

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2013)02-0112-07

农机应用

脱毒微型马铃薯气力倾斜圆盘排种器试验

毛琼, 黄梅, 黄玠, 段宏兵*

(华中农业大学工学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 为提高脱毒微型马铃薯机械化播种水平, 保证播种质量, 针对脱毒微型马铃薯, 设计了一种气力式倾斜圆盘排种器, 并对其进行了单因素试验及正交试验。分析了该排种器合格指数、重播指数、漏播指数和变异系数等性能指标与排种轴转速、排种盘倾斜角度、排种盘型孔形式 3 个要素之间的关系。单因素试验结果表明, 上述 3 个试验因素对排种器性能指标均有显著影响; 正交试验结果表明, 排种轴转速为 10 r/min、排种盘倾斜角度为 45°、排种盘型孔形式为 9 × Φ12 mm 圆柱孔时, 排种器合格指数达 97.62%, 漏播指数为 0.67%, 变异系数为 8.94%; 研究表明, 气力倾斜圆盘排种器能满足大粒径且外形个体差异性大的脱毒微型马铃薯的精密播种要求, 为大粒径种子的播种提供一个新的方法。

关键词: 脱毒微型马铃薯; 排种器; 气力式; 试验

Experiment on Pneumatic Metering Device with Declined Disc for Virus-free Seed Potato

MAO Qiong, HUANG Mei, HUANG Jie, DUAN Hongbing*

(College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: A pneumatic metering device with declined disc was designed for virus-free seed potato in order to improve the mechanization planting level of virus-free seed potato and guarantee the sowing quality. Single factor and orthogonal experiments were carried out. The relationships of performance indexes such as eligible index, multiple index, miss index and coefficient of variation with the rotational speed of metering shaft, tilt angle of metering disc and the shaped hole form of metering disc were analyzed. Single factor experiment showed that performance indexes were remarkably influenced by those three factors. Orthogonal experiment indicated that the eligible index reached as high as 97.62%, the miss index was 0.67%, and the coefficient of variation was 8.94%; while the rotational speed of metering shaft was 10 r/min, tilt angle of metering disc was 45°, and the shaped hole form of metering disc was cylindrical hole with 9 × Φ 12 mm. The result of the study showed that pneumatic metering device with declined disc could meet the precision seeding requirements for virus-free seed potatoes with large piece and great differences in shape, and provide a new method for large piece seeds.

Key Words: virus-free seed potato; metering device; pneumatic; experiment

马铃薯是继玉米、小麦和水稻之后的世界第四大粮食作物。在当今社会生态退化、可耕地面积不断减少等恶劣环境下, 发展马铃薯产业是保证我国粮食总产量的有效途径^[1,2]。我国已成为世界马铃薯

生产第一大国, 但却不是马铃薯产业强国, 究其原因, 一是我国马铃薯生产主要以切块薯为种薯, 易产生病毒感染; 二是我国马铃薯生产机械化水平低 (我国马铃薯机械化生产水平仅为 1%, 发达国家已

收稿日期: 2013-02-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2011PY084); 华中农业大学 2010 年度研究生科技创新专项资助(2011SC11)。

作者简介: 毛琼(1987-), 女, 硕士研究生, 从事现代农业装备与测控研究。

* 通信作者(Corresponding author): 段宏兵, 副研究员, 硕士生导师, 从事现代农业装备与测控研究, E-mail: duanhb@mailhzaueu.cn。

超过 70%)^[3-9]。国内外现有马铃薯播种机具大都以切块种薯或整薯为作业对象,且多采用机械式排种方式,而种薯切块和机械式排种都容易造成种薯感染病毒,影响马铃薯的质量和产量^[10-16]。

脱毒微型马铃薯能有效地防止在生产过程中因病毒传染而造成的病毒性退化,并降低晚疫病、环腐病、青枯病和黑胫病等多种病害,从而提高马铃薯的品质及产量。目前我国现有脱毒种薯推广面积不到 20%,根据农业部发布的《马铃薯优势区域布局规划》,到 2015 年,力争我国脱毒种薯应用面积要达到种植面积的 50% 以上^[17]。但现在针对使用脱毒微型马铃薯为种薯的直播机具与装置研究尚未开展,影响了新技术的推广与产品质量的提升。

本研究针对脱毒微型马铃薯个体质量差异性较大(单粒质量 3~10 g)、形状不规则、种薯含水率高、表皮易破损等特点,提出了将气吸式排种器倾斜放置,从而降低气吸式排种器吸种所需的真空压力,保证实现脱毒微型马铃薯的精密播种。此播种方式相对于机械式排种和垂直气吸式排种方式减小了对马铃薯种薯的损伤,降低了种薯感染病毒的几率,有利于高品质种薯的应用,对提高马铃薯机械化播种水平、保证马铃薯质量具有重要现实意义,同时为大粒径种子(大粒径种子指颗粒直径大于 6 mm 的种子)的精密播种提供了参考。

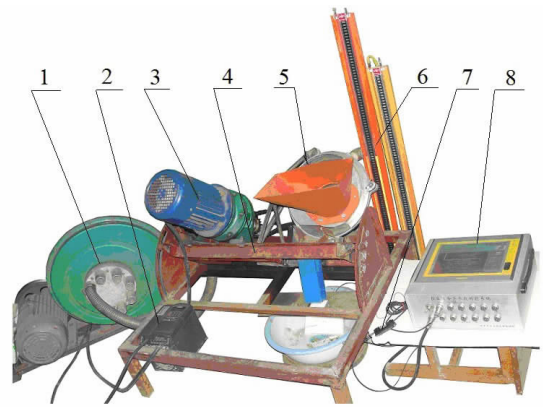
1 排种器结构及工作原理

1.1 排种器结构

气力式脱毒微型马铃薯倾斜圆盘排种器排种系统如图 1 所示。其采用排种盘倾斜放置原理,主要由种箱、进种量调节片、清种装置、种子室壳体、排种盘、气室壳体、排种盘固定套、排种轴、排种盘固定套等组成,其结构示意图如图 2 所示。

1.2 排种器工作原理

输入动力带动排种轴和排种盘一起旋转,脱毒微型马铃薯种薯在重力作用下由种箱进入种子室中。风机负压进气口与排种器负压出气口间通过软管连接,在风机作用下,气室壳体中环状气室形成负压。排种器倾斜放置,使种薯能依靠自身重力提供部分支持力及与排种盘间的摩擦力,在一定程度上减少了风机功率消耗,同时也可以增加排种器的充种率。种子室中的种薯在真空压力与排种盘的支持力等作



1. 离心式风机; 2. 变频器; 3. 电机减速机组件; 4. 试验台架; 5. 排种器; 6. U 形压差计; 7. 光纤传感器; 8. 农业装备多参数测控系统。

1. Centrifugal fan; 2. Transducer; 3. Motor reducer component; 4. Test bench; 5. Seed metering device; 6. U-bend differential gage; 7. Fiber optic sensor; 8. Agricultural equipment multi-parameter measuring and controlling system

图 1 排种系统

Figure 1 Seed metering system

用下,从种薯群中脱离出来,吸附在排种盘的型孔上并随排种盘一起转动。当吸种的型孔运转至离开环状气室时,吸附在型孔上的脱毒微型马铃薯瞬间失去负压作用力,在自身重力作用下脱离型孔,至此排种器完成排种。

2 排种器性能试验

2.1 试验方法与设备

2.1.1 试验材料

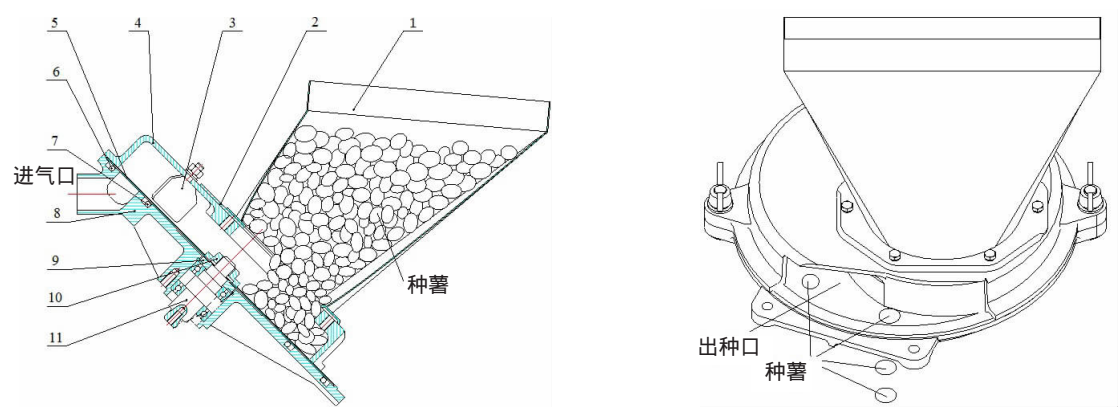
试验用种薯为‘费乌瑞它’脱毒微型马铃薯(3~10 g),其物理机械特性如表 1 所示^[18]。

2.1.2 试验设备

试验设备包括试验台架(角度 0°~60°可调),SIEMENS 变频器,减速机,离心式风机及其连接管道,U 形压差计,光纤传感器,农业装备多参数测控系统等。

2.1.3 试验方法

由理论分析及初步试验可知,排种轴转速、排种盘倾斜角度、排种盘型孔形式及气室压力对排种器性能影响较为显著。由于种薯个体较大,排种盘型孔相应也大,根据前期试验,在更换不同排种盘时,气室初始压力(风机工作,排种器不工作时的气室压力)变化并不显著,亦即气室初始压力可调节范



1. 种箱；2. 进种量调节片；3. 清种装置；4. 种子室壳体；5. 排种盘；6. 密封圈；7. 密封圈；8. 气室壳体；9. 排种盘固定套；10. 排种盘固定套；11. 排种轴。

1. Seed box; 2. Seeding flow adjustable sheet; 3. Cleaning device; 4. Seed chamber shell; 5. Planter plate; 6. Seal ring; 7. Seal ring; 8. Air chamber shell; 9. Planter plate fixing sleeve; 10. Planter plate fixing sleeve; 11. Metering shaft.

图 2 排种器结构示意图

Figure 2 Structure of metering device

表 1 脱毒微型马铃薯物理机械特性

Table 1 Physical and mechanical characteristics of virus-free seed potato

品种 Variety	质量(g) Mass	长(mm) Length	宽(mm) Width	厚(mm) Depth	三轴平均粒径(mm) Triaxialaverage particle size	球形度 Sphericity	容积密度 (kg/m ³) Volume density	孔隙率 Porosity	滚动稳定角(°) Roll stability angle	自然休止角(°) Natural angle of repose
费乌瑞它 Favorita	4.34	24.01	18.60	16.80	19.80	0.71	646.80	0.38	11.90	25.59

注 表中滚动稳定角指脱毒微型马铃薯与钢板之间滚动稳定角。
Note Roll stability angle refers to the rolling stability angle between virus-free seed potato and steel.

围相对较小。所以本试验不对气室初始压力安排因素水平，确定试验因素为排种轴转速、排种盘倾斜角度、排种盘型孔形式。

根据微型薯种植农艺要求(株距 20 cm)、拖拉机田间行驶速度及前期试验效果，相应因素水平设置如下：

(1)排种轴转速：10 r/min、15 r/min、20 r/min、25 r/min(当排种器转速过低时，播种效率降低；而增加排种盘型孔数量会造成排种器气室压力不足，所以不对排种轴转速设置更低的水平)。

(2)排种盘倾斜角度（与垂直方向夹角）：10°、15°、20°、25°、30°、35°、40°、45°、50°、55°。

(3)排种盘型孔(均布) 形式：9×Φ10 mm 圆柱孔、9×Φ11 mm 圆柱孔、9×Φ12 mm 圆柱孔、9×Φ13 mm 圆柱孔、12×Φ10 mm 圆柱孔、12×Φ11 mm 圆柱孔、12×Φ12 mm 圆柱孔、12×Φ13 mm 圆柱孔。

以 GB/T 6973-2005《单粒(精密)播种机试验方

法》为依据，确定试验指标为合格指数、重播指数、漏播指数及变异系数。光纤传感器检测种薯从排种器下落信号，并将该信号输入农业装备多参数测控系统；农业装备多参数测控系统采集并记录数据，每个因素水平测得的结果至少重复记录 9 次。使用 MATLAB 与 Excel 等统计分析软件处理试验数据。

2.2 试验目的

通过单因素和多因素试验，研究各试验因素对排种器试验指标的影响规律以及各因素水平的最优组合，并检验本文设计的气力式倾斜圆盘排种器是否会对脱毒微型马铃薯造成损伤。

3 结果与分析

3.1 单因素试验

3.1.1 排种轴转速

调节排种盘倾斜角度为 40°，使用 9×Φ12 mm 圆柱孔排种盘，分别调节排种轴转速为 10 r/min、

15 r/min、20 r/min、25 r/min。试验结果及排种轴转速对试验指标的影响规律如图 3、图 4 所示。

由图 3、图 4 可知, 其它试验条件一定, 随着排种轴转速增加, 合格指数呈下降趋势, 漏播指数呈上升趋势; 变异系数单调递增。原因在于转速越低, 型孔充种时间越充足, 提高了排种器的充种率, 则合格指数越高, 漏播指数越低, 排种器排种性能越稳定。对试验数据进行方差分析可知, 排种轴转速对试验指标有极显著影响。

3.1.2 排种盘倾斜角度

使用 $9 \times \Phi 12$ mm 圆柱孔排种盘, 调节排种轴转速为 15 r/min, 分别调节排种盘倾斜角度为 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 、 50° 、 55°

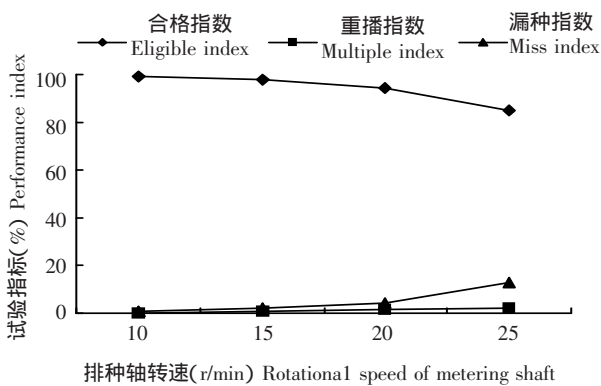


图 3 试验指标与排种轴转速的关系曲线

Figure 3 Relationship between index and rotational speed of metering shaft

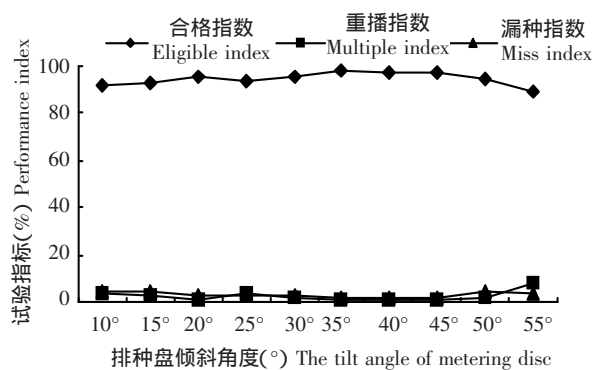


图 5 试验指标与排种盘倾斜角度的关系曲线

Figure 5 Relationship between index and tilt angle of metering disc

3.1.3 排种盘型孔形式

调节排种盘倾斜角度为 35° , 排种轴转速为 15 r/min, 更换不同型孔形式排种盘。记录试验结

等。记录试验结果, 对所得数据进行处理, 分析排种盘倾斜角度对试验指标的影响规律, 如图 5、图 6 所示。

由图 5、图 6 可知, 其它试验条件一定, 排种盘倾斜角度在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 时, 试验结果基本保持平稳, 合格指数均在 95% 以上; 排种盘倾斜 35° 时, 变异系数最小。因为排种盘倾斜角度越大, 由脱毒微型马铃薯自身重力引起的向下运动趋势越小, 种薯更容易吸附在型孔上; 而排种盘倾斜角度过大, 种薯与排种盘间的摩擦和其它作用力使种薯越过种子室和投种区间的挡板而直接落入投种区, 破坏正常投种。方差分析结果表明, 排种盘倾斜角度对试验指标有极显著影响。

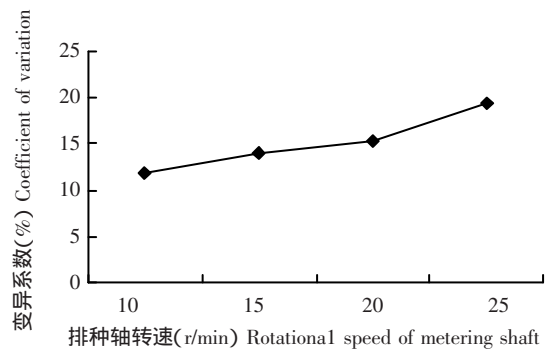


图 4 排种轴转速对变异系数的影响

Figure 4 Impact of rotational speed of metering shaft on coefficient of variation

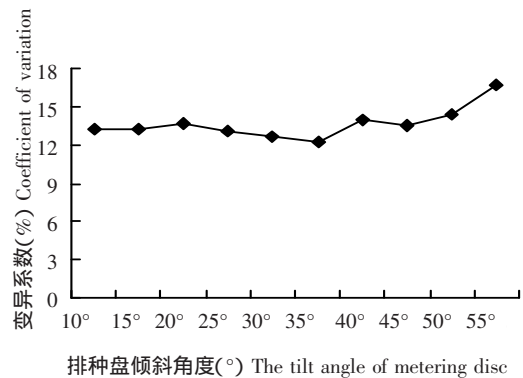


图 6 排种盘倾斜角度对变异系数的影响

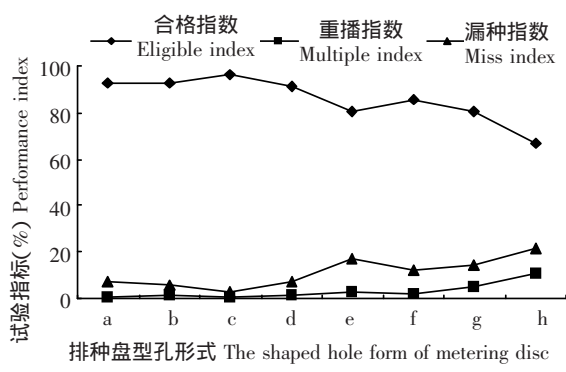
Figure 6 Impact of tilt angle of metering disc on coefficient of variation

果, 对所得数据进行处理, 分析排种盘型孔形式对试验指标的影响规律, 如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 可知, 其它试验条件一定时, 排

种盘型孔形式不同，合格指数、漏播指数均不同，变异系数整体呈上升趋势。所有排种盘中 9 × Φ12 mm 圆柱孔排种盘的合格指数最高，变异系数也最小。因为 9 孔排种盘的气室初始压力比 12 孔排

种盘大，对种子的吸附力大，能保证排种器的充种率；而型孔直径 Φ12 mm 更适合脱毒微型马铃薯的外形尺寸。方差分析结果显示，排种盘型孔形式对试验指标有极显著影响。



a. 9 × Φ10 mm 排种盘；b. 9 × Φ11 mm 排种盘；c. 9 × Φ12 mm 排种盘；d. 9 × Φ13 mm 排种盘；e. 12 × Φ10 mm 排种盘；f. 12 × Φ11 mm 排种盘；g. 12 × Φ12 mm 排种盘；h. 12 × Φ13 mm 排种盘。
a. 9 × Φ10 mm metering disc; b. 9 × Φ11 mm metering disc; c. 9 × Φ12 mm metering disc; d. 9 × Φ13 mm metering disc; e. 12 × Φ10 mm metering disc; f. 12 × Φ11 mm metering disc; g. 12 × Φ12 mm metering disc; h. 12 × Φ13 mm metering disc.

图 7 试验指标与排种盘型孔形式的关系

Figure 7 Relationship between index and shaped hole form of metering disc

3.2 正交试验

根据单因素试验结果，不考虑交互作用，选择如表 2 所示的正交试验因素水平。选用 L₁₆(4⁵) 标准正交表进行正交试验。

表 2 正交试验因素与水平
Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment

水平 Level	因素 Factor		
	排种盘倾斜角度 A(°)	排种盘型孔形式 B	排种轴转速 C(r/min)
1	45°	9 × Φ 10 mm	25
2	35°	9 × Φ 11 mm	20
3	30°	9 × Φ 12 mm	15
4	40°	9 × Φ 13 mm	10

每组试验重复 9 次，求出各项试验指标的平均值，试验结果如表 3 所示。对所得数据进行极差分析，如表 4 所示。

如表 4，合格指数的极差分析显示，影响合格指数的因素主次为 C、B、A，因素 C 取水平 4、因素 B 取水平 3、因素 A 取水平 1 即 A₁B₃C₄ 时，合格指数最高；重播指数的极差分析表明，B 是影响重播指数的主要因素，其次是 A 和 C，A₄B₁C₃ 为重播

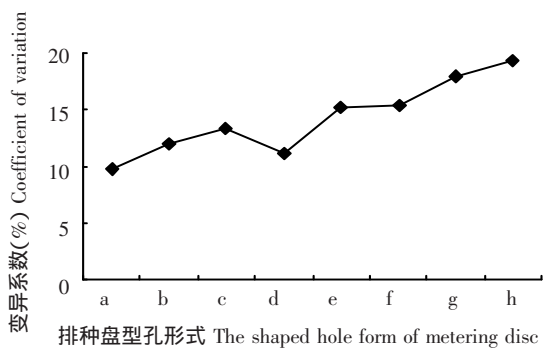


图 8 排种盘型孔形式对变异系数的影响

Figure 8 Impact of shaped hole form of metering disc on coefficient of variation

指数最小时的参数组合；对漏播指数进行极差分析可知，漏播指数的影响因素主次与合格指数的一致，也为 C、B、A，因素 C 取水平 4、因素 B 取水平 3、因素 A 取水平 1，即 A₁B₃C₄ 时，漏播指数最小；而变异系数的影响因素主次为 A、C、B，A₁B₄C₃ 为变异系数最小时的参数组合。

由上述分析可知，试验因素对试验指标影响主次为 C、B、A，最优方案为 A₁B₃C₄，即排种盘倾斜角度为 45°，排种轴转速为 10 r/min，排种盘型孔形式为 9 × Φ12 mm 圆柱孔。

验证试验表明，在排种盘倾斜角度为 45°，排种轴转速为 10 r/min，排种盘型孔形式为 9 × Φ12 mm 圆柱孔时，合格指数可达 97.62%，重播指数和漏播指数分别为 1.71%、0.67%，变异系数为 8.94%；与单因素试验相比，在该工况下，排种器排种性能的变异系数最小。

该优方案验证试验合格指数小于所安排正交试验中因素水平 A₂B₃C₄ 的合格指数，且空列 2 合格指数的极差比因素 A 合格指数的极差大，原因可能是交互作用的影响，或还有其他影响显著的因素未被考虑。

表 3 正交试验方案与结果

Table 3 Programs and results of orthogonal experiment

试验号 Test number	A	B	空列 1 Nullable column 1	C	空列 2 Nullable column 2	合格指数(%) Eligible index	重播指数(%) Multiple index	漏播指数(%) Miss index	变异系数(%) Coefficient of variation
1	1	1	1	1	1	77.01	1.86	21.13	9.84
2	1	2	2	2	2	84.92	3.38	11.70	10.56
3	1	3	3	3	3	97.19	0.84	1.97	13.10
4	1	4	4	4	4	94.32	3.09	2.59	15.33
5	2	1	2	3	4	92.45	0.50	7.05	9.69
6	2	2	1	4	3	94.84	1.04	4.12	8.72
7	2	3	4	1	2	79.32	1.24	19.45	16.55
8	2	4	3	2	1	84.99	2.14	12.87	14.05
9	3	1	3	4	2	88.99	0.44	10.57	16.36
10	3	2	4	3	1	91.65	0.62	7.74	18.74
11	3	3	1	2	4	86.17	1.18	12.66	11.76
12	3	4	2	1	3	77.59	2.14	20.26	11.99
13	4	1	4	2	3	85.53	0.58	13.89	18.98
14	4	2	3	1	4	79.23	0.90	19.87	17.06
15	4	3	2	4	1	99.07	0.27	0.66	13.54
16	4	4	1	3	2	86.22	2.14	11.64	10.83

表 4 试验结果极差分析

Table 4 Range analysis of experiment results

试验指标		A	B	空列 1	C	空列 2	试验指标		A	B	空列 1	C	空列 2
Test index				Nullable column 1		Nullable column 2	Test index				Nullable column 1		Nullable column 2
合格指数 (%) Eligible index	K1	353.45	343.98	344.24	313.15	352.72		K1	37.39	52.64	49.55	80.69	42.40
	K2	351.60	350.64	354.03	341.61	339.44		K2	43.48	43.42	39.66	51.12	53.36
	K3	344.39	361.74	350.40	367.51	355.15		K3	51.22	34.74	45.29	28.40	40.24
	K4	350.05	343.12	350.81	377.23	352.18	漏播指数	K4	46.07	47.36	43.67	17.95	42.15
	k1	88.36	86.00	86.06	78.29	88.18	(%)	k1	9.35	13.16	12.39	20.17	10.60
	k2	87.90	87.66	88.51	85.40	84.86	Miss index	k2	10.87	10.86	9.92	12.78	13.34
	k3	86.10	90.44	87.60	91.88	88.79		k3	12.81	8.68	11.32	7.10	10.06
	k4	87.51	85.78	87.70	94.31	88.04		k4	11.52	11.84	10.92	4.49	10.54
极差 R		2.26	4.66	2.45	16.02	3.93		极差 R	3.46	4.48	2.47	15.69	3.28
重播指数 (%) Multiple index	K1	9.17	3.38	6.21	6.15	4.88		K1	48.83	54.87	41.15	55.45	56.17
	K2	4.91	5.94	6.29	7.27	7.19		K2	49.01	55.07	45.78	55.34	54.30
	K3	4.37	3.52	4.31	4.09	4.59	变异系数	K3	58.85	54.96	60.56	52.36	52.79
	K4	3.88	9.51	5.52	4.83	5.67	(%)	K4	60.41	52.20	69.60	53.94	53.84
	k1	2.29	0.84	1.55	1.54	1.22	Coefficient	k1	12.21	13.72	10.29	13.86	14.04
	k2	1.23	1.48	1.57	1.82	1.80	of	k2	12.25	13.77	11.45	13.84	13.57
	k3	1.09	0.88	1.08	1.02	1.15	variation	k3	14.71	13.74	15.14	13.09	13.20
	k4	0.97	2.38	1.38	1.21	1.42		k4	15.10	13.05	17.40	13.49	13.46
极差 R		1.32	1.53	0.50	0.80	0.65		极差 R	2.89	0.72	7.11	0.77	0.84

4 讨 论

马铃薯脱毒种薯的应用已是大势所趋, 但若采用机械式排种方式造成种薯病毒感染, 脱毒种薯便失去脱毒意义^[19]。气吸式排种方式被广泛应用于大豆、花生等大中粒径种子的播种, 国内外对大中粒径种子气吸式播种技术的研究已由结构设计深入到优化改进, 相关机具也已广泛应用于农业生产^[20-25]。气吸式排种方式对种子外形要求不高, 机械摩擦相对较小, 对种薯伤害较小, 符合外形个体差异性大的脱毒微型马铃薯种植要求^[26]。而美国 Crary 公司生产的 Lockwood 604、606、608 型气吸式马铃薯播种机也为脱毒微型马铃薯播种技术未来的发展方向指明了道路。

研究结果表明, 将垂直圆盘气吸式排种器的圆盘倾斜放置, 能有效提高排种器对脱毒微型马铃薯的排种性能。气吸式脱毒微型马铃薯倾斜圆盘排种器最佳参数组合为排种盘倾斜角度 45°, 排种轴转速 10 r/min, 排种盘型孔形式 9 × Φ12 mm 圆柱孔。此时排种器性能较好, 合格指数可达 97.62%, 重播指数和漏播指数分别为 1.71%、0.67%, 变异系数为 8.94%。说明该排种器达到了精量播种的要求, 能适应大粒径种子的播种, 为大粒径种子的播种提供一个新的方法。

本试验中采用的测试装置对排种器性能的测量方法是利用光纤传感器测量种薯下落的时间间隔来表征的, 从理论上分析是可行的, 数据的精度能满足本试验的要求, 但还需对试验装置进行相关的标定。本试验是在试验台架上进行的, 与实际播种作业过程中的试验数据有一定的差距。考虑到播种作业中其他因素的影响, 漏播指数会有一定的提高, 将在后续的试验中验证。

【参 考 文 献】

- [1] 何玉静. 马铃薯播种机新型排种机构的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [2] Food and Agriculture Organization. FAOstat[EB/OL]. (2010-11-01)[2011-11-10]. <http://faostat.fao.org>.
- [3] 李勤志, 冯中朝, 谢从华. 我国马铃薯产业发展问题研究[M]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与东北振兴. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005: 23-30.
- [4] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 2010[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [5] 庞芳兰. 发达国家马铃薯种薯产业的发展及其启示[J]. 世界农业, 2008(3): 53-55.
- [6] 杨红旗, 王春萌. 中国马铃薯产业制约因素及发展对策[J]. 种子, 2011, 30(5): 100-103.
- [7] 谢开云, 屈冬玉, 金黎平, 等. 中国马铃薯生产与世界先进国家的比较[J]. 世界农业, 2008(5): 35-38, 41.
- [8] 周素萍, 周成, 柳春柱. 我国马铃薯机械化生产技术研究[J]. 农业科技与装备, 2008, 3: 94-95, 98.
- [9] 李勤志. 中国马铃薯生产经济分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [10] 杜宏伟, 尚书旗, 杨然兵, 等. 我国马铃薯机械化播种排种技术研究与分析[J]. 农机化研究, 2011(2): 214-217, 221.
- [11] 连勇. 马铃薯脱毒种薯生产技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [12] 毛琼, 谢敬波, 段宏兵. 国内外大田马铃薯播种机械化的发展现状与未来预测[C]//中国农业工程学会. 2011 年学术年会论文集, 2011.
- [13] Morel G. Meristem culture techniques for the long-term storage of cultivated plants [M]//Frankel O H, Hawkes J G. Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge: Cambridge University Press, 1975: 327-332.
- [14] Meijer E N C, Frederiks J. Development of an automatic planter for presprouted seed [J]. Potato Res, 1975, 18(3): 451-454.
- [15] Misener G C, McLeod C D. A plot planter for potatoes [J]. American Potato Journal, 1988, 65(5): 289-293.
- [16] Gulati S, Singh M. Design and development of a manually drawn cup type potato planter [J]. J Indian Potato Assoc, 2003, 30(1-2): 61-62.
- [17] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报, 2012(1): 1-4.
- [18] 谢敬波, 段宏兵, 毛琼. 脱毒微型马铃薯机械物理特性试验[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(1): 152-155.
- [19] 谢敬波. 脱毒微型马铃薯排种器设计与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [20] Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(1): 121-125.
- [21] Balsari P, Manzone M, Marucco P, et al. Evaluation of maize sowing machines performances to establish their potential dissemination of seeds dressing [J]. Aspects of Applied Biology, 2010(99): 297-304.
- [22] 刘文忠, 赵满全, 王文明, 等. 气吸式排种装置排种性能理论分析与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 133-138.
- [23] 陈立东, 马淑英, 何堤. 2QXP-1 型气吸式排种器关键参数优化问题[J]. 河北科技师范学院学报, 2007, 21(4): 55-58.
- [24] 孙松涛. 玉米精播机圆管式气吸排种装置试验研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- [25] 刘汉涛, 窦卫国, 王竹瑛, 等. 气吸式膜上精量播种装置排种过程的仿真研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 74-77.
- [26] 吴福通. 正负气压组式油菜籽精量直播排种器的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.