

树形对适收期黄花梨糖度 VIS/NIR 光谱检测的影响研究*

刘辉军^{1,2} 应义斌¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058;
2. 中国计量学院计量测试工程学院, 杭州 310018)

摘要: 针对树体的光通透性影响果实糖分的积累,不同树形的果实品质存在差异的问题,研究了树形对适收期黄花梨糖度可见/近红外光谱检测模型的影响。采集了适收期前后6个批次、不同树形(开心形和棚架形)的黄花梨果实480个进行实验,两类树形果实糖度差异显著($p < 0.05$),采用同一树形黄花梨建立的模型预测均方根误差(RMSEP)分别为 0.69°Brix 、 0.64°Brix ,相对分析误差RPD分别为2.08、1.97;单一树形全部样品建立的模型对不同树形样品的RMSEP分别为 1.31°Brix 、 1.07°Brix ,RPD分别为1.14、1.36;2类树形联合模型RMSEP为 0.59°Brix ,RPD为2.38。结果表明,树形对适收期黄花梨糖度预测模型的精度和稳健性均有较大影响,对进一步研究近红外光谱技术在田间水果采收期品质及最佳采收期检测的应用有一定的参考价值。

关键词: 黄花梨 糖度 可见/近红外光谱 树形 偏最小二乘法

中图分类号: S123 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)07-0233-05

Effect of Tree Shapes on Prediction of Sugar Content of Huanghua Pear in Harvest Time Using Visible/Near Infrared Spectroscopy

Liu Huijun^{1,2} Ying Yibin¹

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China
2. College of Metrological Technology and Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Light permeability of tree affects the accumulation of sugar in fruits, and there is a difference in quality of fruit between different types of trees. The effect of tree shapes on prediction of sugar content of Huanghua pears in harvest time by visible/near infrared spectroscopy (VIS/NIR) was evaluated. A total of 480 pears were picked from opening canopy trees and trellis-trained trees in six batches, there was significant difference in fruit sugar content between two types of fruit trees ($p < 0.05$). The root mean square error of prediction (RMSEP) and residual prediction deviation (the ratio of standard deviation to RMSEP, RPD) of models of single tree shape fruits for predicting similar fruits ranged from 0.69°Brix to 0.64°Brix , and from 2.08 to 1.97, while for all fruits of different tree shapes, they ranged from 1.31°Brix to 1.07°Brix , and from 1.14 to 1.36, respectively. The RMSEP of the combined model was 0.59°Brix , and RPD was 2.38. The results showed that the model established by single tree shape fruits had poor performance, while a model established by using combined shapes fruits would obtain ideal robustness and good accuracy. The results would help to further utilize VIS/NIR to test quality of fruits in harvest time and predict the optimal harvest time.

Key words: Huanghua pear Sugar content Visible/near infrared spectroscopy Tree shape Partial least square

收稿日期: 2014-10-10 修回日期: 2014-11-30

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA10A504)和浙江省公益性技术应用研究计划资助项目(2012C21010)

作者简介: 刘辉军, 博士生, 中国计量学院高级实验师, 主要从事农产品光谱检测研究, E-mail: liuhj@cjlu.edu.cn

通讯作者: 应义斌, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品品质与安全快速检测技术和智能化装备研究, E-mail: yingyb@zju.edu.cn

引言

果实适收期的成熟度直接决定了水果的贮藏潜力和最终食用品质,目前水果的采收期主要依据果农的经验判断,影响了果品的价值。

糖度是苹果、梨等采收期成熟度的重要指标,近年来,有学者尝试将近红外光谱(NIR)技术用于水果适收期成熟度、最佳采收时间的预测。NIR 技术作为一种无损检测方法,已被用于各类水果产后品质的快速检测研究,并逐渐在品质分级中得到应用,其中,糖度是主要的研究内容^[1-3]。

然而,众多水果糖度近红外光谱模型的研究中样品数量偏少,或直接从水果市场上购买,或将分批采摘的果实经较长贮藏,待果实品质稳定后分析^[4],尽管部分模型的 RMSEP 接近理想值 0.5°Brix,但由于建模过程中忽视了样品生物特性差异的影响,模型的相对分析误差(RPD)多在 1.5 以下^[5-7],稳健性较差。果实的生长方位^[8]、品种^[9]、产地^[10]以及采收时间^[11]等生物学特性均影响近红外光谱模型的稳健性,Nagle 等^[12]还发现不同灌溉条件使芒果呈现不同的光谱特性,Bobelyn 等^[13]指出模型的稳健性随校正集中样品所含生物学差异性的增加而增强。光照是促进果实中碳水化合物形成的重要条件,不同树形的树体光通透性有很大差异,影响果实中糖分的积累,从而引起果实品质的差异^[14-15]。但到目前为止,未见有讨论树形对水果糖度近红外光谱检测模型影响的报道。

黄花梨是我国南方优质梨品种,其树形主要有开心形和棚架形 2 类。本文对 2 类树形果实糖度进行显著性差异分析,讨论树形对糖度光谱检测模型的影响。

1 材料与方法

1.1 样品

样品采自杭州市东部的一个标准化商业果园,实验前选择开心形和棚架形果树各 8 棵,均为 28 年生三主枝果树。采样时间在 2010 年 7 月 19 日至 8 月 23 日间,间隔一周,持续 6 周。每次从选定的果树上按东、西、南、北和中方位各摘 1 个,共采集 480 个样品。

1.2 光谱测定

实验采用德国蔡司公司 MCS600 (Zeiss, Germany)阵列式光纤光谱仪,光源为 CHL600(10 W),仪器内有 MCS 621 VIS II 型和 MCS 611 NIR 1.7 HR 型 2 个信号检测模块,采集的数据分别为 165 点(430~980 nm)和 246 点(980~1 700 nm),积

分时间分别为 1.2 s、3.5 s,光谱采集软件为 Aspect Plus。

为提高光谱测量的信噪比,使用了直径为 35 mm 的自制积分球漫反射附件,内部涂层为 BaSO₄。光源经光纤直接与积分球的进光孔相连,从积分球上部沿法线方向 8°入射,积分球下部有直径为 12 mm 的圆形开口,并安装了橡皮套,测量时使此开口与果实的被测面紧密接触,光源在被测面形成的入射光斑直径约为 10 mm。一根 Y 型光纤的入射端连接积分球的出光孔,另两端分别连接光谱仪的 2 个检测模块,积分球出光孔与其开口法线垂直,光谱采集装置如图 1 所示。

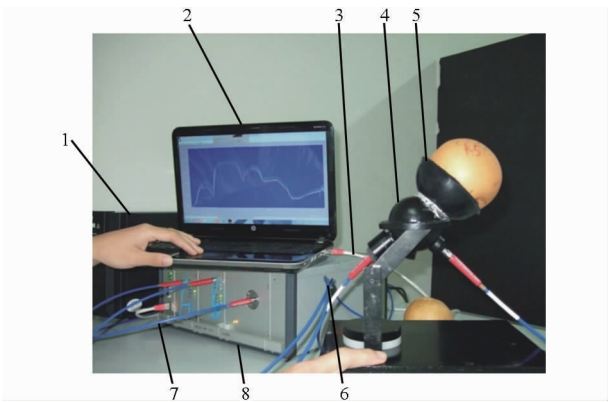


图 1 光谱采集实验装置

Fig. 1 Vis/NIR measurement system (not to scale)

1. UPS 电源 2. 计算机 3. 网线 4. 积分球 5. 橡皮套
6. Y 型光纤 7. 光纤 8. 光谱仪

每次采收后,将果实在室内(23℃)放置 24 h 后采集光谱,沿果实赤道分别测量向光面、背光面和一个侧光面的光谱,取平均光谱为样品光谱。

1.3 糖度值测定

糖度使用 PR-101 型数字折光仪(ATAGO 型,日本)测定。果实除去果核后榨汁,用定量滤纸过滤后用滴管加至折光仪镜面,读数稳定后记录仪器读数,每个样品测量 2 次,取其读数平均值记为样品糖度的真实值。

适收期前后是梨中糖分积累的主要阶段,由表 1 可见,不同采收时间 2 类树形的果实糖度差异均为显著,相同采收时间,开心形果树果实的糖度较高。利用 SPSS 软件进行 2 类树形果实的糖度差异性分析,经配对 *t* 检验表明,适收期内不同树形果实的糖度有显著差异(*p* < 0.05),即树形对黄花梨果实中糖类的积累有显著影响。

1.4 数据分析

运用偏最小二乘法(Partial least square, PLS)建立样品糖度与光谱数据间的数学模型。建模软件采用 TOMCAT 工具箱,利用 SG (Savitzky-Golay) 平滑

表 1 黄花梨的糖度分布

Tab.1 Measured SSC (solids sugar content) values of samples °Brix

采收时间	平均值		范围	
	棚架形	开心形	棚架形	开心形
2010/07/19	7.75 ± 0.61 ^a	8.21 ± 0.52 ^a	6.20 ~ 9.00	6.90 ~ 9.30
2010/07/26	8.93 ± 0.58 ^b	8.97 ± 0.45 ^b	7.50 ~ 9.90	8.00 ~ 10.10
2010/08/03	9.87 ± 0.53 ^c	10.28 ± 0.55 ^c	8.80 ~ 11.10	9.30 ~ 11.80
2010/08/10	10.65 ± 0.69 ^d	10.78 ± 0.61 ^d	8.60 ~ 12.70	9.00 ~ 11.95
2010/08/17	11.33 ± 0.65 ^e	11.56 ± 0.53 ^e	9.90 ~ 12.40	10.40 ~ 12.95
2010/08/23	11.60 ± 0.64 ^f	12.01 ± 0.68 ^f	9.85 ~ 13.10	10.20 ~ 14.10

注：平均值列中上标不同的字母表示有显著差异。

对果实光谱数据降噪,将均值中心化后的二阶导数光谱作为模型的输入^[16]。采用留一法建立内部交叉验证模型,选择均方根误差最小时的因子数作为校正集最佳因子数,利用 SPXY (Sample set partitioning based on joint X - Y distance) 方法将样品按 1:1 划分为校正集和预测集^[17],模型评价指标采用了相关系数 R (Correlation coefficient)、RMSEP 以及模型 RPD 等^[18]。

为考察树形对黄花梨糖度模型的影响,分别建立了单一树形果实的糖度模型,并对不同树形的果实糖度进行预测,最后建立 2 类树形果实的联合模型。

2 结果和讨论

2.1 黄花梨的光谱特性分析

如图 2 为不同采收时间的黄花梨 VIS/NIR 漫反射光谱,主要吸收峰在 670、970、1 190、1 450 nm 处。其中,670 nm 附近是叶绿素吸收带,适收期内黄花梨果实皮逐渐从青褐色向黄褐色变化,叶绿素含量减小,反射率呈增大趋势。其余 3 处(970、1 190、1 450 nm)与纯水的近红外光谱较为相似^[19],主要反映了 O—H 伸缩振动的倍频吸收^[20]。其中,970、1 190 nm 与 C—H 的二阶、三阶倍频一致,与果实中糖的吸收有密切关系^[21]。

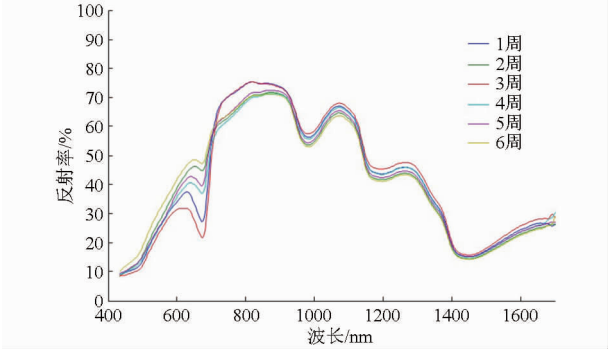


图 2 不同采收期黄花梨的漫反射光谱

Fig.2 Typical VIS/NIR reflectance spectra of Huanghua pear in different harvest times

采收期前后梨的含水率为 80% ~ 90%,糖度积

累快,与水和糖相关官能团的吸收在近红外区域占主导^[22],其与苹果^[23]、李子^[24]等的光谱变化较为相似,可见,不同采收时间的黄花梨光谱能较好地反映适收期前后果实内部主要成分的变化。

图 3 为不同树形黄花梨样品光谱的主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 得分图,前 2 个主成分的累计贡献率为 92.14%。不同树形的黄花梨有较明显的分类,第 1 主成分(73.41%)与果实的糖度含量变化相关,第 2 主成分(18.73%)与样品的树形相关,随着果实采收期的延长,不同树形果实的离散性有增大趋势,即树形对样本空间分布影响较大。

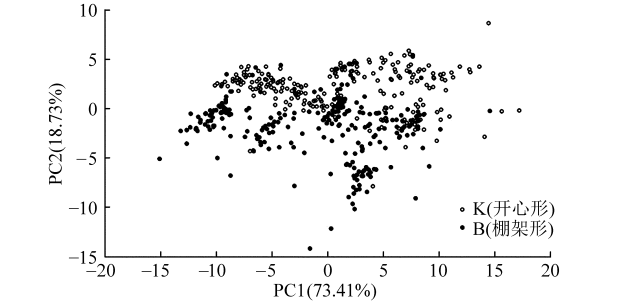


图 3 不同树形果实样品的 PCA 散点图

Fig.3 Scatter plot of PCA scores of different tree shape fruits

2.2 单一树形果实的糖度模型

首先建立单一树形果实的糖度模型,选取同一树形中一半样品作为校正集,利用剩下的 120 个样品对模型进行外部验证,模型 K、B 表示采用 SPXY 方法将开心形、棚架形果树果实按 1:1 划分为校正集和预测集后所建立的模型。如表 2 所示,模型 K、B 选用的主成分数为 9 和 7,预测均方根误差 RMSEP 分别为 0.64°Brix 和 0.69°Brix,RPD 分别为 2.08 和 1.97,模型预测精度和稳健性较为接近,有学者认为在水果类样品模型中,当 RPD 不小于 2.0 时,所建模型有较好的实用价值^[25-26],可见,单一树形果实模型对适收期同类树形样品中糖度含量有较好的预测能力。

表 2 单一树形果实校正模型及外部验证结果

Tab.2 Model performance of single tree shape fruits

模型	主成分数	校正集					预测集					
		范围/°Brix	均值/ °Brix	SD/ °Brix	R	RMSEC/ °Brix	范围/°Brix	均值/ °Brix	SD/ °Brix	R	RMSEP/ °Brix	RPD
K	9	6.90 ~ 14.10	10.51	1.48	0.90	0.64	7.40 ~ 12.40	9.87	1.33	0.93	0.64	2.08
B	7	6.20 ~ 13.10	10.00	1.46	0.85	0.81	7.00 ~ 12.20	10.05	1.36	0.86	0.69	1.97
K-B	9	6.90 ~ 14.10	10.51	1.48	0.90	0.64	6.20 ~ 13.10	10.02	1.49	0.83	1.31	1.14
B-K	7	6.20 ~ 13.10	10.00	1.46	0.85	0.81	6.90 ~ 14.10	10.30	1.46	0.77	1.07	1.36

开心形果树果实分层生长,光照充足,果实的光合作用较充分,相同采收期的果实糖度整体高于棚架形果树的果实;棚架形果树通风透光好,枝条牢固,能减少风害、果形一致性好,果实整齐度较高,但实验中果实整齐度对模型的影响不如先前学者讨论中明显^[1]。

为考察单一树形果实模型对不同树形果实的预测能力,不同树形的果实对模型进行外部独立检验。表 2 中,模型 K-B 即采用开心形树形果实建立的校正模型预测全部棚架形果实中的糖度,在模型 K-B、B-K 中,RPD 分别达 1.14 和 1.36, RMSEP 分别降至 1.31°Brix 和 1.07°Brix。从图 4

中可以看出,由于 2 类树形果实糖度分布范围的差异,当 K-B 模型预测糖度小于 6.90°Brix 的样品(图 4a)或 B-K 模型预测糖度大于 13.10°Brix 的样品(图 4b)时,均产生较大偏差,甚至导致错误的结果,将这些样品从预测集中剔除后,模型 K-B、B-K 的 RMSEP 为 0.80、0.94°Brix,分别较单一树形模型增大了 30% 和 36%,RPD 降至 1.69、1.52。可见,不同树形的光合作用效率影响果实细胞的增大和分化,果实细胞大小的差异导致水果光散射特性和吸收强度的改变^[27],进而影响模型的适应性,单一树形模型对不同树形果实中糖度的预测能力差。

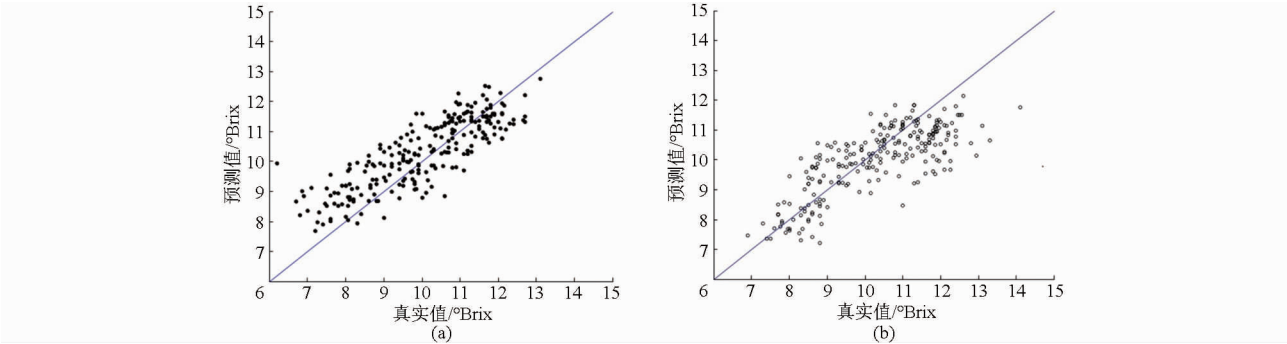


图 4 单一树形果实模型的预测值与真实值散点图

Fig.4 Predicted SSC vs measured SSC

(a) 模型 K-B (b) 模型 B-K

2.3 2 类树形果实糖度的联合模型

模型 K-B 为采用 2 类树形果实建立的糖度联合模型,从全部样品中的挑选出 240 个建立模型,余下 240 个样品用于独立外部检验。如表 3 所示,联合模型的最佳主成分数为 10,模型的复杂程度较 2 类单一树形模型并没有明显变化。该模型预测适用范围为 6.70 ~ 12.55°Brix,高于单一树形果实建

立的模型,预测均方根误差减小到 0.59°Brix,RPD 则提高到 2.38,其中,对开心形树形果实预测结果的相关系数为 0.93, RMSEP 为 0.56°Brix,对棚架形树形果实预测结果的相关系数为 0.91, RMSEP 为 0.63°Brix,均优于单一树形果实模型,图 5 为联合模型的预测值与真实值散点图。结果表明,联合模型的预测精度和稳健性都得明显提升,有效

表 3 2 类树形果实联合校正模型及外部验证结果

Tab.3 Model performance of combined tree shapes fruits

模型	主成分数	校正集					预测集					
		范围/°Brix	均值/ °Brix	SD/ °Brix	R	RMSEC/°Brix	范围/°Brix	均值/ °Brix	SD/ °Brix	R	RMSEP/°Brix	RPD
K-B	10	6.20 ~ 14.10	10.37	1.52	0.87	0.74	6.70 ~ 12.55	9.95	1.41	0.92	0.59	2.38

地克服了树形对黄花梨适收期糖度检测模型的影响。

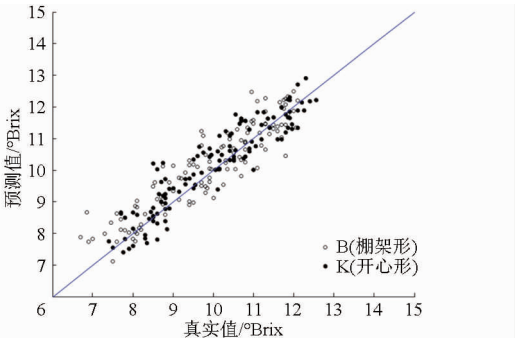


图 5 联合模型的预测值与真实值散点图
Fig.5 Predicted SSC vs measured SSC
of combined model

3 结束语

树形对适收期黄花梨糖度的 VIS/NIR 光谱检测模型精度和稳健性均有较大影响。适收期内不同树形的黄花梨果实糖分积累过程有显著差异,单一树形果实模型预测不同树形果实糖度时精度较差,不同树形果实建立的联合模型预测能力优于单一树形果实模型,将不同树形的果实共同组成校正集,建立树形全局模型,提高了模型的预测精度,并实现了模型对树形的稳健性。在后续的研究中,应重视样品生物学特性对模型的影响,为进一步研究近红外光谱技术在水果成熟度、最佳采收期检测方面的应用提供理论基础。

参 考 文 献

1 Magwaza L S, Opara U L, Nieuwoudt H, et al. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit—a review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(2): 425 – 444.

2 Kondo N. Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(3): 145 – 152.

3 Mantere T. A review of optical nondestructive visual and near – Infrared methods for food quality and safety[J]. International Journal of Spectroscopy, 2013: 1 – 36.

4 Nicolaï 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.

5 Sánchez M, D La Haba, Pérez-Marín. Internal and external quality assessment of mandarins on-tree and at harvest using a portable NIR spectrophotometer[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 92: 66 – 74.

6 Magwaza L, Opara U, Terry L, et al. Evaluation of Fourier transform-NIR spectroscopy for integrated external and internal quality assessment of Valencia oranges[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31(1): 144 – 154.

7 Wedding B, Wright C, Graufa S, et al. Effects of seasonal variability on FT-NIR prediction of dry matter content for whole Hass avocado fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 75: 9 – 16.

8 Magwazaa L, Oparaa U, Paul Cronjec, et al. Assessment of rind quality of ‘Nules Clementine’ mandarin during postharvest storage: 1. Vis/NIRS PCA models and relationship with canopy position[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 165(22): 410 – 420.

9 Peirs A, Tirry J, Verlinden B, et al. Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(2): 269 – 280.

10 Golic M, Walsh K B. Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stonefruit for total soluble solids content[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 555(2): 286 – 291.

11 Peirs A, Schenk A, Nicolaï B M. Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(1): 1 – 13.

12 Nagle M, Mahayothee B, Rungpichayapichet P, et al. Effect of irrigation on near-infrared (NIR) based prediction of mango maturity[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 125(4): 771 – 774.

13 Bobelyn E, Serban A S, Nicu M, et al. Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: study of the effect of biological variability on spectra and model performance[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(3): 133 – 143.

14 岳玉苓,魏钦平,张继祥,等. 黄金梨棚架树体结构相对光照强度与果实品质的关系[J]. 园艺学报, 2008, 35(5): 625 – 630.

15 李先明,刘先琴,涂俊凡,等. 梨不同树形的结构特征,产量分布及果实品质差异[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 323 – 326.

16 Kawano S, Fujiwara T, Iwamoto M. Non-destructive determination of sugar content in ‘Satsuma’ mandarins using NIRS transmittance[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1993, 62(2): 465 – 470.

17 Galvão R K H, Araujo M C U, José G E, et al. A method for calibration and validation subset partitioning[J]. Talanta, 2005, 67(4): 736 – 740.

18 钟昭台,曾国珍,王信智. 近红外线光谱技术应用于莲雾糖度检测之研究[J]. 农业机械学报, 2004, 13(4): 13 – 25.

19 Rambla F J, Garrigues S, De La Guardia M. PLS-NIR determination of total sugar, glucose, fructose and sucrose in aqueous solutions of fruit juices[J]. Analytica Chimica Acta, 1997, 344(1): 41 – 53.

20 Polesello A, Giangiacomo R, Dull G G. Application of near infrared spectrophotometry to the nondestructive analysis of foods: a review of experimental results[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1983, 18(3): 203 – 230.

- [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 48(3):287–298.
- 11 Chung H J, Lim S T. Physical aging of glassy normal and waxy rice starches: effect of aging temperature on glass transition and enthalpy relaxation[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(2):205–211.
- 12 Ahmed J, Ramaswamy H S, Ayad A, et al. Thermal and dynamic rheology of insoluble starch from basmati rice[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(2):278–287.
- 13 Magoshi J, Becker M A, Han Z, et al. Thermal properties of seed proteins[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2002, 70(3):833–839.
- 14 王春光. 牧草应力松弛时间及其应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1):65–67.
Wang Chunguang. Stress relaxation time of hay and its application[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1):65–67. (in Chinese)
- 15 王光辉, 王德成, Tabil L G, 等. 梯牧草草捆压缩蠕变特性的影响因素分析[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2011, 32(1):6–10.
Wang Guanghui, Wang Decheng, Tabil L G, et al. Effective factors on timothy hay creep properties when compressed to high density[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2011, 32(1):6–10. (in Chinese)
- 16 廖娜, 陈龙健, 黄光群, 等. 玉米秸秆木质纤维含量与应力松弛特性关联度研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12):127–132.
Liao Na, Chen Longjian, Huang Guangqun, et al. Grey relation analysis of lignocellulose content and compression stress relaxation of corn stalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12):127–132. (in Chinese)
- 17 Varnamkhasti M G, Mobli H, Jafari A, et al. Some physical properties of rough rice (*Oryza Sativa* L.) grain[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 47(3):496–501.
- 18 Cuq B, Icard-Vernière C. Characterisation of glass transition of durum wheat semolina using modulated differential scanning calorimetry[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 33(2):213–221.
- ~~~~~

(上接第 237 页)

- 21 Osborne B G, Fearn T, Hindle P H. Practical near infrared spectroscopy with applications in food and beverage analysis[M]. Essex, UK: Longman Food Technology, 1993:11–35.
- 22 Williams P, Norris K H. Variable affecting near infrared spectroscopic analysis [C] // Williams P, Norris K. Near Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries, 2001: 171–185.
- 23 Peirs A, Lammertyn J, Ooms K, et al. Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS/NIR-spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 21(2):189–199.
- 24 Paz P, Sánchez M T, Pérez-Marín D, et al. Nondestructive determination of total soluble solid content and firmness in plums using near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(8):2565–2570.
- 25 Travers S, Marianne G, Petersen K, et al. Predicting pear (cv. Clara Frijs) dry matter and soluble solids content with near infrared spectroscopy[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59:1107–1113.
- 26 Jiang H, Zhu W. Determination of pear internal quality attributes by Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy and multivariate analysis[J]. Food Analytical Methods, 2013, 6(2):569–577.
- 27 Dahm D, Dahm K. The physics of near-infrared scattering [C] // Williams P, Norris K. Near-Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries, 2001: 1–17.