

苹果压缩特性的研究

李小昱 王 为

(西北农业大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 通过苹果的压缩试验,测定和分析了其力-变形曲线的特性。结果表明,压缩时的加载速率与压头型式影响生物屈服力、破裂力与变形量的大小;在一定条件和范围内,苹果硬度与压缩曲线初始区段的斜率线性显著相关,且苹果的机械损伤与其变形量有关。

关键词 苹果,硬度,压缩特性,加载速率,机械损伤

中图分类号 Q66

苹果从采摘、包装、运输、加工、贮藏到销售的各个环节,都可能出现由于相互间碰撞及与机器、工具、设备的挤压而发生的机械损伤。苹果力学性能中最基本的是压缩特性,而在苹果的各个流通环节中,压缩损伤是造成苹果机械损伤的主要原因之一,尤其在贮藏、运输中该问题更为突出。因此,研究苹果的压缩特性可为深入研究机械损伤的机理,减少损伤,评定产品品质,以及指导机具设计提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苹果品种为红富士,直径为 65.5~90.1 mm,重 120.5~220.4 g,硬度 0.5~1.05 MPa。

1.2 试验装置

试验使用农业物料试验机^[1],被试苹果在底座用一蜡盘中的熔蜡冷凝后固定。配备了力传感器和位移传感器,其信号通过动态应变仪放大后,由光线示波器或磁带机记录,数据处理由计算机完成。

1.3 试验方法

试验采用的加载压头为平顶圆柱和平板两种型式。因为平顶圆柱压头的半径应小于被试物体曲率半径的 $1/10^{[2]}$,所以确定平顶圆柱压头的直径为 6 mm,与果实硬度计的标准压头相同。有文献^[3~5]报道,加载速率一般应为 1~5 cm/min 或 2.5~33 cm/min,所以本试验选取加载速率为 2~32 cm/min。

整个压缩试验由以下几部分组成:

1) 采用硬度相同的苹果,分别用平顶圆柱与平板压头作不同加载速率试验,其加载速率为 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 32 cm/min。

2) 采用硬度为 0.50~1.05 MPa 的苹果,用平顶圆柱压头,其加载速率为 6 cm/min。

收稿日期 1997-09-01

课题来源 陕西省自然科学基金资助项目

作者简介 李小昱,女,1953年生,副教授

3)采用硬度相同的苹果,用平板压头沿苹果赤道方向作不同加载速率试验。其加载速率为 $2 \sim 16 \text{ cm/min}$ 。

苹果硬度的测定用 GY-1型果实硬度计,以苹果赤道上 6 个点的平均值表示。用显微镜观察其压缩后的微观结构。

2 结果与分析

2.1 压缩时的力-变形曲线

图 1 为苹果用不同压头压缩时的力-变形曲线。由图 1 可以看出,用平顶圆柱压头时,加载的初始区段压力随变形的增加而近似呈线性关系。当压力达 F_s 时,出现第一个峰值点 S ,称之为生物屈服点。压力小于 F_s 时的负载不会使苹果产生损伤。当压力达 F_s 时,苹果的果肉细胞开始出现微观结构的破坏。在显微镜下观察,发现部分细胞发生变形。继续增加压力,压缩进入塑性变形过程,产生永久性的变形和损伤。当压力达到 F_B 时,出现第二个峰值点 B ,这时苹果果皮破裂,点 B 称为破裂点,破裂点对应于宏观结构的破坏。这时细胞发生滑移、变形和破裂,细胞液发生明显的粘滞流动。

当采用平板压头时,力与变形的关系是非线性的,并无生物屈服点出现,达到破裂点后苹果便被破坏。且平板压缩时其破坏载荷及所对应的变形值较平顶圆柱压头大得多。

苹果的生物屈服力与破裂力是压缩特性中的重要特性参数,可为贮藏运输、品质评价、机具设计等提供依据。

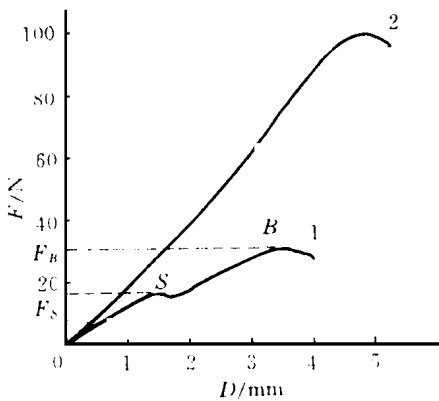


图 1 采用不同压头时的压缩曲线
(加载速率 6 cm/min)

1. 平顶圆柱; 2. 平板

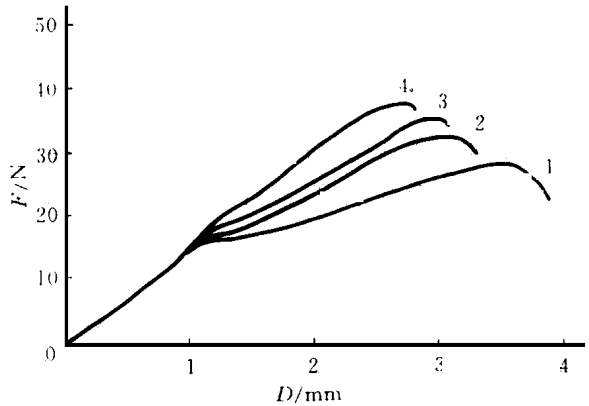


图 2 平顶圆柱压头在不同加载速率下的压缩曲线

1. 6 cm/min ; 2. 8 cm/min ; 3. 10 cm/min ; 4. 12 cm/min

2.2 不同加载速率对力-变形曲线的影响

具有粘弹性的苹果有较明显的流变特性,其压缩试验结果必然受加载速率的影响。图 2 为当苹果硬度相同时,用平顶圆柱压头在不同加载速率下所做的力-变形曲线。由试验数据和试验曲线可知,当加载速率在 $2 \sim 32 \text{ cm/min}$ 变化时,压缩曲线初始区段的斜率基本上不受加载速率的影响。理论上认为,在较小载荷作用下,苹果在较大程度上具有弹性或线性粘弹性^[6]。当载荷接近生物屈服点时,压缩曲线产生分离。那么利用压缩曲线初始区段的直线斜率 F/D 来建立与苹果硬度的关系是可行的,这样可无损测定苹果的硬度。

当用平板加载时,其压缩曲线的初始区段并不重合,这是因为在加载过程中平板与苹果的接触面积是不断变化的,使应力与应变也随之变化,从而影响其压缩曲线的形状与特性。同时,在两种压头的试验中,随着加载速率的增大,破坏极限均同样增大,变形量却相应减小。

2.3 同一加载速率下苹果硬度 H 与 F/D 之间的关系

农业物料的力和变形关系一般是随加载速率变化的,在加载的初始区段其斜率重合也仅发生在一定加载速率范围内。据前述试验结果,试验 2 选取加载速率为 6 cm/min ,由试验所得不同硬度苹果的压缩曲线如图 3 所示。显然,曲线的初始区段为线性的,且由于硬度不同,而斜率不同。根据试验数据,其回归方程及显著性检验如下:

$$H = 1.742 + 0.3007 F/D$$

式中: H 为苹果硬度 (Pa); F/D 为压缩曲线初始区段力与变形的比值 (N/mm)。

$F_{0.05}(1, 5) = 5.99$

$F_{0.01}(1, 5) = 13.74$

$F = 65.243^*$

$r_{0.05}(5) = 0.754$

$r_{0.01}(5) = 0.874$

$r = 0.964^*$

结果表明,苹果的硬度 H 与其压缩初始区段力与变形的比值 F/D 有着极显著的线性相关关系。那么,在生产实际中可用该法无损地测定苹果的硬度。

2.4 苹果压缩损伤的机理

Schoorl 等^[7]提出苹果损伤的能量原理认为,苹果的损伤体积与其所吸收的能量成正比。在苹果的贮运过程中,其经常受到挤压、碰撞而有能量向苹果传递。一般来说,其损伤体积的大小随所吸收能量的增加而增加。但 Holt^[8]发现吸收同样的能量,缓慢加载造成苹果损伤比冲击载荷更为严重。而从平板压缩苹果的试验 3 中得知,即使不是冲击速率,较低加载速率与较高加载速率相比同样会发生上述情况。试验结果表明,当采用相同硬度的苹果,随着加载速率的增大,其破裂力增大,而变形量却相应减小(见图 4),但其破裂能相等,即图中两曲线下的面积相等。根据能量原理,破裂能相等则损伤体积应该是一致的。而据试验数据知,随着加载速率的减小,对应的损伤体积有增大的趋势。这是因为较低加载速率所对应的最终变形大于较高加载速率所对应的最终变形。那么这表明了在一定加载速率范围内,苹果的压缩损伤与其变形量是有直接关系的。这符合 Segerlind^[9]所提出的临界应变理论。

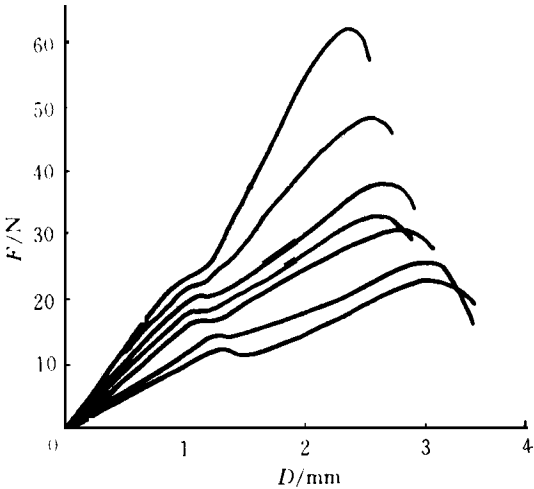


图 3 平顶圆柱压头对不同硬度苹果的压缩曲线

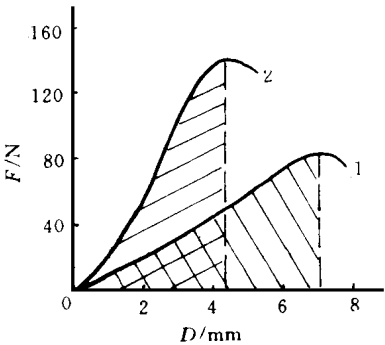


图 4 不同速率下平板的压缩曲线
1. 2 cm/min ; 2. 16 cm/min

3 结论与讨论

1)加载速率的高低与加载压头的型式对压缩试验均有很大影响,影响其生物屈服力、破裂力与变形量的变化与大小。在理论研究与生产试验中应注意这两个因素对试验结果的影响,并应在试验结果中注明试验条件。

2)用 $\Phi 6$ 平顶圆柱压头在加载速率为 $2 \sim 32 \text{ cm/min}$ 范围内所做的压缩试验,其曲线初始区段呈线性,斜率基本不受加载速率的影响,且苹果不产生损伤。当选取加载速率为 6 cm/min 时,苹果硬度与压缩曲线初始区段力和变形的比值有极显著的线性相关。在生产实际中可用该法来无损地测定苹果的硬度。

3)在一定加载速率范围内,苹果的损伤与其变形量有着直接的关系,这符合临界应变理论。

承蒙西北农业大学机电学院 97 届学生张新建协助做部分试验工作,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 李小昱,王为,孙骊.农业物流变特性试验机的研制.西北农业大学学报,1996,24(6): 105~ 107
- 2 赵学笃,陈元生,张守勤.农业物科学.北京:机械工业出版社,1987. 33~ 42
- 3 吴德光,蒋小明.农产品压缩试验研究及其应用 I.压缩试验方法.云南农业大学学报,1990,5(3): 171~ 176
- 4 Arnold P C. Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. Trans ASAE, 1971, 14(1): 78~ 84
- 5 Mohsenin N N. Physical properties of plant and animal material. 2nd ed. New York: Gordon and Breach Science Pub, 1986. 154~ 169
- 6 周祖饬.农业物科学.北京:农业出版社,1994. 41~ 51
- 7 Schoorl D, Holt J E. Impact bruising in 3 apple arrangements. J Agric Engng Res, 1982, 27: 507~ 512
- 8 王泽南,单明彻.水果机械特性及损伤的研究.农牧与食品机械,1986(3): 19~ 25
- 9 Segerlind L J. A failure criterion for apple flesh. ASAE, 1978, No. 78-3556-16p

A Study on Compressive Properties of Apple

Li Xiaoyu Wang Wei

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Through the apple compression test, the fore-deformation curve was measured and analyzed. The result showed that the loading rate and shape of the indenters had influence on bioyield force and rupture force and deformation values. In a definite condition and scope, there existed a remarkable linear correlation between the apple firmness and slope for the initial stage of compression curve, and a relation between apple mechanical damage and deformation values.

Key words apple, firmness, compression, loading rate, mechanical damage