

轴流式玉米脱粒装置钉齿元件优化与试验

苏媛 刘浩 徐杨 崔涛 屈哲 张东兴

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为降低黄淮海地区高含水率玉米果穗脱粒时的破碎率,以轴流钉齿式玉米籽粒收获机的脱粒系统为基础,通过对钉齿工作过程理论分析,优化设计一种弧面钉齿;利用离散元软件(Engineering discrete element method, EDEM),分别对梯形钉齿与弧面钉齿与果穗接触时的受力进行分析,得到梯形钉齿和弧面钉齿与果穗接触时受到的切向力均值分别 24.47、20.65 N,法向力均值分别为 50.93、45.47 N。分别采用 Q235 钢、丁腈橡胶套和聚氨酯橡胶材料制作弧面钉齿,以滚筒转速、脱粒间隙、喂入量为变量进行单因素试验,试验材料为籽粒含水率为 28% 的郑单 958。结果表明,当果穗喂入量为 10 kg/s、脱粒间隙为 55 mm、滚筒转速为 300 r/min,采用丁腈橡胶套弧面钉齿和聚氨酯橡胶弧面钉齿脱粒时,破碎率较传统梯形钉齿下降 20%,未脱净率不大于 1.02%。该研究可为解决高含水率情况下果穗脱粒装置的设计提供参考。

关键词: 玉米; 脱粒; 轴流式; 破碎率; 高含水率; 钉齿

中图分类号: S226.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0258-08

Optimization and Experiment of Spike-tooth Elements of Axial Flow Corn Threshing Device

SU Yuan LIU Hao XU Yang CUI Tao QU Zhe ZHANG Dongxing

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Corn with high moisture content in Huang-Huai-Hai region of China had a high moisture when it was harvested, which caused high broken rate and un-threshing rate when mechanical harvesting and restricted the development of corn grain harvest. There were many current studies on corn threshing process at home and abroad. But most studies were on the structure of corn threshing machine. Based on the threshing system of axial flow corn threshing device, through the theoretical analysis of working process of spike-tooth, a kind of curved spike-tooth was designed and optimized to solve the problems. The distinct element method (DEM) was a numerical simulation method for dealing with discontinuous medium problems, which was widely used in the field of bulk material processing. Enhanced distinct element method (EDEM) software was a general computer aided engineering (CAE) analysis software based on the DEM, which was commonly used to simulate and analyze particle processing and operating system in industry and agricultural production. The discrete element simulation model of threshing process was established by using discrete element software EDEM, and the normal force and tangential force of trapezoid spike-tooth and curved spike-tooth were determined by studying the mechanism. The simulation result showed that the tangential force of trapezoid spike-tooth and curved spike-tooth was 24.47 N and 20.65 N, respectively, and the average force of normal force was 50.93 N and 45.47 N, respectively. The threshing test was compared with the traditional trapezoidal spike-tooth with different materials. The result showed that breaking rate of Q235 trapezoid, Q235, NBR and polyurethane rubber was 10.23%, 9.84%, 8.03% and 8.35%, and un-threshing rate was 0.53%, 0.92%, 0.77% and 1.02%, respectively. The corn breaking rate was 20% lower than that of the traditional nail, and un-threshing rate was no more than 1.02%. The single factor test was carried out with the factors of roller speed, threshing clearance and feeding amount as factors. Zhengdan 958 with grain moisture content of 28% was

收稿日期: 2018-07-14 修回日期: 2018-08-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300302)和国家现代玉米产业技术体系建设项目(CARS-02)

作者简介: 苏媛(1994—),女,博士生,主要从事农业机械及其自动化研究,E-mail: suyuan0223@cau.edu.cn

通信作者: 徐杨(1963—),女,教授,博士生导师,主要从事农业机械及其自动化研究,E-mail: xuyang@cau.edu.cn

set as test material. When using NBR nailed teeth, the feeding amount of corn ear was 10 kg/s, the threshing clearance was 55 mm, the drum speed was 300 r/min, the threshing results showed that breaking rate and un-threshing rate was 8.03% and 0.77%, respectively, which had the best threshing effect. The threshing roller was divided into four sections along the axis, and the distribution of the number of falling corn and corn breaking rate in the threshing test were analyzed. The results showed that the first two sections of the drum were the main threshing area of fruit spike, and the amount of falling grain was about 80% of total grain quantity, and the first section of drum was larger in the threshing of the fruit ear, and the corn breaking rate was the highest. The design of the curved spike-tooth not only had reasonable structure but also the material of spike-tooth was easy to replace and the threshing effect was good. It provided a reference for the design of spike threshing device in the case of high water cut.

Key words: corn; threshing; axial flow; broken rate; high moisture; spike-tooth

0 引言

脱粒是玉米收获过程中的重要环节,玉米果穗的脱粒效果决定收获及机加工过程中玉米的损伤程度^[1]。受玉米品种的限制,黄淮海地区玉米在收获期时籽粒含水率高,致使玉米籽粒直收的破碎率较高,这也是制约玉米机械化收获发展的重要因素之一^[2]。玉米籽粒不同程度的损伤将影响其安全储藏期,降低相应的发芽率与出苗率,且容易产生霉菌等^[3]。因此,降低玉米籽粒直收的破碎率已经成为机械脱粒的重要课题^[4]。

关于玉米破碎问题国内外已经进行许多研究,主要从玉米籽粒自身力学特性和脱粒机械改进两方面开展^[5-10]。籽粒的力学特性方面,通过建立籽粒与脱粒钉齿的接触力数学模型,研究籽粒与脱粒元件的相互作用^[11],分析籽粒裂纹产生和脱粒损伤机理等^[12-14];机械改进方面,通过改变脱粒装置,探索籽粒含水率、滚筒转速、脱粒间隙和喂入量等因素对破碎率的影响^[15-20]。关于玉米脱粒装置,国内主要通过垂直安装在脱粒轴上的板齿或梯形钉齿对玉米果穗进行搅动和冲击来完成脱粒作业。如柳建安等^[21]设计了螺旋挤搓式玉米脱粒机,赵武云等^[22]设计了变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机,何晓鹏等^[23]设计了一种宽板齿、低转速的挤搓式玉米脱粒机,李心平等^[24]根据鸡喙离散玉米籽粒原理研制了仿生脱粒机。目前的研究主要是针对小型板齿脱粒机结构设计,缺乏对高含水率、高喂入量的玉米脱粒钉齿元件的研究。

针对黄淮海地区高含水率玉米果穗机械脱粒破碎率较高的问题,本文基于钉齿工作过程的受力分析,改进钉齿形状和优化材料,利用台架试验对改进钉齿进行脱粒试验,并分析滚筒转速、脱粒间隙和喂入量对破碎率和未脱净率的影响,以期为高含水率玉米果穗脱粒装置的设计提供参考。

1 脱粒装置结构与工作原理

脱粒装置试验台如图1所示,主要包括果穗输送装置、螺旋推运器、输送器和脱粒分离装置。脱粒装置整体固定于支撑架,与输送机紧密相连。

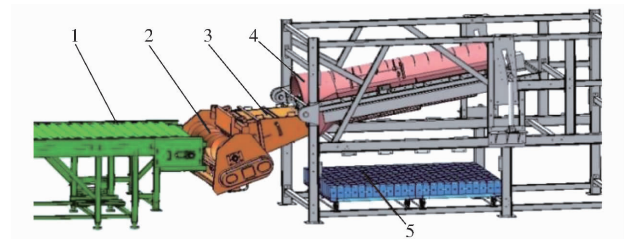


图1 玉米脱粒装置试验台

Fig.1 Test bed of corn threshing device

1. 果穗输送带 2. 螺旋推运器 3. 输送机 4. 脱粒装置 5. 接料装置

脱粒装置如图2所示,可方便更换不同类型的脱粒钉齿和凹板,且齿间距、安装位置和排列方式均可调,为不同参数条件下的玉米脱粒试验提供条件。

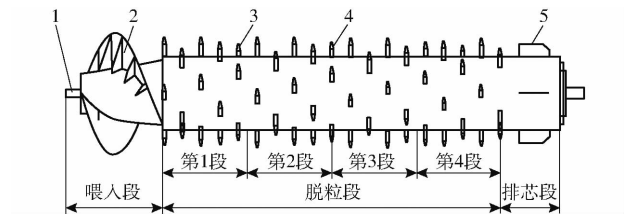


图2 脱粒装置

Fig.2 Threshing and separating device

1. 滚筒轴 2. 螺旋输送机 3. 脱粒钉齿 4. 脱粒钉齿固定座 5. 排芯板

作业时,果穗被摆放在输送机台面上,通过可调速循环输送带将玉米果穗喂入螺旋推运器,后经输送机进入脱粒滚筒,然后通过脱粒钉齿对果穗的打击和果穗间的揉搓作用进行脱粒,被脱下的玉米籽粒落入脱粒分离装置下方的接料装置,芯轴从排芯口排出滚筒。

2 脱粒钉齿设计与分析

脱粒钉齿是脱粒装置的关键元件,钉齿的形状、

尺寸和材料直接影响脱粒装置的收获效果。根据钉齿与果穗作用时的受力分析对钉齿的形状和尺寸进行改进。

增大钉齿与果穗的接触面积,可以减小钉齿对果穗的直接冲击作用,从而减小破碎率。本文将钉齿与玉米果穗工作接触面改进为弧面,不仅增大钉齿与果穗的接触面积,还降低钉齿对玉米果穗打击的垂直力,从而减小籽粒损伤,减小破碎率。

2.1 梯形钉齿受力分析

钉齿工作时,对与果穗接触受力点进行分析(图3),根据牛顿第三定律,脱粒时钉齿力主要受果穗的直接冲击力 F ,可分垂直于齿面的法向力 F_1 和平行于齿面的切向力 F_2 。

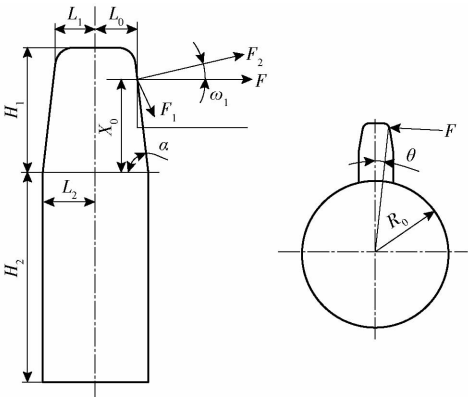


图3 传统梯形钉齿受力分析
Fig.3 Force analysis of trapezoid spike-tooth

图3中, L_1 (取11 mm)为钉齿的侧面顶端宽度的1/2; L_2 (取15 mm)为钉齿侧面底端宽度的1/2; H_1 (取40 mm)为钉齿的有效工作垂直高度; H_2 (取60 mm)为钉齿支撑高度; R_0 (取200 mm)为滚筒半径; X_0 为钉齿工作表面的某作用点相对于工作面的垂直高度; α 为传统钉齿工作面与水平线的夹角, $\alpha = \arctan \frac{H_1}{L_2 - L_1}$; L_0 为具体受力点与钉齿中心的水平距离, $L_0 = L_2 - \frac{X_0}{\tan \alpha}$; θ 为钉齿的中心线与钉齿作用点与滚筒中心连线的夹角, $\theta = \arctan \frac{L}{X_0 + H_2 + R_0}$; ω_1 为钉齿对玉米果穗的直接作用力的法向夹角, $\omega_1 = 90^\circ - \alpha + \theta$,即

$$\omega_1 = 90^\circ - \arctan \frac{H_1}{L_2 - L_1} + \arctan \frac{L}{x_0 + H_2 + R_0} \quad (1)$$

传统梯形钉齿工作面受到的法向力为
$$F_1 = F \sin \omega_1 \quad (2)$$

切向力为
$$F_2 = F \cos \omega_1 \quad (3)$$

2.2 弧面钉齿受力

对弧面钉齿工作点受力进行分析,如图4所示。

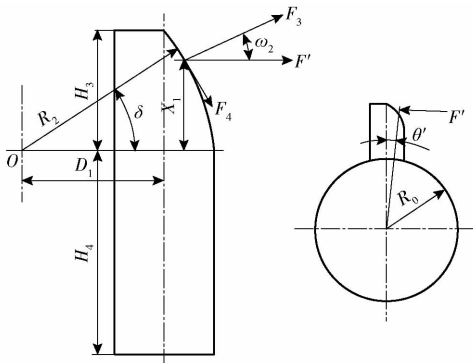


图4 弧面钉齿的受力分析
Fig.4 Force analysis of curved spike-tooth

图4中, D_1 为滚筒轴心与钉齿表面曲线圆心与钉齿中心线距离; H_3 为优化钉齿的有效工作垂直高度; H_4 为钉齿支撑高度; X_1 为优化后钉齿工作表面的某一作用点相对于工作面的垂直高度; R_2 为钉齿工作表面曲线半径,取57 mm; F' 为钉齿对玉米果穗作用力; δ 为曲面作用点与曲面圆心连线和水平线的夹角, $\delta = \arcsin \frac{X_1}{R_2}$; $\theta' = \arctan \frac{X_1}{R_2} +$

$\arctan \frac{R_2 \cos \delta - D_1}{X_1 + R_0 + H_4}$; 法向夹角为
$$\omega_2 = \arcsin \frac{X_1}{R_2} + \arctan \frac{R_2 \cos \delta - D_1}{X_1 + R_0 + H_4} \quad (4)$$

脱粒时钉齿力主要受果穗的直接冲击力 F' ,弧面钉齿工作面受到的法向力为

$$F_3 = F' \sin \omega_2 \quad (5)$$

切向力为

$$F_4 = F' \cos \omega_2 \quad (6)$$

2.3 脱粒仿真分析

为得到改进的弧面钉齿与传统梯形钉齿与玉米果穗的作用力情况,基于 EDEM 仿真软件,设置玉米果穗喂入量 10 kg/s,即采用动态生成方式生成玉米果穗 34 个/s、脱粒间隙 55 mm 时,对 Q235 梯形钉齿与 Q235 弧面钉齿分别进行脱粒仿真,计算、提取脱粒元件与果穗的接触力。

2.3.1 模型建立及参数设定

利用 Solidworks 建立脱粒装置、钉齿元件的 3D 模型(图5a)并导入 EDEM 软件,然后建立玉米果穗仿真模型(图5b),根据实际测量,设置果穗长度、大端直径和小端直径为 200.03、50.57、45.41 mm。

将模型导入 EDEM 软件中后,对脱粒装置进行材料属性的设定,材料特征仿真参数如表1所示。然后对脱粒滚筒的运动形式以及参数进行设定。颗粒工厂以 Box 形式设置在螺旋喂入口处。模拟仿真中对脱粒滚筒设定为转动,同时对滚筒的脱粒元件进行材料设定。对整体进行网格划分,以最小颗粒

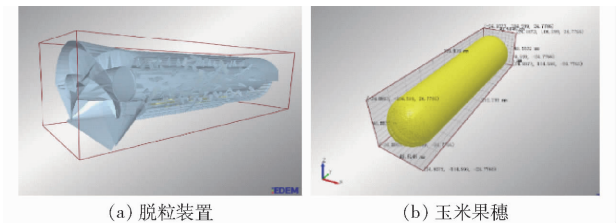


图 5 仿真 3D 模型

Fig. 5 3D models of simulation

表 1 EDEM 材料特性仿真参数

Tab. 1 Characteristics simulation parameters of EDEM materials

材料类型	泊松比	剪切模量/ Pa	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	碰撞恢复系数	静摩擦 因数	动摩擦 因数
玉米果穗	0.30	1.0×10^7	1 600	0.300	0.50	0.078
Q235	0.24	7.9×10^{10}	7 850	0.709	0.36	0.051

尺寸的 3 倍为基础网格尺寸,共计 98 789 个网格。

2.3.2 仿真结果与分析

利用 EDEM 求解器对弧面钉齿和梯形钉齿的脱粒装置模型分别进行脱粒模拟仿真,对玉米果穗颗粒生成、压缩,并且对滚筒施加 300 r/min 的匀速圆周运动,最终得到脱粒仿真模型如图 6 所示。

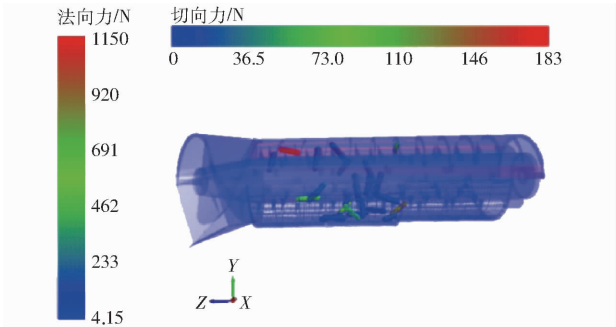


图 6 果穗脱粒仿真模型

Fig. 6 Simulation model of corn threshing

通过软件仿真可以模拟果穗在滚筒内脱粒的全过程。果穗进入滚筒后,受到钉齿冲击和凹板挤搓作用,逐渐向滚筒排芯口移动。计算 2 种钉齿受到的法向力和切向力均值如表 2 所示。

表 2 钉齿受力仿真结果

Tab. 2 Simulation of force of two types of spike-tooth

钉齿类型	法向力	切向力
弧面钉齿	45.47	20.65
梯形钉齿	50.93	24.47

仿真结果表明,钉齿与玉米果穗发生接触时,弧面钉齿与果穗发生滑动接触,所以受到的切向力均值和法向力均值都小于梯形钉齿,减小率分别为 15.61%、10.72%;梯形钉齿与果穗发生直接接触,法向接触力较大,对玉米果穗冲击较大,容易造成籽

粒破碎,增加破碎率。进一步对仿真过程进行分析,脱粒过程中的钉齿受到的切向力和法向力与接触时间的关系如图 7 所示。

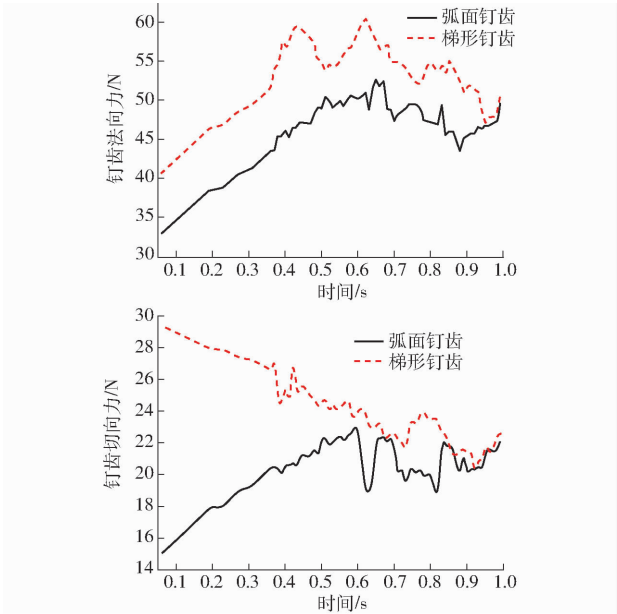


图 7 钉齿受力与接触时间关系

Fig. 7 Changes in force of spike-tooth with time

由图 7 可知,玉米果穗与钉齿发生接触瞬间,弧面钉齿受到的法向力和切向力均小于梯形钉齿,二者所受法向力均随时间而增加;弧面钉齿受到的切向力随时间变化逐渐增大,梯形钉齿受到的切向力逐渐减小。由于梯形钉齿对果穗的瞬间冲击力大于弧面钉齿对果穗的作用力,所以玉米籽粒受到较大冲击力时更容易被击碎,增加脱粒的破碎率。

3 不同钉齿材料脱粒试验

3.1 试验材料

不同钉齿材料对脱粒效果影响较大。丁腈橡胶和聚氨酯具有良好的力学性能和物理性能,且丁腈橡胶具有良好的耐磨性,被广泛应用于农机、汽车和航空等行业^[25-26]。试验以 Q235 弧面钉齿、丁腈橡胶套弧面钉齿和聚氨酯橡胶弧面钉齿为研究对象,以传统梯形钉齿为参照对象(图 8),以籽粒的破碎率和未脱净率为指标进行不同钉齿类型和材料的脱粒试验。

玉米脱粒的原理主要依靠脱粒元件对玉米果穗的冲击作用以及果穗之间、果穗与滚筒、凹板筛之间的挤搓作用而使籽粒剥离。脱粒过程中影响玉米籽粒破碎的因素有籽粒含水率、滚筒转速、脱粒间隙和喂入量等因素。本文研究高含水率玉米果穗的脱粒试验,以含水率为 28% 的郑单 958 玉米果穗(带苞叶)为试验材料,以滚筒转速、脱粒间隙和喂入量为



图 8 脱粒钉齿
Fig. 8 Types of spike-tooth

影响因素进行单因素试验。

3.2 试验方法

试验开始前,在果穗输送带上每排摆放 6 个玉米果穗,根据玉米收获机实际作业的前进速度设定果穗输送机线速度为 1 m/s,并按照试验条件更换不同类型和材料钉齿。调整脱粒滚筒转速为 300 r/min、果穗喂入量 10 kg/s、脱粒间隙 55 mm;待脱粒滚筒、螺旋推运器、输送器运转稳定后,启动输送装置,完成输送、喂入、脱粒分离和接料过程。为得到脱粒滚筒的轴向脱粒分布情况,在滚筒下方均匀放置 4 个接料盒。脱粒完成后,将脱粒装置下方的接料装置拖出,统计每个盒子的落粒率,统计破碎率和未脱净率。为保证试验数据的准确性,每组试验重复 3 次取平均值。

4 试验结果与分析

按照 3.2 节试验方法进行玉米脱粒试验,并对试验结果进行处理。根据 GB/T 21961—2008 和 GB/T 5982—2005 进行测定,破碎率计算公式为

$$Z_p = \frac{W_p}{W} \times 100\%$$
 (7)

式中 W_p ——样品中破损籽粒质量,g

W ——籽粒样本总质量,g

未脱净率计算公式为

$$S_w = \frac{W_j}{W_z} \times 100\%$$
 (8)

式中 W_j ——未脱净籽粒质量,g

W_z ——喂入滚筒全部玉米果穗脱粒质量,g

落粒率计算公式为

$$S_L = \frac{W_l}{W} \times 100\%$$
 (9)

式中 W_l ——单个接料盒中籽粒质量,g

4.1 落粒率分布

为分析使用不同脱粒钉齿时籽粒的落粒分布规律,统计沿滚筒轴向的 4 个分段的落粒率,如图 9 所示。

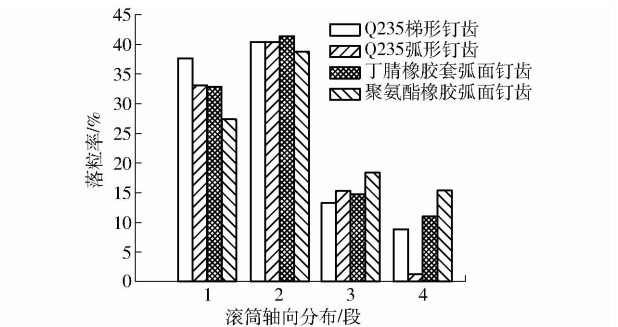


图 9 沿滚筒轴向落粒率分布
Fig. 9 Axial drop distribution along drum

由图 9 可知,滚筒前 2 段是脱粒的主要区域。脱粒作业时,距滚筒喂入口的第 1、2 段籽粒数量分布较多,约占总落粒量的 80%。滚筒第 2 段的落粒数量最多,因为果穗刚进入脱粒滚筒时受到钉齿的击打,破坏果穗与籽粒的连接关系和籽粒间的相互作用力,然后“松动”的果穗随滚筒的转动向排芯口移动,在第 2 段时再次受到钉齿的冲击和凹板的挤搓作用而导致大量落粒,落粒率增加;滚筒第 3、4 段,钉齿将芯轴上剩余少量的籽粒击打脱落,芯轴随滚筒转动向后移动并排出滚筒外。

使用梯形钉齿时,滚筒第 1 段脱粒时的脱粒量最多,说明梯形钉齿对玉米果穗的冲击力较大,对果穗的破坏程度也相对较高;而在滚筒第 4 段,使用梯形钉齿时的落粒数量最少;使用改进的弧面钉齿在滚筒前段的籽粒分布比梯形钉齿少,后 2 段籽粒数量分布相比梯形钉齿多,这表明使用弧面钉齿脱粒时,钉齿在果穗进入脱粒滚筒时对果穗的冲击作用比传统梯形小,脱落籽粒数量也相对较少。

4.2 脱粒效果

通过对 4 种钉齿的破碎率均值和未脱净率进行统计(表 3),以及破碎率沿滚筒轴向的分布情况,对不同钉齿材料的脱粒效果进行分析。

使用梯形钉齿脱粒时的破碎率最大,对籽粒的

表 3 钉齿破碎率和未脱净率 Tab. 3 Corn broken rate and un-threshing rate of spike-tooth			%
钉齿类型	破碎率	未脱净率	
Q235 梯形钉齿	10.23	0.53	
Q235 弧面钉齿	9.84	0.92	
丁腈橡胶套弧面钉齿	8.03	0.77	
聚氨酯橡胶弧面钉齿	8.35	1.02	

冲击力较大,相应的未脱净率最小;使用弧面钉齿的破碎率均比梯形钉齿小,表明改进的弧面钉齿相比传统梯形钉齿有效降低破碎率;聚氨酯橡胶弧面钉齿破碎率为 8.35%,但未脱净率较大,为 1.02%,所以脱粒效果不佳;使用 Q235 弧面钉齿的破碎率和未脱净率分别为 9.84%、0.92%,对籽粒损伤较大,且脱粒不完全。而使用丁腈橡胶套弧面钉齿的总破碎率最小,为 8.03%,丁腈橡胶套弧面钉齿和聚氨酯橡胶弧面钉齿的破碎率较低,与传统梯形钉齿相比可有效降低籽粒的破碎率达 20%。

由图 10 可知,Q235 梯形钉齿和 Q235 弧面钉齿破碎率沿滚筒轴向先减小后增加;聚氨酯橡胶弧面钉齿的破碎率先减小又逐渐增大,变化率较大;丁腈橡胶套弧面钉齿的破碎率沿滚筒轴向逐渐减小,相比其他 3 种钉齿脱粒效果较好。

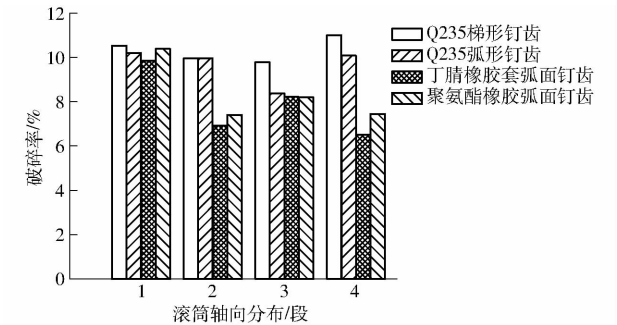


图 10 不同材料钉齿沿滚筒轴向破碎率
Fig. 10 Corn broken rate of four spike-tooth along drum

4.3 脱粒滚筒转速对脱粒效果的影响

脱粒滚筒转速是影响籽粒破碎的首要技术条件^[11],纵轴流滚筒在不同转速脱粒时,脱粒效果有明显差别。试验设置果穗喂入量为 10 kg/s,脱粒间隙 55 mm。前期试验表明滚筒转速超过 500 r/min 时,籽粒破碎严重,破碎率大于 10%^[27]。为减小破碎率,需适当降低滚筒转速。试验选择滚筒转速为 250、300、350、400、450、500 r/min(图 11)。

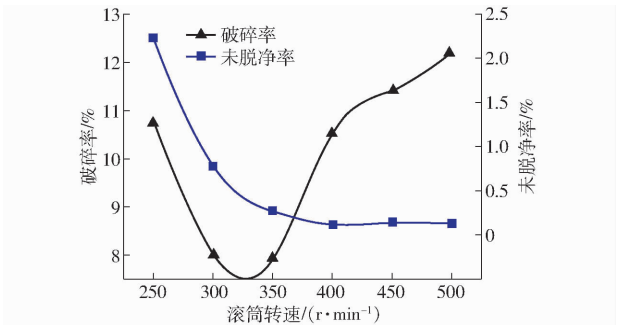


图 11 滚筒转速与破碎率和未脱净率关系
Fig. 11 Relationship between drum velocity and corn broken rate and un-threshing rate

脱粒间隙和喂入量一定时,破碎率随着滚筒转速的增加先减小后增加,未脱净率逐渐减小。因为

滚筒转速减小而降低了滚筒的脱粒效率,导致混合物料滞留在脱粒室的时间增加,物料的挤搓、揉搓作用时间过长而使破碎率增高^[28]。当转速由 250 r/min 增至 300 r/min 时,未脱净率的变化较大,减小率为 67.57%,而破碎率的减小率为 25.51%。

4.4 脱粒间隙对脱粒效果的影响

脱粒间隙是指脱粒滚筒钉齿顶端与凹板筛横格板之间的最小距离,脱粒间隙的设计与玉米芯轴直径有关^[28]。基于脱粒滚筒转速试验结果,设定果穗喂入量 10 kg/s,滚筒转速为 300 r/min。经测量郑单 958 果穗的大端平均直径为 51 mm,所以选择脱粒间隙为 40、45、50、60、65 mm(图 12)。

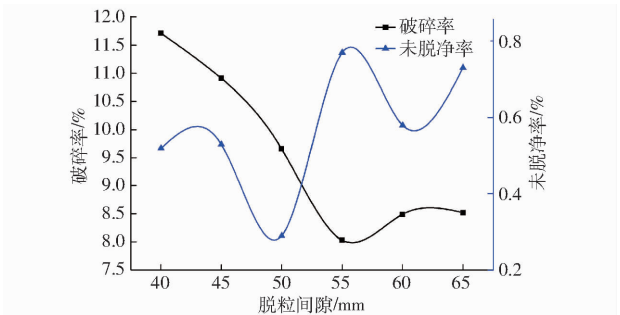


图 12 脱粒间隙与破碎率和未脱净率关系
Fig. 12 Relationship between concave clearance and corn broken rate and un-threshing rate

滚筒转速和喂入量一定时,随着脱粒间隙的不断增大,玉米籽粒的破碎率先降低后缓慢增大。脱粒间隙小于果穗大端直径时,滚筒对玉米果穗、果穗间的作用过强,因凹板对果穗的挤压、揉搓作用力过大而使籽粒大量破碎,导致破碎率增大;脱粒间隙等于果穗大端直径,果穗在滚筒内经钉齿冲击和凹板的挤搓作用被脱下,未脱净率小于 1%,破碎率最小为 8.03%~8.49%,脱粒效果较优;脱粒间隙大于果穗大端直径,玉米果穗在滚筒内部的运动空间变大,果穗经钉齿冲击后与滚筒壁、凹板等冲击作用增强,增强装置的脱粒性,所以玉米籽粒的破碎数量小幅增多,而未脱净率大幅减小。根据图 12 中曲线斜率的变化,可知脱粒间隙对未脱净率的影响程度较大,且脱粒间隙设置为 55 mm 时,破碎率为 8.03%,未脱净率为 0.77%。

4.5 喂入量对脱粒效果的影响

喂入量也是影响籽粒破碎的重要因素^[28]。设置滚筒转速 300 r/min,脱粒间隙 55 mm。参考玉米收获机实际收获和市场玉米籽粒收获机喂入量情况,设置试验果穗喂入量分别为 6、8、10、12 kg/s(图 13)。

滚筒转速和脱粒间隙一定时,随着喂入量的增加破碎率整体有增大趋势,未脱净率整体趋于减小。

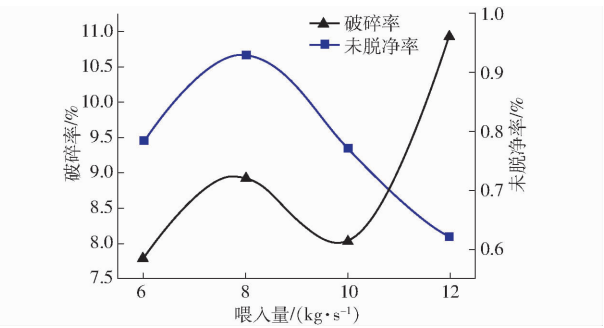


图 13 喂入量与破碎率和未脱净率关系
Fig. 13 Relationship between feed quantity and corn broken rate and un-threshing rate

果穗喂入量的增加,导致脱粒滚筒内的玉米籽粒数目增多,果穗间相互作用力增强,果穗与凹板的挤压更紧密,增加了钉齿对果穗的冲击作用,导致破碎籽粒数量增多,破碎率增加。

喂入量为 6 kg/s,果穗数量较少,滚筒内空间较大,果穗进入滚筒后在前 2 段受到钉齿冲击力后与凹板和滚筒外壳发生碰撞,破坏籽粒与果穗的连接关系,籽粒受到较大的直接冲击而破碎,导致破碎率增加(图 14);喂入量为 8 ~ 10 kg/s 时,滚筒内空间果穗数量合适,果穗在滚筒第 1 段受到钉齿的冲击和凹板挤搓,使果穗变形,籽粒间排布发生改变,甚至籽粒剥离;果穗在滚筒第 2 段再次受到冲击时大量籽粒脱落,破碎率减小;而喂入量大于等于 10 kg/s 时,由于果穗数量过多,果穗间发生挤压,在滚筒

内脱粒时间较长,钉齿作用时间加长,破碎率明显增加。

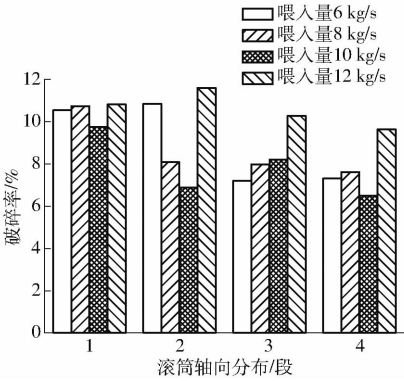


图 14 不同喂入量时破碎率分布
Fig. 14 Corn broken rate of feed quantity along drum

5 结 论

- (1)改进的弧面钉齿在脱粒过程中增大与果穗作用面积,减小对玉米籽粒的作用力,可以降低籽粒破碎率。
- (2)钉齿材料对脱粒效果影响较大,丁腈橡胶套弧面钉齿和聚氨酯橡胶弧面钉齿的破碎率较低,与传统梯形钉齿相比,籽粒的破碎率降低达 20%,效果显著。
- (3)脱粒滚筒转速、脱粒间隙、果穗喂入量对玉米籽粒破碎率和未脱净率影响显著。

参 考 文 献

1 李心平,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):102 - 106.
LI Xinping, GAO Lianxing. Performance test on corn thresher with different-speed threshing parts[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12):102 - 106. (in Chinese)

2 李淑芳,张春宵,路明,等. 玉米籽粒自然脱水速率研究进展[J]. 分子植物育种, 2014, 12(4):825 - 829.
LI Shufang, ZHANG Chunxiao, LU Ming, et al. Research development of kernel dehydration rate in maize[J]. Molecular Plant Breeding, 2014, 12(4): 825 - 829. (in Chinese)

3 徐立章,李耀明,王显仁. 谷物脱粒损伤的研究进展分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1):303 - 307.
XU Lizhang, LI Yaoming, WANG Xianren. Research development of grain damage during threshing[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1):303 - 307. (in Chinese)

4 罗锡文,廖娟,胡炼,等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1):1 - 11.
LUO Xiwen, LIAO Juan, HU Lian, et al. Improving agricultural mechanization level to promote agricultural sustainable development [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(1):1 - 11. (in Chinese)

5 BABIĆ L J, RADOJEIĆ M, PAVKOV I, et al. Physical properties and compression loading behaviour of corn seed [J]. International Agrophysics, 2013, 27(2): 119 - 126.

6 MOHAMED A F, ABDEL M. Mechanical properties of corn kernels[J]. Misr J. Ag. Eng., 2009, 26(4): 1901 - 1922.

7 李心平,李玉柱,马福丽,等. 玉米种子抗压特性及裂纹生成规律[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8):94 - 98.
LI Xinping, LI Yuzhu, MA Fuli, et al. Anti-pressing properties and crack formation law of corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 94 - 98. (in Chinese)

8 牛海华,赵武云,史增录. 玉米籽粒力学特性的研究进展及应用[J]. 中国农机化, 2011(2): 101 - 104.
NIU Haihua, ZHAO Wuyun, SHI Zenglu. Progress of research and application in mechanical properties of corn kernel [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(2): 101 - 104. (in Chinese)

9 VOLKOVAS V, PETKEVIČIUS S, ŠPOKAS L. Establishment of maize grain elasticity on the basis of impact load [J]. Mechanika, 2006, 6(62): 64 - 67.

10 侯明涛,张红梅,王万章,等. 玉米籽粒物理机械特性及机械化收获适应性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 354 - 357.
HOU Mingtao, ZHANG Hongmei, WANG Wanzhang, et al. Physical and mechanical properties of maize kernels and adaptability