

# 力学损伤香蕉的外观品质演变特性研究

徐凤英, 吴冠活, 邹湘军, 李长友, 徐策, 黄少青

(华南农业大学 南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室 广东 广州 510642)

**摘要:** 试验研究成熟香蕉受不同压载强度作用损伤表面的硬度、色差、果体损伤等外观品质随放置时间的演变特性。结果表明, 损伤后香蕉随放置时间的增加, 单位硬度的降低与压载强度呈较显著的相关性, 相对色差的  $DL$ 、 $Da$ 、 $Db$  值改变与压载强度相关性较弱, 只表现较为明显的趋势性, 高强度均匀的面压载作用对香蕉的整体品质变化影响强于集中点压载的作用, 轻微强度均匀的面压载作用与无压载自然放置性能接近, 利于减轻香蕉贮存、运输过程的力学损伤, 延长其生理寿命。

**关键词:** 香蕉; 力学损伤; 品质演变

中图分类号: TS255.3 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2011)01 - 0194 - 06

## The Evolution of Appearance Quality Characteristics of Banana with Mechanical Damage

XU Feng-ying, WU Guang-huo, ZOU Xiang-jun,  
LI Chang-you, XU Ce, HUANG Shao-qing

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, South China Agricultural University, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The results showed that with the increasing of storage time after damage, its unit hardness reduction had relatively significant correlation with compressive pressure, but the relative values of color difference  $DL$ ,  $Da$ ,  $Db$  had small correlations, but showed significant tendency. The effect of uniform surface compressive load with high pressure on the overall quality of banana was stronger than that of the concentrated point compressive load, but the effect of uniform surface compressive load with minor pressure on banana performance was close to that of natural storage without compressive load, which helped to reduce the mechanical damage in banana in the storing and transporting process and prolong its physical lifetime.

**Key words:** banana; mechanical damage; evolution of quality

香蕉是我国南方一种重要经济水果, 近年来, 我国香蕉生产得到快速发展, 总产量已从 1978 年的 8.5 万 t 发展到了 2008 年的 783.5 万 t<sup>[1]</sup>。青香蕉采摘后放至成熟状态, 果肉质地软化、风味改善, 易于销售。但成熟香蕉在贮存、运输过程中易受振动、碰撞、挤压作用, 造成局部细胞承载损伤破裂, 引起伤口区微生物侵袭, 果体褐变, 品质快速下降, 我国每年因损伤而引致的香蕉损耗高达总量的 30% ~ 40%<sup>[2-3]</sup>。为揭示香蕉品质改变机理, 近年来, 研究者<sup>[4-8]</sup>集中研究了香蕉等果蔬引起品质变化的两种基本状态, 对其进行了外表色泽和质地变化进行了生化机理研究, 发现成熟细胞的酶褐变与细胞壁分

收稿日期: 2010 - 09 - 09 修回日期: 2010 - 10 - 26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31071583) 和广东省自然科学基金资助项目 (845106420100873 9251064201000009)

作者简介: 徐凤英 (1970—) 副教授, 博士, 主要从事农产品加工及其智能装备技术研究, E-mail: xu\_fy@scau.edu.cn。

解是一个生化物质反应品质慢速降低的过程,细胞的力学损伤则加剧了其肌理的恶化。以上研究<sup>[9-12]</sup>主要从微观生理变化揭示香蕉品质的改变过程,缺少与受载作用力强度间的关联,对规范化降低香蕉贮存、运输过程的机械损伤的实用指导意义有限。因此本研究将进行香蕉力学定量力压载作用下的品质研究,以指导外力作用下的贮存、运输等设备的工艺设计,为香蕉品质的检测<sup>[8]</sup>、加工以及贮藏设备的研制提供理论参考。

## 1 材料与设备

### 1.1 香蕉材料选用

试验选用大小均匀,质量约为 30 g 的广东产新鲜无损伤成熟香蕉果,以距蒂部 3 mm 为测定基准,依次在其同一面取 3 点,每 30 mm 为一测点间距,在待测定香蕉端面进行均匀压载(图 1)。

1.2 试验设备与测试仪器 香蕉力学压载采用 WD-20KE 精密型电子式万能力学试验机,由广州广材试验有限公司制造,测试范围为 0.20~20 kN,压载速度 0~500 mm/min,力学试验机压载速度为 0.1 N/s。水果硬度测定采用广州铭睿电子公司生产的 GY-1 型水果硬度计,测头尺寸为  $\Phi 3.5$  mm,测试范围为 2~15 MPa,测试精度为 0.1 MPa。色差测定采用日本美能达公司的 CR-10 型色差计,精度为 0.1,测量直径为 8 mm,采用标准白板为测试基准。

1.3 试验条件 针对香蕉个体果皮厚度生长不均引起的硬度差异,以及成熟香蕉在贮运过程受到不同强度作用力、不同截面压载作用后的品质随放置时间的改变,本研究以分组实验考察以上条件下成熟香蕉受损后果体的每单位果皮厚度硬度(后续简称为单位硬度)、果体肉色差无损测定<sup>[13-15]</sup>改变与放置时间的变化特性,实验组具体分类见表 1 所示。

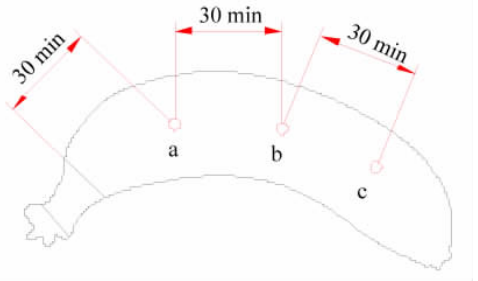


图 1 香蕉测试点布置图

Fig. 1 Layout of test points on banana

表 1 香蕉单位硬度试验分类条件

Tab. 1 Classification conditions of the unit hardness testing for banana

压载类型 Compressive load types	压载端面直径/mm Face diameter of the pressure load	压载试验条件/N Condition of the pressure load
点压载 Point compressive load	10	15
		20
		25
面压载 Surface compressive load	100	5
		10
		15

## 2 结果与分析

### 2.1 成熟香蕉力学损伤后的硬度测试分析

按试验组分类表的组合条件,分别对成熟香蕉进行压载力学实验,并测定成熟香蕉硬度、果皮厚度,经数据处理,可获得成熟香蕉单位硬度变化趋势,结果如图 2 至图 3 所示。

从图 2 至图 3 可知,无压载作用的成熟香蕉自然放置 1 d 的单位硬度略有降低,放置时间增加,该值降低速率减缓,并达到基本稳定状态。相对无压载香蕉,成熟香蕉在压载后果皮单位硬度均下降,随着压载压力的不断增大,香蕉单位硬度随着放置时间的增加而不断降低;在同样载荷作用下,10 mm 的压载体(点压载)作用的香蕉单位硬度降低值显著快于直径为 100 mm 压载体(面压载)作用,集中区域作用果实单位硬度损伤较小,压载力的增加,点压载香蕉比面压载单位硬度下降速率大。15 N、20 N、25 N 点压载 3 d 后,成熟香蕉的单位硬度分别降低 41%、56%、58%,均显著高于无压载的香蕉。5 N、10 N 和 15 N 面压载之后,成熟香蕉经单位硬度值随着放置时间的增加而显著降低,压载 15 N 的香蕉放置

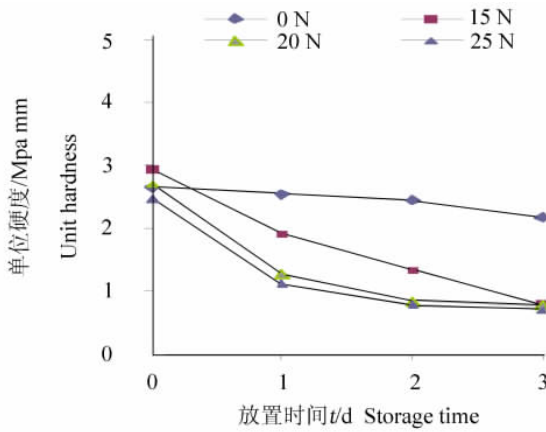


图2 香蕉点压载单位硬度的时变特性

Fig. 2 Time - varying characteristics of banana's unit hardness under the point compressive load

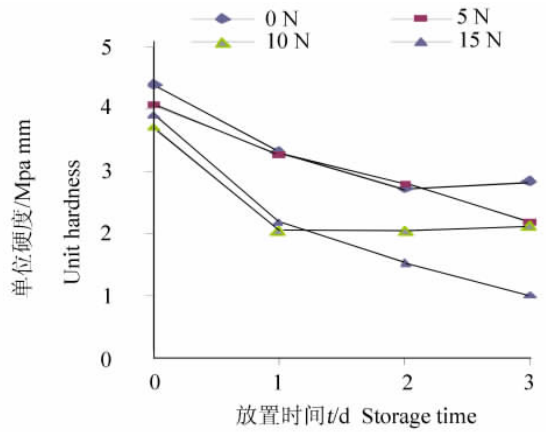


图3 面压载香蕉单位硬度的时变特性

Fig. 3 Time - varying characteristics of banana's unit hardness under the surface compressive load

3 d 后果皮单位硬度值下降幅度达 71% ,但自然放置与面压载 5 N 的香蕉单位硬度下降速率接近 ,说明高强度的面压载对香蕉的整体损伤显著强于点压载 ,轻微均匀面压载有利于香蕉的贮存和运输 ,需要严格控制面压载力的强度增加。

### 2.2 点、面压载后果皮色差值分析

2.2.1 点、面压载后果皮色差值分析 对无压载以及不同强度点压载、面压载与的成熟香蕉在相同试验环境下成熟香蕉果皮的相对亮度 DL 值、相对色差 Da 值、Db 值进行测定及数据处理 ,可获得相对色差随放置时间的变化特性 ,如图 4 ~ 图 9 所示。

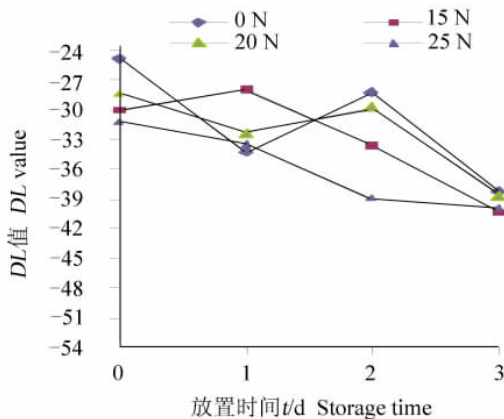


图4 点压载果皮 DL 值与放置时间关系

Fig. 4 Relationship between banana peel's DL value under the point compressive load and its storage time

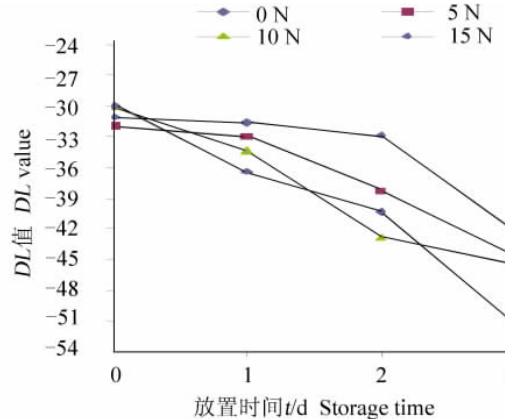


图5 面压载果皮 DL 值与放置时间关系

Fig. 5 Relationship between banana peel's DL value under the surface compressive load and its storage time

从图 4 ~ 图 9 可知 ,点、面压载与自然放置时的成熟香蕉果皮在相对亮度、色差上均有随放置时间而改变的相似特性。其相对亮度 DL 值、相对色差 Db 值均随放置时间的增长而降低,相对色差 Da 值则随放置时间的增长而增大。点、面 2 种压载方式下外力大小作用果皮相对亮度、色差值的变化程度存在较大差异,面压载引起的果皮损伤在相对亮度、色差方面的变化幅度均显著高于点压载,说明,高强度的面压载,对果体的整体损伤,品质下降更为严重,这可能与成熟香蕉力学损伤面的加大增加了其自身异常新陈代谢相关,导致其果皮受损伤部位黑点色斑颜色加深,褐变加重。

2.2.2 点、面压载后果肉色差值分析 为进一步揭示果体的损伤外观色泽变化特性,在果皮色压载色差研究基础上,进一步测定成熟香蕉果肉在无压载以及不同强度点压载、面压载作用后进行自然放置的的相对亮度 DL 值、相对色差 Da 值、Db 值,经过数据处理,可获得成熟香蕉果肉的相对亮度 DL 值、相对色差 Da 值、Db 值随放置时间的变化特性,如图 10 ~ 图 15 所示。

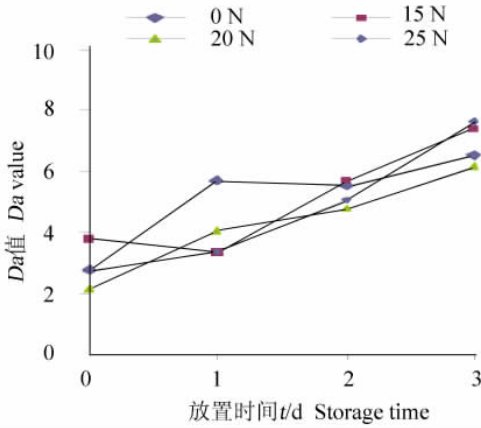


图 6 点压载果皮  $D_a$  值与放置时间关系

Fig. 6 Relationship between banana peel's  $D_a$  value under the point compressive load and its storage time

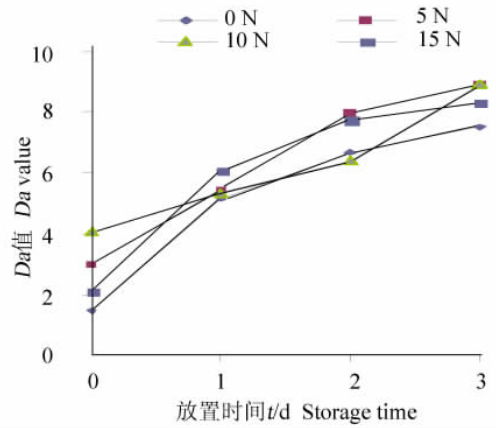


图 7 面压载果皮  $D_a$  值与放置时间关系

Fig. 7 Relationship between banana peel's  $D_a$  value under the surface compressive load and its storage time

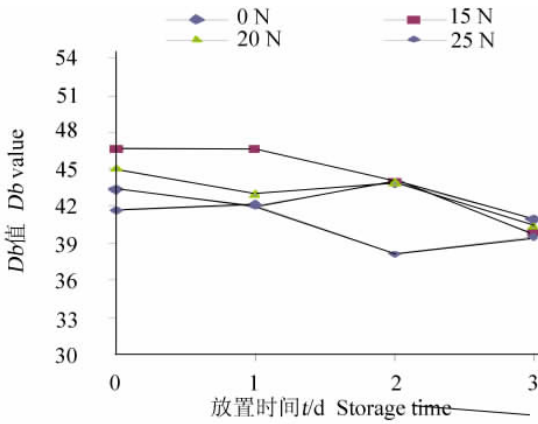


图 8 点压载果皮  $D_b$  值与放置时间关系

Fig. 8 Relationship between banana peel's  $D_b$  value under the point compressive load and its storage time

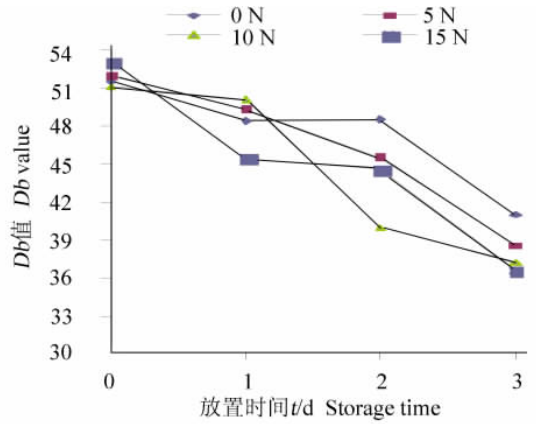


图 9 面压载果皮  $D_b$  值与放置时间关系

Fig. 9 Relationship between banana peel's  $D_b$  value under the surface compressive load and its storage time

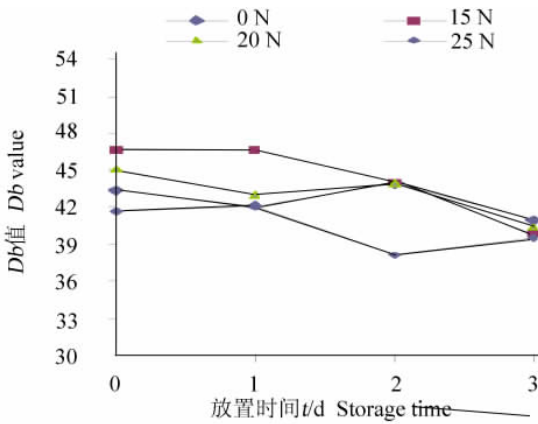


图 10 点压载果肉  $DL$  值与放置时间关系

Fig. 10 Relationship between banana pulp's  $DL$  value under the point compressive load and its storage time

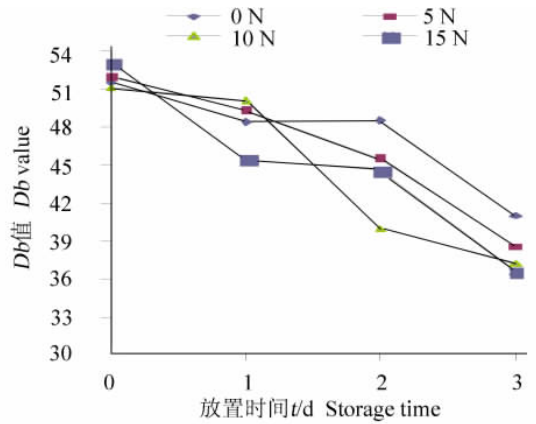


图 11 面压载果肉  $DL$  值与放置时间关系

Fig. 11 Relationship between banana pulp's  $DL$  value under the surface compressive load and its storage time

从图 10 ~ 图 15 可知,点、面压载后,香蕉果肉力学损伤部位在不同加压方式、力作用下其变化趋势的色差相对亮度  $DL$  值、相对色差  $D_a$  值、 $D_b$  值变化与果皮试验结果不同。其相对亮度  $DL$  值、相对色差  $D_b$  值随放置时间的增加而降低,但点、面压载后随自然放置时间的果肉相对亮度  $DL$  值、 $D_b$  值差异大。自然放置香蕉的相对亮度  $DL$  值、相对色差  $D_a$  值、 $D_b$  值降幅度均远小于点、面压载作用的果肉色差变化。

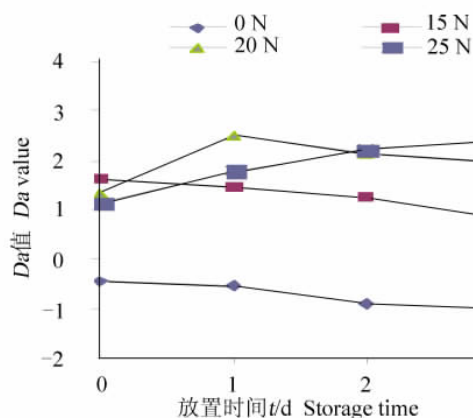
图12 点压载果肉  $Da$  值与放置时间关系

Fig. 12 Relationship between banana pulp's  $Da$  value under the point compressive load and its storage time

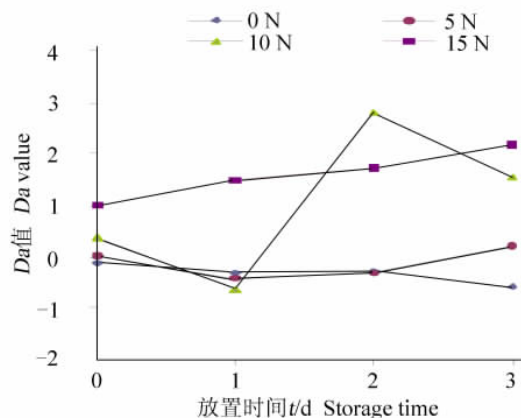
图13 面压载果肉  $Da$  值与放置时间关系

Fig. 13 Relationship between banana pulp's  $Da$  value under the surface compressive load and its storage time

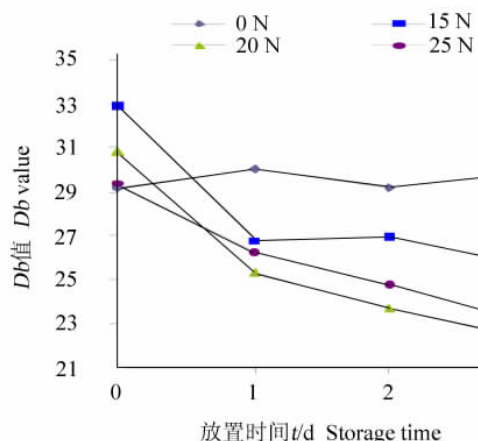
图14 点加载果肉  $Db$  值与放置时间关系

Fig. 14 Relationship between banana pulp's  $Db$  value under the point compressive load and its storage time

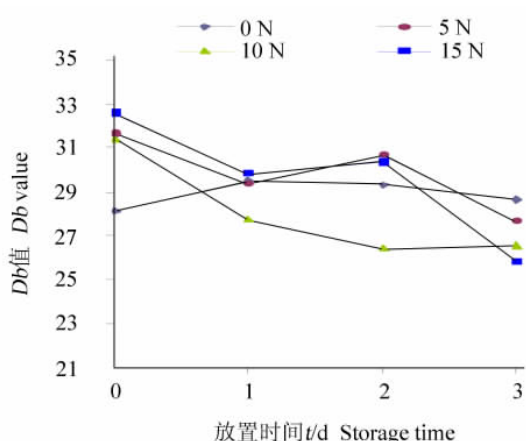
图15 面加载果肉  $Db$  值与放置时间关系

Fig. 15 Relationship between banana pulp's  $Db$  value under the surface compressive load and its storage time

点、面压载后的香蕉果肉色差的相对色差  $Da$  值变化趋势与果皮的  $Da$  值也有显著差异, 25 N 的点压载作用后的成熟香蕉的果肉色差  $Da$  值增加, 其他 15 N、20 N 压载则均随自然放置时间增加而降低; 面压载果肉相对色差  $Da$  值则随放置时间的增加而较显著的增大特性。面压载作用的相对色差  $Db$  值会出现一些前增后降的波动, 面加载 5 N 与自然放置的色差在  $DL$ 、 $Da$ 、 $Db$  方面变化特性接近。压载力增大, 果肉相对亮度、相对色差变化幅度增大, 尤其是点压载为 25 N、面压载为 15 N 时, 其压载后的香蕉与自然放置的果肉色差在相对亮度  $DL$  相对色差  $Db$  值存在着显著性差异, 出现果肉黑点色斑颜色显著加深, 褐变明显加重。而高强度的面压载力对果体整体色差改变要显著强于点压载作用, 果肉品质褐变也更为严重。这可能与成熟香蕉力学损伤面的加大, 损伤细胞增多, 从而显著增强了其自身异常新陈代谢有关, 导致其果肉受损伤部位褐变加重。

### 3 结论

无压载力作用自然放置的成熟香蕉其外观品质的色泽、质地的变化是一个植物生理生化反应的缓慢的改变过程。高强度压载力的作用, 香蕉外表色泽和质地随放置时间的增加的则呈现显著的趋势改变, 果体细胞损伤引起的外表色泽、质地软化改变更为显著, 这两项品质的改变与外载作用强度并呈较显著的相关性, 可以建立以上基于香蕉品质保护减轻外载力作用的定量化控制模型。利用相对色差进行模型化控制可能具有比单位硬度更好的无损伤临界控制能力, 但模型受相对色差组成因素的影响而较为波动。贮存、运输过程中的成熟香蕉的品质变化是更为复杂的多重外载力作用的结果, 定量压载力的品质演变过程控制模型还有待进一步完善, 此研究尚需进一步深入。

## 参考文献:

- [1]中华人民共和国国家统计局. 2009 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社 2009: 7 - 15.
- [2]彭坚, 朱俊晨, 李论. 果蔬贮藏保鲜原理与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社 2002: 2 - 46.
- [3]邓理, 侯义龙, 陈立东, 等. 香蕉机械伤的初步研究[J]. 北方园艺 2002( 1) : 48 - 50.
- [4]Peter M A , Toivonen Brummell David A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh - cut fruit and vegetables [J]. *Postharvest Biology and Technology* 2008 48( 1) : 1 - 14.
- [5]Salvador A , Sanz T , Fiszman S M. Changes in color and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas [J]. *Postharvest Biology and Technology* 2007 43( 3) : 319 - 325.
- [6]Payasi Anurag , Sanwal G G. Pectate lyase activity during ripening of banana fruit [J]. *Phytochemistry* 2003 63( 3) : 243 - 248.
- [7]González - Montelongo Rafaela , Gloria Lobo M , González Mónica . Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds [J]. *Food Chemistry* 2010 119( 3) : 1030 - 1039.
- [8]Holt J E , School D , Muirhead I F. Post - harvest quality control strategies for fruit and vegetables [J]. *Agricultural Systems* 1983 10( 1) : 21 - 37.
- [9]Yan Zheng - yong , Sousa - Gallagher Maria J , Fernanda A R Oliveira , et al. Mathematical modeling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage [J]. *Journal of Food Engineering* , 2008 84( 3) : 359 - 367.
- [10]Akkaravessapong P , Joyce D C , Turner D W. The relative humidity at which bananas are stored or ripened does not influence their susceptibility to mechanical damage [J]. *Scientia Horticulturae* , 1992 52( 3) : 265 - 268.
- [11]高永毅. 植物的细胞学力学行为研究及在水果机械损伤的应用[D]. 北京: 中国农业大学 2003: 14 - 28 , 71 - 88.
- [12]Hassan B H , Alhamdan A M , Elansar A M. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity [J]. *Journal of Food Engineering* , 2005 66( 4) : 439 - 445.
- [13]Garc F J , Ramos A , Cannavate J Ortiz , et al. Development and implementation of an on - line impact sensor for firmness sensing of fruits [J]. *Journal of Food Engineering* , 2003 58: 53 - 57.
- [14]Hean Gan Tat , Pallav Prakash , A Hutchins David. Non contact ultrasonic quality measurements of food products [J]. *Journal of Food Engineering* , 2006 77( 2) : 239 - 247.
- [15]Judith A Abbott. Quality measurement of fruits and vegetables [J]. *Postharvest Biology and Technology* , 1999 15( 3) : 207 - 225.