



黄志辉, 许方雷, 李昌珠, 等. 蓖麻籽不同状态不同压榨方式下压缩比与轴向应力关系的研究[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(1): 101-105.

蓖麻籽不同状态不同压榨方式下压缩比与轴向应力关系的研究

黄志辉¹, 许方雷¹, 李昌珠², 刘汝宽²

(1 中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083; 2 湖南省林业科学院, 湖南长沙 410004)

摘要:【目的】研究蓖麻籽在不同状态不同压榨方式下压缩比-轴向应力关系。【方法】进行了完整蓖麻籽与碾碎后的蓖麻籽在不同的压榨方式、不同的压榨速率下的冷榨试验;采用川北方程建立了双曲线型压缩比-轴向应力关系模型,并依据试验结果,应用最小二乘法求得该模型的待定参数。【结果和结论】蓖麻籽碾碎后压榨在相同的条件下所达到的等价压缩比和完整籽基本一致,但实际压缩比比完整籽小得多;多次压榨在相同的条件下比单次压榨可以达到更大的压缩比;模拟值与实测值的对比和误差分析表明,模拟值与实测值比较吻合。

关键词:蓖麻籽;压榨方式;压缩比;轴向应力

中图分类号:TH-39

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2015)01-0101-05

Researchs of the relationship between compression ration and axial stress of castor seeds of different states in different squeeze ways

HUANG Zhihui¹, XU Fanglei¹, LI Changzhu², LIU Rukuan²

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2 Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China)

Abstract:【Objective】To study the relationship of compression ratio between axial stress and castor seeds in different states with different squeeze methods. 【Method】Cold pressing tests of complete and crushed castor seeds were accomplished in different squeeze ways with different squeeze rates. Hyperbolic compression relationship model between ratio and stress was developed on the basis of the Kawakita's equations. The parameters of the model were determined by the least square method according to the tested results. 【Result and conclusion】The results showed that crushed castor seeds achieved an equivalent compression ratio consistent with complete ones, while the actual compression ratio was much smaller than that of the complete seeds. Pressing repeatedly under the same conditions can achieve a greater compression ratio than that of a single press. Simulated values and measured values matched well by comparison of values and their error analysis.

Key words: castor seed; squeeze way; compression ratio; axial stress

植物油料在冷态压榨过程中压缩比-轴向应力比的增大,应力也不断的增大,且压缩比-轴向应力关系是冷榨试验与理论研究的重要内容,随着压缩关系是非线性关系。Mrema等^[1]对油料机械压榨的

收稿日期:2013-11-18 优先出版时间:2014-12-02

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.7671/j.issn.1001-411X.2015.01.019.html>

作者简介:黄志辉(1952—),男,教授, E-mail: zhhuang@mail.csu.edu.cn; 通信作者:许方雷(1988—),男,硕士, E-mail: 841469575@qq.com

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201304608),国家科技支撑计划(2011BAD22B04)

三步假设推导出,线性加载与恒量加载在任意时刻、饼粕在任意高度时的压力模型.游燕等^[2]基于人工神经网络的预测模型预测了菜籽、菜籽仁、花生、大豆等油料作物的应力-压缩比关系曲线,Zheng等^[3-4]基于固液耦合渗流场建立油料作物压榨模型,并预测了油料作物在恒量加载的情况下,压榨时间与位移的关系曲线.棉籽、蓖麻籽、菜籽等油料作物的应力-应变关系、应力-压缩比关系的相关研究表明压榨速率越大,压缩比越小,轴向应力越大^[5-8].但油料作物在不同状态不同压榨方式下的压缩比-轴向应力关系目前鲜见报道.

本文通过单轴压榨研究蓖麻籽在不同状态不同压榨方式下压缩比与轴向应力的关系.应用川北方程建立双曲线型压缩比-轴向应力关系模型,通过比较蓖麻籽在不同状态、不同压榨方式下的压缩比-轴向应力关系,探讨蓖麻籽何种状态、何种压榨方式、何种压榨速度下达到更大的压缩比需最小的轴向应力.

1 材料与方 法

1.1 试验材料和仪器

试验采用湖南省林业科学院培育的“湘蓖一号”蓖麻籽,中南大学机电工程学院蓖麻课题组自行研制的内径为39 mm的单轴压榨试验装置和济南凯锐机械设备有限公司制造的微机控制电子万能试验机加载装置.

1.2 试验方法

试验选择了20、35、50 mm·min⁻¹3种不同的压榨速率,采用速度控制加载方式探讨速率对压缩比-轴向应力关系的影响.为了探讨蓖麻籽在不同状态(完整与碾碎)和单次与多次压榨对压缩比-轴向应力关系的影响,试验选择了完整蓖麻籽和碾碎后的蓖麻籽分别进行单次与多次压榨.每次试验取蓖麻籽45 g,分别装入压榨室,将试验装置放在万能试验机上,利用材料试验机上的加载装置对试验装置上的活塞直接加载.单次压榨是指在1个试验中,用万能试验机对单轴压榨试验装置在恒定速度下不间断的压到预设高度.多次压榨则是在1个试验中,用万能试验机对单轴压榨试验装置在恒定速度下压到第1个预设高度后,停止压榨,对饼粕进行搅拌松弛,然后第2次进行压榨到第2个预设高度,再次停止压榨,对饼粕再次进行搅拌松弛,依次下去,进行到最后一个预设高度.单次压榨的数据是从万能试验机刚接触到单轴压榨试验装置的活塞时,开始采集应力-应变数据,通过采集到的应力-应变数据

和初始高度计算压缩比-轴向应力数据.多次压榨第1次压榨跟单次压榨一样采集数据,第2次压榨从压到第1次预设高度后开始采集数据,第3次从压到第2次预设高度后开始采集数据,依次类推.本次试验的分组见表1:

表1 试验组及压榨速率

Tab.1 Test groups and squeeze rates

试验分组 ¹⁾	压榨速率/(mm·min ⁻¹)
Aa, Ba	20
Aa, Ba	35
Aa, Ba, Ab, Bb	50

1) A、B 分别表示完整和碾碎后的蓖麻籽, a、b 分别表示单次和多次压榨.

相关参数^[9]计算如下:

$$p = \frac{F}{A}, \varepsilon_n = \frac{V_0}{V} = \frac{H_0}{H}, D = \frac{\rho}{\rho_\infty} = \frac{V_\infty}{V}, e = 1 - D.$$

式中, p 为压榨轴向应力(Mpa); F 为压榨压力(N); A 为油料表面面积(mm²); ε_n 为压榨压缩比; V_0 为压榨前的初始体积(mm³); V 为压榨后的体积(mm³); H 为压榨后的高度(mm); H_0 为压榨前的初始高度(mm); ρ 为颗粒集合体的密度(g·mm⁻³); ρ_∞ 为颗粒集合体在受压无穷大时的理论最大密度(g·mm⁻³); D 为饼粕的相对密度(g·mm⁻³); V_∞ 为颗粒集合体在受压无穷大时的净体积(mm³); e 为孔隙率.

1.3 模型建立

若忽略应力-应变突变,采用 Kawakita 方程建立蓖麻籽在不同状态下压缩比-应力模型. Kawakita 方程^[11]的形式为:

$$\frac{p}{C} = \frac{p}{a} + \frac{1}{ab},$$

式中, p 为压榨轴向应力(MPa); a 、 b 为待定参数, C 为体积压缩率.

体积压缩率 C ^[9] 定义为:

$$C = \frac{V_0 - V}{V_0},$$

式中, V_0 表示压榨前的初始体积(mm³); V 表示压榨后的体积(mm³).

根据上述方程,当时 $p \rightarrow \infty$, 可得

$$a = C_\infty = \frac{V_0 - V_\infty}{V_0} = 1 - D_0 = e_0,$$

式中, $D_0 = \frac{V_\infty}{V_0}$ 为初始相对密度.

根据川北^[10]的定义及上述方程,当施加压力时, a 为集合体的初始孔隙率^[9], 即 $a = 1 - D_0$.

根据 ϵ_n, C 将 Kawakita 方程转化为压缩比和轴向应力关系表达式,即:

$$p = \frac{\epsilon_n - 1}{b + b\epsilon_n(a - 1)}$$

2 结果与分析

2.1 压轴比 - 轴向应力试验

完整蓖麻籽单次压榨压缩比 - 轴向应力试验结果(图 1a)表明,蓖麻籽的压缩比 - 轴向应力关系是非线性变化,并且存在突变. 压缩比 - 轴向应力突表现为油料颗粒的屈服与破碎蓖麻籽散体层中存在大量孔隙,壳仁间也存在空隙. 当油料外皮壳破碎后,颗粒强度减小,产生压缩比 - 轴向应力突变^[5]. 压力在一定的情况下,压榨速率对压缩比 - 轴向应力关系有很大影响,速率越大,破碎应力越大,突变越小^[5-6]. 由图 1a 也可以看出当压缩比达到比较大

时,应力增长得比较快,压缩比 - 轴向应力曲线比较陡. 这时表明压缩比接近临界状态,不可再压缩.

与完整蓖麻籽压榨相比,碾碎后压榨在相同的压力下,达到的压缩比小得多,而且在各压榨速率下压缩比 - 轴向应力关系曲线发生的突变比较小,基本上没有明显的突变现象(图 1b). 这主要是因为碾碎后压榨时,散体之间的孔隙变小了,皮壳与内仁所受的压力比较均匀,在同一条件下,碾碎后压榨所能达到的压缩比比完整籽压榨小,其主要原因是一定质量的蓖麻籽碾碎后的体积比碾碎前小,根据密度公式可知其颗粒集合体密度变大,再根据孔隙率公式得出碾碎后的颗粒集合体的孔隙率变小,可压缩性变小^[11]. 经测定,蓖麻籽碾碎后装入压榨筒内的体积是未碾碎前的 0.60 倍,也就是说蓖麻籽碾碎后相当于压缩比达到了 1.67.

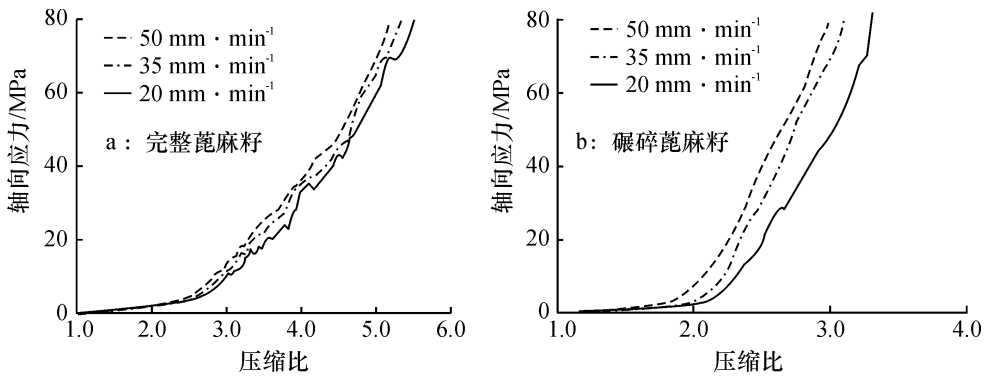


图1 蓖麻籽完整和碾碎后单次压榨压缩比与轴向应力关系

Fig. 1 The relationship between compression ratio and axial stress of complete seeds and crushed seeds in a single squeeze way

与单次压榨相比,多次压榨在相同的压力下可以达到更大的压缩比(图 2). 其主要原因一是因为当压力达到一定值后,饼粕就开始形成自身特有的内部抗压结构,当继续压榨时,这种结构的抗压能力越强,最终达到不可再压缩状态. 但是当开始形成时或形成后破坏其内部结构,其抗压能力减弱,此时再

压榨可以达到更大的压缩比. 二是当达到一定压缩比时,松弛再压榨,在压榨到相同压缩比时,有一部分油脂能够被挤出,使其颗粒集合体质量变小. 根据密度计算公式,在体积不变的条件下,质量减小,密度减小;根据孔隙率公式,颗粒集合体密度减小,可得出颗粒集合体的孔隙率变大,可压缩性变好^[11].

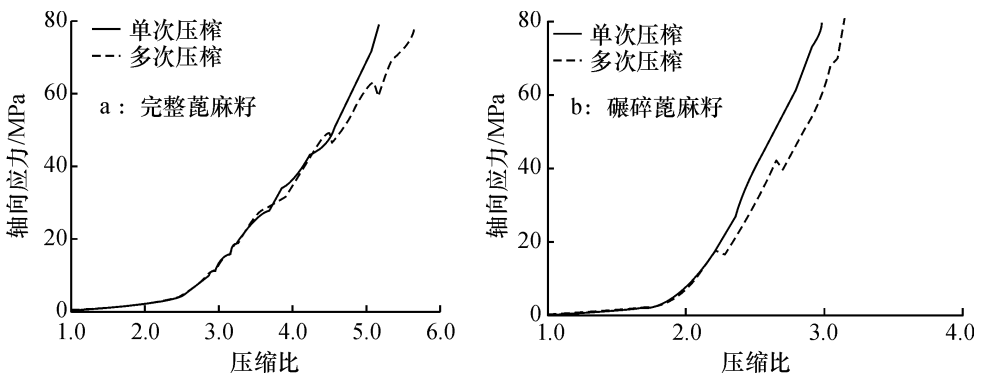


图2 蓖麻籽完整和碾碎后单次与多次压榨压缩比与轴向应力关系(压榨速率 50 mm·min⁻¹)

Fig. 2 Single squeeze compared with repeated squeeze of complete seeds and crushed seeds

2.2 蓖麻籽压缩比与轴向应力关系的数值模拟

根据图 1 可知,完整籽压榨压缩比小于 3 与碾碎压榨压缩比小于 2.2 时,压榨压力比较小,试验证明此时出油比较少,研究价值不大. 根据以上分析,完整籽压榨选择压缩比大于 3,碾碎压榨选择压缩比大于 2.2 进行分析. 根据试验结果应用最小二乘法求得蓖麻籽在不同状态下模型参数 a 、 b 值,结果见表 2.

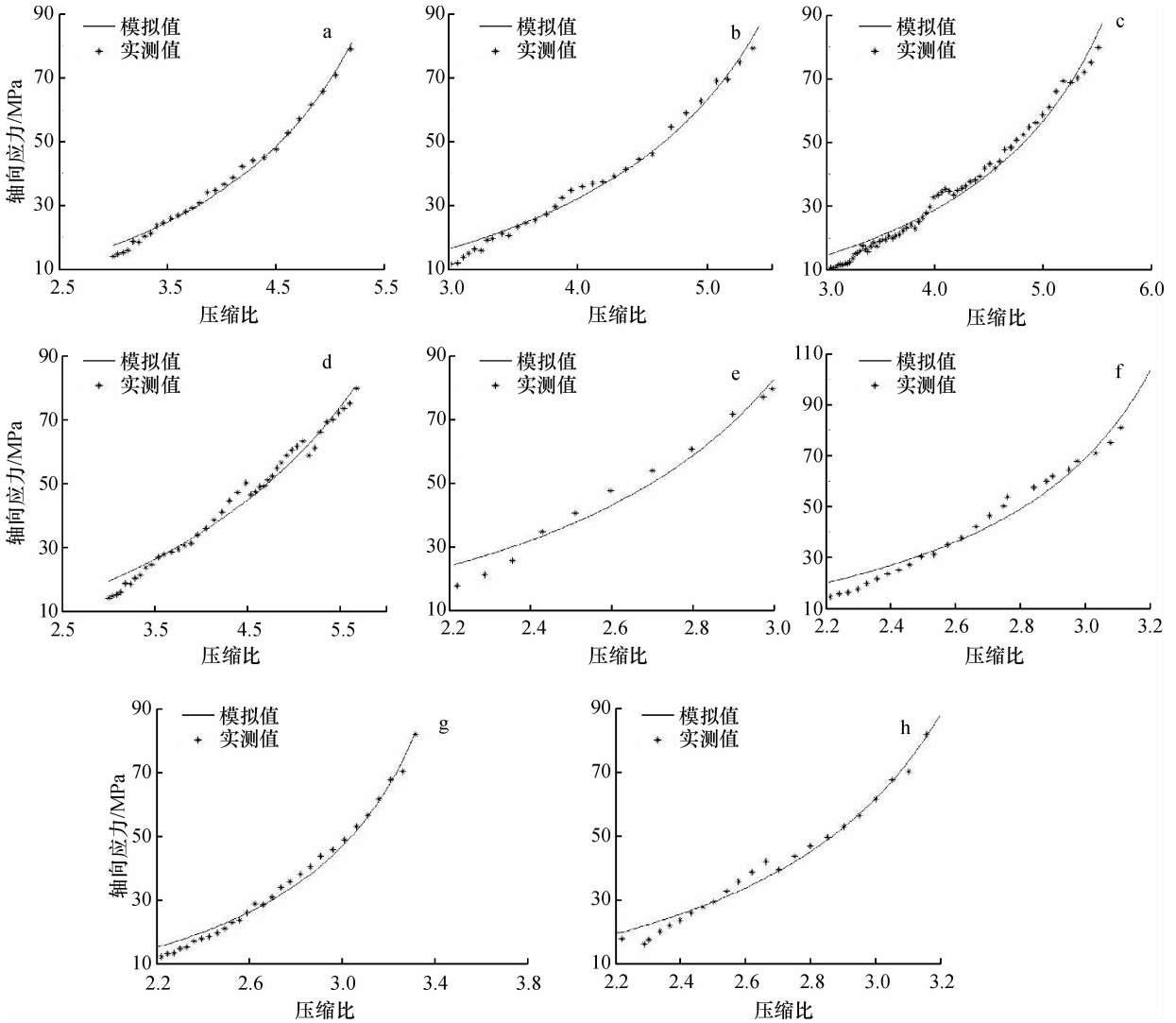
应用双曲线型应力-应变模型模拟蓖麻籽冷榨压缩比-轴向应力关系,结果见图 3. 由图可知,采用川北方程建立的压缩比-轴向应力关系曲线与实测

值比较吻合. 但由于蓖麻籽压榨过程中存在突变或其他原因导致模拟值与实测值还是有一定误差.

表 2 压缩比-轴向应力参数

Tab.2 Compression ratio - axial stress parameters

压榨速率/ (mm·min ⁻¹)	完整蓖麻籽		碾碎蓖麻籽	
	a	b	a	b
20(单次)	0.859 1	0.238 6	0.745 0	0.182 8
35(单次)	0.858 5	0.216 4	0.733 4	0.144 7
50(单次)	0.856 8	0.203 2	0.732 8	0.122 2
50(多次)	0.888 6	0.156 7	0.741 3	0.145 4



a,b,c:完整蓖麻籽单次压榨速率分别为 50、35 和 20 mm·mm⁻¹;d:完整蓖麻籽多次压榨速率为 50 mm·mm⁻¹;e,f,g:蓖麻籽碾碎后单次压榨速率分别为 50、35 和 20 mm·mm⁻¹;h:蓖麻籽碾碎后多次压榨速率为 50 mm·mm⁻¹

图 3 蓖麻籽完整和碾碎后模拟压榨压缩比与轴向应力关系曲线

Fig.3 The analogue curve of the relationship between compression ratio and axial stress of complete seeds and crushed seeds

2.3 误差分析

因残差平方和的大小不仅与模型曲线好坏有关,而且还与实测值的个数有关,对于某一模型曲线来说,实测值越多,残差平方和就越大(除实测值与模型曲线完全重合的情况).为了方便比较模型曲线的好坏程度,引入残差平方和均值和平均误差.

根据试验结果与模型模拟结果,计算得到残差标准差、残差平方和均值和平均误差.结果见表 3.

由表 3 可得,各组试验的残差标准差相差不大,均小于 5.3,残差平方和均值相差比较大(2.845 3 ~ 16.036 6),各组试验的平均误差相差不大(0.041 8 ~ 0.085 8).

表 3 蓖麻籽不同状态不同压榨方式的误差分析

Tab.3 Error analysis of castor seeds of different states in different squeeze ways

压榨速率/ (mm·min ⁻¹)	完整蓖麻籽压榨			碾碎蓖麻籽压榨		
	残差标准差	残差平方和均值	平均误差	残差标准差	残差平方和均值	平均误差
20 (单次)	5.248 3	8.793 2	0.078 2	2.102 7	4.393 7	0.053 3
35 (单次)	2.426 7	5.834 8	0.058 7	4.044 4	16.036 6	0.085 8
50 (单次)	1.700 8	2.843 2	0.041 8	4.129 5	11.593 1	0.074 7
50 (多次)	3.451 5	7.544 2	0.057 3	2.670 7	6.879 0	0.059 8

3 结论

压榨速率对蓖麻籽的压缩比 - 轴向应力关系有比较大的影响,压榨速率越大,压缩比越小,轴向应力越大.碾碎后的蓖麻籽在相同的压力下达到的实际压缩比比完整籽小得多,但等价压缩比基本一致,多次压榨在相同的条件下可以达到更大的压缩比.采用川北方程建立的双曲线型压缩比 - 轴向应力关系模型能较好描述蓖麻籽冷榨压缩比 - 轴向应力关系.蓖麻籽在不同状态不同压榨方式的压缩比 - 轴向应力关系的研究为榨油机设计提供了依据.特别是碾碎后压榨试验数据说明了蓖麻籽压榨前的预处理可以有效地减小榨膛压缩比,提高榨油机的生产效率.多次压榨试验数据为螺旋变径变螺距榨油机设计提供了依据.

参考文献:

[1] MREMA G C, McNULTY P B. Mathematical model of mechanical oil expression from oilseeds [J]. J Agr Eng Res, 1985, 31(4): 361-370.

[2] 游燕,郑晓,王经州. 基于人工神经网络的植物油料实际压缩比与临界压榨压力预测 [J]. 农产品加工(学刊), 2006(7): 18-23.

[3] ZHENG X, YOU Y, LIN G X, et al. Fluid-solid coupling seepage-based numerical simulation of mechanical oil expression from peanut [C] // Anon. Proceedings of the 2009 International conference on engineering computation.

Beijing: Beijing Society of Agricultural Engineering, 2009: 67-70.

[4] ZHENG X, YOU Y, LIN G X, et al. Numerical simulation of mechanical oil expression from sesame based on fluid-solid coupling flowing through porous media [C] // Anon. Proceedings of the 2009 International conference on engineering computation. Beijing: Beijing Society of Agricultural Engineering, 2009: 645-648.

[5] 郑晓, 林国祥, 游燕, 等. 棉籽和蓖麻籽的冷榨试验与数值模拟 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 260-264.

[6] 郑晓, 李智, 林国祥, 等. 菜籽与脱皮菜籽冷榨的应力应变关系研究 [J]. 农机化研究, 2004, 6: 187-189.

[7] 郑晓, 林国祥, 王少梅. 菜籽与菜籽仁散粒体的压榨塑性模型 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(6): 802-806

[8] 郑晓, 林国祥, 尹芳, 等. 植物油料实际压缩比计算模型与数值模拟 [J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 10-14.

[9] 葛荣德. 川北公夫粉末压制方程应用中的几个问题及方程的修正 [J]. 粉末冶金技术, 1993, 11(2): 90-94.

[10] KAWAKITA K. Some considerations on powder compression equations [J]. Powder Technol, 1971, 4(2): 61-68.

[11] 王晋, 张汝华, 杨建云, 等. 乙基纤维素粉体学性质的研究 [J]. 中国药学杂志, 2000, 35(2): 102.

[12] 郑竟成, 唐善华. 关于螺旋榨油机压缩比分析 [J]. 粮食与油脂, 2001(9): 41.

【责任编辑 霍 欢】