

马铃薯丰产栽培综合农艺措施 数学模型的研究

张永成 谢连美 刘满仓 辛元品

(青海省农科院作物所)

摘 要

本文利用系统工程学原理和方法,对马铃薯不同密度、不同种行植距、以及氮、磷、钾的不同施用量的栽培试验进行了研究与分析。结果表明:

a. 5个因素的产量和增产速率是基本一致的,其效应依次为 N肥(x_3)>密度(x_1)>K肥(x_5)>行距(x_2)>P肥(x_4)。

b. 产量模型与投资效益模型的复相关系数分别为 $R=0.822$ 和 $R=0.895$ 二者相关极显著。相关系数为 $r=0.4016$, 即产量越高, 投资效益就越高。

c. 代表该模型最可靠的丰产结果在2500~3000公斤/亩范围内, 与当前大田生产水平相吻合, 优化方案分布频率占总次数的29.47%。

d. 高产水平方案的指标为4000~4500公斤/亩, 其最优组合方案为密度5000株/亩, 行距85厘米, 氮肥20公斤/亩, 磷肥15公斤/亩, 钾肥15公斤/亩。

1 试验设计

试验在青海省农科院丰产栽培地里进行, 按照“最佳模拟配合法”的要求, 采取5因素5水平的二次正交旋转组合设计, 全部试验分为3个正交区组, 每一正交区组增设一个“零”水平中心试验点、以控制土壤差

异, 共设39个小区的试验, 小区长为12米, 宽为5米, 四周设有保护区。试验地地势平坦, 肥力均匀, 属灌溉栗钙土, 前作为油菜茬。

参试品种: 用近年新选育的青薯168号品系, 代号为82—6—5。

我们以影响马铃薯产量较大的因素密度(x_1)、行距(x_2)、N肥(x_3)、P肥(x_4)、K肥(x_5)为决策变量, 其设计水平见表1。

表1 变量设计水平及线性编码

变 量 名 称	变 化 区 间	变 量 设 计 水 平 (r=2)				
		-2	-1	0	1	2
密度 (x_1)	1000株/亩	1000	2000	3000	4000	5000
行距 (x_2)	15厘米	40	55	70	85	100
N肥 (x_3)	5公斤/亩	0	5	10	15	20
P肥 (x_4)	7.5公斤/亩	0	7.5	15	22.5	30
K肥 (x_5)	3.75公斤/亩	0	3.75	7.5	11.25	15

秋收时, 小区测产, 折算亩产量。并抽样10株考种, 考种项目为: 株高、茎粗、主茎数、分枝数、茎重、叶重、块数和单块重等, 加投资效益共计10余项。

2 试验结果及分析

根据设计原理, 试验的期望回归数学模

型为:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{j=1} b_j X_j + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1} b_{ij} X_j^2$$

2.1 产量与投资效益的关系

该试验调查的数量性状虽多, 但这里主要对产量及投资效益进行分析。现将小区实收称产, 并折合成亩产, 加上投资效益的结果列于表2。

表 2 产量与投资效益的关系

小区号	目 标 函 数					小区号	目 标 函 数					产量 (公斤/亩)	投资效益 (公斤/元)
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅		
1	-1	1	-1	-1	1	19	0	2	0	0	0	3041.10	42.68
2	1	1	-1	-1	-1	20	0	-2	0	0	0	2431.14	34.11
3	-1	-1	-1	-1	-1	21	0	0	2	0	0	2974.71	39.01
4	1	-1	-1	-1	1	22	0	0	-2	0	0	2396.08	36.17
5	-1	1	1	1	1	23	0	0	0	2	0	3181.95	38.92
6	1	1	1	1	-1	24	0	0	0	-2	0	2631.32	43.30
7	-1	-1	1	1	-1	25	0	0	0	0	2	2487.30	31.88
8	1	-1	1	1	1	26	0	0	0	0	-2	2525.72	39.17
9	-1	1	1	-1	-1	27	0	0	0	0	0	3103.00	43.56
10	1	1	1	-1	1	28	0	0	0	0	0	3090.69	40.08
11	-1	-1	1	-1	1	29	0	0	0	0	0	2855.56	47.06
12	1	-1	1	-1	-1	30	0	0	0	0	0	3303.33	43.53
13	-1	1	-1	1	-1	31	0	0	0	0	0	3064.00	43.01
14	1	1	-1	1	1	32	0	0	0	0	0	3045.56	42.74
15	-1	-1	-1	1	1	33	0	0	0	0	0	3381.11	47.45
16	1	-1	-1	1	-1	34	0	0	0	0	0	3132.23	43.93
17	2	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	3064.44	40.01
18	-2	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	3011.57	42.27

以表2产量和投资效益的结果为目标函数, 得出产量和投资效益对各设计变量的两组五元二次多项式回归模型, 并进行了显著性检验于表3。

由表3可知, 在产量和投资效益模型中, 失拟项都达到了极显著水准, 说明未控因子对试验结果有一定影响。但产量回归模型的可靠度大于75%, 说明各处理因素与产量间有着一定的关系; 投资效益回归模型的可靠度大于90%, 说明各处理因素与投资效益之间存在着真实的回归关系。二者的复相

关系数分别为R=0.822和R=0.895, 均达到极显著水准, 说明二次方程与实际拟合度好, 所建的回归方程可信度高, 方程可用, 故可做进一步分析。

e. 检验结果表明, 凡偏回归系数达到显著或极显著水准者, 说明该因素(或该交互相)对产量均有重要的影响。

产量与投资效益之间存在着一定的相关关系, 相关系数r=0.4016, 为正相关, 说明在一定条件下, 产量越高, 其投资效益就越好。

表 3 回归系数矩阵及显著性检验

回 归	系 数	产 量					投 资 效 益				
		模 型	自由度	F 值	t 值	显著性	模 型	自由度	F 值	t 值	显著性
一 次 项	t_0	2972.15			28.5936	0.01	41.70			29.5770	0.01
	b_1	117.36			1.7246	0.10	-3.53			3.8285	0.01
	b_2	-17.89			0.2629		0.51			0.5572	
	b_3	163.18			2.3979	0.05	0.28			0.3043	
	b_4	16.73			0.2458		-3.68			3.9884	0.01
	b_5	78.16			1.1486		0.18			0.1996	
交 互 项	b_{12}	46.11			22.3588	0.01	0.49			2.0506	0.05
	b_{13}	-183.55			89.0031	0.01	-1.27			5.3034	0.01
	b_{14}	1.63			0.7898		2.14			8.8944	0.01
	b_{15}	-52.39			25.4051	0.01	-1.18			7.5361	0.01
	b_{23}	-80.51			39.0384	0.01	-0.28			1.1814	
	b_{24}	29.44			14.2727	0.01	1.80			7.4892	0.01
	b_{25}	39.25			19.0306	0.01	-1.01			4.1844	0.01
	b_{34}	-121.81			59.0655	0.01	-2.86			11.8870	0.01
	b_{35}	75.94			36.8200	0.01	2.39			9.9457	0.01
	b_{45}	-232.65			112.8105	0.01	-2.02			8.4260	0.01
二 次 项	b_{11}	15.34			0.2603		0.40			0.5038	
	b_{22}	-35.23			0.5778		-0.61			0.7676	
	b_{33}	-47.91			0.8130		-0.81			1.0194	
	b_{44}	7.27			0.1234		-0.07			0.0816	
	b_{55}	-92.51			1.5698		-1.33			1.6653	
回 归 SS		3481812.614	20	1.5665		0.25	1240.94	20	3.04		0.05
剩 余	失拟	1450599.596	6	10.0543		0.01	264.08	6	9.31		0.01
	机误	216415.3094	9				42.57	9			
SS	总剩	1667014.9	15				306.65	15			
总 SS		5148827.514	35				1547.59	35			
复 相 关 系 数 R		0.822					0.895				

2.2 数学模型的解析

由于投资效益随产量结果的变化而变化, 并且方程的检验效果基本相似, 故仅用产量模型作如下分析。

产量数学模型:

$$\hat{y} = 2972.15 + 117.36 x_1 - 17.89 x_2 + 163.18 x_3 + 16.73 x_4 + 78.16 x_5 + 46.11 x_1 x_2 - 183.55 x_1 x_3 + 1.63 x_1 x_4 - 52.39 x_1 x_5 - 80.15$$

$$x_2x_3 + 29.44x_2x_4 + 35.25x_2x_5 - 121.91x_3x_4 - 75.94x_3x_5 - 232.65x_4x_5 + 15.34x_1^2 - 35.23x_2^2 - 47.91x_3^2 - 7.27x_4^2 - 92.51x_5^2 \dots \dots \dots (1)$$

2.2.1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲性编码代换, 其偏回归系数已标准化, 故可直接从其绝对值的大小来判断各因子对目标函数的相对重要性。因此, 5 因素对产量的影响大小程度, 线性项是: $x_3 > x_1 > x_5 > x_2 > x_4$ 。

由于试验设计对平方项进行了中心变换, 采取“降维法”, 即固定某 4 因素的自变量取值在适当的水平, (例如 0 水平), 导出另一自变量的偏回归子模型, 这就相当于在特定条件下所做的单因素试验, 通过对其解析, 不但可以了解自变量与目标函数的关系, 而且可以求得在特定条件下某一因子的最优水平。各因子与产量的偏回归子模型如下:

密度 $\hat{y}_1 = 2972.15 + 117.36x_1 + 15.34x_1^2$

行距 $\hat{y}_2 = 2972.15 - 17.89x_2 - 35.23x_2^2$
N肥 $\hat{y}_3 = 2972.15 + 163.18x_3 - 47.91x_3^2$ (2)
P肥 $\hat{y}_4 = 2972.15 + 16.73x_4 + 7.27x_4^2$
K肥 $\hat{y}_5 = 2972.15 + 78.16x_5 - 92.51x_5^2$

为了更进一步了解各个因素对产量的影响程度, 可将其在不同水平条件下对产量的具体影响进行分析。

将模型(1)中的 4 个因素固定在 1 水平, 得:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 2753.51 - 70.84x_1 + 15.34x_1^2 \\ \hat{y}_2 &= 2716.84 + 16.4x_2 - 35.23x_2^2 \\ \hat{y}_3 &= 2892.77 - 146.85x_3 - 47.91x_3^2 \\ \hat{y}_4 &= 2997.5 - 306.76x_4 + 7.27x_4^2 \\ \hat{y}_5 &= 2882.21 - 91.69x_5 - 92.51x_5^2 \end{aligned} \quad (3)$$

同理, 将模型(1)中的其它因素固定在(-1, -2, 2)水平时, 分别可以得出不同的子模型。将以上结果按不同因素汇总, 可得到表 4。具体分析如下:

a. 密度对产量的影响

将以上计算结果汇于表 4。

表 4 不同密度 (x_1) 对产量的影响

将 x_2 x_3 x_4 x_5 固 定 水 平	密 度 (x_1) 的 取 值 水 平				
	1000	2000	3000	4000	5000
	-2	-1	0	1	2
-2	-269.25	178.06	656.51	1165.61	1705.39
-1	1723.39	1982.93	2273.15	2594.05	2945.63
0	2798.79	2870.13	2972.15	3104.85	3268.23
1	2956.55	2839.69	2753.51	2698.01	2673.19
2	2919.67	1891.61	1617.23	1373.53	1160.51

由表 4 可知, 密度对产量的影响与其它 4 因素的定位有关, 其余各因素取 0 水平时, 随着密度的增加, 产量迅速增加; 各取 1 水平时产量呈下降趋势; 各取 -1 水平时产量迅速增加, 但总的看来取 0 水平时的产量高于其它水平。也就是说, 密度取在 3000 株/亩较为合适, 若上到 4000 株/亩, 产量则下降, 并且取值水平越高下降的越快。-1 水平虽随着取值水平的增高而产量增长的快, 但与

0 水平相比, 还有一定的差距、4 因素固定在 0 水平时, 密度也取 0 水平(3000 株/亩)时, 产量达到 3000 公斤/亩, 而 4 因素均固定在一 1 水平, 密度同样也在 0 水平(3000 株/亩)其产量仅 2300 公斤/亩, 故该试验设置的密度是比较合理的, 所取的中值与当前生产实际水平相符合。

b. 行距对产量的影响

单从行距看, 产量以 0 水平最高, 超出

0 水平产量就下降, 小于 0 水平产量也低。

当固定 4 因素在不同水平时, 其产量随着播种行距的变化虽有变异, 但变化幅度很小, 也就是说, 无论宽行、窄行, 对产量的影响都不大。但当行距固定时, 随着取值水平的增加, 产量逐步增加, 当 4 因素固定在 0 水平时产量达最高水平, 若固定水平超过 0 水平, 产量则会下降。总之, 行距在 0 水平 (70 厘米) 的条件下, 其它因素取 0 水平时的产量较高。

c. N 肥对产量的影响

N 肥对马铃薯的生长发育起着相当重要的作用。在该试验中, 当其它 4 因素固定在 0 水平和 -1 水平时, 其产量随着施量的增加而迅速增加; 当固定在 1 水平时, 产量随施氮量的增加而下降。

d. P 肥对产量的影响

P 肥对产量的作用也较大, 当其它因素固定在一 1 水平时, 产量随着施 P 量的增加而迅速增加; 当其它 4 因素固定在 0 水平时, 产量变化不大, 接近于平行线, 因此, 本着节约和降低成本, 提高效益的原则, P 肥的施用量在一 2 水平为好, 也就是说施 P 肥反而效益高, 因为施 P 肥和不施 P 肥的产量水平一样, 所以说, 该作物对 P 肥的需求量不大。当固定在 1 水平时, 产量随施 P 量的增加而下降。

e. 施 K 肥对产量的影响

马铃薯属喜 K 作物, 对 K 肥的需求量很大, 是产量形成的主因素要之一, 缺 K 不仅产量低, 而且病害严重。该试验将 K 肥的用量设置小于 N 肥和 P 肥, 其主要原因是青海土壤含 K 量高。但不等于不需施 K, 应因作物而异, 在青海含 K 量较高的地区种植马铃薯, 仍需补施适量的 K 肥为好。该试验证明, 每亩施 K 量以 8 公斤为好。

总之, 5 因素随着取值水平的不同而产量各异, 但固定水平均以 0 水平产量较高, 效果较好, 能代表当前大田生产水平, 理论

与实际相吻合, 说明回归方程可用。

2.2.2 交互效应分析

在我们设置的 5 因素试验里, 固定其中 3 个因素在 0 水平, 可分别得到 2 因素与产量的子模型。这里仅介绍部分交互项。

a. x_1 与 x_2 的交互作用分析

$$y_{(1,2)} = 2972.15 + 117.36x_1 + 15.34x_1^2 - 17.89x_2 - 35.23x_2^2 + 46.11x_1x_2 \quad (4)$$

结果表明, 密度较高时, 行距应加宽, 当密度取 2 水平, 行距也取 2 水平时, 产量最高。行距在 0 水平 (即 70 厘米) 以上的产量结果较好。

b. x_1 与 x_3 的交互作用分析

$$y_{(1,3)} = 2972.15 + 117.36x_1 + 15.34x_1^2 + 163.18x_3 - 47.91x_3^2 - 183.55x_1x_3 \quad (5)$$

N 肥用量与密度的关系为, 密度低时要加大 N 肥的用量, 以增加单株的营养面积, 提高单位面积产量。密度高时要少施 N 肥, 以免因 N 肥过多使通风透光不良, 产生密闭, 减少光合生产率, 导致减产。而高密高肥、既浪费肥料, 增加成本, 又达不到增产的效果。

c. x_2 与 x_3 的交互作用分析

$$y_{(2,3)} = 2972.15 - 17.89x_2 - 35.23x_2^2 + 163.18x_3 - 47.91x_3^2 - 80.51x_2x_3 \quad (6)$$

根据上式可以推论, 行窄时要加大 N 肥的用量, 行宽时要适当减少 N 肥的用量。但当行宽超过 0 水平时, N 肥的用量应在 1 水平以下为好, 若超过 1 水平, 则产量下降。

d. x_3 与 x_5 的交互作用分析

$$y_{(3,5)} = 2972.15 + 163.18x_3 - 47.91x_3^2 + 78.16x_5 - 92.51x_5^2 + 75.94x_3x_5 \quad (7)$$

高 N 高 K 是夺得马铃薯高产的必要条件, 二者配合施用的高产区均在 0 水平以上, 也就是说, 当 N 肥用到 10~20 公斤/亩, K 肥用到 7.5~15 公斤/亩时, 均可夺得高产, 当 N 肥, K 肥均施到 2 水平时, 其产量最高, 增产幅度较大。因此说, 在马铃薯施肥上, 应特别注意 N 肥和 K 肥的融合施用, 因为 N 肥可增

加单株营养面积, 提高叶绿素含量促进光合作用。K肥可起到促进物质转化、积累的作用。二者有机的融合, 定能夺得高产。

2.3 边际产量效应分析

由于各因素水平对产量的变化速率的影响各异, 有的快, 有的慢, 有的为正向影响, 有的为负向影响, 加之交互作用对产量的影响速率也较大, 因此, 有必要作进一步分析。

2.3.1 主因素边际产量效应分析

产量与自变量函数表达式:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

要得到产量随各因素水平值变化而增减的变率(速率), 可对模型求一阶偏导数。

$$\partial \hat{y} / \partial x_j = b_j + \sum b_{ij} x_j + 2b_{ij} x_j$$

经变换可求得下列子方程:

$$\partial \hat{y} / \partial x_1 = 1117.36 + 30.68x_1 + 46.11x_2 - 183.55x_3 + 1.63x_4 - 52.39x_5$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_2 = 17.89 - 46.11x_1 - 70.43x_2 -$$

$$80.51x_3 + 29.44x_4 + 39.25x_5$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_3 = 163.18 - 183.55x_1 - 80.51x_2 - 95.82x_3 - 121.91x_4 + 75.94x_5$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_4 = 16.73 + 1.63x_1 + 29.44x_2 - 121.93x_3 + 14.54x_4 - 232.65x_5$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_5 = 78.16 - 52.39x_1 + 39.25x_2 + 75.94x_3 - 232.65x_4 - 185.02x_5 \quad (8)$$

$\partial \hat{y} / \partial x_i$ 就称为马铃薯产量对自变量(因素)投入 x' 的边际值, 或称为 $\partial \hat{y} / \partial x_i$

是变量 y 对 x 的变化率, 所以, 将其它变量固定不同水平时, 边际产量效应是不同的。例如, 将各变量分别固定在 0 水平时, 其边际效应方程为:

$$\partial \hat{y} / \partial x_1 = 117.36 + 30.68x_1$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_2 = -17.89 - 70.43x_2$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_3 = 163.18 - 95.82x_3$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_4 = 16.73 + 14.54x_4$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_5 = 78.16 - 185.02x_5$$

将各因素固定在不同水平时 (-1, -2, 1, 2) 其产量变化速率汇于表 9。

表 5 不同水平各因素产量变化速率及位次排列

固定水平	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	因子位次
-2	56	122.97	354.82	-12.35	448.20	$x_5 > x_3 > x_2 > x_1 > x_4$
-1	86.68	52.54	259.00	2.19	263.18	$x_5 > x_3 > x_1 > x_2 > x_4$
0	117.36	-17.89	163.18	16.73	78.16	$x_3 > x_1 > x_5 > x_2 > x_4$
1	148.04	-88.32	67.36	31.27	-106.86	$x_1 > x_5 > x_2 > x_3 > x_4$
2	178.72	-158.75	-28.46	45.81	-291.88	$x_5 > x_1 > x_2 > x_4 > x_3$
平均速率 $\bar{S}_i$	117.36	-17.89	163.18	16.73	78.16	$x_3 > x_1 > x_5 > x_2 > x_4$

从表 5 看出, 由于 5 个水平的编码值的间距相等, 平均数值就等于 0 水平。因此, 将所有因素固定在 0 水平条件下, 所得的产量结果, 就完全可以代表各因素对产量的影响程度, 用中值 (0 水平) 来衡量各因素的主次关系, 也是合乎情理的。无论是 0 水平或是平均数位次排序, 均与一次项排序相同, 结果完全一致, 均为 $x_3 > x_1 > x_5 > x_2 > x_4$ 。所以说, 当回归方程建立后, 我们就可直

接根据其绝对值的大小来判定各因子对产量的影响程度, 以及影响速率的大小。行距越宽, N肥和K肥的用量过多, 每公斤肥料的增产效益就越低。

2.3.2 交互作用的边际产量效应分析

如果在 (8) 试验中固定某 3 个变量为 0 水平, 只留下两个变量来研究它们的边际产量效应的连应时, 情况又有了新的变化。

例如, 在 $\partial \hat{y} / \partial x_1 = 117.36 + 30.68x_1 +$

46.11 x_2 - 183.55 x_3 + 1.63 x_4 - 52.39 x_5 中, 得: $\widehat{\partial y / \partial x_1} = 117.36 + 30.68x_1$
 首先令某3个因素 x_3 、 x_4 、 x_5 为0水平时, $+ 46.11x_2$ (9)
 来分析 x_1 与 x_2 的连应。根据此式计算结果列于表6。

表6 x_1 与 x_2 的边际产量效应连应值

X_2		X_1				
		-2	-1	0	1	2
		1000	2000	3000	4000	5000
-2	40	-36.22	9.89	56	102.11	148.22
-1	55	-5.54	40.57	86.68	132.79	178.90
0	70	25.14	71.25	117.16	163.47	209.58
1	85	55.82	101.93	148.04	194.15	240.26
2	00	186.50	132.61	178.72	224.83	270.94

从表6可知, 当行距一定时, 随着密度的增加, 产量的变化速率随之增高; 当密度一定时, 产量变率随行距的加宽而增加; 当2因素均取2水平时, 其产量变率最高。

令某3个因素 x_2 、 x_4 、 x_5 为0水平时,

分析 x_1 与 x_3 的连应。由(8)式可得:

$$\widehat{\partial y / \partial x_1} = 117.36 + 30.68x_1 - 138.55x_3 \quad \text{.....(10)}$$

由(10)式可得表11。

表7 x_1 与 x_3 的边际产量连应值

X_3		X_1				
		-2	-1	0	1	2
		1000	2000	3000	4000	5000
-2	0	423.10	239.55	56.00	-127.55	-311.10
-1	5	453.78	270.23	86.68	-96.87	-280.42
0	10	484.46	300.91	117.36	-66.19	-249.42
1	15	515.14	331.59	148.04	-35.51	-219.06
2	20	545.82	262.27	178.72	-4.83	-188.38

从表11可知, 当密度一定时, 随着N肥用量的增加, 产量在迅速增加并且变化速率较大; 当N肥用量一定时, 随着种植密度的增加, 产量急剧下降, 密度越高, 其产量越低。

3 计算机模拟寻优

对该试验资料在PC-1500型袖珍电子计算机上进行了模拟仿真寻优试验, 单对产量这一目标函数, 就可算出3125个回归方程, 这就等于在田间进行了3125次重复试

验。在该试验范围内, 将产量间距按500公斤计算, 可得到5套不同水平的优化方案。见表8。

不同产量指标有着不同的密度、行距位置以及不同的施肥水平。优选方案占频数最高的在2500~3000公斤/亩范围, 占总次数的29.47%, 可以说落在该区间的产量水平较可靠, 接近于该试验的平均产量水平。另外、高产指标在4000~4500公斤/亩之间的频数分布仅占4%, 说明要达到该产量, 是比较困难的。

表8 不同产量指标的优化方案

编号	产量指标 (公斤/亩)	密度 (株/亩)	行距 (厘米)	N 肥 (公斤/亩)	P 肥 (公斤/亩)	K 肥 (公斤/亩)	分布 频 次	产量 预 测 $\bar{x} \pm s$
0	2000以下	—	—	—	—	—	579	1494.42±443.35
1	2000—2500	2000	100	5	22.5	0	613	2271.96±317.64
2	2500—3000	3000	70	10	15	7.5	921	2762.04±704.56
3	3000—3500	4000	55	15	7.5	7.5	639	3218.04±662.96
4	3500—4000	5000	85	20	0	11.25	243	3708.59±341.59
5	4000—4500	5000	70	20	15	15	125	4428.72±246.84

4 结论与讨论

a. 对马铃薯产量与投资效益两个目标函数分别进行了5个因素(密度,行距、N肥、P肥、K肥)农艺措施的数学模型分析,其复相关系数为 $R=0.822$ 和 0.895 ,分别达到了极显著水准。

b. 5因素对产量的影响各有不同,线性项是N肥 $x_3 >$ 密度 $x_1 >$ K肥 $x_5 >$ 行距 $x_2 >$ P肥 x_4 ,二次项是K肥 $>$ N肥 $x_3 >$ 行距 $x_2 >$ 密度 $x_1 >$ P肥 x_4 。因此,两项结合在一起,则说明N、K肥在马铃薯增产中起着重要的作用。特别是K肥对马铃薯的增产作用较大,就是在青海含K量较高的地区仍有明显的增产作用,那种说“青海土壤含K量高,不需施K”的说法是不符合客观事实的,应根据该作物对K肥的需求量来确定,应对喜K的马铃薯作物仍需施K。特别是N、P、K融合使

用,不能使该作物夺得高产。

从交互项看,因素与因素之间对产量既有着相互影响(相互制约、相互促进)的作用,又有着共同的贡献作用,不只不过是作用(贡献)大小而异。研究交互作用,了解性状与性状间的相互关系也是很有必要的。

c. 经计算机选优,各个不同的组合方案落于2500~3000公斤/亩的频率最高,占总数的29.47%。计算机起到了田间试验的重复作用。

d. 由于影响产量的因素较多,是一个复杂的系统,本研究从5项主要农艺措施入手,初步看来效果较明显,有一定的应用价值,为使结果日趋完善,还需进一步进行信息反馈和模型验证。

参 考 文 献

[1] 黄文涛等. 蚕豆丰产栽培综合研究报告. 青海农林科技. 1986, 2: 1~11.

A STUDY ON THE MATHEMETICAL MODEL OF POTATO CULTURAL PRACTICES FOR HIGH TUBER YIELD

Zhang Yongcheng, Xie Lianmei, Lu Mancang and Xin Yanpin
(Crop Research Institute, Qinghai Academy of Agricultural Sciences)

ABSTRACT

The effect of five factors, density(x_1), inter-row distance(x_2), N(x_3), P(x_4) and K(x_5) fertilizers, on the tuber yield was analysed using systematic engineering

(下转96页)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年 平 均	备 注
日 照 (小时)	232.4	206.0	227.4	205.9	192.9	153.2	150.7	155.6	160.4	162.6	202.7	232.7	2276.6	
平均气温 (°C)	8.7	10.6	13.4	16.2	18.5	19.9	20.1	19.3	18.1	15.3	11.6	8.1	15.1	
降 水 量 (毫米)	16.8	25.5	32.1	20.3	66.7	187.9	179.3	229.0	157.4	116.9	34.6	12.4	1078.9	
作 物 组 合 (1)	冬 马 铃 薯				水 稻				冬 马 铃 薯					
收 种	小 菜								小 菜					
节 令	收 春 分				收 立 夏				收 寒 露				种 冬 至	
作 物 组 合 (2)	小 麦				玉 米				秋 马 铃 薯				小 麦	
收 种	收 立 夏 前				种 立 秋 前				收 立 冬 前				种 立 冬 后	
节 令					收 小 满				收 白 露				收	
作 物 组 合 (3)	冬 马 铃 薯				西 瓜				大 白 菜				冬 马 铃 薯	
收 种	萝卜								萝卜					
节 令	收 春 分				收 清 明				收 处 暑				种 大 雪	

(上接86页)

principles and methods. The results obtained were summarized as follows:

1. The sequence of the effect of the five factors on tuber yield was as follows: N fertilizer (x_3) > density (x_1) > K fertilizer (x_5) > inter-row distance (x_2) > P fertilizer (x_4).

2. The multiple correlation coefficients of tuber yield and investment benefit with the five factors were 0.822 and 0.895 respectively. The correlation coefficient of tuber yield with investment benefit was 0.4016, suggesting that the benefit investment increased with the tuber yield;

3. 2500~3000 kg/mu can be obtained at 29.47% of the highest probability. The combination of five factors was density(x_1)=3000 plants/mu, inter-row distance (x_2)=70cm, N fertilizer(x_3)=10kg/mu, P fertilizer(x_4)=15kg/mu and K fertilizer (x_5)=7.5kg/mu;

4. The highest tuber yield goal was 4000~4500kg/mu at 4% of the probability. The combination was density(x_1) inter-row distance(x_2)=70cm, N fertilizer(x_3)=20kg/mu, P fertilizer(x_4)=15kg/mu and K fertilizer(x_5)=15kg/mu