

基于果品采后动态贮藏品质的防护包装设计

姜珺珺, 陈惠

(江西科技学院, 南昌 330098)

摘要: **目的** 基于实验得到果品动态贮藏品质, 为果品的防护包装设计提供理论基础。**方法** 确定在轻微冲击下果品的保护性要素, 以最大限度地减少产品破损率和降低运输成本。**结果** 硬度、色度和质量等 3 个要素是果品贮藏保鲜的主要指标, 为了能够在保证品质的前提下延长果品的贮藏寿命, 需从表观品质动态损伤脆值方面着手进行防护性包装设计。**结论** 对于受到轻微损伤的果品, 在设计保护性包装方案时的重要标准就是将冲击的强度(峰值加速度)控制在一定范围内, 根据实际要求得到需要贮藏的时间, 再根据时间和动态脆值的关系, 得到设计缓冲包装需要的动态脆值, 以此为基础可以进行水果包装的整体设计。

关键词: 产品破损率; 贮藏寿命; 动态脆值; 包装设计

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)11-0058-06

Design of Protective Packaging of Fruits after Picking Based on the Dynamic Storage Quality

JIANG Jun-Jun, CHEN Hui

(Jiangxi University Of Technology, Nanchang 330098, China)

ABSTRACT: Based on the experimental results, the dynamic storage quality of fruits was obtained, which provided the theoretical basis for the protective packaging design. The protective factors of fruits under a slight impact were determined, maximizing the reduction of breakage rate of products and transportation costs. Hardness, color and quality are the main indicators of the preservation of fruits. In order to extend the shelf-life of fruits under the premise of quality assurance, protection packaging design was conducted in terms of the apparent quality fragility of dynamic damage. When designing the protective packaging solutions to the fruits experienced slight damage, one of its important standards was controlling the shock intensity (peak acceleration) within a certain range. Required storage time was obtained according to the actual requirement, then the dynamic fragility required for the design of cushioning packaging was attained according to the relationship between time T and dynamic fragility to complete the overall design of fruit packaging.

KEY WORDS: product breakage rate; shelf-life; dynamic fragility; packaging design

近年来,随着果品生产的发展^[1],果品包装业随之得到较快发展,有部分精美、品牌包装在国内市场上形成了一定的影响力,带动了产业发展和效益增长^[2]。机械损伤是水果损坏的主要形式,也是病原微生物的入侵之门,以及导致水果霉烂的最主要原因^[3-4]。据估计,在高度机械化的国家,水果

由于机械损伤而引起的平均损耗约占总质量的 10%~20%,而我国已接近 30%^[5]。根据统计资料表明,2004 年,我国水果总产量已超过 1.5 亿 t,经济损失近达 800 亿元人民币^[6]。目前对果品损伤的研究有单个苹果和多层苹果形成的包装系统等 2 种形式^[7-8],文中主要分析单个苹果在临界高度以

收稿日期: 2015-11-11

作者简介: 姜珺珺(1982—),女,江西南昌人,硕士,江西科技学院艺术设计学院讲师,主要研究方向为艺术设计。

下受到跌落冲击时果品发生的软损伤。在果品受到软损伤的情况下,对其以后贮藏过程中主要表观品质和贮藏期的影响作用,通过对比试验比较得出相关的具体数据,并基于此对果品采后动态贮藏品质进行一定的防护包装设计。

1 实验

实验材料为苹果,它属于呼吸跃变型果品,呼吸强度平均为 11.96 mg / (kg · h),pH 值为 4.8 (偏酸性),含糖量为 14%,耐贮性较强,保鲜时间较长^[9]。机械损伤不仅使果实表面出现褐色斑块,果实呼吸强度迅速增加,并且细胞内促进活性氧产生的脂氧合酶的活性也会增加,果皮增加的幅度高于果肉;具有消除自由基作用的 SOD 和 CAT 的活性在损伤后也突然升高,但在损伤后第 2~6 天活性逐渐下降。同时,损伤后 POD 活性、MDA 含量以及膜透性都会显著增加,说明机械损伤破坏了生物膜的完整性,促进了脂质过氧化物的产生,导致衰老性状的提前出现^[10-13]。当机械损伤较小时,虽然内部也会发生一系列的生物活性变化,但是短时间内其外观不会有大的改变,通过一段时间的贮藏,其又会慢慢地表现出与优质未受损果品的差距^[14-15]。为了探究在轻微损伤下苹果的贮藏时间和主要表观品质随时间的变化规律,设计试验如下所述。

1)实验材料均为同品种陕西产新鲜富士苹果,

购于当地大型果品批发市场。选取大小均匀,成熟度一致,形状规则且无机械损伤和病虫害的果实,等效直径为 72~80 mm,质量为 164.4~203 g,坚实度为 0.68~0.80 MPa。

2)试验前先对每个苹果进行编号分组,试验高度从低到高逐渐增加。跌落试验为单次跌落,在试验操作过程中。控制好跌落角度,苹果开始摆的位置与撞击点位置之间的夹角必须人为进行控制。手要保持无助力释放,在放手时保证苹果冲击的姿态,即每次都冲击在苹果的同一个部位。

3)从前面试验得到的首超损伤跌落高度为 3.5 cm,设计高度组 5 个,分别是 1,1.5,2,2.5,3 cm。每个高度采用 1 个试样,对每个试样编号分组。冲击试验之前,测量苹果试样的质量,测出不同部位试样直径,求出平均值即为试样的等效球径。进行跌落试验后对跌落位置进行标记,并放在室温下进行同条件常温贮藏。

2 苹果跌落后贮藏期主要表观品质的变化

2.1 贮藏过程中苹果质量的变化

苹果在采摘后的贮藏过程中,仍然会进行物理化学变化,由于呼吸作用的存在,苹果的质量也会随着时间的推移而改变。通过试验得到 5 个对照组,并保存在室温 23~30℃ 的同一环境下,保存期间无其他损伤,质量变化数据见表 1。

表 1 苹果跌落后室温贮藏期间质量的变化
Tab.1 Quality change data of apple stored at room temperature after dropping

贮藏期/d	质量/g					
	A (1 cm)	B(1.5 cm)	C(2 cm)	D(2.5 cm)	E(3 cm)	F(0)
1	247.7	234.3	257.7	242.5	249.2	241.6
5	246.3	232.9	256.2	241	247.5	241.5
7	245.6	232.1	255.5	240.2	246.8	241.3
9	244.8	231.3	254.9	239.3	245.1	241.0
12	243.5	230	254	238.2	244	240.8
14	242.7	228.9	253.2	237.5	243.3	240.5

分析表 1 数据可知,每组苹果随着时间的推移,质量在逐渐减少,而每日减少的质量在一个较小的范围内波动,随着贮藏时间的推移,苹果质量减少的速率基本不会改变;通过对不同高度试验组之间的比较可知,质量的变化没有相应的递变关系,随着跌落高度的增加,质量每日减少的数值也是在一

个较小的范围内波动,日减少均值在 0.3~0.5 g 之间。

在首超损伤跌落高度以下的试验组苹果,其质量随时间变化的关系可用一次函数表示,其斜率范围在 0.34~0.47 之间。随着高度的增大,质量变化速率并没有表现出明显的区别,这一点和损伤较大、较严重时的结果不同。由此可见,在损伤较轻时,

苹果的质量变化主要影响因素还是自身的物理化学作用,受损并不是改变其表观品质中质量的关键性因素。下面将各组苹果平均质量 m 和贮藏时间 t 作为 2 个变量,得到两者之间的变化关系,通过拟合得到相应的表达式: $m=-0.4t+246.7$ 。

通过查阅资料知,苹果在贮藏期间的质量变化主要受呼吸作用的影响。当果品受到较大创面的机械损伤时,其内部结构会发生一系列变化,使这些生化活动有所加剧。同时,果品的损伤会影响微生物的生存环境,使得受损面变软、果品腐败。当机械损伤较为严重、受损面积较大时,这些作用变得更加显著。对于上述实验组来说,由于跌落高度较小(首超跌落高度以下),受创面较小,且夏季室温较高,果品本身的呼吸作用较强,所以得到上述数据。

2.2 贮藏过程中苹果受损处 $L^*a^*b^*$ 色度变化

苹果的表面色度是其表观品质的一个重要参数,通过观察其表皮色度,可以知道苹果的成熟情况以及是否新鲜。现行的各种色彩表示法中,以国际照明委员会(CIE)1976年推荐的 $L^*a^*b^*$ 表色系与人的感觉最相一致,也最直观。 $L^*a^*b^*$ 表色系的立体模型见图1,其他色度值由以下定义公式求取。色相角: $H=\arctan(b^*/a^*)$; 彩度: $C=(a^{*2}+b^{*2})/2$; 色彩饱和度: $S^*=C^*/L^*$ 。

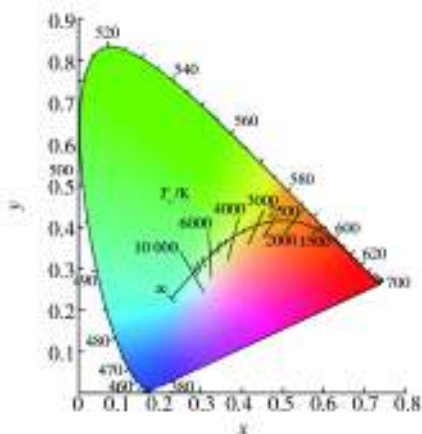


图1 $L^*a^*b^*$ 表色系的立体模型

Fig.1 Three-dimensional model of colors of $L^*a^*b^*$ chart

对于光源的选择,该试验采用国产爱色丽 X-Rite 530 分光密度仪,色度标注为 CIE94 D75/10。在色彩测定过程中,用附属标准白色校正色差计读数后再测试样品(跌落标记部分和对照部分),读取 $L^*a^*b^*$ 各值,为减少测定误差,每样测定 5 次后取其平均值,并记录试验数据见表 2—3。

试样 A, B, C, D, E 组分别为 1, 1.5, 2, 2.5, 3 cm 跌落组,每组有 2 处损伤数据(下标 1、2)和一处未损伤对比数据(下标为 3)。

表 2 苹果色度测试初值
Tab.2 Initial test values of apple chromaticity

试样 编号	色彩测定初值		
	L^*	a^*	b^*
A ₁	38.44	77.04	18.46
A ₂	43.10	24.10	19.90
A ₃	41.43	28.38	16.12
B ₁	56.97	7.73	30.42
B ₂	57.20	7.36	31.22
B ₃	42.96	28.22	17.80
C ₁	38.32	33.58	17.15
C ₂	56.65	11.25	28.06
C ₃	42.41	28.91	16.22
D ₁	47.53	19.02	21.99
D ₂	43.75	19.60	18.40
D ₃	45.17	24.12	22.46
E ₁	50.25	25.19	17.59
E ₂	45.48	8.42	26.29
E ₃	36.32	33.76	15.63

表 3 苹果色度测试终值
Tab.3 Final test values of apple chromaticity

试样 编号	色彩测定终值		
	L^*	a^*	b^*
A ₁	33.64	22.64	27.85
A ₂	38.86	14.54	26.53
A ₃	40.53	27.18	16.17
B ₁	50.13	13.65	26.74
B ₂	52.80	15.26	25.48
B ₃	40.13	23.24	19.30
C ₁	35.21	25.64	26.76
C ₂	54.14	14.25	27.25
C ₃	40.48	24.27	19.33
D ₁	42.15	15.33	26.34
D ₂	42.14	13.11	27.86
D ₃	41.34	21.42	26.35
E ₁	46.78	15.76	26.12
E ₂	43.65	14.69	28.86
E ₃	33.54	30.34	20.43

中间省略了几次测量记录表格,只列出了最后苹果损伤后的色度结果,随着跌落高度的提高,苹果的贮藏时间会变短,测量次数就相对较少。从试验结果可以看出,明度 L^* 值从大到小由白色向黑色

随着时间变化,但变化值较小,且损伤处和不损伤处跌落高度对照之间都没有明显的差别;色度 a^* 值越大则越偏红色,色度 b^* 值越大则越偏黄色,对于观察处初始颜色较红的则变化较大,随时间推移而变小;对于观察处初始颜色较浅、显黄色的则在上下较小范围内浮动;苹果损坏处的色度接近于 40, 15, 30。随着时间的变化,色度的各相值都会

向损坏色度值慢慢靠近,且随着跌落高度的变大,变化速度越快。

为了研究贮藏过程中苹果的主要色度参数(色度 $L^*a^*b^*$) 随时间的变化关系,在跌落试验后分别对各组受损部位进行了多次色度测量,记录了其受损面的相关变化数据,并通过 Matlab 整理绘制成图表。5 个对比组主要色度参量随时间的变化见图 2。

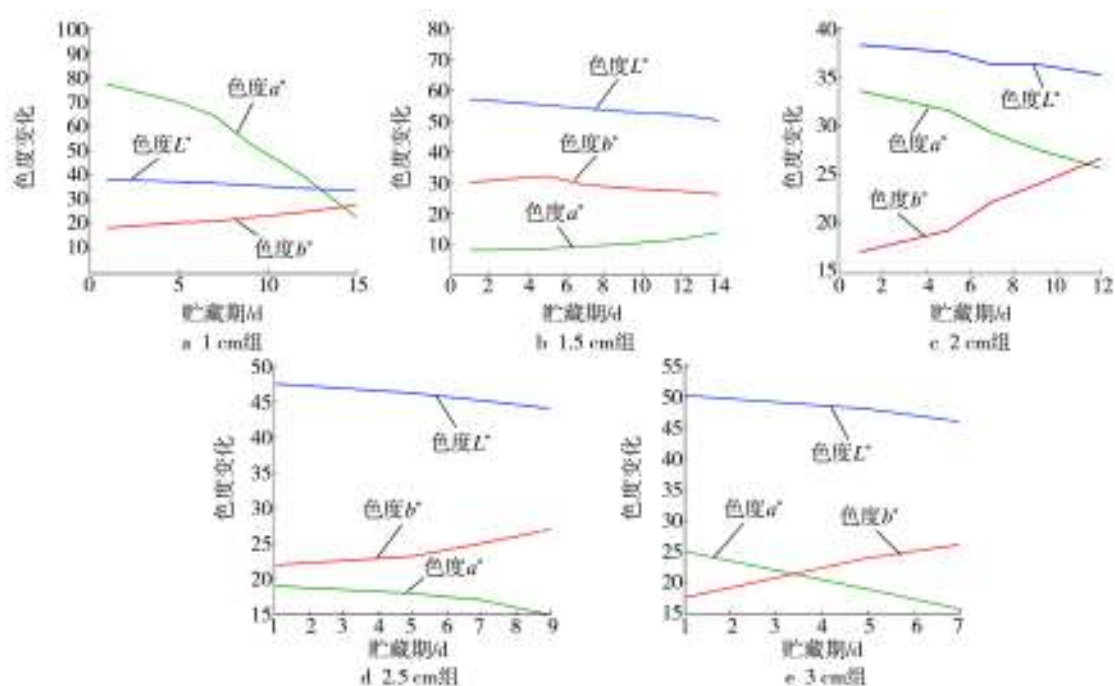


图 2 苹果色度随时间的变化
Fig.2 Variation of apple chromaticity with time

从图 2 可知不同跌落高度下色度变化原始值的差别很大,这主要是由于富士苹果不同部位果皮色度是不同的,各个部位的果皮色度存在一定差异(中部的色度品质较好,上部和下部的较差,这可能与光照有关)。根据图 2 得出不同跌落高度下色度变化量随时间的变化规律,各处的色度变化会有所不同,偏红色的部分从新鲜到腐败的 3 个色度值都会有很明显的变化;偏黄色的部分在贮藏过程中,其某些色相的变化就相对不是很强。总之,苹果的表皮色度会随着时间而向着一个小范围的腐败色度波动值变化,初始色度值差距较大的变化量较大,初始色度差距较小的变化量较小。在高度方面,由于跌落高度较大的其贮藏时间会明显变短,而腐败的颜色差距不大,所以相对于跌落高度小的组别,色度变化速率相对较快。

2.3 贮藏过程中苹果硬度及贮藏寿命变化

测试苹果硬度时手握硬度计,使硬度计垂直于

被测水果表面,压头均匀压入水果内,此时驱动指针开始驱动指示指针旋转,当压头压到刻度线(10 mm)处时停止,指示指针指示的读数即为水果的硬度,取 3 次的平均值。在测试硬度时会对受测部分造成较大损伤,使其无法继续贮藏观察下去,而不同的苹果初始硬度会有一定差距,所以在试验中另外设计了一组硬度对照组,用来得到硬度随时间的变化关系。

试验组选择 5 个跌落高度(1, 1.5, 2, 2.5, 3 cm)进行跌落,每个试样跌落 4 次,分别记做 A, B, C, D,将苹果在相同环境常温贮藏直到超出贮藏寿命,在此过程中多次测量硬度值,并记录,见表 4。

由表 4 可知,同一高度,随着时间变化,硬度会逐渐变小,苹果逐渐变软;同一高度,随着时间的推移,硬度变化的速率会逐渐增大;在不同高度、相同测量时间下,跌落高度越大,硬度变化量越大,硬度变化越明显。

表 4 苹果硬度随时间变化的关系
Tab.4 Variation of apple hardness with time kg/cm^2

跌落高度/cm	测试时间				
	第 1 天	第 5 天	第 9 天	第 12 天	第 14 天
1	5	4.8	4.5	4.2	4
1.5	4.6	4.2	3.9	3.7	3.4
2	5.6	5.1	4.8	4.5	4.2
2.5	4.8	4.4	3.9	3.5	3.3
3	6	5.5	4.9	4.4	3.8
0	5.0	4.7	4.6	4.3	4.1

在贮藏期间,随着时间的推移,苹果的硬度显著下降。上述每组中下降的幅度是不同的。到第 14 天,1 cm 组和 3 cm 组分别是开始硬度的 80% 和 53%。显然水果机械损伤较大,软化的速度就越快。冲击损伤会导致水果的品质下降,然而对运输振动导致的机械损伤与运输后水果存放期间硬度变化之间关系的机制还不是很清楚。一般认为,运输过程导致的机械损伤会影响水果的外观品质,使水分丧失,使腐败微生物容易入侵。据此推测,苹果的机械损伤部分由于暴露在空气中,氧化、失水和微生物入侵可能是水果品质下降的主要因素。

对于苹果来说,如何确定其是否在保质期内由一定的主观因素决定。在贮藏的过程中是否在贮藏寿命内无法用硬性的观察标准或者测量方法来决定,所以为了得到这个主观结果采用感官评价的处理方法。将放置后的苹果给 20 名同学观看,记录下他们是否认可购买这样的苹果,并统计数据。当认可购买人数比例超过 70% 时,认为此苹果符合要求。在贮藏寿命内,低于规定值时,认为苹果已经为劣质品。用上述方法得到了试验组苹果的贮藏寿命,在室温 $22^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 下,跌落高度为 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 cm 时,贮藏寿命分别为 16, 15, 14, 12, 9, 7 d。

当跌落高度较小时,苹果的贮藏寿命接近于未受损时的时间(14~16 d);随着跌落高度的慢慢变大,所受冲击越来越强烈,贮藏寿命的减少速率会变大,时间大大缩短(4~12 d);当收到的冲击接近于首超损伤脆值时,苹果的贮藏寿命又稳定在一个很小的范围内(1~2 d)。

苹果的硬度主要与其内部的果胶含量和属性有关,未成熟的果胶主要为原果胶。随着果实的成熟和贮藏,在果胶酶的作用下原果胶与纤维素分离,并分解为果胶,细胞间失去粘结作用,组织松弛,果实变软。由于本身的其他物理化学作用以及微生物的影响,其硬度也会随着时间的推移逐渐变小。通过试验发现,受损伤的部位其硬度变化的速率相

对于未损伤处更快,将硬度日均变化值 H_c 作为变量 1,对应试验组的储藏寿命 t 作为另一变量,可以得到硬度变化的动态损伤脆值: $H_c=H_1-H_2$, H_c 为质量变化量, H_2 为 H_1 后一次的测量值)。曲线对应的方程为: $H_c=5.562\times 10^{-4}t^2-2.169\times 10^{-2}t+0.273$ 。

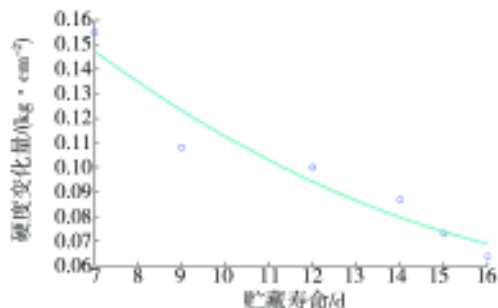


图 3 硬度变化速率随不同跌落高度下贮藏寿命变化曲线
Fig.3 Variation of hardness change rate with shelf-life under different drop height

图 3 中的点是由试验所获得的实际数据,通过对比实际试验所得数据可知其走势趋向逐渐变缓。当跌落高度很低时,其硬度变化量很小,对应的贮藏时间接近于无损时的保质期。当跌落高度接近于首超损伤跌落高度(该实验为 3.5 cm)时,其贮藏时间在 7 d 左右。通过大量的试验研究可以得出更准确的关系曲线,从而更好地表示出苹果硬度的变化情况,便于建立相应的包装保护方案。

3 基于果品采后动态贮藏品质的防护包装设计

3.1 基于贮藏寿命的果品动态损伤脆值

记录首超损伤跌落高度以下的试验组苹果跌落冲击时的峰值加速度和其常温贮藏后的贮藏寿命可知,在室温 $22^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 下,跌落高度为 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 cm 时,峰值加速度为 0, 170, 209, 217, 255, 294 N/kg。

在首超损伤跌落高度以下时,无法通过其跌落冲击的强度直接得到受损时的加速度脆值,为此引入基于贮藏寿命的果品动态损伤脆值的概念:定义 A_c 为基于贮藏寿命的动态损伤脆值,通过 Matlab 拟合数据得到峰值加速度随时间的变化曲线,求出含贮藏寿命 t 的 A_c 函数表达式。拟合曲线对应的方程为: $A_c=-0.315t^2+4.67t+12$ 。

该表达式用来大致表明临界高度以下峰值加速度和贮藏寿命之间的关系(t 在 7~16 d 范围内),对于设计相应的防护包装有着一定的作用。通过贮藏寿命的要求选择来确定其相应的动态损伤脆值(见图 4),进而进行进一步的缓冲包装设计。对于高

于临界高度的受损缓冲包装设计, 仍然需要根据损伤脆值曲线来进行。

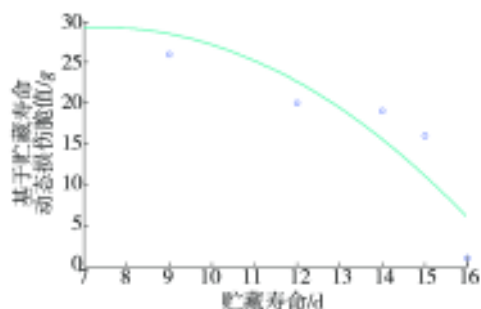


图4 苹果基于贮藏寿命的动态损伤脆值曲线

Fig.4 Dynamic bruise fragility curve of apples based on shelf life

4 结语

分析了单个苹果在临界高度以下受到跌落冲击时果品发生的软损伤, 以及在受到软损伤的情况下, 对其以后贮藏过程中主要表现品质和贮藏期的影响。设计了对比试验, 以此为依据对果品采后动态贮藏品质进行了一定的防护包装设计。

苹果在首超损伤跌落高度以下受损时, 同样会造成果品内部组织的物理化学变化, 导致品质的下降。由于冲击较轻微, 所以在短时间内不容易观察出差别。受伤的果品其贮藏寿命、主要表现品质会随着时间的推移相对于未损伤处加速腐败。为了减少这种损伤, 在保护性的包装措施中就要提出新的方案。从贮藏期出发, 通过试验, 得到了基于贮藏寿命的动态损伤脆值, 从而为缓冲包装的设计找到重要依据。其作用的原理同样是控制果品受冲击时的强度(峰值加速度)在一定的范围内, 从而提高果品抗冲击能力, 保证其后的寿命和主要表现品质满足实际需要。

参考文献:

- [1] 葛武伟. 果品包装产业发展现状与对策[J]. 包装世界, 2005(2):58—60.
GE Wu-wei. Development and Countermeasures of Fruit Packaging Industry[J]. Package World, 2005(2):58—60.
- [2] 沈贵银, 丛佩华, 仇贵生, 等. 循环经济模式下的生态果园建设与有机果品开发探讨[J]. 中国果树, 2006(6):56—59.
SHEN Gui-yin, CONG Pei-hua, QIU Gui-sheng, et al. Discussion and Development of Organic Fruit and Construction of Ecological Orchard under Circular Economic Model[J]. China Fruit, 2006(6):56—59.
- [3] YONG Y C, BILANSKY W K. Modes of Vibration of Spheroids at the First and Second Resonant Frequencies[J]. Transactions of the ASABE, 1979(6):1463—1466.
- [4] WOENSEL G V, VERDONCK E, BAERDEMAEKER J D. Verdonck Measuring the Mechanical Properties of Apple Tissue Using Model Analysis[J]. Journal of Food Process Engineering, 1988, 10(3):151—163.
- [5] 杨晓清, 王春光. 果品静载流变特性的研究进展[J]. 农业工程学报, 2005(9):178—182.
YANG Xiao-qing, WANG Chun-guang. Advances of Fruit Static Load Rheological Properties[J]. Agricultural Engineering, 2005(9):178—182.
- [6] 李辉, 张琰. 中国水果果品走向国际市场的营销策略[J]. 新疆农垦经济, 2005(1):52—55.
LI Hui, ZHANG Yan. Marketing Strategy of Chinese Fruit Walk into International Market[J]. Reclamation Economy, 2005(1):52—55.
- [7] 黄祥飞, 卢立新. 梨果实共振特性及振动损伤的实验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(7):1—3.
HUANG Xiang-fei, LU Li-xin. Research on Resonant Properties and Vibration Bruising of Pears[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7):1—3.
- [8] 卢立新, 黄祥飞, 华岩. 基于模拟运输条件的梨果实包装振动损伤研究[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6):110—114.
LU Li-xin, HUANG Xiang-fei, HUA Yan. Effect of Packaging Methods on Vibration Bruising of Pear Fruits by Simulated Transport Tests[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6):110—114.
- [9] 聂继云, 吕德国, 李静, 等. 苹果果实中类黄酮化合物的研究进展[J]. 园艺学报, 2009(9):1390—1397.
NIE Ji-yun, LYU De-guo, LI JING, et al. Progress of Flavonoids in Apple Fruit[J]. Journal of Horticulture, 2009(9):1390—1397.
- [10] 李小昱, 王为, 赵静. 苹果碰撞损伤预测模型的研究[J]. 西北农业大学学报, 1995(2):79—83.
LI Xiao-yu, WANG Wei, ZHAO Jing. Damage Prediction Model of Apple Collision[J]. Journal of Northwest Agricultural University, 1995(2):79—83.
- [11] 王俊. 梨桃各向流变特性及动态特性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001.
WANG Jun. Study of Each Rheological Properties and Dynamic Characteristics of Peach and Pear[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2001.
- [12] ZHANG X, BRUSEWITZ G H. Impact Force Model Related to Peach Firmness[J]. Trans ASAE, 1991, 34(5):2094—2098.
- [13] 李小昱, 王为. 苹果之间碰撞损伤的研究[J]. 西北农业大学学报, 1995(3):83—87.
LI Xiao-yu, WANG Wei. Study of Collision Damage between Apples[J]. Journal of Northwest Agricultural University, 1995(3):83—87.
- [14] PELEG K. Package. Produce Interaction in Corrugated Containers for Fresh Produce[J]. Trans Am Soc Agric Engrs, 1981, 24:794—800.
- [15] PITT R E, CHEN H L. Time Dependent Aspects of Strength and Rheology of Vegetative Tissue[J]. Trans Am Soc Agric Engrs, 1983, 26:1275—1280.