

制种玉米去雄机轮式抽雄部件设计与试验

王锦江¹ 陈 志² 董 祥¹ 严荷荣¹ 张 铁¹ 尹素珍¹

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 中国机械工业集团有限公司, 北京 100080)

摘要: 为改善制种玉米去雄机作业效果,设计了一种轮式抽雄部件及其性能测试装置。以植株喂入速度、充气压力、滚轮中心距、滚轮转速、滚轮倾角为影响因素,去雄率和叶片损失率为评价指标,对轮式抽雄部件进行了单因素和多因素正交试验研究。试验结果表明:滚轮中心距和倾角对去雄率的影响比较显著,各因素对叶片损失率影响显著性的顺序依次为滚轮中心距、充气压力、滚轮倾角和滚轮转速,设计的轮式抽雄部件最优参数组合为:滚轮中心距 254 mm,充气压力 50 kPa,滚轮倾角 30°,滚轮转速 450 r/min。此方案下,喂入速度 5 km/h 时,去雄率为 97.8%,叶片损失率为 24.4%;喂入速度为 3~6 km/h 时,去雄率均值为 97.8%,叶片损失率均值为 27.4%,符合农艺要求。

关键词: 玉米去雄机; 抽雄部件; 性能测试

中图分类号: S224.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0075-07

Design and Experiment for Roller Type Tassel-removal Component in Seed Corn Detasseling Machine

Wang Jinjiang¹ Chen Zhi² Dong Xiang¹ Yan Herong¹ Zhang Tie¹ Yin Suzhen¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. China National Machinery Industry Corporation, Beijing 100080, China)

Abstract: In order to improve the performance of a seed corn detasseling machine, a roller type tassel-removal component and a performance testing apparatus for the same were provided. One-factor and multi-factor orthogonal experiments were carried out with plant feeding speed, air-charged pressure, central distances between the rollers, roller revolving speed, and roller's inclination angle as factors and with the tassel removal rate, and the leaf loss rate as evaluation indicators. The experiments show that central distances between the rollers and the roller's inclination angle have significant influences on the tassel removal rate and the influences on the leaf loss rate of the respective factors decrease in the order as below, central distances between the rollers, air-charged pressure, roller's inclination angle, and roller revolving speed. The following parameter combination demonstrates the optimal performance of the roller type tassel-removal component. The central distance between the rollers is 254 mm, the air-charged pressure is 50 kPa, the roller's inclination angle is 30°, and the roller revolving speed is 450 r/min. Under the above settings, when the plant feeding speed is set as 5 km/h, the tassel removal rate is up to 97.8%, and the leaf loss rate is up to 24.4%; and when the plant feeding speed is set as 3~6 km/h, the average tassel removal rate is up to 97.8% and the average leaf loss rate is up to 27.4% which meet the agronomic requirements.

Key words: corn detasseling machine; tassel-removal component; performance testing

收稿日期: 2015-11-19 修回日期: 2015-12-29

基金项目: 国家国际科技合作专项(2013DFA31560)和科研院所技术开发研究专项(2013EG119159)

作者简介: 王锦江(1980—),男,博士生,主要从事农业机械设计及关键技术研究,E-mail: lazio320@163.com

通信作者: 陈志(1955—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化工程技术研究,E-mail: chenchi@sinomach.com

引言

去雄作业作为玉米制种的关键环节,直接影响玉米种子的质量^[1-2]。目前,我国制种玉米去雄作业以人工为主,劳动强度大,效率低而成本高,作业条件恶劣且容易受到天气条件影响,难以保证种子的纯度和质量。玉米去雄机作业效率高,受自然条件影响小,越来越受到玉米制种行业的重视。我国玉米去雄机研究起步较晚,以仿制国外机型为主,现有的去雄机抽雄率较低,带叶数量较多,去雄时对玉米植株产生不同程度的机械损伤,影响产量。国内学者对机械化去雄装备的研究多集中于液压系统和雄穗识别系统,而对去雄机关键部件——抽雄部件的研究却鲜见报道^[1-9]。

本文利用设计的抽雄部件性能试验台,对设计的轮式抽雄部件进行试验研究,获取抽雄作业时最佳性能结构参数,达到提高去雄率、减少叶片损失率的目的。

1 整机结构与工作原理

玉米去雄机主要由底盘、连接部件、升降机构、平行四连杆、高度识别装置、轮式抽雄部件、升降油缸等组成,如图 1a 所示;轮式抽雄部件主要由固定架、抽雄滚轮、驱动马达、分禾器和导禾板等组成,如图 1b 所示。

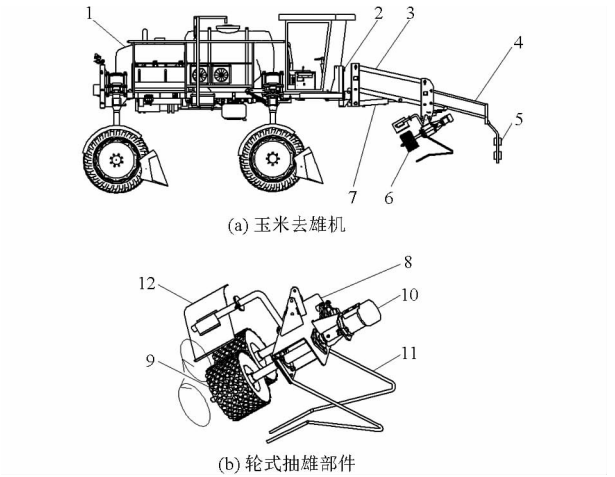


图 1 玉米去雄机及轮式抽雄部件结构简图

Fig.1 Structure diagram of corn detasseling machine and roller type tassel-removal component

1. 底盘 2. 连接部件 3. 升降机构 4. 平行四连杆 5. 高度识别装置 6. 轮式抽雄部件 7. 升降油缸 8. 固定架 9. 抽雄滚轮 10. 驱动马达 11. 分禾器 12. 导禾板

作业时,首先由高度识别装置探测玉米雄穗位置,后经升降机构调节轮式抽雄部件至合适高度,底盘通过液压系统将动力传递给轮式抽雄部件的驱动马达,驱动马达带动抽雄主动轮旋转,并利用滚轮表

面摩擦驱动从动轮,两轮反向旋转(旋转方向见图 1b),玉米植株在分禾器的作用下拢向两滚轮接触面,在滚轮挤压、拉拨的作用下,将玉米雄穗抽出,并在导禾板作用下,将抽出的玉米雄穗抛向地面,完成玉米去雄的机械化作业。

2 抽雄部件设计

2.1 抽雄滚轮结构

考虑制种玉米茎秆可压缩特性和抽雄作业特点,采用充气轮胎作为抽雄滚轮。根据制种玉米种植模式,轮胎参照 4.10/3.50—4 工业车辆充气轮胎标准进行设计,其中轮胎结构、配方以及制造工艺等根据 GB/T 2981—2014 的相关规定,按现有结构和工艺进行,本文只对胎面花纹进行设计研究。

轮胎胎面与玉米茎叶接触时,既传递动力,又对茎叶有挤压作用。为了增强胎面抓着力和自洁性能,改善轮胎对玉米茎秆及叶片的挤压和拉拔效果,胎面花纹采用横向花纹,由于轮胎较小,花纹沟底弧采用自由弧,以加强花纹根部,减小轮胎使用时花纹变形^[10]。花纹节数取 48,花纹沟面积占整个行驶面积的 39.8%,花纹沟深度为 5 mm,表面硬度为 70 HA。胎面花纹展开示意图如图 2 所示,其余结构参数见表 1。

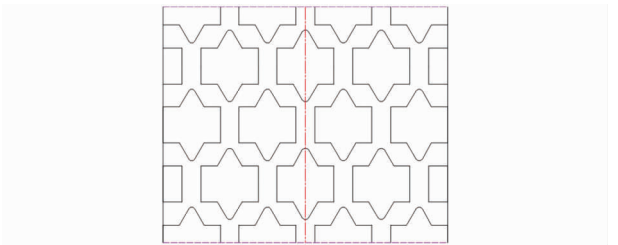


图 2 胎面花纹展开示意图

Fig.2 Schematic diagram of tread pattern

表 1 抽雄轮结构参数

Tab.1 Parameters of roller

参数	滚轮外径/ mm	断面宽/ mm	层数	最大工作压力/ kPa
数值	265	80	4	207

2.2 植株茎秆与滚轮接触时受力分析

玉米植株茎叶与滚轮接触时主要受到滚轮接触压力和拔取力,参考 ISO 车轮坐标系^[11],并将玉米雄穗处茎秆看作细杆^[12],以植株与滚轮接触点为坐标原点 O 、水平方向为 x 轴、垂直方向为 y 轴建立坐标系,对茎秆进行受力分析,如图 3 所示。

根据赖恩的刚度模型理论^[11,13-14],由图 3 得接触压力为

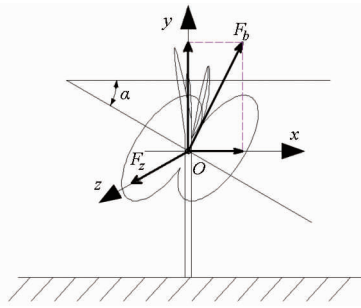


图3 雄穗受力分析图

Fig. 3 Analysis diagram of corn tassel stress

$$F_z = \frac{1}{100} (0.00028p\sqrt{Wd} + 3.45) \times \frac{1}{2} (d - S) \quad (1)$$

式中 F_z ——接触压力, kN

p ——轮胎充气压力, kPa

W ——轮胎断面宽度, mm

d ——轮胎外径, mm

S ——滚轮中心距, mm

拔取力 F_b 垂直分力 F_v 可以表示为

$$F_v = F_b \cos \alpha = k F_z \cos \alpha \quad (2)$$

式中 k ——系数, 与胎面参数、植株性状有关

α ——滚轮倾角, ($^\circ$)

经试验测定, 在玉米去雄期 (品种为 PH6WC), 雄穗带 3 叶成功垂直向上拔出时, 所需拔取力最小值为 0.060 5 kN, 则玉米雄穗被成功拔出时应满足条件

$$k F_z \cos \alpha \geq 0.0605 \quad (3)$$

由式(1)~(3)可以得出, 拔取力与充气压力、滚轮中心距、滚轮倾角以及轮胎结构参数、被测玉米植株形状特征有关。

2.3 接触后植株茎秆运动分析

考虑抽雄滚轮主动轮与从动轮间为纯滚动运动, 玉米植株与轮胎胎面无滑移, 则玉米植株与轮胎接触处的线速度可以近似为

$$v_1 = \frac{n\pi d}{60} \quad (4)$$

式中 v_1 ——接触线速度, m/s

n ——抽雄滚轮转速, r/min

假设雄穗成功拔出时, 茎秆断裂处为 A 点, 植株茎秆与滚轮接触点在 O 点时, 玉米植株运动分析如图 4 所示。

当玉米植株连续喂入时, 为了减少堵塞, 保证作业效果, 应使接触区 (图 4 虚线区) 内最多只有 1 株玉米, 即满足公式

$$\frac{s}{v_0} \geq \max \left(\frac{S_1}{v_1 \sin \alpha}, \frac{S_{OA}}{v_1 \cos \alpha} \right) \quad (5)$$

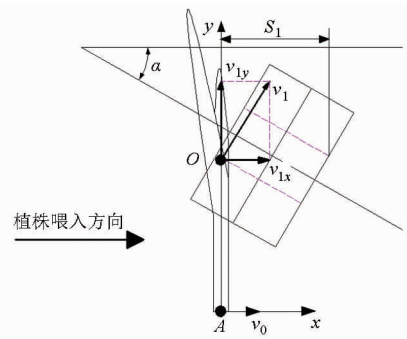


图4 雄穗与胎面接触后运动分析图

Fig. 4 Analysis diagram of corn tassel movement while it touching on thread

式中 s ——株距, cm

v_0 ——植株喂入速度 (相对去雄部件固定架速度), m/s

S_1 ——植株茎秆在接触区的横向位移, cm

S_{OA} ——植株茎秆在接触区的纵向位移, cm

式(5)中, S_1 由轮胎中心距、充气压力和系数 k 决定。当 s 、 v_0 、 S_{OA} 取固定值时, 由式(4)、(5)可以看出, 为了获得较好的去雄效果, 抽雄滚轮转速与倾角、轮胎中心距、充气压力、系数 k 等因素有关。

3 试验

3.1 试验条件

试验时间为 2015 年 8 月, 制种玉米样本取自河北省保定市中国农业机械化科学研究院试验地, 母本为 PH6WC, 生长期 8 周, 平均高度 1 850 mm, 根部茎秆直径平均 20 mm (非节处), 要求通直、叶片鲜绿无虫害、雄穗刚露头 (1~3 cm, 未散粉)。

3.2 抽雄部件性能测试装置

为了验证轮式抽雄部件性能, 分析其影响因素, 设计了抽雄部件性能测试装置, 由玉米植株喂入系统、转速传感器、驱动电动机、转速转矩仪控制柜、计算机等组成 (如图 5 所示) [15-16]。试验时, 将玉米植株按一定高度和株距竖直固定在喂入系统上, 通过输送链将制种玉米植株依次喂入抽雄部件中 (植株运动方向如图 4 中箭头所示), 模拟去雄机田间作业。其中喂入速度通过变频调速机构调节, 喂入速度信号通过编码器 (欧姆龙, 型号: E6B2-CWZ6C) 采集; 抽雄部件的滚轮由电动机调速驱动, 抽雄部件扭矩以及滚轮转速由转速转矩仪 (北京三晶创业科技集团有限公司, 型号: JN338-A) 采集; 滚轮倾角使用倾角仪 (艾力仪器制造有限公司, 型号: DIL-1) 测得, 轮胎充气压力由胎压计 (宁波尤利特汽车用品有限公司, 型号: YLT-6028) 测定, 滚轮中心距使用游标卡尺测量。

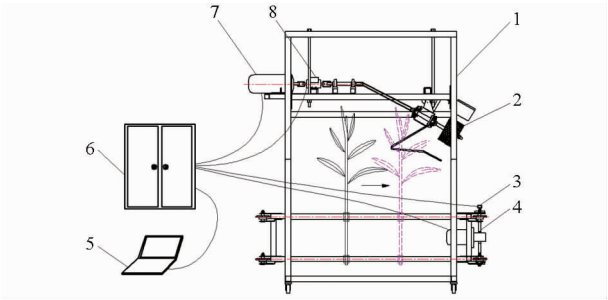


图 5 抽雄部件性能测试装置结构简图
Fig.5 Structure diagram of performance testing equipment of roller type tassel-removal components

1. 机架 2. 抽雄部件 3. 编码器 4. 植株喂入系统 5. 计算机
6. 控制柜 7. 驱动电动机 8. 转速转矩仪

3.3 试验指标的计量方法

目前,没有对机械化玉米去雄装备作业效果进行评价的依据。通过文献分析,去雄携带叶片数量对玉米生长及产量有影响,但为了提高种子纯度,一般带 1~3 片叶去雄,玉米去雄机一次抽雄率一般低于 85%^[3,9,17]。所以本试验以去雄率和叶片损失率为评价指标。

去雄率计算公式为^[1]

$$D = \frac{N_1}{N_0} \times 100\% \tag{6}$$

式中 D ——去雄率, %

N_0 ——玉米总株数, 株

N_1 ——去除雄穗的总玉米株数, 株

叶片损失率:在雄穗成功抽出的植株中,雄穗附带叶片数小于等于 3 的相应玉米株计为 0,雄穗附带叶片数大于 3 的相应玉米株计为 1,叶片损失率计算公式为

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{N_1} \times 100\% \tag{7}$$

式中 L ——叶片损失率, %

N_i ——相应玉米株的计量值, 株

3.4 试验方法及方案设计

以玉米植株喂入速度、充气压力、滚轮中心距、滚轮转速、滚轮倾角为影响因素,以去雄率和叶片损失率为评价指标,设计单因素和正交试验。

根据试验研究,植株叶片最顶端与抽雄轮最底端间距 h 在 30~40 cm 范围内时,抽雄率大于 85%,叶片损失率小于 50%,本试验 h 取中间值 35 cm,将采集的制种玉米植株按 35 cm 固定在抽雄部件性能测试装置上,株距 s 为 20 cm,如图 6 所示。每组进行 5 次重复试验,试验后玉米去雄情况与雄穗附带叶片数由人工观察记录,结果取平均值。

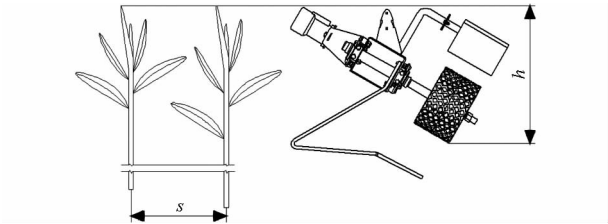


图 6 玉米植株与抽雄部件相对位置示意图
Fig.6 Relative location sketch diagram of corn stem and tassel-removal component

4 试验结果分析

4.1 单因素试验

4.1.1 充气压力对去雄率和叶片损失率的影响

在保持植株喂入速度为 5 km/h、滚轮转速为 450 r/min、滚轮中心距 250 mm、滚轮倾角 30°的情况下,研究不同的充气压力对去雄率和叶片损失率的影响,影响曲线如图 7 所示。

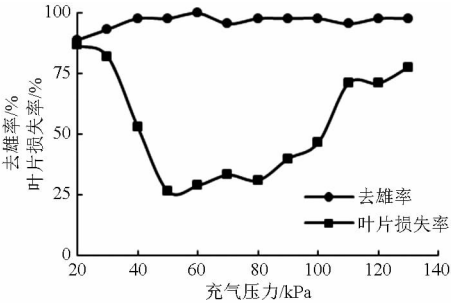


图 7 充气压力对去雄率和叶片损失率的影响
Fig.7 Effect of air-charged pressure on tassel removal rate and leaf loss rate

从图 7 中可以看出,充气压力大于等于 40 kPa 时,去雄率保持在 95% 以上;随着充气压力的增大,叶片损失率先减小后增大,在 50 kPa 时达到最小值(26.7%)。结果表明,充气压力在 50~100 kPa 范围内,可以获得较高的去雄率和较小的叶片损失率。

4.1.2 滚轮中心距对去雄率和叶片损失率的影响

在保持输送速度 5 km/h、充气压力 50 kPa、滚轮转速 450 r/min、滚轮倾角 30°的情况下,研究不同的中心距对去雄率和叶片损失率的影响,影响曲线如图 8 所示。

从图 8 中可以看出,滚轮中心距取 256 mm 时,去雄率低于 90%,其余中心距时,去雄率保持在 95% 左右;叶片损失率随滚轮中心距的增大先减小后增大,在中心距为 254 mm 时,达到最小值(24.4%)。结果表明,滚轮中心距在 250~254 mm 范围内,可以获得较高的去雄率和较小的叶片损失率。

4.1.3 滚轮转速对去雄率和叶片损失率的影响

在保持输送速度 5 km/h、充气压力 50 kPa、滚轮中心距 250 mm、滚轮倾角 30°的情况下,研究不同的

滚轮转速对去雄率和叶片损失率的影响,影响曲线如图 9 所示。

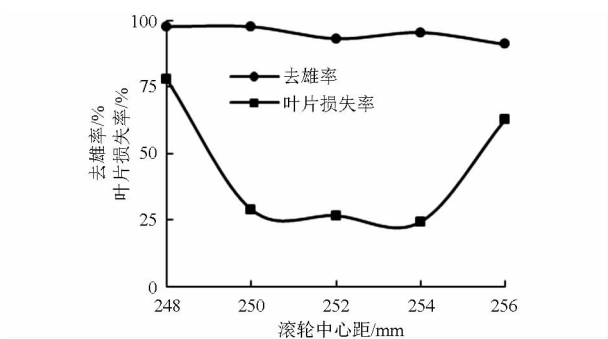


图 8 滚轮中心距对去雄率和叶片损失率的影响
Fig.8 Effect of central distances between rollers on tassels

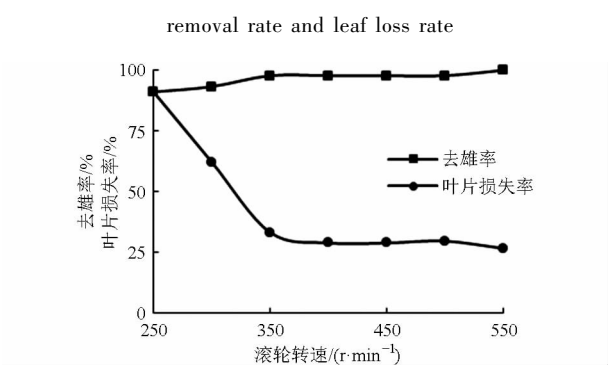


图 9 滚轮转速对去雄率和叶片损失率的影响
Fig.9 Effect of roller revolving speed on tassels removal rate and leaf loss rate

从图 9 可看出,滚轮转速大于等于 350 r/min 时,去雄率保持在 95% 以上;叶片损失率随滚轮转速的增大先减小后增大,在转速为550 mm 时,达到最小值(26.7%)。结果表明,滚轮转速在 350 ~ 550 r/min 范围内,可以获得较高的去雄率和较小的叶片损失率。

4.1.4 滚轮倾角在不同喂入速度下对去雄率和叶片损失率的影响

在保持滚轮转速 450 r/min,充气压力 50 kPa,滚轮中心距 250 mm 的情况下,研究不同喂入速度时滚轮倾角对去雄率和叶片损失率的影响,影响曲线如图 10、11 所示。

从图 10 中可以看出,滚轮倾角为 25°时,随着喂入速度的增大,去雄率逐步增大,喂入速度大于等于 5 km/h 时,去雄率大于 90%;而倾角大于等于 27°时,喂入速度对去雄率无显著影响,去雄率保持在 95% 以上。

从图 11 中可以看出,滚轮倾角为 30°时,叶片损失率随喂入速度增大先减小后增大,在 5 km/h 时达到最小值 28.9%,其余倾角时,在不同喂入速度下,叶片损失率都大于 60%。

结果表明,在不同喂入速度下,滚轮倾角在 27° ~

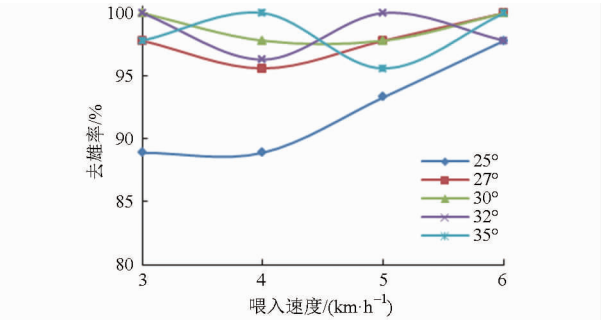


图 10 不同喂入速度下滚轮倾角对去雄率的影响
Fig.10 Effect of roller's inclination angle on tassels removal rate under different feeding speeds

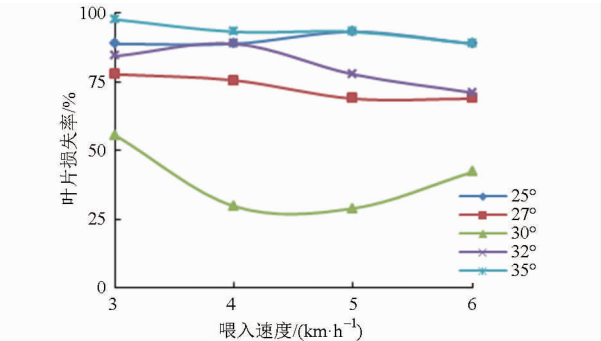


图 11 不同喂入速度下滚轮倾角对叶片损失率的影响
Fig.11 Effect of roller's inclination angle on leaf loss rate under different feeding speeds

32°范围内,可以获得较高的去雄率和较小的叶片损失率。

4.2 正交试验

由上述单因素试验发现,充气压力、滚轮转速、滚轮中心距以及滚轮倾角等因素对去雄率有影响,但当超过一定水平时,影响不显著;而各因素对叶片去除率均有显著影响。本试验在单因素试验分析的基础上,进行四因素三水平正交试验设计($L_9(3^4)$),其因素水平编码如表 2 所示。

表 2 试验因素与水平				
Tab.2 Levels of experimental factors				
水平	试验因素			
	充气压力/ kPa	滚轮中心距/ mm	滚轮转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	滚轮倾角/ ($^{\circ}$)
1	50	250	350	27
2	80	252	450	30
3	100	254	550	32

试验时,取喂入速度为 5 km/h。对试验结果进行分析计算,评价指标为各因素在 i 水平下的叶片损失率之和 $K_i(i=1,2,3)$ 、各因素在 i 水平下的平均叶片损失率 $k_i=K_i/3$ 、各因素的极差 R ,计算结果见表 3,A、B、C、D 为因素编码值。

从表 3 中数据可以得出,各因素对叶片损失率的影响按大小依次为:B、A、D、C。试验结果表明,在

表 3 正交试验方案与结果

Tab.3 Scheme and results of orthogonal test

试验号	试验因素				叶片损失率/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	75.6
2	1	2	2	2	33.3
3	1	3	3	3	64.4
4	2	1	2	3	93.3
5	2	2	3	1	73.3
6	2	3	1	2	48.9
7	3	1	3	2	95.6
8	3	2	1	3	80.0
9	3	3	2	1	62.2
K_1	173.3	264.5	204.5	211.1	
K_2	215.5	186.6	188.8	177.8	
K_3	237.8	175.5	233.3	237.7	
k_1	57.8	88.2	68.2	70.4	
k_2	71.8	62.2	62.9	59.3	
k_3	79.3	58.5	77.8	79.2	
极差 R	21.5	29.7	14.9	19.9	
最优方案	A_1	B_3	C_2	D_2	

滚轮与玉米植株接触时,滚轮中心距和充气压力对第 4、5 片叶(从顶叶向下数)及茎秆的挤压、撕扯起到关键作用,而滚轮倾角和滚轮转速影响到叶片及茎秆断裂速度的大小及方向,合理的参数选取能使第 4、5 片叶被挤(撕)断,而未随雄穗抽出。最好的方案为 $A_1B_3C_2D_2$,即充气压力为 50 kPa,滚轮中心距为 254 mm,滚轮转速为 450 r/min,滚轮倾角为 30°时,叶片损失率最小。

4.3 验证试验

根据确定的最优方案参数组合,分别在喂入速度为 3、4、5、6 km/h 下进行去雄试验,结果如表 4 所示。

表 4 验证试验结果

Tab.4 Results of verification experiment

喂入速度/(km·h ⁻¹)	去雄率/%	叶片损失率/%
3	97.8	28.9
4	95.6	29.7
5	97.8	24.4
6	100	26.7

从表 4 中可以得出,采取最优方案参数组合后,当喂入速度为 5 km/h 时,叶片损失率为 24.4%,优于正交试验的其它组合,去雄率为 97.8%;喂入速度为 3~6 km/h 时,去雄率平均值为 97.8%,叶片

损失率平均值为 27.4%。
取最优方案参数组合,于 2015 年 8 月在河北省保定市中国农业机械化科学研究院试验地进行去雄部件田间试验,母本为 PH6WC,生长期 8 周,播种行距为 60 cm,株距为 20 cm。作业时,机具速度保持在 5 km/h 左右,田间作业情况如图 12、13 所示。



图 12 玉米去雄机田间作业

Fig.12 Detasseling in corn field



图 13 田间作业效果

Fig.13 Effect of detasseling

选取地块平整、整齐度高的区域进行样本采样,计算得去雄率平均值为 92.4%,叶片损失率平均值为 35.2%,去雄效果基本与室内试验结果一致。

5 结论

- (1)针对制种玉米去雄机,设计一种轮式抽雄部件,利用抽雄部件性能测试装置验证其抽雄效果。
- (2)试验表明,滚轮中心距和滚轮倾角对去雄率的影响比较显著,其余因素对去雄率的影响不显著;各因素对叶片损失率均有显著影响。
- (3)各因素对叶片损失率显著性影响的顺序依次为滚轮中心距、充气压力、滚轮倾角和滚轮转速。
- (4)正交试验得到的最优参数组合为:喂入速度 5 km/h,滚轮中心距 254 mm,充气压力 50 kPa,滚轮倾角 30°,滚轮转速 450 r/min,此方案下去雄率为 97.8%,叶片损失率为 24.4%;在此方案下,喂入速度为 3~6 km/h 时,去雄率均值为 97.8%,叶片损失率均值为 27.4%,并通过田间试验得到了验证。

参 考 文 献

1 薛涛,谢斌,毛恩荣,等. 玉米去雄机去雄作业控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015,31(4): 49-54.
XUE Tao, XIE Bin, MAO Enrong, et al. Design and experiment of emasculation control system of corn detasseling machine[J].

Transactions of the CSAE,2015,31(4): 49 – 54. (in Chinese)

2 朱明,陈海军,李永磊. 中国种业机械化现状调研与发展分析[J]. 农业工程学报,2015,31(14): 1 – 7.
ZHU Ming, CHEN Haijun, LI Yonglei. Investigation and development analysis of seed industry mechanization in China [J]. Transactions of the CSAE,2015,31(14): 1 – 7. (in Chinese)

3 卢勇涛,李亚雄,李斌,等. 制种玉米人工去雄与机械去雄特点对比分析[J]. 新疆农机化,2010(1):25 – 26.
LU Yongtao, LI Yaxiong, LI Bin, et al. Analysis of maize seed production of artificial emasculation and mechanical characteristics comparison of emasculation[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2010(1): 25 – 26. (in Chinese)

4 JOSERLAN N Moreiral, PAULO Sérgio L Silva1, KATHIA MB Silva. Effect of detasseling on baby corn, green ear and grain yield of two maize hybrids[J]. Horticultura Brasileira,2010,28(4):406 – 411.

5 CLARENCE O Grogan. Detasseling responses in corn[J]. Agronomy Journal,1956,48(6): 247 – 249.

6 VELMA T Mañgaser. Detasseling and rate of seeding of young cob corn intercropped with okra during wet season[J]. International Scientific Research Journal,2013,5(3):47 – 52.

7 王晓明,马法杰,燕纪伦. 自走式玉米去雄机液压系统的设计[J]. 液压传动与控制,2011,46(3):27 – 29.
WANG Xiaoming, MA Fajie, YAN Jilun. Design of the hydraulic system for self-propelled corn emasculation machine[J]. Fluid Power Transmission & Control, 2011,46(3):27 – 29. (in Chinese)

8 张顺东. 玉米全程机械化制种技术[J]. 新疆农垦科技,2014(6):43 – 44.

9 黄录煊,白岗栓. 去雄携带顶叶对玉米生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(10):69 – 72.
HUANG Luhuan, BAI Gangshuan. Effects of detasseling with top leaf on growth and yield of maize [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015,43(10):69 – 72. (in Chinese)

10 张志江,于宗南,李红梅. 4.00 – 8 6PR 小型工业车辆轮胎的设计[J]. 橡胶科技,2015(6):37 – 38.
ZHANG Zhijiang, YU Zongnan, LI Hongmei. Design of 4.00 – 8 6PR small industrial vehicle tire [J]. Rubber Science and Technology, 2015(6):37 – 38. (in Chinese)

11 危银涛,李勇,冯希金,等. 轮胎理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社,2013:127 – 137.

12 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报,2007,38(7):172 – 175.
LIU Qingting, OU Yinggang, QING Shangle, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(7):172 – 175. (in Chinese)

13 郭孔辉,吴海东,卢荡. 轮胎垂直方向刚性环模型[J]. 科学技术与工程,2007,7(4):556 – 558.
GUO Konghui, WU Haidong, LU Dang. Tire vertical rigid-ring model[J]. Science Technology and Engineering, 2007,7(4):556 – 558. (in Chinese)

14 冯希金,危银涛,郑小刚,等. 论轮胎的自由滚动力学[J]. 橡胶工业,2013,60(9):517 – 525.
FENG Xijin, WEI Yintao, ZHENG Xiaogang, et al. Study on mechanics of steady state free rolling tires [J]. China Rubber Industry,2013,60(9):517 – 525. (in Chinese)

15 佟金,贺俊林,陈志,等. 玉米摘穗辊试验台的设计和试验[J]. 农业机械学报,2007,38(11):49 – 50.
TONG Jin, HE Junlin, CHEN Zhi, et al. Research and development of testing device with snapping rolls for corn harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 49 – 50. (in Chinese)

16 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):47 – 49.
GAO Mengxiang, GUO Kangquan, YANG Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(4):47 – 49. (in Chinese)

17 苏琴英. 影响玉米杂交制种纯度的原因及提高措施[J]. 玉米科学,2003(增刊1):70 – 71.

(上接第 74 页)

17 GOUGH R E. The highbush blueberry and its management[M]. Binghamton,NY: The Haworth Press, 1991.

18 HORVATH E, SITKEI G. Damping properties of plum treesshaken at their trunks [J]. American Society of Agricultural Engineers, 2003, 48(1): 19 – 25.

19 LÁNG Z. A fruit tree stability model for static and dynamic loading[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 461 – 466.

20 LÁNG Z. A one degree of freedom damped fruit tree model[J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(3): 823 – 829.

21 WANG Changqin, XU Linyun, ZHOU Hongping, et al. Dynamic modeling of eccentric-mass type of forest fruit harvest machine [C]//2011 ASABE Annual International Meeting Sponsored, 2011:1 – 12.

22 何培庄,朱海,郭艳玲,等. 基于 ADAMS 的蓝莓采摘机构的仿真分析[J]. 现代科学仪器,2012,29(1):36 – 42.
HE Peizhuang,ZHU Hai,GUO Yanling,et al. Simulation of blueberry picking institution based on ADAMS[J]. Modern Scientific Instruments, 2012,29(1):36 – 42. (in Chinese)

23 李志鹏. 蓝莓采摘机采摘策略及轨迹规划研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.
LI Zhipeng. Study on the picking strategy and walking trajectory planning of blueberry picker [D]. Harbin:Northeast Forestry University,2011. (in Chinese)

24 章宏甲,黄谊. 液压传动[M]. 北京:机械工业出版社,2000:47 – 65.

25 朱理. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,2010:85 – 100.

26 王知行,邓宗全. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,2008:31 – 45.