

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2014)01-0043-06

播期、芽长和覆土厚度对马铃薯黑痣病的规避效应及产量的影响

张智芳¹, 杨海鹰^{1*}, 云庭², 石小华¹, 李彦强¹, 曹亚利², 鞠怀庆²

(1. 内蒙古自治区马铃薯繁育中心, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古正丰马铃薯种业股份有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010031)

摘要: 为了研究芽长、播期和覆土厚度对土传病害黑痣病的规避效应及对马铃薯产量的影响, 本试验对栽培技术中的芽长、播期和覆土厚度3个重要因素, 采用3因素5水平二次通用旋转组合设计, 建立数学模型, 优选适合马铃薯的高产防病栽培措施。芽长、播期和覆土厚度3因素对马铃薯产量效应依次为覆土厚度>芽长>播期, 对马铃薯黑痣病病情指数影响效应依次为覆土厚度>播期>芽长。获得马铃薯产量大于3 000 kg/667 m²、黑痣病病情指数低于45%的优化施肥方案为: 播期5月2~4日, 芽长0.54~0.68 cm, 覆土厚度15~17 cm。本研究为建立马铃薯可行性栽培技术体系提供了科学依据。

关键词: 马铃薯; 主因子分析; 产量; 黑痣病; 病情指数

Avoidance Effect of Bud Length, Sowing Period and Thickness of Covering Soil on *Rhizoctonia solani* and Their Effects on Yield of Potato

ZHANG Zhifang¹, YANG Haiying^{1*}, YUN Ting², SHI Xiaohua¹, LI Yanqiang¹, CAO Yali², JU Huaiqing²

(1. Inner Mongolia Potato Breeding Center, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China;

2. Inner Mongolia Zheng Feng Seed Potato Co. Ltd, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China)

Abstract: This study aimed to investigate the avoidance effect of bud length, sowing period and thickness of covering soil on *Rhizoctonia solani* and their effects on the yield of potato. The quadratic general rotary unitized design of three factors with five levels in each factor was used to establish the mathematic model and optimize measures that were suitable for potato high-yielding and disease-control cultivation. The main effects analysis showed that the effects of bud length, sowing period and thickness of covering soil on the yield in potato in order was thickness of covering soil > bud length > sowing period, and on *R. solani* disease index in potato in order was thickness of covering soil > sowing period > bud length. The optimized cultivation scheme for getting higher yield than 3 000 kg/667 m² and less *Rhizoctonia solani* disease index than 45% in potato was showed as follows: suitable sowing period (May 2 to 4), bud length (0.54 - 0.68 cm) and thickness of covering soil (15 - 17 cm). These data provide a scientific basis for setting up a feasible system for potato cultivation.

Key Words: potato; principal factor analysis; yield; *Rhizoctonia solani*, disease index

内蒙古自治区以其得天独厚的地理、生态和气候条件成为我国马铃薯种薯和商品薯生产的主要省区之一, 种植面积约占全国马铃薯种植面积的10%以上^[1], 加之近几年马铃薯大型喷灌圈规模

化种植的迅速发展, 更是推动了内蒙古自治区马铃薯产业的快速发展。但是, 随着马铃薯产业的快速发展, 种植面积的不断扩大, 在马铃薯主产区, 轮作倒茬年限逐渐缩短, 土地利用率的提高

收稿日期: 2013-12-11

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项项目(2013)和公益性行业科研专项(201203012-4-2)资助。

作者简介: 张智芳(1975-), 女, 副研究员, 主要从事马铃薯病虫害及栽培技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 杨海鹰, 研究员, 主要从事马铃薯栽培技术研究, E-mail: nmzfhy@163.com。

和土地高度集约化经营已成为一种趋势^[2],致使马铃薯土传病害的发生呈逐年加重的趋势,其中黑痣病(*Rhizoctonia solani*)、枯萎病(*Fusarium oxysporum*)就是最常见的两种病害。马铃薯黑痣病是内蒙古自治区目前最严重、最普遍的一种土传病害。内蒙古自治区2010~2012年在内蒙古中西部地区调查马铃薯黑痣病的数据显示,普通田块病株率在5%~10%,严重地块的发病率达80%以上,收获后薯块带菌率最高可达100%。该病害目前已上升为内蒙古自治区马铃薯种薯和商品薯生产的“头号杀手”,成为自治区马铃薯产业发展的一大障碍。

土传病害的病原菌一般为多寄主微生物,具有很强的生活力和侵染力,是下一季的主要初侵染源,在苗期造成严重的缺苗断垄现象,被植物界认定为最难防治的病害之一。土传病害传统防治方法包括农业防治(轮作、种植抗病品种、无土栽培、嫁接等)、生物防治和化学防治等,在生产上化学防治仍然是主要的防治手段,但化学杀菌剂污染环境、病原菌产生抗药性等问题日益突出。土传病害的防治研究虽已走过漫长的历程,但至今仍未找到行之有效的防治措施,致使土传病害的传播与危害依然猖獗。

本研究旨在探究不同播种时间、不同催芽长度和覆土厚度对马铃薯生长发育的影响以及对马铃薯黑痣病的规避效应,试图通过改变马铃薯规模化生产中栽培措施以规避或减轻黑痣病的发生,从而提高马铃薯的产量,为马铃薯更为科学合理的种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

供试马铃薯品种选用‘克新1号’原种,由内蒙古正丰马铃薯种业股份有限公司提供。

1.2 试验地概况

四子王旗地处内蒙古自治区中部,位于北纬41°10'~43°22',东经110°20'~113°,海拔1 460 m。年平均气温1~6℃,气温平均日较差13~14℃,平均年较差一般在34~37℃之间,其特点是春温骤升、秋温剧降。生长期月平均气温13.94℃。无霜期短,平均无霜期108 d。年降雨量约260 mm。土质为淡栗钙土、棕钙土。

1.3 田间管理

试验采用高垄移动式喷管栽培模式。施撒可富复合肥(N 12%, P₂O₅ 19%, K₂O 16%)60 kg/667 m²,磷酸二铵(N 18%, P₂O₅ 46%)10 kg/667 m²,第一次中耕追施撒可富复合肥20 kg/667 m²,生育期追施尿素(N 46%)12 kg/667 m²,硝酸钾12 kg/667 m²。除试验处理相关设置外,其余与常规大田栽培方法一致。试验地土壤肥力状况见表1。

表1 供试土壤肥力状况
Table 1 Fertility of soil tested

有机质(%) Organic matter	有效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Rapidly available K	水解氮 (mg/kg) Hydrolyzable N
1.65	0.839	140	99.8

1.4 试验方法

试验采用3因素5水平二次通用旋转回归组合设计^[3],3个因素分别为播期(X₁)、芽长(X₂)和覆土厚度(X₃),因子编码及设计水平见表2。经二次通用旋转组合设计得20个处理组合,试验结构矩阵见表3。

试验具体实施时,各处理组合随机排列,每个处理组合设3次重复,共计60个小区,小区面积为3.6 m×8.0 m,株行距为0.17 m×0.90 m。

表2 设计水平取值及其编码
Table 2 Values and codes of designed levels

试验因素 Test factor	上限 Upper limit	下限 Lower limit	零水平 Zero level	变化区间 Interval	水平编码 Code of designed level				
					-r	-1	0	1	+r
X ₁ (D/M)	15/05	25/04	05/05	5	25/04	30/04	05/05	10/05	15/05
X ₂ (cm)	1.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
X ₃ (cm)	22	10	16	3	10	13	16	19	22

表3 试验设计方案
Table 3 Test design scheme

试验号 Test No.	各因子编码 Code of each factor			各因子实施水平 Implemental level of each factor		
	C_1	C_2	C_3	X_1	X_2	X_3
1	1	1	1	10	0.8	19
2	1	1	-1	10	0.8	13
3	1	-1	1	10	0.4	19
4	1	-1	-1	10	0.4	13
5	-1	1	1	0	0.8	19
6	-1	1	-1	0	0.8	13
7	-1	-1	1	0	0.4	19
8	-1	-1	-1	0	0.4	13
9	-1.6818	0	0	-3.409	0.6	16
10	1.6818	0	0	13.409	0.6	16
11	0	-1.6818	0	5	0.2636	16
12	0	1.6818	0	5	0.9364	16
13	0	0	-1.6818	5	0.6	10.9546
14	0	0	1.6818	5	0.6	21.0454
15	0	0	0	5	0.6	16
16	0	0	0	5	0.6	16
17	0	0	0	5	0.6	16
18	0	0	0	5	0.6	16
19	0	0	0	5	0.6	16
20	0	0	0	5	0.6	16

1.5 测定项目及方法

(1) 病害调查：从播种前5 d开始每天测量10~20 cm处地温。播种后第10 d开始，采用5点取样法，每隔7 d取样调查1次，每次取样5株，连续取样调查9次。在尽量不损失根系的情况下将植株挖出，观测马铃薯黑痣病侵染情况，记录发病率。

取样原则：1/2小区作为取样区，1/2作为测产区。

(2) 产量测定：收获时每个小区随机选20株进行称重测产，折算667 m²产量。

1.6 统计分析

试验数据采用DPS(7.05)统计软件^[4]进行二次回归通用旋转组合分析。以播期(X_1)、芽长

(X_2)、覆土厚度(X_3)3项农艺措施为决策变量, 将试验方案及产量输入计算机，分别以产量和黑痣病病情指数为目标函数, 建立数学模型^[5-8]。

应用DPS(7.05)软件软件分析，因该软件统计分析只识别高产指标，而黑痣病病情指数越小，代表发病越轻，所以建立黑痣病病情指数模型时，将病情指数值全部转化为倒数进行，黑痣病病情指数模型中因子系数越大，说明该因子的影响力就越小。

2 结果与分析

2.1 模型建立

对试验结果(表4)进行统计分析建立模型如下：

$$Y(\text{产量}) = 3509.84151 - 174.01068 X_1 + 44.21908 X_2 + 62.41460 X_3 - 111.22728 X_1^2 - 1.46250 X_1 X_2 + 13.11250 X_1 X_3 - 7.23750 X_2 X_3 - 106.91393 X_2^2 - 405.40137 X_3^2$$

$$Y(\text{病情指数}) = 2.48546 + 0.07219 X_1 + 0.11108 X_2 - 0.17731 X_3 - 0.27531 X_1^2 - 0.01296 X_1 X_2 + 0.07209 X_1 X_3 - 0.090612 X_2 X_3 - 0.34950 X_2^2 - 0.31159 X_3^2$$

表 4 3 因素二次通用回归旋转组合设计试验结果

Table 4 Common quadratic regression rotation designed test results of three factors

试验号 Test No.	C_1	C_2	C_3	产量(kg/667 m ²) Yield	病情指数(%) Disease index
1	1	1	1	3002.7	63.7
2	1	1	-1	2768.6	50.0
3	1	-1	1	2830.4	70.0
4	1	-1	-1	2559.2	60.0
5	-1	1	1	3310.6	75.0
6	-1	1	-1	3120.8	45.0
7	-1	-1	1	3124.3	76.3
8	-1	-1	-1	2913.7	60.0
9	-1.6818	0	0	3417.3	76.3
10	1.6818	0	0	2782.3	55.0
11	0	-1.6818	0	3162.9	82.2
12	0	1.6818	0	3061.1	67.0
13	0	0	-1.6818	2283.6	62.0
14	0	0	1.6818	2251.9	76.3
15	0	0	0	3512.3	43.3
16	0	0	0	3482.6	40.0
17	0	0	0	3506.0	39.1
18	0	0	0	3501.8	40.6
19	0	0	0	3565.0	38.0
20	0	0	0	3524.1	40.0

模型经方差检验：产量模型 $F_1=50.539$, $P<0.01$; $F_2=16.553$, $P<0.01$; 病情指数模型 $F_1=6.192$, $P<0.01$; $F_2=11.54$, $P<0.01$; 说明产量模型和病情指数模型与实际值的拟合程度均达显著水平, 表明未控制因素对试验结果的影响不显著, 试验所建立的模型与实测值拟合程度较好, 可以用模型进行优化分析。

2.2 主因子分析

2.2.1 试验因子对马铃薯产量的影响

由回归方程显著性检验结果可知, 播期(X_1)的一次和二次效应以及芽长(X_2)的二次效应均达到了显著水平, 覆土厚度(X_3)的二次效应达到了极显著水平。可见, 在该试验条件下, 播期、芽长和覆土厚度的单独及配合施用对马铃薯的产量均有显著影响。因为二次通用旋转回归设计所得到的回归模型是经无量纲编码线性代换后求得的, 所以其偏回归系数已经标准化, 偏回归系数的大小可直接反映变量对马铃薯产量的影响程

度。依据产量模型一次项所得 $b_3>b_2>b_1$, 即在该试验条件下, 对马铃薯产量的影响覆土厚度>芽长>播期。二次项系数 $|b_3|>|b_1|>|b_2|$, 且二次项系数均为负值, 表明各因子都具有最佳值, 播种过早或过晚、催芽过长或过短、覆土过薄或过厚都会影响马铃薯产量的变化。

根据二次回归通用旋转设计原理, 对二次回归模型采用“降维法”得出单因子对马铃薯产量的主效应方程:

$$Y(\text{播期})=3509.84151-174.01068 X_1-111.22728 X_1^2$$
$$Y(\text{芽长})=3509.84151+44.21908 X_2-106.91393 X_2^2$$
$$Y(\text{覆土厚度})=3509.84151+62.41460 X_3-405.40137 X_3^2$$

将各因子不同水平的编码值代入各模型中, 可获得各因子不同水平下的产量, 按模型作主效应分析, 结果见图1。

从播期、芽长、覆土厚度3因子对马铃薯产量影响的主效应(图1)可看出, 覆土厚度对产量影响

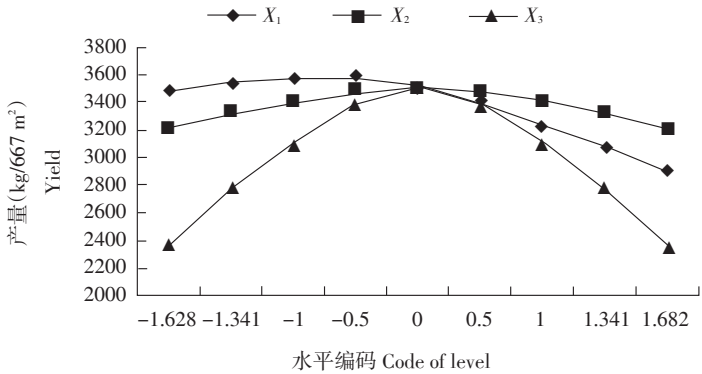


图1 试验因子对产量的影响
Figure 1 Effects of test factors on yield

最大, 其曲线斜率最大, 与马铃薯产量的关系呈凸型二次曲线; 芽长影响次之, 其曲线斜率小于覆土厚度, 与马铃薯产量的关系也呈凸型二次曲线; 提早播种对马铃薯产量影响较小, 但延迟播种对马铃薯产量的影响要大于提早播种。

2.2.2 试验因子对马铃薯黑痣病的影响

由回归方程显著性检验结果可知, 覆土厚度(X_3)的一次效应达到了显著水平, 播期(X_1)、芽长(X_2)、覆土厚度(X_3)的二次效应均达到了极显著水平。可见, 在该试验条件下, 播期、芽长和覆土厚度的单独及配合施用对病情指数均有显著影响。因为二次通用旋转回归设计所得到的回归模型是经无量纲编码线性代换后求得的, 所以其偏回归系数已经标准化。偏回归系数的大小可直接反映变量对黑痣病病情指数影响程度。依据病情指数模型一次项所得 $b_2 > b_1 > b_3$, 即在该试验条件下, 对黑痣病病情指数的影响覆土厚度 > 播期 > 芽长 (系数均为倒数, 所以系数越大, 说明该因

子的影响力就越小), 二次项系数 $|b_2| > |b_3| > |b_1|$, 且二次项系数均为负值, 表明各因子都具有最佳值, 播种早或晚、催芽长或短、覆土薄或厚都会影响马铃薯黑痣病病情指数的变化。

根据二次回归通用旋转设计原理, 对二次回归模型采用“降维法”得出单因子对马铃薯黑痣病病情指数的主效应方程:

$$\begin{aligned} Y(\text{播期}) &= 2.48546 + 0.07219 X_1 - 0.27531 X_1^2 \\ Y(\text{芽长}) &= 2.48546 + 0.11108 X_2 - 0.34950 X_2^2 \\ Y(\text{覆土厚度}) &= 2.48546 - 0.17731 X_3 - 0.31159 X_3^2 \end{aligned}$$

将各因子不同水平的编码值代入各模型中, 可获得各因子不同水平下的黑痣病病情指数, 按模型作主效应分析图, 结果见图2。

从播期、芽长和覆土厚度3因子对黑痣病病情指数影响的主效应(图2)可看出, 播期、芽长、覆土厚度与病情指数的关系均呈凸型二次曲线; 芽长的曲线斜率最大, 对病情指数影响最小; 播期的曲线斜率次之; 覆土厚度的曲线斜率最小, 对

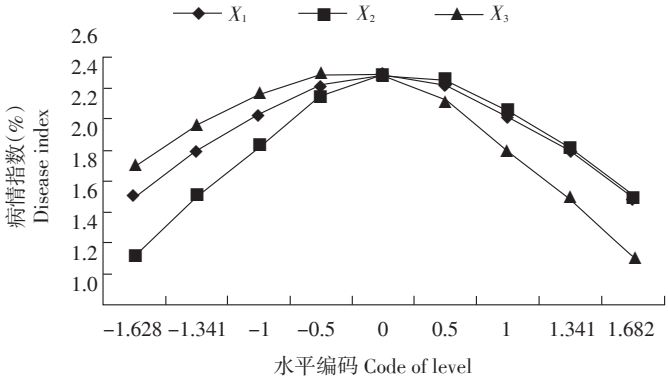


图2 试验因子对黑痣病病情指数的影响
Figure 2 Effects of test factors on *R. solani* disease index

病情指数的影响最大。

2.3 模型的优化

以上述建立的产量和黑痣病病情指数的数学模型为基础，采用决策频数分析，在 $-1.6818 < X <$

1.6818 水平区间经 DPS 软件运算，求得在 95%置信区域内马铃薯产量大于 3 000 kg/667 m² 的组合方案 28 套，病情指数小于 45% 的组合方案 5 套。马铃薯产量和黑痣病病情指数最佳优化方案如表 5 所示。

表 5 马铃薯高产优化方案
Table 5 Optimization program of high-yielding of potato

编码值 Encoding value	产量 Yield	病情指数 Disease index	交集范围 Intersection range	最佳配比方案 Optimal scheme
X_1	-1.018~-0.394	-0.554~0.554	-0.554~-0.394	5 月 2~4 日
X_2	-0.377~0.377	-0.151~0.551	-0.151~0.377	0.54~0.68 cm
X_3	-0.221~0.221	-0.551~0.151	-0.221~0.151	15~17 cm

3 讨 论

播期、芽长及覆土厚度对马铃薯产量有着显著地影响，播种过早或过晚、芽长过长或过短、覆土厚度过厚或过薄均不利于马铃薯的产量形成^[9-11]。在本试验条件下，播期、芽长和覆土厚度对马铃薯产量均有不同程度的影响，均表现为单峰曲线变化，产量峰值均出现在中量水平附近，影响程度表现为覆土厚度 > 芽长 > 播期。以马铃薯产量大于 3 000 kg/667 m² 作为高产指标的优化栽培方案为：播期 4 月 29 日~5 月 4 日，芽长 0.53~0.68 cm，覆土厚度 15.2~16.8 cm。

绝大多数关于防治马铃薯黑痣病的研究均集中在化学药剂防治上^[12, 13]，本研究首次试图通过改变马铃薯农艺措施来规避黑痣病的发病。结果表明，播期、芽长和覆土厚度对马铃薯黑痣病病情指数均有不同程度的影响，且表现为单峰曲线变化，病情指数峰值均出现在中量水平附近，影响程度表现为覆土厚度 > 播期 > 芽长。马铃薯黑痣病病情指数小于 45% 的优化栽培方案为：播期 5 月 3~8 日，芽长 0.26~0.72 cm，覆土厚度 14.2~19.6 cm。

综合考虑马铃薯产量和黑痣病发病，其优化栽培方案为：播期 5 月 2~4 日，芽长 0.5~0.7 cm，覆土厚度 15~17 cm。本研究结果暗示，通过改变栽培方式可规避马铃薯土传病害黑痣病的发病，在保证高产的基础上，适当延迟播种和缩短芽长可更好的规避马铃薯黑痣病的发病，促进马铃薯产业健康有序发展。

[参 考 文 献]

[1] 张玉梅. 我国马铃薯期货上市条件及其上市后可能带来的影响分析 [J]. 中国食物与营养, 2012, 18(10): 39-41.

[2] 裴国平, 王蒂, 张俊莲. 马铃薯连作障碍产生的原因与防治措施 [J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 30-32.

[3] 白厚义, 肖俊璋. 试验研究及统计分析 [M]. 西安: 世界图书出版社, 1998.

[4] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[5] 张苇. 脱毒马铃薯氮磷钾肥效应数学模型的研究 [J]. 中国马铃薯, 2006, 20(6): 336-338.

[6] 孙启善, 王庆亚, 孙敦恒, 等. 山药栽培数学模型及优化农艺的研究 [J]. 中国农学通报, 2004, 20(1): 79-80.

[7] 高聚林, 刘克礼, 张宝林, 等. 马铃薯高产优化栽培措施与产量关系模型的研究 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(3): 131-136.

[8] 刘爱华, 何庆才, 蒋燕, 等. 马铃薯施用 Mg、N、P₂O₅、K₂O 肥优化数学模型研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 203-205.

[9] 葛长琴, 刁艳梅, 等. 不同播期对马铃薯产量的影响 [J]. 农技服务, 2008, 25(7): 21.

[10] 孙茂林, 李树莲, 周晓翌, 等. 马铃薯种薯抹芽播种对产量的影响评价 [J]. 西南农业学报, 2008, 21(5): 1253-1255.

[11] 付业春, 顾尚敬, 陈春艳, 等. 不同播种深度对马铃薯产量及其构成因素的影响 [J]. 中国马铃薯, 2012(5): 281-283.

[12] 陈万利. 马铃薯黑痣病的研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(1): 49-51.

[13] 刘宝玉, 蒙美莲, 胡俊, 等. 5 种杀菌剂对马铃薯黑痣病的病菌毒力及田间防效 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(5): 306-310.