

近红外光谱技术快速鉴别查哈阳大米

钱丽丽¹, 宋雪健¹, 张东杰^{1,*}, 左 锋¹, 赵海燕², 鹿保鑫¹, 迟晓星¹

(1.黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2.青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 查哈阳大米为黑龙江特色品牌大米, 为保护查哈阳大米品牌, 实现查哈阳大米原产地快速真伪鉴别。通过构建不同地域和品种水稻试验田, 收获期内对试验田大米的近红外光谱进行全波长扫描, 筛选与产地相关特征波段。在特征波段处对来自查哈阳地区及非查哈阳地区的233份大米进行定性分析及定量分析。结果表明, 与产地因素主要相关的波长为5 136~5 501 cm^{-1} , 利用此波段采用因子化法建立定性分析模型对查哈阳大米正确鉴别率为100%, 采用偏最小二乘法建立的定量分析模型对查哈阳大米正确判别率为95.83%。

关键词: 大米; 近红外光谱技术; 产地; 品种

Rapid Identification of Chahayang Rice Using Near Infrared Spectroscopy

QIAN Lili¹, SONG Xuejian¹, ZHANG Dongjie^{1,*}, ZUO Feng¹, ZHAO Haiyan², LU Baoxin¹, CHI Xiaoxing¹

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

2. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Chahayang rice is a special brand of rice produced in Heilongjiang. In order to protect this brand, there is a need to establish a method for the rapid identification of Chahayang rice. In this paper, near infrared spectra of rice from a test paddy field were scanned in the full wavenumber range, and the characteristic bands for Chahayang rice were screened. Qualitative and quantitative analysis of 233 rice samples from Chahayang and other areas at the characteristic band were performed and compared. The results showed that the main factors associated with the geographical origin of Chahayang rice exhibited absorption bands in the wavenumber range of 5 136–5 501 cm^{-1} . The rate of correct identification of Chahayang rice with the qualitative analysis model established based on the main factors was 100%, while that with the model developed through partial least squares (PLS) regression was 95.83%.

Key words: rice; near infrared spectroscopy; producing area; variety

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716035

中图分类号: O657.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 16-0222-06

引文格式:

钱丽丽, 宋雪健, 张东杰, 等. 近红外光谱技术快速鉴别查哈阳大米[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 222-227. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716035. <http://www.spkx.net.cn>

QIAN Lili, SONG Xuejian, ZHANG Dongjie, et al. Rapid identification of Chahayang rice using near infrared spectroscopy[J]. Food Science, 2017, 38(16): 222-227. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716035. <http://www.spkx.net.cn>

稻米是世界上重要的粮食作物, 在中国约有60%的人口将其作为主食^[1]。中国首家绿色食品大米生产基地查哈阳农场是最早建立的农场之一, 其盛产的查哈阳大米有着洁白剔透, 绵软香甜, 畅销国内, 享誉海外的美誉。查哈阳大米因其品质优良, 消费者认可, 具有较大的价格优势和市场需求空间, 但却面临着市场越来越多

的假冒、以次充好等问题, 严重破坏其声誉。因此, 快速准确地鉴别查哈阳大米的真伪有着十分重要的意义。

目前, 矿物元素指纹分析技术^[2-3]、电子鼻指纹图谱技术^[4-5]、电子舌指纹图谱技术^[6-7]、DNA指纹图谱技术^[8-9]等被广泛应用于产地真实性溯源的研究中并取得了一定的进展, 但是这些方法存在检测过程繁琐、设备昂贵、

收稿日期: 2017-02-25

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81673170); 黑龙江省垦区科研项目(HKN125B-13-02);

黑龙江省农垦总局“十三五”重点科技攻关项目(HNK135-06-06); 黑龙江八一农垦大学校内培育课题(XZR2016-07)

作者简介: 钱丽丽(1979—), 女, 副教授, 博士研究生, 研究方向为农产品产地溯源。E-mail: qianlili286@163.com

*通信作者: 张东杰(1966—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与安全。E-mail: byndzdj@126.com

周期长等缺点,无法实现大米产地的快速鉴别。近红外光谱技术是一种有效的产地溯源技术。其原理是利用近红外光谱区有机分子中含氢基团(O—H、N—H、C—H)振动的合频和各级倍频的吸收区相一致,通过扫描样品的近红外光谱可得到样品中有机分子含氢基团的特征信息^[10],不同地域农产品所表征的特征信息不同,已有研究报道近红外光谱技术对羊肉^[11]、鸡肉^[12]、牛肉^[13]等肉类及小麦^[14]、茶叶^[15-16]、草莓^[17]、玉米^[18]、枸杞^[19]等农产品的产地溯源初步研究是可行的。但对大米的研究主要集中在品质、营养成分及掺假等,在产地溯源方面研究相对较少,周子立等^[20]运用近红外光谱技术结合人工神经网络对东北、江苏、安徽三地的180份样品进行品种鉴别,其正确率高达100%。周晓璇等^[21]运用偏小二乘(partial least squares, PLS)法结合最优预处理方法是最大最小归一化的预处理方式,建立的掺低档米模型的校正集和预测集相关系数分别为0.969 8和0.984 5,均方根误差分别为8.66和6.46模型的预测精度和稳定性均很好,实现了对掺伪大米快速、准确的定量判别。徐泽林等^[22]采用PLS法建立大米中淀粉含量测定的定标模型,其相关系数为0.878 0,且模型预测值与化学值之间的相关系数为0.949 8。吕慧等^[23]采用标准法通过计算样品的近红外光谱图之间的欧氏距离来反映不同样品间的差异,对102份不同属性和不同产地的大米进行定性聚类分析,可以准确地将不同属性和不同产地的样品聚类。由于大米生长环境不同,不同产地大米的品质存在一定的差异,反映在近红外光谱图不同。本研究通过建立不同产地和品种水稻试验田,分析不同产地和品种的大米的近红外光谱图特征及差异,筛选出与产地有关的光谱波段,结合化学计量学手段,以产地判别率为指标,建立近红外光谱定性定量分析模型,为大米近红外产地溯源技术系统研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验材料采集于2015年收获期内试验田及黑龙江主产区按东、南、西、北4个方向进行随机采样,采用3点随机取样的方式进行收割,编号稻谷样品,每份样本采集2 kg,并记录采样信息,所有水稻品种均为粳米,样本详细信息如表1、2所示。

表1 试验田样品信息

Table 1 Information about the samples from experimental field

试验田地区	品种及数量
五常、佳木斯、齐齐哈尔	空育131(10)、龙粳26(10)、龙粳29(10)、龙粳31(10)、龙粳39(10)、龙粳40(10)、松粳9(10)、绥粳4(10)、五优稻4号(10)

表2 随机采样样品信息

Table 2 Information about the randomly selected samples

随机采集分类	地区	品种及数量
查哈阳大米(70份)	查哈阳(70)	超级44(11)、垦18(10)、空育131(8)、龙粳21(6)、龙粳29(8)、龙粳31(15)、龙粳46(5)、绥稻12(7)
	建三江(42)	0318(10)、龙粳16(5)、龙粳31(8)、龙粳43(4)、龙粳46(3)、绥粳4(12)
非查哈阳大米(163份)	五常(47)	稻花香(28)、绥粳(4)、五优(8)、吉粳803(7)
	方正(50)	垦7(16)、东农425(5)、垦10(5)、垦12(14)、龙庆3号(5)、0717(5)
	响水(24)	绥粳(8)、五优(4)、绿珠2号(12)

1.2 仪器与设备

FC2K砬谷机 日本大竹制作所; VP-32实验碾米机 日本山本公司; FW100高速万能粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司; TENSORII傅里叶近红外光谱仪 德国布鲁克(北京)科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 水稻田间试验的构建

以粳稻主产区黑龙江省(五常、佳木斯、齐齐哈尔)为试验点,设计3块试验田。每块试验田种植主栽中晚熟品种9个(空育131、龙粳31、龙粳26、龙粳29、龙粳39、龙粳40、松粳9、五优稻4号、绥粳4),各试验田育苗移栽、秧田管理、施肥、灌溉均按当地生产习惯,所有品种同期播种。采用3次重复随机区组设计,小区面积不少于10 m²。四周设保护行,保护行品种与各对应品种相同。

1.3.2 样品预处理

将采集回样本置于阴凉通风处晾晒,收获籽粒,在实验室统一完成稻米挑选、脱壳、砬谷、碾米过程。经由超微粉碎机制成米粉,过100目筛,待测。每个样品砬谷2次。碾米白度为3,碾米3次。

1.3.3 近红外光谱的采集

将近红外光谱仪预热30 min,打开OPUS 7.5软件、检查信号、保存峰位,扫描背景单通道光谱并且每间隔1 h扫描一次背景,来消除外界信息干扰保证光谱的稳定性以减少实验误差。将样品粉末倒入玻璃杯中,用压样器压实,测量样品单通道采集样品光谱。环境温度为室温(25±1)℃,相对湿度为30%~50%。光谱波数范围为12 000~4 000 cm⁻¹。分辨率为8 cm⁻¹。扫描次数为64次。

1.3.4 试样选取

试验田样品用于特征波段的筛选。随机样品则选择样品量的2/3作为建模样品用于模型的建立,1/3作为预测样品集用于模型的验证。各地区用于建模和预测的样品数见表3。

表3 建模与预测样品

Table 3 Number of samples used for modeling and prediction

类别	建模样品个数	预测样品个数	总计
查哈阳大米	46	24	70
非查哈阳大米	108	55	163

1.3.5 近红外光谱数据处理

为消除噪声、极限漂移、光的色散等因素的干扰，应用OPUS 7.5软件分别对试验田样品的近红外光谱进行一阶导数预处理，为筛选出与产地有关的波段，应用SPSS 19.0软件对试验田样品进行方差分析，得出特征波段。

1.3.6 模型的建立及验证

1.3.6.1 定性分析模型的建立

采用OPUS 7.5软件在特征波段进行定性分析模型的建立，预处理方式为矢量归一化（standard normal variate, SNV）一阶导数+平滑（5、9、13、17、21、25点，下同）、一阶导数+SNV+平滑、二阶导数+平滑、二阶导数+SNV+平滑等，来消除无关信息的干扰，提高模型的精度。并采用欧式距离法和因子化法对光谱进行计算处理，通过比较S值最终确定最优预处理方式及光谱计算方法并建立定性分析模型；同时采用相同的方式结合加权平均准备树形图的方法建立聚类分析模型。

1.3.6.2 定量分析模型的建立

采用交叉检验以PLS在特征波段进行定量分析模型的建立，将查哈阳大米组分赋值1，非查哈阳大米组分赋值为-1，以0为中间值进行真伪判断，其中通过模型的计算值大于0的为查哈阳大米，小于0的为非查哈阳大米^[24]，光谱的预处理方式有消除常数偏移量、减去一条直线、SNV、最小-最大归一化、多元散射校正（multiplicative scatter correction, MSC）、内部标准、一阶导数+平滑、二阶导数+平滑、一阶导数+减去一条直线+平滑、一阶导数+SNV+平滑、一阶导数+多元散射校正+平滑，并采用检验集检验方式进行模型检验，并最终建立定量分析模型。

1.3.6.3 模型验证

利用OPUS 7.5软件分别选择定性分析，聚类分析测试和定量分析工具栏，调入模型，调入预测样品光谱图，测定得出结果。

2 结果与分析

2.1 试验田大米近红外光谱分析结果

大米近红外原始光谱如图1所示，由大米样品原始光谱可以看出，在波段7 500~9 000 cm⁻¹处（I区）是C—H第3组合频区，其中8 321 cm⁻¹附近的吸收峰脂肪烃中甲基（—CH₃）基团引起的；5 500~7 500 cm⁻¹处（II区）是C—H第2组合频区，在6 846 cm⁻¹附近的吸收峰是

因—CH₂二级振动所引起的，因与样品中氨基酸种类及含量有关，所以较I区信息稍微强些；4 000~5 500 cm⁻¹处（III区）是C—H第1组合频区，是表征蛋白质及淀粉物质中的N—H、C—H、O—H及C=O键振动的主要区间，其中5 173 cm⁻¹处的吸收峰与其有关^[25]。不同产地及不同品种之间的近红外光谱相似，采用一阶导数对试验田原始光谱预处理后进行方差分析，结果表明，不同地区来源的样品在波段5 136~5 501 cm⁻¹处均有显著差异，说明不同地区间样品的近红外光谱存在显著性差异，而并未发现与不同品种之间的近红外光谱存在显著性差异。同一品种因其在不同的产地生长，会受到温差、降雨量、土壤性质等因素的影响，使其理化性质发生存在一定的差异，故可以实现鉴别研究。80%大米中蛋白为碱性谷蛋白，其分子有大量酰胺基团，并通过氢键凝集蛋白分子^[26]。

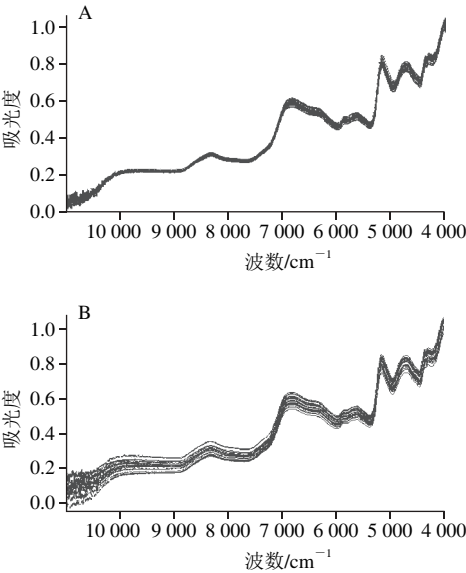


图1 试验田样品（A）和随机样品（B）近红外原始光谱图

Fig. 1 Near infrared spectra of test field samples (A) and randomly selected samples (B)

2.2 不同预处理方法的选择对定性分析建模效果的影响

近红外光谱虽然包含了丰富的物质信息，但谱峰重叠、信号较弱，难以像中红外光谱那样进行结构剖析，因此近红外光谱的定性分析主要用于物质的种属判别。选取在特征波段5 136~5 501 cm⁻¹对随机采样样品的原始光谱进行预处理并结合欧氏距离及因子化法进行定性建模分析，结果如表4所示。根据S值的大小来评价模型的准确度，计算公式如下：

$$S = \frac{D}{D_{T1} + D_{T2}}$$

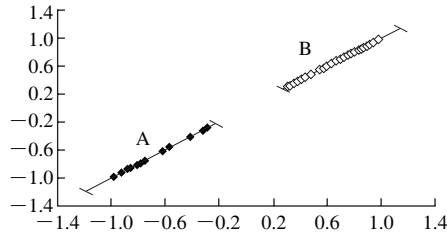
式中：D_{T1}为某类物质的阈值；D_{T2}为另一类物质的阈值；D为两类物质平均光谱之间的距离。

当 S 大于1时,表示两类样品被均一鉴别, S 值越大模型准确度越高; S 小于1时,表示此类样品未被均匀鉴别, S 值越小模型准确度越低。结果表明,采用因子化法结合二阶导数+矢量归一化+9点平滑的预处理方式时,查哈阳大米及非查哈阳大米被均一鉴别,其 S 为1.544,故选此建立定性分析模型。如图2所示,原始光谱进行因子化分析后,不仅保留了有用的信息,而且变量是沿最大方差得到的,起到了特征信息提取的作用。而欧式距离法则是直接使用吸光度计算光谱距离,对给定谱区范围内的全波数据点进行计算,不能体现特征变量的变化情况。因此应用因子化法建立的模型精度判别率高。

表4 不同预处理方法对定性鉴别分析模型效果的影响
Table 4 Effect of different pretreatment methods on the qualitative discriminant analysis model

预处理方式	欧式距离		因子化法	
	鉴别结果	S 值	鉴别结果	S 值
矢量归一化	—	0.301	—	0.387
一阶导数+5点平滑	—	0.443	+	1.402
一阶导数+9点平滑	—	0.228	—	0.781
一阶导数+13点平滑	—	0.197	—	0.567
一阶导数+17点平滑	—	0.172	—	0.558
一阶导数+21点平滑	—	0.161	—	0.458
一阶导数+25点平滑	—	0.153	—	0.417
一阶导数+矢量归一化+5点平滑	—	0.778	+	1.425
一阶导数+矢量归一化+9点平滑	—	0.389	—	0.822
一阶导数+矢量归一化+13点平滑	—	0.313	—	0.617
一阶导数+矢量归一化+17点平滑	—	0.228	—	0.634
一阶导数+矢量归一化+21点平滑	—	0.198	—	0.402
一阶导数+矢量归一化+25点平滑	—	0.178	—	0.520
二阶导数+5点平滑	+	1.056	+	1.083
二阶导数+9点平滑	+	0.948	+	1.502
二阶导数+13点平滑	—	0.568	+	1.061
二阶导数+17点平滑	—	0.592	+	0.983
二阶导数+21点平滑	—	0.442	—	0.769
二阶导数+25点平滑	—	0.414	—	0.714
二阶导数+矢量归一化+5点平滑	+	1.042	+	1.538
二阶导数+矢量归一化+9点平滑	+	0.957	+	1.544
二阶导数+矢量归一化+13点平滑	—	0.583	+	1.074
二阶导数+矢量归一化+17点平滑	—	0.637	+	0.988
二阶导数+矢量归一化+21点平滑	—	0.465	—	0.740
二阶导数+矢量归一化+25点平滑	—	0.407	—	0.592

注:—,两类样品未被唯一鉴别;+,两类样品均被唯一鉴别。



A区域代表查哈阳大米, B区域代表非查哈阳大米。

图2 因子化法2D得分图

Fig. 2 2D score plot for factorization method

为进一步衡量定性模型的准确性,故在特征波段 $5\,136\sim 5\,501\text{ cm}^{-1}$ 对随机采样样品采用二阶导数+矢量归一化+9点平滑的预处理方式结合加权平均准备树形图的方法建立聚类分析模型,如图3所示,两类大米均被正确分类。与定性分析不同,它不需要输入任何信息,聚类分析只将相似光谱按组分类,进而来确定样品之间的亲疏关系。梁剑等^[27]采用不同预处理方式对160粒水稻种子进行聚类分析,结果表明采用二阶导数+矢量归一化+25点平滑的预处理方式正确鉴别率为100%。夏立娅等^[28]在 $7\,700\sim 6\,700\text{ cm}^{-1}$ 及 $5\,700\sim 4\,300\text{ cm}^{-1}$ 的特征波段对119个响水大米及90个非响水大米采用聚类分析,结果表明,两类大米均被正确分类。聚类分析方法在解决大米产地溯源领域方面具有较大的应用前景。

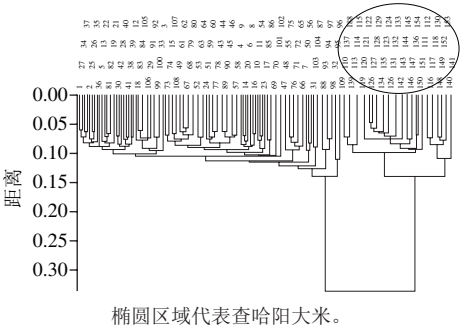


图3 不同地域大米样品的聚类分析结果

Fig. 3 Cluster analysis of rice samples from different geographical origins

2.3 定性分析模型的验证

调入定性分析模型(波数为 $5\,136\sim 5\,501\text{ cm}^{-1}$,采用因子化法结合二阶导数+矢量归一化+9点平滑的预处理方式)对预测样品进行定性鉴别分析,结果表明,查哈阳大米正确鉴别率为100%,非查哈阳大米正确鉴别率为96.36%。调入聚类分析模型(波段 $5\,136\sim 5\,501\text{ cm}^{-1}$,采用因子化法和二阶导数+矢量归一化+9点平滑的预处理方式结合加权平均准备树形图的方法)对预测样品进行聚类鉴别分析,结果表明,查哈阳大米正确鉴别率为100%,非查哈阳大米的正确鉴别率为98.18%,如表5所示。

表5 定性分析模型鉴别结果
Table 5 Results of identification with qualitative analysis model

判别方法	类别	正确个数	错误个数	正确率/%	样品总数
定性分析	查哈阳大米	24	0	100	24
	非查哈阳大米	53	2	96.36	55
聚类分析	查哈阳大米	24	0	100	24
	非查哈阳大米	54	1	98.18	55

2.4 不同波数及预处理方法的选择对定量分析建模效果的影响

定量分析建模的目的是建立近红外光谱与样品组分

化学值或者分类的相关联系。采用PLS法进行拟合结合交叉检验方式在特征波段5 136~5 501 cm^{-1} 处对随机采样样品光谱的预处理方式、均方根误差（results root mean square errors of cross-validation, RMSECV）、 R^2 （定向系数）及维数的确定进行优化处理，得出最优组合，如表6所示。其中 R^2 越大表示预测含量值越接近真实值，RMSECV可以作为评价模型质量的依据，数值越小越好。结果表明：在特征波段对随机采样样品采用消除常数偏移量的预处理方式建立的定量分析效果较好，其中RMSECV为0.129， R^2 为97.39。维数为8，如图4、5所示。故选此方法建立定量分析模型。PLS法较其他方法建立的回归模型更易于辨识系统信息与噪声，也能够存在严重多重相关性的条件下进行回归建模，其模型效果相对于其他判别方法具有较高精度^[29]。Davrieux等^[30]采用近红外光谱技术对泰国的香味大米和非香味大米，应用PLS法建立检测模型，其鉴别正确率高达97.4%。

表6 定量分析优化结果
Table 6 Results of optimization for quantitative analysis

数值	RMSECV	维数	预处理方式
1	0.129	8	消除常数偏移量
4	0.149	8	最小-最大归一化
5	0.154	7	MSC
3	0.154	7	SNV
7	0.200	6	二阶导数
2	0.204	5	减去一条直线
11	0.246	4	消除常数偏移量
6	0.252	9	一阶导数
10	0.261	8	一阶导数+MSC
9	0.266	7	一阶导数+SNV
12	0.287	4	消除常数偏移量
8	0.301	8	一阶导数+减去一条直线

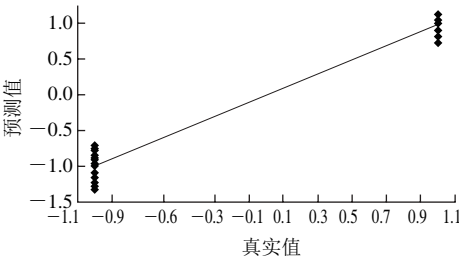


图4 地区预测值与真实值相关图

Fig. 4 Good correlation between predicted and reference values

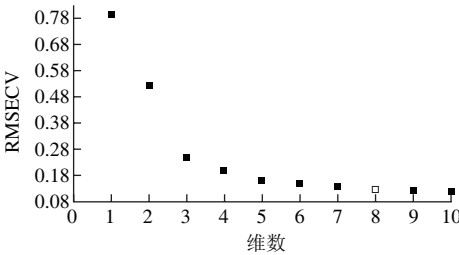


图5 RMSECV与维数的关系图

Fig. 5 Relationship between RMSECV and number of dimensions

2.5 定量分析模型的验证

调入定量分析模型（波数为5 136~5 501 cm^{-1} ，采用PLS法集合消除常数偏移量的预处理方式）对预测样品进行定量分析，结果表明，查哈阳大米正确判别率为95.83%，非查哈阳大米正确判别率为98.18%，如表7所示。

表7 定量分析模型判别结果
Table 7 Results of identification with quantitative analysis model

判别方法	类别	正确个数	错误个数	正确率/%	样品总数
定量分析	查哈阳大米	23	1	95.83	24
	非查哈阳大米	54	1	98.18	55

3 结论

大米的产地及品种等因素均对其近红外光谱有显著的影响，不同的产地及品种对其影响不同。实验选取查哈阳、建三江、五常三地区的试验田大米，进行与产地有关的波段的筛选，即产地对大米近红外光谱的影响大于品种的影响，得出特征波数为5 136~5 501 cm^{-1} ，并将其应用于地理标识大米查哈阳大米的真伪快速检测，结果表明，采用定性分析模型对查哈阳大米的正确鉴别率为100%，且采用因子化法建立的模型准确率要高于采用欧式距离法，同时为进一步确定定性分析模型的准确性，建立聚类分析模型，其对查哈阳大米的正确鉴别率为100%。采用PLS法建立的定量分析分析对查哈阳大米的正确判别率为95.83%。本实验可为近红外光谱技术在查哈阳大米的快速检测提供理论支持。

参考文献：

[1] 庞乾林. 稻米知识纵览[J]. 中国稻米, 2004, 10(3): 44-47. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2004.03.025.

[2] 张玥, 王朝辉, 张亚婷, 等. 基于主成分分析和判别分析的大米产地溯源[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(4): 1-5. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2016.04.001.

[3] 赵海燕, 郭波莉, 张波, 等. 小麦产地矿物元素指纹溯源技术研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(18): 3817-3823. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2010.18.016.

[4] 张红梅, 王俊. 电子鼻传感器阵列优化及其在小麦储藏年限检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 164-167. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2006.12.034.

[5] 钱丽丽, 吕海峰, 鹿保鑫, 等. 地理标志大米的仿生电子鼻分类识别[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(8): 131-137. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2016.08.024.

[6] ERNEST T. 傅里叶近红外光谱技术和电子舌技术结合模式识别方法的可可豆定性定量分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.

[7] 许芳, 陈轩. 电子舌技术对不同产地红茶的滋味识别[J]. 湖北农业科学, 2016(9): 2373-2376. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.09.057.

[8] 冯雪, 柳艳霞, 贺泽英, 等. 稻米代谢组学分析方法的建立及在产地溯源中的应用[J]. 分析测试学报, 2016, 35(5): 514-519. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2016.05.003.

- [9] 吴婷, 魏珊, 米丽华, 等. 不同产地连翘的DNA指纹图谱构建与聚类分析[J]. 中草药, 2016, 47(5): 816-820. DOI:10.7501/j.issn.0253-2670.2016.05.022.
- [10] XIA L Y, SHEN S G, LIU Z H, et al. Identification of geographical origins of rice with pattern recognition technique by near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy & Spectral Analysis, 2013, 33(1): 102-105. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2013)01-0102-04.
- [11] 徐霞, 成芳, 应义斌, 等. 近红外光谱技术在肉品检测中的应用和研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1876-1880. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2009)07-1876-05.
- [12] 史岩, 赵田田, 陈海华, 等. 基于近红外光谱技术的鸡肉产地溯源[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 198-204.
- [13] 刘晓晔, 汤晓艳, 孙宝忠, 等. 普通公牛肉和淘汰母牛肉的近红外光谱鉴别方法[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 244-248.
- [14] 李小龙, 马占鸿, 赵龙莲, 等. 基于近红外光谱技术的小麦条锈病和叶锈病的早期诊断[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(10): 2661-2665. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2013)10-2661-05.
- [15] 程权, 杨方, 王丹红, 等. 近红外光谱技术对闽南乌龙茶品种的识别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014(3): 656-659. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2014)03-0656-04.
- [16] ZHUANG X G, WANG L L, CHEN Q, et al. Identification of green tea origins by near-infrared (NIR) spectroscopy and different regression tools[J]. Science China Technological Sciences, 2017, 60(1): 84-90. DOI:10.1007/s11431-016-0464-0.
- [17] 庞艳苹, 刘坤, 闫军颖, 等. 近红外光谱法快速鉴别成安草莓[J]. 现代食品科技, 2013(5): 1160-1162. DOI:10.1673-9078(2013)5-1160-1162.
- [18] 黄艳艳, 朱丽伟, 马晗煦, 等. 应用近红外光谱技术定量分析杂交玉米纯度的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(10): 2706-2710. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2706-05.
- [19] SHEN Tingting, ZOU Xiaobo, SHI Jiyong, et al. Determination geographical origin and flavonoids content of Goji berry using near-infrared spectroscopy and chemometrics[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(1): 68-79. DOI:10.1007/s12161-015-0175-x.
- [20] 周子立, 张瑜, 何勇, 等. 基于近红外光谱技术的大米品种快速鉴别方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 131-135. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.024.
- [21] 周晓璇, 谢实猛, 陈全胜, 等. 基于近红外光谱技术的大米掺伪定量判别[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(4): 503-507. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.20160712.025.
- [22] 徐泽林, 金华丽. 近红外光谱法测定大米中的淀粉含量[J]. 农产品加工: 学刊, 2011(3): 74-76. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.03.019.
- [23] 吕慧, 张正竹, 王胜鹏, 等. 基于近红外光谱技术的大米品质分析与种类鉴别[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 322-325. DOI:10.1002-0306(2012)03-0322-04.
- [24] 周健, 成浩, 贺巍, 等. 基于近红外的PLS量化模型鉴定西湖龙井真伪的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(5): 1251-1254. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2009)05-1251-04.
- [25] 杰尔·沃克曼, 洛伊斯·文依. 近红外光谱解析实用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 220.
- [26] WU C H, NAKAI S, POWRIE W D. Preparation and properties of acid-solubilized gluten[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1976, 24(3): 504-510. DOI:10.1021/jf60205a057.
- [27] 梁剑, 刘斌美, 陶亮之, 等. 基于水稻种子近红外特征光谱的品种鉴别方法研究[J]. 光散射学报, 2013, 25(4): 423-428. DOI:10.3969/j.issn.1004-5929.2013.04.014.
- [28] 夏立娅, 申世刚, 刘峥颖, 等. 基于近红外光谱和模式识别技术鉴别大米产地的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(1): 102-105. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2013)01-0102-04.
- [29] IBRAHIM S, RAHIM H A. The assessment of amylose content using near infrared spectroscopy analysis of rice grain samples[C]// IEEE Conference on Open Systems, 2013: 32-37. DOI:10.1109/ICOS.2013.6735043.
- [30] DAVRIEUX F, OUADRHIRI Y, PONS B, et al. Discrimination between aromatic and non-aromatic rice by near infrared spectroscopy: a preliminary study[C]//Auckland: Proceedings of the 12th International Conference, 2007: 394-396.