

中图分类号: S532; S147.2; S352.3 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2010)06-0360-04

不同施肥和密度对马铃薯产量的影响

崔学开¹, 陈建林², 王明义², 杨国苍³, 郑红英³

(1. 沾益县产业站, 云南 西平 655331; 2. 曲靖市农业技术推广中心, 云南 曲靖 655000; 3. 沾益县农业技术推广中心, 云南 西平 655331)

摘要: 采用二次回归正交旋转组合设计, 研究马铃薯单垄双行、高墒栽培的施肥量和密度对产量的影响。结果表明, 在一定的用量范围内, 施用氮磷钾肥料均能提高马铃薯产量, 过量的施用肥料, 会造成马铃薯减产。通过数学模型的优化和解析, 得出马铃薯单垄双行、高墒, 667 m² 产量大于 2 t 的综合栽培技术的施肥量每 667 m² 为: 尿素 (16.9~32.9 kg)、普钙 (77.4~79.4 kg)、硫酸钾 (28.7~39.5 kg)、密度为每 667 m² 种植 3 237~3 782 株。

关键词: 二次回归正交旋转组合设计; 马铃薯; 施肥

Effect of Fertilization and Plant Density on Potato Yield

CUI Xuekai¹, CHEN Jianlin², WANG Mingyi², YANG Guocang³, ZHENG Hongying³

(1. Zhangyi Industry Station, Xiping, Yunnan 655331, China; 2. Qujing Agrotechnique Extension Center, Qujing, Yunnan 655000, China; 3. Zhanyi Agrotechnique Extension Center, Xiping, Yunnan 655331, China)

Abstract: The effect of fertilization and plant density on potato yield were studied when planted in two lines within a row of high ridge using the quadratic regression rotation-orthogonal combination design. High rate of NPK increased the potato yield, however, overdose decreased the potato yield. Through the analysis and optimization of the mathematical model, the best combination of NPK fertilizers and density was achieved, i.e. urea 16.9 - 32.9 kg, normal superphosphate 77.4 - 79.4 kg, potassium sulfate 28.7 - 39.5 kg, and the plant density 3 237-3 782 plants on the basis of 667 m², when the target yield was 2 t or more.

Key Words: quadratic regression rotation-orthogonal combination design; potato; fertilization

近年来, 曲靖市马铃薯种植业发展很快, 种植面积达 14.67 万 hm², 在今后 5 年内, 将发展到 20 万 hm², 成为曲靖市新的经济增长点和农民增收的重要来源。马铃薯单垄双行、高墒、高产综合栽培技术是马铃薯生产中推广的种植新技术, 由于它产量高、增产及经济效益显著, 在曲靖市马铃薯生产大市场发展很快, 今后这一措施必将成为曲靖市马铃薯作物的主要栽培技术。随着马铃薯种植面积的不断扩大, 如何进行合理的种植密度及合理施肥 (氮、磷、钾用量) 已为生产中急需解决的问题。迄今为止, 我国对马铃薯施肥技术研究较多^[1-2], 对马铃薯单垄双行、高墒、高产综合栽培技术研究不多。如何准确提出马铃薯单垄双行、高墒、高产综合栽

培技术, 我们进行了不同施肥和密度对马铃薯产量的影响试验, 为这项新栽培技术提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试作物为马铃薯合作 88 号; 供试肥料为尿素 (46%)、普通过磷酸 (16%)、硫酸钾 (50%); 试验土壤为酸性红壤, 肥力中等地。

1.2 试验方法

试验于 2005 年 1~11 月在曲靖市的宣威市、马龙县、沾益县的农户责任地。试验用二次回归正交旋转组合设计全部实施。在统一施 1 500 kg 农家肥其余农艺措施全部按试验设计执行, 试验所用肥

收稿日期: 2010-08-25

作者简介: 崔学开 (1971-), 男, 农艺师, 主要从事作物栽培工作。

* 通信作者: 王明义, 农艺师, 主要从事作物栽培工作, E-mail: qjwmy2012@163.com。

料作底肥一次性施用。试验因素水平及编码见表 1。试验设 36 个小区, 小区面积 13.3 m², 随机排列。除试验因子外其它农艺措施均等一致, 实收小区产量。80 g 以上的块茎为大薯。数理统计用 DPS 数据处理软件。

表 1 试验因素、水平、变化间距及编码值

Table 1 Factors, levels, change intervals and code values used in the experiment (667 m²)

项目 Item	X ₁ (N)	X ₂ (P ₂ O ₅)	X ₃ (K ₂ O)	X ₄ (密度) Hill(Density)
X ₀ (零水平) 0 level	17	16	17	3174 [株距 30 cm]
Δ _i (变化间距) Change interval	7	6	8	500
2	31	28	33	4174 [株距 23 cm]
1	24	22	25	3674 [株距 26 cm]
0	17	16	17	3174 [株距 30 cm]
-1	10	10	9	2674 [株距 36 cm]
-2	3	4	1	2174 [株距 44 cm]

2 结果与分析

各小区试验结果(实收产量)折合 667 m² 产量的数据列于表 2。

2.1 马铃薯产量的函数模型

2.1.1 宣威点

经 DPS 数据处理软件计算, 求得氮肥用量编码值(X₁)、磷肥用量编码值(X₂)、钾肥用量编码值(X₃)、密度编码值(X₄)与马铃薯产量(Y)的二次函数关系为:

$$Y = 2029.05833 - 246.39167 X_1 + 127.25000 X_2 - 31.88333 X_3 + 120.80833 X_4 - 52.15208 X_1^2 - 36.68958 X_2^2 - 24.47708 X_3^2 + 42.86042 X_4^2 - 66.50000 X_1 X_2 - 26.16250 X_1 X_3 + 42.38750 X_1 X_4 + 65.33750 X_2 X_3 - 36.46250 X_2 X_4 - 18.87500 X_3 X_4$$

经 F 检验, 模型失拟不显著(P = 0.15829), 表明未知因素对试验结果影响很小, 可忽略, 模型拟合项达极显著水平(P = 0.01), 说明模型预测值和实际值吻合较好, 故以此模型进行预报具有较高的可行性。由各回归系数可判断 4 个因素对马铃薯产量的影响顺序为 N > P > 密度 > K。

2.1.2 马龙点

经 DPS 数据处理软件计算, 求得氮肥用量编码值(X₁)、磷肥用量编码值(X₂)、钾肥用量编码值

(X₃)、密度编码值(X₄)与马铃薯产量(Y)二次函数关系为:

$$Y = 1788.32500 - 156.53333 X_1 + 35.97500 X_2 + 59.59167 X_3 + 94.86667 X_4 - 26.69583 X_1^2 - 21.69583 X_2^2 + 29.12917 X_3^2 - 68.78333 X_4^2 + 35.63750 X_1 X_2 +$$

表 2 试验处结构矩阵与试验结果

Table 2 Treatment structure matrix and experiment results

编号 Number	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	宣威 (kg) Xuanwei	马龙 (kg) Malong	沾益 (kg) Zhanyi
1	1	1	1	1	24	22	25	3674	2076.0	1776.7	2224.4
2	1	1	1	-1	24	22	25	2674	1464.0	1756.7	1934.9
3	1	1	-1	1	24	22	9	3674	1959.7	1570.0	1841.5
4	1	1	-1	-1	24	22	9	2674	1456.3	1330.0	1868.1
5	1	-1	1	1	24	10	25	3674	1418.7	1670.0	2038.0
6	1	-1	1	-1	24	10	25	2674	1278.3	1463.3	1941.4
7	1	-1	-1	1	24	10	9	3674	1812.3	1213.3	1561.8
8	1	-1	-1	-1	24	10	9	2674	1657.3	1443.3	2041.3
9	-1	1	1	1	10	22	25	3674	2278.7	2176.7	1971.4
10	-1	1	1	-1	10	22	25	2674	2551.7	1646.7	2117.9
11	-1	1	-1	1	10	22	9	3674	2404.3	2303.3	2361.0
12	-1	1	-1	-1	10	22	9	2674	2466.7	1473.3	2184.5
13	-1	-1	1	1	10	10	25	3674	2135.3	2003.3	1938.1
14	-1	-1	1	-1	10	10	25	2674	1694.0	1630.0	1894.8
15	-1	-1	-1	1	10	10	9	3674	2322.7	2096.7	2151.2
16	-1	-1	-1	-1	10	10	9	2674	1696.0	1796.7	1974.7
17	-2	0	0	0	3	16	17	3174	2275.3	1876.7	2241.1
18	2	0	0	0	31	16	17	3174	1532.0	1450.0	1994.7
19	0	-2	0	0	17	4	17	3174	1862.7	1646.7	2274.4
20	0	2	0	0	17	28	17	3174	2068.3	1720.0	2404.3
21	0	0	-2	0	17	16	1	3174	1986.0	1753.3	2277.7
22	0	0	2	0	17	16	33	3174	2042.7	2020.0	2357.6
23	0	0	0	-2	17	16	17	2174	2094.7	1493.3	2038.0
24	0	0	0	2	17	16	17	4174	2472.7	1496.7	2377.6
25	0	0	0	0	17	16	17	3174	1972.7	1973.3	1984.7
26	0	0	0	0	17	16	17	3174	2054.7	1663.3	2594.5
27	0	0	0	0	17	16	17	3174	2028.3	1743.3	2428.0
28	0	0	0	0	17	16	17	3174	2005.7	1883.3	2571.4
29	0	0	0	0	17	16	17	3174	2558.0	1850.0	2448.2
30	0	0	0	0	17	16	17	3174	2047.0	1830.0	2577.7
31	0	0	0	0	17	16	17	3174	1946.0	1933.3	2461.1
32	0	0	0	0	17	16	17	3174	1749.3	1563.3	2401.4
33	0	0	0	0	17	16	17	3174	1922.0	1616.7	2597.8
34	0	0	0	0	17	16	17	3174	2038.0	1576.7	2484.8
35	0	0	0	0	17	16	17	3174	1940.7	1746.7	2588.3
36	0	0	0	0	17	16	17	3174	2086.3	2080.0	2431.2

$$82.71250 X_1X_3 - 112.28750 X_1X_4 + 28.97500 X_2X_3 + 60.62500 X_2X_4 - 0.62500 X_3X_4$$

经 *F* 检验，模型失拟性不显著($P = 0.56509$)，表明未知因素对试验结果影响很小，可忽略，模型拟合项达极显著水平($P = 0.01$)，说明模型预测值和实际值吻合较好，故以此模型进行预报具有较高的可行性。由各回归系数可判断四个因素对马铃薯产量的影响顺序为 $N > \text{密度} > K > P$ 。

2.1.3 沾益点

经 DPS 数据处理软件计算，求得氮肥用量编码值(X_1)、磷肥用量编码值(X_2)、钾肥用量编码值(X_3)、密度编码值(X_4)与马铃薯产量(Y)的二次函数关系为：

$$Y = 2464.09167 - 68.12500 X_1 + 50.92500 X_2 + 9.85833X_3 + 33.70833X_4 - 127.02500 X_1^2 - 71.66250X_2^2 - 77.08750 X_3^2 - 104.55000X_4^2 - 24.35000 X_1X_2 + 98.45000 X_1X_3 - 23.11250 X_1X_4 - 5.61250 X_2X_3 + 28.50000 X_2X_4 + 27.25000X_3X_4$$

经 *F* 检验，模型失拟性不显著($P = 0.11183$)，表明未知因素对试验结果影响很小，可忽略，模型拟合项达显著水平($P = 0.03$)，说明模型预测值和实际值吻合较好，故以此模型进行预报具有较高的可行性。由各回归系数可判断四个因素对马铃薯产量的影响顺序为 $N > P > \text{密度} > K$ 。

2.2 单因子效应分析

为了找出各因素(X)对产量指标 Y 的影响，采用降维分析，将模型中 4 个因素中的任意 3 个因素固定在 0 水平，得到只含有某一因素的一元二次方程，按方程绘成图 1。从图 1 可以看出，在设计范围内，4 个因子对马铃薯产量的效应均呈抛物线。

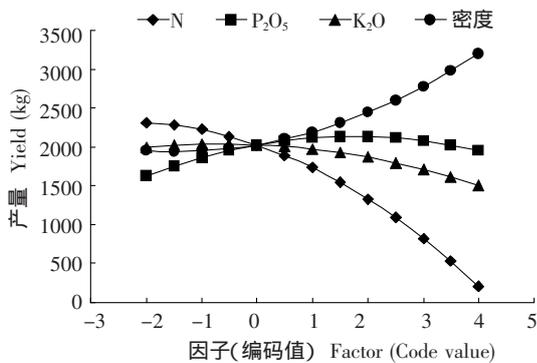


图 1 宣威试点各因子与产量关系

Figure 1 Relationship between factors and potato yield in Xuanwei County

2.2.1 宣威点

从图 1 中可以看出氮、磷、钾三因子与产量呈开口向下的抛物线关系，随施肥量的增加，产量随之增加，施肥量增加到一定程度时，随施肥量的增加产量下降，呈报酬递减规律。密度与产量呈开口向上的抛物线关系，说明在本试验设计范围内马铃薯产量随密度的增加而增加。

2.2.2 马龙点

从图 2 中可以看出，氮、磷、密度三因子与产量呈开口向下的抛物线关系，产量随三因子量的增加而增加，因子量增加到一定程度时，随因子量的增加产量下降，呈报酬递减规律。钾肥与产量呈开口向上的抛物线关系，说明在本试验设计范围内马铃薯产量随钾肥用量的增加而增加。

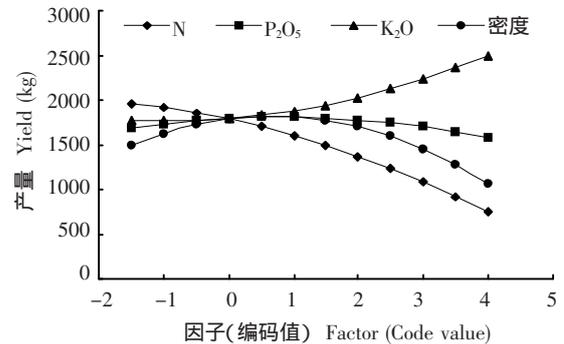


图 2 马龙试点各因子与产量关系

Figure 2 Relationship between factors and potato yield in Malong County

2.2.3 沾益点

从图 3 中可以看出，氮、磷、钾、密度四因子与产量呈开口向下的抛物线关系，随因子量的增加，产量随之增加，因子量增加到一定程度时，随因子量的增加产量下降，呈报酬递减规律。

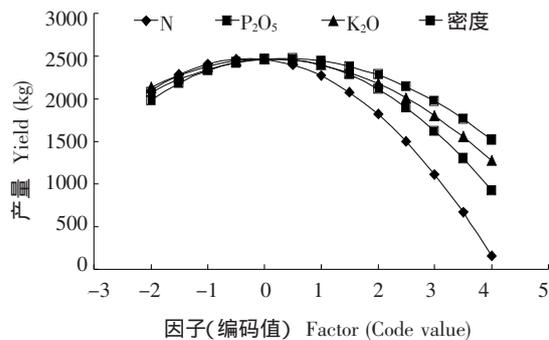


图 3 沾益试点各因子与产量关系

Figure 3 Relationship between factors and potato yield in Zhanyi County

2.3 试验因子对马铃薯大薯率的影响

2.3.1 四因子与马铃薯大薯率的函数关系

经 DPS 数据处理软件计算, 求得氮肥量编码值(X_1)、磷肥编码值(X_2)、钾肥量编码值(X_3)、密度编码值(X_4)与马铃薯大薯率(Y)二次函数关系为:

$$Y = 42.49167 + 2.71250 X_1 - 1.14583 X_2 + 0.62917 X_3 + 2.48750 X_4 - 1.58646 X_1^2 - 0.08646 X_2^2 - 0.87396 X_3^2 + 0.02604 X_4^2 + 1.65625 X_1 X_2 - 0.56875 X_1 X_3 + 0.18125 X_1 X_4 - 0.55625 X_2 X_3 - 1.20625 X_2 X_4 - 0.80625 X_3 X_4$$

经 F 检验, 模型失拟不显著($P = 0.406330$), 表明未知因素对试验结果影响很小, 可忽略, 模型拟合项达($P = 0.201370$) 显著水平, 说明模型预测值和实际值吻合尚好, 以此模型进行预报具有一定的可行性。由各回归系数可判断四个因素对马铃薯大薯率的影响顺序为 $N > \text{密度} > P > K$ 。

2.3.2 大薯率效应分析

为了找出各因素(X)对马铃薯大薯率指标 Y 的影响, 采用降维分析, 将模型中 4 个因素中任意 3 个因素固定在 0 水平, 得到只含有某一因素的一元二次方程, 按方程绘成图 4, 可以看出, 在设计范围内, 4 个因子对大薯率的效应均呈抛物线。

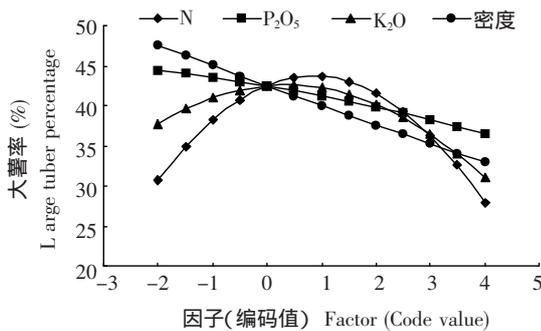


图 4 各因子与大薯率的曲线关系

Figure 4 Relationship between factors and large sized tuber rate

经 DPS 数据处理软件计算, 求得氮肥量编码值(X_1)、磷肥编码值(X_2)、钾肥量编码值(X_3)、密度编码值(X_4)与马铃薯淀粉含有量(Y)二次函数关系为:

$$Y = 14.80833 - 0.53750 X_1 - 0.14583 X_2 + 0.02917 X_3 + 0.00417 X_4 + 0.33229 X_1^2 + 0.14479 X_2^2 + 0.08229 X_3^2 - 0.08021 X_4^2 - 0.41875 X_1 X_2 + 0.08125 X_1 X_3 - 0.31875 X_1 X_4 + 0.20625 X_2 X_3 + 0.48125 X_2 X_4 - 0.06875 X_3 X_4$$

经 F 检验, 模型失拟不显著($P = 0.098520$), 表明未知因素对试验结果影响很小, 可忽略, 模型拟

合项达极显著水平($P = 0.01$), 说明模型预测值和实际值吻合较好, 故以此模型进行预报具有较高的可行性。由各回归系数可判断 4 个因素对马铃薯的淀粉含有量影响顺序为 $N > P > K > \text{密度}$ 。

2.3.3 淀粉含量效应分析

为了找出各因素(x)对马铃薯的淀粉含有量指标 Y 的影响, 采用降维分析, 将模型中 4 个因素中的任意 3 个因素固定在 0 水平, 得到只含有某一因素的一元二次方程, 按方程绘成图 5, 从图 5 可以看出, 在设计范围内, 4 个因子对马铃薯淀粉含有量的效应均呈抛物线。

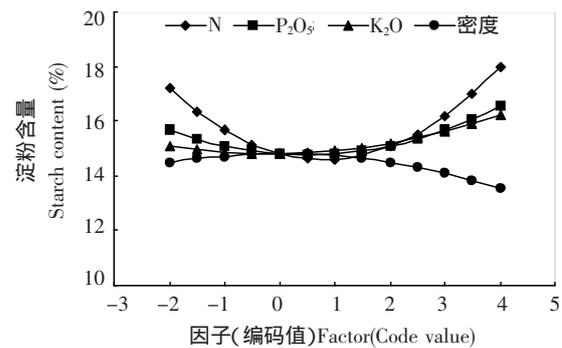


图 5 各因子与淀粉含量的关系

Figure 5 Relationship between factors and starch contents

2.4 高产综合栽培技术的最佳施肥量及最佳密度

经微机模拟得出 3 组试验 667 m² 产量大于 2 t 的组合: 尿素 16.9~32.9 kg、普钙 77.4~79.4 kg、硫酸钾 28.7~39.5 kg、密度 3 237~3 782 株。

3 讨论

试验结果表明, 氮、磷、钾三要素肥料对马铃薯商品产量都有显著效应; 本试验条件下拟建的马铃薯产量与氮、磷、钾及密度效应函数模型, 有待于今后在大田推广应用中进一步探索完善。本次试验仅适用于当地生产的施肥试验, 没有与土壤里面的氮、磷、钾相结合, 影响马铃薯产量的施肥与施肥方法、施肥次数有密切的关系, 需进一步做好配套技术研究。

[参 考 文 献]

- [1] 董淑英, 李瑾, 崔潇, 等. 不同肥料对马铃薯增产的影响[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(4): 226-227.
- [2] 刘晓津, 方志伟, 李一聪, 等. 广东马铃薯不同肥效试验 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(1): 26-27.