



# 牡丹江山区半山区脱毒马铃薯综合农艺措施数学模型及优化方案研究

董 清 山

(黑龙江省农科院牡丹江农科所)

## 1 前 言

马铃薯生产在牡丹江地区占很重要地位, 但单产不高, 受品种退化困扰亩产一直徘徊在 1 000 公斤左右。近年来国内外生产实践证明, 种植脱毒马铃薯是解决退化的有效途径。牡丹江地区自 1988 年开始引进茎尖组织培养法生产脱毒种薯技术, 建成了山区半山区脱毒种薯三级繁殖体系, 并实现了一定规模的开发试种, 增产效果和社会效益均十分明显。为进一步挖掘脱毒薯的增产潜力, 实现良种良法配套, 创造更大的社会效益, 我们以克新 2 号脱毒薯为材料, 于 1992~1993 年应用二次通用旋转组合设计方法, 对影响马铃薯生产的密度、氮肥、磷肥及钾肥四项主要农艺措施进行了研究, 建立产量函数数学模型; 明确各因素与产量的主次关系及因素间的交互作用; 并通过微机

模拟寻找亩产高于 2 500 公斤的最优农艺组合方案, 为指导脱毒马铃薯的大面积生产提供科学依据。

## 2 试验设计与方法

试验采用二次通用旋转组合设计, 其数学模型为  $\hat{y} = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2$ 。试验选用密度、施氮量、施磷量和施钾量 4 个因素, 自变量设计水平和编码如表 1, 供试品种为克新 2 号脱毒薯。试验地上壤为河淤砂土, 有机质含量为 3.493%; 全氮 0.23%, 速效氮 293ppm; 全磷 0.1011%, 速效磷 103ppm; 全钾 2.564%, 速效钾 210ppm。试验共 31 个小区, 小区面积 15.6 平方米, 行长 6 米, 4 行区, 每行株数因密度不同而变化, 肥料随播种时一次施入。其它栽培管理措施同一般大田。

表 1 自变量因素水平及编码

| 因 素                    | 零水平  | 间 距  | y = 2 自变量设计水平及编码 |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------------------|------|------|------|------|
|                        |      |      | -2               | -1   | 0    | 1    | 2    |
| $x_1$ (密度 株/亩)         | 4000 | 1000 | 2000             | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| $x_2$ (N 公斤/亩)         | 6    | 3    | 0                | 3    | 6    | 9    | 12   |
| $x_3$ ( $P_2O_5$ 公斤/亩) | 5    | 2.5  | 0                | 2.5  | 5    | 7.5  | 10   |
| $x_4$ ( $K_2O$ 公斤/亩)   | 5    | 2.5  | 0                | 2.5  | 5    | 7.5  | 10   |

### 3 试验结果统计及模型确定

31 个小区的试验结果整理于表 2。根

表 2 试验设计结构矩阵及产量结果

| 小区号 | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | y(公斤/亩) |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1   | 1     | 1     | 1     | 1     | 3062.5  |
| 2   | 1     | 1     | 1     | -1    | 2419.65 |
| 3   | 1     | 1     | -1    | 1     | 2437.5  |
| 4   | 1     | 1     | -1    | -1    | 3178.57 |
| 5   | 1     | -1    | 1     | -1    | 2021.43 |
| 6   | 1     | -1    | 1     | -1    | 2031.25 |
| 7   | 1     | -1    | -1    | 1     | 2218.75 |
| 8   | 1     | -1    | -1    | -1    | 2209.82 |
| 9   | -1    | 1     | 1     | 1     | 2370    |
| 10  | -1    | 1     | 1     | -1    | 2750    |
| 11  | -1    | 1     | -1    | 1     | 1940    |
| 12  | -1    | 1     | -1    | -1    | 2580    |
| 13  | -1    | -1    | 1     | 1     | 2490    |
| 14  | -1    | -1    | 1     | -1    | 1740    |
| 15  | -1    | -1    | -1    | 1     | 1680    |
| 16  | -1    | -1    | -1    | -1    | 1740    |
| 17  | 2.00  | 0     | 0     | 0     | 2138.1  |
| 18  | -2.00 | 0     | 0     | 0     | 1885.57 |
| 19  | 0     | 2.00  | 0     | 0     | 2042.87 |
| 20  | 0     | -2.00 | 0     | 0     | 1542.86 |
| 21  | 0     | 0     | 2.00  | 0     | 2933.33 |
| 22  | 0     | 0     | -2.00 | 0     | 2766.67 |
| 23  | 0     | 0     | 0     | 2.00  | 1914.29 |
| 24  | 0     | 0     | 0     | -2.00 | 2166.66 |
| 25  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2035.72 |
| 26  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1966.67 |
| 27  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2035.72 |
| 28  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2366.67 |
| 29  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2500    |
| 30  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2300    |
| 31  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2266.67 |

据表 2 的结果, 经运算得到本试验马铃薯产量与各因素的回归方程:

$$\hat{y} = 2210.2090 + 116.4387x_1 + 233.6246x_2 + 51.3962x_3 - 38.9104x_4 + 39.1856x_1x_2 - 119.9882x_1x_3 + 14.4306x_1x_4$$

$$+ 1.9981x_2x_3 - 112.9581x_2x_4 + 152.1981x_3x_4 - 27.8355x_1^2 - 82.5779x_2^2 + 181.7058x_3^2 - 20.6753x_4^2$$

对该回归方程进行显著性检验,  $F = 4.52 > F_{0.01}(F_{0.01} = 3.45)$  达到极显著水准。说明该方程可以反映产量与各因素间的相互关系, 利用该方程可以进行产量预报。

### 4 模型解析

#### 4.1 各因子主效应分析

单因子主效应是指在其它因子取零水平时, 该因子的作用程度。因在设计时已经过无量纲线性编码代换, 偏回归系数已经标准化, 因此根据回归系数绝对值的大小可直接判断出各因子的重要程度, 其符号指出了作用方向。从一次项看 4 个因素对产量影响的大小顺序为:  $x_2 > x_1 > x_3 > x_4$ ; 从二次项看, 其顺序是  $x_3 > x_2 > x_1 > x_4$ 。以上说明氮肥对产量的影响最大, 密度与磷肥次之, 钾肥最小, 因此可知, 在本试验限定条件下, 欲获得较高产量, 氮肥、密度和磷肥是需要重点控制的因素。

采用“降维法”, 固定 3 个因素在零水平, 看另一因素对产量的影响, 分别得到下列子模型:

$$\hat{y}_1 = 2210.209 + 116.4387x_1 - 27.8355x_1^2$$

$$\hat{y}_2 = 2210.209 + 233.6246x_2 - 82.5779x_2^2$$

$$\hat{y}_3 = 2210.209 + 51.3962x_3 + 181.7058x_3^2$$

$$\hat{y}_4 = 2210.209 - 38.9104x_4 - 20.6753x_4^2$$

对以上各式求导数得

$$y'_{x_1} = 116.4387 - 55.671x_1$$

$$y'_{x_2} = 233.6246 - 165.1558x_2$$

$$y'_{x_3} = 51.3962 + 363.4116x_3$$

$$y'_{x_4} = -38.9104x_4 - 41.3506x_4$$

依据上式, 可得出各因素在不同水平上对产量的增减速率, 整理于表 3。

表 3 各因素不同水平的边际产量

|       |         |         |       |        |        |      |         |      |
|-------|---------|---------|-------|--------|--------|------|---------|------|
| $x_1$ | -2      | -1      | -0.94 | 0      | 1      | 1.41 | 2       | 2.09 |
| $x_1$ | 227.78  | 172.11  |       | 116.44 | 60.77  |      | 5.1     | 0    |
| $x_2$ | 563.94  | 398.78  |       | 233.62 | 68.47  | 0    | -96.69  |      |
| $x_3$ | -675.43 | -312.02 |       | 51.4   | 414.81 |      | 778.22  |      |
| $x_4$ | 43.79   | 2.44    | 0     | -38.91 | -80.26 |      | -121.61 |      |

由表 3 看出, 在-2~1 水平增施氮肥、在-2~-1 水平增施钾肥均有增产效果, 且水平越低增产效果越显著。但当  $x_2$  超过 1.41 水平、 $x_4$  超过-0.94 水平时则开始减产, 并有水平越高减产越多的趋势。 $x_3$  在 0~2 水平时增加用量有增产效果, 且呈水平越高增产越大之趋势。 $x_1$  在-2~2 水平增加密度均有增产效果, 但当  $x_1$  超过 1 水平时, 则增产幅度锐减。

### 4.2 交互效应分析

各因子对产量的作用不是独立的, 而是存在着交互作用。本试验中两因子交互作用显著的有  $x_1x_3$ 、 $x_2x_4$  和  $x_3x_4$  三组, 固定其它两个因子为零水平, 得各组因子交互作用的联因关系式分别为:

$$\bar{\mu}_{013} = 116.4387x_1 + 51.3962x_3 - 119.9882x_1x_3 - 27.8355x_1^2 + 181.7058x_3^2$$

$$\bar{\mu}_{024} = 233.6246x_2 - 38.9104x_4 - 112.9581x_2x_4 - 82.5779x_2^2 - 20.6753x_4^2$$

$$\bar{\mu}_{034} = 51.3962x_3 - 38.9104x_4 + 152.1981x_3x_4 + 181.7058x_3^2 - 20.6753x_4^2$$

由上式计算各组因子交互作用对产量的影响, 其中表现增产的联因作用如表 4。

由表 4 可以看出, 适度的低密高磷或高密低磷、增施氮肥后配合施钾及增施磷肥后配合增钾都是夺取高产的必要条件。

表 4 三组因子对产量交互作用表现增产的联因作用

| $x_1x_3$   |    |            |    | $x_2x_4$   |   |            | $x_3x_4$ |    |    |
|------------|----|------------|----|------------|---|------------|----------|----|----|
| $x_1$ 所取水平 |    | $x_3$ 所取水平 |    | $x_2$ 所取水平 |   | $x_4$ 所取水平 |          |    |    |
| 0          | 1  | 2          | -2 | -1         | 1 | 2          | 0        | -1 | 0  |
| 1          | 2  | 0          |    | 1          | 2 | -2         | -1       | 0  |    |
| -1         | -2 | 1          | 2  |            |   | -2         |          | 1  |    |
| -1         |    | -2         |    |            |   | 1          | 2        | 1  | 2  |
|            |    |            |    |            |   | 1          |          | -1 | -0 |

## 5 农艺方案寻优

根据所建立的模型, 在-2< $x_i$ <2 区内, 取各变量的步长为 1, 以马铃薯产量高

于 2 500 公斤/亩为约束条件, 应用微机模拟寻优, 得到 29 套优化方案, 占设计总数的 4.6%, 其相应的农艺措施及主因子分布频率如表 5。

由表 5 看出, 亩产高于 2 500 公斤的综

表 5 亩产高于 2 500 公斤的综合农艺措施及主因子分布频率

| 编 码        | $x_1$ (密度)    |       | $x_2$ (N)     |       | $x_3$ ( $P_2O_5$ ) |       | $x_4$ ( $K_2O$ ) |       |
|------------|---------------|-------|---------------|-------|--------------------|-------|------------------|-------|
|            | 次数            | 频率    | 次数            | 频率    | 次数                 | 频率    | 次数               | 频率    |
| -2         | 1             | 3.44  | 0             | 0     | 5                  | 17.24 | 8                | 27.58 |
| -1         | 3             | 10.34 | 0             | 0     | 5                  | 17.24 | 6                | 20.68 |
| 0          | 4             | 13.79 | 2             | 6.89  | 17                 | 58.62 | 15               | 51.72 |
| 1          | 9             | 31.03 | 14            | 48.27 | 0                  | 0     | 0                | 0     |
| 2          | 12            | 41.37 | 13            | 44.82 | 2                  | 6.89  | 0                | 0     |
| $\bar{x}$  | 0.9655        |       | 1.3793        |       | -0.3793            |       | -0.7586          |       |
| $S\bar{x}$ | 0.2097        |       | 0.1135        |       | 0.1851             |       | 0.1592           |       |
| 95%置信区间    | 0.5545~1.3765 |       | 1.1568~1.6018 |       | -0.0165~0.7421     |       | -0.4466~-1.0706  |       |
| 农业措施       | 4554~5376     |       | 9.47~10.81    |       | 3.15~4.96          |       | 2.32~3.88        |       |

合农艺措施为密度 4554~5376 株/亩, 纯 N 9.47~10.81 公斤/亩,  $P_2O_5$  3.15~4.96 公斤/亩,  $K_2O$  2.32~3.88 公斤/亩。

## 6 小 结

根据四因素二次通用旋转组合设计的试验结果, 统计得出密度、氮肥、磷肥、钾肥与马铃薯产量之间的数学模型为:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 2210.209 + 116.4387x_1 + 233.6246x_2 \\ & + 51.3962x_3 - 38.9104x_4 + 39.1856x_1x_2 \\ & - 119.9882x_1x_3 + 14.4306x_1x_4 \\ & + 1.9981x_2x_3 - 112.9581x_2x_4 \\ & + 152.1981x_3x_4 - 27.8355x_1^2 \\ & - 82.5779x_2^2 + 181.7058x_3^2 - 20.6753x_4^2 \end{aligned}$$

试验结果表明, 四因素对产量作用不同, 氮肥作用最大, 密度和磷肥次之, 钾肥最小; 同时, 密度与磷肥、氮肥与钾肥、磷肥与钾肥对产量有明显的交互作用。

通过微机模拟寻优, 得到亩产高于 2500 公斤的优化组合方案 29 套。其相应的农艺措施为密度 4554~5376 株/亩、纯 N 9.47~10.81 公斤/亩、 $P_2O_5$  3.15~4.96 公斤/亩、 $K_2O$  2.32~3.88 公斤/亩。

## 参 考 文 献

- 1 徐中儒. 农业试验最优回归设计. 黑龙江科学技术出版社, 1988
- 2 谢智明等. 内蒙3号马铃薯综合农艺措施产量函数模型分析. 马铃薯杂志, 1991, 1: 11~17
- 3 杜守宇等. 马铃薯栽培综合农艺措施数学模型及优化方案的研究. 马铃薯杂志, 1991, 1: 25~30

## 1996 年《作物杂志》征订启事

《作物杂志》是中国作物学会主办的农作物综合性中级科技期刊。旨在传播作物科学知识, 报道最新成果、研究信息、丰产经验。辟有专家论谈、专题综述、遗传育种、品种信息、耕作栽培、种质资源、生物技术、贮藏加工、土肥植保、学会工作等栏目。读者对象为农业科研、教学、管理干部, 院校师生及基层农技推广人员。

双月刊, 16 开本, 40 页。每期定价 1.50 元。邮发代号: 82—220, 公开发行, 北京报刊发行局总发行, 全国各地邮局(所)均可订阅。