

# 种植密度与N、P、K施肥配比对青薯9号产量的影响研究

李佩华, 邓琳, 彭正松\*, 方志荣, 清源, 蔡光泽, 周晓利, 汪翠存

(西昌学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:**以西南山区主推马铃薯品种青薯9号原种为材料,采取4因素5水平二次正交旋转组合设计,研究种植密度、氮、磷、钾施用量对青薯9号产量、单株重与株高之间的综合效应,通过数学模型分析表明:种植密度、氮、磷、钾施用量单因子对产量的影响排序为:氮肥>种植密度>磷肥>钾肥;对单株重的影响排序为:氮肥>钾肥>种植密度>磷肥;对株高的影响排序为:种植密度>氮肥>钾肥>磷肥。计算机频数分析表明:当种植密度为4 543~4 691株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素施用量为11.85~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙施用量为32.2~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾施用量为37.415~42.08 kg/666.7 m<sup>2</sup>时,青薯9号产量在1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上,单株重在0.51 kg/株以上。

**关键词:**马铃薯;二次正交旋转组合设计;产量;单株重;株高

**中图分类号:**S532 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)03-0015-07

## Effects of Planting Density and N, P, K Fertilizer Application Rate on the Yield of Qingshu Seed No. 9

LI Peihua, DENG Lin, PENG Zhengsong\*, FANG Zhirong, QIN yuan, CAI Guangze, ZHOU Xiaoli, WANG Cuicun

(Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** The comprehensive effects of planting density and the application rate of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, plant weight and plant height of potato Qingshu No.9, which is a featured product in the southwest mountainous regions in China, are studied by means of combined design of four factors, five levels and quadratic orthogonal rotation. The results of mathematical model analysis show that the order of the effects of planting density, application rates of nitrogen, phosphorus and potassium on yield is nitrogen fertilizer > planting density > phosphorus fertilizer > potassium fertilizer; the order of the effects on plant weight is nitrogen fertilizer > potassium fertilizer > planting density > phosphorus fertilizer, and the order of effects on plant height is planting density > nitrogen fertilizer > potassium fertilizer > phosphorus fertilizer. The computer frequency analysis shows that when the planting density is 4 543~4 691 plants/666.7 m<sup>2</sup>, urea application rate is 11.85~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>, superphosphate application rate reaches 32.2~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>, and potassium sulfate application rate reaches 37.415~42.08kg/666.7 m<sup>2</sup>, the yield of Qingshu No.9 is above 1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>, and the plant weight is above 0.51 kg/plant.

**Keywords:** potato; quadratic orthogonal rotation combination design; yield; plant weight; plant height

## 0 引言

农业生产研究表明,生产潜力是否能发挥,在很大程度上取决于采用的栽培技术<sup>[1-2]</sup>。川西南山区是马铃薯传统优势种植区。青海省农林科学院马铃薯品种青薯9号近年在川西南凉山及毗邻云贵山

区种植面积较大<sup>[3]</sup>。课题组根据土壤类型、海拔高度、气候等的变化,开展适宜良种良法配套<sup>[4-5]</sup>,试验目的在于开展青薯9号的各项可控的栽培因子研究,选取种植密度、N(氮)、P(磷)、K(钾)<sup>[6-7]</sup>二次正交旋转组合设计,通过建立数学模型,研究了种植密度与N、P、K施肥配比对青薯9号产量的影响,以

收稿日期:2020-05-14

基金项目:四川省科技计划项目(2016NZ0056);四川省“十三五”薯类育种攻关项目(2016NYZ0032-4);国家现代农业产业技术体系四川薯类创新团队项目(川财教[2019]59号);四川省粮食作物农业气象指标体系研究(2018-重点-05-01)。

作者简介:李佩华(1975—),男,四川邛崃人,副研究员,硕士,研究方向:马铃薯育种、栽培、良繁。\*通信作者:彭正松(1964—),四川安岳人,教授,博士,研究方向:植物遗传学。

期为西南山区青薯9号的种植提供参考。

### 1 试验材料与方法

#### 1.1 试验材料

青薯9号原种:60~80 g(西昌学院马铃薯重点实验室提供)

肥料:尿素 $\omega(N)=46\%$ ,过磷酸钙 $\omega(P_2O_5)=16\%$ ,硫酸钾 $\omega(K_2O)=52\%$ 。

#### 1.2 试验地点

试验点在普格县五道箐乡采洛洛博村,海拔2 080 m,其土壤中全氮、全磷、全钾、碱解氮、有机质的质量分数分别为3.52、1.93、19.83、0.305、31 g/kg,土壤pH值6.5(四川省农科院土壤肥料研究所测定),土壤肥力中上。

#### 1.3 试验方法

试验采用4因子5水平二次正交旋转组合设计,以种植密度( $X_1$ ),肥料施用量N( $X_2$ ), $P_2O_5$ ( $X_3$ ),和 $K_2O$ ( $X_4$ )为栽培因子,因素编码水平(表1),采用二次

表1 马铃薯栽培试验因子与水平编码表

试验因子	梯度	变化区间				
		-2	-1	0	1	2
密度( $X_1$ )/(株·666.7m <sup>2</sup> )	500 3 500 4 000 4 500 5 000 5 500					
尿素( $X_2$ )/(kg·666.7m <sup>2</sup> )	5	5	10	15	20	25
过磷酸钙( $X_3$ )/(kg·666.7m <sup>2</sup> )	10	10	20	30	40	50
硫酸钾( $X_4$ )/(kg·666.7m <sup>2</sup> )	15	20	35	50	65	80

正交旋转组合设计,设6个非重复区组,每个区组6个小区,共36个小区(表2),小区面积为13.33 m<sup>2</sup>,长5.34 m,宽2.5 m,小区间留0.3 m排水沟,区组间留0.5 m排水沟。试验区面积621.95 m<sup>2</sup>。试验数据在DPS9.01软件上进行处理分析。

### 2 试验观察与数据采集

#### 2.1 数据测定

现蕾期,每个小区随机选择30株进行测定植株性状。

#### 2.2 产量测定

收获期,5点取样,随机选择30株马铃薯,测量单株重,测小区产量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 产量模型的建立

产量与种植密度( $X_1$ ),氮肥施用量( $X_2$ ),磷肥施用量( $X_3$ ),钾肥施用量( $X_4$ )之间的回归模型,用F检验法进行检验,得到方差分析表3。

从表3中可看出: $F_1=0.509>F_{0.05}$ ,差异不显著,试验合理,失拟不存在, $F_2=3.977<F_{0.05}$ ,达到显著水平,模型有效,依据各小区产量建立的数学模型拟合度好,可用于试验分析,进行模拟寻优以及效应分析。剔除不显著的项后,可得到优化后的产量回归方程式(1)。

表2 试验设计和各小区产量

处理	编码值				产量( $Y_1$ )/ (kg·666.7m <sup>2</sup> )	单株重( $Y_2$ )/ (kg·株 <sup>-1</sup> )	株高( $Y_3$ )/ (cm·株 <sup>-1</sup> )	处理	编码值				产量( $Y_1$ )/ (kg·666.7m <sup>2</sup> )	单株重( $Y_2$ )/ (kg·株 <sup>-1</sup> )	株高( $Y_3$ )/ (cm·株 <sup>-1</sup> )
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$					$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$			
1	1	1	1	1	1 520.0	0.424	115.0	19	0	-2	0	0	1 667.5	0.492	109.4
2	1	1	1	-1	1 720.0	0.438	119.6	20	0	2	0	0	1 625.0	0.438	115.6
3	1	1	-1	1	1 832.5	0.436	122.4	21	0	0	-2	0	1 877.5	0.548	116.8
4	1	1	-1	-1	1 695.0	0.433	118.4	22	0	0	2	0	1 715.0	0.501	122.8
5	1	-1	1	1	1 692.5	0.508	112.0	23	0	0	0	-2	2 035.0	0.516	128.4
6	1	-1	1	-1	2 102.5	0.646	104.0	24	0	0	0	2	1 805.0	0.441	121.0
7	1	-1	-1	1	1 740.0	0.406	114.8	25	0	0	0	0	2 117.5	0.554	116.4
8	1	-1	-1	-1	1 772.5	0.493	106.6	26	0	0	0	0	1 660.0	0.557	114.8
9	-1	1	1	1	1 360.0	0.536	135.2	27	0	0	0	0	2 017.5	0.518	117.0
10	-1	1	1	-1	1 452.5	0.461	126.6	28	0	0	0	0	1 947.5	0.599	111.4
11	-1	1	-1	1	1 382.5	0.455	124.4	29	0	0	0	0	1 980.0	0.546	117.6
12	-1	1	-1	-1	1 410.0	0.520	127.4	30	0	0	0	0	2 000.0	0.581	118.8
13	-1	-1	1	1	1 502.5	0.444	115.6	31	0	0	0	0	1 972.5	0.624	106.2
14	-1	-1	1	-1	1 852.5	0.501	113.4	32	0	0	0	0	1 930.0	0.513	106.4
15	-1	-1	-1	1	1 807.5	0.498	120.8	33	0	0	0	0	1 962.5	0.567	110.4
16	-1	-1	-1	-1	1 812.5	0.520	115.2	34	0	0	0	0	2 002.5	0.551	118.8
17	-2	0	0	0	1 580.0	0.499	119.4	35	0	0	0	0	2 347.5	0.545	107.4
18	2	0	0	0	1 632.5	0.448	116.6	36	0	0	0	0	1 747.5	0.642	107.2

表3 试验结果方差分析表

变异来源	产量(F值)	P <sub>1</sub>	单株重(F值)	P <sub>2</sub>	株高(F值)	P <sub>3</sub>
x <sub>1</sub>	3.816*	0.064	1.599	0.220	7.345**	0.013
x <sub>2</sub>	7.233**	0.014	4.427**	0.048	14.121**	0.001
x <sub>3</sub>	0.716	0.407	0.265	0.612	0.017	0.899
x <sub>4</sub>	3.004*	0.098	5.171**	0.034	0.291	0.596
x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	15.332**	0.001	10.792**	0.004	1.689	0.208
x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	12.492**	0.002	12.812**	0.002	0.022	0.885
x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	4.43**	0.048	2.308	0.144	3.143*	0.091
x <sub>4</sub> <sup>2</sup>	0.856	0.365	9.684**	0.005	9.373**	0.006
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	1.772	0.198	4.105*	0.056	0.243	0.627
x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	0.223	0.642	3.350*	0.082	0.461	0.505
x <sub>1</sub> x <sub>4</sub>	0.125	0.727	1.045	0.318	0.011	0.920
x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	0.614	0.442	1.045	0.318	0.567	0.460
x <sub>2</sub> x <sub>4</sub>	1.218	0.282	3.440*	0.078	0.780	0.387
x <sub>3</sub> x <sub>4</sub>	3.853*	0.063	0.051	0.823	0.001	0.978
回归F <sub>2</sub>	3.977**	0.005 3	4.292**	0.003 7	2.719 **	0.029 4
失拟F <sub>1</sub>	0.509	0.865 1	1.186	0.353 3	1.267	0.309 2

注:\*\*P ≤ 0.05(极显著);\*0.05 < P ≤ 0.1(显著);0.1 < P(不显著)。

$$Y = 1973.7500 + 59.16667X_1 - 81.45833X_2 - 52.50000X_4 - 102.70833X_1^2 - 92.70833X_2^2 - 55.20833X_3^2 - 72.81250X_4^2 \quad (1)$$

### 3.2 青薯9号产量模型分析

#### 3.2.1 产量主效应分析

各因子的主效应是指一因子在其他因子取值为零水平的情况下,该因子对因变量的作用强度<sup>[8-9]</sup>,利用表3中产量回归方程中的回归系数的F值,可计算各因子对产量的贡献率,使用贡献率计算公式  $\delta = 0 (F \leq 1)$  或  $\delta = 1 - 1/F (F \geq 1)$ ,  $\Delta_j = \delta_j + 1/2 \sum_{i=1, i \neq j}^m \delta_{ij} + \delta_{ij}$  计算,可得各因子对产量的贡献率(表4)。

表4 单因素对产量贡献率

因子	种植密度(X <sub>1</sub> )	氮肥(X <sub>2</sub> )	磷肥(X <sub>3</sub> )	钾肥(X <sub>4</sub> )
贡献率(Δ <sub>j</sub> )	1.890	2.089	1.144	1.127

从表4中可得出,按照大小顺序排列,各因子对青薯9号产量的影响强度为:氮肥>种植密度>磷肥>钾肥。

#### 3.2.2 产量单因子效应分析

由表3中可知,种植密度,氮、磷、钾施用量对青薯9号产量影响显著,为进一步了解各单因素对产量的影响,使用降维法,将其它3个因子固定为0值,可得到剩下因子的产量回归子模型式(2)~(5)。

$$Y_1 = 1973.7500 + 59.16667X_1 - 102.70833X_1^2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 1973.7500 - 81.45833X_2 - 92.70833X_2^2 \quad (3)$$

$$Y_3 = 1973.7500 - 55.20833X_3^2 \quad (4)$$

$$Y_4 = 1973.7500 - 52.50000X_4 \quad (5)$$

根据以上方程,可做出4个因素与产量的单因素关系(图1)。

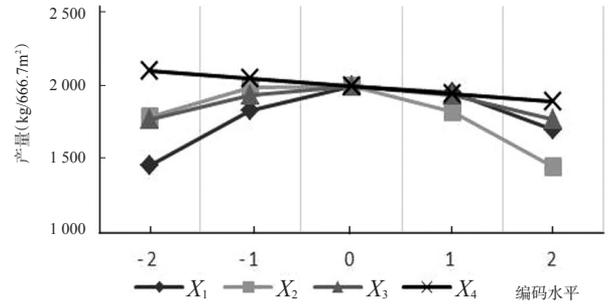


图1 4因素各水平对产量的效应

由图1可得出,4个因子青薯9号产量均有影响,随着种植密度(X<sub>1</sub>),氮肥(X<sub>2</sub>),磷肥(X<sub>3</sub>)的增加,青薯9号产量先上升后下降,说明适宜范围内的种植密度、氮、磷有利于产量的增加。而随着施钾量(X<sub>4</sub>)的增加,青薯9号产量逐步下降,说明在本试验中,钾肥对产量存在抑制作用。

#### 3.2.3 产量的频数分析

采用频数分析的方法,根据青薯9号各小区的产量,取马铃薯产量的下界为1900 kg/666.7m<sup>2</sup>。在建立的回归模型的全部组合方案中,y > 1900 kg/666.7 m<sup>2</sup> 的组合有55个,说明马铃薯青薯9号取得1900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上的产量是比较容易的。根据频数分析可得出:当四个因子的取值范围为:种植密度为4526~4691株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素施用量为11.85~13.785 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙为32.2~37.98 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾为31.76~42.605 kg/666.7 m<sup>2</sup>时,在青薯9号产量可达到1900kg/666.7 m<sup>2</sup>以上。在所有方案中,当种植密度为4500株/666.7 m<sup>2</sup>,氮肥施用量为15 kg/666.7 m<sup>2</sup>,磷肥施用量为40 kg/666.7 m<sup>2</sup>,钾肥施用量为20 kg/666.7 m<sup>2</sup>时,达到最高产量2169.17 kg/666.7 m<sup>2</sup>。

#### 3.2.4 产量的互作效应分析

各因素存在互作效应<sup>[10]</sup>。从图2可得出,磷、钾互作对产量有显著影响,采用降维法,可得到磷肥施用量(X<sub>3</sub>)和钾肥施用量(X<sub>4</sub>)的互作效应模型为式(6)。

$$Y = 1973.7500 - 52.50000X_4 - 55.20833X_3^2 - 72.81250X_3X_4 \quad (6)$$

磷肥施用量和钾肥施用量交互作用与产量的关系(表5),在试验计划的范围内,当磷肥施用量为1水平,钾肥施用量为-2水平时,青薯9号的产量最佳。当磷肥施用量处于较高编码水平,钾肥施用量处于较低编码水平时,青薯9号产量较高,说明在本试验中钾肥对磷肥产生了抑制作用。

表5 磷钾肥施用量互作效应与产量的关系

编码值 ( $X_3$ )	编码值( $X_4$ )				
	-2	-1	0	1	2
2	2 149.17	1 951.04	1 752.92	1 554.79	1 356.67
1	2 169.17	2 043.85	1 918.54	1 793.23	1 667.92
0	2 078.75	2 026.25	1 973.75	1 921.25	1 868.75
-1	1 877.92	1 898.23	1 918.54	1 938.85	1 959.17
-2	1 566.67	1 659.79	1 752.92	1 846.04	1 939.17

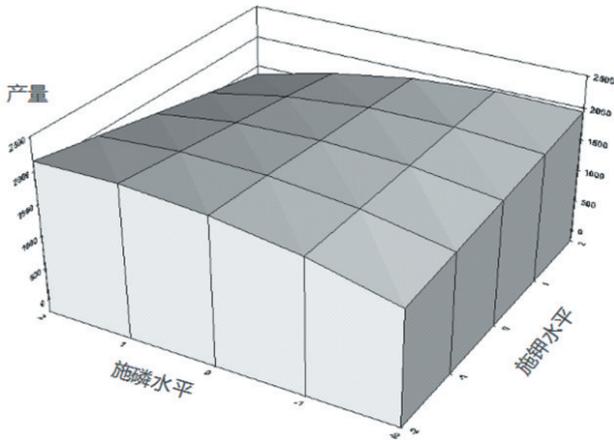


图2 产量的互作效应分析

### 3.3 单株重模型的建立

建立单株重与种植密度( $X_1$ ), 氮肥施用量( $X_2$ ), 磷肥施用量( $X_3$ ), 钾肥施用量( $X_4$ )之间的回归模型, 用F检验法对方程进行检验, 由表3中可得出,  $F_1=0.353 3 > F_{0.05}$ , 差异不显著, 试验合理, 失拟因素不存在;  $F_2=4.292 < F_{0.05}$ , 达到显著水平, 说明模型有效, 根据各小区单株重建立的数学模型拟合度好, 可用于试验分析, 进行模拟寻优以及效应分析。剔除显著水平 $\alpha < 0.10$ 不显著的项后, 可得到优化后的方程为式(7)。

$$Y=0.566 42-0.017 54X_2-0.018 96X_4-0.023 72X_1^2-0.025 84X_2^2-0.022 47X_4^2-0.020 69X_2X_3+0.018 69X_3X_1+0.018 94X_2X_4 \quad (7)$$

### 3.4 单株重模型分析

#### 3.4.1 单株重主效应分析

利用3.2.1中贡献率的计算方法, 根据表4中单株重回归方程系数的F值, 计算出各因子对单株重的贡献率(表6)。

表6 单因素对单株重的贡献率

因子	种植密度( $X_1$ )	氮肥( $X_2$ )	磷肥( $X_3$ )	钾肥( $X_4$ )
贡献率( $\Delta_j$ )	2.011	2.429	0.917	2.058

根据贡献率值大小可得出, 各因子对青薯9号单株重的影响大小为: 氮肥>钾肥>种植密度>磷肥, 由此可见在本试验中, 氮肥对单株重的影响最大,

而磷肥对单株重的影响最小。

#### 3.4.2 单株重单因子效应分析

由表3中可知, 种植密度、氮、钾施用量对单株重有显著影响。对优化后的单株重回归模型采用降维法, 即将其它3个因子固定为0值, 可得到剩下因子的单株重回归子模型式(8)~(10)。

$$Y_1=0.566 42-0.023 72X_1^2 \quad (8)$$

$$Y_2=0.566 42-0.017 54X_2-0.025 84X_2^2 \quad (9)$$

$$Y_4=0.566 42-0.018 96X_4-0.022 47X_4^2 \quad (10)$$

依据以上方程, 可做出3个因素与产量的关系(图3)。从图3中可看出3个因素对单株重的影响皆呈二次抛物线的变化趋势, 在-2~0水平内, 单株重随着种植密度( $X_1$ ), 氮肥施用量( $X_2$ ), 钾肥施用量( $X_4$ )的增加而增加, 在0~2的水平内, 单株重随着种植密度( $X_1$ ), 氮肥施用量( $X_2$ ), 钾肥施用量( $X_4$ )的增加而减小, 且曲线下降趋势较大, 说明密度、氮肥、钾肥过量对单株重不利影响较大。在各因子都为0水平时, 单株重达到最高。

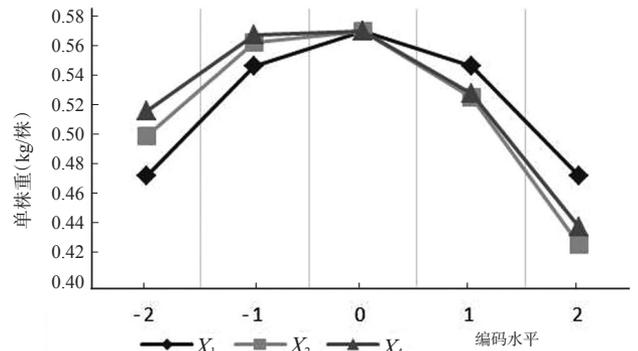


图3 单因素对单株重的效应

#### 3.4.3 单株重频数分析

采用频数分析的方法, 根据青薯9号各小区的平均单株重, 取马铃薯单株重的下界为0.51 kg/株。在建立回归模型的全部组合方案中,  $y > 0.51$  kg/株的组合有139个, 占全部组合的22.24%, 表明马铃薯青薯9号单株重偏低。根据频数分析的结果可以得出: 在青薯9号产量高于0.51 kg/株的139个方案中, 4个栽培因子的取值范围是: 种植密度为4 543~4 715 株/666.7 m<sup>2</sup>, 尿素为10.985~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>, 过磷酸钙为28.01~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>, 硫酸钾为37.415~42.08 kg/666.7 m<sup>2</sup>。当种植密度为5 000 株/666.7 m<sup>2</sup>, 尿素施用量为10 kg/666.7 m<sup>2</sup>, 过磷酸钙施用量为50 kg/666.7 m<sup>2</sup>, 硫酸钾施用量为35 kg/666.7 m<sup>2</sup>, 单株重达到最大, 为0.61 kg/株。

#### 3.4.4 单株重互作效应分析

从马铃薯单株重的回归模型中, 可以得出种植

密度( $X_1$ )与氮肥施用量( $X_2$ ),种植密度( $X_1$ )与磷肥施用量( $X_3$ ),氮肥施用量( $X_2$ )与钾肥施用量( $X_4$ )互作显著。采用降维法,可得到单株重互作效应回归模型为式(11)~(13)。

$$Y_{12}=0.566\ 42-0.023\ 72X_1^2-0.025\ 84X_2^2-0.020\ 69X_1X_2 \quad (11)$$

$$Y_{13}=0.566\ 42-0.023\ 72X_1^2+0.018\ 69X_1X_3 \quad (12)$$

$$Y_{24}=0.566\ 42-0.017\ 54X_2-0.018\ 96X_4-0.025\ 84X_2^2-0.022\ 47X_4^2+0.018\ 94X_2X_4 \quad (13)$$

从表7和图4中可看出,种植密度( $X_1$ )与氮肥施用量( $X_2$ )互作时,当种植密度不变时,氮肥施用量在-2~-1水平时,单株重随着施氮量的增加而增加,当施氮水平在0~2时,随着施氮量的增加,单株重下降,说明种植密度一定时,适当减少氮肥的施用量,可增加青薯9号的单株重,当种植密度和氮肥施用量都为0水平时,单株重到达最佳。

表7 4因素互作与单株重的关系

编码值 ( $X_1$ )	编码值( $X_2$ )				
	-2	-1	0	1	2
2	0.486 0	0.504 6	0.471 5	0.386 8	0.250 3
1	0.515 8	0.555 1	0.542 7	0.478 6	0.362 9
0	0.498 1	0.558 1	0.566 4	0.523 0	0.428 0
-1	0.433 0	0.513 7	0.542 7	0.520 0	0.445 6
-2	0.320 5	0.421 9	0.471 5	0.469 5	0.415 8

编码值 ( $X_1$ )	编码值( $X_3$ )				
	-2	-1	0	1	2
2	0.396 8	0.434 2	0.471 5	0.508 9	0.546 3
1	0.505 3	0.524 0	0.542 7	0.561 4	0.580 1
0	0.566 4	0.566 4	0.566 4	0.566 4	0.566 4
-1	0.580 1	0.561 4	0.542 7	0.524 0	0.505 3
-2	0.546 3	0.508 9	0.471 5	0.434 2	0.396 8

编码值 ( $X_2$ )	编码值( $X_4$ )				
	-2	-1	0	1	2
2	0.300 2	0.386 6	0.428 0	0.424 4	0.375 9
1	0.433 2	0.500 6	0.523 0	0.500 5	0.433 1
0	0.514 5	0.562 9	0.566 4	0.525 0	0.438 6
-1	0.544 0	0.573 5	0.558 1	0.497 8	0.392 4
-2	0.521 9	0.532 5	0.498 1	0.418 8	0.294 6

注: $X_1$ :种植密度; $X_2$ :氮肥施用量; $X_3$ :磷肥施用量; $X_4$ :钾肥施用量。

从表7及图5中可看出,当种植密度为0~2水平内时,单株重随着磷肥的上升而增加。当种植密度在-2~0水平时,单株重随着磷肥的增加而下降。当种植密度处于1或-1水平,磷肥施用量处于2或-2水平时,单株重达到最高,在高水平或低水平种植密度和磷肥施用量时,单株重皆达到较大水

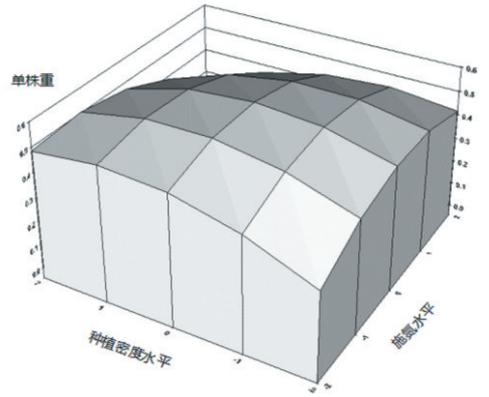


图4 单株重密度、施氮量互作效应分析

平,说明在本次试验中,种植密度与磷肥的互作对单株重有促进作用。

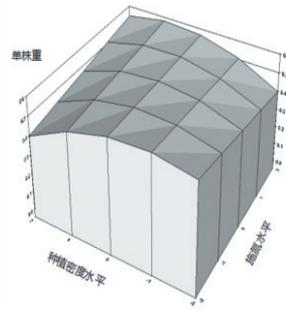


图5 单株重密度、施磷量互作效应分析

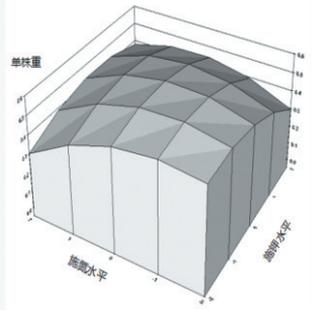


图6 单株重氮、钾互作效应分析

从表7及图6可看出,当施氮量一定时,且在0~2水平范围内时,钾肥施用量在-2~0范围内时,单株重随着钾肥的增多而增多,钾肥施用量在0~2范围内时,单株重随着钾肥施用量的增多而呈下降趋势。当施氮量在-1~-2范围内,且固定施氮量时,钾肥施用量在-2~-1范围内时,单株重是随着钾肥的增多而增大的,之后随着钾肥的增多而减小。氮肥施用量和钾肥施用量在较低水平时,单株重较高,说明在互作关系中,氮、钾互作不利于单株重的增加。

### 3.5 株高模型建立

对株高与种植密度( $X_1$ ),氮肥施用量( $X_2$ ),磷肥施用量( $X_3$ ),钾肥施用量( $X_4$ )之间的回归方程进行方差分析,从表3中可得出: $F_1=1.267>F_{0.05}$ ,差异不显著,试验合理,失拟不存在; $F_2=2.719<F_{0.05}$ ,达到显著水平,说明模型有效,根据各小区株高建立的数学模型拟合度好,可用于试验分析,进行模拟寻优以及效应分析。剔除显著水平 $\alpha<0.10$ 不显著的项后,可得到优化后的株高方程为式(14)。

$$Y=112.700\ 00-2.975\ 00X_1+4.125\ 00X_2+1.685\ 42X_3^2+2.910\ 42X_4^2 \quad (14)$$

### 3.6 株高模型分析

#### 3.6.1 株高主效应分析

建立各因素对株高的回归模型后,使用3.2.1中的方法计算各因子对青薯9号株高的贡献率,根据表8中株高回归方程系数的F值计算贡献率。

表8 单因素对株高的贡献率

因子	种植密度( $X_1$ )	氮肥( $X_2$ )	磷肥( $X_3$ )	钾肥( $X_4$ )
贡献率( $\Delta_j$ )	1.272	0.929	0.682	0.893

根据贡献率值得大小可得出各试验因子对株高的影响大小为:种植密度>氮肥>钾肥>磷肥。由此可得出,在本试验中对株高影响最大的因子为种植密度,氮肥、钾肥、磷肥次之。

#### 3.6.2 株高单因子效应分析

从表3中可知,种植密度,氮、磷、钾肥均对株高有显著影响,为进一步了解各单因素对株高的影响,采用降维法,得到单因子对株高的回归子模型式(15)~(18)。

$$Y_1=112.700\ 00 - 2.975\ 00X_1 \quad (15)$$

$$Y_2=112.700\ 00 + 4.125\ 00X_2 \quad (16)$$

$$Y_3=112.700\ 00 + 1.685\ 42X_3^2 \quad (17)$$

表9 高产量对应单株重,株高表

因变量	数值												
产量( $Y_1$ )/(kg·666.7m <sup>-2</sup> )	2 347.5	2 117.5	2 102.5	2 035.0	2 017.5	2 002.5	2 000.0	1 980.0	1 972.5	1 962.5	1 947.5	1 930.0	
单株重( $Y_2$ )/kg	0.545	0.554	0.646	0.516	0.518	0.551	0.581	0.546	0.624	0.567	0.599	0.513	
株高( $Y_3$ )/cm	107.4	116.4	104.0	128.4	117.0	118.8	118.8	117.6	106.2	110.4	111.4	106.4	

#### 3.6.3 株高频数分析

马铃薯株高是反映其生长状态的重要指标<sup>[11]</sup>,地上部越茂盛,源更足<sup>[12]</sup>。地上部过旺,会降低经济系数。从表9中可看出,当产量达到1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上时,其株高在100~120 cm的范围内,采用频数分析法,在建立的回归模型的625个方案中。Y<120 cm以下的方案有263个,占全部方案的42.08%,在全部的方案中,株高低于120 cm的四个因子的取值范围是:种植密度为4 733~4 887株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素为10.017~11.429 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙为28.496~31.504 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾为48.038~51.962 kg/666.7 m<sup>2</sup>。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

通过二次正交旋转设计,本试验建立了以马铃薯青薯9号种植密度、氮、磷、钾施肥量为自变量,青薯9号亩产量、单株重、株高为因变量的数学模型,通过对数学模型的分析,得出种植密度、氮、磷、钾施肥量4个因子对青薯9号的亩产量、单株重、株高

$$Y_4=112.700\ 00+2.910\ 42X_4^2 \quad (18)$$

根据以上方程,可做出4个因素与株高的关系(图7)。

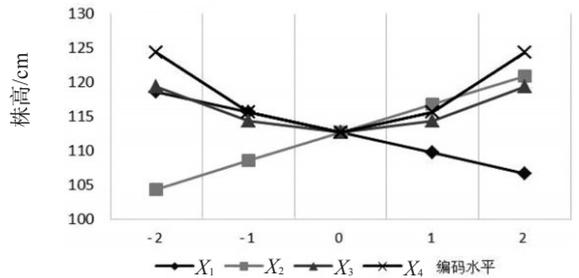


图7 4因素各水平对株高的效应

从图7可看出,在本次试验中种植密度,氮肥施用量对株高都有较大影响。青薯9号株高随着种植密度的增加而下降,随着施氮量的增加而上升,说明种植密度越大,越不利于马铃薯植株茎的生长,而随着氮肥的施用量的增加,对马铃薯株高的增长有促进作用。而当磷、钾肥施用量都在编码水平-2~0范围内时,株高呈下降趋势,施用量在0~2水平内时,株高呈上升趋势。

有显著影响,且4因子间存在互作效应。4因子对青薯9号产量的影响排序为:氮肥>种植密度>磷肥>钾肥;对单株重的影响排序为:氮肥>钾肥>种植密度>磷肥;对株高的影响排序为:种植密度>氮肥>钾肥>磷肥。

通过对数学模型的分析可得出,青薯9号的种植密度、氮、磷、钾施用量4个因子的配合能调节青薯9号的产量,单株重以及株高,但都存在一个合适的范围,低于或超过这个范围,都会降低其产量、单株重及株高。本试验通过频数分析法得出:在种植密度为4 526~4 691株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素施用量为11.85~13.785 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙为32.2~37.98 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾为31.76~42.605 kg/666.7 m<sup>2</sup>的范围内,在本试验的试验地中,青薯9号可取得1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上的产量。在种植密度为4 543~4 715株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素为10.985~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙为28.01~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾为37.415~42.08 kg/666.7 m<sup>2</sup>的范围内,青薯9号可得到0.51 kg/株以上的单株重。当种植密度为4 733~4 887株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素为10.017~11.429

kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙为28.496~31.504 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾为48.038~51.962 kg/666.7 m<sup>2</sup>,青薯9号株高可控制在120 cm以内。综合比较可得出:当种植密度为4 543~4 691 株/666.7 m<sup>2</sup>,尿素施用量为11.85~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙施用量为32.2~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾施用量为37.415~42.08 kg/666.7 m<sup>2</sup>时,青薯9号可取得1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上的产量,0.51 kg/株以上的单株重,实现较高的经济效益。

#### 4.2 讨论

为实现马铃薯效益最大化,应因品种、因地制宜配套适宜栽培技术,本试验研究种植密度、氮、磷、钾施用量4个主要栽培因子,采用四因素五水平的二次正交旋转组合设计,以产量、单株重、株高为因变量,建立数学模型,分析4个栽培因子对其的影响。合理密植是马铃薯获得高产的重要途径,通过改变种植密度,从而改变青薯9号在田间的空间分布,可影响植株对土壤养分、水分及光合的利用,最终影响马铃薯的株高,单株重和产量<sup>[13-14]</sup>。郑顺林等的研究表明,马铃薯栽培品种种植密度较高,一般在4 000 株/666.7 m<sup>2</sup>左右,且种植密度可随着海拔的增高而增高<sup>[15-17]</sup>。川西南凉山州毗邻云、贵两省,同属乌蒙山区,本试验模型分析中可知,当青薯9号种植密度在4 543~4 691 株/666.7 m<sup>2</sup>时,可取得较高产量,与其研究结果相符。

氮、磷、钾肥对马铃薯的生长十分重要<sup>[18-20]</sup>。施

用氮、磷、钾肥对马铃薯产量、单株重、株高具有不同的作用和效果<sup>[21-22]</sup>,对马铃薯的生长发育起着极其重要的作用<sup>[23-24]</sup>。通过试验研究表明,氮肥对产量及单株重的贡献率最大,且对株高也有较大贡献率,说明青薯9号对氮肥需求较大,是氮高效利用品种。

本试验地土壤肥力中等,通过模型分析的得出:当尿素施用量为11.85~12.54 kg/666.7 m<sup>2</sup>,过磷酸钙施用量为32.2~32.85 kg/666.7 m<sup>2</sup>,硫酸钾施用量为37.415~42.08 kg/666.7 m<sup>2</sup>,可使青薯9号原种在不施有机肥的条件下,取得1 900 kg/666.7 m<sup>2</sup>以上的产量,0.51 kg/株以上的单株重,其中氮肥的施用量与彭承界等<sup>[25]</sup>的研究结果相符,但磷、钾施用量与其研究结果相差较大。袁安明等表明这种试验结果差异可能是由于马铃薯的品种特性、土壤肥力、施肥方式以及气候条件的不同所造成的<sup>[26]</sup>。

株高是影响植株单株重的因素之一,单株重是构成马铃薯产量的重要因素,适当控制株高可增加马铃薯的单株重,从而使产量增加<sup>[27-30]</sup>。从试验分析可看出,青薯9号株高较高,株高在100~120 cm的范围内,产量和单株重较高时,所以实际生产中,当马铃薯株高过高时,可通过适当喷施矮壮素来控制株高。试验地生态地理环境条件是影响氮、磷、钾施用量的关键,应根据外界环境的变化,灵活采取合理的栽培技术,该试验的分析结果可为实际生产提供一定的参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 刘铁梅,邹薇,张迁维,等.应用数学模型对矮啤大麦S500高产栽培及经济效应的研究[J].生物数学学报,2008,23(4):695-702.
- [2] 张亚琴,雷飞益,陈雨,等.锌硼钼配施对川白芷药材农艺性状与产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):769-778.
- [3] 武汉军,姚文涛,郭美玲,等.干旱区不同覆膜方式对‘青薯9号’集雨保墒效果及产量的影响[J].中国马铃薯,2018,32(2):86-89.
- [4] 李德明,冀军,潘晓春,等.定西市加工型马铃薯品种大西洋高产栽培技术研究[J].中国马铃薯,2006(5):270-273.
- [5] XIAOMEI F, YINGSHUANG L, JIAO N, et al. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.)[J]. Field Crops Research, 2018, 219.
- [6] CHOUDHARY M A, ABDUL M, MUHAMMAD A P, et al. Growth and yield response of potato crop to different sources of potash[J]. International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences, 2011, 5(3):316-321.
- [7] 邢阳洋. 黑龙江省马铃薯氮磷钾养分需求量特性[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2017.
- [8] 黄科,叶纨芝,余小林,等.农杆菌介导的芥蓝遗传转化体系的建立[J].细胞生物学杂志,2007(1):147-152.
- [9] 马继凤,冯霞,王悦,等.湘春豆25号秋播高产栽培技术研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2007(5):530-534.
- [10] 陈雨,杨正明,石峰,等.微肥配施对瓦布贝母产量和总生物碱含量的影响[J].核农学报,2018,32(11):2258-2266.
- [11] 覃维治,熊军,郑虚,等.冬种马铃薯生长发育规律观测[J].南方农业学报,2017,48(6):985-990.
- [12] 杜常亮,王秀康,王宁,等.水肥互作效应对陕北温室马铃薯生长及品质的影响[J].分子植物育种, 2020, 18(5):1702-1709.
- [13] 陈书强,杨丽敏,赵海新,等.株行距配置和插植苗数对寒地水稻产量和倒伏性状的影响[J].浙江农业学报,2016,28(3):371-377.
- [14] ZHANG S, LI J, FU Y, et al. Effects of pre-elite seed size and planting density on development and propagation efficiency of two virus-free potato cultivars in Sichuan Province, China[J]. African Journal of Agricultural Research, 2016, 11(25):2231-2239.

开关,大大降低了高处窗户开关的困难程度,减少了高处开关窗的危险。电机调速过程采用双极性的控制方式,由芯片直接调节占空比,应用SPWM调控,更加适合交流变频调速系统,与既有相关设备的电机直接驱动关窗过程相比,新型智能雨天关

窗装置将匀速关窗调整为变速关窗,起步阶段窗户关闭速度较快,靠近窗框时速度逐渐降低直至最终停止,减小关窗时窗户和窗框之间的冲击,减低关窗噪音,具有一定的实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 张佑春,张晓娟,朱炼.基于LonWorks与ZigBee技术的智能家居系统构建[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2015,17(2):102-105.
- [2] KLEIN I.Connecting the Smart Home[J].Residential Systems,2019,20(12):28-29.
- [3] 仲小英.基于物联网的智能家居安全监控系统设计[J].自动化与仪器仪表,2020(3):92-95.
- [4] 李泽山,郭改枝.基于树莓派和Arduino的WiFi远程控制智能家居系统设计[J].现代电子技术,2019,42(24):167-171+175.
- [5] 王晶晶.智能家居多激光传感控制器设计[J].激光杂志,2020,41(3):152-155.
- [6] 陈星,黄志明,叶心舒,等.智能家居情境感知服务的运行时建模与执行方法[J].软件学报,2019,30(11):3297-3312.
- [7] HU Yang,DOMINIQUE T,TAYLOR A,et al.Smart home in a box:usability study for a large scale self-installation of smart home technologies[J].Journal of reliable intelligent environments,2016,2(2):93-106.
- [8] SFAR H,BOUZEGHOUB A,RADDAOUI B.Early anomaly detection in smart home:a causal association rule-based approach[J].Artificial intelligence in medicine,2018,91(9):57-71.
- [9] NAUTA J,MAHIEU C,MICHIELS C,et al.Pro-active positioning of a social robot intervening upon behavioral disturbances of persons with dementia in a smart nursing home[J].Cognitive Systems Research,2019,57(10):160-174.
- [10] SWETHA N,NTHONY M J,ATRICIA W A H.Health smart homes: user perspectives[J].Studies in Health Technology and Informatics,2019,266(8):127-135.
- [11] 王勋,商国旭,王钰之,等.基于C51单片机的智能窗户设计[J].赤峰学院学报(自然科学版),2020,36(3):64-66.
- [12] 吴志豪,沈志豪,詹海鸿,等.基于单片机的雨天智能关窗器设计[J].计算机产品与流通,2019(4):101.

(上接第21页)

- [15] 郑顺林,王良俊,万年鑫,等.密度对不同生态区马铃薯产量及块茎空间分布的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版).2017,45(7):15-23.
- [16] 王友生,岳云,李效文,等.不同肥力水平和种植密度对定西秸秆覆盖马铃薯生产的影响[J].西北农业学报.2019,28(2):198-203.
- [17] 田丰,张永成,张凤军,等.不同肥料和密度对马铃薯光合特性和产量的影响[J].西北农业学报.2010(6):95-98.
- [18] 胡建军,温学飞,张宏,等.基于“3414”模型对宁夏盐池县马铃薯氮磷钾效应的研究[J].中国农学通报,2011,27(15):90-96.
- [19] 门福义,郭淑敏,刘梦芸,等.马铃薯高淀粉生理基础的研究——块茎淀粉含量与糖的代谢[J].中国马铃薯,1993(3):129-133.
- [20] MAREK K.Effectiveness of nitrogen fertilization and application of microbial preparations in potato cultivation[J].Turkish Journal of Agriculture & Forestry,2014,38(3):299-310.
- [21] 蒋颖.遵义市贵乌瑞它主要高产栽培技术研究[D].贵阳:贵州大学,2010.
- [22] NURMANOV Y T,CHERNENOK V G,KUZDANOVA,et al. Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization.[J]. Field Crops Research,2019,231:115-121.
- [23] 高媛,韦艳萍,樊明寿,等.马铃薯的养分需求[J].中国马铃薯,2011,25(3):182-187.
- [24] 孙宁,边少锋,孟祥盟,等.氮肥施用量对超高产玉米光合性能及产量的影响[J].玉米科学,2011,19(2):67-69.
- [25] 彭承界.鄂马铃薯5号脱毒原种种植密度及施肥量最佳水平组合[J].中国马铃薯,2012,26(4):222-225.
- [26] 袁安明,张小静.氮磷钾配比对马铃薯脱毒微型薯生长和产量的影响[J].中国马铃薯,2012,26(4):225-227.
- [27] 田再民,杨立罕,冯琰,等.不同施肥方式对马铃薯生长及产量的影响[J].西南农业学报,2013(4):1741-1743.
- [28] 王晴晴,田长彦,赵振勇,等.不同施氮量对蓖麻产量和生物及营养性状的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):150-154.
- [29] 丁安明,崔法,李君,等.小麦单株产量与株高的QTL分析[J].中国农业科学,2011(14):2857-2867.
- [30] 王国兴,徐福利,王渭玲,等.氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2013(3):106-111.