

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.030

# 玉米种子内部机械裂纹检测与机理研究\*

李晓峰 接鑫 张永丽 李飞 高连兴

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161)

**【摘要】** 为深入研究因脱粒造成的玉米种子内部机械裂纹机理及其对发芽与出苗的影响,构建玉米种子内部机械损伤计算机识别系统,改进玉米种子脱粒原理和脱粒部件参数,研究了盛单216等3个品种玉米种子的籽粒外观特征,并借助体视显微技术分析内部机械裂纹损伤特征、分布状况与形成规律等,探讨了玉米种子内部机械裂纹的成因。研究表明:玉米种子籽粒外形和内部机械裂纹状况差异显著;3种玉米种子普遍存在内部机械裂纹,长裂纹损伤率平均为39.8%;果穗喂入时籽粒冠部受到脱粒部件的冲击是裂纹形成的主要原因,在玉米籽粒冠部形成冲击区并产生裂纹,裂纹向胚部扩展;内部裂纹信息应从籽粒冠部和背面提取。

**关键词:** 玉米种子 脱粒损伤 内部机械裂纹 特征 机理

**中图分类号:** S513; S226.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0143-05

## Detecting and Research on Characteristics and Mechanism of Inner Mechanical Cracks of Corn Seed Kernels

Li Xiaofeng Jie Xin Zhang Yongli Li Fei Gao Lianxing

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

### Abstract

In order to study the mechanism and its effect on germination and emergence of inner mechanical cracks of corn seed kernels in threshing, a computer recognition system of corn seed mechanical damage was developed and low damage corn seed threshing principle and device parameters was analyzed. The typical external characteristics of corn seed, distribution of crack, formation rule of inner mechanical crack and damage extent were studied by means of stereomicroscope technical method. Distribution and formation regularity of corn seed mechanical cracks were explored. The result showed that obvious differences universally existed in shape and size and the inner mechanical cracks of three kinds of corn seeds, the long cracks were accounted to 39.8% of cracks damage. The main reason for inner crack formation was that crown of corn kernel was shocked by the threshing parts while feeding. The cracks started from the impacted area of corn kernel crown and enlarged to the embryo inside crown. The information about the inner cracks could be found from the crown and back of corn seed kernel.

**Key words** Corn seed, Threshing damage, Inner mechanical crack of kernel, Characteristics, Mechanism

### 引言

除破碎、破损等外部损伤外,玉米籽粒内部裂纹

也是玉米的一种损伤形式<sup>[1~3]</sup>。人工干燥可造成玉米籽粒内部应力不均而出现热应力裂纹,而机械作用也会造成内部胚乳的机械裂纹,因玉米外观表皮

收稿日期:2010-02-11 修回日期:2010-04-20

\* 国家自然科学基金资助项目(50675143)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200801570007)、辽宁省自然科学基金资助项目(20082124)和沈阳市科技攻关资助项目(1071214-1-00)

作者简介:李晓峰,硕士生,主要从事农业机械装备研究, E-mail: lixiaofeng\_mail@163.com

通讯作者:高连兴,教授,主要从事农产品收获与加工机械研究, E-mail: lianxing\_gao@126.com

完好,内部机械裂纹一般不易被人们发现,因此又称为隐性机械损伤,主要由脱粒部件的机械冲击作用所致<sup>[4]</sup>。隐性机械损伤对玉米发芽等具有显著影响,而且不易被发现,具有更大的潜在危害。关于玉米应力裂纹,目前已取得较大研究进展<sup>[5-6]</sup>,然而关于玉米内部机械裂纹以及对玉米种子发芽与苗期生长等影响方面的研究尚不多见<sup>[4,7]</sup>。国外学者利用光学仪器与图像处理技术,初步探索了机械裂纹对玉米种子发芽与出苗等的影响<sup>[8-9]</sup>。本文借助体视显微技术研究盛单216等3个品种玉米种子的内部机械裂纹损伤特征、分布状况与形成规律,探讨玉米种子内部机械裂纹的成因。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设备

试验选用辽宁主栽玉米种子品种盛单216、金刚12和隆迪401,均自然干燥,选自沈阳农业大学种子市场。利用5TYA-1型钉齿式玉米脱粒机脱粒,滚筒转速700~800 r/min,脱粒时玉米种子含水率16.5%~17.2%。主要试验设备有尼康SMZ800体视显微镜(变焦范围0.75X~7.5X)、尼康数码相机、1241谷物品质分析仪、微型计算机、电子天平、游标卡尺等。

### 1.2 试验方案及步骤

(1) 玉米种子外观特征测定。分别对3个品种玉米种子随机取样100粒,测量玉米种子籽粒长度 $H$ 、宽度 $B$ 、厚度 $T$ ,如图1所示。

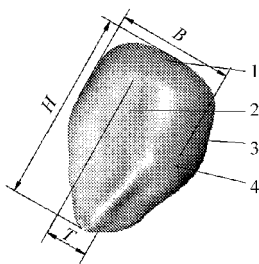


图1 玉米籽粒外形尺寸示意图

Fig.1 Size of corn seed

1. 冠部 2. 腹面 3. 背面 4. 侧面

(2) 收集内部机械裂纹种子样本。分别用肉眼和灯箱检测系统选出存在内部机械裂纹的种子并编号,为后续利用体视显微系统进行深入观察、分析做准备。

(3) 检测并分析玉米种子内部裂纹状况。通过体视显微系统检测玉米种子籽粒内部裂纹发生部位与走向、可视部位与数量、裂纹长度等。根据GB/T 16714标准规定的玉米籽粒内部胚乳裂纹或裂痕长度,将长度大于粒长1/2的裂纹称为长裂纹,长度为

粒长1/2~1/4之间的称为中裂纹,长度小于粒长1/4的为微裂纹。

### 1.3 内部裂纹检测系统

内部裂纹检测系统由灯箱检测系统(图2)和体视显微系统(图3)构成。灯箱检测系统是对玉米籽粒进行裂纹初选,光源光线从通光孔照射到光箱里,再透过玻璃板照射在具有一定透射性的玉米籽粒上,一般用目光可以观察到玉米籽粒的裂纹,可用数码相机采集玉米籽粒内部裂纹的图像。运用体视显微系统可对玉米籽粒内部机械裂纹进行更为深入、准确的观察。体视显微镜可根据需要调整放大倍数观察比较细小的裂纹,并且可选用透射光或是反射光进行不同形式的裂纹观察,将体视显微镜与微型计算机连接,可以方便存、取显微图像并进行观察和分析。

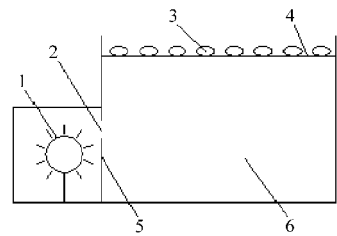


图2 灯箱检测系统

Fig.2 Light box detecting system

1. 灯源 2. 通光孔 3. 玉米粒 4. 玻璃板 5. 遮光板 6. 光箱

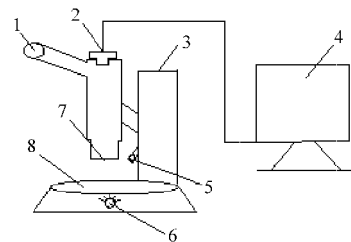


图3 体视显微系统

Fig.3 Stereo microscope system

1. 目镜 2. 数码相机 3. 支架 4. 微型计算机 5. 反射光源  
6. 透射光源 7. 物镜 8. 载物台

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米种子外形特征

考察3种玉米种子籽粒外形尺寸(表1)和形状(图4)发现,玉米种子不同于商品玉米,其籽粒外形不规则,形状和尺寸差异极其显著,透明度也存在较大差异。由于玉米籽粒形状不规则,玉米穗上籽粒之间接触不紧密,导致籽粒间相互挤压和摩擦的力较小,脱粒时脱粒部件作用在玉米籽粒上的力不能很好传递。并且籽粒长短不一,玉米穗上的籽粒就会参差不齐,当脱粒部件作用在玉米穗上时,玉米穗上凸出的籽粒受冲击最严重。

表 1 玉米种子外形尺寸

Tab.1 Size of corn seed

品种	指标	mm		
		长度 $H$	宽度 $B$	厚度 $T$
盛单 216	均值	7.23	7.85	5.80
	标准差	0.86	0.76	1.03
金刚 12	均值	8.12	8.51	5.79
	标准差	0.91	0.69	1.04
隆迪 401	均值	8.81	8.66	6.24
	标准差	1.15	0.85	1.38

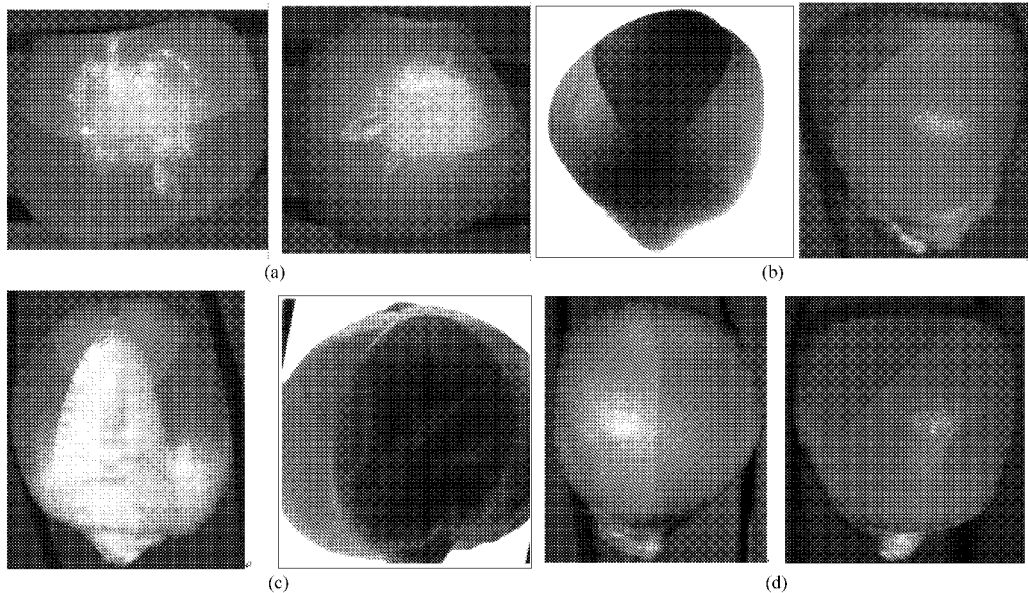


图 4 玉米籽粒内部机械裂纹检测结果

Fig.4 Inner mechanical cracks of corn

(a) 冠部裂纹 (b) 背面裂纹 (c) 腹面裂纹 (d) 侧面裂纹

表 2 玉米籽粒内部机械裂纹损伤率

Tab.2 Damage ratio statistics of corn seed mechanical cracks

内部机械 裂纹形式	裂纹损伤率/%				
	盛单 216	金刚 12	隆迪 401	平均	
长裂纹	1 条裂纹	6	9	22	12.4
	2 条裂纹	1	15	21	12.4
	3 条及以上裂纹	16	17	12	15.0
中裂纹	2	9	1	4.0	
微裂纹	17	24	23	21.3	

上述结果说明玉米种子内部机械裂纹损伤情况比较严重,而且各种裂纹形式同时存在;长裂纹一般用肉眼仔细观察基本可以看出,但中裂纹与微裂纹一般只能借助体视显微系统才能观察到;初步试验表明<sup>[1]</sup>,长裂纹对玉米种子发芽影响显著,而微裂纹基本不构成影响。

### 2.3 内部裂纹发生部位与走向

运用体视显微系统将玉米籽粒放大,分别从冠部(图 4a)、背面(图 4b)、腹面(图 4c)和侧面

### 2.2 玉米种子内部机械裂纹损伤率

经过体视显微系统观察,3 个品种玉米种子的内部机械裂纹形式、数量和损伤率统计如表 2 所示。长裂纹、中裂纹和微裂纹总平均损伤率分别为 39.8%、4.0% 和 21.3%,其中长裂纹损伤率中有 1 条长裂纹和 2 条长裂纹的损伤率各为 12.4%、3 条及以上长裂纹的损伤率为 15.0%;3 个品种中隆迪 401 的长裂纹损伤率最高,为 55%,盛单 216 最低,为 23%。

(图 4d)观察可见裂纹状况,并经过多次重复观察并深入研究发现:①玉米种子内部机械裂纹中的长裂纹主要从籽粒冠部产生,而且从冠部可观察到由脱粒部件机械作用所留下的小块冲击区(图 4a)。②冠部产生的长裂纹向种胚延伸、扩展(图 4b、4c、4d),进入种胚后的裂纹从籽粒腹面难以观察到(图 4c),但从背面依然明显可见(图 4b)。③多数微裂纹以冲击区域为中心,向四周扩散。

对上述结果进行分析:①玉米种子内部机械裂纹主要发生在冠部,是玉米穗在脱粒喂入过程中暴露在最外面籽粒冠部受到脱粒部件的冲击作用而产生,当冲击达到一定程度时冠部就会产生裂纹,随着冲击作用的增强,裂纹趋于严重。②冠部裂纹之所以向种胚延伸与扩展,是由于玉米种子内部结构和成分所致(图 5),由于半透明状的种皮具有较好的强度与韧性,本身不容易破裂,对种子具有保护作用;而胚乳外边缘,特别是两侧为角质,中部为粉质,具有较大的硬度和脆性,角质胚乳和种胚之间的应力分布规律<sup>[8]</sup>造成冠部裂纹向种胚延伸与扩展。

③由于种胚占玉米籽粒腹部的绝大比例,角质胚乳只占很小部分,而机械裂纹的出现主要是在角质胚乳层,所以即使种胚受到损伤,由于种胚外侧较厚白色种皮,从腹面也很难被发现。

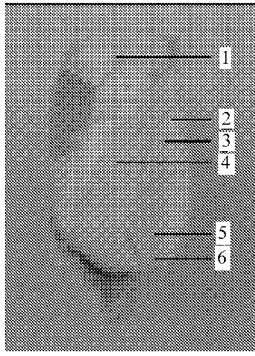


图5 玉米籽粒内部结构  
Fig.5 Inner structure of corn seed

1. 胚乳 2. 胚芽鞘 3. 胚芽  
4. 子叶 5. 胚根 6. 胚根鞘

### 2.4 玉米种子可视部位裂纹与实际裂纹数量

3种供试玉米种子各100粒,其内部机械损伤可视部位裂纹数量及百分比见表3。可视裂纹数量最多的部位均以冠部为主;盛单216冠部、侧面、背面和腹面裂纹数分别占52.36%、20.42%、18.32%、8.90%,金刚12分别为49.50%、19.75%、21.75%、9.00%,隆迪401分别为50.42%、16.44%、18.66%、14.48%。3种供试玉米各100粒实际裂纹数量见表4。盛单216、金刚12和隆迪401玉米种子各100粒,其长裂纹数分别为63、101和100,占总裂纹数百分比为51.22%、37.97%和42.02%,中裂纹百分比分别为17.89%、18.80%和7.98%,微裂纹百分比分别为30.89%、43.23%和50.00%。从试验结果可知,3种玉米种子长裂纹平均为43.74%、微裂纹平均为41.37%,中裂纹所占百分比最小,为14.89%。

表3 玉米种子可视部位裂纹数量与比例  
Tab.3 Amounts and ratios of cracks in visible part of corn seed

玉米种子		可视部位			
		冠部	腹面	背面	侧面
盛单216	裂纹数量	100	17	35	39
	百分比/%	52.36	8.90	18.32	20.42
金刚12	裂纹数量	198	36	87	79
	百分比/%	49.50	9.00	21.75	19.75
隆迪401	裂纹数量	181	52	67	59
	百分比/%	50.42	14.48	18.66	16.44

实际裂纹总数与长裂纹数量由大到小品种分别

为金刚12、隆迪401和盛单216,金刚12和隆迪401长裂纹数远多于盛单216。籽粒形状、玉米种子力学性质、脱粒时含水率都可能影响到玉米种子内部裂纹的损伤程度,具体原因还有待于进一步研究。

研究中发现可视裂纹总数大于实际裂纹数,其原因是部分裂纹可在2个或2个以上可视部位观察到。上述结果表明,裂纹主要发生并可见于玉米籽粒冠部,背面也是裂纹的主要可视部位。因而研究玉米种子内部裂纹计算机识别系统时,可考虑从玉米种子冠部和背面两个可视部位采集裂纹图像信息。

表4 玉米种子实际裂纹数量  
Tab.4 Real amounts of cracks of corn seed

玉米种子		裂纹形式		
		长裂纹	中裂纹	微裂纹
盛单216	裂纹数量	63	22	38
	百分比/%	51.22	17.89	30.89
金刚12	裂纹数量	101	50	115
	百分比/%	37.97	18.80	43.23
隆迪401	裂纹数量	100	19	119
	百分比/%	42.02	7.98	50.00

### 3 结论

(1) 玉米种子外形差异显著,导致脱粒难度差异大。

(2) 3种试验用玉米种子普遍存在内部机械裂纹问题,并且长裂纹、短裂纹和微裂纹同时存在。3种试验玉米种子的长裂纹损伤率平均为39.8%,其中1条长裂纹和2条长裂纹的损伤率各为12.4%、3条长裂纹的损伤率为15.0%。

(3) 玉米种子内部机械裂纹主要发生在籽粒冠部并向种胚延伸与扩展,产生裂纹的冠部存在脱粒部件的冲击区;以冲击区为中心,呈放射状分布多条微裂纹。因此,必须减轻喂入过程中的脱粒冲击。

(4) 玉米籽粒冠部是裂纹产生的主要部位,同时也是主要的可视部位,部分裂纹可从几个可视部位观察到。因此,研究玉米种子内部裂纹计算机识别系统时,可考虑从玉米种子冠部或背面两个可视部位的图像采集裂纹信息。

### 参 考 文 献

1 周旭,李心平,高连兴,等.两种脱粒滚筒的玉米籽粒损伤试验研究[J].沈阳农业大学学报,2005,36(6):756~758.  
Zhou Xu, Li Xinping, Gao Lianxing, et al. Comparison of corn kernel damage using two types of threshing cylinders[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2005, 36(6):756~758. (in Chinese)

2 李保国,肖建军,张岩.玉米干燥过程中的应力裂纹研究进展[J].上海理工大学学报,2001,23(2):107~110.

- Li Baoguo, Xiao Jianjun, Zhang Yan. Research progress on corn stress cracks in drying process [J]. University of Shanghai for Science and Technology, 2001, 23(2):107~110. (in Chinese)
- 3 朱文学, 连政国. 玉米应力裂纹的生成和扩展过程模拟[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1):113~116.  
Zhu Wenxue, Lian Zhengguo. Simulation of formation and development of stress cracks in corn [J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(1):113~116. (in Chinese)
- 4 李心平, 高连兴, 马福丽. 玉米种子力学特性的有限元分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(10):64~67.  
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli. Analysis of finite element method on mechanical properties of corn seed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10):64~67. (in Chinese)
- 5 张俊雄, 荀一, 李伟. 基于形态特征的玉米种子表面裂纹检测方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(6):951~956.  
Zhang Junxiong, Xun Yi, Li Wei. Detection of surface cracks of corn kernel based on morphology [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(6):951~956. (in Chinese)
- 6 朱文学, 张玉先, 李栋, 等. 玉米应力裂纹扩展的分形模型及动力学分析[J]. 农业机械学报, 1999, 30(3):48~52.  
Zhu Wenxue, Zhang Yuxian, Li Dong, et al. Study on fractional models and propagating kinetics of stress cracks on corn [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(3):48~52. (in Chinese)
- 7 李心平, 高连兴. 种子玉米籽粒果柄断裂机理试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11):47~51.  
Li Xinping, Gao Lianxing. Experimental study on breaking mechanism of kernel stem of corn seed [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11):47~51. (in Chinese)
- 8 Bino R J, Aartse J W, Van Der Burg W J. Non destructive X-ray of *arabidopsis* embryo mutants [J]. Seed Science Research, 1993, 3(2):167~170.
- 9 Cicero S M. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging [J]. Seed Science and Technology, 1998, 26(3):603~612.
- 10 徐立章, 李耀明, 李洪昌. 水稻谷粒脱粒损伤的影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12):55~59.  
Xu Lizhang, Li Yaoming, Li Hongchang. Analysis on factors affecting performance of rice kernel damage during threshing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12):55~59. (in Chinese)
- 11 高连兴, 李晓峰, 接鑫, 等. 大豆内部机械损伤对发芽的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10):63~66, 102.  
Gao Lianxing, Li Xiaofeng, Jie Xin, et al. Inner mechanical damage impact to germination of soybean kernels [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):63~66, 102. (in Chinese)

---

(上接第 129 页)

- 10 Abe H, Iyo C, Kawano S. A study on the universality of a calibration with sample temperature compensation [J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2000, 8(1):209~213.
- 11 魏国, 刘剑, 孙金玮, 等. 基于 LS-SVM 的非线性多功能传感器信号重构方法研究 [J]. 自动化学报, 2008, 34(8):869~875.  
Wei Guo, Liu Jian, Sun Jinwei, et al. Study on nonlinear multifunctional sensor signal reconstruction method based on LS-SVM [J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(8):869~875. (in Chinese)
- 12 Wülfert F, Kok W Th, de Noord O E, et al. Linear techniques to correct for temperature induced spectra variation in multivariate calibration [J]. Chemometrics Intelligent Laboratory Systems, 2000, 51(2):189~200.