

与苹果采摘后损伤有关的碰撞参量

G H Brusewitz J A Bartsch

苹果采摘后的装卸、包装和销售要经过若干道机械操作，这其中有许多发生果肉碰伤的机会。因为生产、贮藏和包装的费用都已包含在产品之中，所以经过贮藏的优质水果由于采摘后损伤而产生等外品是最大的损失形式。细心装卸，使用可把作用于水果的撞击力减小到最低程度的包装材料和设备，常可减小上述这些损失。贮藏过程中水果物理特性发生变化，而且变化因品种而异，所以水果对碰撞的响应以及对相应损伤的敏感度也随着采摘后的时间而变化。

Hyde & Ingle (1968) 指出，苹果损伤的尺寸因采摘过早而趋向增大，但随着采摘后至受伤前的贮藏时间的延长而减小。Diener et al (1979) 发现苹果趋向成熟时其抗损伤能力在增长（损伤体积减小）。Holt & Schoorl (1984) 发现苹果在 2°C 下贮藏 18 星期，其抗损伤能力（单位吸收能量内的损伤体积）稳定地保持不变，并解释说这是内部组织坏死方式发生了变化所致。Hung & Prussia (1988) 发现桃子的损伤敏感度在采摘后的 14 天内保持不变，然后随着贮藏时间的延长而增大，21 天以后，较轻的撞击就能产生相似的损伤。Garcia et al (1988) 研究了与梨子、苹果成熟度 (ripeness) 有关的各种碰撞参量，发现撞击持续时间和达到最大撞击力所经历时间等参量与成熟度的相关性最大，与成熟度相关性最小的是最大变形、永久变形、损伤尺寸和冲量。最大撞击力、回跳速度和回跳弹性能等参量与成熟度的相关性居中。

本文目的是了解一些苹果品种采摘后在低温贮藏和气调贮藏的过程中，其损伤尺寸与各种碰撞参量之间的关系，并在数量上确定这种关系的变化。对很快变软只适于短期贮藏的以及能较长期贮藏但采摘后耐藏性能不同的各种苹果，本文对其碰撞参量的变化都进行了试验研究。我们知道各种最适于苹果贮藏的处理手段，但却不了解苹果损伤敏感度的变化和最适于描述这些变化的参数。

1 材料和方法

试验装置可从某个方位释放水果跌落到力传感器上。跌落高度可在 0—40cm 间调节，以获得所需的水果底部至压电式撞击力传感器 (PCB 公司 200M79 型) 顶部的距离。传感器固定在 9kg 的钢铁基座上。传感器信号每 20 μ s 采样一次，用示波器 (Nicolet 仪器公司 2090-III 型) 显示并作数字式储存。150—500 个数字化电压-时间数据对被输入微机 (数字设备公司 MINC-23 型) 进行数据分析。整个系统用装在下落金属块上的加速度计进行动态标定。0.1kg 的金属块从 30 个不同高度上分别跌落，其输入力 (质量 \times 加速度计输出) 与撞击力传感器输出电压 (mV) 之间的相关系数为 0.999。用录相机记录实心橡胶球跌落时的回跳高度，这个信息要用在动量守恒方程中以核实由撞击力传感器所测得的数据。每天试验前要用同一个橡胶球来确定撞击测试系统的校准正常与否。

旺季之初，用 5—10 个 Paula Red 苹果和 Jonamac 苹果从 5, 7, 10, 15, 20, 25cm 的高

度上作跌落试验,同时测得最大撞击力、撞击持续时间、到达最大撞击力所经历时间、冲量以及苹果的直径和重量。1—2小时后伤痕转为褐色时测量伤痕的宽和深。主要对经过2—4℃低温贮藏或0℃气调贮藏的3个品种(McIntosh, Red Delicious, Idared)苹果进行试验。这些苹果均按现行商业处理方式采摘和贮藏,每2—3星期从中抽取一组试验样品直至苹果无法出售为止。每次称取40只苹果,各自在5,10,15,20cm的高度上进行跌落试验并记录下伤痕尺寸和苹果直径。

设伤痕为球形,由伤痕深度、伤痕直径和水果直径算出总损伤体积(Mohsenin 1970)

$$BV = (\pi d/24)(3w^2 + 4d^2) + (\pi t/24)(3w^2 + 4t^2) \quad (1)$$

$$t = r - [r^2 - (w^2/4)]^{0.5} \quad (2)$$

式中 r 为水果半径(cm) (局部的曲率半径), w 为伤痕宽度(cm), d 为接触面以下的伤痕深度(cm)。

2 结果

2.1 测试系统的易变性 试验装置作动态校准后,其重复性由实心橡胶球重复跌落15次确定,如表1,峰值力、接触时间和到达峰值力所经历时间仅变化1—2%。为了确定水果之间的差异,15个0.075—0.114kg的苹果每只从0.15m的高度跌落4次(表1的中间栏),其参量变化为:时间8%,峰值力11%,吸收能量15%,损伤体积28%。这些参量随着苹果的大小而变化,当调整苹果的重量时,其中4个参数的差异变小,但时间参量的差异增大。关于损伤体积变化的幅度大,一种可能的解释是,整个测试由3个各不相同的尺寸测量所组成,然后在公式(1)中相乘到一起来计算球体一个部分的参量值。

表1 橡胶球跌落撞击试验的重复性以及苹果跌落方位对重复性的影响

系 数	实心橡胶球 ¹⁾		苹 果 ²⁾				
	均 值	变化系数 (%)	四 面			与四面均值的差异(%)	
			均 值	变化系数 (%)	调整变化系数 ³⁾ (%)	红 面	绿 面
损伤体积 (cm ³)	—	—	0.802	28.2	21.7	-10.9	+4.5
吸收能量 (J)	0.0707	1.4	0.0797	15.4	3.9	+0.1	+0.1
峰值力 (N)	365.5	1.2	143.2	10.6	4.9	+3.4	-2.6
到达峰值力所经历时间 (ms)	1.231	1.7	1.665	7.8	10.2	-3.5	+2.5
接触时间 (ms)	2.663	0.9	3.663	6.3	10.0	-11.8	+4.6
峰值力/到达峰值力所经历 时间 (N/ms)	296.7	2.5	86.36	12.6	9.5	+3.6	-3.0

1) 0.141kg的球从0.15m的高度跌落15次。

2) 15个Paula Red苹果(0.075—0.114kg)从0.15m的高度4个面各做1次跌落。

3) 调整苹果的重量。

2.2 苹果四周的变化 先前的研究人员已注意到苹果的红面和绿面之间特性的变化。Blanpied et al (1978)报道过Magness-Taylor坚实度读数,红面的比绿面的大0.5kg。表1示出了15只特别用手摘下的苹果所做果树内部遮阴部分与外部暴露部分差异变化的试验结

果。与四面均值比较，红面的损伤体积小 10.9%，绿面的损伤体积大 4.5%。绿面的组织还不够成熟，可能因此产生较大的损伤。与四面均值相比，绿面的峰值力小 2.6%，到达峰值力所经历时间长 2.5%。McLaughlin (1982) 发现了苹果在常应变率试验中弹性模量和塑性变形的局部效应：在红面，弹性模量较大而塑性变形较小。碰撞参量峰值力/到达峰值力所经历时间这一比值也有与弹性模量类似的情况，即红面的值大于绿面的值（表 1）。各苹果之间损伤体积的变化是红面最小，红绿交界面最大。各苹果之间其他参量的变化不明显。苹果的跌落方位是产生上述变化的一个原因，如果试验设计确定每只苹果只跌落一次，则跌落方位这个因素必须考虑。

2.3 损伤体积与吸收能量的关系 研究表明水果撞击过程中所吸收的能量是损伤体积的很好预报参量。Holt & Schoorl (1984) 用回归线的斜率来表示抗损伤能力，而Hung & Prussia (1988) 则用它来表示损伤敏感度。5 只苹果每只均分别从 6 个高度跌落试验，其结果为图 1 所示损伤体积与吸收能量的关系，这里 R^2 为 0.90—0.96。单位吸收能量 (AbsEn) 中损伤体积 (BV) 的变化 ($\Delta BV/\Delta AbsEn$) 随贮藏时间延长呈下降趋势（图 2）。Hung & Prussia (1988) 指出，对桃子来说上述参量变化为正增长，Holt & Schoorl (1984) 指出对苹果来说上述参量无统计意义上的变化。在本文的研究中，当水果从相同高度跌落时损伤体积随贮藏时间延长略有增长，吸收能量却随贮藏时间延长明显增长，所以 $\Delta BV/\Delta AbsEn$ 将随贮藏时间延长而下降。对每个贮藏时间算出 $\Delta BV/\Delta AbsEn$ 的估计斜率的标准误差并在图 2 上示出误差范围。为了确定贮藏时间对 $\Delta BV/\Delta AbsEn$ 的影

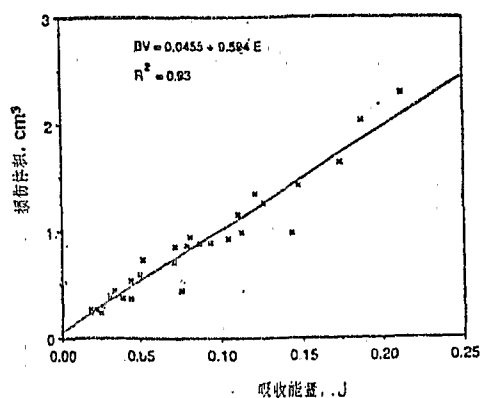


图 1 损伤体积与吸收能量的关系. Paula Red 苹果采摘当天的跌落试验

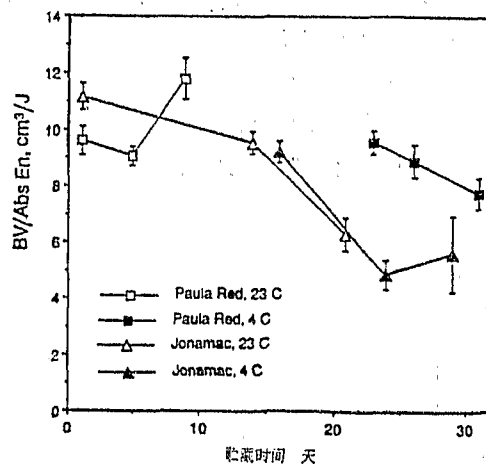


图 2 贮藏时间对单位吸收能量中损伤体积变化的影响

响，进行了单向方差分析。在各不同的贮藏时间之间，两个品种存在着显著的差异 (Jonamac, $F = 390$; Paula Red, $F = 186$; 而当置信度 $Pr < 0.05$ 时 $F = 2.3$)。在贮藏的前 5 天里变化不明显，通常在 10 天以后变化明显。Paula Red 是个例外，它在第 5—9 天内变化增大，原因可能是没有完全成熟。Jonamac 的 $\Delta BV/\Delta AbsEn$ 最初与 Paula Red 类似，两星期后比 Paula Red 下降得更大。到最后的试验时，所有苹果都非常软，已不能在商店出售。

2.4 损伤体积与相遇能量的关系 40只苹果每只分别从4个不同的高度做跌落试验, 结果为损伤体积随相遇能量 (ΔpEn) 的增大而增大(图3), 回归线斜率是在各种贮藏条件和贮藏时间下对每一品种所做试验算出的。单位相遇能量内损伤体积的变化 ($\Delta BV/\Delta pEn$) 差异显著(由试验方差分析, $F>100$) 并随着贮藏时间延长而增大(图4)。经

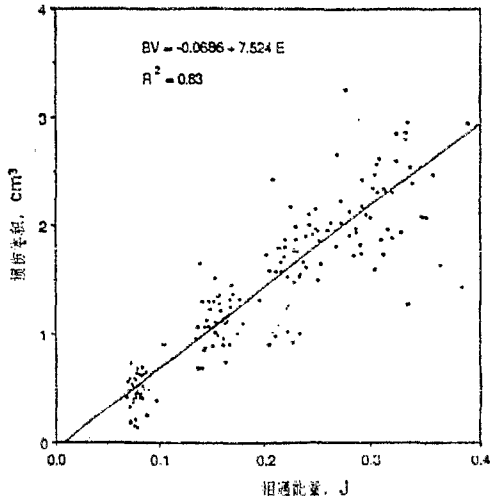


图3 损伤体积与相遇能量的关系, McIntosh 苹果低温贮藏14天

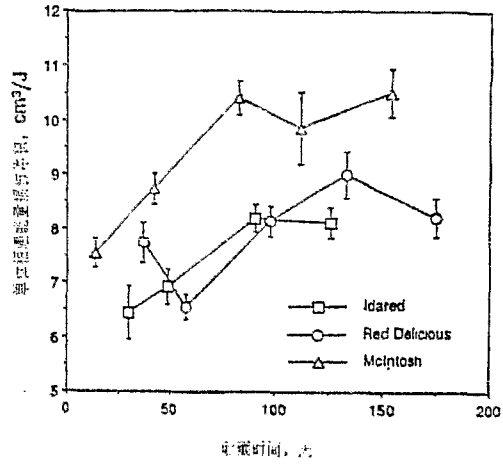


图4 苹果在低温贮藏过程中单位相遇能量内损伤体积的变化

过3个月的低温贮藏, McIntosh 和 Idared 的损伤比刚收获时增大了30%, 其后无明显变化, McIntosh 的损伤比 Red Delicious 和 Idared 大20-30%。图5表示 Idared 低温贮藏125天和气调贮藏253天内 $\Delta BV/\Delta pEn$ 的变化情况。在65-125天内有两种贮藏条件下的数据, 这时二者的 $\Delta BV/\Delta pEn$ 类似, 但是在最长的两种贮藏时间(225天, 253天), $\Delta BV/\Delta pEn$ 却进一步增大。Red Delicious 有类似的结果。

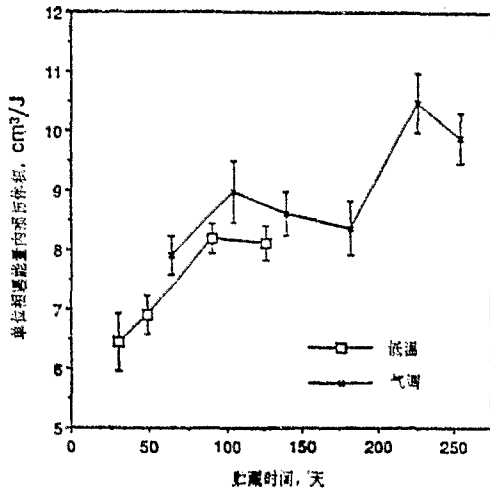


图5 Idared 苹果在低温贮藏和气调贮藏过程中单位相遇能量内损伤体积的变化

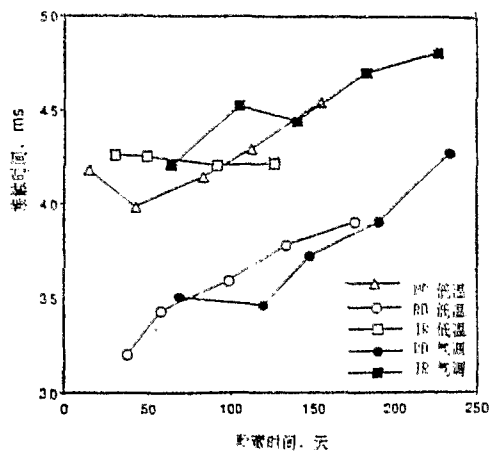


图6 贮藏过程中从10cm高处跌落后撞击接触时间与贮藏时间关系的变化, 标准误差的均值为0.4ms

2.5 撞击接触时间与贮藏时间的关系 在损伤体积的测量中有大的变化, 所以 $\Delta BV/\Delta pEn$

$\Delta A_p E_n$ 与贮藏时间的相关性可能是低水平的 (表 1 中变化系数为 28%)。 原先试验表明, 撞击时间和损伤体积相比变化较小, 因而撞击时间应当成为水果在长期贮藏过程中坚实度 (firmness) 变化的更精确的度量。 40 只苹果在同一个高度做跌落试验, 其撞击接触时间如图 6 所示随贮藏时间平均增长 20%。 每个标绘点的标准误差约为 0.4ms。 方差分析表明, Idared 在冷藏中其撞击接触时间不受贮藏时间的影响, 而所有其他品种则均与贮藏条件有明显差异 ($F > 10$)。 在贮藏初期变化较小, 随后当苹果失去坚实度时变化增大。 Idared 及 McIntosh 同 Red Delicious 相比接触时间较长, 这与 Red Delicious 的坚实度大于 McIntosh 是相符的。 两种贮藏方式在同一时刻的取样数据有类似的接触时间。 在冷冻贮藏以后继续气调贮藏的时间里, 接触时间持续上升。 在其他跌落高度也有类似的关系 (图 7), 所不同的只是当跌落高度从 0.05m 升到 0.20m 时接触时间下降约 0.5ms。 比较碰撞接触时间和 $\Delta BV/\Delta A_p E_n$, 两者随贮藏时间在数量上有类似的变化。 以贮藏时间为横坐标绘图, 碰撞接触时间曲线与 $\Delta BV/\Delta A_p E_n$ 曲线相比易变性较小。 试验样品数量较大时, 两者将产生类似的信息。 但是对少量的样品而言接触时间的结果将更可靠。

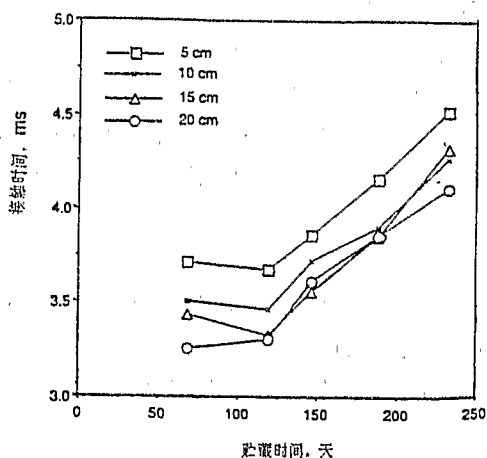


图 7 Red Delicious 苹果在气调贮藏过程中, 从不同高度跌落的碰撞接触时间与贮藏时间关系的变化

2.6 其他碰撞参量 Garcia et al (1988) 提出组合参量可能分辨出成熟度的较小的变化。 Delwiche (1987) 发现 F/T (峰值力/到达峰值力所经历时间) 与水果坚实度强烈相关。 撞击速度 (即跌落高度) 对参数 F/T 有较大影响而水果尺寸对其影响较小。 5 只苹果每只分别从 6 个不同高度跌落的试验数据产生了如图 8 所示的 F/T 与相遇能量之间的关系。

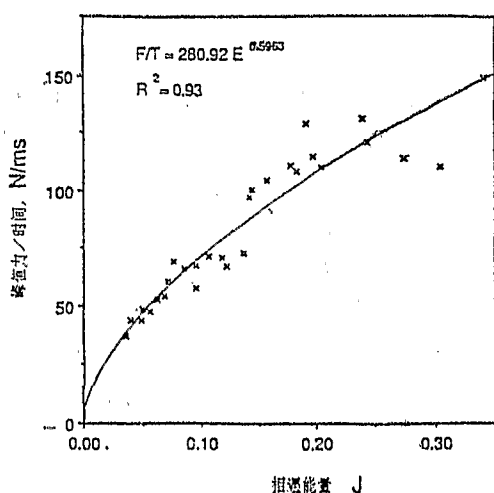


图 8 峰值撞击力/达到峰值力所经历时间与相遇能量的关系。 Paula Red 苹果采摘当天的跌落试验

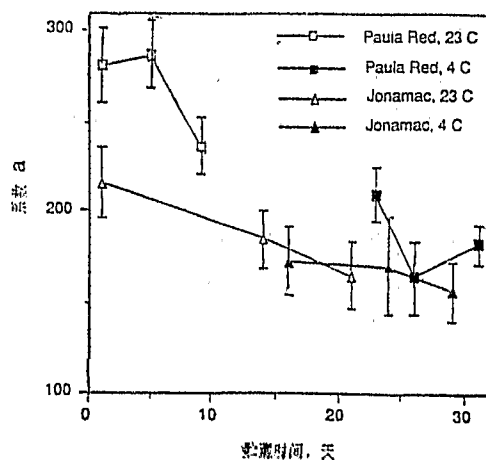


图 9 在方程 $F/T = a(A_p E_n)^b$ 中, 系数 a 随贮藏时间的变化

这些数据除了被拟合为一个幂函数关系之外与一直线也有较好的相关性。在幂函数 $F/T = a(ApEn)^b$ 中, 系数 a 随时间下降而系数 b 没有明显变化趋势。系数 a 或对数-对数曲线的截距随贮藏时间而下降(图9)。根据方差分析, Paula Red 苹果的 $F = 263$, Jonamac 苹果的 $F = 34$, 表明与贮藏时间有明显差异。在贮藏的前15天系数 a 大幅度下降, 随后降幅变缓。对 Paula Red 苹果 a 值开始较大, 但最后降至与 Jonamac 苹果类似的水平。在贮藏过程中, 苹果逐渐变软, 峰值力下降而到达峰值力所经历时间延长, 所以比值 F/T 随着两个变量的变化其值增大的敏感度将大于两者之中的任何一个。从刚采摘到果品变软, a 值下降了25%。 F/T 值看来是对果品坚实度变化较敏感的参量, 而且和其他碰撞参量相比易变性较小。它也和贮藏过程中损伤体积的变化有关。

3 结论

①苹果四周组织特性的变化对跌落碰撞参量的测量有明显影响。②单位吸收能量内的损伤体积随贮藏时间而减小。③单位相遇能量内的损伤体积随贮藏时间而增大, 在贮藏方式和苹果品种之间存在差异。④在贮藏过程中撞击接触时间增大与损伤体积相比, 其结果的易变性较小。⑤ F/T 的对数随相遇能量的对数而线性增大, 这一关系随贮藏时间而减小。

参 考 文 献 (9篇, 略)

吴劲松摘译自: *Trans. ASAE*, 32, 3 (1989): 953-957. (董务民校)

农业物料动态力学性能的理论及测量

[匈牙利] G Sitkei

1 载荷类型

收获、加工和运输等过程常使谷物、果品、蔬菜受到发生机械损伤的撞击载荷。但动态载荷有时却又用来减小物料体积(压缩)、分离作物(自由切割)或粉碎谷粒。甚至动态载荷对获得意义明确的力学特性(粘弹性, 本构方程)或物料的各种响应特性(例如比切割能量或比粉碎能量, 破坏能量, 破坏应变等与循环次数的关系)也非常有用。

物料的力学行为在很大程度上依赖于载荷的特性。最常见的载荷类型和状态见图1。应根据研究和开发目标的需要来选择合适的载荷类型和状态。过去广泛采用简单的跌落试验装置和让农产品跌落到刚性表面的方法。而精确的撞击测量则需要配备有高频压电式传感器和数据采集系统的高级跌落实验装置。典型的力(F)、位移(z)和速度(v)的曲线如图2所示。

一个重要的载荷类型是对于变形增量或力增量保持给定的恒定速度, 这样就能够以简单的方法确定粘弹性参数^[6,12]。

最近已成功地用循环动态载荷来描述谷物干燥后的运输损伤特性和破坏特性。通常的载