

玉米种子仿生脱粒机设计与试验*

李心平¹ 马义东¹ 金鑫¹ 高连兴²

(1. 河南科技大学农业工程学院, 洛阳 471003; 2. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161)

摘要: 为解决玉米种子脱粒过程中籽粒损伤严重的问题,根据鸡喙优良的切入籽粒间隙无损分离大片籽粒的能力,以及裸手差速低损伤脱粒的特性,设计了新型玉米种子仿生脱粒机,主要包括离散辊、脱粒辊、差速辊等。并对仿生脱粒机与TY-4.5型玉米脱粒机进行对比试验,结果显示:对郑单958玉米果穗,仿生脱粒机未脱净率为0.30%,破损率为0.31%,且玉米芯完整无破损;TY-4.5型脱粒机未脱净率为0.29%,破损率为0.90%,玉米芯破损严重。对先玉335玉米果穗,仿生脱粒机未脱净率为0.05%,破损率为0.35%,玉米芯完整无破损;TY-4.5型脱粒机未脱净率为0.09%,破损率为0.95%,玉米芯破损严重。在两机未脱净率相近情况下,玉米仿生脱粒机籽粒破损率较TY-4.5型脱粒机明显偏低,玉米芯无破损,含杂少,可用于种子玉米果穗脱粒。

关键词: 玉米 籽粒 脱粒机 仿生

中图分类号: S220.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)07-0097-05

Design and Test of Corn Seed Bionic Thresher

Li Xinping¹ Ma Yidong¹ Jin Xin¹ Gao Lianxing²

(1. College of Agricultural Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

2. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to issue the problem of heavy damage of kernels during threshing corn ear, the bionic thresher was designed according to the excellent ability of beak inserting chink among kernels with low damage and the low cracked rate of differential thresh with bare hand. The thresher mainly includes discrete rod, threshing rod and differential rod. The correlative experiment of the bionic thresher and TY-4.5 thresher was done. As for the Zhengdan958 corn ear, the unthreshed grains rate of the bionic thresher was 0.30%, the cracked grains rate was 0.31%, and the corn cob was unbroken; the unthreshed grains rate of the TY-4.5 thresher was 0.29%, the cracked grains rate was 0.90%, and the corn cob was broken heavily. As for the Xianyu335 corn ear, the unthreshed grains rate of the bionic thresher was 0.05%, the cracked grains rate was 0.35%, and the corn cob was unbroken; the unthreshed grains rate of the TY-4.5 thresher was 0.09%, the cracked grains rate was 0.95%, and the corn cob was broken heavily. The results showed that the cracked grains rate of the bionic thresher was less than that of the TY-4.5 thresher under the similar unthreshed grains rate, and the corn cob was unbroken. The bionic thresher was suitable for threshing the seed corn ear.

Key words: Corn Kernel Thresher Bionic

引言

玉米脱粒原理主要有冲击、揉搓、梳刷、碾压、挤搓等。我国一直应用传统的冲击式玉米脱粒机进行

玉米种子脱粒作业,这种脱粒机依靠冲击方式进行脱粒,脱粒滚筒转速高,玉米种子破损率高,影响玉米种子的生产及储存。仿生学研究表明,生物经过长期的进化,造就了生物适应其生存环境的优良本

收稿日期: 2015-03-20 修回日期: 2015-05-20

* 国家自然科学基金-河南人才培养联合基金资助项目(U1204514)

作者简介: 李心平,副教授,博士,主要从事农产品收获与加工机械研究, E-mail: aaalxp@126.com

颌,这为工程设计提供了仿生学基础。目前,仿生技术已在机械领域得到广泛应用^[1-3]。

家禽鸡属于脊椎动物的鸟纲,鸡喙在长期的进化过程中,不仅具有优良的插入玉米籽粒间隙能力,还具有较强的离散籽粒能力且几乎没有破损,这为玉米种子仿生脱粒的研究提供了仿生学研究基础^[4]。Dauda 等^[5]对 3 类玉米果穗进行裸手脱粒、手持人工脱粒器脱粒、棒子打击脱粒、碾压脱粒、机器脱粒 5 种脱粒方式下的脱粒效果进行了研究,发现裸手脱粒对籽粒损伤最小。裸手脱玉米果穗低损伤的特点为玉米仿生脱粒机设计提供了一种优良的脱粒形式选择。

本文基于鸡喙低损伤离散籽粒与低损伤裸手脱粒机理,根据先离散后脱粒原理设计仿生玉米脱粒机。

1 工艺流程与工作原理

1.1 脱粒机结构与脱粒工艺流程

脱粒机由机架、进料口、离散辊、脱粒辊、差速辊、籽粒回收口等构成,如图 1 所示。

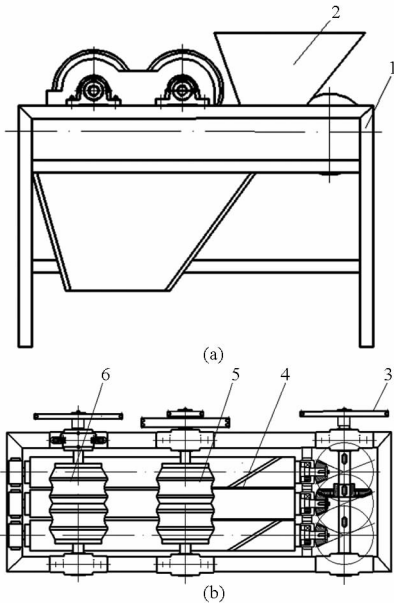


图 1 脱粒机整机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of thresher

(a) 主视图 (b) 俯视图

1. 机架 2. 进料口 3. 带轮 4. 差速辊 5. 离散辊 6. 脱粒辊

玉米果穗由进料口喂入,果穗通过差速辊前端螺旋推入离散辊与差速辊间离散空间,在离散辊作用下完成离散;由于离散辊的推送作用,果穗被推入脱粒辊与差速辊之间脱粒空间,完成脱粒。被脱籽粒穿过差速辊之间缝隙,通过籽粒回收口进行回收;玉米芯沿差速辊轴向排出机外。由于本机脱粒时玉米果穗沿差速辊轴向顺序受力,玉米芯完整无断裂,因此节省了清选系统,减少了功率消耗。

1.2 工作原理

玉米果穗由进料口随机喂入,果穗与两差速辊轴线不平行,在差速辊前端螺旋推进器轴向分力作用下,玉米果穗逐步矫正自己位置沿平行于两差速辊轴线方向运动^[6]。果穗随之被推入工作空间,玉米果穗首先进入离散辊与差速辊组成的离散空间,在离散辊仿鸡喙离散单元作用下,破坏完整玉米果穗籽粒间组砌规律^[7],使部分果穗籽粒离散,离散后的玉米果穗再进入脱粒辊与差速辊组成的脱粒空间,在脱粒辊与差速辊共同作用下完成仿裸手低损伤差速脱粒。

2 主要部件设计

2.1 离散辊

本机脱粒过程中,离散辊首先作用于玉米果穗。离散辊的主要作用是破坏完整玉米果穗的组砌规律,使玉米果穗籽粒排列松散以便于后续脱粒。因此,对离散辊性能的要求主要是低破损率、高离散率。鸡喙经过长期的自然进化,其几何特性满足此性能要求。

利用三维扫描仪采集鸡喙表面轮廓点云数据。由于鸡喙离散玉米果穗主要是上颌骨起作用,提取上颌骨点云,如图 2 所示,并对其几何特性进行量化分析。

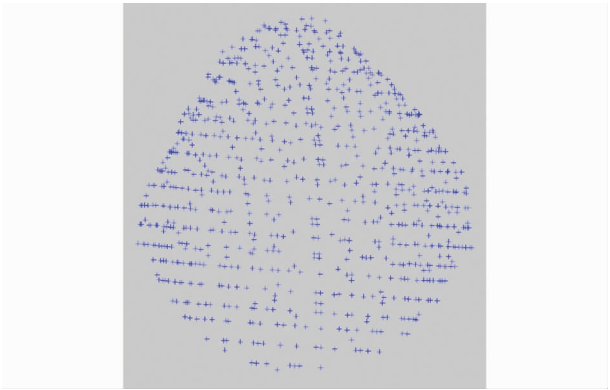


图 2 鸡喙上颌骨点云

Fig.2 Point cloud data of rooster maxilla

在 Imageware 软件中,沿鸡喙上颌骨纵向,用间隔为 1.5 mm 的 5 个等距离截面从横向切割鸡喙上颌骨点云,5 个截面与点云相交,截得 5 条横向“曲线”,由鸡喙前端向后依次标记为 sl1 ~ sl5。将截取获得“曲线”存储成坐标数据文件,导入 Matlab 中绘图并拟合,求得各条拟合曲线的曲率,曲线拟合结果如图 3 所示,曲率如图 4 所示。拟合曲线的曲率表征了曲线的弯曲程度,曲率值越大说明曲线的弯曲程度越大。sl1 ~ sl5 曲线依次由鸡喙上颌前端沿纵向截取而得,sl1 曲率最大值为 1.071,平均值为

0.313 6;s12 曲率最大值为 1.518,平均值为 0.349 8;s13 曲率最大值为 0.954 2,平均值为 0.277 3;s14 曲率最大值为 1.403,平均值为 0.291 4;s15 曲率最大值为 0.650 7,平均值为 0.224 3。5 条曲线曲率平均值基本相同表明曲线弯曲程度基本相同,其中 s11、s12、s15 的曲率变化规律一致,均只有 1 个波峰且为曲率最大值,但中间部位的 s13、s14 曲线与前后两端 s11、s12、s15 曲线的曲率变化规律略有不同。s13、s14 曲线中部曲率均有 3 个波峰,说明曲线上端弯曲有反复,相对 s11、s12、s15 上端较平整。总之,鸡喙上颌骨横面两侧弯曲小,中部弯曲大,其结构上端弯曲且窄,下端平整且宽,这种结构特征有利于鸡喙插入玉米果穗籽粒间缝隙,扩大玉米籽粒间缝隙。

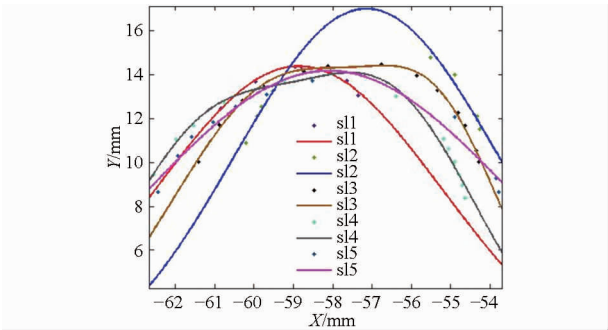


图 3 上颌骨横切曲线拟合

Fig.3 Fitting cures of transverse section cures of rooster maxilla

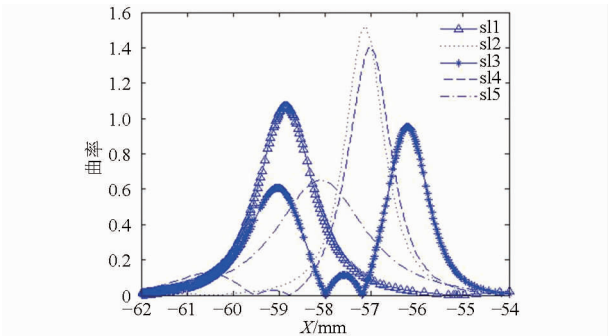


图 4 上颌骨横切曲线曲率

Fig.4 Curvature chart of fitting cures of transverse section cures of rooster maxilla

根据鸡喙点云数据逆向出其三维模型,并设计出脱粒机离散辊离散单元,如图 5 所示。离散辊最大直径为 180 mm,长 242 mm,用于布置离散单元的两凹面宽度为 53 mm。为获得较优离散效果,在综合考虑离散辊最优转速及离散单元数控机床加工的条件下,沿离散辊圆周方向布置 12 排离散单元,每排以 2 个或 3 个离散单元等间隔交替排列,离散辊三维模型如图 6 所示。

2.2 脱粒辊

脱粒辊与差速辊是该机主要脱粒部件,其原理是利用差速辊与脱粒辊上脱粒单元对玉米果穗进行



图 5 离散单元

Fig.5 Element of discrete rod

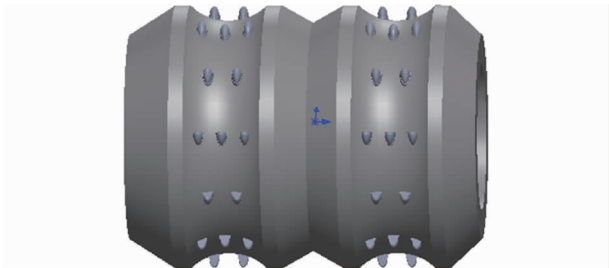


图 6 离散辊模型

Fig.6 Model of discrete rod

差速脱粒,其中脱粒单元对脱粒效果影响最大。

裸手脱粒是通过手掌握紧玉米果穗,在果穗与手掌相对运动下对籽粒产生差速作用,籽粒在该差速作用下被脱下。果穗主要受两方面力,即手掌皮肤压入籽粒缝隙间凸块对果穗籽粒产生的挤推力 f_1 与手掌对籽粒压力 f_2 。当手掌旋转脱粒时,由于掌心与玉米籽粒表面有相对滑动,且手掌表面存在指纹,籽粒又受到摩擦力作用,受力如图 7 所示。果穗籽粒受力 F 为

$$F = \sum_{i=1}^{n-1} f_{1i} + \mu \sum_{i=1}^{n-1} f_{2i}$$

式中 f_1 ——挤推力,方向沿果穗圆周切向
 f_2 ——压力,方向垂直于籽粒顶冠平面指向玉米芯
 n ——手掌与果穗接触籽粒数
 μ ——手掌与籽粒间摩擦因数

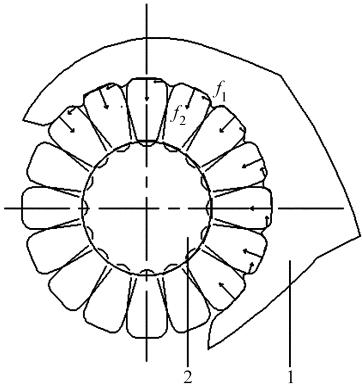


图 7 裸手脱粒受力示意图

Fig.7 Force diagram of threshing corn ear by hand
1.手 2.玉米果穗

当手掌对籽粒作用力大于籽粒脱粒条件时,籽粒果柄连接力破坏,籽粒被脱下。

根据裸手脱粒的原理^[8],设计脱粒单元,每组脱粒单元含两种结构,指纹状与楔形状。指纹状脱粒单元仿生于手掌指纹,对果穗籽粒产生摩擦力作用;楔形状脱粒单元仿手掌皮肤压入籽粒缝隙间产生的凸块,对果穗籽粒产生挤推力作用,每组脱粒单元等间隔均布在脱粒辊圆周上,脱粒辊布置脱粒单元处设计为凹面,以利于果穗脱粒。

本机中,根据籽粒间缝隙几何参数^[9],楔形状脱粒单元长度 7.0 mm,梯形横截面上端宽度为 3.0 mm,高度 6.5 mm,下端宽度 5 mm;指纹状脱粒单元横切面宽度尺寸与楔形状脱粒单元相同。脱粒辊最大直径 180 mm,长度 242 mm,用于布置脱粒单元的两凹面宽度 53 mm。为获得最佳脱粒效果,在综合考虑脱粒辊最优转速及脱粒单元数控机床加工的条件下,沿脱粒辊圆周排列 8 组脱粒单元,模型如图 8 所示。

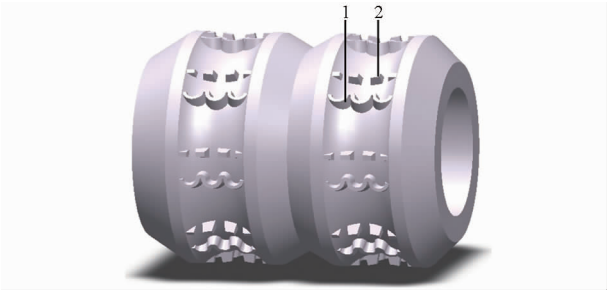


图 8 脱粒辊模型
Fig. 8 Model of threshing rod
1. 指纹状脱粒单元 2. 楔形状脱粒单元

2.3 差速辊

如图 9 所示,差速辊结构含 3 部分:螺旋部分、光辊部分、仿裸手脱粒部分。

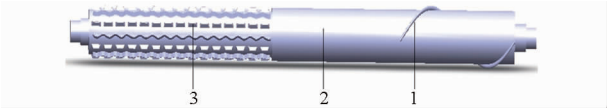


图 9 差速辊模型
Fig. 9 Model of differential rod
1. 螺旋部分 2. 光辊部分 3. 脱粒部分

差速辊螺旋部分用于将玉米果穗矫正方向后推

入离散空间。光辊部分与离散辊形成离散空间,在离散辊离散玉米果穗时支撑玉米果穗,同时使果穗旋转以利于离散辊作用果穗不同部位。仿裸手脱粒部分表面设计有与脱粒辊相同的仿裸手脱粒单元,且与脱粒辊形成仿裸手脱粒空间,使果穗在两种辊共同作用下完成仿裸手低损伤差速脱粒。

本机差速辊中螺旋部分长 278 mm、螺旋螺距 250 mm、螺旋轴径 100 mm、螺旋直径 130 mm;光辊部分长 280 mm、直径 100 mm;仿裸手脱粒部分长 406 mm、脱粒单元顶端处直径为 100 mm,沿差速辊圆周布置 12 排脱粒单元,两种脱粒单元间最小间距 13 mm。

3 试验

为验证仿生脱粒机性能,对整机进行性能测试,并与国内市场常用的 TY-4.5 型玉米脱粒机进行对比试验, TY-4.5 型脱粒机为切向喂入,以短而粗的钉齿冲击玉米果穗。整机试验选用种子玉米果穗,品种为河南地区广泛种植的马齿型郑单 958,籽粒含水率 14.5%;以及东北地区广泛种植的硬粒型先玉 335,籽粒含水率 14.6%,相比商品玉米果穗,种子玉米果穗更难脱粒且对破损率要求更高。两种玉米脱粒机整机实物如图 10 所示。



图 10 玉米脱粒机
Fig. 10 Corn thresher
(a) 仿生玉米脱粒机 (b) TY-4.5 型脱粒机

选取离散辊、差速辊、脱粒辊转速作为试验因素,经正交试验发现,仿生玉米脱粒机最优转速组合为离散辊转速 250 r/min,差速辊转速 250 r/min,脱粒辊转速 100 r/min。TY-4.5 型玉米脱粒机滚筒最佳脱粒转速为 300 r/min,滚筒凹版间隙 55 mm。仿生玉米脱粒机与 TY-4.5 型玉米脱粒机对比试验结果如表 1 所示。

表 1 试验结果
Tab. 1 Results of test

机型	品种	籽粒含水率/%	脱粒辊转速/(r·min ⁻¹)	破损率/%	未脱净率/%	玉米芯破损情况
仿生脱粒机	郑单 958	14.5	100	0.31	0.30	无破损
	先玉 335	14.6		0.35	0.05	
TY-4.5	郑单 958	14.5	300	0.90	0.29	破损严重
	先玉 335	14.6		0.95	0.09	

试验发现,两机未脱净率基本相近的情况下,仿生玉米脱粒机破损率明显低于 TY-4.5 型脱粒机,且仿生脱粒机脱粒后玉米芯完整,节省了清选系统,减少了功率消耗。

4 结论

(1) 鸡喙结构特征有利于鸡喙插入玉米果穗籽粒间缝隙,有利于扩大玉米籽粒间缝隙,适宜于离散

玉米果穗。仿鸡喙离散单元可减少损伤离散玉米果穗。

(2) 裸手低损伤脱粒机理,适宜于种子玉米脱粒,仿裸手脱粒单元有效降低了籽粒破损率。

(3) 仿生玉米脱粒机籽粒破损率为 0.3%~0.4%,明显低于 TY-4.5 型脱粒机破损率 0.9%~0.95%,且仿生脱粒机脱粒后玉米芯完整,节省了清选系统,减少了功率消耗。

参 考 文 献

- 1 郭晓燕,汪隼,黄鑫,等. 仿生设计学在现代农业机械装备设计中的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 136-138.
Guo Xiaoyan, Wang Jun, Huang Xin, et al. Discussion on the application of bionics design in the design of agricultural machinery [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 136-138. (in Chinese)
- 2 隋宝石. 仿生学原理在机械设计中的应用[J]. 机电工程技术, 2004, 33(12): 10-11.
- 3 杨有刚,刘迎春. 仿生式开沟机设计理论的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 65-68.
Yang Yougang, Liu Yingchun. Design of a bionic ditch digger [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 65-68. (in Chinese)
- 4 李心平,李玉柱,高吭,等. 种子玉米籽粒仿生脱粒机理分析[J]. 农业机械学报,2011,42(2):99-103.
Li Xinping, Li Yuzhu, Gao Hang, et al. Bionic threshing process analysis of seed corn kernel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 99-103. (in Chinese)
- 5 Dauda A, Aviara A N. Effect of threshing methods on maize grain damage and viability[J]. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America,2001,32(4):43-46.
- 6 李心平,马福丽,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的设计[J]. 农业机械学报,2008,39(8):192-195.
- 7 李心平,刘赢,杜哲,等. 玉米果穗籽粒组砌规律对其离散效果的影响[J]. 农机化研究,2014,36(10):186-191.
Li Xinping, Liu Ying, Du Zhe, et al. Experimental effect of arrangement law of corn ear kernels on the discrete performance [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(10): 186-191. (in Chinese)
- 8 Li Xinping, Du Zhe, Ma Yidong, et al. Bare hand threshing experiment on corn ear kernel [J]. International Agricultural Engineering Journal,2014, 23(3): 74-80.
- 9 李心平,刘赢,马义东,等. 玉米果穗籽粒间缝隙走向对其循环力衰败的影响[J]. 农机化研究,2015,37(1):183-187.
Li Xinping, Liu Ying, Ma Yidong, et al. Effect of gap direction among corn ear kernels on the circulating dint decline [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015,37(1): 183-187. (in Chinese)
- 10 汲文峰,佟金,贾洪雷. 鼯鼠爪趾几何结构量化特征分析[J]. 农业机械学报,2010,41(4):193-198.
Ji Wengfeng, Tong Jin, Jia Honglei. Quantitative characteristic features of geometric structures of claws of mole rat [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 193-198. (in Chinese)
- 11 高吭,李玉柱,佟金. 东方蝼蛄前胸背板外轮廓数据采集与量化分析[J]. 农业工程学报,2011,27(8):201-205.
Gao Hang, Li Yuzhu, Tong Jin. Profile date acquisition and quantitative analysis of the pronotum of oriental mole cricket [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8):201-205. (in Chinese)
- 12 Coskun M B, Yalcin I, Ozarsian C. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata* Sturt) [J]. Journal of Food Engineering,2006,74(4):523-528.
- 13 Tastra I K. Designing and testing an improved maize sheller [J]. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2009,40(1):12-17.
- 14 徐涛. 数值计算方法[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2002.
- 15 许智钦,孙长库. 3D 逆向工程技术[M]. 北京:中国计量出版社,2002.