

苹果碰撞损伤预测模型的研究

李小昱 王 为 赵 静

(西北农业大学机械与电子工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要 通过苹果的碰撞损伤试验, 分析了损伤体积与吸收能量、最大加速度、衬垫厚度、碰撞时间等因素之间的关系, 论述了建立苹果碰撞损伤预测模型的可能性。研究表明, 以苹果碰撞的加速度历程和碰撞参数为基础的多元线性回归模型可以预测其损伤体积。

关键词 苹果, 碰撞, 损伤, 预测模型

中图分类号 Q66, S650.9

随着水果生产机械化程度的提高, 解决损伤的问题显得愈来愈重要。水果从采摘、包装、运输、加工、贮藏到销售的各个环节中, 不可避免地受到挤压、碰撞、振动以致产生机械损伤。而对水果处理、加工等系统的研究表明, 大多数的机械损伤是由其碰撞各种表面产生的, 碰撞是导致苹果损伤的最主要原因之一^[1~3]。本文通过苹果的碰撞损伤试验, 分析了在碰撞过程中损伤同碰撞参数之间的关系, 建立了苹果碰撞损伤的预测模型。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试验用的苹果品种为秦冠, 贮藏期为7个月, 贮藏温度为5℃左右。本试验是为了测量苹果从不同高度降落至不同表面的碰撞加速度历程和碰撞参数而设计的, 所以其他参数如成熟度、硬度等尽可能保持一致。

1.2 试验装置

试验装置及测量系统简图如图1。

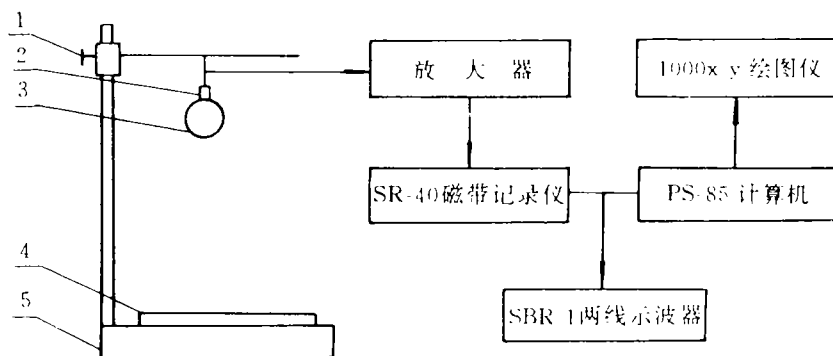


图1 试验装置及测量系统

1. 高度调节装置; 2. 加速度传感器; 3. 苹果; 4. 衬垫; 5. 底座

装置底座为一20 mm厚的钢板, 上可复盖不同衬垫以改变碰撞表面, 降落高度可调。采用断线法释放苹果。加速度传感器通过一细锥体固定于苹果上, 随苹果一起落下。

收稿日期: 1994-05-04

1.3 试验方法

将 56 个苹果随机分为 4 组,每组苹果分别从 5,10,15,20,25,30,35 cm 等 7 个高度落至同一碰撞表面,每 2 个苹果从同一高度落下,每个苹果在不同部位作 3 次重复试验。每组苹果作完后便更换一种衬垫,4 种碰撞表面分别为垫 1、垫 2、垫 3、垫 4。垫 1 为钢平面,垫 2,3,4 分别为钢板上复盖厚 2.78,4.92,6.22 mm 的聚乙烯硬泡沫衬垫。

损伤体积的测定采用 Schoorl 等的体积算法^[4]。

2 结果与分析

从图 2 可看出,苹果落在钢板上的碰撞时间最短,随着碰撞表面垫子厚度的增加,其碰撞的持续时间也逐渐增大,最大加速度则随之减小,即缓冲材料可吸收一定的碰撞能量。

本试验的苹果碰撞参数参照 Chen 等人^[5]的研究方法,其结果见表 1。为了初步确定苹果的各特性参数对苹果损伤体积的影响及其之间的关系,对这些参数作了相关性分析。从其相关系数(表 2)可知,降落高度、垫子厚度、最大加速度、最大碰撞力、吸收能量

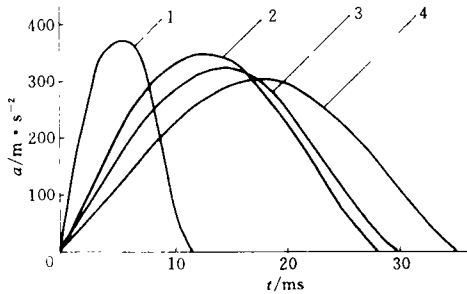


图 2 苹果自 30 cm 落至不同表面的加速度
1. 垫 1; 2. 垫 2; 3. 垫 3; 4. 垫 4

表 1 苹果物理特性与碰撞参数的范围

测量参数	平均值	最小值	最大值
损伤体积(cm^3)	0.91	0.00	4.50
最大加速度(m/s^2)	216.25	40.00	370.00
最大碰撞力(N)	38.55	7.22	59.50
最大变形(mm)	7.19	4.90	9.70
吸收能量(J)	0.12	0.00	0.42
碰撞时间(ms)	22.99	3.30	33.60
苹果直径(mm)	77.14	73.63	80.22
苹果质量(g)	177.97	159.72	197.12

和碰撞时间与损伤体积的线性相关性较强,而苹果在碰撞中的最大变形、苹果直径、苹果质量与损伤体积的线性相关性较差。另外,从表 2 中也可看出最大加速度、吸收能量二参数与降落高度显著相关,最大加速度与最大碰撞力显著相关。

表 2 碰撞参数之间的相关系数

	损伤 体积	降落 高度	垫子 厚度	最 大 加 速 度	最 大 碰 撞 力	最 大 变 形	吸 收 能 量	碰 撞 时 间	苹 果 直 径	苹 果 质 量
损伤体积(cm^3)	1.000									
降落高度(cm)	0.500	1.000								
垫子厚度(mm)	-0.738	0.000	1.000							
最大加速度(m/s^2)	0.569	0.934	0.257	1.000						
最大碰撞力(N)	0.440	0.932	-0.245	0.982	1.000					
最大变形(mm)	0.252	0.746	-0.271	0.773	0.755	1.000				
吸收能量(J)	0.890	0.961	-0.655	0.675	0.704	0.405	1.000			
碰撞时间(ms)	-0.823	-0.477	0.794	-0.253	0.258	0.065	-0.745	1.000		
苹果直径(mm)	0.147	0.099	-0.061	0.077	0.128	0.033	0.150	-0.048	1.000	
苹果质量(g)	0.162	0.060	-0.087	0.042	0.122	0.006	0.134	-0.039	0.851	1.000

2.1 损伤体积与降落高度的关系

为了定量地描述在4种碰撞表面条件下,损伤体积 V 与降落高度 h 之间的关系,分别对其作了相关性分析。从图3可看出,当苹果落至钢平面时,损伤体积与降落高度之间有很好的线性关系,其线性回归方程为

$$Y = 0.084 + 0.124X \quad (\text{相关系数 } R = 0.950^{**})$$

而在垫2、垫3、垫4三种表面碰撞时,损伤体积与降落高度间的相关系数分别为0.810、0.781、0.412,即垫子越厚,损伤体积与降落高度间的关系越不明显。另外,从图中也可看出,随着垫子厚度的增加,损伤有着明显的下降趋势。而当苹果的碰撞表面包括4种不同类型的垫子时,损伤体积和下落高度之间的线性相关性较差,其相关系数 $R = 0.500$ 。这表明虽然从降落高度可预测水果降落在坚硬表面上的损伤体积,但当水果降落在不知硬度的不同类型的表面上时,则很难预测水果的损伤体积。这就要求我们进一步研究不同碰撞表面及包装材料对水果损伤的影响,以用于生产实际。

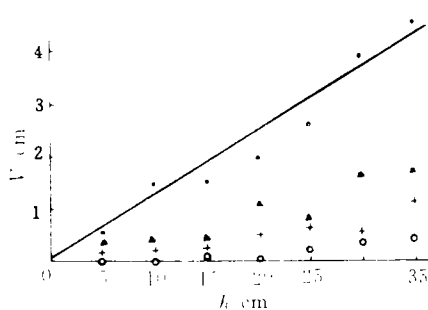


图3 损伤体积与降落高度的关系

• 垫1; △垫2; + 垫3; ○垫4

2.2 损伤体积与最大加速度的关系

在4种不同碰撞表面的条件下,作了损伤体积 V 与最大加速度 a 之间的相关性分析。图4表明,当苹果落至钢平面上时,损伤体积与最大加速度之间的线性关系很好,其线性回归方程为

$$Y = -1.882 + 0.1X \quad (\text{相关系数 } R = 0.942^{**})$$

同样,当苹果的碰撞表面包括4种不同类型的垫子时,损伤体积和最大加速度之间的相关性较差,其相关系数 $R = 0.569$ 。

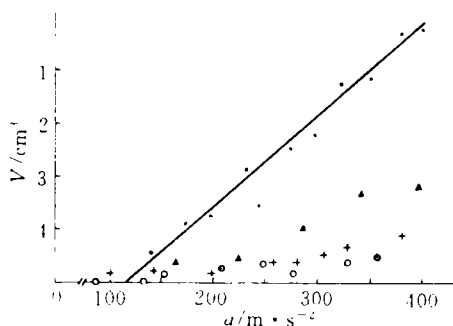


图4 损伤体积与最大加速度的关系

• 垫1; △垫2; + 垫3; ○垫4

2.3 损伤体积与吸收能量的关系

苹果损伤体积与吸收能量间的关系为

$$Y = 0.118 + 6.558X$$

(相关系数 $R = 0.890^{**}$)

从该线性回归方程中可知,吸收能量越大,损伤就越严重,吸收能量与损伤体积成线性关系。澳大利亚学者 Schoor 等人^[6]对苹果碰撞进行了长期的研究,提出了著名的苹果损伤能量原理。他们认为苹果的损伤体积与其所吸收的能量成正比,吸收的能量造成了机械损伤。试验结果正说明这一点。根据能量

守恒定律,碰撞的总能量除了缓冲材料吸收的能量和回弹能量外就是被水果吸收的能量^[7,8],因而损伤体积是可以计算的。

2.4 损伤体积与碰撞时间的关系

损伤体积与碰撞时间的线性回归方程为

$$Y = 3.372 - 0.107X \quad (\text{相关系数 } R = -0.823^{**})$$

从该方程中可看出,在碰撞过程中,碰撞时间越短,即冲击过程中速度变化越大,损伤就越严重。这说明损伤体积的大小不仅与吸收能量等因素有关,损伤变形速率也是损伤的一个影响因素。苹果受到冲击时,即使吸收能量一定,若碰撞时间短,变形速度大,则冲击力也较大,那么损伤就严重。而且这点从图 2 中也可看出,较厚的垫子,碰撞持续时间较长,其最大加速度也较小。那么选用合适的缓冲及包装材料可使损伤体积减小。

2.5 预测损伤体积的多元线性回归模型

以上分析了苹果同平面碰撞过程中单因素对损伤体积的影响,然而苹果在碰撞过程中的损伤并不是由某单一因素所控制,而是与多种因素有关。为此,用损伤体积作为非独立变量,用表 2 中的其他变量作为独立变量进行逐步线性回归分析,以进一步确定哪些碰撞特性参数对损伤体积有着显著的影响。预测损伤体积的几种多元线性回归模型(表 3)表明,仅有吸收能量、最大加速度 2 个变量的模型可以预测损伤体积,其相关指数 R^2 为 0.843,当包括吸收能量、最大加速度、垫子厚度、碰撞时间等 4 个变量时,其相关指数 R^2 可达 0.914。因吸收能量和最大加速度二参数均与降落高度显著相关,同时最大加速度与最大碰撞力显著相关,所以多元线性回归模型中不包括降落高度与最大碰撞力这二个变量。

表 3 预测损伤体积的多元线性回归模型

变量数	$V = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4$					R^2
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	
2	0.275	1.236	0.057			0.843
3	0.292	8.785	0.006	0.023		0.886
4	1.029	6.185	0.005	-0.057	-0.025	0.914

注: x_1 ——吸收能量(J); x_2 ——最大加速度(m/s^2); x_3 ——垫子厚度(mm); x_4 ——碰撞时间(ms); V ——损伤体积(cm^3); $\beta_0 \sim \beta_4$ ——回归系数; R^2 ——相关指数。

另外,实测损伤体积与用 4 变量模型预测损伤体积之间的关系为

$$Y = 0.002 + 0.996X \quad (R^2 = 0.914)$$

可知用 4 变量线性回归模型预测碰撞损伤的效果是满意的。

3 结 论

1) 研究与确定了建立苹果损伤预测模型的可能性,该模型以苹果碰撞的加速度历程和碰撞参数为基础。

2) 苹果损伤体积与吸收能量、最大加速度、衬垫厚度、碰撞时间等 4 因素之间有着显著的相关性,建立了以这 4 个碰撞特性参数为基础的多元线性回归模型,该模型可以预测苹果的损伤体积($R^2 = 0.914$)。

3) 缓冲包装材料可吸收一定的碰撞能量,从而减少苹果的碰撞能量与回弹能量。为减少苹果的碰撞损伤,适当选择包装材料的厚度与种类是重要的,有必要进一步进行包装材料

料与苹果损伤之间关系的研究。

4)该多元线性回归模型预测苹果平面碰撞损伤体积是一非常有用的模型,要决定该数学模型对于预测的有效性,还有必要进行一系列条件范围更大以及品种更多的试验。

参 考 文 献

- 1 Sober S S, Zapp H R, Brown G K. Simulated packing line impacts for apple bruise prediction. *Transaction of ASAE*, 1990,33(2):629~636
- 2 Siyami S, Brown G K, Burgess G J, *et al.* Apple impact bruise prediction models. *Transaction of the ASAE*, 1988, 31(4):1038~1045
- 3 Sitkei Gy. *Mechanics of Agricultural Materials*. Amsterdam: Elsevier Science Pub, 1986:268~269
- 4 Schoorl D, Holt J E. Bruise resistance measurement in apple. *Journal of Texture Studies*, 1980,11(4):389~394
- 5 Chen P, Yazdani R. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. *Transaction of the ASAE*, 1991, 34(3) 956~961
- 6 Schoorl D, Holt J E. Impact bruising in 3 apple arrangements. *J Agric Engng Res*, 1982, 27(1):507~512
- 7 Diener R G. Bruise energy of peaches and apples. *Transaction of ASAE*, 1979,22(2):287~290
- 8 Mohsenin N N. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2nd ed. New York: Gordon and Breach Science Pub., 1986. 519~523

Apple Impact Bruise Prediction Models

Li Xiaoyu Wang Wei Zhao Jing

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

Abstract Through the apple impact bruise test, this paper analyzes the relations between bruise volume and absorbed energy, maximum acceleration, cushion thickness, and impact time, presents the possibility of establishing impact bruise prediction models, and also puts forward that the bruise volume could be predicted by multiple linear regression models, based on the acceleration history and impact parameters during the apple impact.

Key words apple, impact, bruising, prediction model

• 简 讯 •

我校科技论文在全国高校中的位次

根据中国科学技术信息研究所编辑出版的《中国科技论文统计与分析》1993年度研究报告提供的资料,1993年我校发表论文数283篇(据1993年1218种中国科技期刊统计),在全国高校中的位次为第51名,在全国农林高校中为第2名,位居北京农业大学(347篇)之后。

在1993年各项科学基金资助产生的科技论文数居前50名高校统计中,我校论文数64篇,在全国高校中位居第43名,在全国农林高校中连续3年位居第1名。

(刘佩芬)