Mongolia Academy of Agricultural Science, Huhehaote, China)

ABSTRACT

The design of quadratic orthogonal rotation regression was used in the test to study relationship between the yield of potatoes and the main cultural practices such as water, nitrogen fertilizer, phosphatic fertilizer and planting density. A mathematical model was established that gave out the main and secondary factors affecting the yield, and the yield response of double factors. According to the extreme value of the model, the best agronomic practice for the yield of about 3205.5 kg/mu was as follows: irrigation norm 120~150mm, carbamide 19.8 kg/mu, threefold calcium superphosphate 6.4 kg/mu, and planting density 3352.3 plants/mu. It provides a new method of summarizing the experience in cultivating potatoes and of gaining the production of potatoes.