

苹果振动损伤的规律及其评价

孙 骊 吴竞爽 仇农学 韩利军

(西北农业大学农工系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 根据苹果振动试验结果, 得出了损伤与振动加速度、振动时间、承载重量之间的多元线性回归方程。通过对这些数学模型的分析, 说明了几种常用损伤评价指标的合理性和可比性, 为预测振动损伤提供了依据。在相关分析中提出了用粘弹特性评价机械损伤的新方法。

关键词 苹果, 振动损伤, 评价指标, 数学模型

中图分类号 TH131.1, S661.109.3, TH113.25

水果的机械损伤是造成其变质的主要原因之一。在采收、包装、装卸、运输、贮藏和销售的整个过程中都存在着损伤的威胁。近年来人们对损伤的规律、影响因素及损伤程度的客观评价做了一些研究, 取得了可喜的成果。本文仅从振动损伤的试验出发, 寻找苹果损伤规律的数学模型和评价损伤指标的新方法。

1 试验简介

1.1 试验材料

选用陕西省铜川市郊区园艺站出产的优质中熟黄元帅苹果。1991年9月中旬采摘, 窖藏至1992年4月。经谨慎运输挑选后, 认为外形均一且无损伤; 68个苹果试样的质量在146~238 g之间, 平均质量为174.2 g; 直径在70.8~84.8 mm之间, 平均直径为75.4 mm。

1.2 因素选择

振动损伤多发生在运输过程中。根据汽车运输特性所做的模拟试验结果^[1]来选取加速度水平。振动时间的选择需考虑到振动后损伤测量(如面积、深度)的明显性和试验的迅速性两个方面。加载重量参考了一般运输状态下苹果散装或箱装深度造成的静载大小。其试验因素水平和试验安排见表1和2。

表1 试验因素水平

水 平	加速度 X_1 ($\times 9.8\text{m/S}^2$)	振动时间 X_2 (min)	载荷 X_3 (N)
1	1.0	5	0
2	1.5	10	9.8
3	0.5	15	19.6
4	2.0	20	39.2

1.3 损伤程度评价

目前常用损伤面积或损伤深度来度量损伤程度^[2]。这种直接测量方法使用极不方便, 更不能预测损伤的程度。为了寻找损伤与物料本身力学特征的关系, 本试验提出用在额定载荷下的瞬时变形、蠕变变形、恢复变形和总变形等表示损伤程度的设想。从而在机械振

收稿日期: 1993-01-11.

动之后、苹果未变褐之前确定其损伤程度。有可能作为评价指标的参数表示在表 3 中。

表 2 试验方案

序号	X_1 ($\times 9.8m/S^2$)	X_2 (min)	X_3 (N)	序号	X_1 ($\times 9.8m/S^2$)	X_2 (min)	X_3 (N)
1	1.0	5	0	9	0.5	5	19.6
2	1.0	10	9.8	10	0.5	10	39.2
3	1.0	15	19.6	11	0.5	15	0
4	1.0	20	39.2	12	0.5	20	9.8
5	1.5	5	9.8	13	2.0	5	39.2
6	1.5	10	0	14	2.0	10	19.6
7	1.5	15	39.2	15	2.0	15	9.8
8	1.5	20	19.6	16	2.0	20	0

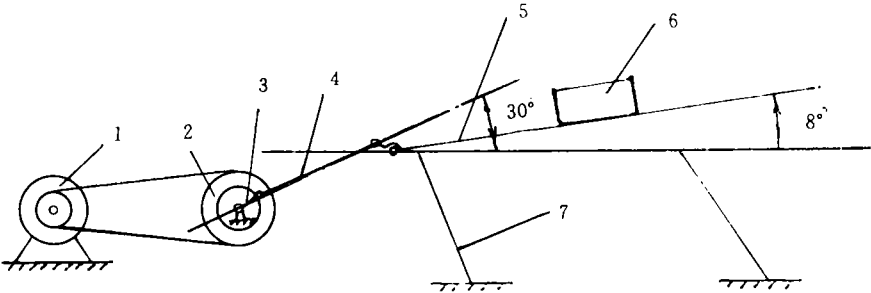
表 3 损伤评价指标

评价指标			变 量	评价指标			变 量
损伤面积 (mm ²)	轴 向		Y_1	振动后放置 48 h 承载 500g 的变形 量 ($\times 10^{-2}mm$)	瞬 变		Y_{22}
	径 向		Y_2		蠕 变		Y_{23}
	总面积		Y_3		恢 复		Y_{24}
损伤深度 (mm)	轴 向	最 大	Y_4	振动后与振动 前变形量的差 值($\times 10^{-2}mm$)	瞬 变		Y_{25}
		最 小	Y_5		蠕 变		Y_{26}
		平 均	Y_6		恢 复		Y_{27}
	径 向	最 大	Y_7		轴 向	瞬 变	$Y_{28}=Y_{16}-Y_{10}$
		最 小	Y_8			蠕 变	$Y_{29}=Y_{17}-Y_{11}$
振动前承载 500g 的 变形量 ($\times 10^{-2}mm$)	轴 向	平 均	Y_9			总 变	$Y_{30}=Y_{28}+Y_{29}$
		瞬 变	Y_{10}			恢 复	$Y_{31}=Y_{18}-Y_{12}$
		蠕 变	Y_{11}			瞬 变	$Y_{32}=Y_{19}-Y_{13}$
	径 向	恢 复	Y_{12}			蠕 变	$Y_{33}=Y_{20}-Y_{14}$
		瞬 变	Y_{13}			总 变	$Y_{34}=Y_{32}+Y_{33}$
振动后承载 500g 的 变形量 ($\times 10^{-2}mm$)	轴 向	蠕 变	Y_{14}	振动后放置 48h 与振动前 变形量的差值 ($\times 10^{-2}mm$)	径 向	恢 复	$Y_{35}=Y_{21}-Y_{15}$
		恢 复	Y_{15}			瞬 变	$Y_{36}=Y_{22}-Y_{10}$
		瞬 变	Y_{16}			蠕 变	$Y_{37}=Y_{23}-Y_{11}$
	径 向	蠕 变	Y_{17}			总 变	$Y_{38}=Y_{36}+Y_{37}$
		恢 复	Y_{18}			恢 复	$Y_{39}=Y_{24}-Y_{12}$
	轴 向	瞬 变	Y_{19}			瞬 变	$Y_{40}=Y_{25}-Y_{13}$
		蠕 变	Y_{20}			蠕 变	$Y_{41}=Y_{26}-Y_{14}$
		恢 复	Y_{21}			总 变	$Y_{42}=Y_{40}+Y_{41}$
	径 向	瞬 变				恢 复	$Y_{43}=Y_{27}-Y_{15}$
		恢 复					

1.4 试验过程

试验在振动台上进行(附图 1)。振动角为 30°, 振幅 7 mm。改变调速电机转速以取得不同的振动加速度值。振动台面上固定着装 4 个苹果的果盒。苹果与果盒间的总间隙约 1 mm。苹果上端的载荷可用砝码调节。损伤面积是在振动之后 48 h 时描下损伤部分的面积求其数值的^[3];同时在损伤面积中心部位测量变褐果肉的深度。苹果的粘弹特性用在 500 g 载荷条件下的瞬时变形量、蠕变变形量、恢复变形量和总变形量表示。分别测定

相应位置 4 个截面的变形量,再求其算术平均值。粘弹特性在振动前、振动后和振动后 48 h 分别测定之。粘弹特性测定在蠕变仪上进行。所有苹果的试验测量在 4 d 之内完成。室内气温 14~17℃,存放条件完全相同。试验结果送入 M-340 计算机进行多元线性回归和相关分析。



附图 振动台示意图
1、变速电机;2、传动轮;3、曲柄;
4、连杆;5、振动台;6、果盒;7、板弹簧

2 结果和分析

当样本数为 68,显著水平 $\alpha=0.05$ 时, $F_{0.05}(3,64)=2.76$; $\alpha=0.01$ 时, $F_{0.01}(3,64)=$
4.17. 多元线性回归分析和相关分析见表 4.

表 4 回归方程显著性检验

F 值			P 值		
Y ₁	17.154 82	0.000 00	Y ₁₉	8.727 06	0.000 08
Y ₂	11.892 77	0.000 00	Y ₂₀	6.787 22	0.000 55
Y ₃	19.262 85	0.000 00	Y ₂₁	3.596 23	0.018 98
Y ₄	16.028 67	0.000 00	Y ₂₃	4.166 72	0.009 28
Y ₅	9.908 58	0.000 02	Y ₂₉	12.537 19	0.000 00
Y ₆	13.732 52	0.000 00	Y ₃₀	4.110 83	0.009 91
Y ₇	5.916 43	0.001 26	Y ₃₁	4.465 99	0.006 55
Y ₈	5.714 41	0.001 57	Y ₃₂	5.656 10	0.001 86
Y ₉	6.925 01	0.000 41	Y ₃₃	6.379 73	0.000 85
Y ₁₁	2.851 49	0.044 17	Y ₃₄	7.670 95	0.000 22
Y ₁₆	2.796 78	0.047 17	Y ₃₇	5.662 66	0.001 67
Y ₁₇	11.025 28	0.000 01			
Y ₁₈	4.145 46	0.009 52			

从分析结果可见:损伤面积 Y_1, Y_2, Y_3 , 损伤深度 $Y_4 \sim Y_9$ 与振动强度 X_1 、振动时间 X_2 、载荷量 X_3 ,经回归分析和显著性检验,关系极为密切。尤其是 X_1 和 X_3 是影响振动损伤的主要因素。
振动停止后立即在蠕变仪上测得的各项粘弹性变形量 $Y_{16} \sim Y_{21}$ 与 X_1, X_2 和 X_3 也有着密切的关系;振动前和振动后 48 h 时测得的粘弹性变形量,只有轴向蠕变变形量 Y_{11} ,

Y_{23} 与 X_1, X_2, X_3 关系密切,其余变形量则与 X_1, X_2, X_3 关系不密切或无关;振动后与振动前的粘弹特性变形量差值 $Y_{29} \sim Y_{34}$ 也与 X_1, X_2, X_3 关系密切,尤其是轴向蠕变变形量 Y_{29} 与 X_1, X_2, X_3 关系达到极显著;轴向总变形量 Y_{30} 、径向总变形量 Y_{34} 及径向蠕变量 Y_{33} 也与 X_1, X_2, X_3 关系密切;振动后 48 h 与振动前的粘弹性变形量差值只有轴向蠕变量 Y_{37} 与 X_1, X_2, X_3 关系密切。

3 讨 论

从试验分析结果可以看出,影响苹果振动损伤的因素与现行评价损伤指标及物料粘弹特性之间的关系。

3.1 振动损伤规律可用多元线性回归方程表示

现行损伤评价指标 $Y_1 \sim Y_9$ 和物料在特定条件下的粘弹特性 $Y_{11}, Y_{16} \sim Y_{21}, Y_{23}, Y_{29} \sim Y_{34}, Y_{37}$ 等 24 个指标与 X_1, X_2, X_3 之间的回归关系成立。可用多元线性回归方程表示:

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

其回归系数见表 5。

表 5 多元线性回归系数

	A	B	C	D
Y_1	756.517 09	1.475 05	276.656 98	-801.461 91
Y_2	2029.798 58	-38.835 22	163.541 31	-559.620 85
Y_3	2789.793 95	-37.049 33	440.524 17	-1371.799 32
T_4	2.127 84	-0.015 10	0.830 29	-0.983 50
Y_5	1.314 90	-0.042 39	0.469 61	-0.269 91
Y_6	1.647 52	-0.034 03	0.641 29	-0.575 13
Y_7	1.717 43	-0.050 38	0.507 14	1.633 89
Y_8	1.268 22	-0.042 20	0.370 15	0.667 57
Y_9	1.500 13	-0.050 77	0.387 35	1.195 27
Y_{11}	-1.136 88	0.045 73	-0.027 86	5.781 56
Y_{16}	10.221 28	0.447 78	1.755 20	3.644 97
Y_{17}	11.673 09	-0.390 17	0.596 50	2.051 97
Y_{18}	3.049 78	0.383 61	-0.405 26	5.068 71
Y_{19}	9.437 36	-0.391 09	-0.108 94	24.784 90
Y_{20}	7.257 70	-0.324 12	-0.467 10	7.989 68
Y_{21}	1.545 35	0.016 99	-1.035 57	16.245 79
Y_{23}	2.807 70	-0.235 76	0.577 6	10.492 11
Y_{29}	12.809 97	-0.435 90	0.624 37	-3.729 59
Y_{30}	21.271 77	-0.071 64	2.484 21	-17.455 51
Y_{31}	4.484 09	0.335 18	-1.119 81	-3.796 81
Y_{32}	8.452 42	-0.276 02	-0.487 12	-1.175 68
Y_{33}	6.755 80	-0.310 22	-0.303 74	1.869 52
Y_{34}	15.208 23	-0.586 24	-0.790 85	0.693 85
Y_{37}	3.944 58	-0.281 49	0.585 62	4.710 55

现行损伤程度的评价指标是损伤面积和损伤深度等,振动强度 X_1 和载荷量 X_3 是影响它们的主要因素。轴向损伤面积 Y_1 受 X_1 的影响比 X_3 要大,而径向损伤面积 Y_2 则主要受 X_1 的影响。总损伤面积 Y_3 与 X_1 的相关性也极显著。轴向损伤深度的最大值 Y_4 、最小

值 Y_5 和平均值 Y_6 与 X_1 和 X_3 的相关性也达显著水平。径向损伤深度 Y_7, Y_8, Y_9 则只与 X_1 明显相关。所以在实际生产中为了减少运输中的损伤, 必须首先考虑减振措施。如运输时选择较好的路面, 设计减振的车厢和优良的包装系统, 合理装填, 尽量减少苹果之间的间隙等。其次还应考虑包装箱的深度, 以减少载荷量对轴向损伤的威胁。

3.2 现行损伤程度的评价指标具有较好的可比性

目前市场交易或生产中苹果的损伤用损伤面积或损伤深度来评价。从相关阵(略)中可见 $Y_1 \sim Y_9$ 之间有密切的相关性。尤其是 $Y_1 \sim Y_6$ 更为显著。可见这些评价指标被公认, 正是由于它们客观地反映了苹果的损伤程度。这些指标都具有良好的可比性, 均可得到同等的评价效果。然而, 现行的这些评价指标测量的实施过程极为繁琐, 精度不高, 且只有在损伤出现后才能测出。

3.3 粘弹特性也可作为损伤评价指标

从相关阵中还看出, 苹果的某些粘弹特性与现行的损伤评价指标 $Y_1 \sim Y_9$ 有着显著的相关性。其中蠕变值 $Y_{17}, Y_{23}, Y_{29}, Y_{37}$ 与其相关性极显著, 振动前后总变形量之差 $Y_{30}, Y_{34}, Y_{38}, Y_{42}$ 也有显著的相关性, 现行最常用的损伤总面积 Y_3 与各项蠕变量 $Y_{17}, Y_{20}, Y_{23}, Y_{26}, Y_{29}, Y_{33}, Y_{37}, Y_{41}$ 的相关性极显著; 另外 $Y_{19}, Y_{25}, Y_{28}, Y_{32}, Y_{36}$ 与其也有一定的相关性。这就为用苹果的力学特性(如粘弹特性)表达损伤程度提供了依据。

3.4 振动前的粘弹特性不能反映振动后的损伤程度

振动前的粘弹特性值 $Y_{10} \sim Y_{16}$ 与 $X_1, X_2, X_3, Y_1 \sim Y_9$ 之间关系不密切或无关。由此可见仅仅依照苹果的原始力学特性不能决定机械振动后损伤的程度。如果要考查苹果相互间的差异对振动后损伤的影响, 可依此为准, 用振动后的粘弹特性值减去相应的原始值。

3.5 振动后的粘弹特性值可预测损伤的程度

振动后立即测量苹果的粘弹特性值, 其损伤规律回归方程检验是极显著的。恢复值 Y_{18} 和 Y_{21} 表示弹性特征。它与现行的损伤程度评价指标 $Y_1 \sim Y_9$ 并不相关。所以不能用弹性来评价损伤。轴向变形量 Y_{16}, Y_{17} 与轴向损伤面积 Y_1 和轴向损伤深度 Y_4, Y_5, Y_6 有一定的相关性。同样, 径向损伤指标 Y_2, Y_7, Y_8, Y_9 的相关性亦良好。所以可用振动后立即测得的粘弹性变形量作为损伤程度新的评价指标。

3.6 损伤评价指标的新启示

目前常用损伤总面积衡量损伤程度。根据相关阵中与 Y_3 相关极显著的有 Y_{17} 等 13 项, 显著的 4 项。它们都可以用来衡量损伤程度。与现行的损伤评价指标相比, 这种方法可以达到较高的数量化描述和具有较好的预测性。目前用常规的测量方法或电测的方法很容易测量这些变形量。若能开发出专用的仪器就更方便、更准确了。

3.7 损伤程度的预测

鲜果贮存中已有许多预测损伤的方法, 这可以取得优良的经济效益。本试验用苹果的蠕变值表达其粘弹特性, 从而使经过长途运输的水果的损伤程度得以预测。另外, 用应力松弛的试验方法或其他方法也应当能得到粘弹特性的表达。从而为损伤的预测找到更准确、实用的方案。

参 考 文 献

- 1 潘 见,陈元生,李国文等.贮藏和振动对草莓组织的损伤研究.农业工程学报,1988,(4):47~52
- 2 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
- 3 单明彻,徐 朗.苹果的机械特性和机械损伤.农业机械学报,1988,(2):72~78

The Law of Apple Damage Caused by Vibrating and Its Damage Evaluation

Sun Li Wu Jinshang Han Lijun

(The Department of Agricultural Engineering, Northwest Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Based on the results of apple vibrating test, a multi-linear regression equation was derived for the acceleration of damage and vibration, vibrating time and loading weight. The analytical results of these models indicated that the several usual indexes for evaluating apple damages were rational and comparable so as to provide the base for the estimation of vibrating damages caused to apples. Also, in the correlative analysis, a new method by using viscoelasticity to evaluate the mechanical damages to apples was advanced in this paper.

Key words apple, vibrating damage, evaluating index, mathematical models