

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.027

# 蜜瓜糖度透射光谱检测技术\*

田海清 王春光 吴桂芳

(内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

**【摘要】** 采用便携式 USB 光纤光谱仪建立了蜜瓜糖度透射光谱检测系统,光源能量 300 W,光谱采集积分时间 500 ms,离散光谱累计采集次数为 4 次,光谱平滑采用厢车法,平滑点数为 4 点。利用该系统对 140 个非网纹类蜜瓜糖度进行了检测试验,采用经典最小二乘法(CLS)、逐步多元线性回归(SMLR)、主成分回归分析(PCR)和偏最小二乘法(PLS)对样品光谱和糖度的建模与预测结果表明,PLS 法的建模与预测结果较好,相关系数  $r$  为 0.857,均方根校正误差为 0.655,均方根预测误差为 0.838。

**关键词:** 蜜瓜 糖度 透射光谱 检测

中图分类号: S123; O434 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)12-0130-04

## Sugar Content Detecting of Muskmelons by Transmission Spectra

Tian Haiqing Wang Chunguang Wu Guifang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

### Abstract

A portable fiber spectrometer was employed for constructing a transmission spectra detecting system. The system took a 300 W tungsten-halogen light source, the integration time for muskmelon samples was 500 ms, cumulative integral times of discrete spectra was four, and the smooth method of spectra was boxcar method with four counts smoothing. The system was used to detect the sugar content for 140 samples. Based on the classical least square method (CLS), stepwise multiple linear regress method (SMLR), principal component regression method (PCR) and partial least square method (PLS), four different models between the spectra and the sugar content were established. The test of models indicated that the PLS method was more appropriate for calibration and prediction, the correlation coefficient  $r$  was 0.857, root mean square errors of calibration was 0.655, and root mean square errors of prediction was 0.838.

**Key words** Muskmelon, Sugar content, Transmission spectra, Detecting

### 引言

蜜瓜属厚皮甜瓜,果实较大,果皮较厚且不能食用(如河套蜜瓜标准果形纵径 13.3 cm 左右,横径 12.3 cm 左右,果皮厚 0.5 cm 左右),内有种腔,赤道方向和顶部果肉厚度不同,靠近心部和靠近果皮的果肉质地差异较大<sup>[1]</sup>。国内外学者在对厚皮甜瓜

进行无损检测研究中,采用的主要方法是将其力学特征与品质指标建立相关关系模型<sup>[2~5]</sup>,但此方法在生产实际中的应用报道很少。随着水果光谱特征与其品质相关性理论研究的发展,尤其是其具有快速、低成本、无损伤的特点,国内外学者在利用水果光谱进行品质检测方面已经积累了大量研究经验和成果<sup>[6~17]</sup>,部分研究成果已经应用于生产实际中。

收稿日期: 2009-12-14 修回日期: 2010-01-20

\* 内蒙古自然科学基金资助项目(20080404MS0312)、内蒙古自治区高等学校科学研究资助项目(NJzc08052)和内蒙古农业大学博士科研启动基金资助项目(BJ06-48)

作者简介: 田海清,副教授,博士后,主要从事农牧业机械智能化研究, E-mail: hqtian@126.com

通讯作者: 王春光,教授,博士生导师,主要从事农牧业机械智能化研究, E-mail: wegjdy@yahoo.com.cn

本文建立蜜瓜糖度透射光谱检测系统,利用该系统对 140 个非网纹类蜜瓜的糖度进行检测试验。

## 1 光谱检测系统设计

### 1.1 光谱采集方式选择

利用水果的光谱特征进行品质无损检测研究领域涉及的水果种类很多,如苹果、梨、樱桃、芒果和柑橘等,指标也非常广泛,如糖度、酸度、硬度和组织缺陷等。但大量的研究成果集中在采用反射光谱进行小果形、薄果皮、品质较为均匀的水果检测上,对于大果形、厚皮、品质不均匀水果方面还不尽人意。国内外的研究已表明,反射光谱检测方式存在如下局限:只能测定光照射的部分,获得的只是靠近果皮部分的信息,深层的信息难以测得。内部漫射光受表面反射光的影响<sup>[18]</sup>。蜜瓜特殊的解剖结构特点决定了并不适合采用反射方式进行品质检测,因此采用透射方式对其进行检测。

### 1.2 光谱采集系统建立及参数设置

光谱采集系统如图 1 所示,主要包括样品检测室、光源、USB 便携式光纤光谱仪、检测器及光纤、柔性支撑物及用于存储光谱信号的计算机。光谱仪与计算机连接,采用插入式光谱采集卡,透射光谱信号通过光谱采集卡采集到计算机中,由光谱仪自带光谱处理软件进行处理。系统先使光源直接照射于检测器及光纤,光纤光谱仪接收光谱信号,将此信号记录下来,并存储于计算机作为光线百分之百透过率标准参比;然后将蜜瓜放置于盛放装置的柔性支撑物上,关掉光源进行暗场光谱采集;再打开光源,进行蜜瓜透射光谱采集。光谱仪自带光谱处理软件可实现吸收率、透过率、反射率和相对辐射率 4 个基本光学检测指标的计算,本研究采用透过率作为光谱衡量指标,透过率  $T_\lambda$  以通过样品的能量相对于参照比能量的百分比表示

$$T_\lambda = \frac{S_\lambda - D_\lambda}{R_\lambda - D_\lambda} \times 100\%$$

式中  $S_\lambda$ ——波长为  $\lambda$  时样品光谱强度

$D_\lambda$ ——波长为  $\lambda$  时暗场光谱强度

$R_\lambda$ ——波长为  $\lambda$  时参比光谱强度

通过分析透射光谱图中不同波长下所对应的透过率,就可以对蜜瓜的内部品质信息进行分析。

固定于盛放装置的柔性支撑物用以密封入射光线和适应不同形状的蜜瓜。在蜜瓜光谱采集系统中,光源装置设计是一个较为重要的问题,所采用的光源能量和布置方式,既要保证透射光可充分激发蜜瓜内部的品质信息,又要保证不会对蜜瓜造成伤害。本研究采用钨卤灯光源,通过改变光源能量、布

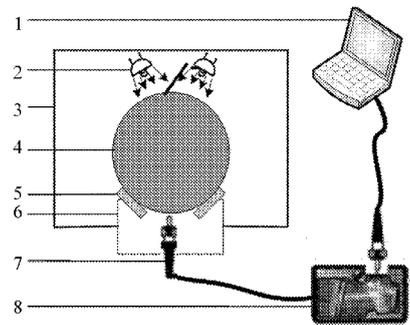


图 1 透射式蜜瓜光谱采集系统

Fig. 1 Schematic of transmission spectra detecting system

1. 计算机 2. 光源 3. 样品检测室 4. 蜜瓜 5. 支撑物 6. 盛放装置 7. 检测器及光纤 8. 便携式光纤光谱仪

置方式和光谱采集积分时间,并结合光谱仪技术参数调整,试验得出:当光源能量为 300 W (6 盏 50 W 钨卤灯左右对称布置),光谱采集积分时间为 500 ms,离散光谱累计采集次数为 4 次,光谱平滑采用厢车法,平滑点数为 4 点时,可保证既不会对蜜瓜造成任何损伤,也可采集到光滑光谱。

### 1.3 试验材料及试验方法

试验材料为由水果市场购买的非网纹类蜜瓜 140 个,静置于温度为 20℃,相对湿度为 60% 的环境条件下 24 h,其中 100 个用于建立定量分析数学模型,40 个用于预测。所有样品分别于花萼附近、赤道和果柄处采集光谱,将 3 处采集的光谱平均后作为样品光谱。光谱采集后,沿花萼-果柄方向将样品切开,分别在光谱采集部位切取果肉,在研钵中捣碎,搅拌均匀后,取过滤后的上清液作为试样,采用 ATAGOPR-101 型手持式数字折光仪测定糖度。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品光谱及糖度

所用光纤光谱仪波段范围为 350 ~ 1 000 nm,但从蜜瓜光谱来看,低于 450 nm 和高于 950 nm 样品光谱并无差异,因此蜜瓜光谱的有效建模波段范围为 450 ~ 950 nm,图 2 是 140 个蜜瓜样品在这一波段范围内经数据中心化处理后的光谱。表 1 是样品集、建模样品与预测样品糖度统计结果。

### 2.2 建模与预测结果

经典最小二乘法 (CLS)、逐步多元线性回归 (SMLR)、主成分回归分析 (PCR) 和偏最小二乘法 (PLS) 是常用的光谱定量分析建模方法<sup>[18-21]</sup>,本文采用上述方法建立 100 个蜜瓜光谱和糖度定量分析数学模型,并对剩余的 40 个蜜瓜样品进行糖度预测,以评价模型质量。模型质量用相关系数 ( $r$ )、均方根校正标准偏差  $C$  和均方根预测标准偏差  $P$  评定,建模与预测结果如表 2 所示。

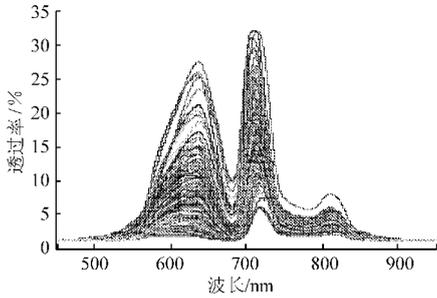


图2 140个蜜瓜样品光谱图

Fig. 2 Transmission spectra of 140 samples

表1 蜜瓜样品集糖度统计结果

Tab. 1 Characteristics of sugar content for muskmelon samples

统计指标	样品数量	最大值 /°Brix	最小值 /°Brix	平均值 /°Brix
样品集	140	12.1	5.1	8.53
建模样品	100	12.1	5.1	8.60
预测样品	40	11.3	5.2	8.43

表2 CLS、SMLR、PCR和PLS法建模与预测结果

Tab. 2 Calibration and prediction results using CLS, SMLR, PCR and PLS methods

建模方法	$r$	$C$	$P$
CLS	0.746	0.974	0.889
SMLR(9波数)	0.845	0.660	1.140
PCR	0.804	0.744	0.897
PLS	0.857	0.655	0.838

### 2.3 结果分析

CLS法的建模思想是使得观测点和估计点的距离平方和达到最小值,CLS法在建立校正模型过程中要求知道糖度中所有组分的浓度,这是很难办到的,所以建模与预测结果较差。

SMLR法由于仅使用几个波长下的光谱数据,因此波长的选择很重要,必须能够充分代表糖度信息,本文采用逐步回归的方法进行波长选择。从表2可以看到,采用SMLR法尽管可以有较好的建模结果,但预测结果并不理想,随波长数目的增加,预测结果变差,这与噪声的干扰有关,而且随波长数目的增加,共线性问题开始出现。

PCR法通过对回归的光谱矩阵进行分解和降噪处理,解决了多元线性回归中的共线性问题,但并

未对被测组分矩阵进行分解和降噪处理,因此,建模与预测结果也不理想。考虑到被测组分矩阵也包含无用信息,采用PLS法同时将光谱矩阵和被测组分矩阵进行分解,进一步消除了无用信息的影响。建模结果散点图如图3所示,预测结果散点图如图4所示。由表2和图3、4可知,PLS法的建模与预测结果较好, $r$ 为0.857, $C$ 为0.655, $P$ 为0.838。

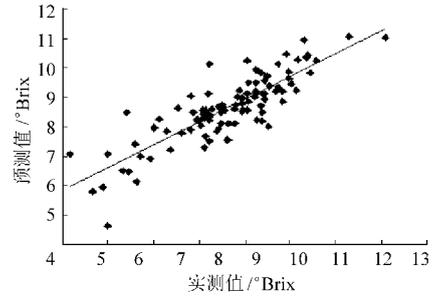


图3 蜜瓜光谱与糖度PLS法建模结果

Fig. 3 Calibration result for spectra and sugar content of muskmelon using PLS method

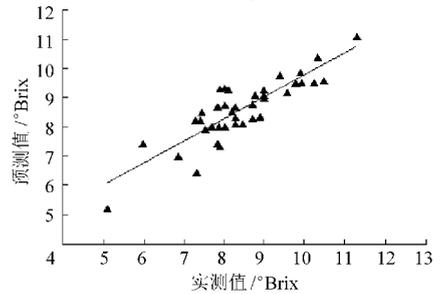


图4 PLS法所建模型预测结果

Fig. 4 Prediction result for sugar content of muskmelon using PLS model

### 3 结论

(1) 建立了蜜瓜糖度透射光谱检测系统,通过试验得出:当光源能量为300 W,光谱采集积分时间500 ms,离散光谱累计采集次数为4次,光谱平滑采用厢车法,平滑点数为4点时,可保证既不会对蜜瓜造成任何损伤,也可采集到光滑光谱。

(2) 在450~950 nm波段范围内,采用CLS、SMLR、PCR和PLS法对样品光谱和糖度的建模与预测结果表明,PLS法的建模与预测结果较好,相关系数 $r$ 为0.857,均方根校正误差为0.655,均方根预测误差为0.838。

(3) 采用透射光谱对蜜瓜糖度快速无损检测具有可行性。

### 参考文献

- 杨晓清. 河套蜜瓜流变特性及储运损伤控制的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.  
Yang Xiaqing. Study on rheological properties and damage control of Hetao muskmelons[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006. (in Chinese)

- 2 Brito L G, Malevski Y. Compressive failure patterns of some juicy fruits[J]. *Journal of Food Science*, 1976, 41(6): 1 320 ~ 1 324.
- 3 Chen H. Finite element study of the melon for nondestructive sensing of firmness[J]. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39(3): 1 057 ~ 1 065.
- 4 Sugiyama J. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester[J]. *Transactions of the ASAE*, 1998, 41(1): 121 ~ 127.
- 5 Takao H, Ohmori S. Development of device for nondestructive evaluation of fruit firmness[J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 1994, 28(1): 36 ~ 43.
- 6 Nicolai B M, Beullens K, Bobelyn E, et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 46(2): 99 ~ 118.
- 7 应义斌, 刘燕德, 傅霞萍. 基于小波变换的水果糖度近红外光谱检测研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2006, 26(1): 63 ~ 66.  
Ying Yibin, Liu Yande, Fu Xiaping. Sugar content prediction of apple using near-infrared spectroscopy treated by wavelet transform[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2006, 26(1): 63 ~ 66. (in Chinese)
- 8 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, 37(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, 37(5): 91 ~ 93, 103. (in Chinese)
- 9 田海清, 应义斌, 徐惠荣, 等. 西瓜可溶性固形物含量近红外透射检测技术[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(5): 111 ~ 113.  
Tian Haiqing, Ying Yibin, Xu Huirong, et al. Near-infrared transmittance measuring technique for soluble solids content of watermelon[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(5): 111 ~ 113. (in Chinese)
- 10 Renfu L. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near infrared diffuse reflectance spectroscope[J]. *Transactions of the ASAE*, 2001, 44(5): 1 265 ~ 1 271.
- 11 Miller W M, Zude M. Nir-based sensing coupled with physical/color features to identify Brix level of Florida Citrus[J]. *Transactions of the ASAE*, 2004, 47(2): 223 ~ 230.
- 12 Sylvie B, David R, Maryse R, et al. Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(4): 1 323 ~ 1 328.
- 13 韩东海, 刘新鑫, 赵丽丽, 等. 苹果水心病的光学无损检测[J]. *农业机械学报*, 2004, 35(5): 143 ~ 146.  
Han Donghai, Liu Xinxin, Zhao Lili, et al. Research of nondestructive detection of apple watercore by optical means[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2004, 35(5): 143 ~ 146. (in Chinese)
- 14 Subedi P P, Walsh K B, Owens G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 43(3): 326 ~ 334.
- 15 McGlone V A. Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 26(2): 191 ~ 198.
- 16 Sun Tong, Liu Hongjian, Xu Huirong, et al. Effect of fruit moving speed on predicting soluble solids content of 'Cuiguan' pears (*Pomaceae pyrifolia* Nakai cv. Cuiguan) using PLS and LS-SVM regression[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 51(1): 86 ~ 90.
- 17 Bart M, Nicola B E, Verlinden M D. Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict soluble solids content and firmness of pear[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 47(1): 68 ~ 74.
- 18 严衍禄, 赵龙莲, 韩东海, 等. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
- 19 史永刚, 冯新沪, 李子存. 化学计量学[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.
- 20 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.
- 21 祝诗平. 近红外光谱品质检测方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.  
Zhu Shiping. Study on quality detection methods of near infrared spectroscopy analysis[D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- 22 陈香维, 杨公明. 测试部位对猕猴桃近红外光谱响应特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(1): 124 ~ 128.  
Chen Xiangwei, Yang Gongming. Influences of test locations on sugar content prediction of kiwifruit with near-infrared diffuse reflectance technique[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(1): 124 ~ 128. (in Chinese)