

# 马铃薯高产施肥措施研究

张永成<sup>1</sup>, 纳添仓<sup>1</sup>, 阮建平<sup>1</sup>, 孙海林<sup>1</sup>, 田 丰<sup>2</sup>, 刚存武<sup>2</sup>, 李瑜珍<sup>2</sup>, 康永堂<sup>3</sup>

(1. 青海省农科院作物所, 西宁 810016; 2. 青海大学; 3. 甘肃省天祝县马铃薯良种场)

**摘要:** 试验采用 311 改良饱和 D 设计方法, 对青海省新育成的青薯 2 号 (328) 品种进行了氮、磷、钾三大要素的施肥水平研究。其结果表明: 三种化肥对产量影响的大小程度依次排序为  $N > K > P$ 。经计算机模拟寻优, 获得了施肥的高产数学模型和最佳农艺措施组合方案。667m<sup>2</sup> 产量高于 2600 kg 的最优方案有 18 套, 最佳农艺措施是: 氮肥用量为 28.97~29.15 kg, 钾肥用量为 16.54~17.11 kg, 磷肥用量为 5.34~5.88 kg。

**关键词:** 马铃薯; 三要素; 311 饱和 D 设计; 优化方案

**中图分类号:** S532, S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0092 (2001) 05-0274-04

## 1 前言

青海省地处西北高原, 昼夜温差大, 气候清凉, 有着适于马铃薯生长发育的得天独厚的气候资源。为了使新培育的高淀粉马铃薯青薯 2 号 (328) 在生产中大面积推广应用, 使其发挥应的增产潜力, 特进行氮、磷、钾三大要素的施肥水平试验, 试图从中找出最佳组合方案, 为指导大田生产提供科学理论依据。

## 2 试验设计

以青薯 2 号 (328) 为试验材料, 采取 311 改良饱和 D 设计方法, 对 N、P、K 三大要素进行 7 水平试验, 其变量设计水平及编码值见表 1。

表 1 设计水平及编码

因素	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2	变化间距
N	0	4.688	8	16	24	27.312	32	8
P	0	2.344	4	8	12	13.656	16	4
K	0	3.576	6	12	18	20.484	24	6

对表 1 编码值列表实施, 共设 11 个小区, 小区面积为 21m<sup>2</sup>, 行长 6m, 行距 0.7m, 每行种

20 株, 每小区种 5 行, 共计 100 株。各小区肥料作为底肥一次性施入, 收获时以小区计产。

## 3 结果与分析

### 3.1 产量结果分析

对小区 N、P、K 化肥的用量按照 11 个处理的编码值相对应的施肥量进行组合排列实施, 同时将对应的产量结果列于表 2。

从表 2 可知, 第 4 处理的产量最高, 为 2834.8 kg, 施肥水平是: N 为 27.312 kg, P 为 2.344 kg, K 为 18 kg, 此方案可称为最优组合方案。

经对表 2 进行运算, 可获得一组三元二次方程组:

$$Y = 2630.58 + 85.39x_1 - 45.06x_2 + 68.77x_3 - 63.15x_1^2 - 100.3x_2^2 - 183.75x_3^2 - 75.05x_1x_2 - 14.66x_1x_3 - 119.99x_2x_3$$

### 3.2 主效因子分析

为了弄清各因素对产量的影响程度, 需对总方程进行分解运算及分析, 将某两个因素当作 0 看待, 不考虑时, 经运算, 得出单因素效应方程:

$$Y_1 = 2630.58 + 86.39x_1 - 63.15x_1^2$$

$$Y_2 = 2630.58 - 45.06x_2 - 100.30x_2^2$$

$$Y_3 = 2630.58 + 68.77x_3 - 183.75x_3^2$$

将各因素按编码值进行运算, 可得出相应的单因子效应值, 见表 3。

收稿日期: 2001-07-17

作者简介: 张永成 (1953-), 男, 青海省农科院作物所研究

表 2 施肥方案及产量结果 (kg/667m<sup>2</sup>)

处理号	编码值			自变量对应值			产量
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> (N)	Z <sub>2</sub> (P)	Z <sub>3</sub> (K)	
1	0	0	2	16	8	24	2167.8
2	0	0	-2	16	8	0	1667.5
3	-1.414	-1.414	1	4.688	2.344	18	2334.5
4	+1.414	-1.414	1	27.312	2.344	18	2834.8
5	-1.414	1.414	1	4.688	13.656	18	2167.8
6	+1.414	1.414	1	27.312	13.656	18	2067.7
7	2	0	-1	32	8	6	2601.3
8	-2	0	-1	0	8	6	2201.1
9	0	2	-1	16	16	6	2401.2
10	0	-2	-1	16	0	6	2101.5
11	0	0	0	16	8	12	2668.0

表 3 主效应因子分析

因素	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
Y <sub>1</sub>	2207.20	2383.58	2482.04	2630.58	2652.82	2625.06	2548.76
Y <sub>2</sub>	2319.50	2493.76	2575.34	2630.58	2485.22	2366.33	2139.26
Y <sub>3</sub>	1758.04	2165.95	2378.06	2630.58	2515.60	2360.43	2033.12

从表 3 可知, 三种化肥用量对马铃薯产量结果均有不同的影响, 但三者的总趋势是一致的, 随着取值水平的增高而产量在不断增高, 增至一定程度则有下降趋势。当 N 肥取值水平为 1 时, 产量最高, 为 2652.82 kg, 再随着取值水平的增高而产量有所下降, 当 P 肥和 K 肥取值水平为 0 时, 产量最高, 为 2630.58 kg, 再随着取值水平的增高而产

量有所下降。

### 3.3 交互效应分析

为了便于分析, 将三个因素按二维法分解, 当只考虑两个因素的效应时, 其获得的方程如下:

$$Y_{12} = 2630.58 + 85.39x_1 - 45.06x_2 - 63.15x_1^2 - 100.3x_2^2 - 75.05x_1x_2$$

$$Y_{13} = 2630.58 + 85.39x_1 + 68.77x_3 - 63.15x_1^2 - 183.75x_3^2 - 14.66x_1x_3$$

$$Y_{23} = 2630.58 - 45.06x_2 + 68.77x_3 - 100.3x_2^2 - 183.75x_3^2 - 119.99x_2x_3$$

对于这三个方程分别带入不同的水平进行分析, 不同施肥水平有着不同的产量结果, 根据其相应的值进行综合分析, 见表 4、5、6。

表 4 x<sub>1</sub> 与 x<sub>2</sub> 对产量 (Y) 的交互效应值

x <sub>2</sub> \ x <sub>1</sub>	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
-2	1595.92	1860.26	2020.86	2319.05	2491.84	2526.22	2537.88
-1.414	1858.13	2096.70	2239.09	2493.76	2622.12	2638.29	2624.18
-1	2001.86	2222.20	2351.75	2575.34	2672.63	2675.94	2643.62
0	2207.20	2383.58	2482.04	2630.58	2652.82	2625.06	2548.76
1	2211.94	2344.34	2411.73	2485.22	2432.41	2373.58	2253.30
1.414	2155.19	2269.38	2323.91	2366.33	2282.45	2210.75	2072.26
2	2016.08	2104.50	2140.82	2139.26	2011.40	1921.50	1757.24

由表 4 可知, x<sub>1</sub> 与 x<sub>2</sub> 对产量的影响为: 当把 x<sub>1</sub> 固定在一 2 水平时, 随着 x<sub>2</sub> 取值水平的增高, 产量在不断增高, x<sub>2</sub> 取值为 1 时产量最高, 为 2211.94 kg, 再随着 x<sub>2</sub> 取值水平的增高而产量有所下降, 当把 x<sub>1</sub> 固定在一 1.414 和 -1 和 0 水平时, 随着 x<sub>2</sub> 取值水平的增高而产量在逐步增高, 当 x<sub>2</sub> 取值为 0 水平时, 产量最高, 分别为 2838.58

kg、2482.04 kg 和 2630.58 kg, 再随着 x<sub>2</sub> 取值水平的增高则产量有所下降; 当把 x<sub>1</sub> 固定在 1~2 水平时, 随着取值水平的增高而产量在增加, 增至一 1 水平时产量最高, 分别为 2672.63 kg、2675.94 kg 和 2643.62 kg, 再随着 x<sub>2</sub> 取值水平的增高而产量有所下降。

另外, 当把 x<sub>2</sub> 固定在一 2 水平时, 产量随着

取值水平的增高而增高; 当把  $x_2$  固定在一 1.414 和 -1 水平时, 随着  $x_1$  的取值水平的增高而产量在逐步增高, 当  $x_2$  取值为 1.414 时产量最高, 分别为 2638.29 kg 和 2675.94 kg, 若  $x_1$  取值为 2 时产量有所下降; 当把  $x_2$  固定在 0 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 当  $x_1$  取值至 1 水平时产量最高, 为 2652.82 kg, 再随着取值水平的增高而产量下降, 当把  $x_2$  固定在 1 和 1.414 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量在逐步增

高, 增至 0 水平时产量最高, 分别为 24855.22 kg 和 2366.33 kg, 再随取值水平的增高而产量有所下降, 当把  $x_2$  固定在 2 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 增至 -1 时产量最高, 为 2140.82 kg, 再随着  $x_1$  取值水平的增高而产量逐步下降。二者作用的最优组合为  $x_1$  取值 1.414 (N 肥用量为 27.312 kg/667m<sup>2</sup>),  $x_2$  取值为 -1 时 (P 肥用量为 4 kg/667m<sup>2</sup>) 产量最高, 为 2675.94 kg。

表 5  $x_1$  与  $x_3$  对产量 (Y) 的交互效应值

$x_3 \backslash x_2$	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
-2	1276.02	1469.58	1580.18	1758.04	1809.60	1793.98	1734.86
-1.414	1701.11	1889.63	1996.68	2165.95	2208.92	2189.74	2125.59
-1	1925.36	2110.33	2214.86	2378.06	2414.96	2393.27	2325.56
0	2207.20	2383.58	2482.04	2630.58	2652.82	2625.06	2548.76
1	2121.54	2289.33	2381.12	2515.18	2523.18	2489.35	2404.46
1.414	1978.51	2142.74	2232.62	2360.43	2361.84	2325.60	2237.15
2	1668.38	1827.59	1913.90	2033.12	2026.04	1986.14	1892.66

由表 5 可知,  $x_1$  与  $x_3$  的交互作用为: 当把  $x_1$  固定在任意水平时, 随着  $x_3$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 增至 0 水平时产量最高, 随后取值水平越高产量越低, 因此  $x_3$  取值为 0 时增产效果最好, 而且无论  $x_1$  取值于任何水平, 其产量表现趋势均一致, 产量表现最高的是  $x_1$  的值为 1 时,  $x_3$  取值为 0 时的结果, 为 2652.82 kg。

当把  $x_3$  固定在一 2 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量逐步增高, 增到 1.414 时产量最高, 为 1793.98 kg, 若取值水平再增至 2 时, 则产量下降, 表现为 1734.86 kg, 当把  $x_3$  固定在一 1.414 和 -1 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量逐步增高, 当  $x_1$  取值为 1 水平时产量最高, 分别为

2208.92 kg 和 2414.96 kg, 当把  $x_3$  固定在 0 水平时, 随着  $x_1$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 增至 1 水平时产量最高, 为 2652.82 kg, 随着  $x_1$  取值水平越高产量越低, 当把  $x_3$  固定在 1 水平和 1.414 水平时, 其产量结果表现与固定在 0 水平时相同, 当把  $x_3$  固定在 2 水平时,  $x_1$  取值为 0 时产量最高, 为 2033.2 kg, 再随着  $x_1$  取值水平的增高而产量逐步下降。

由表 6 可知,  $x_2$  与  $x_3$  对产量的影响为: 当把  $x_2$  固定在一 2、-1.414 和 -1 水平时, 产量变化趋势一致, 随  $x_3$  取值水平的增高而产量增高, 增至 1 时, 产量最高, 分别为 2444.5 kg、2548.44 kg 和 2580.35 kg, 再随着取值水平的增高而产量

表 6  $x_2^2$  与  $x_3^3$  对产量 (Y) 的交互效应值

$x_3 \backslash x_2$	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
-2	967.00	1281.88	1462.82	1758.04	1852.66	1833.12	1746.68
-1.414	1515.54	1789.22	1941.04	2165.95	2190.26	2141.60	2013.96
-1	1827.00	2071.57	2202.83	2378.06	2352.69	2283.47	2126.72
0	2319.50	2493.76	2575.34	2630.58	2485.22	2366.33	2139.26
1	2444.50	2548.44	2580.35	2515.60	2250.25	2081.68	1784.30
1.414	2388.68	2463.51	2474.86	2360.43	2045.41	1856.27	1529.78
2	2202.00	2235.63	2217.86	2033.12	1647.78	1429.53	1061.84

有所下降, 当把  $x_2$  固定在 -2 水平时, 随着  $x_3$  取值水平的增高, 产量在逐步增高, 增至 0 水平时均表现高产, 分别为 2630.58 kg、2485.22 kg 和 2316.33 kg, 再随着取值水平的增高而产量下降。

另外, 当把  $x_3$  固定在 -2 和 -1.414 水平, 随着  $x_2$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 增至 1 水平时产量最高, 分别为 1852.66 kg 和 2190.26 kg, 再随着取值水平的增高而产量下降, 当把  $x_3$  固定在 -1 和 0 水平时, 产量变化随  $x_2$  取值水平的变化而呈抛物线形式, 由低到高再到低的变化,  $x_2$  取值为 0 水平时产量最高, 分别为 2378.06 kg 和 2630.58 kg, 当把  $x_3$  固定在 1 和 1.414 水平时, 随  $x_2$  取值水平的增高而产量在逐步增高, 增至 -1 水平时产量最高, 分别为 2580.35 kg 和 2474.86 kg, 再随着  $x_2$  取值水平的增高而产量在下降; 当把  $x_3$  固定在 2 水平时,  $x_2$  取值 -1.414 水平时产量最高, 为 2235.63 kg, 再随着  $x_2$  取值水平的增高产量在逐步下降。 $x_2$  与  $x_3$  共同作用时, 产量表现最高的是 2630.58 kg, 二者取值水平都在 0 水平, 即 P 肥用 8 kg, K 肥用 12 kg, 效果最好。

### 3.4 农艺措施的优选

通过计算机模拟寻优, 可选择出  $667\text{m}^2$  产量在 2600 kg 以上的优良组合 18 套 (见表 7)。

由表 7 可知, N、P、K 对产量的作用各不相同, 其作用大小依次排序为  $N > K > P$ 。N 肥主要分布在 0~2 范围内, P 肥分布在 -2~0 水平内,

K 肥分布在 0~1 水平内的产量最高, 增产效果好。最佳农艺措施为: N 肥 28.97~29.15 kg, P 肥 5.34~5.88 kg, K 肥 16.54~17.11 kg, 这样的施肥水平可以达到 2600 kg 以上的高产水平。

表 7 最优组合频数分布

编码	$x_1$		$x_2$		$x_3$	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-2			3	0.167		
-1.414			6	0.333		
-1			4	0.222		
0	1	0.056	5	0.278	9	0.5
1	6	0.333			9	0.5
1.414	6	0.333				
2	5	0.278				
总和	18	1	18	1	18	1
平均值	1.3603		-1.0269		0.5	
标准差	0.5254		0.7282		0.5145	
标准误差	0.1238		0.1716		0.1213	
95%置信区域	1.6215~1.7191		-0.6648~-0.5296		0.7559~0.8515	
农艺措施	28.972~29.753		5.340~5.8816		16.5354~17.109	

## 3 结 论

应用 311 改良饱和 D 设计方法研究马铃薯施肥水平, 这种方法试验设计水平达到 7 个, 但试验处理数仅有 11 个, 经模拟寻优, 获得的信息量大, 可获得 343 个不同组合的产量结果, 等于把 11 个处理扩展为 343, 同时从中选优, 选择产量水平较高的组合方案并加以应用, 可起到理论与实践相结合, 并指导大田生产的作用。

## STUDY OF THE APPLICATION OF FERTILIZERS FOR HIGH POTATO TUBER YIELD

ZHANG Yong-cheng<sup>1</sup>, NA Tian-cang<sup>1</sup>, RUAN Jiang-ping<sup>1</sup>, SU Hai-lin<sup>1</sup>

TIAN Feng<sup>2</sup>, GANG Cun-wu<sup>2</sup>, LI Yu-zhen<sup>2</sup>, KANG Yong-tang<sup>3</sup>

(1. Agricultural Academy of Qinghai, Xining 810016; 2. Qinghai University, Xining;

3. Tianzhu County foundation seed farm of potato of Gansu)

**ABSTRACT:** Using 311 D saturation design, effects of levels of nitrogen ( $x_1$ ) phosphorus ( $x_2$ ) and potassium ( $x_3$ ) on getting high tuber yield of the potato cultivar Qingshu<sup>2</sup> were studied. The results showed that the importance of fertilizer for potato tuber yield was  $N > P > K$ . High yield mathematical model and agronomic measure for getting a potato yield of 2600 kg/ $667\text{m}^2$  or more were obtained by computer simulation. The best agronomy measure was N: 28.97~29.15 kg, P: 5.34~5.88 kg, K: 6.54~17.11 kg.

**KEY WORDS:** potato; level of N, P, K; 311 D saturation design; excellent plan.