

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.030

基于计算机视觉的香蕉贮藏过程中颜色和纹理监测\*

胡孟晗 董庆利 刘宝林 黄勋娟  
(上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093)

**摘要:** 利用计算机视觉技术对香蕉在贮藏过程中颜色和纹理的变化进行研究。以第1阶段的青香蕉为研究对象,在贮藏过程中每天获取其图像,并将图像二值化,以其为模板分别与灰度、 $R$ 、 $G$ 和 $B$ 分量图像点乘进行背景分割,提取彩色分量的均值作为颜色指标;预处理后灰度图像的共生矩阵由不规则的生成方式提取,并获取其纹理二阶矩、对比度和均匀度3个纹理指标。实验结果表明,结合 $R$ 和 $G$ 均值的变化曲线可对香蕉在第6阶段之前的表面状况进行描述,采用基于灰度共生矩阵的对比度和均匀度的变化曲线对香蕉在第6阶段之后的表面状况进行描述。

**关键词:** 香蕉 计算机视觉 颜色 纹理 灰度共生矩阵 监测  
**中图分类号:** TS255.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2013)08-0180-05

Color and Texture Monitoring Based on Computer Vision during Banana Storage

Hu Menghan Dong Qingli Liu Baolin Huang Xunjuan  
(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The variation of color and texture during banana storage was studied based on computer vision. The images of green banana in first mature stage were acquired everyday during storage. After the binary operation, RGB and gray images were masked by the binary images to eliminate the background. Then,  $R$ ,  $G$  and  $B$  average values were extracted from pre-processed color images as color indexes. The gray-level co-occurrence matrix generating rule of the irregular image was used to obtain these matrixes of pre-processed gray images. Three texture descriptors were extracted as texture indexes from these matrixes, namely energy, contrast and homogeneity, respectively. Results showed that the change curve of  $R$  average values in combination with that of  $G$  could describe banana surface condition before the sixth mature stage, and the curve of contrast and homogeneity could do that after the sixth mature stage.

**Key words:** Banana Computer vision Color Texture Gray-level co-occurrence matrix Monitoring

引言

香蕉是我国最大宗的热带水果之一,我国2010年香蕉的产量仅次于印度,达到了810万t<sup>[1]</sup>。香蕉属于后熟型水果,从采摘到成熟过程中其品质发生较大的变化。在成熟过程中,传统方法是用肉眼对香蕉的表面颜色和纹理进行判别分析<sup>[2]</sup>,但是该方法主观性较强,并且耗时耗力;实验室普遍采用的仪

器方法是用色差仪对香蕉的表皮颜色进行检测<sup>[3-5]</sup>,但是这种客观评价方法具有破坏性,并且不适合实时监测。计算机视觉也称为机器视觉,它能够模拟人眼去理解和识别图像<sup>[6]</sup>,已在苹果分级<sup>[7]</sup>、柑橘缺陷检测<sup>[8]</sup>等方面有广泛研究,但对香蕉的研究还较少,本文利用计算机视觉技术对香蕉在贮藏过程中的颜色和纹理指标进行监测,从而为香蕉品质在线实时监测系统的开发提供理论依据。

收稿日期: 2012-07-24 修回日期: 2012-08-28  
\* 国家自然科学基金资助项目(31271896,30800864)和上海市自然科学基金资助项目(12ZR1420500)  
作者简介: 胡孟晗,博士生,主要从事农产品安全和质量控制研究,E-mail: humenghan89@163.com  
通讯作者: 董庆利,副教授,主要从事农产品安全和质量控制研究,E-mail: qdong@usst.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料 with 处理

实验所用青香蕉(*Musa AAA cavendish*)购于上海农贸市场,从同一果梳中随机挑选 4 只无机械损伤的香蕉果指。采用家庭式混果催熟方式对 4 只果指进行贮藏,即每只果指与 2 只苹果放于一个密封的袋子中,置于 22℃ 左右的室温贮藏,直至失去食用价值。

1.2 计算机视觉系统

计算机视觉系统包括光照箱、光源、CMOS 相机和计算机。其中,光照箱由杉木板搭建,内部尺寸为 70 cm × 70 cm × 70 cm,内壁贴有黑色哑光墙纸;光源为两组平行的带有漫反射板的 TL-D 型日光灯(Philips, China),色温为 6 500 K;相机为 Canon EOS 550D 型,相机镜头为 EF-S 18 ~ 55 mm,垂直架设于样品正上方 35 cm 处,相机的设置参数如表 1 所示。相机通过 EOS Utility ver. 2. 10 软件与计算机(CPU T4200 2 GHz)相连。香蕉贮藏期内每天获取每只香蕉图像 3 幅,求得每幅图像的指标值,再求其平均值和标准差。

表 1 实验相机的拍摄参数

Tab. 1 Shooting parameters of experimental camera

| 参数      | 数值            |
|---------|---------------|
| 焦距/mm   | 29. 0         |
| 闪光灯     | 关             |
| ISO     | 400           |
| 操作模式    | 计算机控制         |
| 相片格式    | JPEG          |
| 图像尺寸/像素 | 2 592 × 1 728 |
| 曝光时间/s  | 1/100         |
| 颜色空间    | RGB           |
| 光圈      | f/5           |

1.3 图像预处理

为更好地进行后续图像特征提取与分析,图像的预处理包含灰度变换、二值化、图像去噪和背景分割。其中背景分割采用二值图像(背景值为零)为模板分别与灰度和各彩色分量图像进行点乘运算,实现彩色图像与灰度图像背景的去除。所有的图像处理过程都在 Matlab 7. 9 软件(美国 The Math Work 公司)平台下执行。

1.4 颜色指标提取

以  $R$  均值、 $G$  均值和  $B$  均值作为香蕉颜色变化指标。将预处理后的彩色图像分为  $R$ 、 $G$ 、 $B$  3 个通道,然后计算各自均值。

1.5 纹理指标提取

香蕉在成熟过程中其表面粗糙度等纹理特性发生较大变化,故采用基于灰度共生矩阵的纹理描述

方法<sup>[1]</sup>,选用能较精确描述粗糙度等纹理特征变化情况的纹理描述符:纹理二阶矩  $W_M$ 、对比度  $W_C$  和均匀度  $W_H$  来描述香蕉的纹理变化。

本文以像素对距离 1,搜索方向为 0° 的规则计算灰度共生矩阵,具体规则如图 1 所示。左图为灰度图像;右图为灰度共生矩阵; $g_1 \sim g_4$  为灰度。

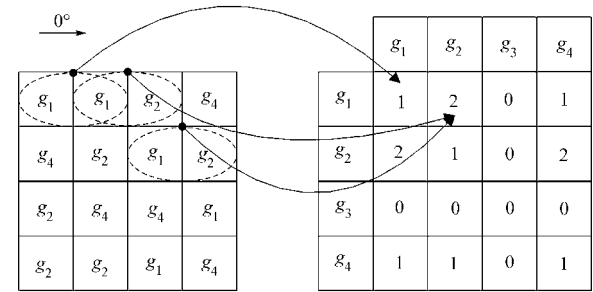


图 1 灰度共生矩阵的计算规则

Fig. 1 Calculation rule of gray-level co-occurrence matrix

由图 1 可知,灰度共生矩阵元素的数量与图像的灰度范围有关,由于图像灰度范围过大会带来计算量呈几何增加,而过小会带来纹理信息的丢失,因此本研究将原图像的灰度变化范围由原来的 0 ~ 255 压缩为 0 ~ 31,即将原来灰度级为 256 压缩至 32。

由于香蕉在图像中呈现的是不规则形状,不能简单地采用图 1 中所示的规则生成灰度共生矩阵,因此在原有规则基础上,制定如下生成规则:在图像中,值为零的背景点不被统计,与香蕉边缘相邻的背景点以其 8 邻域内不为零的点的平均灰度替代,具体规则如图 2 所示。图中,灰色为香蕉;阴影为香蕉边缘的背景点;黑框为其 8 邻域。

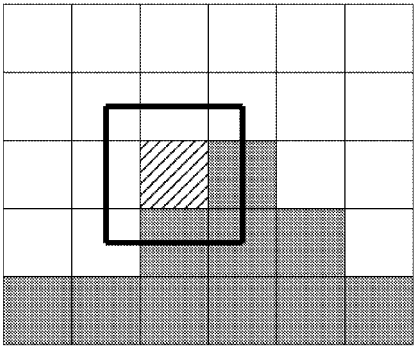


图 2 背景分割后的香蕉灰度图像

Fig. 2 Banana grayscale image with background elimination

纹理二阶矩  $W_M$ 、对比度  $W_C$  和均匀度  $W_H$  的计算公式为<sup>[10]</sup>

$$W_M = \sum_i \sum_j p^2(i, j) \tag{1}$$

$$W_C = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j) \tag{2}$$

$$W_H = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j) \tag{3}$$

式中  $i, j$ ——压缩后像素灰度,取 0 ~ 31

$p(i,j)$ ——像素对 $(i,j)$ 出现的频数

2 结果

2.1 图像预处理

采用 1.3 节流程预处理后的香蕉图像如图 3 所示,黑色背景其像素值为零。

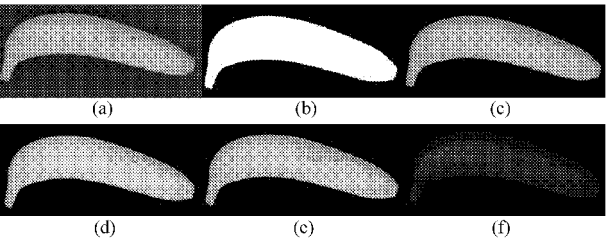


图 3 预处理后的香蕉图像

Fig. 3 Pre-processing images of banana

(a) 原图 (b) 二值图像 (c) 灰度图像  
(d)  $R$  通道图像 (e)  $G$  通道图像 (f)  $B$  通道图像

如图 3c ~ 3f 所示,背景分割后灰度图像、 $R$  通道图像、 $G$  通道图像和  $B$  通道图像的香蕉轮廓和细节都得到了较好地保留,达到了良好的背景分割效果。

背景分割一般采用聚类的方法<sup>[11~12]</sup>,本文以二值图像(图 3b)为模板,与彩色和灰度图像分别进行矩阵点乘运算来进行背景分割,避免了较为复杂的聚类过程,并且有较好的分割效果。但是,香蕉在成熟过程的表面情况变化复杂,会出现绿色、黄色和黑色衰老斑,这给图像分割带来一定的难度,尤其当香蕉的边缘出现衰老斑的时候,会在一定程度上影响特征指标的提取,因此将来需要改进计算机视觉系统或分割算法,从而能对各个成熟阶段的香蕉图像进行良好的分割。

2.2 颜色指标的变化

根据 1.4 节方法提取香蕉预处理图像的  $R$ 、 $G$  和  $B$  均值,4 只实验香蕉的颜色指标随贮藏时间  $t$  的变化如图 4 ~ 6 所示。由图 4 可知,实验香蕉的  $R$  均值在 1 ~ 6 d 之间呈上升趋势,并且在前 4 d 之内上升较快, $R$  均值在 6 ~ 14 d 到达平台期,并在 15 d 略有下降。 $R$  均值的变化大致呈“S”型,且 4 只实验香蕉的变化趋势几乎相同。由图 5 可知,4 只实验香蕉的  $G$  均值变化情况不如  $R$  均值一致,但总体趋势都保持一致,在 1 ~ 4 d 呈较快上升趋势,在 5 ~ 6 d 进入短暂平台期,从 7 d 起  $G$  均值开始平缓下降。由图 6 可知,4 只实验香蕉的  $B$  均值变化情况较  $R$  和  $G$  均值更不一致,但各自变化走势较为一致,大体形状呈左低右高的“M”型,4 只实验香蕉  $B$  均值的变化曲线在 3 d 时出现 1 个小峰,由于在 10 d 有个小的波动,因此在 9 d 和 11 d 出现 2 个大峰。

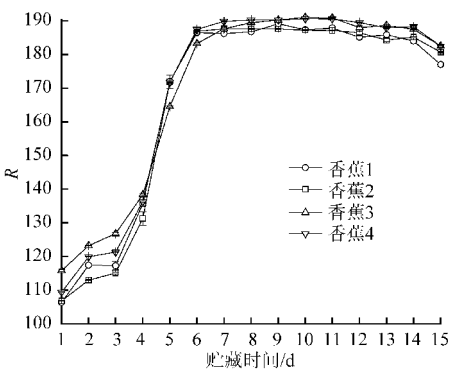


图 4 香蕉  $R$  均值随贮藏时间的变化

Fig. 4 Variations of  $R$  values during banana storage

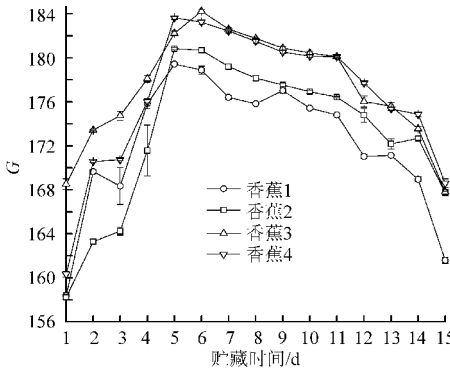


图 5 香蕉  $G$  均值随贮藏时间的变化

Fig. 5 Variations of  $G$  values during banana storage

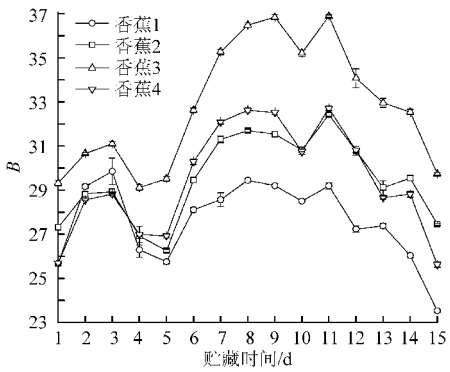


图 6 香蕉  $B$  均值随贮藏时间的变化

Fig. 6 Variations of  $B$  values during banana storage

2.3 纹理指标的变化

根据 1.5 节方法对香蕉的纹理指标进行提取,4 只实验香蕉在贮藏过程中的纹理二阶矩、对比度和均匀度的变化如图 7 ~ 9 所示。纹理的角二阶矩也称能量,表征图像的平滑性,当图像的像素对 $(i,j)$ 出现的频数 $p(i,j)$ 的集合变化范围越小, $W_m$ 的值就越小。由图 7 可以看出,香蕉在贮藏过程中由绿转黄的时候,平滑性上升,此后平滑性又下降,但 4 只实验香蕉的  $W_m$  变化情况很不一致,且变化趋势较为混乱,因此  $W_m$  不能作为香蕉贮藏过程中的纹理描述指标。对比度也称惯性矩,反映纹理的周期性变化规律。由图 8 可知,香蕉在贮藏过程中的对比度先变小,并在 6 ~ 9 d 有一个低谷,然后在 9 d 之后

开始上升,但上升速度较之前下降慢,4只实验香蕉的 $W_c$ 变化曲线总体较为吻合。均匀度反映纹理的规则程度,对比图9和图8可知,对比度曲线翻转180°后与均匀度曲线较相似,由式(2)和式(3)也可知,均匀度在某种程度上是对比度的倒数。由图9可以看出,香蕉在贮藏过程中,1~6 d,香蕉表面的纹理从杂乱无章到有序,6~9 d有一个近似的短暂平台期,9 d之后,开始从有序向杂乱无章变化,4只实验香蕉的 $W_H$ 变化趋势较为一致。

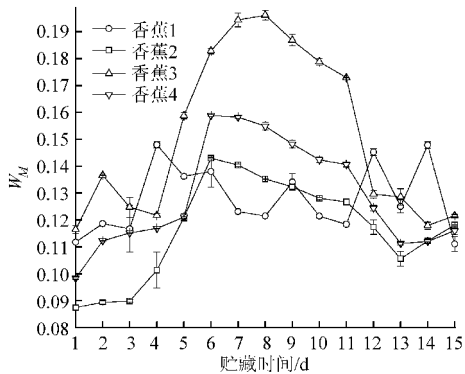


图7 香蕉纹理二阶矩随贮藏时间的变化

Fig. 7 Variations of energy values during banana storage

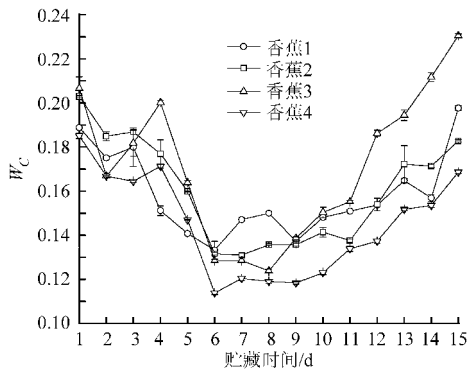


图8 香蕉对比度随贮藏时间的变化

Fig. 8 Variations of contrast values during banana storage

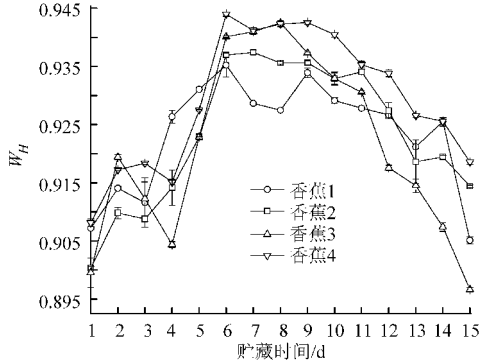


图9 香蕉均匀度随贮藏时间的变化

Fig. 9 Variations of homogeneity values during banana storage

### 3 讨论

#### 3.1 颜色指标

Loesecke<sup>[13]</sup>将香蕉成熟过程分为7个阶段,从

第1阶段至第7阶段:绿色;绿色,有淡淡的黄色;绿色多于黄色;黄色多于绿色;黄色点缀着绿色;全黄;黄色,点缀着点点衰老斑。本研究的香蕉经历了如下成熟过程:1~2 d为第1阶段;3 d为第2阶段;4 d为第3阶段;5 d为第4阶段;6~8 d为第5阶段;9~11 d为第6阶段;12 d之后为第7阶段。

随着香蕉由绿转黄, $R$ 和 $G$ 均值上升较快,较快的上升趋势分别持续到第4阶段和第5阶段。由于 $R$ 均值在第5阶段之后进入平台期,因此无法对此后香蕉的变化情况进行描述,而 $G$ 均值在第4阶段后先较平缓下降至第6阶段,进入第7阶段后开始较快下降。 $B$ 均值的变化情况相对无序,参考价值较少,如能以其变化趋势作为指标,也能对香蕉贮藏过程中的颜色变化进行描述。颜色指标的变化结果表明, $R$ 均值能较好描述香蕉在第5阶段之前的颜色变化情况,并且4只实验香蕉的变化曲线基本吻合;而 $G$ 均值的变化曲线能够补偿 $R$ 均值曲线无法对第5阶段之后的变化情况进行描述的缺陷。

在水果贮运过程中,对其品质指标建立相应的预测模型,能对其在贮运过程中的品质进行监控和预测<sup>[14~15]</sup>。在进行分类的时候,一般会采用学习算法,因此学习算法也被广泛运用于成熟度的识别<sup>[16~17]</sup>。由于本文颜色参数的变化曲线对应不同的成熟阶段,如能根据颜色指标随贮藏时间的变化建立香蕉的预测方程,不仅能够对其在贮藏和催熟过程中进行实时监控和预测,也能对其成熟度进行分类。当然,基于RGB色彩空间对硬件的实现较为理想,但不能很好适应人眼对颜色的解释,因此,今后可在此基础上将RGB色彩空间转换到HSV、CIE Lab等其他色彩空间<sup>[18]</sup>,来进一步探讨香蕉在贮藏过程中颜色的变化。

#### 3.2 纹理指标

灰度共生矩阵是一种统计学的纹理描述方式。很多学者都用基于灰度共生矩阵的纹理描述符对香蕉表皮的纹理进行描述<sup>[12,19]</sup>,但其均未考虑香蕉的不规则形状,而直接求图像的全局灰度共生矩阵,造成计算的不准确<sup>[20]</sup>。如不进行图像背景分割直接计算灰度共生矩阵则会将背景灰度变化统计进去;如对图像背景进行分割之后再计算灰度共生矩阵,那么香蕉边缘点的像素值与相邻背景点的巨大落差会造成计算的不准确。香蕉又不同于其他椭圆或圆形的规则水果,如果考虑截取香蕉的内接最大矩阵计算其灰度共生矩阵,由于香蕉狭长的不规则形状,则会忽略很多纹理信息。

香蕉的纹理变化结果表明,对比度和均匀度能

较好地表征香蕉在贮藏过程中的纹理变化情况。在香蕉成熟过程后期,由于衰老斑的出现,使得香蕉的表面状况更适合用纹理特征进行描述。考虑到  $R$  均值的变化曲线达到第 5 阶段之后出现平台期,但  $G$  均值的变化曲线在第 5 到第 6 阶段能够对香蕉表面状况进行描述,因此可以在香蕉成熟过程中的第 7 阶段用纹理特征来表征其表面状况。这也说明了一些学者用纹理指标来表征香蕉衰老斑状况的原因<sup>[12,21]</sup>。此外,以上颜色和纹理提取实验的研究对象都是基于香蕉果指,基于一把香蕉和一簇香蕉的研究更符合实际情况,因此亟待开展。

## 4 结 论

(1) 基于计算机视觉技术对香蕉在贮藏过程中的颜色和纹理变化进行研究,结果表明,颜色指标可采用  $R$  均值和  $B$  均值进行识别,纹理指标可采用基于灰度共生矩阵的对比度和均匀度。

(2) 在整个香蕉的贮藏过程中,可结合  $R$  均值和  $G$  均值的变化曲线对香蕉在第 6 阶段之前的表面状况进行描述,采用基于灰度共生矩阵的对比度和均匀度的变化曲线对香蕉在第 6 阶段之后的表面状况进行描述。

## 参 考 文 献

- 1 过建春,王芳,夏永开,等. 中国香蕉产业经济问题研究[M]. 北京:经济科学出版社,2011.
- 2 Salvador A, Sanz T, Fiszman S M. Changes in colour 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.
- 3 Chen C R, Ramaswamy H S. Color and texture change kinetics in ripening bananas [J]. Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie-Food Science and Technology, 2002, 35(5): 415 ~ 419.
- 4 Ward G, Nussinovitch A. Peel gloss as a potential indicator of banana ripeness [J]. Food Science and Technology, 1996, 29(3): 289 ~ 294.
- 5 李云,钱春梅,陆旺金,等. 香蕉和大蕉果实不同温度下催熟后的色泽变化[J]. 园艺学报,2006,33(3): 617 ~ 620.  
Li Yun, Qian Chunmei, Lu Wangjin, et al. Changes of peel colour of banana and plantain fruits during ripening at different temperatures [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(3): 617 ~ 620. (in Chinese)
- 6 Da-Wen Sun. Computer vision—an objective, rapid and non-contact quality evaluation tool for the food industry [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 1 ~ 2.
- 7 Blasco J, Aleixos N, Molto E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit [J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 415 ~ 423.
- 8 Aleixos N, Blasco J, Navarron F, et al. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 33(2): 121 ~ 137.
- 9 Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I H. Textural features for image classification [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6): 610 ~ 621.
- 10 章毓晋. 图像工程[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- 11 伍学千,廖宜涛,樊玉霞,等. 基于 KFCM 和改进分水岭算法的猪肉背最长肌分割技术[J]. 农业机械学报,2010,41(1): 172 ~ 176.  
Wu Xueqian, Liao Yitao, Fan Yuxia, et al. Segmentation of pork longissimus dorsi based on KFCM clustering and improved watershed algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 172 ~ 176. (in Chinese)
- 12 Mansoori M S, Fardad H, Enteshari R, et al. Isolating healthy bananas from unhealthy ones based on feature extraction and clustering method using neural network[J]. Modern Applied Science, 2010, 4(11): 51 ~ 60.
- 13 Von Loesecke H W. Bananans [M]. New York: Interscience Publishers Ltd., 1949.
- 14 苏新国,王尔茂,郑永华. 香蕉物流贮运过程中品质指标动态预测研究[J]. 食品科学,2008,29(10): 604 ~ 607.
- 15 陈育彦,屠康,任珂,等. 基于激光图像分析的桃货架品质无损检测试验[J]. 农业机械学报,2007, 38(3): 110 ~ 113.  
Chen Yuyan, Tu Kang, Ren Ke, et al. Experimental research of laser image analysis for peach quality during its shelf life [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(3): 110 ~ 113. (in Chinese)
- 16 Llobet E, Hines E L, Gardner J W, et al. Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose [J]. Measurement Science and Technology, 1999, 10(6): 538 ~ 548.
- 17 Mustafa N B A, Gandi S, Sharif Z A M, et al. Real-time implementation of a fuzzy inference system for banana grading using DSP TMS320C6713 platform[C]//Proceedings of 2010 IEEE Student Conference on Research and Development, 2010: 324 ~ 328.
- 18 Mendoza F, Dejmeck P, Aguilera J M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(3): 285 ~ 295.
- 19 Mendoza F, Aguilera J M. Application of image analysis for classification of ripening bananas [J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9): 471 ~ 477.
- 20 史正星,付强,张国鹏,等. 不规则图像灰度共生矩阵生成方式的比较[J]. 医疗卫生装备,2011,31(4): 10 ~ 12.
- 21 Quevedo R, Mendoza F, Aguilera J M, et al. Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(4): 509 ~ 515.