

马铃薯高产优化栽培措施与产量关系模型的研究

高聚林¹, 刘克礼¹, 张宝林², 盛晋华¹, 任有志¹

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010021)

摘要: 应用五因素二次通用回归旋转组合设计, 结合马铃薯的生产实践, 以对马铃薯产量形成影响较大的主要栽培措施为决策变量, 以产量为目标函数, 建立了马铃薯密度、施磷量、施钾量、种氮肥及追氮量与产量关系的数学模型, 并通过模拟寻优, 提出了马铃薯单产 3000 kg/667m² 以上的优化栽培措施的定量化指标。当密度较小与氮、磷、钾肥施用量较少 ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \leq 0$) 时, 其交互作用为正效应, 反之, 则为负效应。

关键词: 马铃薯; 农艺措施; 产量; 模型

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 1672-3635 (2003) 03-131-07

1 前言

马铃薯是我区重要的粮食和经济作物。长期以来, 内蒙古关于马铃薯栽培技术的研究, 缺乏综合性农艺栽培措施的系统研究与应用。本研究通过对马铃薯综合农艺栽培措施的试验, 提出了马铃薯高产优化栽培综合农艺措施的优化组合及量化的栽培技术指标。

2 材料与方法

2.1 供试品种

本试验以脱毒薯底西芮 (Desiree) 为试验材料。

2.2 试验地点

本试验于 1996~1997 年在内蒙古农业大学教学农场进行, 土壤为壤土, 耕作层 0~20 cm 土壤有机质含量为 2.38%, 全氮量为 0.132%, 碱解氮为 104 mg/kg, 速效磷为 42 mg/kg, 速效钾为 151 mg/kg, pH 为 7.7。模型验证试验于 1998~

1999 在内蒙古农业大学教学农场进行, 土壤肥力水平同上。

2.3 试验设计

试验选用密度 (X_1), 施磷量 (X_2), 施钾量 (X_3), 种氮肥量 (X_4) 及追氮肥量 (X_5) 为决策因子, 因子编码水平及其实际值 (表 1)。以产量为目标函数, 采用五因素二次通用回归旋转组合设计 1/2 实施方案 (表 2)。共 33 个处理组合, 随机排列, 两次重复, 每小区 15 行, 行距 50 cm, 小区面积 37.5 m², 磷、钾及种氮肥在播种时一次性深施, 追肥于 6 月 24 日进行, 其它管理与大田相同。

表 1 五因素编码水平及实际值

编码值	密度(X_1) (株/667m ²)	施磷量 (P ₂ O ₅ , X_2) (kg/667m ²)	施钾量 (K ₂ O, X_3) (kg/667m ²)	种氮肥量 (N, X_4) (kg/667m ²)	追氮肥量 (N, X_5) (kg/667m ²)
-2	2500	0	0	0	0
-1	3500	5	4	2	1
0	4500	10	8	4	2
1	5500	15	12	6	3
2	6500	20	16	8	4
间距	1000	5	4	2	1

收稿日期: 2003-4-20

作者简介: 高聚林 (1964-), 男, 内蒙古农业大学教授、博

士, 主要从事作物生理生态与决策系统研究。

表2 二次通用旋转五因素部分实施方案结构矩阵
(1996~1997年两年平均值, 品种: Desiree)

区号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	产量 (kg/667m ²)
1	1	1	1	1	1	2392
2	1	1	1	-1	-1	2696
3	1	1	-1	1	-1	2928
4	1	1	-1	-1	1	2931
5	1	-1	1	1	-1	2845
6	1	-1	1	-1	1	3212
7	1	-1	-1	1	1	2486
8	1	-1	-1	-1	-1	3344
9	-1	1	1	1	-1	2636
10	-1	1	1	-1	1	2976
11	-1	1	-1	1	1	3048
12	-1	1	-1	-1	-1	2503
13	-1	-1	1	1	1	2733
14	-1	-1	1	-1	-1	2645
15	-1	-1	-1	1	-1	2658
16	-1	-1	-1	-1	1	2506
17	2	0	0	0	0	3462
18	-2	0	0	0	0	3127
19	0	2	0	0	0	3378
20	0	-2	0	0	0	3322
21	0	0	2	0	0	3389
22	0	0	-2	0	0	3345
23	0	0	0	2	0	3345
24	0	0	0	-2	0	3211
25	0	0	0	0	2	3458
26	0	0	0	0	-2	3276
27	0	0	0	0	0	3589
28	0	0	0	0	0	3528
29	0	0	0	0	0	3547
30	0	0	0	0	0	3423
31	0	0	0	0	0	3649
32	0	0	0	0	0	3567
33	0	-2	-2	-2	-2	2360

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 + 57.6321X_2 + 43.24211X_3 - 26.11877X_4 + 30.64707X_5 - 127.0606X_1X_2 + 11.18314X_1X_3 + 67.05315X_1X_4 + 25.90562X_1X_5 - 17.786 + + + 9X_2X_3 + 32.23811X_2X_4 - 2.951889X_2X_5 - 16.5406X_3X_4 - 35.62312X_3X_5 + 15.84686X_4X_5 - 133.2696X_1^2 - 182.7122X_2^2 - 139.3008X_3^2 - 176.3023X_4^2 - 136.7759X_5^2$$

F 检验结果表明, 二次方程与实际情况拟合均较好 ($F_2=7.40$ ($F_{0.01}(20, 11)=4.1$), 失拟性检验未达到显著水平 ($F_1=1.47$ ($F_{0.05}(5, 6)=4.39$), 说明模型有效, 可直接用模型进行优化分析。模型回归系数值可以反映出密度、施磷量、施钾量、种氮肥量、追氮肥量五项农艺栽培措施对块茎产量的影响程度及正负效应。常数项基本上揭示出品种形态指标的遗传特征值, 一次项系数、二次项系数及交互项系数揭示的是农艺栽培措施对形态指标的影响程度。

3.2 模型优化解析

为了寻求现实和可行的优化农艺措施, 采用产量决策频数分析, 求得在 95% 的置信限范围内, 马铃薯品种底西芮单产 3000 kg/667m² 以上的优化栽培措施为: 密度 (X₁): 4451~4550 株/667m²; 施磷量 (P₂O₅, X₂): 9.755~10.250 kg/667m², 施钾量 (K₂O, X₃): 7.804~8.200 kg/667 m², 种氮肥量 (X₄): 3.902~4.100 kg/667m²; 追氮肥量 (X₅): 1.951~2.050 kg/667m²。

3.3 模型的验证

通过模拟优化分析之后, 我们提出了马铃薯单产 3000 kg/667m² 以上的农艺综合措施的优化组合方案。为确保马铃薯综合农艺栽培措施与产量关系的数学模型的真实性与可行性, 又于 1998~1999 年在内蒙古农业大学教学农场进行了田间验证试验, 每年验证田面积 6670 m², 经实收计产, 两年实产分别是 3060 kg/667m² 和 3120 kg/667m², 皆实现了目标产量, 说明此高产优化栽培模型是可靠的, 可用于指导内蒙古西部平原灌区马铃薯的生产实践。

3.4 产量效应分析

3.4.1 单因素效应分析

采用“降维法”, 把回归模型中除 X_i 以外的其

3 结果与分析

3.1 模型建立

经过两年的田间试验, 根据设计原理, 运用微机进行统计分析, 得到马铃薯品种底西芮密度 (X₁), 施磷量 (X₂), 施钾量 (X₃), 种氮肥量 (X₄) 及追氮肥量 (X₅) 与产量关系的数学模型符合:

余 4 个因子 X_j ($j \neq 1$) 固定在 0 水平上, 求得各因子对产量 (y) 的回归子模型分别如下:

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 - 133.2696X_1^2$$

$$Y = 3592.631 + 57.6321X_2 - 182.7122X_2^2$$

$$Y = 3592.631 + 43.24211X_3 - 139.3008X_3^2$$

$$Y = 3592.631 - 26.11877X_4 - 176.3023X_4^2$$

$$Y = 3592.631 + 30.64707X_5 - 136.7759X_5^2$$

其效应曲线如图 1。

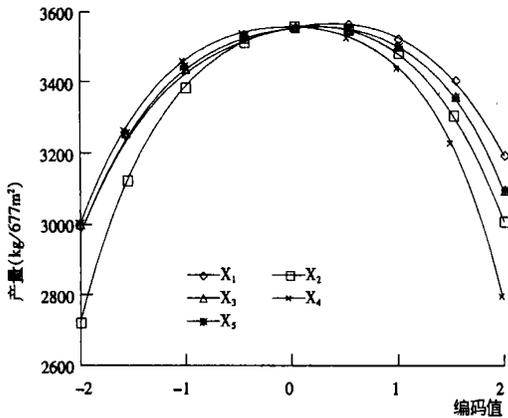


图 1 马铃薯农艺栽培措施对产量的效应

由图 1 可见, 马铃薯各项栽培措施对产量的影响在 $-2 \leq X_i \leq 2$ 范围内均呈单峰曲线变化。当各因子编码值小于零时, 随着密度、氮、磷、钾肥施用量的增加, 产量相应增加, 至零水平附近时, 产量可达最大值 $3593 \text{ kg}/667\text{m}^2$; 之后, 随各处理因素水平的增大, 产量逐渐降低, 下降幅度表现为种氮肥量 (X_4) > 施磷量 (X_2) > 施钾量 (X_3) > 追氮肥量 (X_5) > 密度 (X_1)。说明马铃薯高产栽培中, 以适宜的氮磷钾作种肥是至关重要的。

3.4.2 不同处理间交互效应分析

3.4.2.1 密度与施磷量对产量的交互效应分析

采用“降维法”求得密度 (X_1) 与施磷量 (X_2) 交互作用的数学模型为:

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 + 57.6321X_2 - 127.0606X_1X_2 - 133.2696X_1^2 - 182.7122X_2^2$$

以此模型作图 (图 2)。由图 2 可见, $X_2 < 0$ (编码值) 即施磷 (P_2O_5) 肥量小于 $10 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 时, 施磷量与密度对产量的交互作用为正效应。也就是说, 施磷肥量较少时, 只有适当增大密度 ($-2 \leq X_1 \leq 0$ 水平), 靠扩大群体规模获得较高的产量; 施磷肥量较多时 ($X_2 > 0$), 二者的交互作用

为负效应。说明高施磷量时, 可适当降低种植密度 ($-1 \leq X_1 \leq 1$ 水平), 适当争取单株结薯数, 也能达到较高的经济产量。

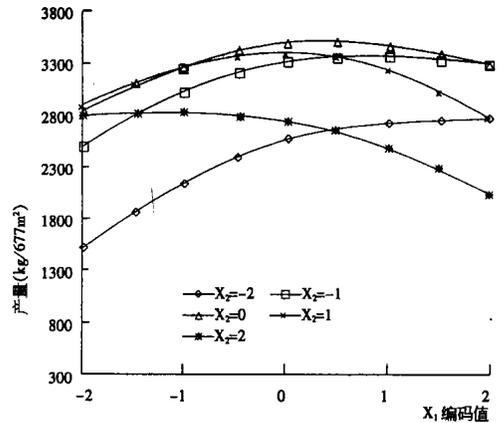


图 2 密度与施磷量对产量的交互作用

3.4.2.2 种植密度与施钾量对产量的交互效应分析

采用“降维法”, 固定其它因子为零水平, 求出种植密度 (X_1) 与施钾肥量 (X_3) 交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 + 43.24211X_3 + 11.18314X_1X_3 - 133.2696X_1^2 - 139.3008X_3^2$$

其效应曲线如图 3。

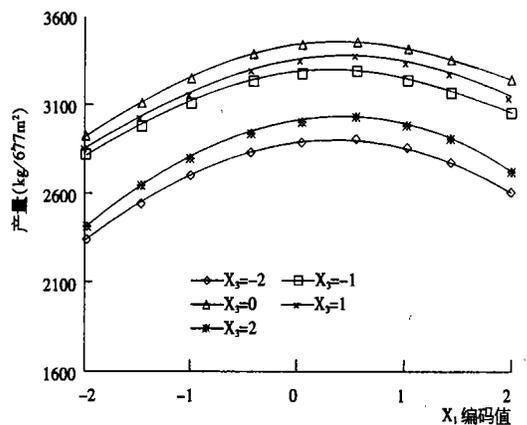


图 3 种植密度与施钾量对产量的交互作用

由图 3 可见, 种植密度 (X_1) 与施钾量 (X_3) 对产量的影响存在明显的交互作用。当施钾肥量较少时 ($X_3 < 0$), 随着密度增大, 施钾水平的提高, 产量逐渐增加, 在 $X_1 = 0$ 附近, 产量达到峰值; 随施钾量增加 ($X_3 > 0$), 密度增大, 产量下降, 且施钾肥量越多, 产量下降越快。说明在马铃薯高产

栽培中, 在一定的种植密度范围内, 必须相应地增加钾肥施入量, 才能获得高额的产量。

3.4.2.3 种植密度与种氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”, 固定其它因子为零水平 ($X_2 = X_3 = X_5 = 0$), 种植密度 (X_1) 与种氮肥量 (X_4) 交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 - 26.11877X_4 + 67.05315X_1X_4 - 133.2696X_1^2 - 176.3023X_4^2$$

其效应曲线如图 4。

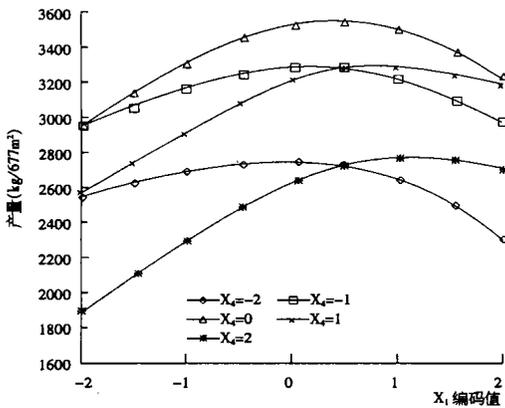


图 4 种植密度与种肥氮量对产量的交互作用

由图 4 可见, 种植密度 (X_1) 与施种氮肥量 (X_4) 在 $-2 \leq X_1, X_4 \leq 0$ 范围内, 其交互作用表现为正效应, 即在一定范围内随着种氮肥量的增加、种植密度的增多, 产量提高; 在 $0 \leq X_1, X_4 \leq 2$ 范围内, 则相反。因此, 在生产上增大密度时, 必须相应地增施足够的氮肥作种肥。

3.4.2.4 种植密度与追氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”, 固定其它因子为零水平 ($X_2 = X_3 = X_4 = 0$), 求出种植密度 (X_1) 与追氮肥量 (X_5) 的交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 + 66.19717X_1 + 30.64707X_5 + 25.90562X_1X_5 - 133.2696X_1^2 - 136.7759X_5^2$$

其效应曲线如图 5。

由图 5 可见, 在种植密度、追氮肥量都较少时 ($X_1, X_5 \leq 0$), 二者的交互作用为正, 即随着种植密度、追氮肥量的增大, 产量逐渐增加; 当种植密度、追氮肥量较多时 ($X_1, X_5 \geq 0$), 二者的交互作用为负, 即随着种植密度、追氮肥量的增大, 产

量逐渐下降。也就是说, 种植密度和追氮肥量均处于中量水平时 (编码水平为零), 产量最高。

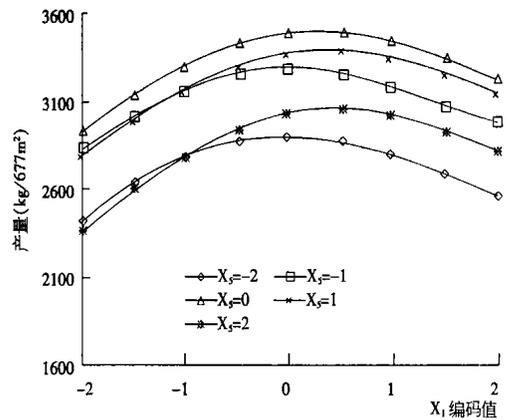


图 5 基本苗数与追氮肥量对产量的交互作用

3.4.2.5 施磷量与施钾量对产量的交互效应分析

采用“降维法”, 固定其它因子为零水平 ($X_1 = X_4 = X_5 = 0$), 施磷量 (X_2) 与施钾量 (X_3) 的交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 + 57.6321X_2 + 43.24211X_3 - 17.7869X_2X_3 - 182.7122X_2^2 - 139.3008X_3^2$$

其效应曲线如图 6。

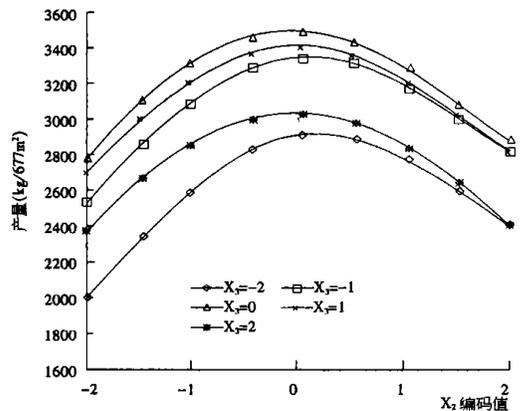


图 6 施磷量与施钾量对产量的交互作用

由图 6 可见, 在施磷肥量、施钾肥量都较少时 ($X_2, X_3 \leq 0$), 二者的交互作用为正, 即随着施磷、钾肥量的增加, 产量逐渐增加; 当施磷、钾肥量较多时 ($X_2, X_3 \geq 0$), 二者的交互作用为负, 即随着施磷、钾肥量的增加, 产量逐渐下降。即施磷、钾肥量均处于中量水平时 (编码水平为零), 产量最高。因此, 生产上磷、钾肥必须按比例配合施用, 才能达到良好的增产效果。

3.4.2.6 施磷量与种氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”，固定其它因子为零水平 ($X_1 = X_3 = X_5 = 0$)，求出施磷量 (X_2) 与种氮肥量 (X_4) 的交互作用子模型为：

$$Y = 3592.631 + 57.6321X_2 - 26.11877X_4 + 32.23811X_2X_4 - 182.7122X_2^2 - 176.3023X_4^2$$

其效应曲线如图 7。

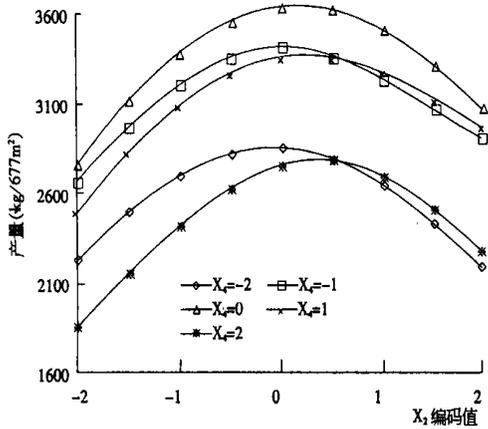


图 7 施磷量与种氮肥量对产量的交互作用

由图 7 可见，在施磷量、种肥氮量都较少时 ($X_2, X_4 \leq 0$)，二者对产量的交互作用为正效应，即随着施磷量、种肥氮量的增大，产量逐渐增加；当施磷量、种肥氮量较多时 ($X_2, X_4 \geq 0$)，二者对产量的交互作用为负效应，即随着施磷量、种肥氮量的增大，产量逐渐下降。即施磷量、种肥氮量均处于中量水平左右时，产量最高。

3.4.2.7 施磷量与追氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”，固定其它因子为零水平 ($X_1 = X_3 = X_4 = 0$)，求出施磷量 (X_2) 与追氮肥量 (X_5) 的交互作用子模型为：

$$Y = 3592.631 + 57.6321X_2 + 30.64707X_5 - 2.951889X_2X_5 - 182.7122X_2^2 - 136.7759X_5^2$$

其效应曲线如图 8。

由图 8 可见，在一定的追氮肥量与施磷量范围内 ($X_2, X_5 \leq 0$)，施磷量与追氮肥量对产量的交互作用为正效应，即随着施磷量、追氮肥量的增加，产量相应提高。当追氮肥量与施磷量都超过适宜范围后 ($X_2, X_5 \geq 0$)，则相反。说明在马铃薯生产中，氮、磷肥适量配合施用的增产效果较显著。

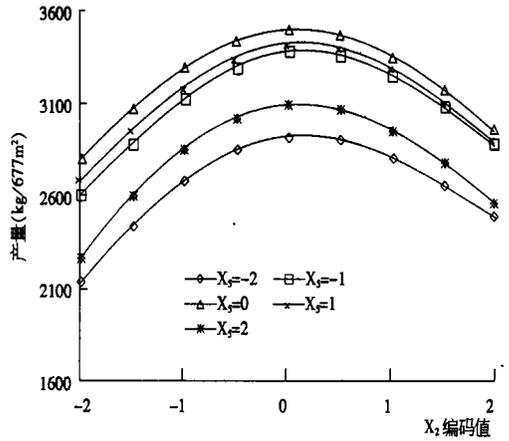


图 8 施磷量与追氮肥量对产量的交互作用

3.4.2.8 施钾量与种氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”，固定其它因子为零水平 ($X_1 = X_2 = X_5 = 0$)，求出施钾量 (X_3) 与种氮肥量 (X_4) 的交互作用子模型为：

$$Y = 3592.631 + 43.24211X_3 - 26.11877X_4 - 16.5406X_3X_4 - 139.3008X_3^2 - 176.3023X_4^2$$

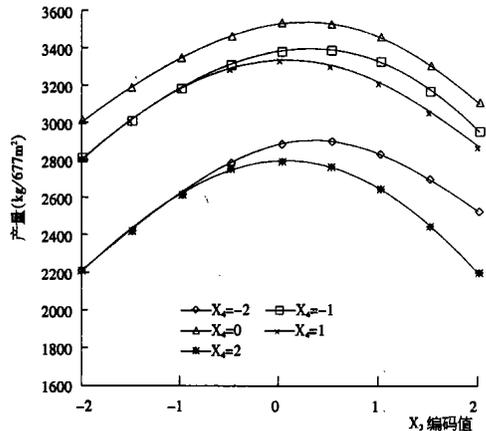


图 9 施钾量与种氮肥量对产量的交互作用

由图 9 可见，在施钾肥量、种肥氮量较少 ($X_3, X_4 \leq 0$) 时，二者对产量的交互作用为正效应，即在此范围内，随施钾量和种氮肥量的增加，产量提高；在施钾肥量、种肥氮量都较多时 ($X_3, X_4 \geq 0$)，二者对产量的交互作用为负，即钾肥、氮肥越多，产量越低。说明马铃薯高产栽培中，适量种氮肥、配合适量的钾肥能获得较高的经济产量。

3.4.2.9 施钾量与追氮肥量对产量的交互效应分析

采用“降维法”，固定其它因子为零水平 (X_1

=X₂=X₄=0), 求出施钾量 (X₃) 与追氮肥量 (X₅) 的交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 + 43.24211X_3 + 30.64707X_5 - 35.62312X_3X_5 - 139.3008X_{23} - 136.7759X_5^2$$

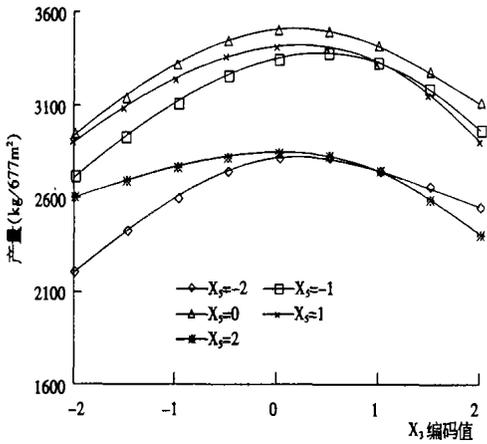


图 10 施钾量与追氮肥量对产量的交互作用

由图 10 可见, 在施钾量、追氮肥量均较少时 (X₃, X₅≤0), 二者对产量的交互作用表现为逐渐增强的正效应, 当 X₃≥0, X₅≥0 时, 则相反。

3.4.2.10 种氮肥量与追氮肥量对产量的交互效应分析
采用“降维法”, 固定其它因子为零水平 (X₁=X₂=X₃=0), 求出种肥氮量 (X₄) 与追氮肥量 (X₅) 的交互作用子模型为:

$$Y = 3592.631 - 26.11877X_4 + 30.64707X_5 + 15.84686X_4X_5 - 176.3023X_4^2 - 136.7759X_5^2$$

其效应曲线如图 11。

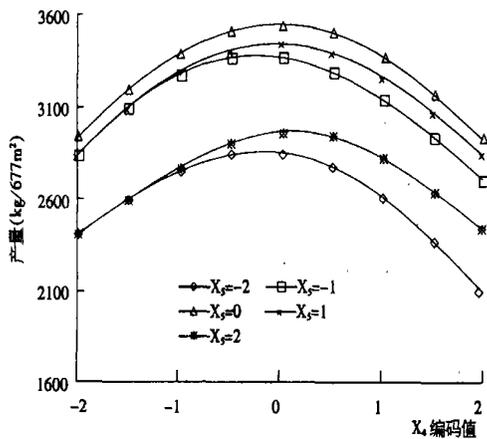


图 11 种肥氮量与追氮肥量对产量的交互作用

由图 11 可见, 施种氮肥量与追氮肥量较少时 (X₄, X₅≤0), 二者对产量的交互作用表现为逐渐增强的正效应, 当 X₄≥0, X₅≥0 时, 则相反。因此, 在马铃薯高产栽培中, 将氮肥分作种肥和追肥施用, 可获得较高的经济产量。

4 结 论

4.1 通过对马铃薯密度、施磷量、施钾量、种肥氮量及追氮量与产量关系的数学模型的优化解析, 提出了马铃薯单产 3000 kg/667m² 以上的优化农栽培措施: 密度: 4451~4550 株/667m²; 施磷量 (P₂O₅): 9.755~10.250 kg/667m², 施钾量 (K₂O): 7.804~8.200 kg/667m², 种氮肥量 (N): 3.902~4.100 kg/667m²; 追氮量 (N): 1.951~2.050 kg/667m²。

4.2 通过两年研究建立的马铃薯密度、施磷量、施钾量、种氮肥量及追氮量与产量关系的数学模型, 经 1998~1999 年生产验证, 实现目标产量 3060 kg/667m² 和 3120 kg/667m², 说明本模型可以用于指导内蒙古的马铃薯生产实践。

4.3 马铃薯高产优化栽培主要农艺措施密度、氮、磷、钾肥施用量等对产量的影响均表现为单峰曲线变化, 产量峰值都出现在中量水平附近。种植密度与氮、磷、钾肥施用量之间对产量影响交互作用分析结果表明: 当种植密度与氮、磷、钾肥施用量较小 (X₁, X₂, X₃, X₄, X₅≤0) 时, 各项农艺措施之间的交互作用呈正效应, 当 X₁, X₂, X₃, X₄, X₅≥0 时, 则呈负效应。

参 考 文 献

- [1] 徐中儒编. 农业试验最优回归设计 [M]. 黑龙江科技出版社, 1988.
- [2] 谢智明, 姚裕琪. 内薯 3 号马铃薯综合农艺措施产量函数模型分析 [J]. 马铃薯杂志, 1991, 5 (1): 11-17.
- [3] 程俊珊, 徐福祥, 桑得福. 高寒阴湿地区渭薯 1 号综合农艺措施数学模型及优化方案的研究与应用 [J]. 马铃薯杂志, 1994, 8 (1): 36-40.
- [4] 董清山. 牡丹江山区半山区脱毒马铃薯综合农艺措施数学模型及优化方案的研究 [J]. 马铃薯杂志, 1995, 9 (3): 148-157.
- [5] 高聚林, 刘克礼, 裴喜春等. 春玉米综合农艺栽培措施的产量效应分析 [J]. 内蒙古农牧学院学报, 1995 (增刊): 20-27.

马铃薯在不同密度及施肥处理下叶片叶绿素含量的变化

张宝林¹, 高聚林², 刘克礼²

(1. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018)

摘要: 马铃薯叶片中叶绿素含量在整个生育期内呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在块茎形成期和淀粉积累期; 增施氮、磷、钾肥, 尤其是氮、磷肥, 可以提高马铃薯叶片中叶绿素含量; 采取合理的栽培措施, 防止叶片的早衰, 提高叶片叶绿素含量, 使马铃薯群体在产量形成的关键时期具有较高的光合活性, 是获得马铃薯高产的重要保证。

关键词: 马铃薯; 栽培措施; 叶绿素

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 1672-3635 (2003) 03-137-04

1 前言

马铃薯块茎干物质的 95% 以上来自光合产物, 因此产量的高低与光合作用的主要器官——叶片的光合活性密切相关, 叶片中叶绿素含量是反应作物营养和生长状况的重要指标。叶片叶绿素含量的差异不仅表现在品种间, 即高产品种高于一般品种^[1], 而且在一定范围内, 也反映了栽培技术措

施的合理与否。叶片叶绿素含量的高低与光合速率密切相关, 特别是在同化物积累期间, 叶片的叶绿素含量与其光合强度呈正相关^[2]。本文研究了不同栽培措施对马铃薯叶片叶绿素含量的影响, 可作为马铃薯优化栽培的理论依据之一。

2 材料与方法

2.1 供试品种

本试验以脱毒薯底西芮 (Desiree) 为试验材料。

2.2 试验设计

试验于 1996~1997 年在内蒙古农业大学教学农场进行, 土壤为壤土, 耕作层 0~20cm 土壤有

收稿日期: 2003-4-20

作者简介: 张宝林 (1972-), 男, 内蒙古师范大学讲师, 主要从事作物生理生态研究。

A MATHEMATIC MODEL OF AGRONOMIC MEASURES FOR HIGH YIELD IN POTATO PRODUCTION

GAO Ju-lin¹, LIU Ke-li¹, ZHANG Bao-lin², SHENG Jin-hua¹, REN You-zhi¹

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010021, China)

ABSTRACT: A mathematic model to describe the relation of yield with plant density, amount of P and K fertilizers, basic N fertilizer, and top dressing N fertilizer applied was established using five factors quadratic universal rotation cross design. The index for the tuber yield more than 3000 kg/667 m² was obtained based on analysis of the mathematic model. When plant density and amount of N, P, and K fertilizers applied were at low level ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \leq 0$), the interaction of density with amount of N, P, and K fertilizers applied was positive. Otherwise, the interaction was negative.

KEY WORDS: potato; agronomic measures; yield; model