

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.03.007

# 一种马铃薯临界损伤跌落高度的测定方法

洪翔<sup>1</sup>, 万陈<sup>1</sup>, 王军<sup>1,2</sup>

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122;  
2. 江南大学 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 针对马铃薯这类不易观察跌落损伤的果蔬产品, 提出了一种测定其临界损伤跌落高度的方法。首先对马铃薯进行准静态压缩, 得到其产生损伤时的压缩变形量。同时, 通过测量马铃薯在不同跌落高度下的跌落信号, 分析得到反映不同跌落高度与跌落变形量之间关系的数学模型。对应压缩变形量在此数学模型中的值, 即可得到马铃薯的临界损伤跌落高度, 为 38 cm。

**关键词:** 马铃薯; 临界损伤跌落高度; 准静态压缩; 跌落信号

中图分类号: TB485.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2012)03-0030-04

## A Method to Determine the Critical Damage Dropping Height of Potato

Hong Xiang<sup>1</sup>, Wan Chen<sup>1</sup>, Wang Jun<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China ;  
2. Key Laboratory of Food Packaging Techniques and Safety of China National Packaging Corporation, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China )

**Abstract :** Potato is a kind of vegetable whose damage cannot be easily observed. Regarding to this property, a method to determine the critical damage dropping height is proposed. At first, quasi-static compression is conducted to the potato, and then the compressive deformation is obtained. Meanwhile, with the experiment to obtain the potato's dropping signal, the mathematical model reflecting relation between dropping height and dropping deformation can be obtained. The critical damage dropping height is gained from the model with previous compressive deformation, that is 38 cm.

**Key words** potato; critical damage dropping height; quasi-static compression; dropping signal

## 1 背景知识

1968年, R. E. Newton 首次提出了产品的破损边界概念, 打开了缓冲包装设计的理论基础先河<sup>[1]</sup>。产品在运输流通过程中, 可能受到的最严酷的力学环境是跌落冲击。而反映跌落冲击剧烈程度的外界力

学参数是其跌落高度<sup>[2]</sup>。在对产品进行包装设计时, 应首先获得产品自身的临界损伤跌落高度, 以便据此对产品进行缓冲包装设计。

果蔬等生物体受到跌落冲击时, 有一定的屈服点。当其跌落冲击高度在屈服点以上时, 会使生物体细胞产生代谢失衡, 出现组织破坏等现时损伤; 而

收稿日期: 2012-05-31

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划基金资助项目 (CXZZ110504)

作者简介: 洪翔 (1987-), 男, 山东青岛人, 江南大学硕士生, 主要研究方向为包装动力学与运输包装,

E-mail: william1987hx@gmail.com ;

通信作者: 王军 (1982-), 男, 安徽巢湖人, 江南大学副教授, 博士, 主要从事包装动力学与运输包装等方面的教学与研究, E-mail: packie@126.com

低于此高度时,则不会产生现时损伤。屈服点的跌落高度即为物体的临界损伤跌落高度。为了保证果蔬在运输过程中的安全性,避免其在运输过程中因跌落而受到损伤,许多研究者对生物体的临界损伤跌落高度进行了相关研究。如卢立新等人<sup>[3]</sup>研究并确定了苹果的临界损伤跌落高度;曹海燕等人<sup>[4]</sup>通过试验,获得了梨果实的临界损伤跌落高度;张生芹等人<sup>[5]</sup>研究了多层果品在半正弦激励下的冲击力特性。但是这些研究中,尚未有测试马铃薯的临界损伤跌落高度的报导,因此,本课题组人员拟对此进行初步研究。

目前,对果蔬临界损伤跌落高度的测试方法主要有如下两种<sup>[3]</sup>:

1) 选用高性能的跌落冲击试验机,在一定冲击波形下,对果蔬进行跌落试验;

2) 采用自制的跌落试验机,通过果蔬的自由跌落进行试验。

以上两种测试方法各有优缺点:采用高性能的跌落冲击试验机进行测试时,其测试精度较高,但是由于跌落过程中会出现回弹现象,处理时需要解决试验中的能量分析与换算等问题;而采用自制跌落仪器进行测试时,其操作相对简易,但是试验中参数的控制、多试样的平行试验实施较为困难,并且无法保证测试精度。

由于马铃薯为黏弹性材料,在做自由落体时,随着跌落高度的增加,其受冲击部位由弹性变形逐渐转变为弹性、塑性变形<sup>[6]</sup>。弹性变形不会引起马铃薯的实时损伤,而塑性变形则会引起马铃薯果肉的变形、细胞的破裂等实时损伤。

对于本文所选取的研究对象马铃薯而言,可以选用传统的跌落冲击实验方法,通过自由跌落来测得马铃薯的临界损伤跌落高度,但是难以得到较为理想的结果。针对马铃薯的特性,本研究设计将马铃薯放置于万能材料试验机上进行静态压缩,观察并记录其开始发生塑性变形时的压缩变形量;再通过不同高度下的自由跌落试验,采集其载荷与时间信号,分析转化得到不同跌落高度与跌落变形量的数学模型,并认为压缩变形量与跌落时的跌落变形量等效,最终得到马铃薯的临界损伤跌落高度。

## 2 试验

### 2.1 试验仪器

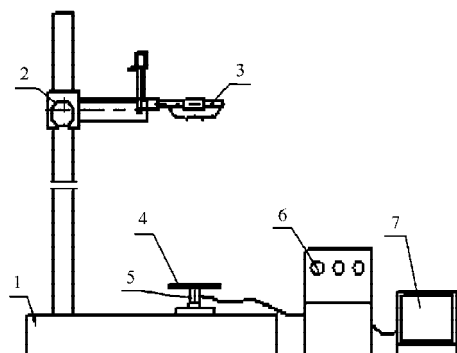
万能材料试验机,LRXplus型,由英国Lloyd Instruments公司生产;

跌落冲击试验机,自制,系统结构如图1所示;

DASP信号采集与分析系统,由北京东方振动和噪声技术研究所研制;

电子天平,由梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产,精度为0.1 mg;

游标卡尺。



1—底座; 2—高度调整装置; 3—夹持器; 4—跌落盘;  
5—传感器; 6—信号采集器; 7—信号分析仪

图1 跌落冲击试验系统

Fig. 1 Drop impact experiment system

### 2.2 试验材料

试验选用的材料为新鲜土豆,选购于当地大型超市——欧尚,且所选用马铃薯的大小较均匀,成熟度相似,形状较规整,无机械损伤和病虫害,单个质量在128.2~218.4 g之间,直径为60~80 mm(取马铃薯上、中、下3个部位的直径取平均值)。

### 2.3 试验步骤

首先,将马铃薯置于万能材料试验机上进行准静态压缩试验,经多次试验后,得到一系列载荷-变形量试验数据;然后,将选取的马铃薯进行跌落试验,设置的跌落高度分别是:20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 cm,每个高度均选取3个试样进行自由跌落试验,采集其力-时间信号。

本试验中有如下假设:

1) 承压的两个面板为刚性面板,不吸收能量,故马铃薯吸收所有的能量;

2) 马铃薯为双面受压,两面为均匀受力;

3) 马铃薯在静态压力作用下吸收的能量,与自由跌落时和冲击跌落时吸收的能量等效;

4) 马铃薯跌落时,在受力方向上表现为各向同性材料特性;

5) 马铃薯为均匀球体状,跌落时均匀受力;

6) 冲击中,马铃薯的内部振动和跌落过程中的能量损耗可忽略。

### 3 试验结果与分析

由静态压缩试验, 可得到马铃薯静态压缩时的载荷-变形量曲线, 取其中一个关系图来举例说明, 见图2。

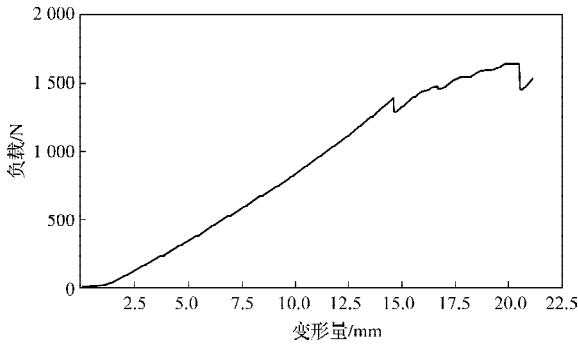


图2 静态压缩下马铃薯的压缩变形量随载荷的关系图

Fig. 2 The relationship between load and compressive deformation from quasi-static compression experiment

观察图2可知:

1) 此载荷-位移曲线为非线性曲线;

2) 曲线中变形量在13 mm内时, 变形量随着载荷的增加, 近似直线式地增加, 这个阶段为马铃薯的弹性变形阶段; 当变形量在13~14 mm内时, 曲线有较明显的波动, 载荷减小, 但变形量几乎不变, 此时马铃薯开始产生裂痕; 此后, 变形量随着载荷的增大而增大, 且上升趋势较缓慢。

将明显的波动点作为马铃薯塑性变形的起始点, 取多个马铃薯进行静态压缩试验, 并记录其压缩变形量 $L$ 。通过试验, 得到了一系列的马铃薯压缩变形量 $L$ , 由于假设马铃薯受压时是两面受压的, 故其变形量为 $l=L/2$ 。实验所得静态压缩下的马铃薯压缩变形量见表1。

表1 静态压缩下马铃薯压缩变形量

Table 1 Compressive deformation of potatoes from quasi-static compression experiment

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8
变形量/mm	6.80	6.44	6.37	6.51	6.53	6.65	6.47	6.55

将表1中的变形量数据求平均值, 可得马铃薯静态压缩下的平均变形量:  $l=6.54$  mm。

综合上述实验结果与分析, 可得静态压力作用下, 马铃薯在压缩量为6.54 mm处开始出现塑性变形, 并认为此点即为其临界损伤跌落高度的对应点。

下面分析跌落试验所得的试验数据。对采集到的信号进行分析处理后, 可得图3所示不同跌落高度下的位移-时间曲线。

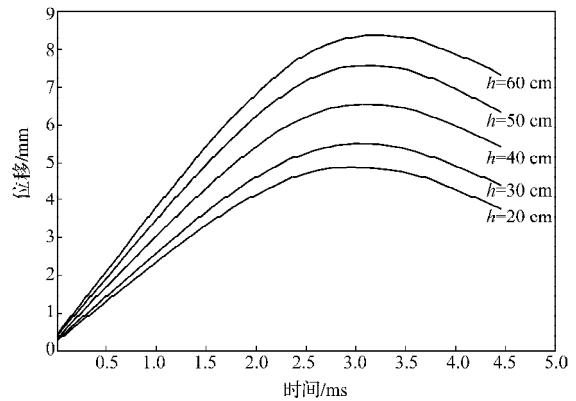


图3 不同跌落高度下的位移-时间曲线

Fig. 3 Deformation-time curves analyzed from different dropping heights

记录试验过程中不同跌落高度下的最大变形量, 所得数据见表2。

表2 不同跌落高度下马铃薯的跌落变形量

Table 2 Dropping deformation of potatoes from different dropping heights

高度 / cm	变形量 / mm	高度 / cm	变形量 / mm	高度 / cm	变形量 / mm
20	4.92	70	8.66	120	12.12
30	6.26	80	9.67	130	12.38
40	6.83	90	10.24	140	12.62
50	7.39	100	10.90		
60	8.30	110	11.60		

表2为不同跌落高度下, 对马铃薯力-时间曲线积分求得的跌落变形量。从表2中可看出: 随着跌落高度的增加, 马铃薯的跌落变形量也逐渐增大, 且上升趋势也随着变大。

对表2中的数据进行拟合, 可以得到如下拟合曲线方程:

$$f(x) = 8.8883 \times 10^7 \times x^3 - 1.6822 \times 10^6 \times x^2 + 22929 \times x - 64.918, \quad (1)$$

Norm of residuals=10.335。

马铃薯不同跌落高度下, 对应跌落变形量的数学模型如图4所示。

从图4中的曲线可得出:

1) 马铃薯的压缩变形量随着跌落高度的增大而增大;

2) 曲线变化趋势为上升, 且上升速率随跌落高度的增加而增加。

由前述准静态压缩试验得知, 马铃薯在压缩变形量达6.54 mm时, 开始出现塑性变形。现将变形量6.54 mm代入上述拟合方程式(1)中, 可以得到此变形量下的对应跌落高度为38 cm, 即马铃薯的临界损伤跌落高度是38 cm。

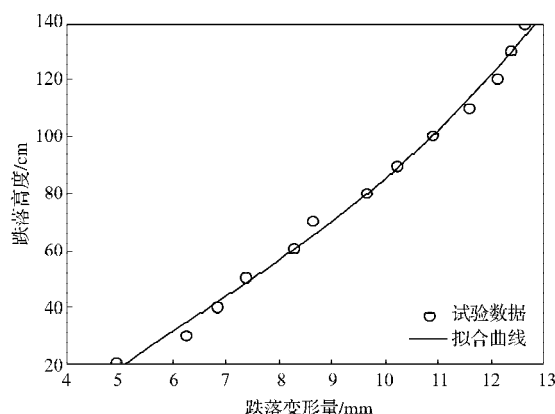


图4 马铃薯不同跌落高度下对应跌落变形量的数学模型

Fig. 4 Mathematical model for dropping height vs. dropping deformation

## 4 结论

本文提供了一种测试马铃薯临界损伤跌落高度的思路与方法。通过将马铃薯放置于万能材料试验机上进行静态压缩,得到其出现塑性变形时的压缩变形量;并通过不同高度下的跌落试验,得到跌落高度与变形量间的数学模型,将压缩变形量代入该数学模型后,得到马铃薯的临界损伤跌落高度。可得到如下结论:

1) 马铃薯的压缩变形量随着跌落高度的增大而增大,且在压缩变形量达 6.54 mm 时,开始出现塑性变形;

2) 通过试验得到了所用马铃薯的临界损伤跌落高度,为 38 cm。

3) 试验结果表明,本文所述方法是可行的,且相对于传统的测试方法而言,此方法更适用于黏弹性较高且不易观察跌落损伤的果蔬产品。

## 参考文献:

- [1] Newton R E. Fragility Assessment Theory and Practice[R]. Monterey, California: Monterey Research Laboratory, Inc., 1968.
- [2] 王惠明,王振林,周建伟,等.物品包装临界跌落高度与缓冲衬垫特性参数关系初探[J].包装工程,2002,23(5):121-122.  
Wang Huiming, Wang Zhenlin, Zhou Jianwei, et al. Initial Exploration in the Relation between the Critical Dropping Height of the Product and the Properties of the Cushioning Material[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 121-122.
- [3] 卢立新,王志伟.苹果跌落冲击力学特性研究[J].农业工程学报,2007,23(2):254-258.  
Lu Lixin, Wang Zhiwei. Dropping Impact Mechanical Characteristics of Apple[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(2): 254-258.
- [4] 曹海燕,卢立新.梨果实跌落冲击特性与流变模型[J].食品与生物技术学报,2007,26(4):11-15.  
Cao Haiyan, Lu Lixin. The Dropping Impact Behavior and Rheological Model of Pear[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2007, 26(4): 11-15.
- [5] 张生芹,王军,卢立新.半正弦激励下多层果品冲击力学特性研究[J].包装学报,2011,3(3):36-39.  
Zhang Shengqin, Wang Jun, Lu Lixin. The Shock Characteristics of Multi-Layer Fruits under the Action of Half-Sine Acceleration Pulse[J]. Packaging Journal, 2011, 3(3): 36-39.
- [6] Konstankiewicz K, Czachor H, Gancarz M, et al. Cell Structural Parameters of Potato Tuber Tissue[J]. Int. Agrophysics, 2002, 16: 119-127.

(责任编辑:廖友媛)