

# 生姜水分含量的可见-近红外光谱检测

吕萍<sup>1</sup>, 薛龙<sup>2</sup>, 何秀文<sup>1</sup>, 王晓<sup>1</sup>, 刘木华<sup>1,3\*</sup>, 严霖元<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 工学院/生物光电实验室, 江西 南昌 330045; 2. 华东交通大学 机电学院, 江西 南昌 330013; 3. 南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 江西 南昌 330065)

**摘要:**近红外光谱技术具有简便、快速和无损检测等优点,应用可见-近红外光谱方法建立生姜水分含量(moisture content)的预测模型。利用可见-近红外光谱仪采集308个生姜的光谱,其光谱范围是350~1800 nm。分别采用一阶导数(FD)、二阶导数(SD)、标准正交变量变换(SNV)和多元散射校正(MSC)4种方法对光谱进行预处理,结合偏最小二乘法(PLS),分别在430~1000 nm、1000~1800 nm、430~1800 nm 3个波段建立生姜水分含量的PLS预测模型。对实验结果进行分析表明,在波段范围430~1800 nm使用一阶导数预处理方法建立的PLS模型最优。其验证组的相关系数为0.975 1,预测组的相关系数为0.959 7。结果表明,可见-近红外光谱可以准确、快速地对生姜的含水量进行检测。

**关键词:**可见-近红外光谱; 生姜; 水分含量; 无损检测; 偏最小二乘法

中图分类号:S632.5 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)03-0602-06

## Prediction of Ginger Moisture Content using Visual Near-infrared Spectroscopy

LV Ping<sup>1</sup>, XUE Long<sup>2</sup>, HE Xiu-wen<sup>1</sup>, WANG Xiao<sup>1</sup>, LIU Mu-hua<sup>1,3\*</sup>, YAN Lin-yuan<sup>1</sup>

(1. Optics-electrics Application of Biomaterials Lab, College of Engineering, JAU, Nanchang 330045, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330012, China; 3. Nondestructive Test Key Laboratory in Nanchang, Nanchang Hankong University, Nanchang 330065, China)

**Abstract:** Near-infrared reflectance spectroscopy has advantages of rapid determination, non-destructive, and convenient. In this work, visible-near infrared spectrum was used to establish the prediction model for ginger moisture content. Visual Near-infrared spectroscopy (Vis-NIRS) combined with partial least squares (PLS) was used for the prediction of moisture content in the ginger. The spectra of 308 ginger samples were collected with a wavelength range of 350~1800 nm. First derivative FD, second derivative SD, standard normal variate SNV and multiplicative scattering correction MSC were adopted for the acquisition of Vis-NIR spectra. In the three bands with ranges of 430~1000 nm, 1000~1800 nm and 430~1800 nm the PLS model were established respectively. This study shows that the PLS model established in the range of 430~1800 nm, using first derivative spectra pretreatment method, was the optimal. The validation group of the correlation coefficient and that of the forecasting group were 0.975 1 and 0.959 7 respectively. The results showed that Visual Near-infrared spectroscopy (Vis-NIRS) can detect the moisture content of ginger accurately and rapidly.

收稿日期:2010-12-28 修回日期:2011-03-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30760101)和江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ08513)

作者简介:吕萍(1985—),女,研究生,主要从事农产品品质无损检测研究,E-mail:myluck001@163.com;\* 通讯作者:刘木华,博士,教授,E-mail:suikelmh@sohu.com。

**Key words:** near-infrared spectroscopy (Vis-NIRS); ginger; moisture content; non-destructive detection; partial least squares (PLS)

生姜(*Zingiber officinale*)又名姜、黄姜,为姜科植物姜的鲜嫩茎,属多年生草本宿根植物<sup>[1]</sup>。生姜是传统的香辛料和中药材,其主要生理活性化学成分是姜酚,具有强抗氧化和抗菌性能<sup>[2-3]</sup>,已有报道<sup>[4-6]</sup>对生姜中有效成分和微量元素等进行分析及测定。水分含量是生姜储存的一个重要标准,也是生姜深加工的一个重要参数,与最终加工成品的品质密切相关。生姜的贮藏较难,易腐烂变质,每到收获季节,生姜产区生姜损失很大<sup>[7]</sup>。由于不同产地新鲜生姜的含水率差别较大,对生姜的产品质量也有一定影响<sup>[8]</sup>。因此,快速、准确测定生姜水分含量对于生姜的深加工和安全储藏具有重要意义。

姜属于香辛料,因此姜的水分含量的检测通常按照国家标准 GB/T 12729.6-2008,采用香辛料和调味品水分含量的测定(蒸馏法)进行测定<sup>[9]</sup>。但此方法测量周期长,手工操作较复杂,难于实现准确快速、在线实时监测的目的。在姜副产品加工的过程中,一般对姜的干燥均采用烘干的方法,如生姜干的加工是把姜片放在 60~70℃ 热风干燥机内,进行干燥,到含水量达 12%~13% 便可。

近红外光谱技术(NIRS)是20世纪80年代后期发展起来的一项物理测试技术,具有分析简便、快速、低成本、无污染及样品的非破坏性和多组分同时测定等优点<sup>[10]</sup>。国内外已有运用光谱技术检测小麦、稻谷和药品等中的水分含量的相关报道<sup>[11-14]</sup>。本实验是参照生姜干的生产品的过程<sup>[15]</sup>,采用烘箱干燥法测定生姜的水分含量,然后采用可见-近红外光谱方法,应用偏最小二乘法(PLS)建模,研究不同时间梯度生姜的水分含量的检测和识别问题。

## 1 材料与方方法

### 1.1 实验材料与仪器

实验样品生姜来源于山东省潍坊市某生姜基地。生姜在2010年10月份收获,收获后立即带回实验室,进行清洗自然风干表面水分后备用。应用可见-近红外光谱光谱仪(A analytical Spectral Devices, Inc., USA),波长范围为 350~1800 nm,光谱采样间隔 1 nm,光源为 12V/30W 钨卤灯,图1为生姜的水分含量可见-近红外光谱采集系统的示意图。应用 Indico 4.0 (Analytical Spectral Devices, Inc., USA)把采集到的光谱数据转换成文本文件,然后利用 Unscrambler 进行分析与处理。

### 1.2 实验方法

通过 DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海光都仪器设备有限公司)测定生姜水分含量,根据生姜片加工技术,把姜片放在 65~70℃ 热风干燥机内,进行干燥<sup>[12]</sup>。本实验选择的烘箱的烘干温度为 65℃。

取 308 个直径 5 cm 的铝瓶,分成 11 组(A~K 组),每组 28 个。每组依次标号,应用 FA1004 型电子天秤(上海上平仪器有限公司, Max: 100 g,  $\rho = 0.1$  mg,  $\epsilon = 10$  d)称重后记录其值 M1。将已洗净晾干的生姜用玻璃片去除其表皮,然后将生姜切成厚度为 5 mm 左右的薄片,并放置在已编号的铝瓶内,称其鲜质量并记录其值 M2。将所有样本放入烘箱中,分别在 0, 30, 60, 90, 180, 240, 360, 480, 600, 720, 840 min 后,取出放入干燥器中 30 min,使姜的温度达到室温,再测量质量并记录其值 M3。然后采集干燥后姜的可见-近红外的反射光谱。在每个生姜样品在中心部位等间隔采集 3 次光谱,每次扫描 30 次,然后取光谱平均值作为样本的可见-近红外光谱值。然后把姜放入保鲜袋中并封口,放入干燥器中备用。

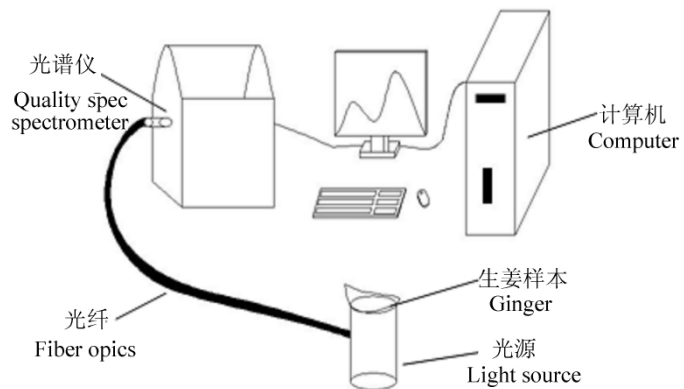


图1 生姜可见-近红外光谱采集系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of ginger measurement using Vis-NIR

将已完成第 1 次烘干后的生姜样本放入烘箱中,连续烘干 48 h 后,从烘箱内取出放在干燥器中冷却 30 min 后称质量,其质量为 M4。

### 1.3 水分含量计算方法

烘箱干燥法测量生姜的水分含量,先计算生姜的净鲜质量 M5、每批第 1 次烘干后的质量 M6 和烘干 48 h 后质量 M7,其值由如公式(1)、(2)、(3)计算:

$$M5 = M2 - M1 \tag{1}$$

$$M6 = M3 - M1 \tag{2}$$

$$M7 = M4 - M1 \tag{3}$$

再通过公式(4)、(5)计算 11 组生姜的水分含量 CM:

$$CM1 = [(M5 - M7) / M5] \times 100 \tag{4}$$

$$CM2 = [(M6 - M7) / M6] \times 100 \tag{5}$$

其中,CM1 为 A 组样本的水分含量计算公式;CM2 为 B~K 组生姜的水分含量计算公式。

308 份生姜样品水分含量的分布情况如表 1 所示。由表 1 得知,本实验所取的样品的水分含量测定值范围分布较广,基本覆盖不同时间梯度生姜的水分含量,具有较好的代表性。其中最大值为 93.66%,最小值为 2.27%。

表 1 姜水分含量测定值的统计结果

Tab.1 Tattistical results of ginger moisture content

	样本数 Sample number	平均值/% Average	最大值/% Maximum	最小值/% Minimum	标准偏差/% Standard deviation
建模集 Calibration set	209	67.40	93.66	2.27	29.76
预测集 Prediction set	99	70.00	93.56	6.14	27.40
总数 Total	308	68.24	93.66	2.27	29.00

### 1.4 数据预处理方法

近红外光谱往往包含一些与待测样品性质无关的因素带来的干扰,导致了近红外光谱的基线漂移和光谱的不重复,为消除基线漂移、散射等的影响<sup>[9]</sup>,因此须对原始光谱进行预处理。本文采用一阶导数(first derivative,FD)和二阶导数(second derivative,SD)、标准正交变量变换(standard normal variate,SNV)和多元散射校正(multiplicative scattering correction,MSC)4 种光谱预处理方法对姜的可见-近红外光谱进行预处理。本文分别应用上述 4 种光谱预处理方法,结合 PLS 法建立不同时间阶段生姜的水分含量的预测模型。

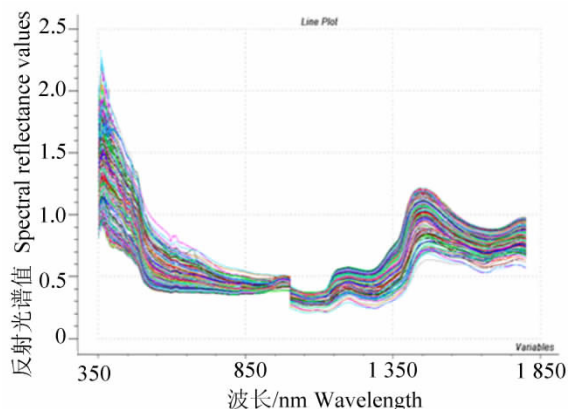


图 2 生姜的可见-近红外光谱曲线  
Fig.2 Vis-NIRs of ginger

## 2 结果与分析

将每组生姜样本按照 2:1 的比例分成建模组和预测组,A~K 每组取 19 个共 209 个样本作为建模组,将 A~K 每组剩下 9 个共 99 作为预测组。图 2 是校正组 209 个样本的原始光谱图,波长的范围是 350~1 800 nm,其中每条光谱对应 1 个实验样本。

图 3 是在图 2 的基础上经过 4 种光谱预处理方法之后的生姜光谱图。通过图 2 可见,可以发现光谱在 350~429 nm 波段信噪比较低,因此本文中姜的有效光谱区间为 430~1 800 nm。由于可见-近红外光谱的探测器为硅和铟镓砷,其探测的光谱范围分别是 350~1 000 nm 和 1 000~1 800 nm 因此本

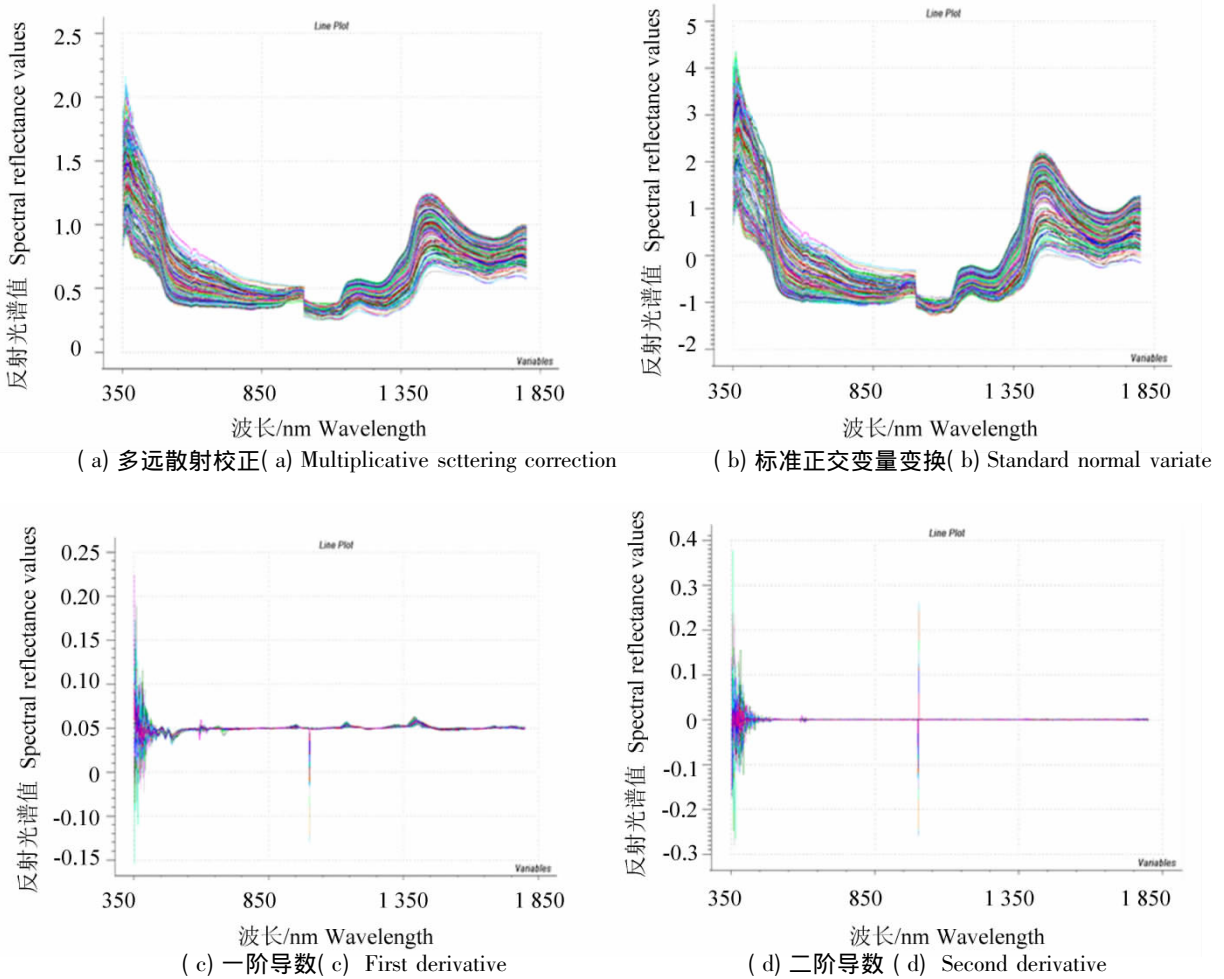


图 3 4 种光谱预处理方法预处理后的姜光谱图

Fig. 3 Pretreatment of ginger of spectra use four kinds of spectral pretreatment method

文选择 3 个波谱范区段来建立姜水分含量的预测模型,其光谱范围分别是: 430 ~ 1 000 nm、1 000 ~ 1 800 nm、430 ~ 1 800 nm。以校正组生姜的水分含量与预测水分含量的相关系数  $R_{train}$  预测组生姜的

表 2 不同光谱范围下 4 种预处理方法建立 PLS 模型的校正和验证结果

Tab. 2 The recognition results of PLS models using different preprocessing method and spectral range

光谱范围/nm Spectral region	预处理方法 Pretreatment method	主因子数 Main factors	建模集(209 个) Calibration set		预测集(99 个) Prediction set	
			$R_{train}$	RMSEC	$R_{test}$	RMSEP
430 ~ 1 000	MSC	4	0.949 5	6.671 0	0.951 3	6.017 3
	SNV	4	0.946 4	6.870 0	0.951 8	5.987 6
	FD	3	0.954 3	6.348 5	0.950 1	6.052 7
	SD	12	0.965 1	5.543 8	0.847 5	10.645 0
1 000 ~ 1 800	MSC	3	0.964 8	5.568 4	0.948 3	6.198 4
	SNV	3	0.963 6	5.664 4	0.955 0	5.788 6
	FD	4	0.969 3	5.194 4	0.951 8	5.985 0
	SD	4	0.942 2	7.135 3	0.878 2	9.513 8
430 ~ 1 800	MSC	3	0.974 5	4.744 5	0.955 9	5.772 9
	SNV	3	0.964 3	5.607 4	0.957 6	5.613 8
	FD	4	0.975 1	4.682 6	0.959 7	5.472 0
	SD	8	0.969 0	5.228 0	0.881 1	9.399 6

水分含量与预测水分含量的相关系数  $R_{test}$ 、建模样本均方根误差 ( root mean squared error of calibration ,RMSEC) 及预测样本均方根误差 ( root mean squared error of prediction ,RMSEP) 作为评价 PLS 模型优劣的指标。相关系数越高、均方根误差越低且主因子数越小 ,则 PLS 模型的预测效果越好。

表 2 所示为不同光谱范围下 4 种预处理方法建立 PLS 模型的校正和验证结果。从表 2 可以看出在 430 ~ 1 000 nm 的波段范围 ,一阶导数预处理方法的结果较好 其  $R_{train}$  与  $RMSEC$  分别为: 0. 965 1、5. 543 8。在 1 000 ~ 1 800 nm 的波段范围 ,FD 理方法的结果较好 ,其  $R_{train}$  与  $RMSEC$  分别为: 0. 969 3、5. 194 4。在 430 ~ 1 800 nm 的波段范围 ,一阶导数预处理方法的结果较好 其  $R_{train}$  与  $RMSEC$  分别为:0.975 1、4. 682 6。

通过综合对  $R_{train}$  与  $RMSEC$  的比较 ,使用一阶导数预处理方法在波段范围 430 ~ 1 800 nm 建立的 PLS 模型最优。图 4 为 430 ~ 1 800 nm 波段采用一阶导数预处理方法建立的 PLS 模型的生姜含水率测定值与预测值的散点图 ,由图 4 可知生姜含水率的测量值与预测值之间有较高的相关性。图 5 为采用一阶导数预处理方法 430 ~ 1 800 nm 波段的预测结果。

### 3 结 论

(1) 本实验所取的样品的水分含量测定值范围分布较广 ,基本覆盖不同时间梯度生姜的水分含量 ,具有较好的代表性。其中生姜样本的含水率最大值为 93. 66% ,最小值为 2. 27% 。

(2) 采用偏最小二乘法建立了生姜的可见 - 近红外光谱的定量分析模型。研究表明生姜的含水率用可见 - 近红外光谱法与恒温鼓风干燥箱分析方法的结果有较好的相关性。在研究利用可见 - 近红外光谱仪采集不同水分含量生姜的可见 - 近红外光谱时 ,采用一阶导数、二阶导数、标准正态变量变换、多元散射校正 4 种预处理方法 ,选取 430 ~ 1 000 nm、1 000 ~ 1 800 nm、430 ~ 1 800 nm 3 个波段分别建立了 PLS 预测模型 ,通过对验证组预测得出 430 ~ 1 800 nm 波段 采用一阶导数预处理方法建立的 PLS 预测模型最优 其  $R_{train}$  与  $RMSEC$  的值分别为 0. 975 1、4. 682 6。研究表明 ,可见 - 近红外光谱可以准确、快速地对生姜的含水量进行检测。

(3) 由于目前对生姜含水率的检测的比较少情况 ,而近红外光谱法又能具有准确、无损、快速的检测生姜的含水率 ,这可以说明近红外光谱法检测生姜的含水率是一种非常值得推广的绿色分析方法。

#### 参考文献:

[1]高淑云,刘延庆. 火焰原子吸收法测定生姜 6 种元素含量[J]. 微量元素与健康研究 2007 24( 5) :42-43.  
 [2]Murcia M ,Egea I ,Romojaro F ,et al. Antioxidant evaluation in dessert spices compared with common food additives: Influence of irradiation procedure[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry ,2004 52: 1872-1881.  
 [3]Rehman Z ,Salariya A ,Habib F. Antioxidant activity of ginger extract in sunflower oil [J]. Journal of the Science of Food

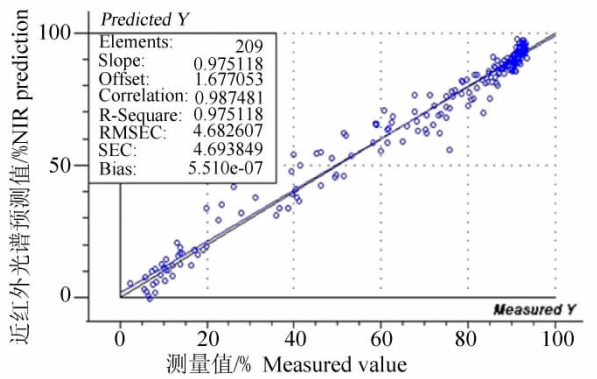


图 4 采用一阶导数预处理方法在波段 430 ~ 1 800 nm 建立的 PLS 模型的测定值与预测值的散点

Fig. 4 Measured value versus Vis - NIR prediction in the range of 430 ~ 1 800 nm using FD

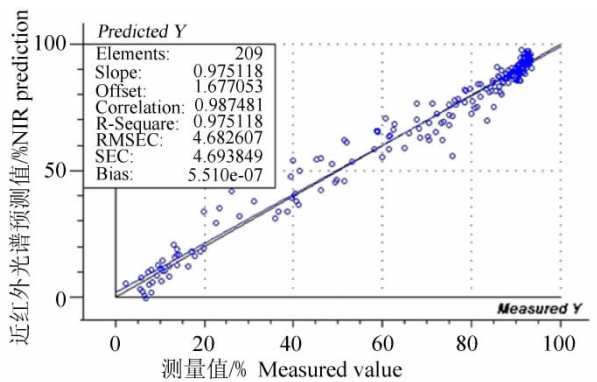


图 5 采用一阶导数预处理方法在 430 ~ 1 800 nm 波段的预测结果

Fig. 5 Prediction result in the range of 430 ~ 1 800 nm using FD

and Agri-cultural ,2003 83:624 - 629.

- [4]许玲玲,李群力,麻佳蕾.微波萃取法萃取鲜姜有效成分6-姜酚的工艺研究[J].现代食品科技,2009,25(6):620-621,332.
- [5]宣伟东,卞俊.生姜化学成分的研究[J].中草药,2008,39(11):1616-1619.
- [6]余珍,张荣平,吴曙光等.姜的辣味成分分析[J].昆明医学院学报,2010,22(4):57-60.
- [7]葛毅强,倪元颖,张振华等.新技术在生姜、大蒜、洋葱深加工中的应用[J].中国调味品,2003(8):7-13.
- [8]阎东海.不同产地及不同规格生姜的含水率比较[C].第六届中国药学会学术年会论文集,2006:2150-2153.
- [9]GB/T 12729.6-2008.香辛料和调味品水分含量的测定(蒸馏法)[G].北京:中国标准出版社,2008.
- [10]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.
- [11]李璞.近红外检测技术对药品中水分进行快速测定的研究[J].中国医药导报,2009,35(6):22-24,29.
- [12]范维燕,邢邯,林家永,等.近红外光谱快速测定稻谷水分含量的研究[J].粮油食品科技,2008,16(5):49-52,69.
- [13]金华丽,卞科.近红外光谱法检测小麦粉中的水分含量[J].中国粮油学报,2010,25(8):109-112.
- [14]冯军勤,周誉昌,吕华,等.运用近红外漫反射光谱技术检测中药水分含量[J].大众科技,2006(2):46-47.
- [15]于千桂.脱水姜片的加工工艺[J].保鲜与加工,2010(5):25.

(上接第596页)

- [9]Mahmoud M L, Malone W I, Cordle C T. Enzymatic hydrolysis of Casein. Effect of degree of hydrolysis on antigenicity and physical properties[J]. J of Food Sci, 1992, 57(5): 1223-1229.
- [10]宁正祥.食品成分分析手册[M].北京:中国轻工业出版社,1998:120-121.
- [11]李琳,赵谋明.鳙鱼蛋白酶解液清除自由基的研究[J].水产科学,2005,24(10):15-18.
- [12]Chung S K, Osawa T, Kawakishi S, Hydroxyl radical scavenging effects of spices and scavengers from Brown Mustard (Brassica nigra) [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1997, 61: 118-123.
- [13]姚焕章.食品添加剂[M].北京:中国物资出版社,2001:251-256.
- [14]Kunio Suetsuna, Hiroyuki Ukeda, Hirotauo Ochi. Isolation and characterization of free radical scavenging activities peptides from casein[J]. J of Nutritional biochemistry, 2000, 11(3): 128-131.
- [15]Makoto Hattori, Kaori Yamaji - Tsukamoto, Hiroto Kumagai, et al. Antioxidative activity of soluble elastin Peptides [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 2167-2170.