

玉米种子抗压特性及裂纹生成规律*

李心平¹ 李玉柱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】 为降低玉米种子脱粒过程中的机械损伤,掌握玉米种子抗压特性及其裂纹生成规律,在 LDS 微机控制电子拉压试验机上,对不同品种的玉米种子进行了静态压缩试验。试验结果表明:最大破裂力随含水率的增加而降低;同一品种在相同含水率下,平放时最大破裂力最大,立放时最小,侧放时居中;同一放置方式时,不同品种玉米种子承载压力的能力不同;不同放置方式时,不同受压面生成裂纹的形状、部位和规律不同。

关键词: 玉米种子 抗压特性 裂纹 生成规律

中图分类号: S313; S513 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)08-0094-05

Anti-pressing Properties and Crack Formation Law of Corn Seed

Li Xinping¹ Li Yuzhu¹ Ma Fuli¹ Gao Lianxing²

(1. College of Vehicle and Motive Power Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

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

Abstract

For reducing mechanical damage of corn seed in the process of threshing and mastering the law on anti-pressing properties and crack formation of corn seed, static compresses experiment of various varieties corn seeds were carried out on LDS microcomputer control and electron draw-press test-machine. Results showed that the largest breaking power would decrease with the increasing of seed humidity ratio. The largest breaking power was the biggest with level-placing manner and in turn flank-placing manner took second place, perpendicular-placing manner was the smallest. Anti-pressing competence of various varieties corn seeds was different under same placing manners. The shape, position and law of crack in various surface loaded was different under different placing manners.

Key words Corn seed, Anti-pressing properties, Crack, Formation law

引言

玉米种子在脱粒过程中要受到脱粒部件的挤压、撞击、揉搓等外力作用,玉米种子的损伤与这些外力密切相关。这些外力使玉米破碎率增加,降低了玉米的品质及其经济价值,同时破损种子的发芽率和生活力都有不同程度的降低^[1~4]。另外,当外力作用于同一种子时,由于作用力大小、施力部位、施力方向的不同,使其损伤程度差异很大,这给研究工作带来诸多不便。因此,研究玉米

种子的抗压特性及其裂纹生成的规律,获得玉米种子在不同施力部位的损伤机理,从而为改进脱粒工艺,减少玉米破碎率提供理论依据,具有现实意义。

国内外专家对玉米种子抗压特性作了大量研究^[5~14],但对于不同含水率下不同品种的整粒玉米种子从3个方向施力来进行综合研究以及施力方向与裂纹生成规律的研究未见报道。本文主要研究在多种影响因素下,玉米种子不同受压面的抗压特性及裂纹生成规律。

收稿日期: 2010-10-12 修回日期: 2010-11-22

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200801570007)、河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2011B210003)、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: lxpmfl@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

1 试验材料、设备和方法

1.1 试验材料

试验玉米种子为富油 1 号、东单 1 号和农大 108,取自辽宁东亚种子公司,人工收获,手工脱粒。收获时含水率分别为 26.0%、25.8%、26.2%,把各品种含水率分别处理至 10.4%、13.5%、15.6%、18.4% 和 21.9%^[6]。

从未损伤的饱满种子中随机抽取 135 粒样品,经灯箱检查无明显内部裂纹后,用作试验。

1.2 试验设备与方法

试验设备为 LDS 微机控制电子拉压试验机、1241 型谷物品质分析仪(测量籽粒的含水率)。

试验采集的数据为玉米种子最大破裂力。试验时,将玉米种子放在 LDS 微机控制电子拉压试验机平压缩板的中央部位,用牙膏胶固定,下压缩板静止不动。上压缩板的压头以加载速度 5 mm/min 缓慢向下匀速运动。上压缩板的压头接触到玉米种子时电子显示屏开始显示压力数据,当玉米种子破裂时压力骤减而自动停机,此时按试验机记录仪上的峰值键,显示窗口显示最大试验力值,记下该值,不同放置方式下每个水分级重复做 3 次试验,而后取最大破裂力的平均值。

2 试验设计与分析

2.1 试验因素和指标

选取玉米品种、种子放置方式、含水率为试验因素,把玉米种子破裂时所受的最大破裂力作为试验指标,采用三因素随机区组试验,如表 1 所示。

种子放置方式为立放、侧放、平放 3 种,如图 1 所示。立放时的受力面为顶面,侧放时的受力面为侧面,平放时的受力面为腹面。

2.2 种子裂纹判断

为了便于观察种子裂纹生成情况,将每次试验后的种子浸泡在体积分数为 0.2% 的墨汁中 4 min,然后放置在一个滤器中用水冲走多余墨汁,放在纸垫上干燥 24 h,直接观察种子上的裂纹。

用 SAS 统计分析软件对玉米种子抗压特性试验结果进行方差分析,结果如表 2 所示。最大破裂力方差分析模型是极显著的,显著水平小于 0.000 1,决定系数 R^2 为 0.994 2。 a (品种)、 b (放置方式)、 c (含水率)、 ab 、 bc 、 abc 均显著; ac 不显著。平放对最大破裂力的影响程度最大。立放对最大破裂力的影响程度最小。

表 1 玉米种子抗压特性试验结果
Tab. 1 Results of anti-presses characteristic of corn seed

品种	放置方式	含水率/%	最大破裂力/N			
			1	2	3	平均值
东单 1 号	立放	10.4	208	231	197	212
		13.5	188	194	176	186
		15.6	163	179	180	174
		18.4	153	164	165	161
		21.9	112	130	121	121
	侧放	10.4	254	247	262	254
		13.5	235	233	239	236
		15.6	222	240	220	228
		18.4	211	199	214	208
		21.9	145	132	147	141
	平放	10.4	498	479	475	484
		13.5	467	465	445	459
		15.6	408	389	401	399
		18.4	325	333	331	330
		21.9	291	304	310	302
富油 1 号	立放	10.4	220	205	215	213
		13.5	203	197	207	202
		15.6	185	160	168	171
		18.4	155	165	157	159
		21.9	126	120	118	121
	侧放	10.4	257	262	261	260
		13.5	244	251	239	245
		15.6	217	222	216	218
		18.4	206	199	211	205
		21.9	160	156	148	155
	平放	10.4	522	498	493	504
		13.5	439	444	432	438
		15.6	398	404	412	405
		18.4	326	357	348	344
		21.9	298	321	309	309
农大 108	立放	10.4	278	279	269	275
		13.5	253	261	257	257
		15.6	223	209	208	213
		18.4	178	199	177	185
		21.9	162	158	168	163
	侧放	10.4	321	305	319	315
		13.5	299	304	289	297
		15.6	287	281	269	279
		18.4	266	255	269	263
		21.9	227	231	233	230
	平放	10.4	572	499	557	543
		13.5	529	531	512	524
		15.6	498	503	479	493
		18.4	436	455	462	451
		21.9	362	398	392	384

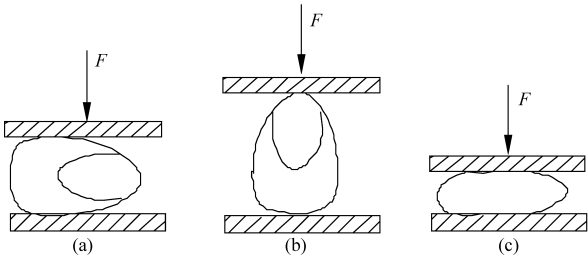


图 1 种子的放置方式

Fig. 1 Placing manners of seeds

(a) 侧放 (b) 立放 (c) 平放

表 2 玉米种子最大破裂力方差分析

Tab. 2 Variance analysis for the utmost breaking power of corn seed

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	尾概率 $P_r > F$
a	2	120 439. 659	60 219. 830	492. 01	<0. 000 1
b	2	1 413 382. 104	706 691. 052	5773. 79	<0. 000 1
c	4	266 025. 896	66 506. 474	543. 37	<0. 000 1
ab	4	6 215. 052	1 553. 763	12. 69	<0. 000 1
ac	8	791. 304	98. 913	0. 81	0. 597 2
bc	8	30 608. 637	3 826. 080	31. 26	<0. 000 1
abc	16	9 341. 096	583. 819	4. 77	<0. 000 1

3 结果分析

3.1 种子含水率

从表 1 可知,种子的含水率对抗压特性有极大影响,在不同放置方式下最大破裂力都随含水率的增加而降低,下降速度则随含水率的增加逐趋缓慢,种子的含水率越低其所承受的载荷越大。在含水率 10% ~ 15% 区域内,种子的最大破裂力对含水率因素极为敏感。在此区域内只要对种子作少许的干燥处理,便会较快提高种子的抗压性能。分析其原因,主要是因为玉米的含水率越低,种子的强度和硬度越大,能够抵抗破裂的能力就越强,因此玉米所承受的载荷就越大。在玉米所承受相同载荷的情况下,种子的含水率越低其变形越小。这主要是因为玉米的含水率越低,种子中粉质胚乳淀粉颗粒的脆性就越大,而塑性就越小,因此玉米的变形就越小。

同一品种在相同含水率下,平放时最大破裂力最大,立放时最小。

因此,玉米穗脱粒时含水率应适当低一些,含水率一般为 20% ~ 22%,可减少种子破损^[7],这些都符合最大破裂力与含水率这一基本关系。

3.2 放置方式

玉米种子各组成部分的力学特性有相当大的差异,玉米种子的 4 个主要部分即粉质胚乳、角质胚

乳、尖冠和胚,其中尖冠和胚的抗破裂性很弱,立放时玉米种子顶部受压,相应的种子果柄、胚很容易在种子产生裂纹之前受到破坏,因而在同一品种,相同条件下立放受压时最大破裂力最小,容易使玉米种子产生裂纹造成损伤;平放时玉米种子边缘受压,角质胚乳的变形规律与种子相似,有坚硬的角质外层,因而最大破裂力最大,不容易使玉米种子产生裂纹造成损伤;侧放时玉米种子胚乳粉质部分受压,粉质胚乳是淀粉颗粒聚合体,承受力不大,粉质胚乳内部组织在压力的作用下首先破坏,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,因而最大破裂力居中。

3.3 品种

3 个玉米品种的结构成分、种子尺寸和形状存在差异。其中东单 1 号与富油 1 号属于马齿型玉米,其种子尺寸、外部形状、内部组成结构相差不大,而农大 108 属于半马齿型玉米,其种子尺寸、外部形状、内部组成结构与东单 1 号、富油 1 号相比,相差较大,因而在同一放置位置时的最大破裂力有所不同。在同一放置方式时,3 个品种在相同含水率下,农大 108 的最大破裂力最大,东单 1 号与富油 1 号的最大破裂力相差不大。

4 种子裂纹生成的观察分析

试验中观察分析发现:在同一位置不同品种的玉米种子生成裂纹的基本规律大致是相同的。

4.1 种子立放

种子直立放置时破坏部位在有胚的一端,是一条由种子顶冠位置开始向下几乎贯穿整个种子的裂纹,且与果柄连接的种子尖冠处向四周爆裂。这是因为种子尖冠处的抗压性很弱,强度较低,首先破坏,而后胚和胚乳的共生部相比胚和胚乳较弱,接着破裂,胚与胚乳分离,种皮在拉应力作用下而断裂,种子破裂,如图 2a 所示。

4.2 种子侧放

侧放受压时裂纹是一条过胚和胚乳共生部最高点且贯穿整个种子宽度的近似水平线。裂纹线以下至果柄,无裂纹;此裂纹线以上,顶冠中部爆裂严重,呈发散状张开,侧面和顶部的裂纹与腹面过胚和胚乳共生部最高点的裂纹线有时相连,种子顶冠部分有时破裂严重。这是因为侧卧放置时种子产生一定压缩变形后,过胚和胚乳共生部最高点的线开始和平板接触,该线是胚和胚乳的共生部,强度较低,首先破坏^[5]。种子破裂后,胚与胚乳分离。种子上部是粉质胚乳,粉质胚乳是淀粉颗粒聚合体,承受力值不大,粉质胚乳中的裂纹由于淀粉颗粒松散,颗粒之

间存在大量的空气间隙,应力裂纹无统一方向,其中大致以粉质胚乳为中心的放射状分布占大多数,裂纹轮廓线曲曲折折^[15],致使顶部冠帽中部爆裂严重,呈发散状张开,如图 2b 所示。

4.3 种子平放

平放受压时裂纹位于中间,是一条由种子顶冠位置开始向下几乎贯穿整粒种子的裂纹,但果柄处无损伤。

这是因为种子腹面不是完全水平,从种子的顶

冠到果柄的中部比边缘凸起稍高,在压缩过程中,腹面与压头是逐渐接触,平放时有胚的一面向上放置,这样玉米种子边缘受压力作用,粉质胚乳与胚受拉力作用,种子边缘有坚硬的角质外层,承受载荷值大,粉质胚乳是淀粉颗粒聚合体,承受力值不大,胚的抗破裂性也很弱,所以种子裂纹首先产生在承受力值不大、抗破裂性很弱的粉质胚乳、胚部,而后向表皮扩展,最终玉米的破裂则是内部结构物破裂后,导致种皮在拉应力作用下而断裂^[7,16],如图 2c 所示。

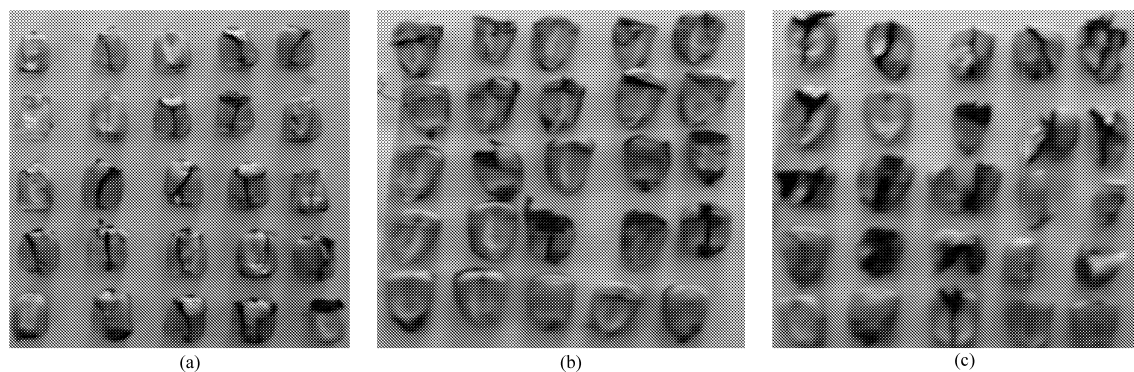


图 2 玉米种子加载压力时的裂纹分布规律

Fig. 2 Crack distributing law for corn seed loaded compression

(a) 立放 (b) 侧放 (c) 平放

5 结论

(1) 种子含水率对抗压特性有极大影响,在同一品种不同放置方式下,最大破裂力都随含水率的增加而降低。

(2) 在同一品种相同含水率下,平放时最大破裂力最大,立放时最小,侧放时居中。

(3) 在同一放置方式时,3 个品种在相同含水率下,农大 108 的最大破裂力最大,东单 1 号与富油 1 号的最大破裂力相差不大。

(4) 种子直立放置时破坏部位在有胚的一端,

是一条由种子顶冠位置开始向下几乎贯穿整粒种子的裂纹,且由与果柄连接的种子尖冠处向四周爆裂。

(5) 侧放受压时裂纹是一条过胚和胚乳共生部最高点且贯穿整个籽粒宽度的近似水平线。裂纹线以下至果柄,无裂纹;此裂纹线以上,顶冠中部爆裂严重,呈发散状张开,侧面和顶部的裂纹与腹面过胚和胚乳共生部最高点的裂纹线有时相连,籽粒顶冠部分有时破裂严重。

(6) 平放受压时裂纹位于中间,是一条由籽粒顶冠位置开始向下几乎贯穿整个籽粒的裂纹,果柄处无损伤。

参 考 文 献

- 李心平,马福丽,高连兴. 玉米种子的机械损伤对其发芽率的影响[J]. 农机化研究,2009,31(3):34~35.
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. Impact of mechanical damage of corn seed to its germination percentage [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(3): 34~35. (in Chinese)
- Akubuo C O. Performance evaluation of a local maize sheller [J]. Biosystems Engineering, 2002, 83(1): 77~83.
- Candia A, Saasa A R, Muzei J, et al. Improving the AEATRI-motorized maize sheller to meet the market demands of commercial maize farmers [J]. Uganda Journal of Agricultural Sciences, 2004, 9(1): 569~573.
- Baba H A, Sunday A M, Ayodeji O O, et al. The design and construction of maize threshing machine [J]. AU Journal of Technology, 2009, 12(3): 199~206.
- 赵学笃,马中苏. 玉米籽粒力学性能的实验研究[J]. 吉林工业大学学报, 1996, 21(1): 60~65.
Zhao Xuedu, Ma Zhongsu. Experimental investigation of mechanical properties for corn kernels [J]. Journal of Jilin Industrial University, 1996, 21(1): 60~65. (in Chinese)
- 李心平,高连兴,马福丽. 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, Gao Lianxing, Ma Fuli. Dropping impact experiment on corn seeds [J]. Transactions of the Chinese Society of

Agricultural Engineering,2009, 25(1):113~116. (in Chinese)

7 袁月明,栾玉振. 玉米籽粒力学性质的试验研究[J]. 吉林农业大学学报,1996,18(4):75~78.
Yuan Yueming, Luan Yuzhen. Experimental investigation of mechanical properties for corn kernels[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1996,18(4):75~78. (in Chinese)

8 李心平,高连兴,马福丽,等. 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,Gao Lianxing, Ma Fuli, et al. Experimental research of corn seed kernel on the impacting damage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2007,38(1):89~93. (in Chinese)

9 李心平,高连兴,马福丽. 玉米种子籽粒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)

10 张明学,赵祥涛,辛烁军. 东北玉米颗粒破碎敏感性分析报告[J]. 粮食流通技术,2005(5):18~20.
Zhang Mingxue,Zhao Xiangtao, Xin Shuojun. Analysis report on corn kernel breakage sensitivity in Northeast[J]. Grain Distribution Technology,2005(5):18~20. (in Chinese)

11 张红梅,逢晶. 对玉米破碎问题的分析及防止办法的思考[J]. 粮食储藏,2004(4):55~56.
Zhang Hongmei,Feng Jing. Analysis of corn broken and thinking of preventing approach[J]. Grain Storage,2004(4):55~56. (in Chinese)

12 Fandohan P, Ahouansou R, Houssou P. Impact of mechanical shelling and dehulling on fusarium infection and fumonisin contamination in maize [J]. Food Additives and Contaminants, 2006, 23(4): 415~421.

13 Volkovas V. Establishment of maize grain elasticity on the basis of impact load [J]. Mechanika, 2006, Nr. 6(62):64~67.

14 Ajayi O A, Clarke B. High velocity impact of maize kernels [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1997, 67(2): 97~107.

15 朱文学,曹崇文. 玉米应力裂纹的显微分析[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2):198~202.
Zhu Wenxue,Cao Chongwen. Microscopic structure analysis on stress cracks in corn[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14(2):198~202. (in Chinese)

16 Petkevičius S, Špokas L, Steponavičius D. Substantiation of technological parameters of wet maize ear threshing [J]. Agronomy Research, 2008,6(Special issue): 271~280.

17 李晓峰,接鑫,张永丽,等. 玉米种子内部机械裂纹检测与机理研究[J]. 农业机械学报,2010,41(12):143~147.
Li Xiaofeng,Jie Xin,Zhang Yongli, et al. Detecting and research on characteristics and mechanism of inner mechanical cracks of corn seed kernels[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(12):143~147. (in Chinese)

(上接第 103 页)

2 Cundall P A, Strack O L. A discrete numerical model for granular assemblies[J]. Geotechnique, 1979, 29(1): 47~65.

3 Džiugys A, Peters B. An approach to simulate the motion of spherical and non-spherical fuel particles in combustion chambers [J]. Granular Matter, 2001, 3(4): 231~265.

4 Zhu H P, Zhou Z Y, Yang R Y, et al. Discrete particle simulation of particulate systems: a review of major applications and findings[J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(23): 5 728~5 770.

5 Kremmer M, Favier J F. A method for representing boundaries in discrete element modelling—part I: geometry and contact detection[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2001, 51(12): 1 407~1 421.

6 于建群,付宏,刘振宇,等. 基于 CAD 模型的离散元法边界建模方法:中国,200510016835.7[P]. 2006-07-26.

7 董正卫,田立中. UG/OPEN API 编程基础[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

8 李志勇. 基于椭球颗粒模型的离散元法基本理论及算法研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
Li Zhiyong. Basic theories and research of algorithms for DEM based on ellipsoidal particles model[D]. Changchun:Jilin University, 2009. (in Chinese)