

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.11.031

# 双孢蘑菇硬度的近红外漫反射光谱无损检测\*

王娟 张荣芳 王相友

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

**【摘要】** 以双孢蘑菇为试验材料,基于近红外漫反射光谱定量分析技术,研究其贮藏期间硬度无损检测模型的建立方法。采用偏最小二乘法对双孢蘑菇的近红外光谱进行分析,并且比较了4种(一阶导数、二阶导数、标准正交变量变换、多元散射校正)光谱预处理方法的建模结果。试验结果表明,在选定的光谱( $5\ 000\sim 10\ 000\ \text{cm}^{-1}$ )范围内,二阶导数光谱预处理方法所建模型效果最佳,其校正决定系数为0.947 1,验证决定系数为0.826 1,说明基于近红外漫反射光谱的检测方法简便易行,可用于无损评价双孢蘑菇贮藏期间硬度的变化。

**关键词:** 双孢蘑菇 硬度 近红外光谱 无损检测

**中图分类号:** O657.3; TS207.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)11-0163-06

## Non-destructive Detection of *Agaricus bisporus* Firmness Based on Near-infrared Diffused Spectroscopy

Wang Juan Zhang Rongfang Wang Xiangyou

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

### Abstract

Calibration model for firmness of *Agaricus bisporus* during storage was developed based on near-infrared (NIR) diffuse reflectance spectroscopy quantitative analysis techniques. Partial least squares (PLS) regression was carried out to analyze the spectroscopy. Four different spectral pretreatment methods (first derivative, second derivative, SNV, SMC) were used to compare calibration results for firmness. The result showed that the best calibration models, in the selected wavelength range of  $5\ 000\sim 10\ 000\ \text{cm}^{-1}$ , could be obtained by the second derivative spectrum with the determination coefficient of calibration of 0.947 1, and the determination coefficient of prediction of 0.826 1. The results indicated that the detection method based on near-infrared diffuse reflectance spectroscopy was simple, and could be used for non-destructively evaluating the changes of firmness in *Agaricus bisporus* during storage in time.

**Key words** *Agaricus bisporus*, Firmness, Near-infrared spectroscopy, Non-destructive examination

### 引言

双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*) 含水率高,组织非常细嫩,菌盖表面没有明显的保护结构,常温下采后1~2 d,菇体内的水分就会大量蒸发散失,菌盖及菌褶开始破膜、开伞、失水、萎缩、褐变,甚至腐烂,菌柄

伸长,商品价值下降甚至丧失<sup>[1]</sup>。

在双孢蘑菇采摘、运输、贮藏及销售过程中,硬度是反映其贮藏品质的重要指标之一。一方面双孢蘑菇极易蒸腾失水,引起组织萎蔫、发糠,硬度下降;另一方面在其贮藏过程中蛋白质、多糖等营养物质降解,也会引起其硬度的降低<sup>[2]</sup>。目前果蔬硬度的

收稿日期:2012-02-09 修回日期:2012-05-18

\* 国家自然科学基金资助项目(30871757)和国家农业科技成果转化资金资助项目(2010GB2C600253)

作者简介:王娟,讲师,主要从事农产品加工及贮藏研究,E-mail: wangjuan7912@163.com

通讯作者:王相友,教授,博士生导师,主要从事农产品加工及贮藏研究,E-mail: wxy@sdut.edu.cn

测定通常使用硬度仪进行 MT (Magness - Taylor) 穿孔检测。该方法属于有损检测,且检测速度慢,无法满足双孢蘑菇生产和销售过程中大样本群体的快速检测<sup>[3-4]</sup>。

近些年,近红外光谱技术已广泛应用于果蔬检测<sup>[5-12]</sup>,可实现无损、精确地测定果蔬硬度<sup>[13-19]</sup>,但用于双孢蘑菇硬度的测定尚未见相关报道。本文利用近红外漫反射光谱技术,测定双孢蘑菇贮藏期间的近红外漫反射光谱,建立光谱与硬度的相关模型,为研究快速、准确无损判定双孢蘑菇贮藏品质的方法提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验样品采集

双孢蘑菇采自山东省临淄区边河镇南术北村。双孢蘑菇采后立即运至山东理工大学实验冷库,于 $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下预冷 12 ~ 20 h 后,挑选菇体完整、颜色洁白、菇盖未开伞、无病虫害、无机械损伤的双孢蘑菇作为试验材料。试验前,将双孢蘑菇从冷库中取出,并置于 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 恒温恒湿箱中存放 12 h,以确保双孢蘑菇测定时的温度一致。试验过程中,先将双孢蘑菇表面擦干净,以减小对其光谱采集的影响。为获得硬度范围更宽、更具代表性的样品,每隔 24 h 对 20 个样本进行光谱采集和硬度测定,共收集 200 个样本进行分析,并将样本随机分为定标集和验证集。

### 1.2 光谱采集

光谱采集用瑞士步琦公司生产的 N-200 型近红外品质分析仪,采集条件:谱图范围为 4 000 ~ 10 000  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描次数为 64 次,分辨率为 2  $\text{cm}^{-1}$ 。测量结果与谱图解析采用 NIRCal 4.21 软件进行处理。

### 1.3 硬度标准值测定

采集光谱结束后,用 GY-1 型果实硬度计测定双孢蘑菇硬度标准值。将双孢蘑菇切去表皮,然后将硬度计垂直于被测表面,在均匀力的作用下将压头压入果肉内 5 mm,以此时硬度计的读数作为双孢蘑菇的硬度。取 10 次测量值的平均值作为测量结果。

### 1.4 统计分析

在建立校正模型前,采用 NIRCal 4.21 软件进行异常光谱的剔除。在置信度为 99%、光谱残余量为 2.5 的情况下进行检验,当样本的范围超过规定的检验条件时,则判为异常。经检验,有 9 个双孢蘑菇样本显示为异常,剔除异常样品后采用基于马氏距离的 Kennard - Stone 法进行建模集和预测集统计

分析,得到双孢蘑菇硬度的变化范围、平均值、标准偏差及变异系数,如表 1 所示。

表 1 双孢蘑菇样本硬度的变化及分析

Tab.1 Comparison of firmness of *Agaricus bisporus* samples

	样本数	硬度/N				变异系数/%
		平均值	最大值	最小值	标准偏差	
定标集	127	14.47	21.35	3.20	4.25	29.37
验证集	64	14.32	20.54	4.29	4.31	30.10

## 1.5 模型评价

采用化学计量学软件 NIRCal 4.21 进行数据处理。数学模型采用内部和外部验证,由建模决定系数  $R^2$ 、校正均方根误差 (RMSECV) 和验证均方根误差 (RMSEP) 进行评价。模型的  $R^2$  越高,则 RMSECV 和 RMSEP 越小;RMSECV 与 RMSEP 越接近,则模型的预测能力越强。

## 2 数据处理与分析

### 2.1 光谱数据的处理

近红外光谱采集时常由于仪器、样品背景、环境条件及其他因素,导致近红外光谱的基线漂移和光谱的不可重复性。为消除基线漂移、散射等的影响<sup>[20]</sup>,需对原始光谱进行预处理。分别采用一阶导数 (first derivative, 简称 FD)、二阶导数 (second derivative, 简称 SD)、标准正交变量变换 (standard normal variate, 简称 SNV) 和多元散射校正 (multiplicative scattering correction, 简称 MSC) 4 种光谱预处理方法对双孢蘑菇的近红外原始光谱进行预处理,结合 PLS 法建立不同时间阶段双孢蘑菇硬度的预测模型。

图 1 为定标集 127 个样本的原始光谱图,波数的范围为 4 000 ~ 10 000  $\text{cm}^{-1}$ ,其中每条光谱对应一个试验样本。图 2 为建立在图 1 基础上的经过 4 种光谱预处理方法之后的双孢蘑菇光谱图。由图 1 可知,光谱在 4 000 ~ 5 000  $\text{cm}^{-1}$  波段信噪比较低,因此双孢蘑菇的有效光谱区间为 5 000 ~ 10 000  $\text{cm}^{-1}$ 。从图 2 可以看出经预处理后的光谱图,光谱的精细度有明显提高,基线漂移减弱,光谱轮廓更清晰。

### 2.2 光谱数据的分析

双孢蘑菇硬度变化是一个复杂的过程,其硬度与细胞果胶含量呈正相关,硬度下降是由于贮藏过程中成熟度增加,细胞壁中原果胶减少,可溶性果胶增加,使细胞间失去了结合力,以致细胞分散,硬度下降。而果胶物质中含有可以吸收近红外光的

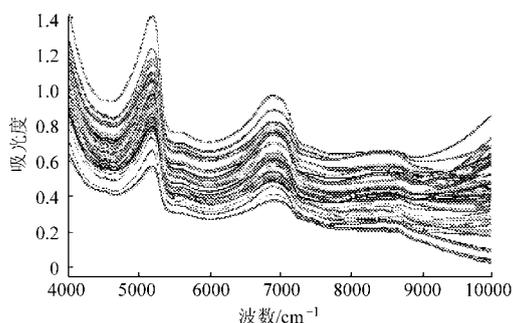


图 1 双孢蘑菇样本的近红外原始光谱

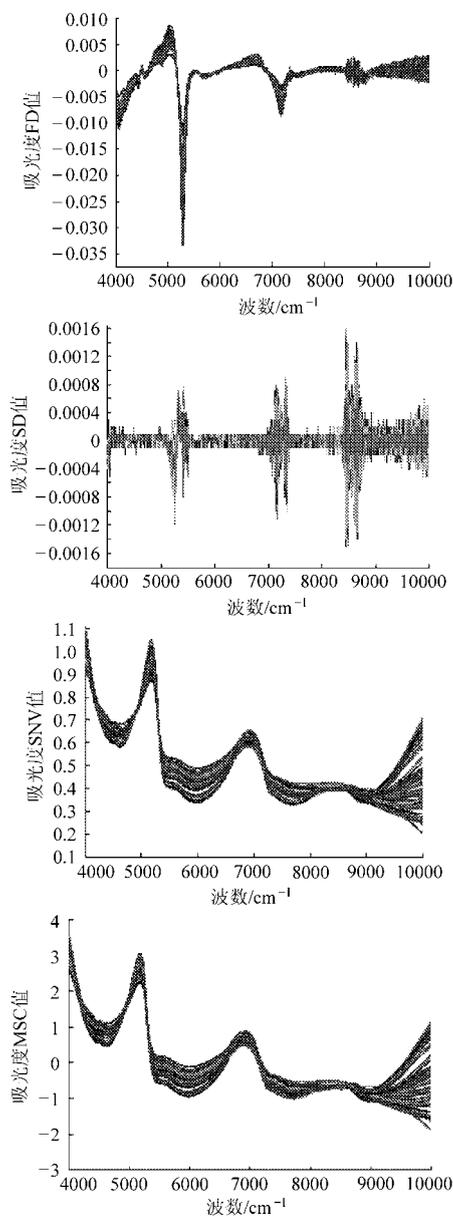
Fig. 1 Original spectra of *Agaricus bisporus* samples

图 2 不同光谱预处理的双孢蘑菇光谱

Fig. 2 Vis-NIR spectra with different spectral pretreatments of *Agaricus bisporus* samples

CH<sub>x</sub>和 OH 等化学键,这就为近红外光谱定量检测双孢蘑菇的硬度提供了依据。

由图 1 可以看出,不同时间阶段的双孢蘑菇原始吸收光谱形状基本相似。样品原始光谱在 8 547、

6 923、5 172 cm<sup>-1</sup>附近有较为明显的吸收峰,且在 6 923 cm<sup>-1</sup>和 5 172 cm<sup>-1</sup>处较为强烈。其中,果胶物质的主要特征官能团是 C—H 和 O—H,8 547 cm<sup>-1</sup>附近的吸收峰与 C—H 基团伸缩振动的二级倍频吸收有关,6 923 cm<sup>-1</sup>附近的吸收峰与 O—H 键伸缩振动的一级倍频吸收有关,而 5 172 cm<sup>-1</sup>附近的吸收峰则为 C=O 键伸缩振动的二级倍频吸收带,表明样本光谱能够为双孢蘑菇硬度定量分析提供相应的光谱信息。

### 2.3 模型主成分的选择

在 PLS 回归模型中,因子数的选择非常重要。如果建模时使用的主成分数过少,就不能完全反映样品被测组分所产生的光谱数据变化,其模型预测准确度就会降低;使用过多的主成分数建模,易将部分与待测组分无关的信息带入模型,使模型的预测能力下降,易出现“过拟合”现象<sup>[21]</sup>。本文所用模型的主成分数由 RMSEP 和 RMSECV 共同优化确定。

图 3 为双孢蘑菇硬度 PLS 模型中 RMSECV 和 RMSEP 随主成分数的变化。从图中可以看出, RMSEP 和 RMSECV 随着主成分数的增加而降低。对于硬度模型,因子数选 7 时满足计算要求。

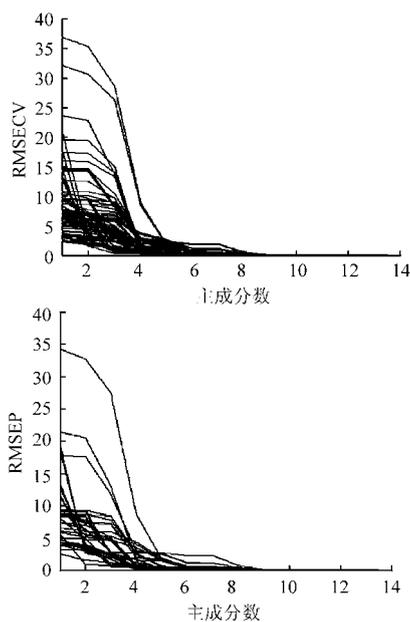


图 3 RMSECV 和 RMSEP 随主成分数变化图

Fig. 3 RMSECV and RMSEP changes with the PCs

### 2.4 模型的建立

PLS 是近红外光谱定量分析中最有效、使用最广泛的多元校正方法,可以同时实现回归建模(多元线性回归)、数据结构简化(主成分分析)以及两组变量之间的相关性分析(典型相关分析),解决了使用普通多元线性回归中存在的问题<sup>[22]</sup>。本试验采用 PLS 回归法利用 NIRCal 4.21 软件建立近红外

光谱与双孢蘑菇硬度的相关关系模型。由表2可知,二阶导数的建模结果最好,校正决定系数  $R^2 = 0.9471$ , RMSECV 为 4.4329, 验证决定系数  $R^2 = 0.8261$ , RMSEP 为 4.4217。图4是用PLS方法对二阶导数光谱进行建模的定标和验证结果。

表2 不同光谱预处理方法的硬度建模结果

Tab.2 Modeling results of firmness with different spectral pretreatments

光谱类型	定标集		验证集	
	$R^2$	RMSECV	$R^2$	RMSEP
原始光谱	0.6603	4.5473	0.6463	4.6121
一阶导数光谱	0.9229	4.4436	0.7987	4.5249
二阶导数光谱	0.9471	4.4329	0.8261	4.4217
MSC	0.8330	4.5384	0.8363	4.3873
SNV	0.8169	4.4767	0.8145	4.4645

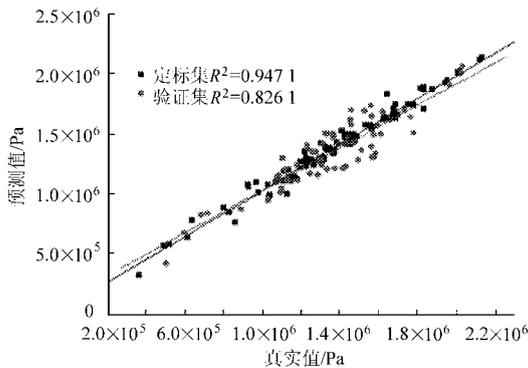


图4 二阶导数光谱定标集和验证集

预测值与真实值散点图

Fig.4 Measured vs calculated firmness for prediction and calibrate samples with the second derivative pretreatment

## 2.5 分析模型的验证

为进一步评价预测模型的质量及实际预测效果,随机选取未参与建模的双孢蘑菇样品20个,用所建模型进行双孢蘑菇硬度预测,再用常规方法测定其硬度,比较二者的差别(表3)。由表3可知,硬度绝对误差的绝对值小于  $7 \times 10^5$  Pa, 相对误差的绝对值变化范围为 1.12% ~ 35.26%。对所选20个双孢蘑菇样品的真实值和预测值进行成对  $t$  检验,结果显示硬度的预测值与真实值间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。图5为校正模型对未知样品的硬度预测值与真实值的比较。结果表明,采用PLS校正方法建立的硬度模型预测未知样品的决定系数  $R^2$  为 0.6333, 预测值与真实值相关性一般,这可能是由双孢蘑菇样品数量较小引起的,但所建模型可以用于双孢蘑菇样品硬度的定量测定。

表3 双孢蘑菇硬度预测值与真实值比较

Tab.3 Comparison between predictive and actual values of *Agaricus bisporus* firmness

样品序号	真实值 /Pa	预测值 /Pa	绝对误差 /Pa	相对误差 /%
1	$1.721 \times 10^6$	$1.365 \times 10^6$	$-3.56 \times 10^5$	-20.69
2	$1.869 \times 10^6$	$1.210 \times 10^6$	$-6.59 \times 10^5$	-35.26
3	$1.240 \times 10^6$	$1.631 \times 10^6$	$3.91 \times 10^5$	31.53
4	$1.789 \times 10^6$	$1.769 \times 10^6$	$-2.0 \times 10^4$	-1.12
5	$1.521 \times 10^6$	$1.700 \times 10^6$	$1.79 \times 10^5$	11.77
6	$1.160 \times 10^6$	$9.51 \times 10^5$	$-2.09 \times 10^5$	-18.02
7	$1.190 \times 10^6$	$1.046 \times 10^6$	$-1.44 \times 10^5$	-12.10
8	$1.172 \times 10^6$	$1.210 \times 10^6$	$3.8 \times 10^4$	3.24
9	$1.095 \times 10^6$	$9.70 \times 10^5$	$-1.25 \times 10^5$	-11.42
10	$9.90 \times 10^5$	$7.13 \times 10^5$	$-2.77 \times 10^5$	-27.98
11	$5.01 \times 10^5$	$6.11 \times 10^5$	$1.10 \times 10^5$	21.96
12	$9.69 \times 10^5$	$1.054 \times 10^6$	$8.5 \times 10^4$	8.77
13	$9.79 \times 10^5$	$6.43 \times 10^5$	$-3.36 \times 10^5$	-34.32
14	$9.59 \times 10^5$	$7.68 \times 10^5$	$-1.91 \times 10^5$	-19.92
15	$9.27 \times 10^5$	$8.67 \times 10^5$	$-6 \times 10^4$	-6.47
16	$8.23 \times 10^5$	$7.56 \times 10^5$	$-6.7 \times 10^4$	-8.14
17	$9.06 \times 10^5$	$9.32 \times 10^5$	$2.6 \times 10^4$	2.87
18	$8.72 \times 10^5$	$9.01 \times 10^5$	$2.9 \times 10^4$	3.33
19	$7.56 \times 10^5$	$6.45 \times 10^5$	$-1.11 \times 10^5$	-14.68
20	$1.221 \times 10^6$	$1.080 \times 10^6$	$-1.41 \times 10^5$	-11.55

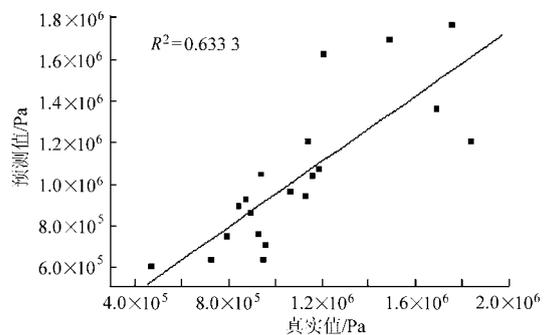


图5 硬度模型对未知样品的预测结果散点图

Fig.5 Plots of measured firmness value with firmness model

## 3 结束语

应用不同光谱预处理方法建立近红外漫反射光谱模型预测双孢蘑菇的硬度,证实NIR漫反射光谱技术可以用于双孢蘑菇的硬度检测。二阶导数光谱所建模型得到了较好的预测结果:校正决定系数  $R^2 = 0.9471$ , 校正均方根误差为 4.4329, 验证决定系数  $R^2 = 0.8261$ , 验证均方根误差为 4.4217。

## 参 考 文 献

- 1 王娟,王相友,李霞. 气调包装下双孢蘑菇呼吸特性[J]. 农业机械学报,2009,40(10):102~105.  
Wang Juan, Wang Xiangyou, Li Xia. Respiration characteristics of *Agaricus bisporus* under modified atmosphere packaging [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 102~105. (in Chinese)
- 2 李成华,张永丹,刘吟,等. 采收期对双孢蘑菇采后耐贮性品质影响研究[J]. 中国食用菌,2009,28(5):46~49.
- 3 王娟,王相友,李霞. 低温气调贮藏下氧气含量对双孢蘑菇品质的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(4):110~113.  
Wang Juan, Wang Xiangyou, Li Xia. Effects of oxygen concentration on storage quality of *Agaricus bisporus* under low temperature and controlled atmosphere storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 110~113. (in Chinese)
- 4 朱伟兴,江辉,陈全胜. 特征波长筛选在近红外光谱测定梨硬度中的应用[J]. 农业工程学报,2010,26(8):368~372.  
Zhu Weixing, Jiang Hui, Chen Quansheng. Application of characteristic wavelengths selection in determination of pear firmness by near infrared (NIR) spectroscopy[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 368~372. (in Chinese)
- 5 杨春梅,李宁,赵学珏,等. 用于果蔬内部品质无损检测的 NIRS 技术新进展[J]. 激光与红外,2009,39(11):1137~1141.  
Yang Chunmei, Li Ning, Zhao Xuehong, et al. Recent developments of NIRS technique for nondestructive measurement of fruit and vegetable interior quality[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(11): 1137~1141. (in Chinese)
- 6 Camps C, Guillermin P, Mauget J C, et al. Discrimination of storage duration of apples stored in a cooled room and shelf-life by visible-near infrared spectroscopy[J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2007, 15(3): 169~177.
- 7 Teerachaichayut S, Kil K Y, Terdwongworakul A, et al. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(2): 202~206.
- 8 Huang Haibo, Yu Haiyan, Xu Huirong, et al. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(3): 303~313.
- 9 张淑娟,张海红,赵艳茹,等. 鲜枣可溶性固形物可见/近红外光谱检测建模方法比较[J]. 农业机械学报,2012,43(3):108~112.  
Zhang Shujuan, Zhang Haihong, Zhao Yanru, et al. Comparison of modeling methods of fresh jujube soluble solids measurement by NIR spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 108~112. (in Chinese)
- 10 李顺峰,张丽华,刘兴华,等. 基于主成分分析的苹果霉心病近红外漫反射光谱判别[J]. 农业机械学报,2011,42(10):158~161.  
Li Shunfeng, Zhang Lihua, Liu Xinghua, et al. Discriminant analysis of apple moldy core using near infrared diffuse reflectance spectroscopy based on principal component analysis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 158~161. (in Chinese)
- 11 代芬,洪添胜,岳学军,等. 砂糖橘可溶性总糖可见-近红外光谱无损检测[J]. 农业机械学报,2011,42(4):133~138.  
Dai Fen, Hong Tiansheng, Yue Xuejun, et al. Nondestructive examination of sugar content of intact 'Shatangju' with visible-near infrared spectroscopy based on variables selection [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 133~138. (in Chinese)
- 12 徐惠荣,陈晓伟,应义斌. 基于多元校正法的香梨糖度可见/近红外光谱检测[J]. 农业机械学报,2010,41(12):126~129.  
Xu Huirong, Chen Xiaowei, Ying Yibin. Multivariate approach to determinate sugar content of fragrant pears with temperature variation by visible/NIR spectroscopy [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 126~129. (in Chinese)
- 13 Sirisomboon P, Tanaka M, Fujita S, et al. Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 701~707.
- 14 Tsai Chao Yin, Chen His Jien, Hsieh Junn Fu, et al. Fabrication of a near infrared on line inspection system for pear fruit [J]. International Agricultural Engineering Journal,2007, 16(1~2): 57~70.
- 15 石吉勇,殷晓平,邹小波,等. 基于模拟退火波长优化的草莓坚实度近红外光谱检测[J]. 农业机械学报,2010,41(9):99~103.  
Shi Jiyong, Yin Xiaoping, Zou Xiaobo, et al. Detection of strawberry firmness by NIR wavelength selection based on simulated annealing algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 99~103.

- (in Chinese)
- 16 吕强, 汤明杰, 赵杰文, 等. 近红外光谱预测猕猴桃硬度模型的简化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1768 ~ 1771.  
Lü Qiang, Tang Mingjie, Zhao Jiewen, et al. Study of simplification of prediction model for kiwifruit firmness using near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(7): 1768 ~ 1771. (in Chinese)
- 17 傅霞萍, 应义斌, 陆辉山, 等. 应用多种近红外建模方法分析梨的坚实度[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(5): 911 ~ 915.  
Fu Xiaping, Ying Yibin, Lu Huishan, et al. Application of some different modeling algorithms to pear MT-Firmness detection using NIR spectra[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(5): 911 ~ 915. (in Chinese)
- 18 刘卉, 郭文川, 岳绒. 猕猴桃硬度近红外漫反射光谱无损检测[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 145 ~ 149.  
Liu Hui, Guo Wenchuan, Yue Rong. Non-destructive detection of kiwifruit firmness based on near-infrared diffused spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 145 ~ 149. (in Chinese)
- 19 王加华, 陈卓, 李振茹, 等. 洋梨硬度的便携式可见/近红外漫透射检测技术[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 129 ~ 133.  
Wang Jiahua, Chen Zhuo, Li Zhenru, et al. Evaluation of european pear (*Pyrus communis* L.) firmness based on portable Vis/NIR transmittance technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 129 ~ 133. (in Chinese)
- 20 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2006: 35.
- 21 孙旭东, 郝勇, 高荣杰, 等. 脐橙糖度近红外光谱在线检测数学模型优化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(5): 1230 ~ 1235.  
Sun Xudong, Hao Yong, Gao Rongjie, et al. Research on optimization of model for detecting sugar content of navel orange by online near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(5): 1230 ~ 1235. (in Chinese)
- 22 王丽, 郑小林, 郑群雄. 基于近红外光谱技术的桃品质指标快速检测方法研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3): 205 ~ 209.  
Wang Li, Zheng Xiaolin, Zheng Qunxiong. Study on rapid determination method for quality parameters of peach by near infrared spectroscopy[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(3): 205 ~ 209. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 162 页)

- 15 Peri C. The universe of food quality [J]. Food Quality and Preference, 2006, 17(1 ~ 2): 3 ~ 8.
- 16 Boekel M A J S V, Jongen W M F. Product quality and food processing: how to quantify the healthiness of a product [J]. Cancer Letters, 1997, 114(1 ~ 2): 65 ~ 69.
- 17 Zugarramurdi A, Parin M A, Gadaleta L, et al. The effect of improving raw material quality on product quality and operating costs: a comparative study for lean and fatty fish [J]. Food Control, 2004, 15(7): 503 ~ 509.
- 18 Zugarramurdi A, Parin M A, Gadaleta L, et al. A quality cost model for food processing plants [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(3): 414 ~ 421.
- 19 徐君. 食品贮藏品质数学模型的建立与应用 [J]. 食品工程, 2010(4): 14 ~ 18.  
Xu Jun. Establish and application of food storage quality mathematic model [J]. Food Engineering, 2010(4): 14 ~ 18. (in Chinese)
- 20 田玮, 徐尧润. 食品品质损失动力学模型 [J]. 食品科学, 2000, 21(9): 14 ~ 18.  
Tian Wei, Xu Yaorun. Kinetic models of quality deterioration during food processing [J]. Food Science, 2000, 21(9): 14 ~ 18. (in Chinese)
- 21 崔明, 沈瑾, 李延云, 等. 中国农产品加工技术现状及其推广体系的建设 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 274 ~ 278.  
Cui Ming, Shen Jin, Li Yanyun, et al. Status of agricultural product processing technology and construction of its promotion system in China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 274 ~ 278. (in Chinese)
- 22 侯彩云. 试论农产品加工与食品加工 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 191 ~ 193.  
Hou Caiyun. On postharvest processing of agro-products and food processing [J], Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 191 ~ 193. (in Chinese)