

亚麻籽剪切力学性能试验

Experiment on shearing mechanical properties of flaxseed

丁进锋 赵凤敏 曹有福 张小燕 李树君

DING Jin-feng ZHAO Feng-min CAO You-fu ZHANG Xiao-yan LI Shu-jun

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

摘要:对亚麻籽进行干燥处理,采用食物物性分析仪研究含水率、加载速率对亚麻籽剪切力学的影响。结果表明:建立干燥时间与含水率关系曲线,亚麻籽最大剪切力在 10.465~12.692 N,剪切功在 2.277~3.677 mJ,同一加载速率下,不同含水率亚麻籽的剪切力和剪切功存在差异。方差分析表明含水率对剪切力和剪切功影响显著($P<0.05$),加载速率对剪切力和剪切功影响不显著($P>0.05$)。

关键词:亚麻籽;剪切;力学性能

Abstract: In order to get the shear mechanical properties of flaxseed, the Texture Analyzer was used to study the shear properties of flaxseed. First flaxseeds were dried, and then the effect of moisture content and loading rate on shear mechanical properties was studied. The results showed the curve of drying time and moisture content was established. The maximum shear force of flaxseed was between 10.43 N and 12.55 N, and the shear power was 2.277 mJ to 3.677 mJ. Under the same loading rate, shear force and shear power of flaxseed with different moisture content had a difference. The analysis of variance show that the moisture content has a significant impact on the maximum shear force and the shear power ($P<0.05$). And the loading rate does not indicate a significant impact ($P>0.05$).

Keywords: flaxseed; shear; mechanical properties

亚麻籽呈扁平椭圆形,其壳坚硬厚实且光滑,与亚麻仁结合非常紧密,壳、仁所占比例相当,很难分离。目前中国对银杏种核、核桃、蓖麻蒴果、番茄等力学特性的研究较多^[1-4],但对亚麻籽力学特性的研究尚未见报道。虽然中国已研制了一些亚麻籽脱壳机械,但多处于实验室阶段,均采用碰撞、剪切等方式脱壳^[5-7],脱壳效率低,破碎率较高,原

料损失大,远不能满足亚麻籽深加工发展的需要。探明亚麻籽的力学特性是研究亚麻籽脱壳设备的关键。因此本研究拟采用剪切方式研究亚麻籽力学特性,利用食物物性分析仪对亚麻籽进行剪切试验,测定不同含水率和不同加载速率条件下的剪切力和最大剪切力做功,探讨其对亚麻籽剪切力学性能的影响,旨在为亚麻籽脱壳设备的开发提供合理的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

亚麻籽:购于内蒙古地区,经过 1 mm×4 mm 长孔筛网,剔除籽粒不饱满、尺寸小的亚麻籽,同时剔除杂质及破裂的亚麻籽。

1.2 试验仪器设备

电热鼓风干燥箱:101-IEBS 型,北京永光明医疗仪器厂;
电子天平:TB-214 型,赛多利斯科学仪器北京有限公司;

食物物性分析仪:TMS-PRO 型,美国 Food Technology Corporation 公司。

1.3 试验方法

进行剪切试验前,先对亚麻籽进行干燥处理,于 105 ℃干燥箱内干燥 0.5, 10, 20, 30, 60, 120 min,得到不同水分含量的亚麻籽样品。亚麻籽水分含量测定采用 GB 5009.3—2010 方法进行。

进行剪切试验时,选取 25 N 传感器,剪切装置为长 60 mm、宽 40 mm、厚 0.5 mm 的长方体钢制剪切刀片,起始力为 0.1 N,将单粒亚麻籽水平放置在食物物性分析仪的剪切承压面上,使亚麻籽与剪切刀片保持垂直,如图 1 所示,分别选取 20, 50, 100 mm/min 3 种加载速率施加载荷,得到力—位移曲线,并记录最大剪切力及其所做功。

2 结果与分析

2.1 干燥时间对含水率的影响

干燥时间对亚麻籽含水率的影响见图 2。亚麻籽初始含

基金项目:国家国际科技合作项目(编号:2012DFA31250)

作者简介:丁进锋,男,中国农业机械化科学研究院工程师,博士在读。

通讯作者:李树君(1962—),男,中国农业机械化科学研究院研究员,博士。E-mail: lisj@caams.org.cn

收稿日期:2016—04—02

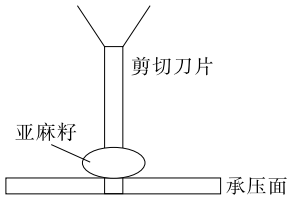


图1 亚麻籽剪切示意图

Figure 1 Test device of shear for flaxseed

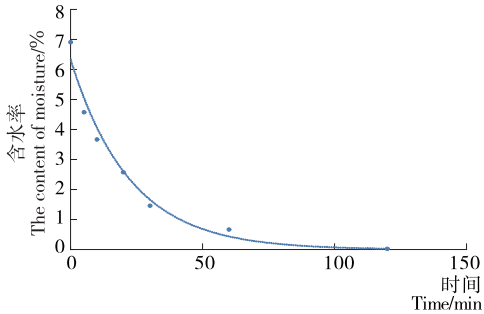


图2 干燥时间对亚麻籽水分含量的影响

Figure 2 Effect of drying time on the moisture content of flaxseed

水量为6.90%，随着干燥时间的增加，亚麻籽含水率呈现逐渐下降至稳定的趋势。在前30 min内，亚麻籽含水率下降较快，之后含水率下降逐步平稳，即亚麻籽含水率不再随干燥时间的延长而发生较大的变化。

2.2 亚麻籽剪切过程中的变化

含水率对亚麻籽的力学性能影响较大，当含水率较高时，亚麻籽特性类似于塑料，柔韧性较好，不易断裂；当含水率较小时，其特性接近于脆性材质，柔韧性变差，脆性增强，易断裂。由图3可知，含水率为6.90%和4.57%的亚麻籽变形量较大，当达到最大剪切力后，再继续加载作用下剪切力瞬间降低，表明此时亚麻籽发生断裂，此后剪切力增加，是由于水分含量高，并且亚麻籽中含有丰富的蛋白，表现出较好韧性，未完全断开，在剪切刀具持续加载下，亚麻籽两侧向中心凸起并与承压面切口发出挤压现象；含水率为3.70%和2.57%的亚麻籽的变形量相对于高含水率(6.90%，4.57%)亚麻籽的变形量较小，当到最大剪切力时发生断裂，剪切力瞬间降低，但此后剪切力增加，表明亚麻籽未完全断裂，但其

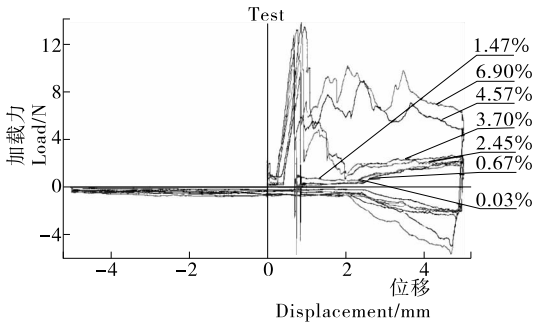


图3 不同含水率亚麻籽在50 mm/min加载速率下的力—位移曲线

Figure 3 The curve of shear force and displacement of flaxseed with the different moisture content under the loading rate of 50 mm/min

表现出较差的韧性和较好的脆性特征，持续加载剪切力下降不再变化，表明亚麻籽完全断裂。当含水率低于1.50%时，亚麻籽的变形量最小，表现出良好的脆性，在剪切刀具持续加载作用下，最大剪切力后瞬间降低，并不再增加，说明亚麻籽在最大剪切力下已完全发生断裂。

由表1可知，亚麻籽最大剪切力均值在10.465~12.692 N，随着含水率的减小，亚麻籽的最大剪切力有减小的趋势。含水率对亚麻籽的最大剪切力影响较大，在同一加载速率下，亚麻籽最大剪切力也存在显著差异，含水率分别为0.67%和0.03%的亚麻籽的最大剪切力与其他含水率的相比显著变小($P<0.05$)。亚麻籽含水率越低，其韧性越小，脆性越大，更容易断裂，加之亚麻籽形状较小，所用剪切力也会越小。因此含水率对亚麻籽最大剪切力影响较大，含水率越低，则亚麻籽在脱壳过程中越易破碎，从而造成高破碎率；含水率高，则会影响亚麻籽脱壳效率。

剪切功可定义为剪切力达到最大剪切力过程中剪切曲线与坐标轴之间的面积^[8]。由表1可知，不同含水率亚麻籽的最大剪切力所做功在2.277~3.677 mJ，同样随着含水率的减小，剪切功有减小的趋势，存在着显著性差异($P<0.05$)。

对不同含水率亚麻籽的最大剪切力及其所做功进行单因素方差分析，结果见表2、3。在同一加载速率下，含水率对

表1 不同含水率亚麻籽最大剪切力及其所做功[†]

Table 1 The average maximum shear force and shear power with different moisture content

含水率/ %	20 mm/min		50 mm/min		100 mm/min	
	最大剪切 力/N	最大剪切力 所做功/mJ	最大剪切 力/N	最大剪切力 所做功/mJ	最大剪切 力/N	最大剪切力 所做功/mJ
6.90	12.692 ^a	3.677 ^a	12.493 ^a	3.445 ^a	12.526 ^a	3.305 ^a
4.57	12.511 ^{ab}	3.578 ^a	12.183 ^a	3.247 ^a	12.074 ^{ab}	3.035 ^a
3.70	12.468 ^{abc}	3.453 ^{ab}	12.093 ^a	3.230 ^a	12.297 ^{ab}	3.258 ^a
2.57	11.697 ^c	3.000 ^b	12.006 ^a	3.071 ^a	11.733 ^b	2.847 ^b
1.47	11.896 ^{bc}	2.803 ^b	11.740 ^a	2.812 ^b	11.813 ^b	2.654 ^b
0.67	10.518 ^d	2.428 ^c	10.839 ^c	2.550 ^b	10.628 ^c	2.349 ^c
0.03	10.465 ^d	2.402 ^c	10.747 ^c	2.549 ^b	10.583 ^c	2.277 ^c

† 同列中标注不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

表 2 不同含水率亚麻籽中同一加载速率下最大剪切力的方差分析[†]

Table 2 Analysis of variance to shear force of different moisture content

加载速率/ (mm·min ⁻¹)	差异源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	P 值
20	组间	48.330 7	6	8.055 116	11.221 940	1.75E—08
	组内	45.221 45	63	0.717 801		
	总计	93.552 15	69			
50	组间	27.563 93	6	4.593 989	8.127 162	1.61E—06
	组内	35.611 61	63	0.565 264		
	总计	63.175 54	69			
100	组间	35.806 46	6	5.967 744	9.558 390	1.85E—07
	组内	39.333 80	63	0.624 346		
	总计	75.140 26	69			

[†] *F* 值的临界值为 2.246 408,*F* 值大于临界值表示有显著性差异。

表 3 不同含水率亚麻籽中同一加载速率下最大剪切力所做功的方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance to shear power of different moisture content

加载速率/ (mm·min ⁻¹)	差异源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	P 值
20	组间	17.046 070	6	2.841 012	14.271 990	3.42E—10
	组内	12.540 910	63	0.199 062		
	总计	25.586 980	69			
50	组间	7.569 034	6	1.261 506	7.611 368	3.65E—06
	组内	10.441 600	63	0.165 740		
	总计	18.010 630	69			
100	组间	9.008 454	6	1.501 409	10.230 670	6.98E—08
	组内	9.245 610	63	0.146 756		
	总计	18.254 060	69			

[†] *F* 值的临界值为 2.246 408,*F* 值大于临界值表示有显著性差异。

亚麻籽的最大剪切力及其所做功的影响差异显著($P<0.05$),表明含水率对亚麻籽剪切力和剪切功有显著影响。然而在同一含水率条件下,不同加载速率对亚麻籽最大剪切力及其所做功无显著性影响($P>0.05$)。

3 结论

以亚麻籽为原料,利用食物物性分析仪研究了不同含水率和不同加载速率对亚麻籽剪切力和最大剪切力所做功的影响。结果表明在同一加载速率下,含水率对亚麻籽的最大剪切力及其所做功的影响显著($P<0.05$),而加载速率对亚麻籽的最大剪切力及其所做功的影响不显著($P>0.05$)。本试验对亚麻籽剪切力学特性参数空白进行了补充,也为开发亚麻籽脱壳设备提供了参考依据,但本试验仅对亚麻籽剪切力学特性进行了研究,未对亚麻籽压缩和拉伸特性进行研究,因此应进一步对亚麻籽力学特性进行全面研究,并对其进行有限元分析,研究亚麻籽内部的微观力学性质。

参考文献

[1] 王新忠,王敏.银杏种核力学特性试验[J].农业机械学报,2008,39(8):85-88.

[2] 何义川,史建新.核桃壳力学特性分析与试验[J].新疆农业大学学报,2009,32(6):70-75.

[3] 曹玉华,李长友,卿艳梅,等.蓖麻蒴果剥壳力学特性的试验[J].江苏大学学报:自然科学版,2009,30(5):446-449.

[4] 吕胜权,吴杰,冯哲.加工番茄静压内部应力的有限元分析[J].食品与机械,2013,29(5):3-5,36.

[5] 李群,胡晓军,梁霞,等.亚麻籽脱皮分离方法及设备:中国,CN1883808A[P].2006-12-27.

[6] 邓占国,邓亚东,张兴.一种亚麻籽脱皮分离装置:中国,CN201959823U[P].2011-09-07.

[7] 吴雪弘,王源浩.一种亚麻籽脱皮分离装置:中国,CN202823460U[P].2013-03-27.

[8] 徐金东,李云波,赵思明.粳米凝胶的压缩与剪切特性研究[J].中国农学通报,2007,23(5):109-114.