

脱毒马铃薯“坝薯9号”水地丰产栽培 综合农艺措施数学模型的研究

王登社 郭振国

(河北省张家口地区坝上农科所)

摘 要

本试验应用系统工程的原理和方法, 在给水条件下, 以影响马铃薯产量较大的5个可控主栽因子为决策变量, 以产量指标为目标函数, 进行田间试验。通过电脑分析绘图, 明确了各项农艺措施的主次作用及交互作用, 建立了综合农艺措施数学模型, 筛选出亩产大于3500公斤的最佳农艺措施组合方案, 经张家口市姚家庄乡进行大面积验证, 证实了该模型的实际效果。

1 前 言

“坝薯9号”是我所“七五”期间育成的中早熟、高产马铃薯新品种, 1987年2月通过了河北省品种审定委员会审定, 1990年1月通过了国家品种审定委员会审定, 并于1991年7月获得张家口地区科技进步一等奖。该品种脱毒薯在生产上推广应用面积不断扩大, 占全省区马铃薯面积的52.7%。其主要优点是: ①生育期短, 块茎形成早, 膨大快, 块茎平均日增重9克以上; ②产量高, 增产潜力大, 商品率高; ③抗病性强, 抗PVX、PVY, 对晚疫病具有水平抗性; ④品质好, 淀粉含量14%, Vc含量为20.25毫克/100克鲜薯。该品种适宜在生育前期雨水较多或有水浇条件的一季作区和二季作区春播及间套作种植。截至1990年, 河北、山东、山西、北京、河南、内蒙古等省、市、自治区已累计推广种植103.9万亩, 其中有水浇条件的高肥水土壤面积占40%, 其平均亩产为1800~2200公斤。

有关马铃薯综合农艺措施数学模型的研究, 国内曾多次报道过, 但在水浇条件下, 探讨高额丰产栽培综合农艺措施的研究却甚少。本研究以脱毒马铃薯“坝薯9号”为试材, 于1989~1990年开展了此方面的研究工作, 并取得了一定进展。

2 材料与方法

2.1 材料

以“坝薯9号”脱毒原原种小整薯(50~100克)作种, 种薯完全一致。

2.2 方法

以影响马铃薯产量较大的因素密度(x_1)、农肥(x_2)、氮肥(x_3)、磷肥(x_4)和钾肥(x_5)为决策变量, 其设计水平如表1。

试验采用5因素5水平二次通用回归旋转设计, 1/2实施。全部试验一字排开,

每隔 9~10 个小区增设 1 个对照 (常规播种, 密度行距为 50 厘米, 株距 40 厘米, 不施肥), 以控制土壤差异, 共设 36 个小区, 区长 8 米, 宽 1.5 米, 四周设置保护行。

表 1 自变量水平编码(穴/亩, kg/亩)

X_{aj}	密 度	农 肥	N	P_2O_5	K_2O
2	6 000	5 000	10	15	10
1	5 000	4 000	8	12	8
0	4 000	3 000	6	9	6
-1	3 000	2 000	4	6	4
-2	2 000	1 000	2	3	2
Δi	1 000	1 000	2	3	2

控制密度以固定行距 (50 厘米), 调整株距。氮肥用含 N17% 的碳酸铵, 磷肥用含 P_2O_5 15% 的过磷酸钙, 钾肥用含 K_2O 51% 的硫酸钾, 农肥用腐熟的羊厩肥与细风沙土均匀混合后的合成肥。施用方法

全部基施, 方式是一半穴施, 一半垄间混施。

试验地地力均匀一致, 前茬豌豆, 0~30 厘米土层养分含量为: 有机质 1.771%, 全 N0.107%, 全 P_2O_5 0.150%, 全 K_2O 1.976%, 速 N115ppm, 速 P_2O_5 10.0ppm, 有效 K_2O 263ppm, pH 值 8.3。

3 试验结果与分析

3.1 产量结果与数学模型的建立

32 个试验小区及 4 个附区的产量结果列于结构矩阵中。由结果可知, 32 个试验小区中, 产量低于 3 000 公斤的有 5 个小区, 产量在 3 000~3 500 公斤的有 21 个小区, 产量高于 3 500 公斤的有 6 个小区。

表 2 试验结构矩阵及产量结果

区 号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	亩产量 (公斤/亩)	区 号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	亩产量 (公斤/亩)
1	-1	-1	-1	-1	1	2 509.6	17	2	0	0	0	0	3 149.0
2	1	-1	-1	-1	-1	2 807.9	18	-2	0	0	0	0	2 962.9
3	-1	1	-1	-1	-1	3 579.6	19	0	2	0	0	0	3 956.3
附区 1						2302.9	20	0	-2	0	0	0	2 903.5
4	1	1	-1	-1	1	3 075.2	附区 3						2 231.2
5	-1	-1	1	-1	-1	2 666.2	21	0	0	2	0	0	3 322.9
6	1	-1	1	-1	-1	3 485.2	22	0	0	-2	0	0	3 032.4
7	-1	1	1	-1	1	3 204.6	23	0	0	0	2	0	3 648.0
8	1	1	1	-1	-1	3 520.7	24	0	0	0	-2	0	3 531.8
9	-1	-1	-1	1	-1	3 334.1	25	0	0	0	0	2	3 580.7
10	1	-1	-1	1	1	3 500.2	26	0	0	0	0	-2	3 122.9
11	-1	1	-1	1	1	3 239.1	27	0	0	0	0	0	3 386.8
12	1	1	-1	1	-1	3 392.9	28	0	0	0	0	0	3 446.3
13	-1	-1	1	1	1	3 204.6	29	0	0	0	0	0	3 225.7
附区 2						2 069.0	附区 4						2 525.1
14	1	-1	1	1	-1	3 300.2	30	0	0	0	0	0	3 336.8
15	-1	1	1	1	-1	3 446.2	31	0	0	0	0	0	3 292.4
16	1	1	1	1	1	3 369.6	32	0	0	0	0	0	3 315.7

根据矩阵表和试验结果, 在 TC-0520 计算机上直接运算, 获得了水地脱毒“坝薯

9 号”各参试因子 (代码值) 与产量 ($\hat{Y}$) 的五元二次回归模型:

$$\begin{aligned}\hat{Y} = & 3350.4159 + 68.3333x_1 + 171.9000x_2 + 55.8249x_3 + 90.4333x_4 + 18.9917x_5 \\ & - 93.1375x_1x_2 + 65.0125x_1x_3 - 36.8875x_1x_4 + 79.8000x_1x_5 - 15.6250x_2x_3 \\ & - 112.6500x_2x_4 - 102.6375x_2x_5 - 65.6250x_3x_4 + 70.0625x_3x_5 + 8.7350x_4x_5 \\ & - 85.9659x_1^2 + 7.5216x_2^2 - 55.5409x_3^2 + 47.5216x_4^2 - 12.0034x_5^2\end{aligned}\quad (1)$$

对回归模型(1)在微机上进行检验, 结果为:

$$F_{\text{总}} = 31, Q_{\text{总}} = 2678396.75;$$

$$F_{\text{剩}} = 11, Q_{\text{剩}} = 228673.12;$$

$$F_{\text{回}} = 20, Q_{\text{回}} = 2449723.63;$$

$$F_{\text{误}} = 5, Q_{\text{误}} = 39201.3594;$$

$$F_{\text{拟}} = 6, Q_{\text{拟}} = 189471.7656;$$

$$F_1 = 4.0277 < F_{0.05}(6, 5) = 4.95;$$

$$F_2 = 5.8920 > F_{0.01}(20, 11) = 4.10.$$

F 检验结果表明, 回归模型与实际情况拟合得较好, 所以对回归模型各项系数进行 t 检验, 结果见表 3。

表 3 回归模型各回归系数显著性检验结果

回归系数	t 值	回归系数	t 值
b_0	109.9249***	b_{24}	5.8963**
b_1	4.3810**	b_{25}	5.3728**
b_2	10.6273***	b_{34}	3.3452*
b_3	3.5798*	b_{35}	3.6679*
b_4	5.7968**	b_{45}	0.4580
b_5	1.2171	b_{11}	6.0927**
b_{12}	4.8748**	b_{12}	0.5323
b_{13}	3.4035*	b_{33}	3.9369*
b_{14}	1.9303	b_{44}	3.3674*
b_{15}	4.1768**	b_{55}	0.8508
b_{23}	0.8179		

$$t_{0.05} = 2.571; t_{0.01} = 4.032; t_{0.001} = 6.859$$

由表 3 可见, x_2 (农肥) 对产量的影响达到 99.99% 的可靠性, x_1 (密度)、 x_4 (磷肥) 的影响程度达极显著, x_3 (氮肥) 的影响作用达显著水平, x_5 (钾肥) 的影响作用不显著。在诸因子交互作用中, x_1x_2 ,

x_1x_5 , x_2x_4 , x_2x_5 , x_3x_5 , x_1x_3 , x_3x_4 , 互作效果分别达到极显著和显著水平。

3.2 模型解析

3.2.1 主因子效应解析

经过无量纲线型编码代换后, 偏回归系数已经标准化, 从其绝对值的大小可直接判明各因子的重要程度。从线性项看, 5 项农艺措施对产量 (Y) 影响大小的顺序是: 农肥 > 磷肥 > 密度 > 氮肥 > 钾肥。这表明, 农肥、磷、密度对产量的影响较大, 是栽培中需重点控制的因子。同时由于试验设计对平方项施行了中心化线性代换, 满足了试验的正交性及通用性, 因此可采用降维法, 即固定 4 个自变量取零水平, 导出另一个自变量的偏回归解析子模型, 从而得到如下 5 种自变量的偏回归解析子模型:

$$Y_1 = 3350.4159 + 68.3333x_1 - 85.9659x_1^2,$$

$$Y_2 = 3350.4159 + 171.9000x_2 + 7.5216x_2^2$$

$$Y_3 = 3350.4159 + 55.8249x_3 - 55.5409x_3^2,$$

$$Y_4 = 3350.4159 + 90.4333x_4 + 47.5216x_4^2,$$

$$Y_5 = 3350.4159 + 18.9916x_5 - 12.0034x_5^2$$

对该子模型进行计算机绘图, 各主因子效应如图 1。

由图 1 可见, 在 -2 水平基础上, x_1 (密度) 随着市穴数的增多产量不断提高, 当 $x_1 = 0.397$ (即市穴数为 4397) 时, 产量 $\hat{Y}$ 达到最大值, 随后随着密度的增大, 产量逐渐下降; x_2 (农肥) 随着施肥量的增加产量迅速提高, 几乎呈直线增长趋势; x_3 (氮肥) 随着施氮量的增多, 产量逐渐提高, 当 $x_3 = 0.502$ (即市施纯氮 7.004 公斤) 时, $\hat{Y}$

达到最大值, 随后随着施氮量的增大, 产量缓降; x_4 (磷肥) 随着施磷量的增多, 产量先是缓慢提高, 当 x_4 (磷肥) 随着施磷量的增多产量先是缓慢的增多, 当 $x_4 > 0.2$ (即亩施纯磷 9.6 公斤) 后, 随着施磷量的增多, 产量迅速提高; x_5 (钾肥) 随着施钾量的增多, 产量慢慢地提高, 当 $x_5 = 0.791$ (即亩施纯钾 7.582 公斤) 时, $\hat{Y}$ 达到最大值, 随后随着施钾量的增大, 产量慢慢降低。

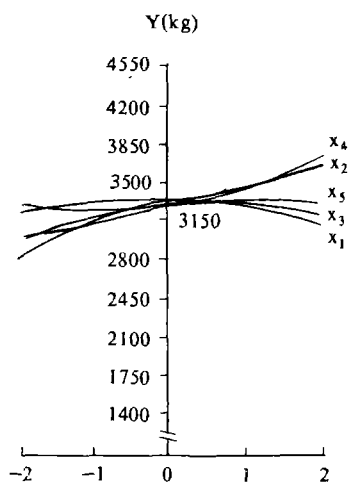


图 1 各主因子效应

3.2.2 交互效应解析

交互效应是指农艺因子联合起来对目标指标的影响程度。在本试验所建立的模型中, 5 个自变量间共有 10 种组合, 现将以产量结果为目标函数的 7 个较显著交互项经电子计算机绘图进行分析。其过程是, 在模型 (1) 中固定了 3 个因素在零水平, 便得到 Y_{12} 、 Y_{13} 、 Y_{15} 、 Y_{24} 、 Y_{25} 、 Y_{34} 、 Y_{35} 与这些交互因子的 7 个子模型, 输入计算机绘图后, 得到图 2~8。

由图可见: ①密度与农肥之间有明显的交互作用。在密度达到中水平前, 随着施农肥量的增高, 产量迅速提高; 密度高于中水平后, 随着施农肥量的增高, 产量急剧下降。说明在本试验地力条件下, 当密度未达

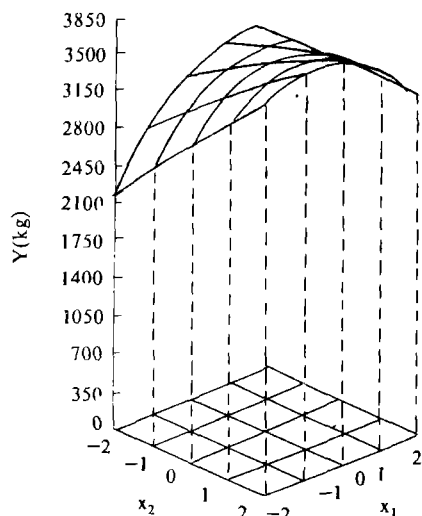


图 2 x_1x_2 交互效应

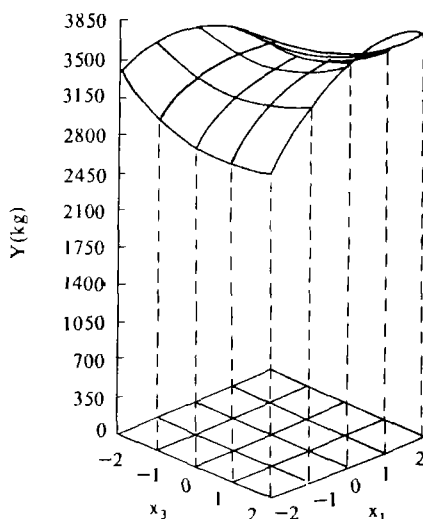


图 3 x_1x_3 交互效应

到合理密度时, 施农肥量是增产的主要限制因素; 当密度超过合理密度时, 施农肥量对产量的影响作用减小; ②施氮及施钾密度之间存在一定的交互作用, 当密度小时施氮、钾的水平要低; 当密度增大时, 施氮、钾的水平也要高; 但施钾与密度间的交互作用要强于施氮; ③农肥与磷肥间有着更为明显的交互作用。当施磷水平低时, 增施农肥效果不显著; 当施磷水平较高时, 增

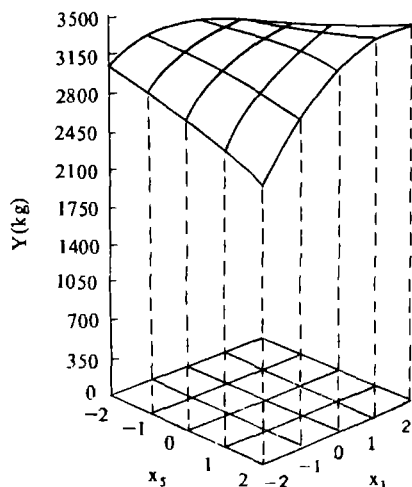


图 4 x_1x_5 交互效应

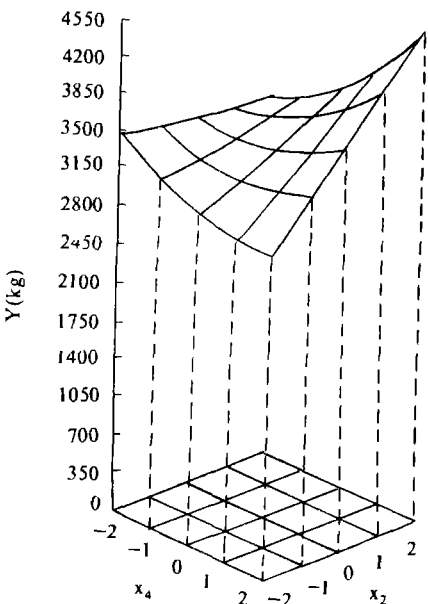


图 5 x_2x_4 交互效应

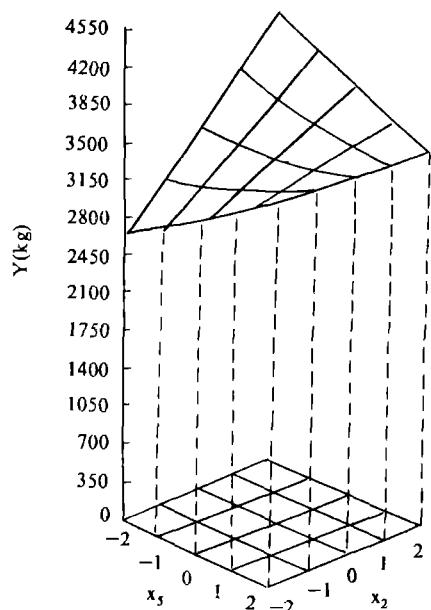


图 6 x_2x_5 交互效应

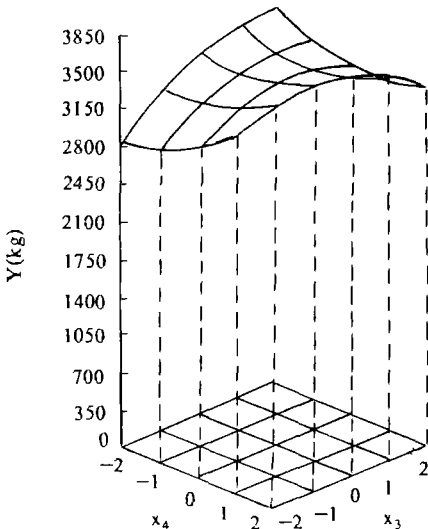


图 7 x_3x_4 交互效应

施农肥效果显著。同样, 当施农肥水平低时, 增施磷肥效果不显著; 当施农肥水平较高时, 增施磷肥效果显著; ④钾肥与农肥之间存在着明显的相互抑制效应, 随着施钾水平的增高, 增施农肥的效果明显降低; 随着施农肥水平的增高, 增施钾肥的效果也明显降低。当施钾水平最低时, 增施农肥的效果非常明显, 说明在本试验地力条件下, 增大农肥用量后, 无需再施钾

肥; ⑤氮磷之间有一定的交互作用。当施磷水平低时, 增施氮肥效果不显著。同样, 当施氮水平低时, 增施磷肥效果显著; 当施氮水平高时, 增施磷肥效果不显著; ⑥氮钾之间存在一定的互补效应。在获得同样产量水平条件下, 随着氮肥用量的降低, 施钾量要相应增加; 随着钾肥用量的降

低, 施氮量要相应增加。

3.2.3 综合农艺措施寻优

当 $x_1 \cdots x_5$ 变化在 $-2 < x_i < 2$ 区间时, 令步长为 1, 可有 3 125 个组合方案。亩产小于 1 500 公斤的组合方案 22 个, 频数为 0.70%; 亩产在 1 500~2 500 公斤之间的有 380 个, 频数为 12.16%; 亩产在 2 500~

3 500 公斤之间的 1 860 个, 频数为 59.52%; 亩产大于 3 500 公斤的组合方案 863 个, 频数为 27.62%, 其中亩产大于 4 000 公斤的组合方案 193 个, 频数为 6.17%。

本试验亩产极值 $\hat{Y}_{\max} = 4860.5$ 公斤。

本试验亩产大于 3500 公斤的优化方案

表 4 高产优化农艺方案中 x_i 取值的概率分布

编 码	x_1 (密度)		x_2 (农肥)		x_3 (氮肥)		x_4 (磷肥)		x_5 (钾肥)	
	频数	%	频数	%	频数	%	频数	%	频数	%
-2	109	12.63	123	14.25	118	13.67	206	23.87	174	20.16
-1	176	20.39	118	13.67	163	18.89	151	17.50	172	19.93
0	230	26.65	115	13.33	200	23.17	112	12.98	166	19.24
1	204	23.64	202	23.41	209	24.18	127	14.72	173	20.05
2	144	16.69	305	35.34	173	20.05	267	30.94	178	20.63
频数合计	863		863		863		863		863	
平均编码	0.11		0.52		0.18		0.11		0.01	
$S_{\bar{x}}$	0.03824		0.03448		0.03528		0.04674		0.04853	
95%的置信区间	0.0386~0.1885		0.4515~0.5867		0.1106~0.2499		0.0219~0.2052		-0.084~0.1052	
农艺措施指标	4039~4189 穴		3452~3587 公斤/亩		6.22~6.50 公斤/亩		9.07~9.62 公斤/亩		5.83~6.21 公斤/亩	

表 5 试验地 0~30 厘米土层土壤肥力状况

营养成分		划分级别依据			试验地养分含量	归 级
有机质	高 > 2.5%	中 1~2.5%	低 < 1%		1.771%	中 等
全 N	高 > 0.15%	中 0.06~0.15%	低 > 0.06%		0.107%	中 等
全 P_2O_5	高 > 0.15%	中 0.08~0.15%	低 < 0.08%		0.150%	中等偏上
全 K_2O	高 > 2.2%	中 1.4~2.2%	低 < 1.4%		1.976%	中等偏上

共 863 个, 其结果见表 4。

由表 4 可见, 获得亩产量大于 3500 公斤的优化农艺措施区域为: 亩密度 4039~4189 穴, 亩施农肥 3452~3587 公斤, 亩施纯氮 6.22~6.50 公斤, 亩施纯磷 9.07~9.62 公斤, 亩施纯钾 5.83~6.21 公斤。按此方案种植脱毒马铃薯“坝薯 9 号”, 亩产 3500~4860.5 公斤范围内变动。

3.3 试验地肥力状况和优化栽培方案的技术经济效益分析

参试的 4 个附区, 其平均产量折合亩产后为 2 282.05 公斤。根据化验结果, 试验地土壤肥力属中等偏上(详见表 5)。根据产量结果(特别是原原种直播), 说明了这一点。

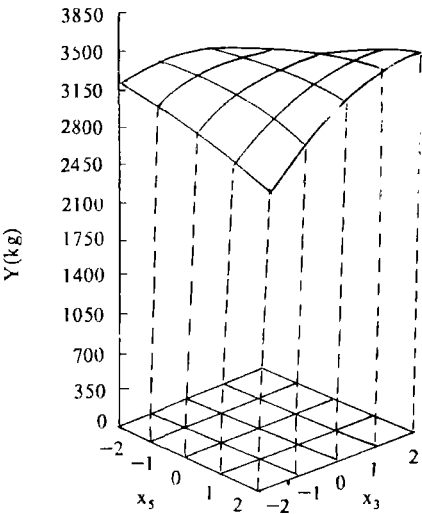


图 8 x_3x_5 交互效应

参照附区的产量, 对本试验亩产大于 3 500 公斤的 863 个优化农艺措施组合方案的经济效益进行计算, 每亩可净增产马铃薯鲜薯 1 217.95 公斤, 若所产原种按价格 0.3 元/公斤计算, 亩净增产值 365.4 元。若原原种按价格 2.0 元/公斤, 化肥按销售价计算, 投资效益比为 1:4.3。

3.4 模型验证

1990 年我们在“坝薯 9 号”种植较为集中的张家口市郊姚家庄, 选择肥力条件和我所试验地相当的水浇地 2.4 亩 (联片), 进行模型可靠性验证。亩密度 4 200 穴, 亩施农肥 3 500 公斤, 亩施氮肥 (折纯氮) 6.0 公斤, 磷肥 (折纯磷) 10 公斤, 亩施一定量的草木灰。

经张家口地区农业丰收竞赛组专家验收, 2.4 亩实际平均产量为 3 348 公斤/亩, 实际值与模型测值相差 152 公斤, 差异不显著。证明模型具有一定的实际效果。

4 结 论

本文所论及的模型是针对中高肥力水地马铃薯田生态特点, 以中早熟脱毒马铃薯“坝薯 9 号”为研究对象, 依据系统工程学的原理和方法而建立的。通过对模型的优化和解析, 确定了农肥、密度、磷肥为主要栽培因子, 定量分析了 7 对栽培因子间的交互作用, 找到了实现高产的优化栽培措施方案。这些均为高水肥地马铃薯高产栽培提供了科学依据。通过经济效益分析和模型的验证, 揭示出水地马铃薯高额丰产栽培的经济价值和实际效果。

参 考 文 献

- 1 陶勤南. 回归分析与回归设计——在肥料与栽培试验中的应用. 北京农业科学, 1984, 专辑
- 2 刘进余等. 黑龙江垦区早薄地小麦高产栽培综合农艺措施数学模型. 华北农学报, 1990, 5 (3): 116~122

STUDIES ON A MATHEMATICAL MODEL OF HIGHER-YIELD COMPREHENSIVE AGRONOMIC APPROACHES WITH VIRUS-FREE POTATO BASHU No.9 IN IRRIGATED CONDITION

Wang Dengshe and Guo Zhenguo

(Agricultural Research Institute of Zhangjiakou, Bashang, Hebei)

ABSTRACT

The field experiment was made with the principle and method of system engineering under irrigated condition in 1989~1990. Five main cultural control factors with great effects on potato yield were used as variant and potato yield was used as goal function. Through computer analysis and figure, a mathematical model of comprehensive agronomic approaches has been established that gave out the main and secondary factors affecting the yield, and the yield response of double factors. The best combination of agronomic approaches with which production of 3500kg/mu is yielded was screened: planting density 4039~4189 plants/mu, organic fertilizer 3452~3587 kg/mu, N 6.2~6.5 kg/mu, P_2O_5 9.1~9.5 kg/mu and K_2O 5.8~6.2kg/mu. The practical effect of the model was demonstrated by large field experiment in Yaojiazhuang Xiang of Zhangjiakou City.