

苹果糖分含量的近红外漫反射检测研究

刘燕德^{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 310029; 2 江西农业大学工学院, 南昌 330045)

摘要: 应用近红外漫反射技术探讨水果糖分含量检测方法并建立其光谱漫反射测量系统, 重点对 0, 2, 4 mm 和 6 mm 4 种不同测量距离对苹果糖分含量无损检测的影响分析。试验结果为: 当光纤贴紧苹果表面(0 mm 测量距离)时建立的校正方程对未知样品的预测效果最好。利用主成分回归多元校正技术, 建立在 0 mm 时红富士苹果样品糖分含量的预测数学模型, 其样品预测值和实测值之间的相关系数为 0.844, 标准校正误差(SEC)为 0.729, 标准预测误差(SEP)为 0.864, 偏差(Bias)为 0.318。通过本次试验研究表明, 应用近红外光谱漫反射技术进行苹果糖分含量无损检测具有可行性, 并得到了较为满意的预测效果。

关键词: 近红外漫反射; 糖分含量; 苹果; 主成分回归

中图分类号: TP242.62; S124+.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-00-0

0 引言

水果品质的判断及检测一直是农产品加工研究的重要课题之一。随着人们生活质量的提高, 消费者在选购水果时除了注重大小、颜色、外观形状等外部品质之外, 对于内部品质如口感、糖分含量、酸度和维生素含量等也是极为看重的指标^[1-3]。国内外学者利用近红外光谱技术在水果糖分含量无损检测方面做过相关研究, 如 Kawano S. 等(1992)^[4]在近红外光波段内检测桃子的糖分含量, 试验结果得出红外光谱和桃子糖分含量有很好的相关性($r = 0.97$); Slaughter D. C. (1995)^[5]在 $25000 \sim 10000 \text{ cm}^{-1}$ 光谱范围, 利用光纤探头接收部分透射光来预测成熟和未成熟的油桃的内部糖分含量; Lammertyn J. B. 等(1998)^[6]利用可见近红外光($26315 \sim 6060 \text{ cm}^{-1}$)检测 Jonagold 苹果的酸度、硬度和糖分含量; Peiris K. H. S. 等(1999)^[7]利用近红外光研究了苹果在不同部位的糖分含量与漫反射光谱的相关关系; Lammertyn Jeroen 等(2000)^[8]在 $11363 \sim 6060 \text{ cm}^{-1}$ 范围内利用光纤探头对 Jonagold 苹果糖分含量进行了近红外光谱反射特性的试验研究, 通过偏最小二乘法分析得出两者的相关系数在 0.79~0.91 之间; Lu R. 等(2002)^[9]在近红外($14285 \sim 5882 \text{ cm}^{-1}$)光谱范围内检测 Empire 和 Delicious 两种品种苹果的糖分含量。国内陈世铭, 张文宏等(1995, 1998)^[10,11]利用近红外漫反射在 $10000 \sim 1000 \text{ cm}^{-1}$ 对梨、水蜜桃、洋香瓜等果汁的糖分含量检测进行了研究, 分析了不同光谱预处理算法的近红外光谱对果汁糖分含量检测的影响。从前人利用近红外漫反射技术对水果内部品质无损检测的研究来看, 在光谱测量范围、水果品种、光谱测量方式和光纤种类选择等方面存在不同^[12]。

本研究应用近红外漫反射技术探索水果糖分含量无损检测方法和建立其相应的测量系统, 重点对不同测量距离对苹果糖分含量检测影响进行研究, 寻找水果糖分含量与漫反射光谱的相关关系。

1 试验方法与材料

1.1 测量系统及参数设置

苹果的近红外漫反射光谱测量系统(图 1)主要包括宽波段的光源(50 W 石英卤素灯, 尼高力公司, 美国), 漫反射光纤附件和水果样品支架。光源发出的光线通过入射光纤进入苹果并在果肉中漫射, 然后从内部苹果那里漫射出来的光从接收光纤射出进入 Nexus FT-IR 光谱仪, 该光谱仪的光谱范围为 $12500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$, 采样间隔为 20 cm^{-1} , 一个高速 ADC 电子元件被用来增强光谱信号并对信号进行数字化处理, 通过计算机运行 Nexus FT-IR 光谱仪带有的 OMNIC 6.1 软件来实现光谱数据获取和光谱存储。每个苹果的光谱是通过每隔约 30 ms 获取一个数据, 然后将 1 s 内的 32 个相邻数据积累而得到的。另外光纤布置在水平方向 750 位置, 目的是有利于水果漫反射而避免表面反射发生。

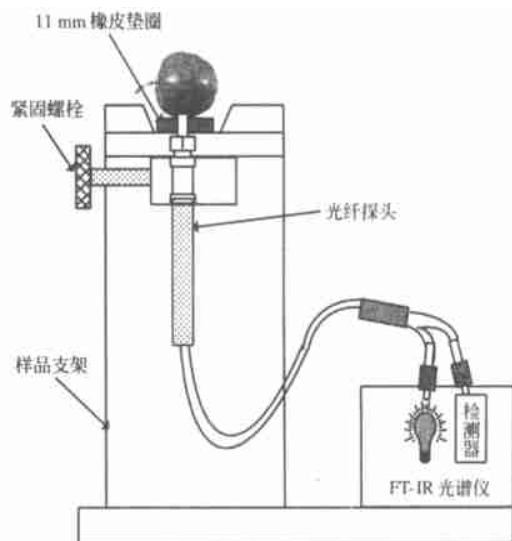


图 1 苹果近红外漫反射测量系统

Fig 1 Near-infrared diffuse reflectance for measuring sugar contents of apples

收稿日期: 2003-04-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270763); 国家高技术“863”计划资助项目(2001AA 422230)

作者简介: 刘燕德, 女, 副教授, 在职博士生, 主要从事农产品品质无损检测研究。南昌市 江西农业大学工学院, 310029

通讯作者: 应义斌, 教授, 博士生导师, 杭州市 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。Email: ybying@zju.edu.cn

本次试验的参数设置为: 测量波长范围: 12500~4000 cm^{-1} , 采样间隔: 2 0 cm^{-1} , 扫描次数: 32, 仪器分辨率: 4 0 cm^{-1} , 动镜速度: 0 9494 cm/s , 光圈大小: 20, 检测器为 InGaSe。每个苹果进行 4 次光谱测量, 分别位于最大直径处的 4 个相对位置, 然后把 4 次测量(在同一测量距离处)的吸光度光谱值求平均, 作为每个苹果的漫反射光谱, 且每个苹果均在相同参数设置下分别在 0, 2, 4 mm 和 6 mm 处测量其漫反射光谱, 距离的调整通过改变光纤探头与水果接触的距离来实现。

1 2 材料准备及糖分含量测量

苹果均为山东水晶红富士苹果共有 42 个, 直接从批发市场上购买, 所有的苹果购买后把表皮清理干净, 依次序作好标记, 其中 22 个用于做不同测量距离的光谱分析, 另外 20 个用于在 0 mm 处的模型建立用。将 22 个苹果分成校正组 18 个和预测组 4 个, 另外 20 个苹果分成校正组 16 个和预测组 4 个用于在 0 mm 测量距离时建立苹果校正模型用, 全部样品都在 16~ 19 放置。苹果的糖分含量测定用 WYT- 4 型手持糖量计(福建省泉州光学仪器厂)并严格参照国家标准 GB 12295-90 执行。每个苹果在相应光谱扫描的 4 个位置测量, 4 个位置的测量平均值作为整个苹果的糖分含量值。

1 3 光谱处理和数据分析

Nexus FT-IR 光谱仪所获得的光谱为连续光谱, 通过 RS-232 以每隔 2 cm^{-1} 的间隔把数据保存在计算机上, 此时的光谱为原始吸收光谱, 利用 OMN IC6 1 对原始吸收光谱进行平滑处理, 目的是为了去除噪声和提取光谱的有效信息。数据分析与模型建立使用 Nicolet 公司智能定量分析软件 TQ Analyst V 6 0。预测模型是通过建模算法: 主成分回归来实现, 最后用预测样本通过回归分析评价校正模型的精度。

2 试验结果与分析

2 1 苹果的近红外漫反射光谱分析

光谱采集应保证在相同的试验条件下进行, 分辨率大小和扫描次数的不同均对试验结果会有一些影响。只有在严格控制实验条件的基础上才能获得较好的水果原始光谱图。本研究中采用一个专门用于水果漫反射测量系统, (如图 1 示), 因此可以得到质量较好的光谱图。图 2 为同一个苹果 4 个不同位置的原始漫反射吸收光谱图。

从图 2 可知, 同一个水果由于其内部组织有所差异, 其光谱图稍有变化, 但其光谱形状具有相似性, 且其吸收峰位置的差异性不明显。这些图谱在 11000~ 4250 cm^{-1} 范围内较为明显, 包含信息丰富。在 51620 cm^{-1} , 6888 60 cm^{-1} , 8313 76 cm^{-1} 和 10195 97 cm^{-1} 等 4 个波数峰值随着内部糖含量的不同, 波峰强度有较明显的变化。不同水果由于其内部组织差异较大, 其光谱图有变化, 但其光谱形状具有相似性, 且也在 51620 cm^{-1} , 6888 60 cm^{-1} , 8313 76 cm^{-1} 和 10195 97 cm^{-1} , 波峰强度有较明显的变化。

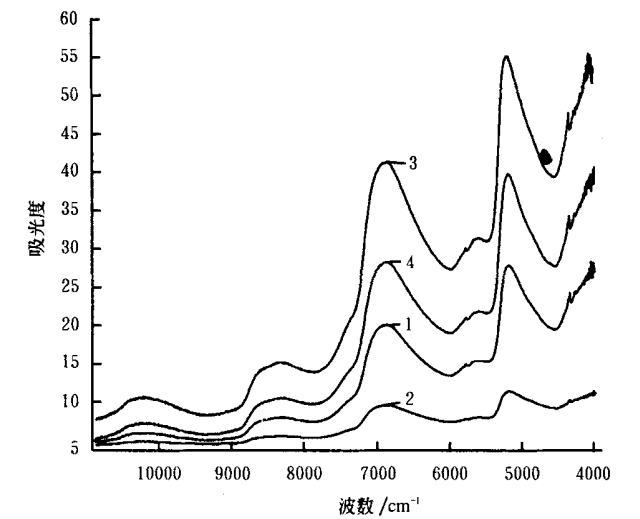


图 2 同一个苹果不同位置的近红外漫反射光谱
Fig 2 N IR diffuse reflectance spectra of the same apple at different positions

2 2 不同测量距离对苹果糖分含量预测的影响

通过 FT-N IR 光谱仪对不同测量距离处 20 个苹果的近红外光漫反射测量, 并利用 OMN IC6 0 软件把水果漫反射光谱转变为漫反射原始吸光度值, 结合定量分析软件 TQ Analyst V 6 0 中的主成分回归方法建立不同测量距离下苹果的校正模型并得出其预测值, 结果如下表 1。

表 1 不同测量距离的校正模型预测性能对照
Table 1 Prediction performance of the different calibrations at different distances

距离/mm	标准校正误差	标准预测误差	偏差
0	0 494	0 460	- 0 225
2	0 641	1 179	- 0 055
4	0 861	2 531	0 713
6	0 794	0 770	- 0 340

从表 1 可知光纤贴紧苹果表面, 也就是 0 mm 测量距离时苹果校正模型的预测为最好。表 2 给出了不同测量距离下保留的主成分个数和其累积贡献率大小。

表 2 不同测量距离下主成分个数和累积贡献率
Table 2 Principal component(pc) number and contribution rate at different distances

距离/mm	贡献率/%	主成分个数
0	99 38	7
2	99 04	9
4	98 47	6
6	97 38	5

从表 2 可以得知, 在 0 mm 测量时保留的主成分个数为 7 时其累积方差贡献率就达到 99 38%, 而其它 3 种测量距离在推荐的保留主成分数个数时其累积方差贡献率均小于 99 38%。因此可以得出在 0 mm 测量时校正模型的预测效果最好的结论。

2 3 在 0 mm 测量距离处的数学模型建立

通过前面不同测量距离对苹果糖分含量预测的影响对比分析研究, 我们仍以光纤贴紧水果表面为主(0 mm 测量), 另外取 20 个相同品种红富士苹果为研究对象, 参照国家标准 GB 12295-90 进行其糖分含量的测量, 其糖分含量范围为: 10.50~ 16.50 Brix。根据 Nicolet 公司的智能定量分析软件 TQ Analyst V 6.0, 得出主成分回归预测 16 个苹果样品中的糖分含量(预测值)。苹果糖分含量预测值和实测值的对应关系如图 3 所示, 样品预测值和实测值之间的相关系数为 0.844, 标准校正误差(SEC)为 0.729, 标准预测误差(SEP)为 0.864, 偏差为 0.318。

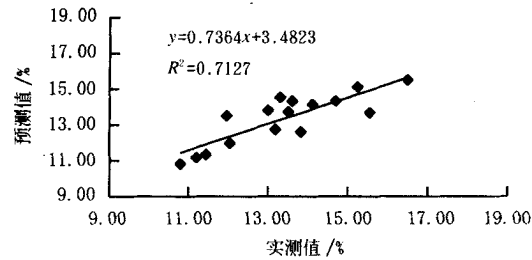


图 3 苹果样品实际值与预测值的相关图
Fig 3 Relationship between the measured and predicted sugar content

2 4 模型的检验过程

用已建立的数学模型对剩余 4 个样品的糖分含量进行预测, 预测结果如表 3 所示。

表 3 PCA 模式下数学模型的预测结果
Table 3 Predicted results of PCA model

样品号	真实值	预测值	偏差
12	11.13	12.60	1.47
14	13.88	13.95	0.07
16	14.50	14.23	- 0.27
20	10.50	10.67	0.17

从预测结果可以看到, 预测样本的 12 和 16 号样品也大于 20 号样品, 预测误差明显大于 20 号样品。因此, 增大标准样品的数量, 选择具有代表性的样品, 可以增强建立的数学模型的稳定性, 减小分析误差。但试验所用样品糖分含量为 10.5~ 16.50 Brix, 糖分含量分布范围均不宽, 导致预测误差增大。

3 结论与讨论

本文探讨了不同测量距离对苹果糖分含量预测的

影响和对苹果糖分含量不同预测数学模型性能对比分析, 在 0 mm 测量距离下建立的校正预测模型进行检验分析。通过本试验表明不同测量距离对苹果糖分含量无损检测有较大影响。但由于试验的样本数量较少, 因此今后还需要对本次试验的结果进行大批量样本的验证试验和分析。

[参 考 文 献]

[1] 应义斌, 饶秀勤, 赵 匀, 等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用 (I) [J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 103- 108

[2] 应义斌, 刘燕德. 水果内部品质光特性无损检测研究及应用 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(2): 125- 129

[3] 吴谨光, 等. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用 [J]. 北京: 科技文献出版社, 1994

[4] Kawano S, Fujiwara T, Iwamoto M. Nondestructive determination of sugar content in Satsuma mandarin using near infrared transmittance [J]. J Jpn Soc Hort Sci, 1993 (62): 470- 645

[5] Slaughter D C. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines [J]. Trans of the ASAE, 1995, 38(2): 617- 623

[6] Lammertyn J, Nicolai K B, Ooms, et al. Nondestructive measurement of acidity soluble solids and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy [J]. Trans of the ASAE, 1998, 41(4): 1089- 1094

[7] Peiris K H S, Dull G G, et al. Spatial variability of soluble solids or dry matter content within individual fruits, bulbs, or tubers: Implications for the development and use of NIR spectrometric techniques [J]. HortScience, 1999, 34(1): 114- 118

[8] Lammertyn Jeroen, Peirs Ann, et al. Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment [J]. Postharvest Biology and technology, 2000, 18: 121- 132

[9] Lu R, Ariana D. A near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit [J]. Trans of the ASAE, 2002, 18(5): 585- 590

[10] 陈世铭, 张文宏, 谢广文. 果汁糖度检测模式之研究 [J]. [台湾]农业机械学刊, 1998, 7(3): 41- 60

[11] 郭立颖, 陈世铭, 张文宏. 洋香瓜糖度检测之研究 (一)——影像纹理分析法 [J]. [台湾]农业机械学刊, 1998, 7(1): 75- 86

[12] 刘燕德, 应义斌. 光纤传感技术及其在水果内部品质检测中的应用研究 [J]. 传感技术学报, 2003, 20(2): 1- 5

Sugar content prediction of apples with near infrared diffuse reflectance technique

Liu Yande^{1,2}, Ying Yibin¹

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

(2. College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The nondestructive method and system for predicting fruit sugar content with near infrared diffuse reflectance technique were explored. The influence of different testing distances on measuring accuracy of sugar content (SC) of Fuji apples was discussed. Diffuse reflectance spectra were measured in the spectral range from 12500 to 4000 cm^{-1} at four different testing distances of 0 mm, 2 mm, 4 mm and 6 mm. Principal component regression (PCR) analysis was used to develop the calibration models between the original spectral data and measured SC. The results showed that the best distance for measuring sugar content was about at 0 mm, and the calibration model was set up at this distance. The calibration model gave the correlation coefficient of 0.844, with a standard error of calibration of 0.729, a standard error of prediction of 0.864, and a bias of 0.318. The study shows that the near infrared diffuse reflectance technique was feasible to nondestructively measure the sugar content of apple.

Key words: near-infrared diffuse reflectance; sugar content; apple; principal component regression

农业生物环境与能源工程如何能够继续为 21 世纪 人类社会的进步和可持续发展做出应有贡献 ——2003 国际农业生物环境与能源工程论坛 中国 北京 2003 年 11 月 21~23 日

2003 国际农业生物环境与能源工程论坛邀请到了来自美国、加拿大、丹麦、日本、以色列以及中国国内该领域内的一批顶尖科学家、学者参加,探讨了一个重点问题——农业生物环境与能源工程(BBE)如何能够继续为 21 世纪人类社会的进步和可持续发展做出应有贡献?集中讨论了下述四个议题:

议题 1 BBE 对现代农业和农村发展的贡献;议题 2 BBE 当前的重点领域和关键问题;议题 3 BBE 近期(10~15 年)发展趋势;议题 4 BBE 长期(50 年)发展趋势。

1. BBE 对现代农业已做贡献

在过去 50 年内,随着作物生产机械化的实现,大规模集约化畜牧生产设施和大型温室的出现和使用大大改变了人们的生活。在发达国家,几乎所有的畜禽和绿色植物产品都产自于自动化、集约化的生产设施;在中国,目前在集约化、环境自控的生产设施内生产的畜禽产品约占总量的 15%。这些集约化的、环境自动控制的农业生产设施对人类社会已做出以下贡献:

1) 大大提高了产量。例如:在美国,一个农场主年可出栏 5 000 头肥猪(约产肉 550 000 kg);在中国,基本上已经实现了肉类和蔬菜的自给,2002 年人均肉类和蔬菜的消费量分别达到了十分可观的 49 kg 和 170 kg。

2) 提高了食物供应保障。环境控制技术可减小干旱、洪涝等自然灾害的影响,可以周年地供应基本恒定的新鲜食物。

3) 工作环境和动物福利得到改善。大型的、环境可控的畜禽生产设施以及温室,不仅提高了产量,同时还避免了工人、畜禽、作物暴露于寒冬等恶劣的气候条件以及传染性污染物等自然灾害条件下,改善了动植物福利。

4) 通过控制污染物排放使环境质量提高。与同规模的传统生产系统相比,现代化的废弃物储藏设施和处理技术已经(成功地)大大减小了空气、水和土壤的污染程度。

5) 促进了新型生物能源转换技术的发展。这些技术包括蒸煮器、热化学转炉(如,气体发生器和液化器)、酒精和生物柴油发生器(技术)等,可以将动物粪便和作物残渣等生物质资源转换成可再生燃料。同时人类已经在并将继续开发利用风能、太阳能、地热能、水能等其他可再生资源。

2. BBE 目前的重点领域和关键问题

1) 目前的 BBE 系统可以提高食物的产量、质量和保证更为可靠的食物来源。BBE 已经对人类社会和自然环境产生了积极的影响,当然也有一些消极的影响。

2) 为获得更高生产水平,新的生物系统需要工程(支持)。我们必须分析当前 BBE 系统的问题和热点,为以后的研究提供参考,预测哪些研究会对于未来的食物供应产生重大影响。

3) 我们必须分析能够调控未来食物生产变化的外部力量;开发可支撑的 BBE 系统,使输入和循环最小化。社会约束力、消费者对产品与管理方法接受程度的变化将会改变 BBE 系统的生产设施的设计和管理。消费者需求新鲜、安全、稳定和可靠的食物供应,还渴求这些产品具有良好的口味、质地和芳香等特征;同时对有机食品的需求量在不断加大。论坛确定了影响 BBE 未来研究需求的四种关键因素:

· 环境质量保护——生产输出,包括废弃物、营养物、气体、颗粒、难闻的废气、动物尸体、噪音以及热量等;通常会

(下转第 283 页)