

## 马铃薯新品种昭薯6号高产栽培的数学模型研究

胡祚, 普春, 张清风, 杨健康, 赵浩, 李周, 宋维际\* (昭通市农业科学院, 云南昭通 657000)

**摘要** 为探寻马铃薯新品种“昭薯6号”高产栽培技术, 采用四因素五水平二次回归正交旋转组合设计, 每个因子设5个水平, 对影响昭薯6号高产的主要栽培因子进行研究。结果表明: 各试验因子对产量的影响作用依次为栽培密度>施氮水平>施钾水平>施磷水平。提高栽培密度和合理施用氮磷肥是获得高产的技术关键。通过计算机模拟寻优, 提出昭薯6号产量在52 500 kg/hm<sup>2</sup>以上的栽培技术措施: 栽培密度69 000~73 500 塘/hm<sup>2</sup>, 氮磷钾施用量分别为纯N 240.0~285.0 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 123.0~144.0 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 408.0~432.0 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 马铃薯新品种; 昭薯6号; 高产栽培; 数学模型

中图分类号 S11 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)06-0003-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.06.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Reaserach on Mathematical Model of High Yield Cultivation for New Potato Variety Zhaoshu No.6

HU Zuo, PU Chun, ZHANG Qing-feng et al (Zhaotong Academy of Agricultural Sciences, Zhaotong, Yunnan 657000)

**Abstract** In order to explore the high-yield cultivation technology of the new potato variety Zhaoshu No.6, the quadric regression orthogonal rotation combination design of four factors and five levels was adopted, and five levels were set for each factor. The results showed that the effect of each experimental factor on the yield was in the order of nitrogen application level of cultivation density > nitrogen application level potassium application level > phosphorus application level. Increasing cultivation density and applying nitrogen and phosphate fertilizer rationally were the key technologies to obtain high yield. Through computer simulation and optimization, the cultivation technical measures for the yield of Zhaoshu No.6 above 52 500 kg/hm<sup>2</sup> were proposed: cultivation density 69 000~73 500 pond /hm<sup>2</sup>, pure N 240.0~285.0 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 123.0~144.0 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 408.0~432.0 kg/hm<sup>2</sup>, respectively.

**Key words** New potato variety; Zhaoshu No.6; High yield cultivation; Mathematical model

昭薯6号是昭通市农业科学院2011年从云南师范大学马铃薯研究所引进的父本为Chiquita、母本为104.12LB的杂交实生籽后代中编号为M990009的实生籽群, 从该群中经多代单株选择后编号zt016, 2017年暂定名昭薯6号。该品种株高75~85 cm, 株型直立, 茎绿色, 分枝一般。复叶较大, 小叶绿色, 茸毛少, 4对侧小叶。大春季生育期100 d左右。花冠白色, 花药橙黄色, 雌蕊柱头3裂, 能天然结实。块茎扁圆或扁椭圆形, 芽眼浅, 表皮光滑。薯块大而均匀, 皮肉均为黄色。匍匐茎短, 结薯集中, 单株结薯5~9个。块茎休眠期中等, 大春薯收获后80~90 d即可通过休眠, 较耐贮藏。食用品质好, 块茎干物质含量为22.3%, 淀粉15.3%, 粗蛋白质1.82%, V<sub>C</sub> 2.8 mg/100 g鲜薯, 还原糖0.35%。该品种抗卷叶病毒和Y病毒病, 较抗X病毒, 晚疫病抗性一般。2015年、2016年在昭阳区的靖安乡、鲁甸县的新街乡栽培可产鲜薯52.5 t/hm<sup>2</sup>, 高产的可达60.0 t/hm<sup>2</sup>。比当地黄肉品种如威芋3号增产15.0 t/hm<sup>2</sup>以上, 增产幅度达30%以上, 是一个具有推广前景的鲜食品种。为探索该品种的高产栽培配套技术, 对影响马铃薯产量的各项可控栽培因子进行综合分析, 选择栽培密度、施氮肥、施磷肥和施钾肥水平等作为试验因子, 研究高产条件下各因子的变化范围, 初步提出昭通市高海拔地区净作条件下, 昭薯6号高产栽培的各项可控因子的定量化指标范围, 为指导大田生产提供理论依据, 同时也为省内同类地区马铃薯高产栽培提供借鉴。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 永善县茂林镇永安村火地沟, 海拔2 470 m, 棕壤土类灰泡土, 坡度5°, 土壤疏松, 前作马铃薯。2016年11月用拖拉机深翻一次, 播种前用旋耕机打细耙平2次。土壤主要理化指标为: pH 4.8, 有机质70.5~70.8 g/kg, 有效氮90.0~90.2 mg/kg, 速效磷4.2 mg/kg, 速效钾102.0 mg/kg。

**1.2 试验材料** 昭薯6号, 为6年自留种。农家肥, 化学肥料为尿素(N 46.4%)、普通过磷酸钙(16%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、硫酸钾(50%K<sub>2</sub>O)。

**1.3 试验设计** 设置栽培密度(X<sub>1</sub>)、肥料施用量纯N(X<sub>2</sub>)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(X<sub>3</sub>)和K<sub>2</sub>O(X<sub>4</sub>)4个因素, 采用四因素五水平二次回归正交旋转组合设计, 每个因子设5个水平(表1)<sup>[1]</sup>, 具体试验设计见表1。小区面积21.6 m<sup>2</sup>(长6.0 m, 宽3.6 m), 小区及重复间均留50 cm宽走道。每个区组12个小区, 共36个小区。

表1 昭薯6号高产栽培试验因子与水平编码

Table 1 Experimental factors and level coding of high yield cultivation for Zhaoshu No.6

因子水平 Level	栽培密度 Planting density (X <sub>1</sub> ) // 塘/hm <sup>2</sup>	N(X <sub>2</sub> ) kg/hm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (X <sub>3</sub> ) kg/hm <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O(X <sub>4</sub> ) kg/hm <sup>2</sup>
-2	45 000	0	37.5	0
-1	52 500	75.0	75.0	112.5
0	60 000	150.0	112.5	225.0
1	67 500	225.0	150.0	337.5
2	75 000	300.0	187.5	450.0

试验区四周1 m为保护行。随机区组排列, 中心试验点均匀分布在区组中。重复间和小区间将走道起成沟, 50 cm

**基金项目** 2016年度“三区”人才支持计划项目。

**作者简介** 胡祚(1980—), 男, 云南镇雄人, 高级农艺师, 从事马铃薯育种栽培工作。\*通信作者, 农业推广研究员, 从事马铃薯栽培和病虫害防治工作。

**收稿日期** 2018-10-15

(宽)×20 cm(深),以防雨季高肥区肥料浸入低肥区。

**1.4 试验方法** 2017年2月24日播种。双行平播起垄栽培,每小区播种3个双行。施优质腐熟精细农家肥22.5 t/hm<sup>2</sup>。化学肥料和农家肥作底肥一次性施入。

**1.5 种薯处理** 切刀用75%乙醇消毒。100 mL高巧(60%吡虫啉)+100 mL银法利+水3 kg喷种薯块150 kg。

**1.6 田间管理** 80%苗高达10cm时进行第1次薅草。80%苗高20 cm时进行第2次薅草,并培土10 cm。分别在苗齐期、现蕾期、盛花期、花谢后共4次喷施农药防治晚疫病,前2

次用变蓝-霜脲氰(1 000倍)<sup>[2]</sup>,后2次用银法利(7.5 mL/处理)+安泰生1 000倍液(3.24 kg/处理)<sup>[3]</sup>。

**1.7 生育期及收获** 出苗期为4月8日,生理成熟期为7月19日,生育期104 d。7月26日收获,各小区收获中间4个单行计产。

## 2 结果与分析

**2.1 栽培密度及氮磷钾施用量与昭薯6号产量的回归模型** 采用DPS 7.5数据处理系统对各处理产量(表2.3)模拟优化,得到昭薯6号产量与栽培密度、氮磷钾施用量之间关

表2 昭薯6号高产栽培试验各处理因子

Table 2 various treatment factors of high yield cultivation experiment for Zhaoshu No.6

处理 Treatment	栽培密度 Planting density		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	编码	水平 塘/hm <sup>2</sup>	编码	用量 kg/hm <sup>2</sup>	编码	用量 kg/hm <sup>2</sup>	编码	用量 kg/hm <sup>2</sup>
1	1	67 500	1	225.0	1	150.0	1	337.5
2	1	67 500	1	225.0	1	150.0	-1	112.5
3	1	67 500	1	225.0	-1	75.0	1	337.5
4	1	67 500	1	225.0	-1	75.0	-1	112.5
5	1	67 500	-1	75.0	1	150.0	1	337.5
6	1	67 500	-1	75.0	1	150.0	-1	112.5
7	1	67 500	-1	75.0	-1	75.0	1	337.5
8	1	67 500	-1	75.0	-1	75.0	-1	112.5
9	-1	52 500	1	225.0	1	150.0	1	337.5
10	-1	52 500	1	225.0	1	150.0	-1	112.5
11	-1	52 500	1	225.0	-1	75.0	1	337.5
12	-1	52 500	1	225.0	-1	75.0	-1	112.5
13	-1	52 500	-1	75.0	1	150.0	1	337.5
14	-1	52 500	-1	75.0	1	150.0	-1	112.5
15	-1	52 500	-1	75.0	-1	75.0	1	337.5
16	-1	52 500	-1	75.0	-1	75.0	-1	112.5
17	-2	45 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
18	2	75 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
19	0	60 000	2	300.0	0	112.5	0	225.0
20	0	60 000	-2	0	0	112.5	0	225.0
21	0	60 000	0	150.0	2	187.5	0	225.0
22	0	60 000	0	150.0	-2	37.5	0	225.0
23	0	60 000	0	150.0	0	112.5	2	450.0
24	0	60 000	0	150.0	0	112.5	-2	0
25	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
26	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
27	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
28	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
29	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
30	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
31	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
32	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
33	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
34	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
35	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0
36	0	60 000	0	150.0	0	112.5	0	225.0

系的回归数学模型<sup>[4]</sup>:

$$\hat{y} = 33\ 634.5 + 3\ 148.5X_1 + 3\ 819.0X_2 + 1\ 599.0X_3 + 1\ 941.0X_4 + 393.0X_1^2 - 1\ 401.0X_2^2 - 1\ 035.0X_3^2 - 708.0X_4^2 + 2\ 040.0X_1X_2 + 348.0X_1X_3 + 615.0X_1X_4 + 472.5X_2X_3 + 1\ 617.0X_2X_4 + 625.5X_3X_4 + \delta$$

从残差图和线性回归图可清晰看出以上回归系数。通

过正交旋转回归分析和线性回归分析可知,复决定系数  $R^2 = 0.76^{**}$ ,经方差分析,  $F_1(0.93) < F_{0.05}(2.20)$ ,无失拟因素存在。  $F_2(6.68^{**}) > F_{0.01}(3.07)$ ,说明该二次回归模型高度显著。试验数据与已采用的数学模型基本吻合的,可用于效应分析和模拟寻优<sup>[5-6]</sup>。

表 3 昭薯 6 号高产栽培试验各处理产量

Table 3 Different treatments' yield of high yield cultivation experiment for Zhaoshu No.6

处理 Treatment	产量( $\hat{y}$ ) Yield//kg/hm <sup>2</sup>	处理 Treatment	产量( $\hat{y}$ ) Yield//kg/hm <sup>2</sup>
1	51 562.5	19	33 565.5
2	36 574.5	20	22 917.0
3	42 573.0	21	31 249.5
4	32 407.5	22	28 164.0
5	30 324.0	23	34 249.5
6	28 356.0	24	27 778.5
7	23 778.0	25	29 862.0
8	29 167.5	26	31 944.0
9	32 407.5	27	28 935.0
10	30 093.0	28	31 249.5
11	29 031.0	29	35 880.0
12	26 749.5	30	32 292.0
13	27 778.5	31	40 278.0
14	25 231.5	32	38 542.5
15	25 584.0	33	35 440.5
16	20 833.5	34	33 495.0
17	29 167.5	35	33 171.0
18	41 667.0	36	32 523.0

## 2.2 效应分析

**2.2.1 主因子效应。**通过主成分分析可判断因子的重要程度<sup>[7]</sup>。从表 4 主成分分析特征值看,对产量的影响程度为栽培密度>施氮水平=施钾水平=施磷水平。从表 5 可以看出,4 项农艺措施对产量的影响大小顺序为施氮水平>栽培密度>施钾水平>施磷水平。可见在昭通市该类型地区目前昭薯 6 号生产中,提高栽培密度、平衡氮钾磷施肥是获得高产的技术关键。

**2.2.2 各因子的产量效应。**通过降维法即固定 4 个因子中的 3 个因子水平(取零),得到另外 1 个因子与产量的关系<sup>[8]</sup>,分别为:

表 4 主成分分析

Table 4 Principal component analysis

处理因子 Treatment factors	特征值 Eigenvalue	百分率 Percentage %	累计百分率 Cumulative percentage//%
密度 Density	1.788 8	35.776 3	35.776 3
纯 N Pure N	1.000 0	20.000 0	55.776 3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.000 0	20.000 0	75.776 3
K <sub>2</sub> O	1.000 0	20.000 0	95.776 3

表 5 线性回归通径分析

Table 5 Path coefficient analysis of linear regression

处理因子 Treatment factors	直接通径系数 Direct effect of path coefficient	间接通径系数 Indirect effect of path coefficient			
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
X <sub>1</sub>	0.472 3		0.000 0	0.000 0	0.000 0
X <sub>2</sub>	0.527 7	0.000 0		0.000 0	0.000 0
X <sub>3</sub>	0.221 0	0.000 0	0.000 0		0.000 0
X <sub>4</sub>	0.268 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	

$$\hat{y}_1 = 33\ 634.5 + 3\ 418.5X_1 + 393.0X_1^2$$

$$\hat{y}_2 = 33\ 634.5 + 3\ 819.0X_2 - 1\ 401.0X_2^2$$

$$\hat{y}_3 = 33\ 634.5 + 1\ 599.0X_3 - 1\ 035.0X_3^2$$

$$\hat{y}_4 = 33\ 634.5 + 1\ 941.0X_4 - 708.0X_4^2$$

从表 6 和单因子效应分析图(图 1)看出,在该次设计范围内,施氮水平、施磷水平与产量的关系呈开口向下的二次抛物线相关,施氮水平在取值为 1.5 时,产量取得最大值;施磷水平在取值为 1.0 时,产量取得最大值。密度水平和施钾水平在该次试验设计范围内与产量呈直线正相关,在设计范围内还未现拐点。说明,在目前的基础上要获得高产还需进一步提高密度和增施钾肥。

表 6 昭薯 6 号高产栽培试验各因子在不同水平的产量

Table 6 Yield of Zhaoshu No.6 at different level of high yield experiment

试验因子 Testing factor	因子水平 Level					平均数 Average
	-2	-1	0	1	2	
密度 Density	28 369.5	30 435.0	33 634.5	37 728.0	42 042.0	34 192.5
纯 N	20 394.0	27 967.5	33 634.5	36 114.0	35 667.0	31 642.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26 298.0	30 751.5	33 634.5	34 162.5	32 694.0	32 163.0
K <sub>2</sub> O	26 922.0	30 759.0	33 634.5	34 683.0	34 899.0	32 628.0

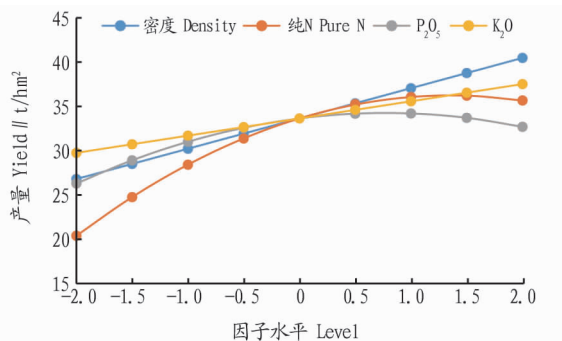


图 1 单因子效应

Fig.1 Single factor effect

**2.2.3 各因子的交互效应。**从试验建立的回归模型可知,达

到一定显著水平的交互项有  $X_2X_4$  和  $X_3X_4$ , 其中,  $X_2X_4$  为正效应,  $X_3X_4$  为负效应。说明,在提高钾肥施用量的同时,增施氮肥有利于获得高产;施用磷肥达到相应的量以后,对钾肥的施用有一定的抑制作用。采用降维法得到  $X_2X_4$  和  $X_3X_4$  二交互项对产量的影响因子模型<sup>[9]</sup>:

$$\hat{y}_5 = 33\ 634.5 + 3\ 819.0X_2 + 1\ 941.0X_4 - 1\ 401.0X_2^2 - 708.0X_4^2 + 2\ 040.0X_1X_2 + 615.0X_4 + 472.5X_2X_3 + 1\ 617.0X_2X_4 + 625.5X_3X_4$$

$$\hat{y}_6 = 33\ 634.5 + 1\ 599.0X_3 + 1\ 941.0X_4 - 1\ 035.0X_3^2 - 708.0X_4^2 + 348.0X_1X_3 + 615.0X_4 + 472.5X_2X_3 + 1\ 617.0X_2X_4 + 625.5X_3X_4$$

**2.2.3.1 氮肥用量与钾肥用量的交互效应。**从表 7 可以看

出,当氮肥用量在1~2水平时,钾肥施用效果较好,可获高产;当氮肥用量在较低水平时,钾肥施用效果不明显。

表7 昭薯6号氮肥与钾肥交互作用的产量

Table 7 Yield of Zhaoshu No.6 interaction with nitrogen fertilizer and potassium fertilizer

施钾水平 Potassium level	施氮水平 Nitrogen level					标准差 Standard deviation	平均数 Average
	-2	-1	0	1	2		
-2	22 981.5	21 687.0	20 394.0	19 099.5	17 805.0	2 045.85	20 394.0
-1	27 768.0	28 092.0	28 414.5	28 738.5	29 061.0	511.05	28 414.5
0	29 754.0	31 693.5	33 634.5	35 574.0	37 515.0	3 067.95	33 634.5
1	28 936.5	32 494.5	36 052.5	39 609.0	43 167.0	5 624.7	36 052.5
2	25 318.5	30 492.0	35 667.0	40 842.0	46 015.5	8 181.6	35 667.0
标准差 Standard deviation	2 779.20	4 357.20	6 581.85	8 985.15	11 455.05	-	-
平均数 Average	26 952.0	28 891.5	30 832.5	32 772.0	34 713.0	-	-

2.2.3.2 磷肥用量与钾肥用量的交互效应。从表8可以看出,磷肥用量在1~2水平时,钾肥用量控制2水平或2水平以上,可获得高产,说明磷高钾的组合能促进高产。

表8 昭薯6号磷肥与钾肥用量交互作用的产量

Table 8 Yield of Zhaoshu No.6 interaction with phosphate fertilizer and potassium fertilizer

施钾水平 Potassium level	施磷水平 Phosphate level					标准差 Standard deviation	平均数 Average
	-2	-1	0	1	2		
-2	22 417.5	24 357.0	30 178.5	28 237.5	26 298.0	3 067.8	26 298.0
-1	27 120.0	29 061.0	34 881.0	32 941.5	31 000.5	3 067.8	31 000.5
0	29 754.0	31 693.5	33 634.5	35 574.0	36 058.5	2 647.5	33 343.5
1	30 318.0	32 259.0	34 198.5	38 079.0	34 633.5	3 313.5	33 714.0
2	28 813.5	30 753.0	32 694.0	36 574.5	37 515.0	3 313.7	32 209.5
标准差 Standard deviation	3 184.1	3 184.3	1 827.7	3 862.5	4 881.3	-	-
平均数 Average	27 684.6	29 624.7	31 119.0	34 281.3	33 117.3	-	-

2.3 模拟寻优 采用试验结果建立的数学模型进行田间试验模拟,当各变量在-2~2之间取值时(步长=0.5),得到单产高于37 500 kg/hm<sup>2</sup>以上的组合有1 171套农艺措施组合及产量结果,同时得到最优的各因子水平编码值。在1 171套组合方案中产量高于52 500 kg/hm<sup>2</sup>的有123套,占10.33%;在45 000~52 500 kg/hm<sup>2</sup>的有319套,占27.24%;在37 500~

45 000 kg/hm<sup>2</sup>的有731套,占62.43%。

从表9可以看出,根据昭通市高海拔地区的马铃薯生产实际,选择昭薯6号产量在37 500 kg/hm<sup>2</sup>以上的区段分析统计,得出栽培密度及氮磷钾施肥量的适宜组合方案,各地可依据具体的期望值、海拔、地力、投入及栽培管理水平等因素选择使用。

表9 昭薯6号高产优化组合方案

Table 9 High yield optimized combination scheme for Zhaoshu No.6

产量水平 Yield kg/hm <sup>2</sup>	变量取值区间 Value intervals of variable	密度 Density 塘/hm <sup>2</sup>	N kg/hm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>
37 500~45 000	95%置信限	1.00±0.27	1.00±0.41	0.33±0.10	0.99±0.12
	农艺措施	67 500±1 995	225.00±31.05	124.95±3.75	336.00±13.35
<45 000~52 500	95%置信限	1.40±0.27	1.20±0.51	0.44±0.25	1.49±0.12
	农艺措施	70 500±2 025	240.00±37.95	129.00±9.30	393.00±13.50
>52 500	95%置信限	1.50±0.30	1.50±0.30	0.53±0.31	1.73±0.11
	农艺措施	71 250±2 250	262.50±22.50	132.45±11.70	420.00±12.45

在昭通高海拔地区的一般肥力地块上栽培马铃薯,净作条件下,昭薯6号这类株形中等、生育期100 d左右的品种,要获得52 500 kg/hm<sup>2</sup>以上的产量,应采用双行起垄,施用农家肥,栽培密度控制在69 000~73 500塘/hm<sup>2</sup>,氮磷钾施用量分别为纯N 240.0~285.0 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 123.0~144.0 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 408.0~432.0 kg/hm<sup>2</sup>。

优化模型:设定昭薯6号单价1.2元/kg、纯N(按46.4%

尿素计算)4.31元/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(按16%普钙)5.0元/kg、K<sub>2</sub>O(按50%硫酸钾)7.25元/kg,其经济效益的回归模型为:

$$\hat{y}_{\text{优}} = (33\ 634.5 + 3\ 418.5X_1 + 3\ 819.0X_2 + 1\ 599.0X_3 + 1\ 941.0X_4 + 393.0X_1^2 - 1\ 401.0X_2^2 - 1\ 035.0X_3^2 - 708.0X_4^2 + 2\ 040.0X_1X_2 + 348.0X_1X_3 + 615.0X_1X_4 + 472.5X_2X_3 + 1\ 617.0X_2X_4 + 625.5X_3X_4) \times 18.0 - 64.65X_2 - 75.0X_3 - 108.0X_4$$

这里相关系数  $R=0.903\ 658$ ,  $F$  值 = 6.678 8, 显著水平  $P=0.000\ 1$ , 因此该模型可以应用。Durbin-Watson 统计量  $d=1.991\ 471\ 64$ , 与 2 非常接近, 说明残差服从正态分布, 模型不存在自相关, 解释能力不受影响<sup>[10]</sup>。

最高指标(67 054.5 kg/hm<sup>2</sup>)时各个因素的组是密度 75 000 塘/hm<sup>2</sup>、纯 N 300.0 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 187.5 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 450.0 kg/hm<sup>2</sup>, 产值为 80 466.0 元/hm<sup>2</sup>, 经济效益为 79 971.0 元/hm<sup>2</sup>。

### 3 讨论

(1) 试验建立了昭薯 6 号产量与栽培密度、氮、磷、钾施用量之间关系的优化数学模型:

$$\hat{y}=33\ 634.5+3\ 418.5X_1+3\ 819.0X_2+1\ 599.0X_3+1\ 941.0X_4+393.0X_1^2-1\ 401.0X_2^2-1\ 035.0X_3^2-708.0X_4^2+2\ 040.0X_1X_2+348.0X_1X_3+615.0X_4+472.5X_2X_3+1\ 617.0X_2X_4+625.5X_3X_4\pm\delta$$

经  $F$  值测验, 模型的拟合性较好。对模型进行解析可知, 在影响马铃薯高产栽培的各项因子中, 起主导作用的各项因子的排列顺序是栽培密度 > 施氮水平 > 施钾水平 > 施磷水平。

(2) 根据模型拟优化和频率分析, 获得昭通市高海拔地区马铃薯新品种“昭薯 6 号”高产的主要农艺措施方案如下:

产量 37 500~45 000 kg/hm<sup>2</sup> 的模式: 栽培密度 65 505~69 495 塘/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾施用量分别为纯 N 193.5~256.5 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120.0~129.0 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 322.5~349.5 kg/hm<sup>2</sup>。

产量 45 000~52 500 kg/hm<sup>2</sup> 的模式: 栽培密度 68 475~72 525 塘/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾施用量分别为纯 N 202.5~277.5 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120.0~138.0 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 379.5~406.5 kg/hm<sup>2</sup>。

产量高于 52 500 kg/hm<sup>2</sup> 的模式: 栽培密度 69 000~73 500 塘/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾施用量分别为纯 N 240.0~285.0 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 123.0~144.0 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 408.0~432.0 kg/hm<sup>2</sup>。

以上 3 种模式可根据投入能力、追求目标等具体情况选择应用。此外, 2017 年气候条件较好, 前期雨水早, 且较为充足, 后期晴天多, 白天平均气温多在 25 ℃ 以上, 受晚疫病的影响较小, 对马铃薯丰产非常有利<sup>[11]</sup>。因此, 从生产实际来看, 以生产商品薯为目的, 以推广第 2 种模式为宜。

(3) 该研究仅有 1 年的试验结果, 建议进一步开展多年多点试验, 可得出较为全面和系统的结论。

### 参考文献

- [1] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 106-108.
- [2] 殷红清, 吴承金, 瞿勇, 等. 不同药剂对马铃薯晚疫病的防治效果[J]. 植物保护, 2012, 38(5): 179-183.
- [3] 刘凌云, 姚春光, 卢丽丽, 等. 不同杀菌剂及组合对马铃薯晚疫病的防控效果分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(4): 1646-1650.
- [4] 宋晓梅, 蒋太明, 刘洪斌, 等. 基于“3414”田间试验的水稻施肥模型的研究: 以重庆市合川区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(9): 94-99.
- [5] 任长宏. 马铃薯种植密度及施肥量优化组合研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [6] 甘桂兰, 程新, 李昆太. DPS 数据处理软件在发酵培养基优化中的应用[J]. 中国酿造, 2008(21): 69-71.
- [7] 金恩惠, 王耀民, 毛笑, 等. 基于主成分回归分析法的红茶审评评价模型构建[J]. 中国食品学报, 2016(12): 235-239.
- [8] 杨松, 周蓓蓓, 程江华, 等. 二次正交旋转组合设计优化药桑花青素提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 33-38.
- [9] 李子双, 王薇, 张世文, 等. 氮磷与硅钙肥配施对辣椒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 458-466.
- [10] 刘明, 王永瑜. Durbin-Watson 自相关检验应用问题探讨[J]. 数量经济技术经济研究, 2014, 31(6): 153-160.
- [11] 丁海滨, 卢扬, 邓禄军. 马铃薯晚疫病发病机理及防治措施[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(5): 76-81.