

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.03.030

基于色调分形维数的柑橘糖度和有效酸度检测*

曹乐平¹ 温芝元² 沈陆明²

(1. 湖南生物机电职业技术学院教务处, 长沙 410127; 2. 湖南农业大学理学院, 长沙 410128)

【摘要】 研究了宫川温州蜜柑糖度及有效酸度的机器视觉检测技术及影响检测精度的因素。对机器视觉系统采集的柑橘图像进行图像裁切、亮度法去图像背景和 RGB 空间至 HSI 空间的转换,将柑橘色调范围分割为 0° ~ 20°、20° ~ 40°、40° ~ 60°、60° ~ 80°、80° ~ 100°和 100° ~ 120°共 6 个区域,提取各区域色调分形维数,以此作为 BP 神经网络输入,无损检测宫川温州蜜柑糖度及有效酸度。167 个测试样本的检测结果表明:在 ±1.5°Brix 精度范围内糖度正确识别率为 66.6175%,在 ±0.5 精度范围内有效酸度正确识别率为 73.9275%。宫川温州蜜柑糖度及有效酸度与果皮色调分形维数之间具有相关性,可用机器视觉检测其糖度及有效酸度。

关键词: 柑橘 糖度 有效酸度 机器视觉 无损检测 色调 分形维数

中图分类号: TS391.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0143-06

Sugar Content and the Valid Acidity Test of the Citrus
Based on the Fractal Dimensions of Hue

Cao Leping¹ Wen Zhiyuan² Shen Luming²

(1. Educational Affairs Department, Hunan Biological and Electromechanical Polytechnic, Changsha 410127, China

2. College of Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract

Non-destructive detection methods of sugar content and valid acidity of Gongchuan Wenzhou citrus fruits were investigated based on computer vision. Factors which influenced the accuracy of detection were studied. Citrus fruit images from computer vision system were cut, the background was removed and conversion from RGB to HSI space was made. These images were segmented according to hue value ranges which are 0° ~ 20°, 20° ~ 40°, 40° ~ 60°, 60° ~ 80°, 80° ~ 100° and 100° ~ 120° hue. Fractal dimensions of each segment were calculated as inputs of BP neural network which modeled sugar content and valid acidity of citrus fruits. Results of 167 test samples showed the correctness for accuracy ±1.5°Brix of sugar content is 66.6175%, for valid acidity, the correctness for accuracy ±0.5 is 73.9275%. From these results it concluded that sugar content and valid acidity of Gongchuan Wenzhou citrus fruits has significant correlation with fractal dimension of hue value of fruit pericarp. Computer vision can be utilized to non-destructively detect these two parameters.

Key words Citrus, Sugar degree, Valid acidity, Machine vision, Non-destructive test, Hue, Fractal dimensions

引言

糖度和酸度是柑橘重要的内部品质指标,目前

水果糖、酸含量等内在品质无损检测普遍应用近红外、激光和 X 射线等方法^[1-7],而基于机器视觉技术的水果内在品质检测报道不多。文献[8]对机器

收稿日期: 2009-02-26 修回日期: 2009-08-03

* 湖南省自然科学基金资助项目(2007JJ6129)、湖南省农业厅资助项目(2007004A)和湖南省教育厅资助项目(2006D059)

作者简介: 曹乐平,副教授,主要从事农产品智能检测研究,E-mail: clp4218@126.com

通讯作者: 温芝元,副教授,主要从事生物数学研究,E-mail: wenzhiyuan6629@163.com

视觉系统采集的 Iyokan 橙图像,提取红绿颜色分量比、表皮纹理等参数,借助 BP 神经网络映射糖度和酸度,决定系数 R^2 分别为 0.79 ~ 0.84 和 0.69 ~ 0.83。文献[9]用褐色面积、每 1 cm² 褐色斑点数等参数通过机器视觉检测香蕉成熟度,正确识别率 91.8%。文献[10]用分光光度计和机器视觉在线无损检测苹果糖度,正确率 78%。文献[11]以表面色泽与固酸比为柑橘成熟度指标,建立柑橘成熟度的机器视觉检测系统,柑橘成熟度的判别准确率达到 91.67%;文献[12]以色度值在图像中出现的频率作为柑橘成熟度的依据,通过神经网络映射柑橘是否成熟的正确判断率为 77.8%。利用机器视觉技术实现包括柑橘在内的水果内部品质无损检测还处于初步探索阶段,已报道的检测精度与检测速度还不能满足生产要求。柑橘生长过程受地理条件、光照条件、施肥条件等的影响,造成着色差异,所以本文用既包含色调累计值、又包含色调空间分布特性的色调的分形维数表征柑橘外观色泽的这种差异,并建立柑橘糖度和有效酸度 BP 神经网络预测模型,无损检测柑橘的糖度和有效酸度。

1 试验仪器、材料与方法

1.1 柑橘试验样本

宫川温州蜜柑原产日本静冈县,为在来系温州蜜柑的芽变,目前全国柑橘产区都有种植,果实在 10 月上、中旬成熟。本试验在湖南省园艺研究所采样,在同一基地中按不同的地势高度,选 30 株同龄期的柑橘树,每株按树的上、中、下不同高度和东、南、西、北 4 个不同方向,各采 1 果,区分形状和颜色差异,从中复选 170 个训练样本和 167 个测试样本,两类样本均按果皮着色程度人工将柑橘分选为 I、II、III 和 IV 4 组,分别对应金黄果、橙黄果、黄绿果及绿果。

1.2 糖度与有效酸度检测

糖度测定按照 GB/T5009.1—2003,用上海精密仪器仪表有限公司生产的 WYT-4 型手持糖度计,测量精度 $\pm 1^\circ\text{Brix}$,测量范围 0 ~ 80 $^\circ\text{Brix}$ 。有效酸度测定参照 GB/T5009.1—2003 和 GB/T12456—90,采用南京庚辰科学仪器公司生产的 PHS-2F 型数字 pH 计,基本误差 ± 0.1 ,分辨率 0.01,测量范围 0 ~ 14.00。因单果各部位内部品质的差异,试验中测量内部品质均值,取单果全部果肉榨汁搅拌均匀后测量糖度和酸度。

1.3 图像处理

柑橘采摘后,保存 2 d,擦除表面灰尘,分别采集果梗面、花萼面及相对的两个侧面 4 幅图像,对采集

的图像进行如下处理:

(1) 图像裁切

一幅 $M \times N$ 的 RGB 图像中的每一个像素点对应红(R)、绿(G)、蓝(B)3 个分量组成的 3 元组,而柑橘区域外的背景 3 元组不是本研究的对象,因此,在试验中,用 $M(L_i^{(1)} - L_i^{(1)}) \times N(L_i^{(2)} - L_i^{(2)}) \times 3$ 窗口对所有的柑橘图像进行裁切,保留窗口内的像素点,去除窗口外的背景像素点,以减少后续图像处理信息量,加快处理速度。

(2) 图像去背景

任何一种颜色可由三基色表示,常用的三基色为红、绿、蓝。根据 CIE- RGB 颜色系统,任一颜色的亮度 Y 可表示为

$$Y = 0.177\,0R + 0.812\,4G + 0.010\,6B \quad (1)$$

作柑橘图像亮度直方图,如图 1 所示,从图中看出,直方图呈明显的双峰分布,左右分别对应黑色背景和柑橘区域,设定亮度阈值,去除柑橘图像背景,如图 1b 所示。

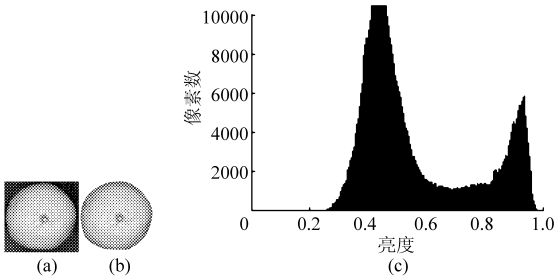


图 1 糖度 9.0 $^\circ\text{Brix}$ 、pH 值 3.28、质量 202.337 g 的宫川温州蜜柑图像背景去除

Fig. 1 Removed backgrounds of citrus fruits image (sugar: 9.0 $^\circ\text{Brix}$; pH value: 3.28; quality: 202.337 g)
(a) 原始图像 (b) 分割图像 (c) 亮度统计直方图

(3) 颜色模型转换

在 RGB 空间中,图像像素的色度信息存在于 3 个基色分量中,若直接使用 RGB 颜色模型,则对每个像素点色调的处理意味着要在 3 个分量上分别作处理,这将增加处理的复杂性。而 HSI 颜色模型与人的视觉感觉比较一致,像素点的色调信息被单独提取出来,在处理像素的色调信息时,只需作一维处理。所以在对图像像素色调的研究中,使用 HSI 颜色模型更方便些,因此,本文采用 HSI 颜色模型进行柑橘图像分析。

根据文献[13]对 4 组不同着色柑橘进行 HSI 颜色模型转换后,得原图像的 H 、 S 、 I 3 层图像,备作柑橘色调分形维数的提取。为了大致确定柑橘色调分布范围,在 4 组中分别取金黄果、橙黄果、黄绿果以及绿果各 1 个,作 H 图像的统计直方图,如图 2 所示。从图中看出宫川温州蜜柑色调在 $0^\circ \sim 120^\circ$

范围内,第 I 组金黄果色调值集中在 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 内,峰值在 60° 附近;第 II 组橙黄果色调值集中在 $47^{\circ} \sim 62^{\circ}$ 内,峰值在 50° 附近;第 III 组黄绿果色调值集中在 $55^{\circ} \sim 79^{\circ}$ 内,峰值在 70° 附近;第 IV 组绿果色调值集中在 $82^{\circ} \sim 105^{\circ}$ 内,峰值在 98° 附近。

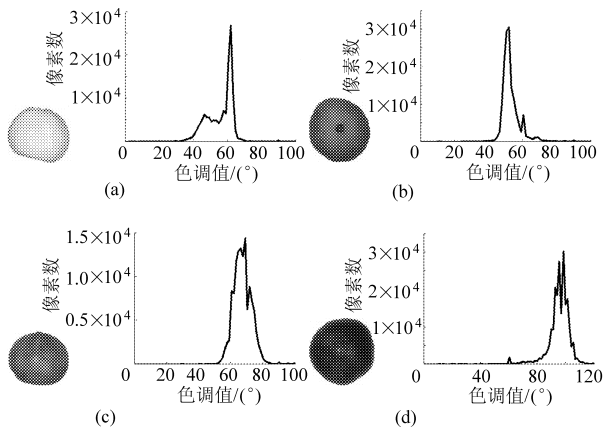


图 2 4 种颜色的宫川温州蜜柑及其色调直方图

Fig.2 Various colors of citrus fruits and related hue value histogram

(a) 金黄果 (b) 橙黄果 (c) 黄绿果 (d) 绿果

2 色调的分形维数

2.1 分形维数

分形理论经过几十年的发展,已经成为一门重要的学科,它被广泛应用于处理与分析具有复杂细节特征的自然现象。由于测定维数的对象不同,派生出盒计数法、尺码法、相关函数法、频谱法、方差法等众多分形维数测量方法。这些分形维数从不同的角度反映了研究对象的属性,其共同特点是都可以取分数,且在统计意义下与尺度无关。由于盒计数法计算简单、适用范围广,本文以盒计数法描述柑橘的颜色。

设 $A \subset \mathbf{R}^2$ 是一个非空集合,在欧氏距离下,用边长为 2^{ε} ($\varepsilon > 0$) 的小盒子紧邻地去包含 A ,设 $N(A, \varepsilon)$ 表示包含 A 所需的小盒子数,则盒维数定义为

$$D(A) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(A, \varepsilon)}{-\ln \varepsilon} \tag{2}$$

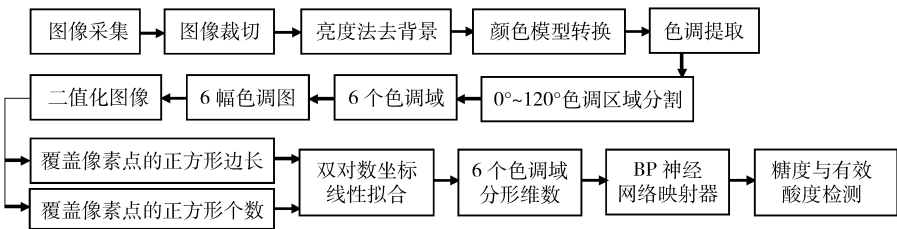


图 3 宫川温州蜜柑 6 个色调域分形维数的提取流程图

Fig.3 Fractal dimension calculation of 6 hue value ranges of citrus fruits

在盒维数的定义中,要求尺码趋于零时极限存在,这是因为理论上分形集具有无穷嵌套层次。但是对于研究中的分形以及自然界存在的分形,一般说来并不存在无限层嵌套结构,而是存在有限的嵌套层次,所以对于尺码趋于零的这个要求,在度量中很难实现。因此,本文选用机器视觉设备的最小测量单位,即像素为度量的尺码单位,保证不改变研究对象的分形结构,并且具有足够的精度^[14]。

设二值图像 $F = [f_{i,j}]_{m \times n}$,对于任意一点 $f_{i,j}$,当 $f_{i,j} = G_{\max}$ (最大灰度级) 时,为目标物体像素;当 $f_{i,j} = G_{\min}$ (最小灰度级) 时,为背景像素。

取覆盖矩阵 A ,边长为 $L = 2^r$ (r 为整数),将 F 完全覆盖住。取 δ_i 是边长为 2^i ($i = 0, 1, \dots, n; n < r$) 个像素单位的正方形,紧邻地覆盖 F ,统计包括目标物体像素的方格个数 $N(\delta_i)$,则有: $N(\delta_i) \rightarrow \delta_i^{-D}$ ($i = 0, 1, \dots, n$),作数据点 $(-\ln \delta_i, \ln N(\delta_i))$ ($i = 0, 1, \dots, n$) 的最小二乘法线性拟合,所得拟合直线斜率即为盒维数 D 。

2.2 色调的分形维数

为研究不同着色柑橘的糖度和有效酸度,取宫川温州蜜柑色调主要分布范围 $0^{\circ} \sim 120^{\circ}$,将其均匀划分为 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 、 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 、 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 和 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 共 6 个区域,这 6 个区域覆盖了宫川温州蜜柑果皮着色的主要色调,同时,相对于色调提取阶段中的 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 色调范围,信息量少,程序运行加快。图 3 示出了柑橘 6 个色调域分形维数的提取流程,从图像采集到颜色模型转换,完成图像的采集与前期处理后,按已划分的 6 个色调区域生成每个柑橘的 6 幅色调图像,对每幅色调图像进行二值化处理,图 4 为色泽优等的宫川 6 个区域的色调图。根据以上盒维数计算方法,求得各柑橘 6 个色调域的色调分形维数,以此来描述柑橘的颜色特征。从图 4 和表 1 看出,色调峰值点附近,色调点多,分形维数最大;离峰值点越远,分形维数越小;不同颜色的宫川,色调分布不同,分形维数也不同,用色调图像的分形维数能描述柑橘颜色的变化,从而能映射柑橘内部品质。

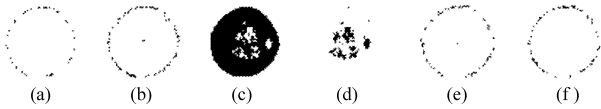


图 4 宫川温州蜜柑 6 个色调域的色调分布图

Fig. 4 Hue value distribution of citrus fruits(6 segments)

(a) 0° ~ 20° (b) 20° ~ 40° (c) 40° ~ 60°
(d) 60° ~ 80° (e) 80° ~ 100° (f) 100° ~ 120°

表 1 4 组宫川温州蜜柑 6 个色调域色调的分形维数均值

Tab.1 Hue fractal dimension mean of 4 sets citrus fruits

组别	0° ~ 20°	20° ~ 40°	40° ~ 60°	60° ~ 80°	80° ~ 100°	100° ~ 120°
I	0.498 0	0.498 1	0.511 1	0.501 4	0.498 1	0.498 0
II	0.498 5	0.504 4	0.500 3	0.498 6	0.498 7	0.498 3
III	0.498 5	0.498 6	0.498 7	0.500 0	0.504 7	0.498 5
IV	0.498 6	0.498 7	0.498 7	0.499 1	0.502 6	0.511 3

3 神经网络映射器

人工神经网络是在近代人工智能领域发展并逐渐成熟起来的一种处理工具。它通过学习来映射数据中存在的多元非线性关系,具有与人脑相似的高度并行性和良好的容错性。BP 网络是目前应用最为广泛的神经网络模型之一,被广泛应用于模式识别、图像处理、预测等方面,是一种多层前馈型网络,根据 Kolmogorv 定理,任意映射可由一个三层前馈网络来实现。本文利用三层前馈网络模型,完成对宫川温州蜜柑糖度及有效酸度的检测。柑橘生长过程中果皮着色并非均匀一致,因此,BP 神经网络映射模型输入应为柑橘 4 个面的 6 个色调分形维数,故检测模型采用 $24 \times 15 \times 2$ 的前馈神经网络结构。在神经网络训练中用 OSS(one step secant)算法,设定训练误差为 10^{-4} 。

4 检验结果分析与讨论

4.1 检验结果

上述神经网络训练好以后,用人工分选的 42 个金黄色宫川、40 个橙黄色宫川、40 个黄绿色宫川和 45 个绿色宫川测试样本检验其性能,在 $\pm 1.5^{\circ}\text{Brix}$ 和 $\pm 1^{\circ}\text{Brix}$ 范围内糖度总正确识别率为 66.617 5% 和 46.637 5%;在 ± 0.5 和 ± 0.25 范围内有效酸度总正确识别率为 73.927 5% 和 36.010 0%,各组宫川的正确识别率如表 2 所示。

4.2 分析与讨论

作 167 个测试样本预测值与实际值相关图如图 5、6 所示。糖度、有效酸度预测相对误差范围分别为 $-28.01\% \sim 29.50\%$ 和 $-23.41\% \sim 20.75\%$;糖度、有效酸度预测相对标准偏差分别为 14.61%

和 12.06%,糖度、有效酸度预测值与实际值相关系数 R 分别为 0.728 9 和 0.664 6,这一方法可用于柑橘糖酸度估测。

表 2 基于 BP 神经网络的宫川温州蜜柑糖度及有效酸度的预测正确识别率

Tab.2 Test results of BPNN model of sugar content and valid acidity of citrus fruits %

预测精度	I 组	II 组	III 组	IV 组	总正确识别率
$\pm 1.5^{\circ}\text{Brix}$	76.19	60.00	72.50	57.78	66.617 5
$\pm 1^{\circ}\text{Brix}$	52.38	45.00	42.50	46.67	46.637 5
pH 值 ± 0.5	85.71	62.50	67.50	80.00	3.927 5
pH 值 ± 0.25	35.71	40.00	35.00	33.33	36.010 0

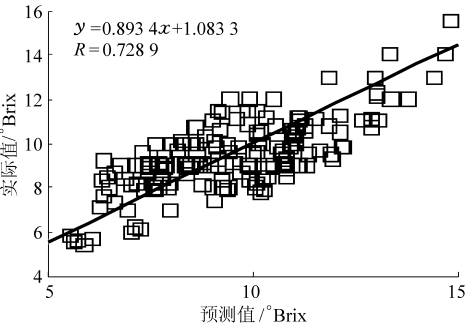


图 5 检测样本糖度预测值与实际值相关图

Fig. 5 Sugar content correlation: test results vs actual values

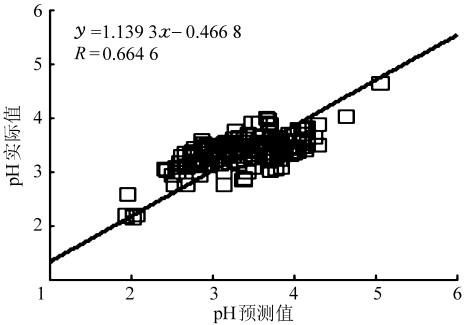


图 6 检测样本有效酸度预测值与实际值相关图

Fig. 6 Valid acidity correlation: test results vs actual values

检验 167 个测试样本色调分形维数与糖酸度的相关性。从表 3 看出,各组宫川在其对应色调峰值点附近,糖度与色调分形维数相关性高,远离色调峰值点,相关性低。酸度与大于 60° 的色调分形维数的相关性高,与 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的色调分形维数的相关性低。由表 4 知测试样本的总体相关性在 $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 范围内,糖度与色调分形维数正相关,其他区域,糖度与色调分形维数负相关;酸度与 $20^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 色调范围色调分形维数负相关,其他区域正相关;橙黄与黄绿色宫川色调分形维数与糖度及有效酸度总体相关系数偏低,糖度及有效酸度预测误差较大^[15]。

表 3 4 种颜色宫川温州蜜柑色调的分形维数与糖度及有效酸度的相关性

Tab.3 Correlation of fractal dimension, sugar content and valid acidity for 4 kind of color fruits

检测项目	样本	个数	0° ~ 20° 色调	20° ~ 40° 色调	40° ~ 60° 色调	60° ~ 80° 色调	80° ~ 100° 色调	100° ~ 120° 色调
			分形维数	分形维数	分形维数	分形维数	分形维数	分形维数
糖度	金黄色宫川	42	0.011 0	0.645 0	-0.345 3	-0.375 2	-0.260 8	0.014 0
	橙黄色宫川	40	0.032 0	0.120 4	-0.038 4	-0.008 4	-0.099 9	-0.0732
	黄绿色宫川	40	0.010 4	0.010 1	0.069 1	-0.201 0	-0.046 7	0.010 9
	绿色宫川	45	0.025 4	0.010 9	-0.108 5	-0.114 5	-0.066 9	-0.373 0
有效酸度	金黄色宫川	42	0.020 0	-0.307 1	0.062 3	-0.103 7	0.392 1	0.021 0
	橙黄色宫川	40	0.024 2	-0.057 4	0.083 4	0.107 6	0.171 9	0.266 9
	黄绿色宫川	40	0.020 6	0.031 0	0.201 8	-0.283 3	-0.258 6	0.085 9
	绿色宫川	45	0.030 7	0.030 6	-0.008 5	0.354 9	-0.183 4	-0.126 0

表 4 167 个宫川温州蜜柑色调的分形维数与糖度及有效酸度的总体相关性

Tab.4 Correlation of fractal dimension, sugar content and valid acidity for 167 citrus fruits

检测项目	0° ~ 20° 色调	20° ~ 40° 色调	40° ~ 60° 色调	60° ~ 80° 色调	80° ~ 100° 色调	100° ~ 120° 色调
	分形维数	分形维数	分形维数	分形维数	分形维数	分形维数
糖度	-0.466 3	0.577 0	0.278 6	-0.160 3	-0.305 7	-0.233 4
有效酸度	0.276 2	-0.309 7	-0.099 6	-0.007 5	0.097 6	0.089 3

色调域的分形维数描述颜色特征,不仅包含了同等色调的累计特征,而且还包含了色调空间分布特性,同时这种方法特征值数量远少于色调累计特征值数量,信息量少,宫川糖度与有效酸度内部品质的检测速度快,这有别于文献[8 ~ 12]。

湖南是柑橘原产地之一,也是全国重要的柑橘主产区,同时也是柑橘病虫害的多发区,本次试验用的柑橘锈壁虱危害较严重,果皮上大小不等的棕色色块疤痕直接影响利用机器视觉的宫川糖度与有效酸度的检测结果。在图像采集过程中,三维仿球形的柑橘投影到二维图像平面产生灰度和颜色失真也是影响预测精度的原因之一。在神经网络训练中,其训练样本的多样性、丰富程度和网络获取知识的程度对预测结果的影响也不能忽视^[16]。

5 结论

(1)0° ~ 120° 色调域分形维数描述柑橘的颜色

特征,结合了同等色调的累计特征和空间分布特征,减少了色调的累计特征值数量,使基于颜色的柑橘内部品质检测依据充分、速度快并且精度较高。

(2)色调分形维数与宫川糖度及有效酸度的相关性随果皮着色的不同而变化;对于相同相近的着色程度,在 0° ~ 120° 色调域中,色调峰值点附近分形维数与宫川糖度相关程度最高,而酸度与大于 60° 的色调区域色调分形维数的相关性高。

(3)采集宫川温州蜜柑果梗面、花萼面及相对的两个侧面 4 幅图像,亮度法去除图像背景,提取将 0° ~ 120° 色调域等分的 6 个色调区间色调分形维数,以此为 BP 神经网络输入,预测宫川糖度及有效酸度。试验表明:该方法正确率较高,可用于柑橘的糖酸度预测。

参 考 文 献

1 Carlomagno G, Capozzo L, Attolico G. Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry[J]. Infrared Physics & Technology, 2004, 46(1 ~ 2): 23 ~ 29.

2 Butz P, Hofmann C, Tauscher B. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis[J]. Journal of Food Science, 2005, 70 (9):131 ~ 141.

3 Zdunek A, Muravsky L, Frankevych L, et al. New nondestructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality during shelf-life[J]. Int. Agrophysics, 2007, 21(3): 305 ~ 310.

4 Artur Zdunek, Ludmyla Frankevych, Krystyna Konstankiewicz, et al. Comparison of puncture test, acoustic emission and spatial-temporal speckle correlation technique as methods for apple quality evaluation[J]. Acta Agrophysica, 2008, 11(1): 303 ~ 315.

- 5 Barcelon E G, Tojo S, Watanabe K. X-ray computed tomography for internal quality evaluation of peaches[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 73 (4):323 ~ 330.
- 6 郭恩有,刘木华,赵杰文,等. 脐橙糖度的高光谱图像无损检测技术[J]. 农业机械学报,2008,39(5):91 ~ 93,103.
Guo Enyou, Liu Muhua, Zhao Jiewen, et al. Nondestructive detection of sugar content on navel orange with hyperspectral imaging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5):91 ~ 93,103. (in Chinese)
- 7 孙旭东,章海亮,欧阳爱国,等. 南丰蜜桔可溶性固形物近红外特征波段选择[J]. 农业机械学报,2009,46(7):129 ~ 132.
Sun Xudong, Zhang Hailiang, Ouyang Aiguo, et al. Selection of NIR characteristic wavelength bands for soluble solids content in Zanfeng mandarin fruit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,46(7):129 ~ 132. (in Chinese)
- 8 Naoshi Kondo, Usman Ahmad, Mitsuji Monta, et al. Machine vision based quality evaluation of Iyokan orange fruit using neural networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 29(1 ~ 2):135 ~ 147.
- 9 Mendoza F, Aguilera J M. Application of image analysis for classification of ripening bananas[J]. Journal of Food Science, 2004,69 (9): E471 ~ E477.
- 10 Steinmetz V, Roger J M, Molto E, et al. Online fusion of colour camera and spectrophotometer for sugar content prediction of apples[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 73(2): 207 ~ 216.
- 11 应义斌,饶秀勤,马俊福. 柑橘成熟度机器视觉无损检测方法研究[J]. 农业工程学报,2004,20(2):144 ~ 147.
Ying Yibin, Rao Xiuqin, Ma Junfu. Methodology for nondestructive inspection of citrus maturity with machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2): 144 ~ 147. (in Chinese)
- 12 应义斌,徐惠荣,徐正冈. 用于柑橘成熟度无损检测的色度频度序列法研究[J]. 生物数学学报,2006,21(2):306 ~ 312.
Ying Yibin, Xu Huirong, Xu Zhenggang. Non-destructive maturity evaluation of citrus by hue frequency sequence method [J]. Journal of Biomathematics, 2006, 21(2):306 ~ 312. (in Chinese)
- 13 蔡健荣,赵杰文. 自然场景下成熟水果的计算机视觉识别[J]. 农业机械学报,2005,36(2):61 ~ 64.
Cai Jianrong, Zhao Jiewen. Recognition of mature fruit in natural scene using computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36 (2): 61 ~ 64. (in Chinese)
- 14 凌云,王一鸣,孙明,等. 基于分形维数的垩白米图像检测方法[J]. 农业机械学报,2005,36(7):92 ~ 95,91.
Ling Yun, Wang Yiming, Sun Ming, et al. Detection of chalky rice based on fractal dimension[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36 (7): 92 ~ 95,91. (in Chinese)
- 15 曹乐平,温芝元. 补偿模糊神经网络水果形状分级器分级误差[J]. 农业工程学报,2008,24(12):102 ~ 106.
Cao Leping, Wen Zhiyuan. Study on the error of the compensation fuzzy neural fruit grader[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24 (12): 102 ~ 106. (in Chinese)
- 16 曹乐平,温芝元,陈理渊. 基于小波神经网络的柑橘 pH 机器视觉检测[J]. 中国农业科学,2008,41(11):3 741 ~ 3 745.
Cao Leping, Wen Zhiyuan, Chen Liyuan. Investigation of citrus fruits pH value measurement based on machine vision with wavelet neural network model[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41 (11): 3 741 ~ 3 745. (in Chinese)