

陕北丘陵区梯田马铃薯综合农艺措施数学模型的研究

徐福利 张金水

吕殿青

(陕西省土肥所)

(陕西省黄土高原治理所)

摘 要

采用五元二次正交旋转回归设计, 对影响陕北丘陵区梯田马铃薯产量最主要的播期、密度、施氮、施磷和有机肥五项农艺措施进行田间试验。通过电脑分析, 明确了各项农艺措施的主次作用, 建立起综合农艺措施优化数学模型, 筛选出该地区不同产量水平及亩产大于1800公斤的最佳农艺措施组合方案, 为陕北丘陵区梯田马铃薯的高产、优质和规范化栽培提供了科学依据。

1 前言

马铃薯是陕北黄土丘陵区的一种粮菜兼用的重要作物, 播种面积占粮食面积的30%以上, 产量占粮食总产的31.6%以上。在目前生产条件下, 从播期、密度和施肥等主要农艺措施入手, 优化栽培技术, 是提高马铃薯单产, 降低生产成本的有效途径。本试验以系统工程原理^[1]为依据, 采用了五因素二次正交旋转回归设计方法^[2], 研究丘陵区梯田马铃薯高产综合农艺措施数学模型^[3], 选择马铃薯优化农艺措施最佳组合方案, 为实现丘陵区梯田马铃薯高产优质栽培技术提供科学依据。

2 试验设计方法

本试验于1989年在米脂县城郊乡镇子湾村进行。试验前茬是谷子, 耕层土壤0~20

cm, 养分状况是有机质0.522%, 全氮0.032%, 碱解氮19.1ppm, 速效磷(P_2O_5)8.1ppm速效钾94.7ppm。试验马铃薯品种为东北白, 选用播种期(x_1), 播种密度(x_2), 施氮量(x_3), 施磷量(x_4)和有机肥(x_5)五项农艺措施为自变量, 以马铃薯产量(y)为目标函数, 采用五元二次正交旋转回归设计方案。各变量设计水平及无量纲编码值见表1。田间试验按五因素五水平 $1/2$ 实施, 36个处理, 重复两次, 小区面积2米×3米, 随机排列, 各区施肥量于第1次播前1次施入, 小区沟播种, 试验出苗均匀, 田间管理同大田一致, 1989年10月12日收获, 收获时去掉边行, 全区实收称重折合亩产。

3 试验结果与分析

3.1 产量结果及回归模型

将试验产量结果的平均值排列于表2, 根据马铃薯产量, 采用二次正交旋转回归设

表1 试验因素及水平编码

试验因素	变化间距	变 量 设 计 水 平 (r=2)				
		-2	-1	0	1	2
播种期 (x ₁)	6天	5月21日	5月27日	6月2日	9月8日	6月14日
密度 (x ₂)	1000株/亩	2000	3000	4000	5000	6000
施氮量 (x ₃)	3kg/亩	0	3	6	9	12
施磷量 (x ₄)	3kg/亩	0	3	6	9	12
有机肥 (x ₅)	1250kg/亩	0	1250	2500	3750	5000

计计算程序^[4], 求得 的数学模型为:

$$y = 1493.47 - 113.8333x_1 + 108.5833x_2 + 73.0x_3 + 76.0x_4 + 52.25x_5 + 2.041626x_1^2 - 2.3338x_2^2 - 0.458374x_3^2 - 68.83338x_4^2 - 13.83337x_5^2 - 42.375x_1x_2 - 70.125x_1x_3 + 35.75x_1x_4 - 14.125x_1x_5 - 26.875x_2x_3 + 10.25x_2x_4 + 15.625x_2x_5 - 44.5x_3x_4 + 62.125x_3x_5 + 25.0x_4x_5$$

(1)

因素与产量的复相关系数R=0.876**, 对模型(1)统计量的检验结果(失拟均方:F₁=1.750<F_{0.05(8,9)}=3.37, F₂=2.476>F_{0.05(20,15)}=2.33)表明, 二次回归模型达到显著水准, 进行预测具有较高的真实可靠性。

表2 试验结构矩阵与产量结果(kg/亩)

编号	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	产量 y	理论产量
1	1	1	1	1	1	1052	1531
2	1	1	1	-1	-1	1083	1145
3	1	1	-1	1	-1	1542	1511
4	1	1	-1	-1	1	1229	1161
5	1	-1	1	1	-1	1064	1182
6	1	-1	1	-1	1	1156	1237
7	1	-1	-1	1	1	1318	1306
8	-1	-1	-1	-1	-1	1073	1094
9	-1	1	1	1	-1	1500	1603
10	-1	1	1	-1	1	1813	1370
11	-1	1	-1	1	1	1700	1673
12	-1	1	-1	-1	-1	1438	1143

13	-1	-1	1	1	1	1519	1641
14	-1	-1	1	-1	-1	1290	1445
15	-1	-1	-1	1	-1	1177	1238
16	-1	-1	-1	-1	1	1042	1067
17	2	0	0	0	0	1286	1273
18	-2	0	0	0	0	1896	1729
19	0	2	0	0	0	1593	1601
20	0	-2	0	0	0	1364	1167
21	0	0	2	0	0	1917	1638
22	0	0	-2	0	0	1245	1345
23	0	0	0	2	0	1464	1370
24	0	0	0	-2	0	1151	1066
25	0	0	0	0	0	1563	1543
26	0	0	0	0	0	1492	1334
27	0	0	0	0	0	1502	1493
28	0	0	0	0	0	1479	1493
29	0	0	0	0	0	1490	1493
30	0	0	0	0	0	1454	1493
31	0	0	0	0	0	1469	1493
32	0	0	0	0	0	1546	1493
33	0	0	0	0	0	1440	1493
34	0	0	0	0	0	1715	1493
35	0	0	0	0	0	1415	1493
36	0	0	0	0	0	1246	1493

3.2 偏回归系数的检验结果

偏回归系数显著性检验结果列于表3, 结果表明, 播种期 (x₁), 密度 (x₂), 施

表3 偏回归系数差异显著性检验结果

变异原因	偏回归系数	F值	差异显著性	差异水平	
一次项	x_1	-113.8333	11.33	0.01	$F_{0.01}=8.68$
	x_2	108.5833	10.31	0.01	$F_{0.01}=6.20$
	x_3	73.0	4.66	0.05	$F_{0.05}=4.54$
	x_4	76.0	5.05	0.05	$F_{0.05}=3.07$
	x_5	52.25	2.39	0.20	$F_{0.20}=1.80$
					$F_{0.25}=1.43$
	$x_1 \times x_2$	-42.375	1.046	ns	$F_{0.30}=1.15$
	$x_1 \times x_3$	-70.125	2.866	0.20	自由度
	$x_1 \times x_4$	35.75	0.745	ns	$V_1=1$
	$x_1 \times x_5$	-14.125	0.1163	ns	$V_2=15$
	$x_2 \times x_3$	-26.875	0.421	ns	
	$x_2 \times x_4$	10.25	0.061	ns	
	$x_2 \times x_5$	15.625	0.142	ns	
	$x_3 \times x_4$	-44.5	1.154	0.30	
	$x_3 \times x_5$	62.125	2.250	0.20	
	$x_4 \times x_5$	25.0	0.364	ns	
二次项	x_1^2	2.046	0.00485	ns	
	x_2^2	-27.33338	0.87	ns	
	x_3^2	-0.45837	0.0025	as	
	x_4^2	-68.83338	5.524	0.05	
	x_5^2	-13.83337	0.22311	as	

氮量 (x_3), 施磷量 (x_4) 的一次项偏回归系数达到显著和极显著水平, 施有机肥 (x_5) 的一次项达到0.2的显著水准。说明所选农艺措施对马铃薯产量均有重要影响, 其中播种期作用最大。在交互项中的 $x_1 x_3$, $x_3 x_4$, $x_3 x_5$ 的偏回归系数绝对值较大, 且F值均在0.2或0.3差异水准。播期和氮肥, 氮肥和磷肥, 氮肥和有机肥彼此适宜搭配是马铃薯高的关键环节。

3.3 模型解析和寻优

3.3.1 主因素效应

经过无量纲线性编码代换后偏回归系数 (bi) 已经标准化, 其 |bi| 大小可直接反映变量 x_i 对产量影响的程度, 综合考虑, 二次项偏回归系数和F值, 试验中各因素对产量影响的顺序为播期 (x_1) > 密度 (x_2) > 氮肥 (x_3) > 磷肥 (x_4) 有机肥 (x_5)。

3.3.2 单因素效应

对模型 (1) 采用降维法, 可以分析单因素对产量的效应^[9]。将其中4个自变量固定在0水平, 可分别得到具体的模型如下:

$$\text{播期 } y_1 = 1493.47 - 113.83x_1 + 2.004$$

$$x_1^2 \quad (2)$$

$$\text{密度 } y_2 = 1493.47 + 108.58x_2 - 27.33x_2^2 \quad (3)$$

$$\text{施氮肥 } y_3 = 1493.47 + 73.0x_3 - 0.458x_3^2 \quad (4)$$

$$\text{施磷肥 } y_4 = 1493.47 + 76.0x_4 - 68.83x_4^2 \quad (5)$$

$$\text{有机肥 } y_5 = 1493.47 + 52.25x_5 -$$

$$13.833x_5^2 \quad (6)$$

根据上述不同模型, 分别代入该因素不同水平值, 即可获得各因素在不同水平下的产量预测值, 将各试验因素在不同施用水平下产量的变化趋势绘于图1, 从图1可以看出, 随着播种期的提早, 马铃薯的产量越高。密度增加马铃薯的产量增加, 当增加到5000株/亩时, 马铃薯产量不再增加。施氮肥量越

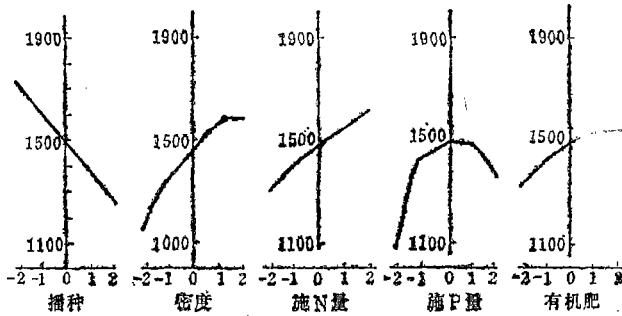


图1 各因素对马铃薯产量的效应

多, 马铃薯的产量增加越多。磷肥当用量达到6 kg/亩时马铃薯产量最高。增加有机肥, 马铃薯产量增加缓慢。以上五个因素都直接影响马铃薯产量。

3.3.3 因素间的交互作用效应

由各因素对产量效应的回归方程中交互项的系数检验结果知道, 播种期 (x_1) 和施氮量 (x_3), 施氮量 (x_3) 和施磷量 (x_4) 的交互作用有达到0.20显著水准处, 其余各因素间的交互作用均不明显。因此现就播种期 (x_2) 与施氮量 (x_3)、施氮量和施磷量的交互作用进行分析。

a. 播种期 (x_1) 与施氮量 (x_2) 的交互作用首先将其余因素固定在零水平, 得出下列方程:

$$y_{1,3} = 1493.47 - 113.8333x_1 + 73.0x_3 - 70.125x_1x_3 + 2.0416x_1^2 - 0.4584x_3^2 \quad (7)$$

通过计算, 求得交互作用分析表

(表4), 由表4可以看出, 播种期早时, 氮肥的增产效果大, 推迟播种, 氮肥的效果减小, 播期取编码值1 (即6月8日) 时, 施氮肥没有明显的增产效果。因此, 要提高氮肥效果, 不仅仅是改变施肥方法, 还与播期等其它栽培条件有联系。

b. 施氮肥 (x_3) 与施磷肥 (x_4) 的关系将其它因素固定在0水平, 得下列方程:

$$y_{3,4} = 1493.47 + 73.0x_3 + 76.0x_4 - 44.5x_3x_4 - 0.4583x_3^2 - 68.8334x_4^2 \quad (8)$$

通过计算, 求得交互作用分析表 (表5), 从表5可知, 在施氮肥量低时, 变动磷肥施用量, 产量低而不稳, 施氮量增加时, 变动磷肥施用量, 产量高而且变异系数小。因此, 在确定施肥水平时, 氮磷肥的合理配比十分重要。

表 4 播种期与施氮量对马铃薯产量的交互作用 (kg/亩)

项目	播 种 期 (x_1)					统 计 参 数		
	-2	-1	0	1	2	$\bar{x}$	S	CV (%)
施	-2	1301.0	1321.3	1345.7	1374.1	1406.6	1349.7	41.9
	-1	1515.6	1465.8	1420.0	1378.4	1340.8	1424.1	69.2
氮	0	1729.3	1609.3	1493.5	1381.7	1274.1	1497.6	179.9
	1	1942.0	1752.0	1566.0	1384.2	1206.4	1507.1	290.8
量	2	2153.8	1893.7	1637.7	1385.7	1137.8	1641.7	401.6
	$\bar{x}$	1728.3	1608.4	1492.6	1380.8	1273.1		
统计参数	S	337.1	226.3	115.4	4.7	106.3		
	CV(%)	19.5	14.1	7.7	3.0	8.3		

表 5 施氮量与施磷量对马铃薯产量的交互作用 (kg/亩)

项目	施 氮 量 (x_2)					统 计 参 数		
	-2	-1	0	1	2	$\bar{x}$	S	CV (%)
施	-2	740.5	1227.8	1066.3	1227.8	1388.5	1130.2	245.8
	-1	1111.9	1465.7	1348.7	1465.7	1518.9	1394.8	178.3
磷	0	1345.7	1566.0	1493.5	1566.0	1637.7	1565.7	72.1
	1	1441.9	1528.7	1500.7	1528.7	1555.9	1511.2	43.4
量	2	1400.5	1353.8	1370.3	1353.8	1336.5	1362.9	24.1
	$\bar{x}$	1208.1	1428.4	1355.9	1428.4	1500.1		
统计参数	S	290.9	138.0	176.1	138.0	130.3		
	CV(%)	24.1	9.7	13.0	9.7	8.7		

3.4 数学模型寻优

采用数学模拟寻优, 在 $-2 \leq x_i \leq 2$ ($i = 1, 2, \dots, 5$) 范围内取步长为1做模拟, 求得全部方案3125个组合理论值, 结果为 $y < 1200$ kg/亩有 130 个组合, y 为 $1200 \sim 1800$ kg/亩的有11553个组合, y 为1800公斤/亩的有263个组合。

现就亩产大于1800公斤的 马铃薯263个组合寻优计算, 结果见表6, 在可信程度达 95%的置信区间的农艺措施组合方案是: 播日种期5月 28 至 6月 1日, 密度 4718~4993

株/亩, 施氮肥9.7~10.3kg/亩, 施磷肥5.54~6.41kg/亩, 施有机肥3652~3952kg/亩。亩产马铃薯1500~1800kg/亩的最优组合农艺措施是: 播期5月 28 至 6月 1日, 密度为 4717~4903 株/亩, 施氮量为 5.6~6.31 kg/亩施磷肥为7.1~7.7kg/亩, 有机肥为 2571~2842kg/亩。

4 结论

a. 在陕北丘陵区干旱条件下, 马铃薯在肥力较高的梯田上, 从优化方案来看, 最

表6 亩产马铃薯1800公斤以上的方案频率分布

编 码	播期 (x ₁)		密度 (x ₂)		施氮量 (x ₃)		施磷量 (x ₄)		有机肥 (x ₅)	
	次数	频率%	次数	频率%	次平	频率%	次数	频率%	次数	频率%
-2	163	61.98	10	3.8	0	0	32	12.17	2	0.76
-1	81	30.8	27	10.27	8	3.04	62	23.57	20	7.6
0	19	7.22	51	19.39	36	13.69	75	28.52	52	19.77
1	0	0	78	29.66	79	30.04	64	24.33	80	30.42
2	0	0	97	36.88	140	53.23	30	11.41	109	41.44
合 计	263	100	263	100	263	100	263	100	263	100
平均值 (x)	-1.5475		0.8555		1.3346		-0.007604		1.0418	
标准差 (S _x)	0.03869		0.0703		0.05090		0.07367		0.06125	
95%置信区间	-1.6233~1.4717		0.7177~0.9933		1.2348~1.4347		-0.152~0.1368		0.9218~1.1619	
农艺措施	5月28日至6月1日		4718~4993 (株/亩)		9.7~10.3 (kg/亩)		5.54~6.01 (kg/亩)		3652~3952 (kg/亩)	

大潜力可产马铃薯2500公斤/亩。

b. 陕北丘陵区马铃薯要获得1800公斤/亩以上,应采用的农艺措施是播种期5月28日至6月1日,密度为4718~4993株/亩,氮肥为9.7~10.3公斤/亩,磷肥为5.54~6.41公斤/亩,有机肥为3652~3952公斤/亩。

c. 陕北丘陵区马铃薯的生产影响因素是播期>密度>氮肥>肥磷>有机肥。

参 考 文 献

1 上海师范大学数学与概率统计教研组,回归分析及共
试验设计,上海教育出版社
2 郭洪海等. 山区花生优化栽培措施的数学模型及解
析,山东农业科学,1988, 3
3 张永成等,马铃薯丰产栽培综合农艺措施数学模
型的研究,《马铃薯杂志》,1989, 2
4 陈国良. 微机应用与农业系统模型,陕西科学技术
出版社,1985, 252~259

A STUDY ON THE MATHEMATICAL MODEL OF
POTATO WITH COMPREHENSIVE CULTURAL
PRACTICE IN THE HILLY GULLY REGION
NORTH OF SHAANXI PROVINCE

Xu Fuli and Zhang Jinshui

(Soil and Fertilizer Research Institute of Shaanxi province)

Lu Dianqing

(Loess plateau Manipulation Institute of Shaanxi province)

ABSTRACT

In 1989, the parameter tests were performed in field to establish a mathematical model under the terrace condition. The contribution order of testing factors to potato

(下转104页)

一致认为瑞毒霉碳质吸附剂是易于推广防效最佳措施, 尤其适用于原种生产。

3 建 议

在高中产田块晚疫病流行年份的感病品种上应用瑞毒霉锰锌400~500倍。依病情喷2~4次如使用瑞毒霉最好与硫酸铜结合使用。

原原种、原种和一级种薯提倡根施瑞毒霉为主, 确保增产、优质、不腐烂。

瑞毒霉加吸附剂已构成一种新剂型, 作为载体的吸附剂是以宁夏优质太西煤经高温水蒸汽处理而制成的多孔性物质。结合瑞毒霉土壤施用具有延长药放等作用, 使防效达到了1个新水平。据试验情况看不仅可以应用在马铃薯晚疫病, 而且在番茄疫病(湖北中国南方马铃薯研究中心)、霜霉病(银川市蔬菜研究所)等卵菌纲病原引起的多种病害, 如辣子疫病等等, 只要土壤水分较多就能获得良好结果。

yield is sowing date>density>nitrogen fertilizer>phosphorus fertilizer>organic fertilizer

Searching for the optimization of the model with the computer, we assume that step is one. Five factors and five levels are composed of 3125 designs, of which yield of 263 designs reaches more than 1800kg/mu. By frequency analysis, the best agronomit measures can be marked out and listed below. The sowing date is 28th of May to first of June, the potato density is 4718~4993 plants/mu, nitrogen fertilizer is 9.7~10.3kg mu, phosphate fertilizer is 5.54~6.41kg/mu and organic fertilizer is 3652~3952kg/mu.

