

马铃薯栽培综合农艺措施 数学模型及优化方案研究

杜守宇 田恩平 黄广龙

(宁夏回族自治区固原县农业技术推广中心)

提要 本试验运用五元二次回归正交旋转组合设计,对影响马铃薯生产的密度、农肥、N肥、P肥及K肥五项主要因素进行试验。建立鲜薯产量等六项目标函数数学模型,明确了影响鲜薯产量的主要因素为:N肥、农肥和密度。密度与N肥、农肥与N肥、农肥与K肥、N肥与P肥对鲜薯产量有明显的交互作用。同时找出了实现高产、优质、低耗和不同鲜薯产量水平的农艺组合方案。

为了提高马铃薯的产量,寻求高产、优质、低耗的栽培方案,本试验根据系统工程的原则和方法,选择影响马铃薯生产的主要农艺措施进行研究。通过田间试验获得参数,建立数学模型,解析模型,求得各因素的主次关系、因素间交互作用,通过频率分析,找出了最优农艺措施组合方案。经1990年2乡5村18个示范点的实践应用检验效果良好。

试验设计及实施

本试验采用五元二次回归正交旋转组合设计,于1989年在城郊大堡村进行,供试品种渭薯一号。选择与马铃薯高产、优质、低

耗关系密切的五项农艺措施为决策变量,以鲜薯产量、淀粉含量、投资效益、淀粉产量、单株结薯数和单薯重六项指标为目标函数。其决策变量设计水平见表1。试验设36个小区,小区面积20m²。全部小区分三个正交区组,区组内随机排列。除考察因素外,其它措施同当地习惯。

表1 变量设计水平及编码

变量名称	变化 间距	变量水平 (r=2)				
		-r	-1	0	1	r
x ₁ 密度(株/亩)	1000	2000	3000	4000	5000	6000
x ₂ 农肥(公斤/亩)	1000	0	1000	2000	3000	4000
x ₃ 氮肥(公斤/亩)	2.5	0	2.5	5.0	7.5	10.0
x ₄ 磷肥(P ₂ O ₅ 公斤/亩)	3.25	0	3.25	6.50	9.75	13.00
x ₅ 钾肥(K ₂ O公斤/亩)	2.75	0	2.75	5.50	8.25	11.00

注: x₂基施, x₃ 3/5种施, 2/5追施, x₄、x₅种施。

结果统计及模型确定

36个小区目标函数的试验结果见表二。

按照二次回归方程的一般模型:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^5 b_{1i} x_i + \sum_{i < j} b_{11j} x_i x_j + \sum_{i=1}^5 b_{11i} \cdot x_i^2$$

对表二中六个目标值进行多元回归方程拟合,得一组五元二次回归方程,其系数矩阵

见表三。表三表明,各目标函数的回归方程均无失拟因素存在,并均达显著或极显著水准。说明所建立的诸方程可以反映相应目标函数与决策变量间的相互关系,利用该组方程可以进行目标函数预报。

模型解析

分析已求得的模型,有助于明确各考察因素的贡献主次,便于把握生产中的主要矛盾,

同时还可揭示各因素间的内部联系。限于篇幅,现仅对鲜薯产量模型解析如下。

1. 各因子主效应分析 单因子主效应是指在其它因子取零水平时该因子的作用程度。从一次项看,五个因素对鲜薯产量影响大小顺序为: $x_3 > x_2 > x_1 > x_5 > x_4$, 二次项上, $x_3 > x_1 > x_2 > x_4 > x_5$ 。无论一次项还是二次项, N 肥对产量的影响最大, 农肥与密度次之, K、P 肥较小。由此可见, 在本试验限定条件下, 欲实现较高产量, N 肥、

表二 试验结构矩阵及目标函数结果

小区号	结构矩阵					目标函数					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_a 鲜薯产量 (公斤/亩)	y_b 淀粉含量 (%)	y_c 投资效益 (公斤/元)	y_d 淀粉产量 (公斤/亩)	y_e 单株结薯数 (个)	y_f 单薯重 (克)
1	-1	-1	-1	-1	1	1303.36	15.28	28.80	199.15	4.2	111.2
2	-1	-1	-1	1	-1	1666.70	15.19	34.08	253.17	5.6	97.8
3	-1	-1	1	-1	-1	1666.70	14.56	35.01	242.67	5.2	111.7
4	-1	-1	1	1	1	1805.04	15.66	31.20	282.67	7.2	85.5
5	-1	1	-1	-1	-1	1138.36	15.79	27.14	179.75	3.5	101.7
6	-1	1	-1	1	1	2055.04	17.11	39.37	351.62	7.8	112.8
7	-1	1	1	-1	1	2888.39	17.77	56.74	513.27	6.0	112.3
8	-1	1	1	1	-1	1945.04	16.72	35.65	325.21	6.6	114.5
9	1	-1	-1	-1	-1	1666.70	14.79	34.76	246.50	4.3	102.8
10	1	-1	-1	1	1	2083.38	16.91	35.80	352.30	5.2	95.5
11	1	-1	1	-1	1	1805.04	17.66	31.72	307.94	3.1	88.2
12	1	-1	1	1	-1	1583.37	15.52	26.15	245.74	5.5	90.5
13	1	1	-1	-1	1	2166.71	17.56	42.28	380.47	5.0	90.5
14	1	1	-1	1	-1	1888.37	15.85	34.40	299.31	5.1	102.2
15	1	1	1	-1	-1	2221.71	14.19	41.44	315.26	5.6	129.6
16	1	1	1	1	1	2228.38	16.83	34.89	375.04	5.6	100.0
17	-2	0	0	0	0	1388.36	16.00	29.60	222.14	6.1	106.7
18	2	0	0	0	0	1888.37	16.00	32.06	302.14	5.1	97.2
19	0	-2	0	0	0	2138.38	14.36	40.42	307.07	5.6	91.6
20	0	2	0	0	0	2361.71	16.66	44.64	393.46	6.4	92.6
21	0	0	-2	0	0	1061.69	16.48	22.46	174.97	5.0	93.0
22	0	0	2	0	0	1945.04	14.50	33.21	282.03	4.7	125.7
23	0	0	0	-2	0	1778.37	16.01	38.70	284.72	4.9	93.3
24	0	0	0	2	0	1850.71	15.15	30.92	280.38	6.1	97.2
25	0	0	0	0	-2	1921.71	15.79	38.74	303.44	5.2	95.4
26	0	0	0	0	2	1721.70	18.60	30.63	320.04	5.8	107.1
27	0	0	0	0	0	2178.37	16.00	41.17	348.54	6.2	114.0
28	0	0	0	0	0	1805.04	16.30	34.12	294.22	5.6	111.2
29	0	0	0	0	0	1805.04	15.91	34.12	287.18	4.7	107.3
30	0	0	0	0	0	2221.71	16.77	41.99	372.58	4.6	121.8
31	0	0	0	0	0	1945.04	15.09	36.76	293.51	4.9	109.0
32	0	0	0	0	0	2055.04	14.93	38.84	306.82	5.3	93.9
33	0	0	0	0	0	1945.04	17.15	36.76	333.57	5.5	103.6
34	0	0	0	0	0	2100.05	15.85	39.69	332.86	6.5	107.3
35	0	0	0	0	0	2221.71	15.99	41.99	355.25	6.5	118.0
36	0	0	0	0	0	2221.71	16.00	41.99	355.47	5.2	111.7

表三

数学模型的回归系数矩阵

项目	指标	回归系数					
		\hat{y}_a	\hat{y}_b	\hat{y}_c	\hat{y}_d	\hat{y}_e	\hat{y}_f
线性项	b_0	2036.9845	16.0073	38.4989	325.3209	5.5228	109.5044
	b_1	90.6271*	0.0263	-0.0679	13.9604(*)	-0.3825*	-2.7958
	b_2	141.5988**	0.4771**	2.6179**	32.6071**	0.2708	3.4292(*)
	b_3	164.2396**	-0.1721	1.5696*	23.3188**	0.1458	3.4708(*)
	b_4	22.6263	0.0446	-1.7463*	3.8071	0.5875**	-1.7292
	b_5	89.9321*	0.7163**	0.6646	28.6854**	0.1625	-1.3042
交互项	b_{12}	-13.6469	-0.4094*	-0.3269	-10.9119	0.0938	0.6313
	b_{13}	-131.7731*	-0.1781	-2.6406**	-25.9206**	-0.2313	1.0583
	b_{14}	-34.4794	0.0144	-0.7231	-3.4756	-0.3063	0.2063
	b_{15}	-44.4794	0.2781	-1.0181	-2.3106	-0.3688(*)	-2.9313
	b_{23}	118.4394*	-0.0894	2.1806*	18.1081*	0.0438	5.0313*
	b_{24}	-62.1894	-0.0244	-1.2644	-10.9494	-0.1063	2.5063
	b_{25}	108.2306*	0.1169	2.3206*	21.6806*	0.2313	-0.6313
	b_{34}	-152.3981**	-0.0310	-2.9806**	-25.0631**	-0.1063	-3.3438
	b_{35}	3.8544	0.0681	0.0269	2.8269	-0.2938	-4.1063(*)
	b_{45}	-23.8544	-0.3194(*)	-0.6381	-11.1531	0.2063	2.0188
二次项	b_{11}	-80.6791*	0.0118	-1.5580*	-11.9872(*)	-0.0010	-1.1380
	b_{22}	72.2409*	-0.1107	1.3670*	10.0441(*)	0.0990	-3.6005*
	b_{33}	-114.4291**	-0.1157	-2.3068**	-20.3972**	-0.1885	0.7120
	b_{44}	-36.6354	-0.0932	-0.5630	-6.8847	-0.0260	-2.8130(*)
	b_{55}	-34.8441	0.3106*	-0.5943	0.4378	-0.0260	-1.3130
SS _回		3594385.02	29.2462	1111.4247	125792.28	24.2271	2840.55
SS _剩	SS _{失拟}	451308.47	2.2416	164.3183	12681.72	1.8651	803.29
	SS _{误差}	249506.08	4.0091	89.0344	8406.59	4.4400	517.72
SS _总		4295199.57	35.4969	1364.7774	146880.57	30.5322	4161.56
显著性 (a)		0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05
复相关系数 (R)		0.91	0.91	0.90	0.93	0.89	0.83

注: a=0.01显著**, a=0.05显著*, a=0.10显著(*)

农肥施用量和密度是生产上需要重点控制的因子。采用“降维法”，固定四个因子在零水平，看另一因子对产量的总体效应，分别得到下列子模型：

$$\hat{Y}_{a1} = 2036.9845 + 90.6271x_1 - 80.6791x_1^2$$

$$\hat{Y}_{a2} = 2036.9845 + 141.5988x_2 + 72.2409x_2^2$$

$$\hat{Y}_{a3} = 2036.9845 + 164.2396x_3 - 114.4291x_3^2$$

$$\hat{Y}_{a4} = 2036.9845 + 22.6263x_4 - 36.6354x_4^2$$

$$\hat{Y}_{a5} = 2036.9845 + 89.9321x_5 - 34.8441x_5^2$$

它们的导数分别是，

$$Y_{x1}' = 90.6271 - 161.3582x_1$$

$$Y_{x2}' = 141.5988 + 144.4818x_2$$

$$Y_{x3}' = 164.2396 - 228.8582x_3$$

$$Y_{x4}' = 22.6263 - 73.2708x_4$$

$$Y_{x5}' = 89.9321 - 69.6882x_5$$

依据上式，可得出各因子在不同水平上对鲜薯产量的增减速率，在-2~0水平时增加密度，增施N及P肥，在-2~1水平增施肥均有增产效果，而且水平越低增产效果越大。

但当 x_1 、 x_3 、 x_4 和 x_5 分别超过0.56、0.72、0.31和1.29水平时开始减产,并有水平越高减产越多的趋势。 x_2 在0~2水平时增加用量有增产效果,且呈水平越高增产越大之趋势。

2. 交互效应分析 主因子效应分析只反映在特定条件下各因子的简单效应。事实上各因子对鲜薯产量的作用不是独立的,它们之间还存在交互作用。本试验中两因子交互作用显著的有 x_1x_3 、 x_2x_3 、 x_2x_5 、 x_3x_4 四组。以鲜薯产量为目标函数,在其方程中固定其它三个因子为零水平,得各组因子交互作用的联立关系式分别为:

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{013} = & 90.6271x_1 + 164.2396x_3 \\ & - 131.7731x_1x_3 - 80.6791x_1^2 \\ & - 114.4291x_3^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{023} = & 141.5988x_2 + 164.2396x_3 \\ & + 118.4394x_2x_3 + 72.2409x_2^2 \\ & - 114.4291x_3^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{025} = & 141.5988x_2 + 89.9321x_5 \\ & + 108.2306x_2x_5 + 72.2409x_2^2 \\ & - 34.8441x_5^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{034} = & 164.2396x_3 + 22.6263x_4 \\ & - 152.3981x_3x_4 - 114.4291x_3^2 \\ & - 36.6354x_4^2\end{aligned}$$

由上式计算各组因子交互作用对鲜薯产量的影响。其中表现增产的联因作用有, x_1 取1水平 x_2 取0水平及 x_1 取-1、0水平 x_3 取1水平; x_2 取2水平 x_3 取-1水平, x_2 取-2水平 x_3 取0水平, x_2 取0水平 x_3 取1水平及 x_2 取1、2水平 x_3 分别取0、1、2水平; x_2 和 x_5 各取0、1、2水平; x_3 取1、2水平 x_4 分别取-2、-1水平, x_3 取1水平 x_4 取0水平。上列结果表明,适度的低密高N或高密低N、增大农肥后配合增施无机N、增施农肥配合增K及适量施P等都是夺取高产的必要条件。

农艺方案寻优

根据所建立的模型,在 $-2 \leq x_i \leq 2$ 区间内,以鲜薯产量高于2000公斤/亩、淀粉含量高于16.5%、投资效益高于40公斤/元为约束条件,取各变量的步长为1,应用微机模拟寻优,得到336套优化方案,占设计总数的10.75%,其主因子的分布频率如表四。

表 4 优化方案主因子分布频率

变 量		x_1 (密度)		x_2 (农肥)		x_3 (N)		x_4 (P_2O_5)		x_5 (K_2O)	
		次 数	频 率	次 数	频 率	次 数	频 率	次 数	频 率	次 数	频 率
自 变 量 水 平	-2	91	0.271	14	0.042	13	0.039	86	0.256	16	0.048
	-1	87	0.259	8	0.024	45	0.134	88	0.262	14	0.042
	0	69	0.205	30	0.089	90	0.268	79	0.235	40	0.119
	1	49	0.146	99	0.095	103	0.307	51	0.152	122	0.363
	2	40	0.119	185	0.551	85	0.253	32	0.095	144	0.429
合 计		336	1	336	1	336	1	336	1	336	1
平均编码		-0.417		1.289		0.601		-0.432		1.083	
标 准 误		0.073		0.055		0.061		0.070		0.058	
95%置信区间		-0.560—-0.274		1.181—1.397		0.481—0.721		-0.569—-0.295		0.969—1.197	
农艺措施		3440—3726株/亩		3180—3397公斤/亩		6.20—6.80公斤/亩		4.65—5.54公斤/亩		8.16—8.79公斤/亩	

由表四看出,满足于约束条件的主因子最佳水平是:密度3440~3726株/亩,农肥

3180—3397公斤/亩,纯N6.20—6.80公斤/亩, P_2O_5 4.65~5.54公斤/亩, K_2O 8.16~

8.79公斤/亩。该区段平均鲜薯产量达2769.95公斤/亩，淀粉含量17.84%，投资效益52.57公斤/元。

生产上大面积种植时往往受某些物质条件或气候因子的限制，不易满足上述“三

高”要求。为广泛适应各种栽培水平，发挥最大效益，找出了不同鲜薯产量水平下的农艺组合方案（表五），执行时应根据具体情况适当调整或参照实施。（参考文献略）

表 5 不同鲜薯水平的农艺方案

产量水平 (公斤/亩)	农 艺 措 施					分 布 频 率	平均产量预测 (公斤/亩)
	密度 (株/亩)	农肥 (公斤/亩)	N (公斤/亩)	P ₂ O ₅ (公斤/亩)	K ₂ O (公斤/亩)		
$y_a \geq 2750$	3754	3637	7.85	3.82	8.31	171	3186.52
$2500 \leq y_a < 2750$	4120	3077	6.54	5.97	6.56	117	2544.44
$2250 \leq y_a < 2500$	4318	2706	5.62	6.61	6.06	201	2261.87
$2000 \leq y_a < 2250$	4268	2297	5.18	7.48	5.79	313	2116.18

春季大棚早熟黄瓜定植后的追肥方法

由于黄瓜根浅，好氧，喜湿怕涝不耐旱，喜肥不耐肥等特性，追肥时要掌握“少吃多餐”的原则。

1. 定植后到根瓜膨大期。黄瓜定植后，对于营养条件要求十分严格，缓苗后秧苗开始迅速生长，所以要求较充足的养分。在定植两周后，每隔7—10天追一次肥，每亩地施入腐熟人粪尿15—20公斤。到根瓜膨大时，需N肥较多，要施入尿素，其用量是每亩10公斤。

2. 根瓜收获后。此期大追肥，每亩施入充分腐熟的饼肥100公斤、硫酸钾10公斤，开沟施入。如果此期每隔3—4天喷一次磷酸二氢钾，可保证全生育期不发病。

3. 盛果期。此期由于营养生长和生殖生长并旺，为保证两“生长”的平衡，防止营养体早衰及提高产量，此期要结合灌水追肥。具体做法是每浇两次水追一次肥，即每隔七天追一次肥，每亩施入尿素7.5公斤。在此期防病时也可结合喷药加入0.2%的磷酸二氢钾。

4. 后期追肥。由于黄瓜根系木栓化早而迅速，再生能力差，在其生长后期，根系已经老化，丧失了吸收能力，所以此期要进行多次根外追肥。每隔3—4天用0.2%尿素、0.2%磷酸二氢钾喷施于叶面，也可用0.5%过石浸出液，10%小灰浸出

液，或用复合肥0.1%进行喷施，一般在傍晚进行喷施至叶面滴水为止。根外追肥下仅起到追肥作用，而且能使叶的表皮保护组织变硬，叶片增厚，延长叶寿命，提高光合和抗病能力。

5. CO₂施肥。用CO₂追肥，能提高光合，促进早熟生产。目前采用的简便易行的方法主要有以下几种：

(1) 在苗床底下提前铺入残碎的植物体及腐物，发酵时释放出的CO₂起到施肥作用。

(2) 在大棚内设几个大缸，装入腐败发酵的动植物体，以散发出CO₂。

(3) CO₂发生器。将废旧的玻璃罐头瓶挂在大棚内，每10平方米挂一个，里面装入的药物按照：稀硫酸：碳酸氢铵=1:1的比例配好，它们发生化学反应释放出CO₂，此法简便易行且很有效。

另外，大棚黄瓜追肥时一定要结合灌水进行，以保证肥水无缺，促进生长发育。（吉林省农业学校园艺科 路佰文 1991年3月27日 邮政编码132101）

请读者注意：

《北方园艺》从1992年起改为双月刊开16开本64页每期定价2.00元，全年6期12元全国各地邮局均可订阅，邮发代号14—150，请协助宣传。

本刊编辑部

(总74) 17