

含水率对大豆静压机械特性的影响

高连兴, 焦维鹏, 杨德旭, 邵志刚, 赵学观, 刘德军*

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866)

摘要: 为探明不同含水率的大豆物理机械性质、揭示脱粒与输送过程中大豆机械损伤机理, 以沈农 12 大豆为试验对象, 应用万能生物材料试验机进行了 5 种含水率下的大豆破裂强度、弹性模量和压缩功等准静压力学特性试验, 获得了 6.84%~21.37% 含水率范围内、3 个方向的大豆破裂强度、弹性模量和压缩功及其变化规律, 研究结果可为改进大豆脱粒和输送装置、确定工艺参数提供参考。

关键词: 种子, 含水率, 机械特性, 静压试验

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.15.007

中图分类号: S565.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-15-0040-05

高连兴, 焦维鹏, 杨德旭, 等. 含水率对大豆静压机械特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 40-44.

Gao Lianxing, Jiao Weipeng, Yang Dexu, et al. Effect of moisture content on mechanical properties of soybean seed under static pressure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 40-44. (in Chinese with English abstract)

0 引言

作为重要油料作物之一, 大豆是中国食物结构中优质蛋白和油脂重要来源, 也是畜牧业的重要饲料来源, 在中国食物生产和消费系统中扮演了非常重要的角色^[1-3]。据资料表明: 目前中国大豆在收获环节的破损率一般都在 5%~10%, 在输送过程中的损伤率约更大^[4-7]。大豆损伤分为破碎、两瓣和破皮等外部损伤和内部损伤, 破碎的大豆容易在分选和输送过程中耗掉而造成直接经济损失, 且大豆品质下降, 容易失油、细菌感染、吸湿, 增加了病虫和霉菌侵袭的敏感性, 缩短储存期, 严重影响大豆储藏及食用价值。内部损伤的大豆不但会加剧后续输送的破碎, 且若用作豆种时, 严重影响发芽而造成减产, 具有更大的间接危害性^[8-11]。大豆脱粒时豆粒必须有足够的强度和硬度才不致破碎, 而大豆含水率对其强度和硬度有重要影响, 豆粒太湿时硬度低, 抗揉搓性能差, 易被挤扁; 豆粒过干时韧性差, 强度低, 不耐冲击, 受高速打击容易破碎。因此研究大豆含水率对其机械特性的影响是十分必要的。

关于大豆力学性质、损伤等研究, 前人做了大量工作并取得有益的成果, 如马小愚、徐立章、Shreekant 和高连兴等分别研究力学性质与损伤了大豆脱粒损伤特征、隐性损伤对大豆种子发芽的影响^[12-25]。本文从大豆不同含水率下的机械特性入手, 通过大豆静态加载力学

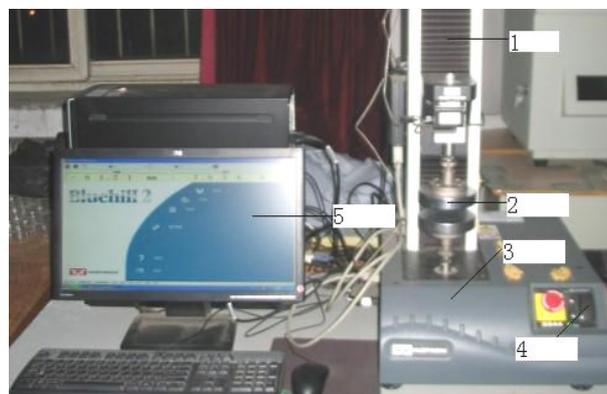
试验, 研究大豆含水率对其机械特性的影响规律, 为研究大豆脱粒机参数和确定最佳脱粒时间、设计输送与卸料装置结构和参数提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

以沈阳农业大学农学院提供的沈农 12 为试验材料, 去除损伤、瘪粒及其他杂质。

试验设备有美国因斯特朗公司生产的 Instron3344 系列电子万能材料物理试验机、日本尼康公司生产的 SMZ168 体式显微镜、数码相机和长沙试验仪器公司生产的 SFY-60 红外线快速水分测定仪等。万能材料物理试验机用大豆静态加载力学特性试验, 主要由数据采集系统和试验台组成, 如图 1 所示。体式显微镜用于观察大豆损伤情况, 由尼康 SMZ168 型体式显微镜(变焦范围: 0.75X-7.5X)、CCD 摄像头和计算机等组成如图 2 所示。



1. 机架与导轨 2. 压头 3. 机座 4. 快进键 5. 电脑

图 1 万能材料物理试验机

Fig.1 Material physics test-machine

收稿日期: 2012-02-09 修订日期: 2012-07-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51075284)

作者简介: 高连兴(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械与农产品加工研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。

Email: lianxing_gao@126.com

*通信作者: 刘德军(1972—), 男, 副教授, 主要从事农业机械与农产品加工研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。Email: ldjldj@126.com

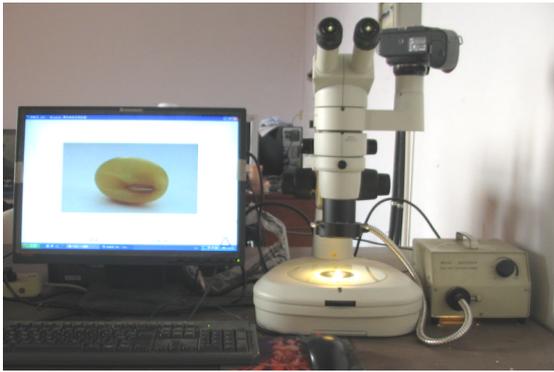


图 2 体式显微系统
Fig.2 Stereo microscope system

1.2 试验方案

以大豆含水率和施压方向为试验因素，其中选取 5 个含水率水平即 21.37%、16.54%、13.73%、10.29%和 6.84%，选择 3 个典型受力方向即平压（垂直于大豆两子叶结合面方向）、侧压（沿两子叶椭圆形结合面短轴方向）和立压（沿两子叶结合面长轴方向），见图 3。分析大豆损伤形式并以大豆开始发生破裂时的破裂强度、弹性模量和最小压缩功为试验指标，通过静态加载力学特

性试验研究含水率对物理机械特性影响规律。

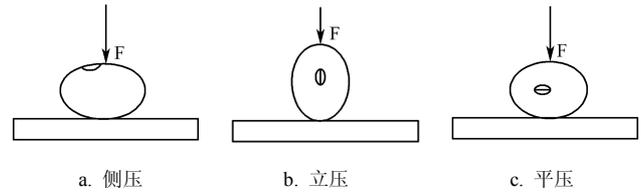


图 3 大豆施压方向
Fig.3 Pressing pattern of soybean seed

1.3 试验步骤

试验时将大豆籽粒置于压头中心位置，调整上压头至恰好未接触大豆籽粒，进入程序界面，在方法界面中试验控制设置参数：加载速度 1 mm/min、上限载荷 400 N、上限位移 3 mm、上限下降载荷百分率 20%、上限下降载荷 5 N；在测试界面中依次点击载荷调零、重设标距、开始、完成键。每组试验重复 10 次，数据进行统计分析后求取平均值和标准差。

2 试验结果与分析

沈农 12 大豆静态压缩试验结果和数据分析见表 1。

表 1 静态压缩试验结果
Table 1 Static compression test results

含水率/%		弹性模量/MPa			最小破裂强度/N			压缩形变量/mm			压缩功平均/(mJ)		
		平压	侧压	立压	平压	侧压	立压	平压	侧压	立压	平压	侧压	立压
21.37	平均值	94.24	75.82	62.63	49.22	40.90	37.59	1.35	1.18	1.14	33.22	24.13	21.43
	标准差	8.81	7.18	7.56	2.42	2.53	2.65	0.074	0.079	0.081	2.59	2.33	2.85
16.54	平均值	204.49	180.23	167.81	62.33	56.18	49.61	1.03	0.84	0.83	32.10	23.60	20.59
	标准差	10.02	8.13	7.38	2.78	2.72	2.80	0.086	0.077	0.089	2.98	2.91	2.61
13.73	平均值	329.44	282.43	257.14	82.26	69.93	65.16	0.71	0.63	0.57	29.20	22.03	18.57
	标准差	10.98	9.52	9.77	2.83	3.12	2.68	0.083	0.073	0.078	3.26	2.67	3.12
10.29	平均值	430.76	380.34	350.71	92.37	79.58	74.81	0.62	0.54	0.49	28.63	21.49	18.33
	标准差	10.26	8.93	9.28	2.64	2.71	2.47	0.079	0.081	0.073	2.87	3.17	2.83
6.84	平均值	514.02	451.29	410.57	100.50	87.70	83.97	0.56	0.48	0.42	28.14	21.05	17.63
	标准差	12.43	10.93	11.14	2.67	2.87	2.95	0.092	0.068	0.073	3.08	2.83	2.79

注：表中测量值为 10 次试验平均。

2.1 大豆损伤形式与过程分析

从大豆含水率单因素静压试验中发现，大豆受到压力作用时出现 2 种外观损伤，即破裂和塑性变形。在含水率低于 21.37%时，侧压和立压的大豆最初损伤均表现为两瓣（子叶开裂），其中侧压时二子叶沿椭圆形分界面短轴方向开裂（图 4a），立压时二子叶沿椭圆形分界面长轴方向开裂（图 4b）。大豆正压时的损伤分 2 种情况：当含水率低于 17%时，损伤以子叶断裂（图 4c）为主；当含水率高于 21.7%时，损伤以塑性变形为主，含水率在 17%~21.7%时，2 种损伤均有发生。

在大豆压缩试验过程中，随着压力逐渐增大，大豆变形量近似成比例增大，压力与变形量之间近似为线性关系，直到开始出现子叶开裂、碎裂时，压力达到峰值，随后压力陡降。当大豆含水率较高且受到正压时，压力达到一定值时出现塑性变形损伤（即压力解除后大豆不

能恢复原又基本形状），之后压力又较快上升。试验表明，大豆出现任何一种损伤之前均以弹性变形为主，依据含水率由高到低和正压、侧压与立压，大豆弹性形变量由大到小。

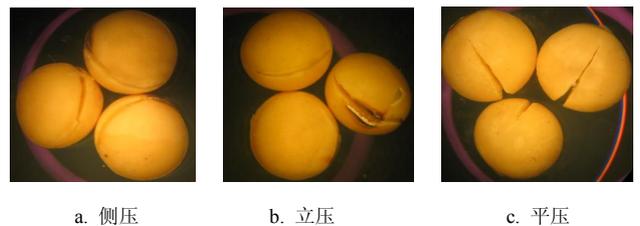


图 4 大豆破裂方式
Fig.4 Rupture mode of soybean

2.2 大豆最小破裂强度及变化规律

不同含水率和受压方向下的大豆破裂强度及其变化

规律如图 5 所示, 在选取试验因素水平范围内, 同一受力方向下的破裂强度随含水率提高而减小, 含水率为 21.37% 时破裂强度最小, 含水率为 6.84% 时破裂强度最大。在相同含水率下, 平压时破裂强度最大, 侧压次之, 立压最小。

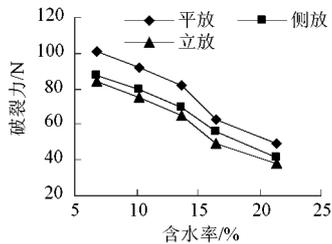


图 5 破裂强度与含水率的关系

Fig.5 Relation between rupture force and moisture content

分析含水率对大豆破裂强度影响的主要原因认为, 大豆因含水率不同而内部组织、机械强度不同, 含水率高时大豆内部组织变软、机械强度下降, 抵抗破裂的能力减弱, 受压容易变形且破裂强度随之下降; 反之, 含水率低时大豆内部组织硬度、强度提高, 抵抗破裂能力变强, 但显现出脆性, 受压时子叶在小变形情况下产生裂纹。同一含水率下的大豆破裂强度与 2 个因素有关, 即受压面积与受压部位。受压面积越大, 大豆抵抗破裂的能力就越强, 大豆破裂强度的值就越大。同样的形变量下, 正压时大豆受压面大于其他两种情况, 顶压时受压面最小, 因此, 正压时大豆破裂强度大于侧压和立压, 立压时的破裂强度最小。

通过 Matlab 软件分别拟合出平压、侧压和立压时大豆含水率和破裂强度之间的函数关系式表示为

$$F_p = 120.7598 - 2.4578X - 0.0452X^2 \quad (1)$$

$$F_c = 103.3159 - 1.8385X - 0.0521X^2 \quad (2)$$

$$F_l = 105.6537 - 2.9581X - 0.1278X^2 \quad (3)$$

式中, F_p 、 F_c 、 F_l 为大豆平压、侧压、立压时的破裂力, N; X 为大豆含水率, %

由式 (1) ~ (3) 可知: 大豆含水率和破裂强度之间关系近似为二次函数, 3 种受力方向下, 含水率与破裂强度的关系曲线近似为开口向下的抛物线。其中平压时相关系数为: $R^2=0.9619$, 侧压时相关系数为: $R^2=0.9527$, 立压时相关系数为: $R^2=0.9843$, 关系函数拟合良好。

2.3 大豆弹性模量及其变化规律

大豆弹性模量是衡量产生弹性形变的难易程度, 弹性模量越大表明其在一定压力作用下发生的弹性变形越小, 即刚度越大^[10]。本试验应用的 INSTRON 万能生物材料试验机具有自动测量并记录弹性模量的功能, 可以测得大豆在任意压力和形变量下的弹性模量, 也可以记录弹性模量的计算平均值、标准差 (表 1)。大豆在施压初期, 随着压力及其形变量增大其压头与大豆接触面积因弹性变形而略有增大, 但考虑到这一变化对大豆籽粒整体弹性影响不大, 所以用从施压开始到损伤 (破裂或塑性变形) 全过程的弹性模量计算平均值作为大豆整粒弹

性模量。其在不同含水率下弹性模量变化规律如图 6 所示。3 种受力方向下的大豆弹性模量均随含水率的增大而逐渐降低。相同含水率下, 平压弹性模量最大, 侧压次之, 立压最小。由 Matlab 软件分别拟合出平压、侧压和立压时大豆含水率和弹性模量之间的关系式表示为

$$E_p = 726.521 - 29.935X \quad (4)$$

$$E_c = 642.604 - 26.798X \quad (5)$$

$$E_l = 590.992 - 24.809X \quad (6)$$

式中: E_p 、 E_c 、 E_l 为平压、侧压、立压时的弹性模量, MPa。

由式 (4)、(5)、(6) 可知: 大豆含水率和弹性模量之间关系近似为递减的一次函数, 3 种受力方向下, 含水率与弹性模量的关系曲线近似为直线。其中平压时相关系数为: $R^2=0.9897$, 侧压时相关系数为: $R^2=0.9923$, 立压时相关系数为: $R^2=0.9931$, 关系函数拟合良好。

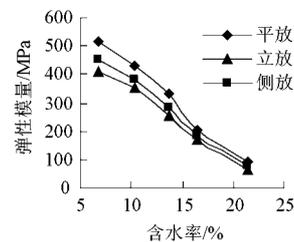


图 6 弹性模量与含水率的关系

Fig.6 Relation between elastic modulus and moisture content

2.4 大豆压缩功的变化规律

大豆静压过程中, 从受力开始一直到破裂, 压缩位移-压缩载荷曲线基本上呈线性关系, 因此可计算出大豆静载试验中的最小压缩功

$$W = \frac{F \times S}{2} \quad (7)$$

式中, W 为压缩功, mJ; F 为最小破裂力, N; S 为压缩位移, mm。

大豆在不同含水率、不同受力方向下的压缩功试验结果见表 1, 其不同受力方向下的压缩功均随含水率增大呈增大趋势, 含水率低于 14% 时变化不大, 但当含水率超过 14% 时压缩功增大较快, 含水率超过 17% 后压缩功几乎不再增大 (图 7)。大豆含水率从 6.84% 增大到 21.37% 时, 平压、侧压和立压时的压缩功分别由 28.14、21.05 和 17.63 mJ 增大到 33.22、24.13 和 21.43 mJ。

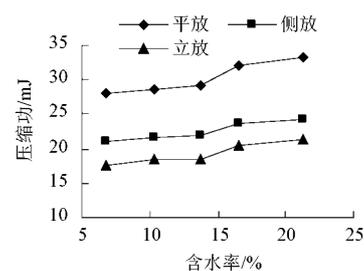


图 7 压缩功与含水率的关系

Fig.7 Relation between compression work and moisture content

分析原因认为, 含水率较高时大豆因弹性模量较小, 呈现出更好弹性, 受压时能发生较大弹性变形, 因此压缩过程中能够吸收更多能量, 压缩功较大; 随含水率降低, 籽粒逐渐表现为脆性占主导, 受压过程中因弹性形变小, 吸收能量能力降低。用 Matlab 软件拟合平压、侧压和立压时大豆破裂过程中压缩功与含水率之间关系式

$$W_p = 16.5418 + 0.1089X + 0.0059X^2 \quad (8)$$

$$W_c = 19.6556 + 0.1699X + 0.0022X^2 \quad (9)$$

$$W_l = 27.0110 + 0.0563X + 0.0115X^2 \quad (10)$$

式中: W_p 、 W_c 、 W_l 为平压、侧压、立压时的压缩功, mJ。

由式 (8)、(9)、(10) 可知, 压缩功和大豆含水率之间的关系近似为二次函数, 3 种受力方向中, 平压、侧压和立压时的相关系数分别为 $R^2=0.9160$ 、 $R^2=0.9329$ 和 $R^2=0.9273$ 。

3 结 论

通过大豆静压试验与结果分析, 探明了不同含水率下大豆不同方向静压机械特性及其变化规律, 建立了大豆破裂强度、弹性模量和压缩功于含水率之间的函数关系, 具体结论如下:

1) 不同含水率大豆静压后的机械损伤形式有一定差异, 大豆受侧压和立压最初损伤均表现为子叶开裂; 当含水率低于 17% 时, 大豆正压时的损伤以子叶断裂为主, 当含水率高于 21.7% 时的损伤以塑性变形为主, 含水率在 17%~21.7% 时, 2 种损伤均有发生。

2) 大豆 3 个方向的破裂强度和弹性模量均随含水率的提高而下降, 而后者下降较快, 表明大豆硬度、破裂强度提高的同时, 脆性增大且容易出现破裂; 相同含水率下, 大豆破裂强度和弹性模量排序为平压>侧压>立压。含水率 6.84%、平压时大豆破裂强度最大, 含水率 21.37%、立压时最小, 二者分别为 100.50 和 37.59 N; 含水率为 6.84%、平压时大豆弹性模量最大, 含水率为 21.37%、立压时最小, 二者分别为 514.02 和 62.63 MPa。

3) 当含水率低于 14% 时, 大豆最小压缩功随含水率变化不大, 但当含水率超过 14% 时增大较快, 含水率超过 17% 后压缩功几乎不再增大; 相同含水率大豆压缩功排序为平压>侧压>立压。大豆含水率从 6.84% 增大到 21.37% 时, 平压、侧压和立压时的压缩功分别由 28.14、21.05 和 17.63 mJ 增大到 33.22、24.13 和 21.43 mJ。

4) 从减轻大豆机械损伤的理论考虑, 大豆脱粒时脱粒部件对豆粒的作用力、输送部件的挤压力以及卸料时大豆自身的冲击力等均应低于大豆 3 方向的最小破裂强度; 大豆含水率低时, 虽然破裂强度提高, 但豆粒表现为脆性而容易破裂损伤, 所以大豆脱粒时豆粒的最佳含水率约为 17%, 此时大豆压缩功最大, 大豆脱粒时的机械损伤最小。

[参 考 文 献]

- [1] 夏剑秋, 江连洲, 王喜泉, 等. 国内外大豆加工业生产现状与发展趋势[J]. 中国油脂, 2003, 28(9): 8—15.
- [2] 司伟. 中国大豆生产成本与收益分析及展望[J]. 大豆科技, 2008(5): 1—4.
- [3] 高连兴, 邵志刚, 焦维鹏, 等. 斗式提升机输送大豆的机械损伤特征与机理[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 1): 26—32.
- [4] 牛元民. 浅谈大豆机械收割减少破碎技术[J]. 大豆科技, 2008(5): 28—29.
- [5] 邵志刚. 大豆输送损伤机理与典型输送设备研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [6] 张建东. 大豆脱粒损伤及植株机械特性研究与双滚筒脱粒装置设计[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [7] 焦维鹏. 典型大豆力学特性研究与组合式滚筒脱粒装置设计[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [8] 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.
- [9] 高连兴, 李晓峰, 接鑫, 等. 大豆机械脱粒损伤特征及损伤率研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(1): 55—58.
- [10] 闫兴军, 商卓. 大豆机械化收获关键技术的研究[J]. 农村牧区机械化, 2005(1): 30—31.
- [11] Shreekanth R. Parde, Rameshwar T. Kausal, Digvir S. Jayas et al. Mechanical damage to soybean seed during processing[J]. Stored Products Research, 2002, 38: 385—394.
- [12] 刘传云, 张强, 毛志怀. 大豆表现接触弹性模量的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2007(10): 12—14.
- [13] 刘志云, 温吉华. 大豆弹性模量的测量与研究[J]. 粮食储藏, 2010(3): 27—30.
- Xia Jianqiu, Jiang Lianzhou, Wang Xiquan, et al. Present situation and developing trend of soybean processing in domestic and overseas[J]. China Oils and Fats, 2003, 28(9): 8—15. (in Chinese with English abstract)
- Gao Lianxing, Shao Zhigang, Jiao Weipeng, et al. Soybean mechanical damage characteristic sand mech transportation by bucket elevator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(Suppl 1): 26—32. (in Chinese with English abstract)
- Niu Yuanmin. Technology for reducing breaking rate during soybean mechanical harvesting[J]. Soybean science and Technology, 2008(5): 28—29. (in Chinese with English abstract)
- 邵志刚. 大豆输送损伤机理与典型输送设备研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- 张建东. 大豆脱粒损伤及植株机械特性研究与双滚筒脱粒装置设计[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- 焦维鹏. 典型大豆力学特性研究与组合式滚筒脱粒装置设计[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- 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.
- 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. (in Chinese with English abstract)
- 高连兴, 李晓峰, 接鑫, 等. 大豆机械脱粒损伤特征及损伤率研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(1): 55—58.
- Gao Lianxing, Li Xiaofeng, Jie Xin, et al. Investigation on characteristics and ratio of kernel mechanical damage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2010, 41(1): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- 闫兴军, 商卓. 大豆机械化收获关键技术的研究[J]. 农村牧区机械化, 2005(1): 30—31.
- Shreekanth R. Parde, Rameshwar T. Kausal, Digvir S. Jayas et al. Mechanical damage to soybean seed during processing[J]. Stored Products Research, 2002, 38: 385—394.
- 刘传云, 张强, 毛志怀. 大豆表现接触弹性模量的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2007(10): 12—14.
- Liu Chuanyun, Zhang Qiang, Mao Zhihui. Determination of apparent contact elastic modulus of soybean kernels[J]. Cereal and Feed Industry, 2007(10): 12—14. (in Chinese with English abstract)
- 刘志云, 温吉华. 大豆弹性模量的测量与研究[J]. 粮食储藏, 2010(3): 27—30.
- Liu Zhiyun, Wen Jihua. The measure and study on the elastic modulus of soybean[J]. Grain Storage, 2010(3): 27—30. (in Chinese with English abstract)

- [14] 马小愚, 雷得天, 赵淑红, 等. 东北地区大豆与小麦籽粒的力学—流变学性质研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 70—75.
Ma Xiaoyu, Lei Detian, Zhao Shuhong, et al. Study on the mechanical-rheological properties of soybean and wheat grain grown in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1999, 15(3): 70—75. (in Chinese with English abstract)
- [15] 马小愚, 雷得天, 刘立意, 等. 农业物料力学—流变学性质测试系统的研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 42—45.
Ma Xiaoyu, Lei Detia, Liu Liyi, et al. Research for measurement-system of mechanical-rheological properties of agricultural materials[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1996, 12(3): 42—45. (in Chinese with English abstract)
- [16] Fernando S, Mesquita C. Soybean threshing mechanism development and testing[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(3): 599—605.
- [17] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(1): 303—307. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李晓峰. 玉米与大豆种子内部机械损伤及检测方法研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010.
- [19] Fernando S, Hanna M, Mesquita C. Soybean threshing mechanism development and testing[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(3): 599—605.
- [20] Van Utrecht D, Bern C J, Rukunudin I H. Soybean mechanical damage detection[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2000, 16(2): 137—141.
- [21] 徐立章, 李耀明. 水稻谷粒冲击损伤临界速度分[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 54—57.
Xu Lizhang, Li Yaoming. Speed of impact damage on a rice kernel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 54—57. (in Chinese with English abstract)
- [22] Fernando S, Hanna M, Mesquita C. 2004.Soybean threshing mechanism development and testing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 47(3): 599—605.
- [23] Altuntas, Mehmet Yildiz. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78: 174—178.
- [24] 王彩云. 大豆平衡含水率的试验研究[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(3): 60—62.
Wang Caiyun. Experiment on equilibrium moisture content of soybean[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1999, 14(3): 60—62. (in Chinese with English abstract)
- [25] 高连兴, 李飞, 张新伟, 等. 含水率对种子玉米脱粒性能的影响机理[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 92—96, 42.
Gao Lianxing, Li Fei, Zhang Xinwei, et al. Mechanism of moisture content affect on corn seed threshing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 92—96, 42. (in Chinese with English abstract)

Effect of moisture content on mechanical properties of soybean seed under static pressure

Gao Lianxing, Jiao Weipeng, Yang Dexu, Shao Zhigang, Zhao Xueguan, Liu Dejun*

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to explore major mechanical properties soybean seed under different moisture content and disclose the damage mechanism of soybean seed during threshing and transporting, Shennong-12 soybean was selected as test materials, major mechanical properties such as different forms of damage, elastic modulus, rupture strength and compression work for test index, the static compression test were carried out by means of universal bio-material tester with five levels of moisture content ranging from 6.84% to 21.37% and three kinds of stress direction. The relationship between moisture content and elastic modulus, moisture content and rupture strength, moisture content and compression work were researched. The results have important significance to well improvement structure and technology parameters of thresher and transporter of soybean seeds.

Key words: seed, moisture, mechanical properties, compression test