

种子玉米籽粒仿生脱粒机理分析^{*}

李心平¹ 李玉柱¹ 高 吭¹ 邱兆美¹ 马福丽¹ 高连兴²

(1. 河南科技大学车辆与动力工程学院, 洛阳 471003; 2. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161)

【摘要】 在分析玉米种子生物力学特性与鸡喙结构基础上,进行了鸡喙啄取玉米籽粒的单玉米穗试验。为使玉米籽粒低损伤脱粒,首先要在水分适宜时按照一定顺序破坏籽粒与籽粒之间的相互支撑作用。在同一含水率下玉米籽粒三面承载能力不同,腹面承载最大而顶面承载最小。在选择作用部位时,尽可能避开在籽粒顶部施加载荷。鸡喙不仅具有优良的插入籽粒间隙能力,还具有较强的啄取籽粒能力;鸡喙插入玉米穗部位是纵行与纵行之间的间隙,鸡喙插入籽粒过程是一个三角楔插入籽粒间隙作用的过程,鸡喙多次插入同一部位,会使啄取部位的籽粒低损伤脱下或松散。鸡喙啄取松散籽粒时鸡喙对籽粒产生拉力作用,当此拉力大于果柄的连接力时籽粒就被脱下。

关键词: 玉米种子 脱粒 仿生 机理
中图分类号: S220.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)02-0099-05

Bionic Threshing Process Analysis of Seed Corn Kernel

Li Xinping¹ Li Yuzhu¹ Gao Hang¹ Qiu Zhaomei¹ Ma Fuli¹ Gao Lianxing²

(1. College of Vehicle and Motive Power Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China
2. College of Agriculture Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract

On the basis of analysis of biomechanics of corn kernel and structure of rooster beak, experiment of rooster beak pecking corn kernel on single corn ear was conducted. The experimental results showed that under suitable moisture content, in order to make kernel low damage thresh, the supportive role between kernels must be broken firstly according to certain law. Under the same moisture content, capacity loaded was different for three surfaces of corn kernel. Force loaded at ventro-surface of corn kernel was the largest. The force at the top surface of corn kernel was the least. While choose position loaded, it's better to avoid top surface loaded of kernel. Rooster beak not only had good ability of inserting kernel cleft, but also stronger ability of pecking corn kernel. The partition that rooster beak inserted corn ear was gap between longitudinal lines. The process that rooster beak inserted corn kernel was the functional process that a triangular wedge inserted corn kernel cleft, that rooster beak inserted same partition could make kernel low damage thresh or loose. When rooster beak pecks lax kernel, it could produce the pull, and corn kernel could thresh, as the pull was bigger than the connection force of fruit handle of corn kernel. This research could provide a bionics basis on improving the geometrical shape of threshing parts and designing low damage seed corn thresher.

Key words Corn seed, Threshing, Bionics, Mechanism

引言

目前,仿生技术已经在农业机械领域得到了广

泛应用^[1~3]。
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

收稿日期: 2010-05-27 修回日期: 2010-08-10
^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200801570007)、河南科技大学自然科学领域科研创新能力培育基金资助项目(2009CZ0004)和河南科技大学博士科研启动基金资助项目(09001235)
作者简介: 李心平,讲师,博士,主要从事农业装备工程技术研究,E-mail: lxpmf@sina.com
通讯作者: 高连兴,教授,博士生导师,主要从事农业动力与机械研究,E-mail: lianxinggao@126.com

粒,脱粒滚筒转速高,玉米种子破损率高,籽粒损伤严重^[4-9]。

自然界中某些鸟类喙等部位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,还具有较强的啄取籽粒能力,这为改进脱粒部件几何形状,乃至优化其在脱粒过程中的脱粒性能提供了仿生研究的基础。

到目前为止,尚未见到玉米种子仿生脱粒研究的文献。本文通过玉米种子的生物学、力学、鸡类啄食等机理分析,找出种子低损伤与仿生脱粒方式之间的规律,进而为仿生设计低损伤玉米种子脱粒机提供理论依据。

1 试验材料及设备

一般种子玉米果穗可分为长筒型、短筒型、长锥型、短锥型等4种。马齿型种子玉米的穗型多为筒型,而硬粒型种子玉米多为锥型^[10],如图1所示。

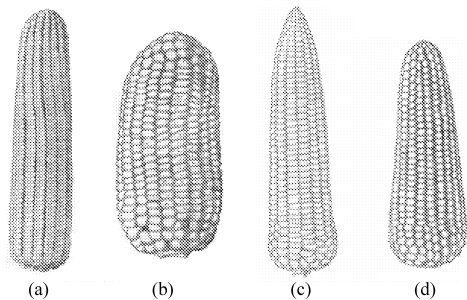


图1 种子玉米果穗类型
Fig.1 Type of seed corn ear

(a) 长筒型 (b) 短筒型 (c) 长锥型 (d) 短锥型

本试验中,玉米穗由山西定襄亨利元种业有限公司提供,玉米品种为晋单53号,属于马齿形玉米种子,手工采摘,含水率为15.2%,该水分接近正常脱粒玉米水分。

鸟类在长期的进化过程中,其前肢已经完全演变成专门飞行的翅膀,因此绝大多数鸟类只能用喙来觅食。鸟类一般具有适合于飞翔的身体构造,经过人类驯养,大多数家禽不再具有飞翔的能力,但仍保留着鸟类的主要特征,家禽为鸟纲类动物,鸡属于鸟纲^[11]。

为了研究鸟喙从玉米穗上啄取籽粒过程的运动情况及其运动规律,用普通家鸡(乌鸡)代替鸟进行试验。

根据本试验鸡喙任意角度随机啄取玉米籽粒的特点,选用摄影设备为830万像素的数码相机,帧频为30帧/s。

2 试验方法

为真实反映鸡类啄食玉米种子过程中运动状态

的变化过程,采用数码相机记录整个鸡喙啄取籽粒的过程。由于受到约束的鸡不会自然啄取籽粒,因此把玉米穗放在选好的场地上,让鸡自然啄取籽粒。数码相机固定在一定拍摄高度,并可随意移动的小车上,鸡开始啄取籽粒时,移动小车,找好最佳位置进行拍摄。采用啄食玉米单穗以便对单个籽粒被啄取过程进行观察和分析。

拍摄时,主要观察鸡喙插入籽粒、鸡喙啄取籽粒过程的运动情况及其运动规律;选取拍摄的6帧图片进行再现观察分析,图片时间间隔为0.033s。

3 试验分析

3.1 玉米剥粒离散的生物力学特性分析

3.1.1 玉米穗及籽粒离散的生物力学特性分析

玉米脱粒与其他谷物脱粒不同,其他谷物脱粒时籽粒之间没有力的相互支撑作用,但在玉米芯上,种子玉米籽粒插入种子玉米芯大约1/3部分。纵行上籽粒与籽粒之间从果柄以上一直到顶帽排列紧密,横行上籽粒与籽粒之间从果柄以上一直到顶帽有2/3排列紧密,有1/3欠紧密或不接触,籽粒与籽粒之间有力的相互支撑作用。在收获含水率为25%~35%的种子玉米时,纵行上籽粒之间没有缝隙,横行上籽粒与籽粒之间的间隙也很小,籽粒与籽粒之间的相互支撑作用大。如果整个玉米穗的水分损失很大,玉米籽粒与玉米芯的含水率将降低,籽粒和玉米芯将收缩,在纵行和纵行之间的间隙将增加,横行间籽粒间隙也将增大,此时籽粒与籽粒之间的相互支撑作用减小。

因此,离散籽粒首先要在水分适宜时,按照一定顺序破坏籽粒与籽粒之间的相互支撑作用,这样才能使籽粒低损伤脱粒。

种子玉米的果穗和籽粒均小于商品玉米,形状不规则,通过果柄籽粒被束缚在玉米芯上,籽粒与果柄结合力较大。果柄一端与种皮相连接,另一端插入种子玉米芯上的颖壳中,如图2所示。果柄底部进入种子玉米芯深处,颖壳壁对籽粒也有支撑作用。

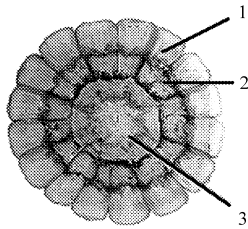


图2 种子玉米穗截面图
Fig.2 Figure of seed corn ear

1. 籽粒 2. 颖壳 3. 玉米芯
籽粒的连接强度与玉米品种、成熟度、含水率等因素有关。因素不同,破坏玉米芯与籽粒连接所需的力也不相同,在种子玉米自身的生物特性相同情况下,还与施力方式(压、拉、弯、剪)、作用力大小、施力方向等外部因素有关。因此选择合适的施力方

式对玉米脱粒是至关重要的。

3.1.2 玉米籽粒的生物力学特性分析

种子玉米籽粒的形态结构大致分为果种皮(果皮和种皮)、胚、胚乳和位于基部的果柄^[12],如图 3 所示。

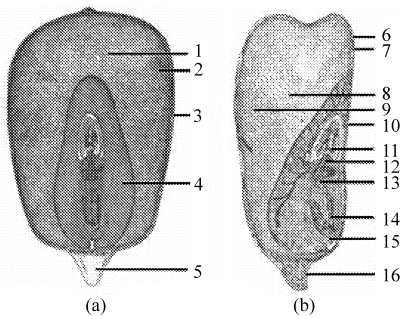


图 3 种子玉米籽粒
Fig.3 Seed corn kernel
(a) 腹面图 (b) 纵切面

1、8. 粉质胚乳 2、9. 硬质胚乳 3、6. 果种皮 4. 胚 5、16. 果柄
7. 糊粉层 10. 胚芽鞘 11. 胚芽 12. 侧胚根 13. 盾片节
14. 胚根 15. 胚根鞘

种子玉米籽粒的果种皮坚硬,不易破坏,为籽粒提供了很大的破裂抵抗力。

籽粒边缘果种皮之下是坚硬的角质外层,该层充满蛋白质和胶体状态的碳水化合物,组织紧密,不易破坏,能承受的载荷大,不容易使玉米种子产生裂纹而造成损伤;角质胚乳的最外层——糊粉层比角质胚乳还强,糊粉层内组织细胞之间没有空隙,它含有蛋白质、油,但没有淀粉,这使角质胚乳有更强的抵抗力;粉质胚乳部分由单细胞组成,位于中央,细胞近方形,细胞内充满粉粒,结构疏松,易被破坏;胚是玉米籽粒生命活动的主体,由蛋白质、油、少量淀粉组成,最易受到伤害,是籽粒中强度最弱的部分,很容易在籽粒产生裂纹之前受到破坏。

玉米种子腹面受载荷时,受力部位主要是角质胚乳与果种皮。由于角质胚乳形成了籽粒腹面的框架结构,胚包裹在框架内,因而可以承受大的载荷。

玉米种子侧面受载荷时,受力部位主要是角质胚乳、粉质胚乳、胚和果种皮。粉质胚乳是淀粉颗粒聚合体,承受力值不大,粉质胚乳内部组织在载荷的作用下易先破坏,使角质胚乳失去依托,随后在角质胚乳的薄弱环节出现裂纹,侧面部分所具有的这些特性减弱了侧面组织的坚韧性及硬度。

玉米种子顶面受载荷时,受力部位主要是粉质胚乳、胚和果种皮。玉米籽粒顶面部分果种皮以下是粉质胚乳,边缘部分也有很薄的角质胚乳。顶面部分所具有的这些特性减弱了顶面组织的坚韧性及硬度,因而顶面能承受的载荷很小^[4]。对于籽粒含

水率 15.6% 的东单一号玉米,腹面承载的最大破裂力为 399.3 N;侧面承载的最大破裂力为 227.3 N;顶面承载的最大破裂力为 174 N。玉米种子三面形状结构及统计尺寸,如图 4 所示。

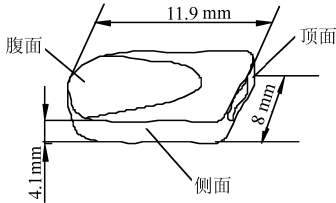


图 4 种子玉米籽粒结构尺寸
Fig.4 Structural size of seed corn

因此,在选择作用部位时,尽可能避开在籽粒顶部施加载荷。

3.2 鸡喙啄食穗体籽粒的离散力学特征分析

3.2.1 鸡喙部结构特性分析

鸡喙(俗称嘴)是由表皮衍生而来的特殊结构,是以上、下颌骨为骨质基础,外面覆盖一层坚硬的角质鞘,向前凸起而成。是啄食与自卫的器官,形状多呈坚实的圆锥状,圆钝短粗,峰脊不明显,稍微弯曲,如图 5 所示。鸡口腔内没有软的嘴唇也没有牙齿,但能轻而易举地衔起地上籽粒,能断裂较大块饲料,能啄食玉米穗上籽粒^[11]。

鸡喙颌前骨较发达,三棱锥形体,构成上喙和鼻外孔前界的骨质基础。鸡喙上颌骨不发达,在颌前骨、上颌突和颧骨之间,构成面侧部和硬腭的骨质基础,缺齿槽。鸡喙下颌骨是面骨中最大、最复杂的骨,是由前部愈合的骨体和后部一对长的骨支构成。骨体发达,背面凹陷,腹面隆凸^[13],如图 6 所示。

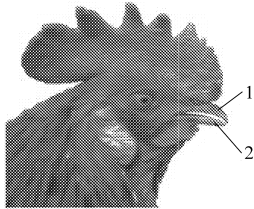


图 5 鸡喙结构图
Fig.5 Structure of rooster beak
1. 上喙 2. 下喙

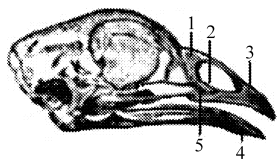


图 6 鸡喙骨的结构示意图
Fig.6 Structure of rooster beak bone
1. 鼻骨 2. 鼻骨前外侧突
3. 颌前骨 4. 下颌骨 5. 上颌骨

3.2.2 鸡喙插入籽粒过程分析

图 7 记录的是从鸡开始啄食果穗起,到啄取籽粒的过程(0.033 ~ 0.198 s)。从图片观察得出,当鸡开始啄食玉米穗时,鸡喙插入部位是纵行与纵行之间的间隙,如图 7c 与图 8a 所示。这是因为纵行上籽粒排列紧密,籽粒之间相互作用力大,横行上籽粒与籽粒之间从果柄以上一直到顶帽有 2/3 排列紧密,有 1/3 欠紧密或不接触,籽粒之间作用力相对较

小,纵行与纵行之间的间隙大于横行与横行之间的间隙,鸡喙容易插入,且受到的阻力相对小,鸡喙插入籽粒时就像一个三角楔插入籽粒中,如图 7c 与图 8b 所示。这个三角楔向玉米穗内部运动而产生楔形力 F 。在楔形力 F 的作用下,给周围籽粒一个推挤力 f ,在推挤力 f 作用下,使得籽粒有沿楔形斜面运动的趋势,同时推挤力 f 可以分解成 f_1 与 f_2 两个力,如图 9 所示。 f_1 使籽粒受到向外的拉力, f_2 使籽粒果柄受到横向剪切力,致使相邻籽粒在 f_1 的作用

下沿玉米穗径向移动,如果此位移使籽粒和穗柄之间产生的拉力大于果柄的抗拉力,籽粒就被脱下;在 f_2 的作用下使籽粒和穗柄之间产生横向相对位移,如果此位移使籽粒和穗柄之间产生的剪切力大于果柄的抗剪力,籽粒也被脱下;如果此位移使籽粒和穗柄之间产生的剪切力小于果柄的抗剪力,籽粒不能脱下,此时就能观察到鸡会多次插入同一部位,直到所啄取部位的籽粒脱下或松散。实际上,籽粒的脱下或松散是 f_1 和 f_2 共同作用的结果。

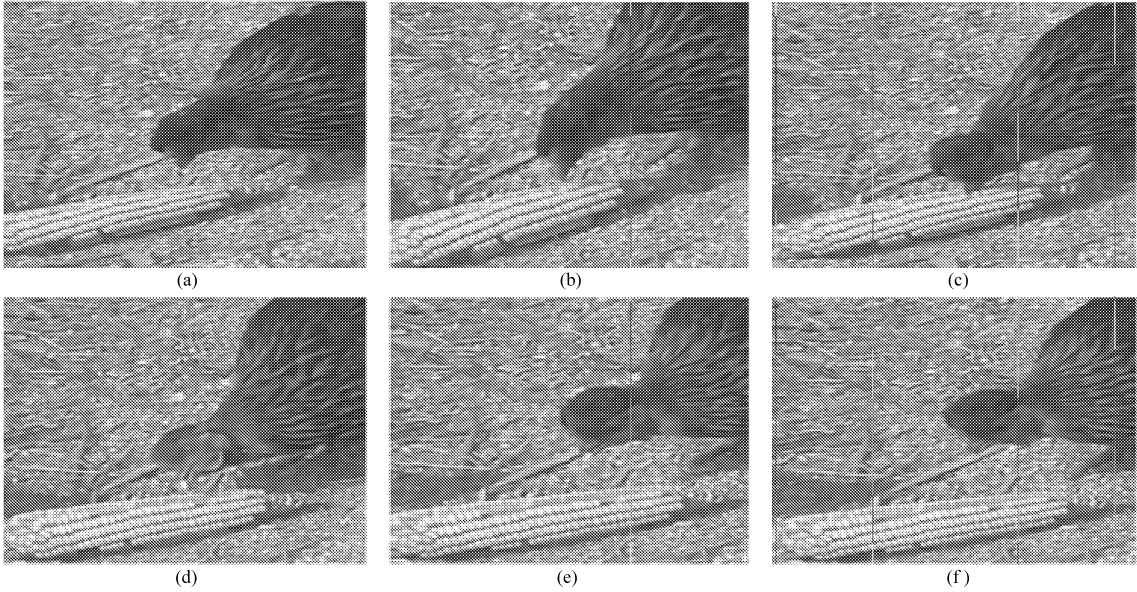


图 7 乌鸡啄食过程

Fig. 7 A series of photopictures for black rooster in the process of pecking corn ear
(a) 0.033 s (b) 0.066 s (c) 0.099 s (d) 0.132 s (e) 0.165 s (f) 0.198 s

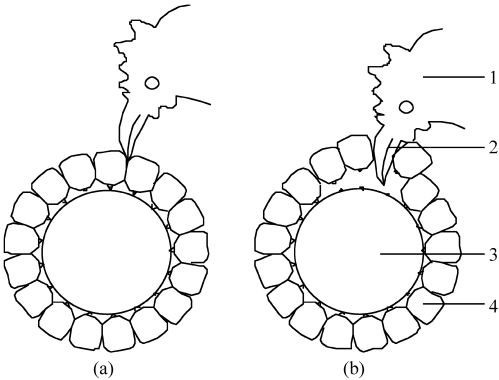


图 8 鸡喙插入籽粒间隙过程简图

Fig. 8 Process of rooster beak inserting kernel gap
(a) 鸡喙开始插入 (b) 鸡喙离散籽粒
1. 鸡头 2. 鸡喙 3. 玉米芯 4. 籽粒

3.2.3 鸡喙啄取籽粒过程分析

图 7c ~ 7d 记录的是鸡啄取籽粒的过程。图片再现观察得出,当鸡开始啄食玉米穗时,鸡多次插入同一部位,所啄取部位的籽粒脱下或松散后,鸡会迅速啄取松散籽粒;啄取时,鸡喙对籽粒产生拉力作用,只有此拉力大于果柄的连接力,籽粒才能脱下。

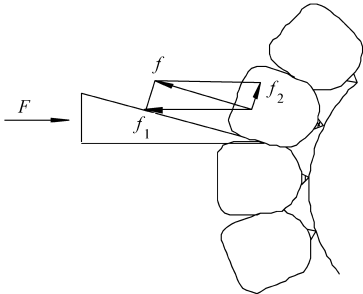


图 9 楔形运动分析

Fig. 9 Analysis of triangular wedge motion

拉力试验表明^[14]:籽粒含水率为 15.2% 时,果柄断裂力在 5.8 ~ 10.1 N 之间。籽粒含水率变化对果柄断裂力的影响是幂函数关系 $Y = ax^b$,不同品种时 a 、 b 取值有所不同。果柄断裂力随含水率的增加而增加,含水率越高,果柄塑性大,抗拉强度大,其所承受的载荷大,果柄断裂力越大,果柄断裂困难;含水率越低,果柄脆性大,抗拉强度小,果柄断裂力越小,果柄断裂容易。

由于同一玉米穗上不同部位的籽粒含水率稍微存在差异,当鸡啄取含水率稍高的籽粒时,可以观察

到鸡不能迅速啄取籽粒,而是啄住籽粒左右晃动喙部使劲拽,此时籽粒含水率可能稍高于其他籽粒,果柄抗拉强度大,果柄不易断裂,如图7d所示。

3.3 结果分析

鸡离散下的籽粒没有损伤,即使没有挤下的松散籽粒也没有损伤。这是因为鸡喙从纵行与纵行之间籽粒间隙插入,由于鸡喙插入过程中,鸡喙与籽粒的侧面接触。由前面的籽粒生物力学特性分析可知,玉米种子侧面能承受的载荷居于顶面与腹面之间,玉米籽粒侧面与鸡喙首先接触的是果种皮,果种皮坚硬,不易产生破坏,果种皮之下是坚硬的角质外层,能承受的载荷大,不容易使玉米种子产生裂纹造成损伤;这都为籽粒提供了很大的破裂抵抗力。另一方面,鸡喙形状多呈坚实的圆锥状,圆钝短粗,稍微弯曲的特殊结构,容易插入籽粒,能使籽粒迅速松散,并使相互之间的接触力迅速下降,这有助于减轻

籽粒损伤。

4 结论

(1)离散籽粒首先要在含水率适宜时,按照一定顺序破坏籽粒与籽粒之间的相互支撑作用,这样才能使籽粒低损伤脱粒。

(2)在同一含水率下,玉米籽粒三面承载能力不同,腹面承载最大,顶面承载最小。因而,在选择作用部位时,尽可能避开在籽粒顶部施加载荷。

(3)鸡喙插入玉米穗部位是纵行与纵行之间的间隙,鸡喙插入籽粒过程是一个三角楔插入籽粒间隙作用的过程,鸡喙多次插入同一部位,会使啄取部位的籽粒脱下或松散。

(4)鸡喙啄取松散籽粒时,鸡喙对籽粒产生拉力作用,当此拉力大于果柄的连接力时,籽粒就脱下。

参 考 文 献

- 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)
- 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.
Sui Baoshi. Application of the bionic principle in mechanical design[J]. Electrical Engineering Technology, 2004, 33(12): 10~11. (in Chinese)
- 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)
- 李心平,马福丽,高连兴. 玉米种子跌落冲击的试验研究[J]. 农业工程学报,2009,25(1):113~116.
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. Dropping impact experiment on corn seeds[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 113~116. (in Chinese)
- 李心平,马福丽,高连兴. 玉米种子冲击损伤的试验研究[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(1):89~93.
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. Experimental research of corn seed kernel on the impacting damage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2007,38(1):89~93. (in Chinese)
- 李心平,高连兴,马福丽. 玉米种子脱粒特性的试验研究[J]. 农机化研究,2007,29(2):156~158.
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli. Experimental research of seed corn on the threshing property[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007,29(2): 156~158. (in Chinese)
- 李心平,马福丽,高连兴. 玉米种子脱粒过程的高速摄影观察分析[J]. 农业机械学报, 2009,40(11):46~49.
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. High-speed photograph analysis on the threshing process of corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11):46~49. (in Chinese)
- Ajayi O A, Larke B C. High velocity impact of maize kernels[J]. J. Agric. Engng. Res., 1997, 67(2): 97~104.
- Volkovas V, Petkevičius S, Spokas L. Establishment of maize grain elasticity on the basis of impact load[J]. Mechanika, 2006(6): 64~67.
- 《玉米遗传育种学》编写组. 玉米遗传育种学[M]. 北京:科学出版社,1979.
- 杨宁. 家禽生产学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- 毕辛华,戴心维. 种子学[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- 何春林,张文才. 畜禽解剖学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1988.
- 李心平,高连兴. 种子玉米籽粒果柄断裂机理的试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):47~51.
Li Xinping, Gao Lianxing. Study on breaking mechanism of kernel stalk of corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11):47~51. (in Chinese)