

苹果贮存的接触面积和蠕变特性*

孙 骊¹ 鞠建伟¹ 吴竞爽² 仇农学³

(1 西北农业大学机电学院; 2 计算中心, 陕西杨陵 712100) (3 陕西省农贸公司, 西安 710014)

摘 要 研究苹果在 0.5~3.5 kg 的静载及 12~84 h 作用时间内的接触面积和直径的变化规律, 用四元件 Burgers 模型和回归分析方法描述其蠕变特性并求得蠕变参数。通过对接触面直径与蠕变参数关系的分析, 说明用延迟时间评价和预测静载损伤的可能性。

关键词 苹果, 贮存, 静载损伤, 接触面积, 蠕变特性

中图分类号 S661.109.3, Q66

随着市场上鲜果货架期的延长, 要求尽可能减少在贮存过程中水果的损伤。苹果贮存过程中机械损伤的主要形式表现为静载损伤, 其损伤部位发在接触区域。下层苹果的承载量和存放时间是产生静载损伤的主要因素。本文通过测量静载、时间变化时接触面积和直径的变化及对蠕变特性的分析, 以研究贮存时的静载损伤特征, 从而进一步寻求减少损伤的途径及预测方法。

1 材料与方 法

材料及条件 温度约 20℃, 湿度约 80%, 试验在 2 周内完成。样品为当地贮存 6~7 个月的秦冠苹果, 经精选无明显损伤。果径 75±1 mm, 平均果重 0.15 kg。

载荷和时间 假定苹果以菱形堆放, 底部受压最大的苹果所承受的载荷 G 为:

$$G = \frac{H}{\sin\theta \cdot d} \cdot W$$

式中, H 为堆放高度(m); d 为果径(m); W 为单果重(kg), θ 升角。

在本试验中, $d=0.75$ m, $W=0.15$ kg, 以菱形堆放时 $\theta=60.2^\circ$, 苹果以纸箱包装贮存时 $H_{\min}=0.20$ m, 散装时 $H_{\max}=1.3$ m^[1], 则 $G_{\min}=0.46$ kg, $G_{\max}=2.95$ kg。故其载荷范围取 0.5~3.5 kg。由于试验样品为贮存后期苹果, 质地绵软, 故取承载时间为 12~84 h。

方 案 以载荷 G 、时间 T 为因素, 取 7 个水平(表 1), 并进行 3 次零点重复试验。

表 1 试验设计方案

因素	水 平						
	1	2	3	4	5	6	7
$G(\text{kg})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
$T(\text{h})$	12	24	36	48	60	72	84

方 法 将样品放在特制纸筒内以免滚动, 在苹果上方按试验方案用砝码加载, 到规定时间量取接触面积、直径和变形量。接触面积用铺在样品下方的复印纸压痕测得; 直径为接触面积的当量直径; 变形量在蠕变仪上用 $\Phi 6$ 压头、0.5 kg 恒载进行蠕变恢复试验来

收稿日期: 1995-05-18

* 陕西省杨陵基金资助项目。

测量,每5 s读一次变形量,测取蠕变变形数据70个,恢复变形数据20个。

2 结果与分析

接触面积与载荷及时间的关系 经线性回归计算其结果为:

$$S = 92.82G + 3.32T - 116.04 \quad (1)$$

其复相关系数 $R=0.9875$, 显著性水平 $F=963.0698$, 当 $\alpha=0.01$ 时, $F_{0.01}(2,47)=7.20$, 且经失拟平方和及 F_{LJ} 的计算、散点图和残差图的描绘均说明回归方程拟合优良。

接触面直径与载荷及时间的关系 经线性回归计算结果为:

$$D = 3.29G + 0.12T + 2.21 \quad (2)$$

其 $R=0.9858$, $F=843.9514$, $F_{0.01}(2,47)=7.20$, 且失拟平方和及 F_{LJ} 计算, 散点图和残差图描绘均说明回归方程拟合优良。

蠕变方程及参数 通常用四元件 Burgers 模型描述苹果的蠕变恢复过程^[2]。当载荷 $F_0=0.5$ kg 时, 其变形量 Y 随时间 t 的变化过程为:

$$\text{加载过程} \quad Y(t) = \frac{F_0}{E_0} + \frac{F_0}{E_r}(1 - e^{-t/T_{rr}}) - \frac{F_0}{\eta_r}t \quad (3)$$

$$\text{恢复过程} \quad Y(t) = \frac{F_0}{E_r}(1 - e^{-t_1/T_{rr}})e^{-(t-t_1)/T_{rr}} + \frac{F_0}{\eta_r}t_1 \quad (4)$$

式中, $Y(t)$ 为变形量 (10^{-2} mm); E_0, E_r 分别为瞬时、延迟弹性模量 ($\text{kgf}/1 \times 10^{-2}$ mm); F_0 恒定载荷 (0.5 kgf); T_{rr} 延迟时间 (s); $T_{rr} = \eta/E_r$; η, η_r 粘性系数 ($\text{kgfs}/1 \times 10^{-2}$ mm); t 时间 (s); t_1 加载时间 (s)。

由 (4) 式可知 $\frac{F_0}{E_r}(1 - e^{-t_1/T_{rr}})$ 为常数, 设为 A_2 ; $\frac{F_0}{\eta_r}t_1$ 可由恢复试验中永久变形得到, 设为 C_0 ; 再设 $X = t - t_1$, 则 (4) 式变为:

$$Y(t) - C_0 = A_2 e^{-X/T_{rr}} \quad (5)$$

将其进行回归变换^[3], 且令 $Z = \ln[Y(t) - C_0]$, $A_0 = \ln A_2$, $B = 1/T_{rr}$ 则 (5) 式变为:

$$Z = A_0 - BX \quad (6)$$

对 Z 与 X 进行通用线性回归处理, 求出 A_0 和 B 值, 进而可求得 A_2, E_r 和 T_{rr} (或 η)。通过瞬时弹性变形可求得 E_0 , 由永久变形 C_0 可求得 η_r 。52 组曲线回归结果相关系数 $R=0.9342 \sim 0.9958$, 显著水平 $F=119.4580 \sim 2131.4893$, 当 $\alpha=0.01$ 时, $F_{0.01}(1,18)=8.28$, 可见上述线性回归及计算可以成立。

蠕变参数与接触面直径的关系 延迟时间 T_{rr} 与接触面直径 D 的线性回归方程为:

$$T_{rr} = 38.61 - 0.65D \quad (7)$$

式中, $R=0.4723$, $F=14.3516$, 若 $\alpha=0.01$, 相关系数检验表中^[4] R 临界值为 0.370, $F_{0.01}(1,47)=7.20$, 相关关系可以成立。

延迟弹性模量 E_r 与 D 之间的线性相关不很明显, 而 E_0 与 D 的线性回归式为:

$$E_r = 4.89 + 0.21D \quad (8)$$

式中, $R=0.5092$, $F=5.2364$ 若取 $\alpha=0.05$, 则 R 临界值为 0.280, $F_{0.05}(1,47)=4.05$ 。

永久变形粘性系数 η_r 、瞬时弹性模量 E_0 与 D 的线性相关均不成立。

3 讨 论

1) 水果损伤的原因有最大应力、临界应变和吸收能量等观点^[5]。贮存时水果的损伤可用其蠕变特征表述之。若视水果的总体积不变,则其处于应力松弛状态,其应力随时间延长呈衰减趋势,故应力松弛不引起损伤,贮存过程中水果的品质变化造成最大允许应力值下降才是引起损伤的原因。

2) 用接触面积或直径的变化规律可以表述其损伤规律。从临界应变观点看,贮存中接触面积增加意味着变形量即损伤可能性的增加。由(1)、(2)式可知,为了减少静载损伤,贮存时变散装为箱装(箱装叠放时应使箱壁板受力),贮存中定期转换果箱放置面或上下层倒换都可使 T 值相应变小,从而减少静载损伤。

3) 用四元件模型及参数描述贮存过程中苹果的力学特性、现有损伤和延迟损伤比仅用弹性变形或硬度的方法更全面。经规范的蠕变恢复试验得到的公式(3)中各参数值即可判断苹果的力学特性和损伤特性。

4) 蠕变参数中延迟时间 T_{cr} 与接触面直径 D 之间有良好的线性相关关系。静载损伤程度的评价和预测可望用 T_{cr} 来描述。其它参数与 D 的关系还需进一步分析。

参 考 文 献

- 1 国家科委科研成果管理办公室编. 水果蔬菜贮存保鲜技术——农村适用技术[1]. 北京: 科学技术文献出版社, 1989
- 2 李瀚如, 潘君拯. 农业流变学导论. 北京: 农业出版社, 1990
- 3 约翰·内特, 威廉·活塞曼, 迈克尔·H. 库特纳著, 张 勇, 王国明, 赵秀珍译. 应用线性回归模型. 北京: 中国统计出版社, 1990
- 4 何月娥, 杨文孝. 农机试验设计. 北京: 机械工业出版社, 1986: 268, 263
- 5 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(1): 21~23

Changes of Contacting Area and Peristaltic Characteristics in Apple Storage

Sun Li¹ Ju Jianwei¹ Wu Jingshuang² Qiu Nongxue³

(1 College of Mechanical and Electronic Engineering; 2 Computer Centre,
Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

(3 Agricultural and Stockbreeding Corporation, Xi'an, Shaanxi, 710014)

Abstract The varying law of apple contacting area and diameter under the load of 0.5~3.5 kg held constant for 12~84 hours was investigated. Peristaltic characteristics and parameters were described by using four elements Burgers and regression analysis. Through the analysis of the relationship between the contacting area diameter and the peristaltic parameter, the possibilities to evaluate and forecast static load, by using delay time, were obtained.

Key words apple storage, static load, contacting area, peristalsis