

基于荧光高光谱图像的柑桔糖度无损检测

喻晓强, 刘木华*, 郭恩有, 杨勇 (1. 江西农业大学农学院, 江西南昌 330045; 2. 江西农业大学工学院, 江西南昌 330045)

摘要 采用632 nm的连续波激光作为激发光,应用激光诱导荧光高光谱成像技术对柑桔的糖度值进行无损测量。先将该激光照射到南丰蜜桔和脐橙样品上,后用高光谱图像采集系统收集诱导出的荧光散射图像;接下来对荧光散射图像进行分析,选取100×50像素的荧光区域作为感兴趣区域(ROIs);再提取感兴趣区域在波长700~1000 nm的光谱值作为荧光高光谱图像数据;最后用线性回归方法建立荧光高光谱图像数据预测果实糖度值的预测模型。结果表明,该模型预测柑桔糖度值的相关系数分别为南丰蜜桔的 $R=0.970$,脐橙的 $R=0.960$ 。因此可以看出,应用激光诱导荧光高光谱成像对柑桔糖度值进行无损检测是一种很有效的方法。

关键词 高光谱图像;激光诱导荧光;无损检测;柑桔;糖度

中图分类号 S666 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)36-11807-02

Hyperspectral Laser-induced Fluorescence Imaging for Nondestructive Assessing Soluble Solids Content of Orange

YU Xiao qiang et al (Engineering College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045)

Abstract Laser-induced fluorescence imaging is a promising technique for assessing quality of fruit. In this paper a hyperspectral laser-induced fluorescence imaging technique for measurement of laser-induced fluorescence from orange for predicting soluble solids content (SSC) of fruit was reported. A continuous wave laser (632 nm) was used as an excitation source for inducing fluorescence in oranges. Fluorescence scattering images were acquired from 'Nanfeng' orange and navel orange by a hyperspectral imaging system at the instance of laser illumination. Subsequent analysis of fluorescence scattering images consisted in selecting regions of interest (ROIs) of pixels, and ROIs were segmented around the laser illumination point from fluorescence scattering images. The hyperspectral fluorescence image data in the wavelength range of 700~1000 nm were represented by mean grey value of the ROIs. The fruit soluble solids content were measured using hand-held refractometer. A line regression method was used for developing prediction models to predict fruit soluble solids content. Excellent predictions were obtained for soluble solids content with the correlation coefficient of prediction of $R=0.970$ (Nanfeng orange) and $R=0.960$ (navel orange). The results show that hyperspectral laser-induced fluorescence imaging is a very good method for nondestructive assessing soluble solids content of orange.

Key words Hyperspectral imaging; Laser-induced fluorescence; Nondestructive assess; Orange; Soluble solids content

糖度是决定水果品质与成熟度的一项重要参数。糖度检测的传统方法是用手持糖度计直接从水果的果汁来进行测量。由于这种测量方法具有破坏性、费时、效率低、容易产生操作误差等一些缺点,因此,无损传感技术检测水果品质的方法应运而生。这种方法的研究对确定水果最佳收获期和保证向消费者提供优质水果方面将有很大的价值。许多研究人员对无损传感技术检测水果糖度值作了相应的研究。其中可见光/近红外光谱(VIS/NIRS)技术应用较多,如柑桔类^[1-4]、苹果^[5-7]等多种水果,测量指标包括糖度值、含油量、含水量、含渣率、酸度、硬度等。光谱法是将一种点光源打到水果表面获取点信息。分析光源点处的水果品质从而得到整个水果的信息。

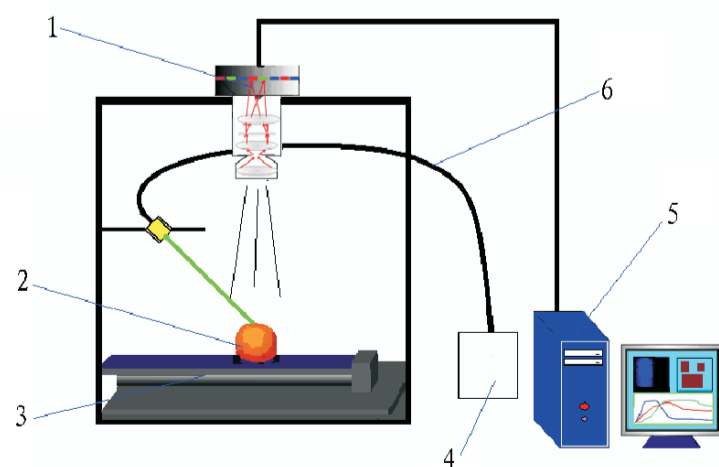
由于水果品质具有空间差异性,光谱测量方法相比图像检测方法来说有检测信息不全面的缺点。最近出现了高光谱和多光谱成像技术检测农产品品质的新方法。高光谱图像和多光谱成像技术是在特定波长范围内由一系列波长处的光学图像组成的三维图像块,集图像信息与光谱信息于一身。由于光谱信息能充分反映水果内部的物理结构、化学成分,内部结构的差异可以通过光谱特定波长下的光谱值表现,在每个特定波长下,每个像素点的灰度值又与其在该波长下的光谱值之间一一对应。因而相对于单纯的影像或光谱检测技术而言,高光谱图像和多光谱成像技术拥有了独特的优势。最新研究表明^[8],高光谱和多光谱成像技术对检测水果品质有很好的效果。进一步的研究说明^[9-11],荧光高光谱成像对检测农业食品的缺陷和安全性有很好的作用。该

研究中,笔者采用激光诱导荧光高光谱成像技术测量激光诱导荧光散射,预测桔类水果的糖度值。

1 材料与方法

1.1 柑桔样本 在江西省南丰县的果园里采摘65个新鲜南丰蜜桔,在江西省信丰县采摘65个新鲜脐橙。实验开始前,先把样本在5~12℃环境中存放4 d。在进行荧光和标准品质测量前,把样本在室温(22℃)的暗室里放置至少24 h。

1.2 高光谱成像系统 图1所示是激光诱导荧光高光谱成像系统。该系统由光谱成像装置、632 nm激光器、水果架、成像室和移动平台组成。光谱成像装置由高灵敏度CCD摄像头、成像光谱仪和用来控制的CCD摄像头及储存和分析图像的计算机组成。由于高光谱图像的线扫描方式,得到的是样品空间线信息,需要拍摄图像的同时样品移动。移动平台的移动速度和精度对扫描的效果和准确性有很大的影响。该研究采用KSA200-11高精度电控平移台(北京卓立汉光仪器



注:1. CCD摄像头;2. 柑桔;3. 载物台;4. 激光器;5. 计算机;6. 光纤。

图1 光谱成像系统

有限公司),激光器装有激光驱动和温度控制,实验中激光照射在水果上产生直径为1.5 mm的圆形光束。由于激光束照射水果,部分单色光被水果组织吸收并释放荧光,这造成荧光

基金项目 国家自然科学基金项目(30460059)。

作者简介 喻晓强(1968-),男,江西南昌人,讲师,从事园艺学研究。

* 通讯作者,博士,教授,E-mail: suikdnh@sohu.com。

收稿日期 2007-09-13

散射分布在水果表面激光照射点的周围。线扫描成像光谱仪收集水果表面的荧光散射图像。当光通过成像光谱仪,它分散成不同的波长,因而其空间信息被保存。随后,色散后的光信号投射到 CCD 探测器,形成了二维图像:一维代表空间信息,另一维代表光谱。成像光谱仪的线扫描位置应隔离射束中心 2 mm,以避免饱和导致高强度的信号。光谱成像系统有效的光谱范围为 408 ~ 1 117 nm,光谱分辨率为 2.8 nm,空间分辨率为 0.2 mm 像素。

1.3 荧光散射图像和水果糖度值

1.3.1 荧光影像获取。采集图像在只有激光光源的暗室中进行。先对样品进行编号,按序号取出柑桔进行单个测量,把水果的果柄和果萼水平横放在光箱的载物台上,关闭光箱,从而完全避免在测量过程中受环境光线影响。调整移动平台的速度,使得到的柑桔荧光散射图像不失真。逐个进行拍摄,拍摄时注意确定所有的水果都是单方向移动,得到激光诱导荧光散射图像,将这些图像分别储存在计算机作进一步分析。

1.3.2 柑桔糖度值测量。柑桔糖度值以 $^{\circ}\text{Brix}$ 来表示,它是通过手持折射计(型号 WZ-103,中国中油光学仪器有限公司)从柑桔中取出果汁进行测量得到。南丰蜜桔与脐橙的糖度值分布范围分别是 12.6 ~ 20.93 $^{\circ}\text{Brix}$ 和 10.8 ~ 16 $^{\circ}\text{Brix}$ 。

1.4 水果品质预测模型建立方法 每个散射图像是由数以百计的光谱信息组成,每个光谱来自果实表面不同的位置。在激光照射点周围取 100 × 50 像素的感兴趣区域 (ROIs)。该研究利用平均值来表征整个图像,利用 MATLAB 软件计算整个 ROIs (100 × 50 像素) 从 700 ~ 1 100 nm 中每个波长下图像的平均值。通过优化选取不同波长区域进行实验,然后用线性回归方法来建立预测柑桔糖度值的模型。

2 结果与分析

2.1 柑桔的激光诱导荧光散射光谱曲线 柑桔的散射光谱图像是通过计算 ROIs (100 × 50 像素) 中从 700 ~ 1 100 nm 波长下的光谱散射量的平均值来进行表征。图 2 所示为一个南丰蜜桔的光谱曲线,脐橙的光谱曲线与南丰蜜桔的相似。由图 2 可知,柑桔的激光诱导荧光散射光谱曲线呈规律性、周期性的强弱间隔分布,波谷和峰值明显。

2.2 激光诱导荧光光谱的预测模型 通过主成分分析等优化方法来选取不同波长区域进行实验,以回归分析建立的模型相关系数为评判标准,结果表明,建立糖度预测模型的南丰蜜桔最佳光谱区域是 920 ~ 992 nm,脐橙的最佳光谱区域是 949 ~ 1 000 nm。通过多元回归分析得到南丰蜜桔和脐橙的糖度预测模型,南丰蜜桔糖度预测模型的相关系数 R 与标准差 SEP 值分别是 0.970 和 0.294,脐橙糖度预测模型的相

关系数 R 与标准差 SEP 值分别是 0.960 和 0.334。因此,利用激光诱导荧光方法来预测柑桔糖度值有很高的准确性。

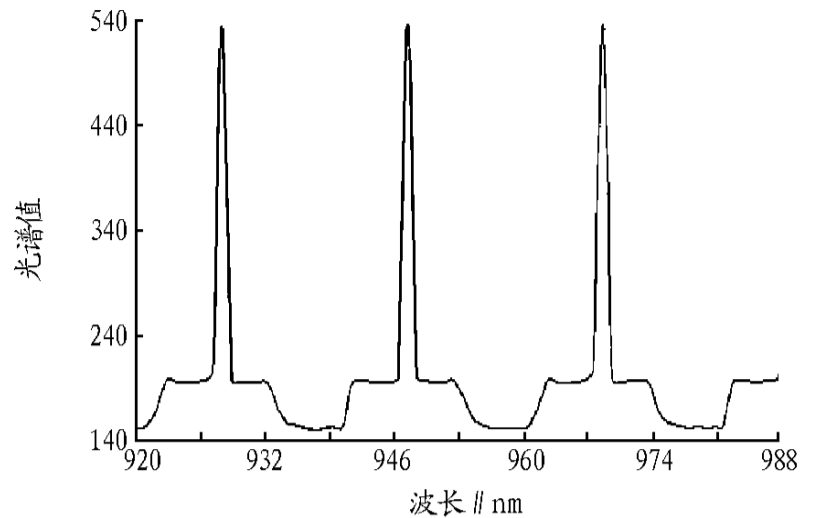


图2 波长920~992 nm区间内南丰蜜桔光谱反射量平均值

3 结论与讨论

采用激光诱导荧光高光谱图像方法预测柑桔糖度值,研究表明,该方法有很高的预测效果,南丰蜜桔和脐橙糖度预测模型的相关系数 R 分别达到 0.970 和 0.960,标准差 SEP 值分别 0.294 和 0.334。

参考文献

- [1] SIEUER B, SCHULZ H, LAGER E. Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2001, 72: 113-117.
 - [2] KAWANO S, FUJIWARA T, IWAMOTO M J. Nondestructive determination of sugar content in Satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance[J]. Journal Japanese Society Horticultural Science, 1993, 62(2): 465-470.
 - [3] MCGLONE V A, FRASER D G, JORDAN R B, et al. Internal quality assessment of mandarin fruit by VIS/NIR spectroscopy[J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2003, 11: 323-332.
 - [4] ANIL H S, HERNANDEZ GOMEZ, YONG HE, ANNA GARCIA PEREIRA. Non destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using VIS/NIR spectroscopy techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77: 313-319.
 - [5] LUR, GUYER D E, BEAUDRY R M. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance[J]. J Texture Study, 2000, 31: 615-630.
 - [6] MCGLONE V A, JORDAN R B, MARIINEN P J. VIS/NIR estimation of harvest of pre- and post-storage quality indices for "Royal Gala" apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 25: 135-144.
 - [7] PARK B, ABBOTT J A, LEE K J, et al. Near-infrared diffuse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of delicious and gala apples[J]. Trans ASAE, 2003, 46: 1721-1731.
 - [8] PENG Y, LUR. Modeling multispectral scattering profiles for prediction of apple fruit firmness[J]. Trans ASAE, 2005, 48: 235-242.
 - [9] KIM M S, LEFCOURT A M, CHEN Y R. Multispectral laser-induced fluorescence imaging system for large biological samples[J]. Appl Opt, 2003, 42: 3927-3934.
 - [10] ARIANA D P, SHRESTHA B P, GUYER D E. Integrating reflectance and fluorescence imaging for apple disorder classification[J]. Comput Electron Agric, 2006, 50: 148-161.
 - [11] DEELL J R, KOOTEN O, PRANCE R K, et al. Applications of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology[J]. Horticultural Reviews, 1999, 23: 69-107.
- (上接第11803页)
- [4] 叶丽华, 曾保忠, 林文辉. 高产优质超级稻——II 优航1号[J]. 福建稻麦科技, 2006, 24(2): 40.
 - [5] 洪克诚, 张大友, 徐为元. 水稻超高产群体质量与氮肥运筹效应[J]. 南京农专学报, 2000, 16(2): 39-42.
 - [6] 叶全宝, 张洪程, 魏海燕, 等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1422-1428.