运输中振动参数对苹果损伤的影响*

孙 骊[1] 仇农学[1] 吴竞爽[2]
(1西北农业大学机电学院, 2西北农业大学计算机中心, 陕西杨陵 712100)

摘 要 模拟运输条件下进行苹果振动损伤试验,得出振动频率、振幅、时间对损伤面积及蠕变各变形量的影响关系。通过回归分析和相关分析发现振动后总变形、相应蠕变量及差值可用来评价和预测损伤程度,对寻求预测和评价损伤的新方法、探索减少振动损伤的途径有参考价值。

关键词 苹果,振动,损伤,蠕变变形
中国分类号 Q66, S661. 109. 3

在运输过程中,保证新鲜水果的品质和减少损伤是获得最佳经济效益的关键之一。在现有运输条件下,研究水果损伤形式及影响损伤的振动参数是有必要的。本文从模拟试验入手,得出苹果运输过程中损伤与振幅、振动频率及振动时间之间的关系。认为粘弹性变形和塑性变形均可引起损伤;从相关分析中可见粘弹性变形能够作为预测振动后损伤程度的指标。

1 试验简介

1.1 样品选择

试验样品选用陕西省咸阳市杨陵区五泉乡优质秦冠苹果。1992年 9月适时采收,窖藏至 1993年 4月。挑选出外形相似、大小均匀且无损伤和斑点的苹果进行试验。

1.2 试验因素

由于汽车板弹簧固有频率为 3~ 4 Hz,是汽车振动的第一个共振峰;火车的振动频率为 2~ 500 Hz,最大峰值为 2~ 3 Hz;火车的货车在运行时产生的垂直振动频率为 3~ 5 Hz;因此定频试验时取振动频率为 3~ 4 Hz,振动加速度为 0.75± 0.25 g的范围,[1]用以模拟一般运输工具的振动频率环境。同时考虑到拖拉机田间道路的恶劣状态,本试验因素取值范围略有扩大,振动频率为 2~ 9 Hz,加速度取 0.048~ 2.937 g,相应振幅为 3~ 9 mm.振动时间取 10~ 40 min时,相当于公路运输 1 h或 1500 km,火车运输 3 h或 4500 km[1]。试验因素水平见表 1,试验方案见表 2.

表 1 试验因素水平

水平	振幅 x_1 (mm)	频率 x_2 (Hz)	时间 x_3 (min)
1	5	2	10
2	3	4	15
3	7	7	20
4	9	9	40

1.3 装置及测量

将 4个样品放入果盒。样品与果盒之间有 1~ 5 mm间隙。试验在振动试验台上进

收稿日期: 1995-05-18
* 杨陵农业科技开发基金资助项目; 1.仇农学现在陕西省农牧公司工作,陕西西安 710014.
?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

行[2]。频率由变速电机调整,调曲柄半径可改变振幅,振动时间按表 2选定。“苹果振动损伤的规律及其评价”[2]一文提出“现行损伤程度的评价指标具有较好的可比性”,因此仅用损伤总面积即可表达损伤程度。每次按表 2做完振动试验后,依次在蠕变仪上测定压头为∅7,戴荷为 0.5 kgf时损伤部位的瞬时变形量 Y_4、蠕变变形量 Y_5;放置 48 h时的瞬时变形量 Y_6、蠕变变形量 Y_7,并在振动后 48 h时描出总损伤面积 Y_1.为了表示样品原始的蠕变变形特征,振动前亦需在∅7压头和 0.5 kgf戴荷下测取瞬时变形量 Y_2、蠕变变形量 Y_3,求得 Y_8~ Y_{14},见表 3所示。为了观察损伤前后的蠕变特性变化,在 16组试验的 64个样品中,每组取 1个,共取 16个样品做其振动前、振动后及放置 48 h时、在 0.5 kgf戴荷下∅7压头的蠕变恢复曲线。

表 2　试验方案

序号	x_1 (min)	x_1 (Hz)	x_1 (min)	序号	x_1 (min)	x_1 (Hz)	x_1 (min)
1	5	2	10	9	7	2	20
2	5	4	15	10	7	4	40
3	5	7	20	11	7	7	10
4	5	9	40	12	7	9	15
5	3	2	15	13	9	2	50
6	3	4	10	14	9	4	20
7	3	7	40	15	9	7	15
8	3	9	20	16	9	9	10

表 3　损伤评价指标

序号	评价指标	序号	评价指标
Y_1	损伤面积(mm²)	Y_8	Y_4-Y_2
Y_2	振动前瞬时变形(mm)	Y_9	Y_5-Y_3
Y_3	振动前蠕变变形(mm)	Y_{10}	Y_6-Y_2
Y_4	振动后瞬时变形(mm)	Y_{11}	Y_7-Y_3
Y_5	振动后蠕变变形(mm)	Y_{12}	Y_2+Y_3
Y_6	振动后 48 h瞬时变形(mm)	Y_{13}	Y_4+Y_5
Y_7	振动后 48 h蠕变变形(mm)	Y_{14}	Y_6+Y_7

2　结果与分析

2.1　振动参数与损伤指标之间的关系

按 16组 64个样品试验并测量损伤总面积和各种变形量,进行多元线性回归。取显著水平 $\alpha=0.05$,则 $F_{0.05}(3,64)=2.76$,此时除 Y_8外回归关系均成立;取 $\alpha=0.01$,则 $F_{0.01}(3,64)=4.17$,此时除 Y_8和 Y_{10}外回归关系均成立。总损伤面积及各种变形 Y与振动参数频率 X_1,振幅 X_2,时间 X_3之间的关系可用多元线性回归方程式表示为:

$$Y=AX_1+BX_2+CX_3+D$$

回归系数和显著性检验见表 4.可见总损伤面积 Y_1的回归关系最佳,Y_2、Y_3、Y_4和 Y_{12}次之。从 Y_2~ Y_7的回归系数可见频率系数 A大小排列有: $A_2>A_4>A_6$, $A_3>A_5>A_7$,即振动前大于振动后,且振动后 48 h时最小,说明样品的原始状态和变形对频率的影响敏感。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

振动停止后频率的影响随时间延长而有所淡化。振幅系数 B: $B_4 > B_6 > B_2$, $B_5 > B_7 > B_3$,即振动后立即测得的变形量对振幅的影响反应较明显。时间系数 C: $C_6 > C_4 > C_2$, $C_7 > C_5 > C_3$,即振动后 48 h时测得的变形量对时间因子的反应敏感。

表 4 回归方程及检验

	回归系数				F值	R值	P值
	A	B	C	D			
Y_1	166.95	250.87715	-31.99608	-785.82617	15.69908	0.66315	0.00000
Y_2	-1.90312	-0.33297	-0.05648	46.93459	6.21324	0.48650	0.00096
Y_3	-3.28094	-0.71606	-0.08541	70.86850	7.68145	0.52678	0.00020
Y_4	-1.67031	0.93050	-0.19676	41.90564	6.50990	0.49554	0.00069
Y_5	-0.94344	2.27812	-0.39390	52.88725	5.03312	0.44840	0.00354
Y_6	-0.26250	-0.42565	-0.34593	40.75151	4.55785	0.43081	0.00608
Y_7	0.10687	0.80172	-0.50795	53.97449	4.58488	0.43185	0.00589
Y_8	0.23281	1.26347	-0.14029	-5.02894	1.68175	0.27851	0.18048
Y_9	2.33750	2.99418	-0.30849	-17.98125	4.47310	0.42752	0.00670
Y_{10}	0.75485	0.62687	0.14822	6.72082	2.85320	0.35334	0.04465
Y_{11}	3.38781	1.51778	-0.42255	-16.89401	5.49177	0.46415	0.00212
Y_{12}	-5.18406	-1.04903	-0.14188	117.80310	7.83326	0.53050	0.00017
Y_{13}	-2.61375	3.20862	-0.59066	94.79291	5.43807	0.46236	0.00225
Y_{14}	-0.15563	0.37608	-0.85389	94.72601	4.45185	0.42669	0.00687

2.2 损伤指标之间的相关性

在 14个损伤指标中,损伤总面积 Y_1为现行损伤评价指标之一,它与其他常用的损伤指标有良好的可比性[2]。在此以 Y_1为准则,通过相关阵分析来评判 Y_2~ Y_{14}各指标。从表 5可见 Y_1与振动后蠕变变形 Y_5,振动后与振动前蠕变变形之差 Y_9、振动后 48 h与振动前蠕变变形之差 Y_{11}及振动后总变形 Y_{13}之间的相关性极显著。说明这些变形可做为损伤评价指标,与现行损伤评价办法有同等效力,而且有望在完成运输后,损伤形成之前预测损伤。

表 5 相关分析

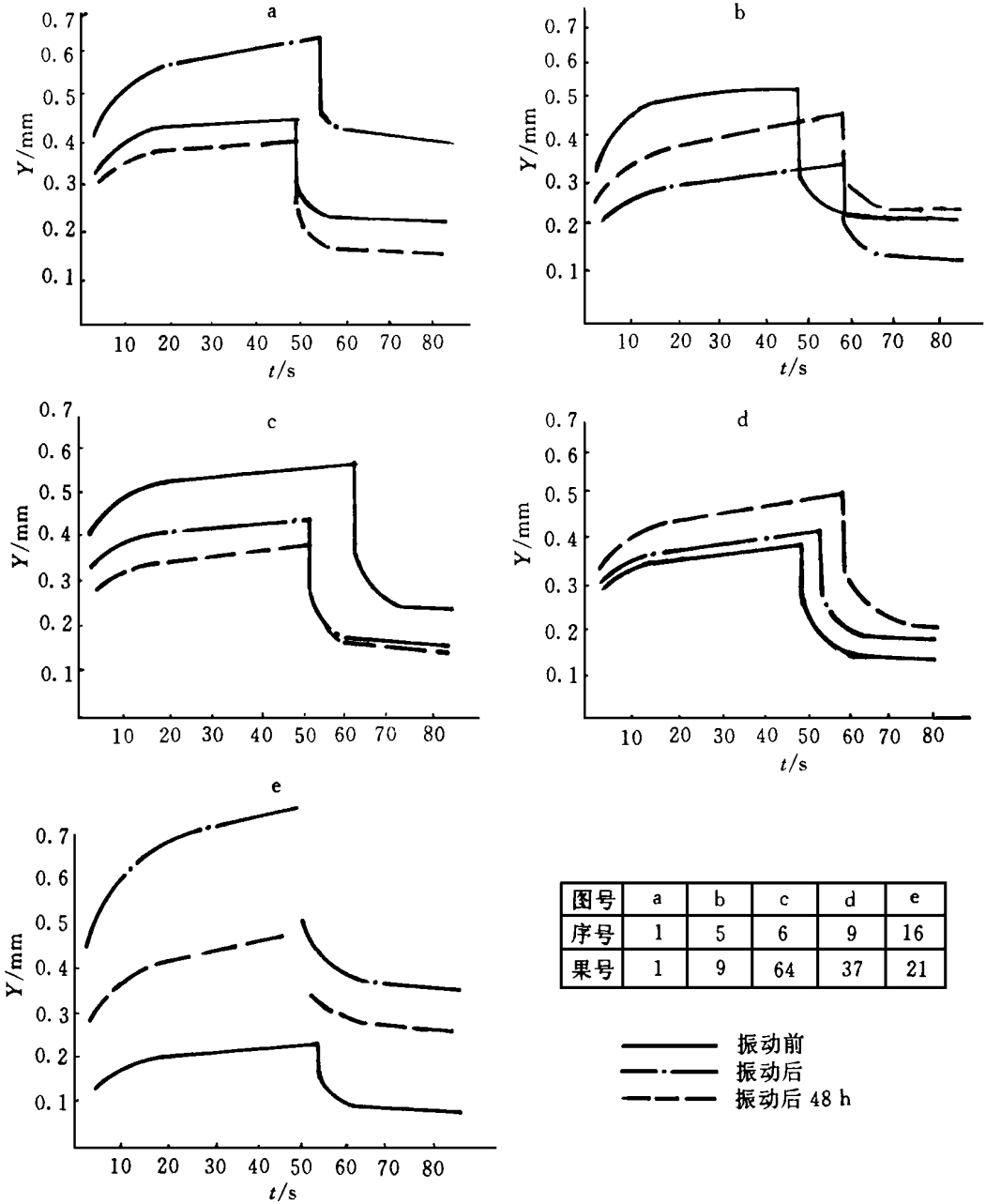
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
Y_1	1.00 A						
Y_2	-0.27 C	1.00 A					
Y_3	-0.27 C	0.85 A	1.00 A				
Y_4	0.25 C	-0.01	0.03	1.00 A			
Y_5	0.51 A	-0.20	-0.10	0.86 A	1.00 A		
Y_6	0.01	-0.12	0.00	0.17	0.19	1.00 A	
Y_7	0.36 B	-0.23	-0.08	0.34 B	0.47 A	0.83 A	1.00 A
Y_8	0.37 B	-0.67 A	-0.53 A	0.75 A	0.78 A	0.21	0.41 A
Y_9	0.54 A	-0.67 A	-0.68 A	0.61 A	0.79 A	0.13	0.40 B
Y_{10}	0.18	-0.73 A	-0.54 A	0.12	0.26 C	0.77 A	0.72 A
Y_{11}	0.43 A	-0.74 A	-0.74 A	0.21	0.39 B	0.56 A	0.73 A
Y_{12}	-0.28 C	0.94 A	0.98 A	0.02	-0.15	-0.05	-0.15
Y_{13}	0.43 A	-0.14	-0.05	0.94 A	0.98 A	0.19	0.44 A
Y_{14}	0.23	-0.20	-0.05	0.29 C	0.37 B	0.94 A	0.97 A

注: 显著水平 5.0% C, 1.0% B, 0.1% A.

振动前的瞬时变形 Y_2和蠕变变形 Y_3之间相关极显著,它们与变形差 Y_8~ Y_{11}及总变形 Y_{12}之间亦极显著相关。振动后的瞬时变形 Y_4和蠕变变形 Y_5之间相关极显著,它们与

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

振动后 48 h的蠕变变形 Y_7、振动前相应变形差 Y_8、Y_9及总变形 Y_{13}之间相关关系亦极显著。振动后 48 h测得的瞬时变形 Y_6和蠕变变形 Y_7之间相关极显著,与变形差 Y_{10}、Y_{11}及总变形 Y_{14}间极显著。可见同一时间测得的瞬时变形与蠕变变形之间是相关的,它们与变形差、总变形之间也有极好的相关性。



图号	a	b	c	d	e
序号	1	5	6	9	16
果号	1	9	64	37	21

图 1　蠕变恢复曲线

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

2.3 振动前后的蠕变恢复曲线对比

振动试验中对其中 16个样品在振动前、振动后和放置 48 h时分别做蠕变恢复曲线,得出 16组 48条曲线。每组曲线中的振动前、振动后和放置 48 h的 3条蠕变恢复曲线的趋基本相拟,相互平行(图 1)。其中振动后比振动前变形大的共 9组,占 56% (如图 1中 a、d、e)。这可认为在此振动条件下使苹果软化,而较易变形所致;振动后比振动前变形小的现象同样存在,共 7组,占 44% (如 b、c),可解释为这几组苹果在此振动条件下振动后变得比原来密实些,反而不易变形。这与贮存久的水果组织变绵软有关。曲线的相对位置除了与苹果本身特征有关外,振动条件也是重要的影响因素。当振动后放置 48 h时则认为已形成损伤,这时测得的蠕变恢复曲线的变形大部分小于振动前的蠕变恢复曲线(图 1,a、b、c),共 14组,约占 87.5%,这说明此时形成损伤的苹果呈塑性变形后的形态,粘弹性变小。而图 1中 d、e所示则相反,这是由于在相应振动条件下苹果在振动前显得较硬的原因。

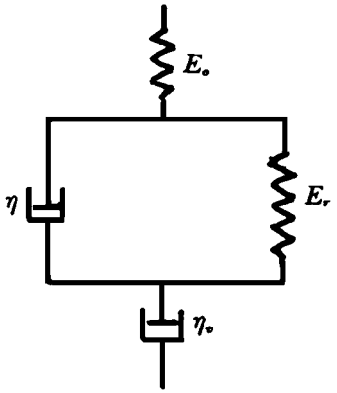


图 2 四元件模型

若按四元件模型看待苹果的蠕变恢复流变过程,可求得各元件的流变参数 E_0、E_r、Z 和 Z_v(图 2),表 6中给出其中 5组的流变参数值。可用蠕变方程式表达其变形量 $X(t)$:

$$X(t) = \frac{e_0}{E_0} + \frac{e_0}{E_r}(1 - e^{-t/T_{ret}}) + \frac{e_0 \cdot t}{Z_v}$$

其中 T_{ret}为延迟时间,$T_{ret} = Z/E_r$。经过振动载荷的作用,苹果的蠕变特征如何,除与本身原有的力学特性有关外,还与施加的振动载荷特性、过程及测定条件有关。所形成的损伤面积或粘弹性变形量是它们的综合结果。塑性变形形成损伤这是众所周知的。粘弹性变形也产生损伤,而这种损伤随着时间滞后显现。Segerlind等人曾用蠕变现象来解释他们提出的临界应变破坏理论。用粘弹性变形表达损伤程度亦是对这种观点量化描述的尝试。

表 6 几组流变参数

序号	振动前				振动后				振动后 48 h			
	E_0	Z	E_r	Z_v	E_0	Z	E_r	Z_v	E_0	Z	E_r	Z_v
1	3.33	14.50	6.67	111.00	2.63	68.60	8.30	70.50	2.78	45.00	6.25	156.20
5	3.12	16.65	4.17	104.00	3.30	7.20	5.56	214.00	3.30	64.60	6.25	130.00
6	2.78	15.10	4.54	145.80	2.94	91.20	5.56	152.80	3.85	29.80	5.56	161.80
9	3.57	84.40	4.55	178.60	3.12	56.70	7.14	144.70	3.12	22.50	4.17	142.90
10	6.25	60.10	8.30	250.00	1.61	15.00	3.33	128.00	2.78	4.38	3.57	202.00

注: E(kgf/mm),Z(kgf·s/mm)

3 讨 论

1) 试验结果表明: 振动频率、振幅和振动持续时间对损伤程度的影响可用方程 $Y = AX_1 + BX_2 + CX_3 + D$表示。设法改变振幅、频率和时间对减少损伤是有益的。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

2)损伤形成时 (振动后 48 h测定总损伤面积时)的蠕变变形。振动后和振动前的瞬时变形量之差亦可以作为损伤评价指标来评价和预测损伤程度。这为制作损伤测定及预测的仪表提供了新方法。

3)振动前苹果的变形量、弹性变形量和损伤程度有一定的关系。因此用水平弹性变形量或硬度来表达损伤在一定条件下是可行的。

4)通过蠕变恢复曲线的特征可以分析水平品质及其与运输条件之间的关系,从而求得最佳的运输包装系统。在此基础上经过进一步研究,有望寻求各种水果在不同运输条件时得到最小损伤的途径。

参　考　文　献

1 刘劲,赵延伟.包装测试技术,长沙: 湖南大学出版社, 1989

2 孙骊,吴竞爽,朝利军.苹果振动损伤的规律及其评价.西北农业大学学报, 1994, 22(1): 78~ 83

3 陈石榕.日本水平无损伤检验.世界农业, 1993(3): 50~ 51

4 Laur E M. 收获的延续: 水果和蔬菜的贮存技术. Highlights of Agricultural Research in Ontario, 1989, 12(2): 25 ~ 28

The Effect of Vibrative Parameter on Apple Damage in Transportation

Sun Li[1]　**Qiu Nongxue**[1]　**Wu Jingshuang**[2]

(1 *College of Machinery and Electronics Engineering*;

2 *Computer Centre, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi*, 712100)

Abstract　Through a simulated test for apple damage owing to the vibration in transportation, the results of the effect relationships of vibration frequency, amplitude, time on damage area and the quantity of peristaltic deformation were obtained. The regression analysis and relative analysis showed that, after vibration, the total deformation, the relavant peristaltic qualities and the difference could be used to evaluate and forecast the damage degree. Thus, it would be of reference value to those who look for new methods to forecast and evaluate apple damage and the approach to reduce damage due to vibration.

Key words　apple, vibration, damage, peristaltic deformation

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w