近红外光谱技术对加工后鸡肉产地溯源的研究

孙潇，史岩

（青岛农业大学食品科学与工程学院，山东青岛 266109）

摘要：本文选择来自昌邑新昌、牟平仙坛、莱阳春雪、亚太中慧四个产地，不同厂家的 180 只同鸡龄同部位鸡肉样本，分别采用蒸、煮、微波三种方式加工后，经预处理粉碎过筛，利用安全、快速的近红外光谱技术，对不同产地的鸡肉样本进行近红外扫描并对所采集的近红外光谱进行聚类分析(CA)、主成分分析(PCA)，针对三种加工方式分别建立鸡肉产地溯源的定性判别模型，以探究加工后鸡肉产地溯源的可行性。试验表明：在波数范围 7000~4000 cm^{-1} 内，原始光谱经二阶求导（13 点平滑）和矢量归一化(SNV)预处理后，经三种方式加工后鸡肉的近红外光谱图均有显著差异，其中聚类分析判别正确率均高于 90%，鸡肉样本的主成分空间分布位于不同的区域。利用来自四个厂区的独立样本经相同处理后对模型进行验证，识别正确率可达 90%~95%。近红外光谱分析技术对加工鸡肉制品的产地溯源具有可行性。

关键词：近红外光谱；加工方式；鸡肉；产地溯源

文章篇号：1673-9078(2015)6-315-321 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.050

Determining the Geographic Origin of Cooked Chicken Based on Near-infrared Spectroscopy

SUN Xiao, SHI Yan

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

Abstract: One hundred and eighty chicken samples of the same age obtained from different factories within four production areas in Shandong were processed by three cooking methods (steaming, boiling, and cooking in a microwave), pretreated, crushed, and sieved. The samples were then scanned with a safe and rapid near-infrared (NIR) spectroscopic technique, followed by cluster analysis (CA) and principal component analysis (PCA) of the spectroscopic data, in order to establish a qualitative discrimination model for the traceability of cooked chicken. There were significant differences among the three cooking methods within the wavenumber range of 4000~7000 cm^{-1} after second derivative (13 point smoothing) and standard normal variable (SNV) pretreatment. The discrimination accuracy of CA was greater than 90%, while the principal components for the chicken samples were distributed in different geographical locations. The discrimination model, calibrated by using known samples, was used to predict unknown chicken samples, which attained a discrimination accuracy of 90%–95%. These results show that applying NIR spectroscopy to trace the geographical origins of cooked chicken is feasible.

Key words: chicken meat, near-infrared spectroscopy, origin traceability, processing method

随着生活水平的提高,食品的质量安全性越来越受到人们的关注。建立健全的食品追溯体系是保证食品质量安全、增强消费者对食品安全信心的基本原则之一。食品的产地溯源是食品追溯体制中重要的组成部分，它既有利于保护消费者的利益，又有利于保护地区品牌和特色产品，确保公平竞争，并在食源性疾病暴发时能够快速有效地实施产品召回，控制病原菌的扩散，减少损失[1]。食品产地溯源是食品安全追溯制度的重要组成部分，它能够在疫情发生时有效找到源头，为控制疫情传播、有效召回并销毁产品提供依据[2]。但现有的信息记录方式易造假，难保存，在运输过程中极易损坏和丢失，所以迫切需要建立一套安全可靠的食品追溯体系。近红外光谱技术因其快速、高效、安全无污染、样品处理简便等优势，在追溯体系的建立中受到广泛关注。

动物饲养过程中，饲种类、基因型和喂养方式等均会影响动物源性食品中的脂肪含量、脂肪酸的组成、肌肉的结构、蛋白质的组成与含量。饲料主要影响肉品中的脂肪含量和脂肪酸图谱，而基因型的不同可能会引起肌肉结构和蛋白质含量的差异[2]，这些差异都会在近红外光谱图中反映出来。肉类在加工过程中其

收稿日期：2014-08-17

基金项目：山东省自主创新专项（2013CXC90202）

作者简介：孙潇（1988-），女，硕士在读，主要研究方向为食品质量与安全

通讯作者：史岩（1957-），男，博士，教授，硕士生导师，主要研究方向为电子信息技术应用及食品质量安全

营养成分会发生改变，过去针对原料肉的产地溯源模型无法应用于加工肉制品。因此，需要针对加工肉制品建立新的产地溯源模型。1999 年，Woo[3]等人首次提出利用近红外光谱结合模式识别法在中药材产地溯源中的可行性。在植物源产品产地溯源研究中，Arana[4]、Cozzolino[5]、Liu[6]等人在葡萄及葡萄酒产地溯源方面进行了研究。在肉类食品产地溯源研究中，李勇[7]、孙淑敏[8]等分别对不同产地的牛、羊肉进行了鉴别研究。在不同加工方法对肉类影响的研究中，常海军[9]等研究了水浴和微波两种不同加热方法，以及不同加热温度和时间对牛肉肌内胶原蛋白特性及肉质的影响并得出结论。

目前，近红外光谱技术的在食品产地溯源的研究应用大多集中于植物性食品中，对肉类研究相对较少，在加工肉制品中的研究更是鲜有报道。因此，对加工后鸡肉产地溯源技术的应用研究及建立规范完善的追溯体系具有重要意义。本文利用近红外光谱技术，在波数范围 7000~4000 cm^{-1} 内，经适当的预处理并采用聚类分析、主成分分析的模式识别方法，探究近红外光谱技术在加工后鸡肉产地溯源应用研究中的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用鸡肉样本分别为昌邑新昌、烟台牟平仙坛、莱阳春雪、潍坊高新区亚太中慧四个厂家提供的不同产地同鸡龄鸡胸肉，共采集 240 个鸡胸肉样本，其中 180 个作为建模训练样本集，其余 60 个作为预测样本集。样品采集于 2014 年 1 月，于-18 ℃低温冰箱冷藏。具体信息见表 1。

表 1 不同产地鸡肉样本的具体信息

Table 1 Detailed information regarding the origin of the chicken samples

采样地区	经度	纬度	海拔/m	训练样本数	预测样本数
昌邑新昌	119°42’	36°85’	20.7	45	15
莱阳春雪	120°50′	37°09′	47.8	45	15
牟平仙坛	121°53′	37°25′	13.2	45	15
亚太中慧	119'29"	36'42"	18.7	45	15

1.2 仪器与设备

实验采用的仪器与设备见表 2。

表 2 试验中采用仪器信息

Table 2 Laboratory Instruments

仪器名称	生产厂家
FD5-2.5 真空冷冻干燥机	SIM INTERNATIONAL GROUP
FW100 高速万能粉碎机	天津市泰斯特仪器有限公司
MATRIX-I 傅立叶变换近红外光谱仪（配 OPUS6.5 光谱采集软件）	德国布鲁克仪器有限公司
美的电磁炉	广东省佛山市美的集团

1.3 试验方法

1.3.1 样本制备

每个样本取鸡肉 100 g，切成厚度≤1 cm 的薄片，每个产地均分为三组，一组鸡肉平铺于瓷盘中，于锅中蒸熟；二组鸡肉放入盘中，加适量水，用保鲜膜封好，放入微波炉中微波加热；三组直接放入清水中煮；处理时间为 12 min。加工完毕后于-18 ℃冰箱预冻 12 h，放入真空冷冻干燥机中冻干 40 h，粉碎至过 100 目筛。鸡肉粉放入旋转样品杯中，于 MATRIX-I 傅立叶变换近红外光谱仪中扫描，扫描范围在波数 12000 cm^{-1} ~4000 cm^{-1} 内，扫描次数 64 次，分辨率为 8 cm^{-1}。

1.3.2 分析方法

本试验利用 OPUS6.5 光谱采集及分析软件对扫描所得鸡肉样本原始光谱进行预处理，并运用聚类分析法(CA）和主成分分析法(PCA)两种模式识别方法比较光谱间差异。

2 结果与讨论

2.1 近红外光谱图的特征分析

不同产地的鸡肉由于土壤、水质、饲料成分及饲养方式等条件的不同，会造成鸡肉中脂肪酸种类、含量以及蛋白质肽链结构、分子间氢键的缔合方式的差异，同时由于饲料不同，不同鸡个体间碳、氮同位素组成也存在差异，此差异会使近红外光谱中 C-H、N-H 基团倍频与合频吸收带的不同[10]。这些差异均会反映在其近红外光谱谱带中，导致近红外原始光谱中各吸收峰的吸光度的不同。

从原始图谱（图 1）中可以看出，在波数范围 7300 cm^{-1}~7000 cm^{-1} 和 5450 cm^{-1}~4800 cm^{-1} 内光谱出现差异，这说明不同产地鸡肉内蛋白质、脂肪等主要成分的含量及种类存在差异。但由于原始图谱内包含鸡肉所有成分的近红外光谱吸收，不同样品成分之间互相干扰，噪声高，信息量大而且复杂，导致谱峰被掩盖、谱线重叠等问题难以直接准确辨别不同光谱间的差异，故需要对原始光谱选择合适的方法进行预处理并提取特征波段。

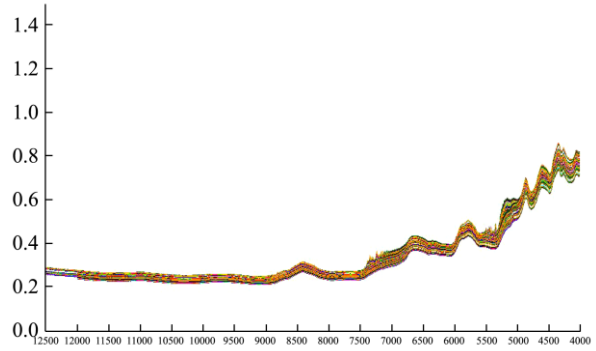


图 1 不同方式加工后鸡肉近红外原始光谱图

Fig.1 Raw spectra of cooked chicken samples from different geographic origins

2.2 光谱特征波段的提取

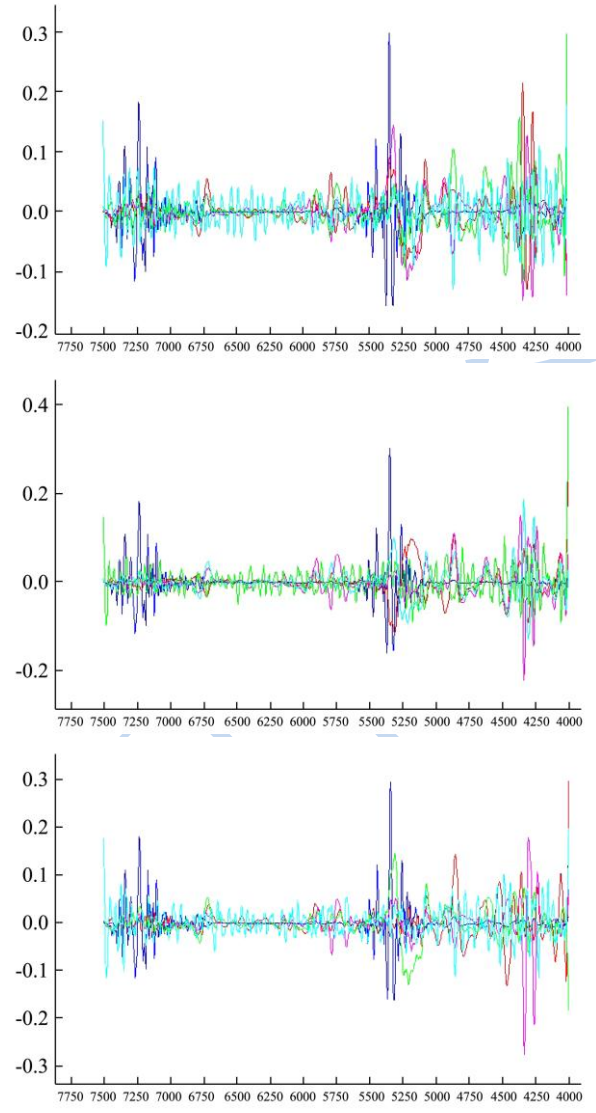


图 2 加工后鸡肉第一主成分载荷图

Fig.2 Loading plot of the first principal component of cooked chicken samples from different geographic regions

本试验中光谱图 PCA 分析中前五个主成分已包含了绝大多数分类信息，其中第一主成分表征了 70%的信息。因此可根据第一个主成分的载荷图提取近红外光谱的特征波段[11]。本试验选择光谱范围 7500 cm^{-1}~4000 cm^{-1}，采用二阶导数 13 点平滑+矢量归一化(SNV)的方法对原始光谱进行预处理，得到第一主成分载荷图如下（图 2）。从图中可看出，4500~4000 cm^{-1}、5550~5100 cm^{-1} 和 7500~7100 cm^{-1} 三个波段为鸡肉产地鉴别的特征波段。资料显示[12]这三个波段包含了鸡肉中脂肪酸、氨基酸、糖类的谱带信息，因此，这三个波段可作为特征波段，用以探究不同产地鸡肉中蛋白质、脂肪等营养物质的差异。

2.3 不同产地加工方式鸡肉主成分分析与聚类分析

2.3.1 不同产地不同加工方式鸡肉的聚类分析

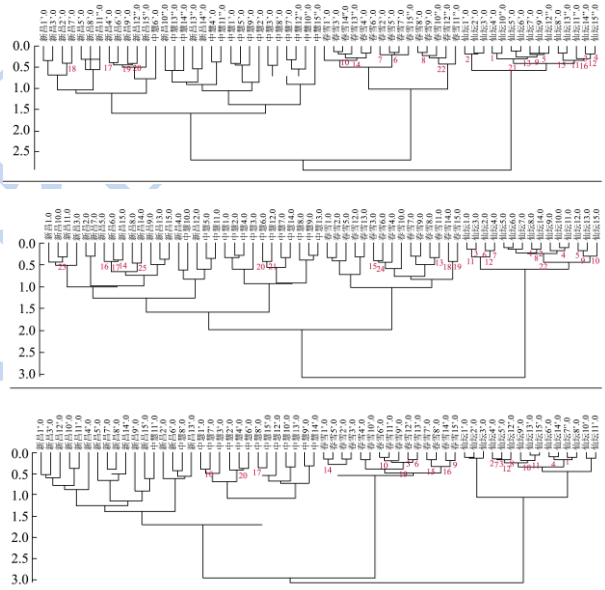


图 3 加工后不同产地鸡肉聚类分析图

Fig.3 Cluster analysis for the different geographic origins of chicken samples after boiling, steaming, and cooking in the microwave

利用仪器自带 OPUS6.5 光谱采集与分析软件，采用因子化法对经二阶导数 13 点平滑+矢量归一化(SNV)预处理后的光谱作 CA 分析处理。由聚类分析树形图（图 3）可以看出，经过煮加工后，在阈值 0.7~1.0 范围内，来自春雪、仙坛的鸡肉样本能够各自聚为一类，来自亚太中慧的样本在阈值 1.4 处部分能单独聚为一类，来自新昌的样本在阈值 1.1 处聚为一类，其中新昌、中慧小部分光谱（中慧 6、新昌 10、13、14）混为一类，正确率为 93.33%；经过蒸加工后，来自牟平仙坛的鸡肉样本在阈值 0.75 处能够单独聚为一类，

来自春雪的样本在阈值 1.2 处能够单独聚为一类，在阈值 0.95 处来自亚太中慧的样本能聚为一类，在阈值 1.3 处新昌的样本能聚为一类，其中有部分来自中慧的样本（中慧 5、10、11、15），判别正确率为 93.33%；经过微波加工后，在阈值 0.5~1.2 范围内，来自春雪、仙坛二产地的鸡肉样本能够各自聚为一类，在阈值 1.2 处来自亚太中慧的样本能聚为一类，其中少量来自中慧的鸡肉样本光谱（中慧 5、11）与新昌混为一类，分类正确率为 96.67%。经分析推测，原因或由于亚太中慧与昌邑新昌所处产地的经纬度、海拔以及水源等因素相近有关。从整体看来，不同产地鸡肉经加工处理后，仍能够通过 CA 法提取有效光谱信息，将不同产地鸡肉区分开，判别正确率均高于 90%。

2.3.2 不同产地不同加工方式鸡肉主成分分析

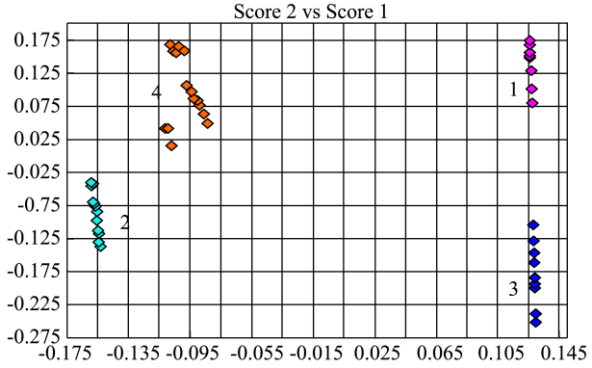


图 4 煮加工后不同产地鸡肉主成分分析图

Fig.4 Score plots of principal components for the different geographic origins of boiled chicken samples

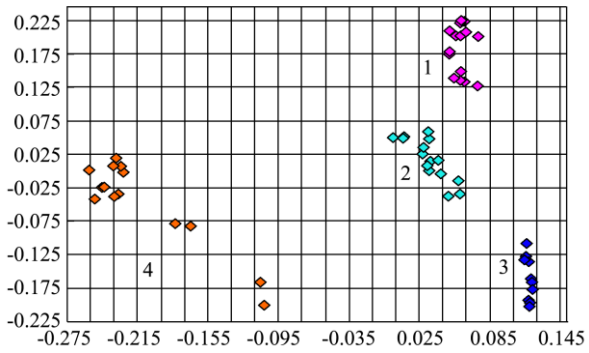


图5 微波加工后不同产地鸡肉主成分分析图

Fig.5 Score plots of principal components for the different geographic origins of steamed chicken samples

PCA 是将多个具有相关性的多个指标重新组合，形成新的独立的综合指标。其目的是运用线性变换将数据降维，消除信息中重叠的部分、减少数据冗余。同时，这些新变量会最大程度上表征原变量的数据特征而不会丢失主要信息。在 PCA 图中，相互靠近的样本说明其具有相似的光谱特征。利用 OPUS6.5 光谱分析软件对原始光谱进行二阶导数 13 点平滑+矢量归一化(SNV)处理后，利用 PCA 法进行分析处理，得 PCA 图（图 4~图 6）如下。由图中可看出，经过煮、蒸、微波三种加工方式加工后，四个产地的鸡肉样本分别处于不同空间，且间界限清晰，说明加工后的不同产地鸡肉样本可利用 PCA 法有效鉴别。经计算，莱阳春雪样本光谱阈值为 0.23977，为四个产地中最大，从图 4 中可看出其样本分布最为分散；昌邑新昌、牟平仙坛、亚太中慧三个产地样本的光谱阈值均较小，故样本分布较为集中。

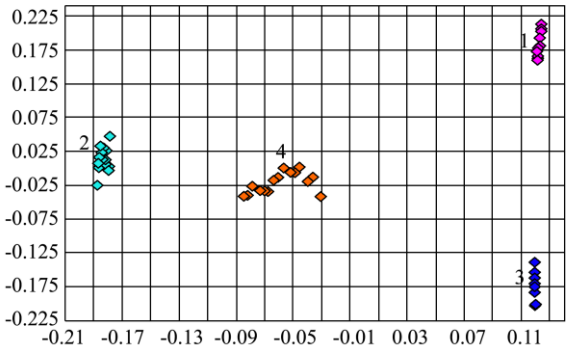


图6 微波加工后不同产地鸡肉主成分分析图

Fig.6 Score plots of principal components for the different geographic origins of chicken samples cooked in the microwave

注：1-亚太中慧 2-牟平仙坛 3-昌邑新昌 4-莱阳春雪。

2.4 定性分析模型的建立和检验

对来自四个产地不同处理方法的 180 个鸡肉样本的原始近红外光谱进行二阶求导（13 点平滑）+矢量归一化(SNV)预处理，选择波数范围 7000~4000 cm^{-1} 波段，利用该 180 个训练样本分别建立分析判别模型并保存方法，验证模型时直接调用该方法。利用来自四个产地不同加工方式的共 60 个独立样本光谱检验该定性分析判别模型的准确性，结果见表（表 3~表 5），验证样本分别以 YZ-1-YZ-20、YZ-1'-YZ-20'、YZ-1"-YZ-20"命名。以 YZ-1 为例：由预测样本计算得到昌邑新昌的阈值为 0.02351，YZ-1 与昌邑新昌样本的匹配值为 0.02384，在四个产地中，YZ-1 与昌邑新昌样本的匹配值最小，所以可判断其产地为昌邑新昌。同理，YZ-2 与牟平仙坛样本的匹配值在四个产地中最小，故可判断其产地为牟平仙坛。根据阈值与匹配值对其余预测样本的产地进行预测，结果表明，微波、煮加工后样本识别正确率为 95%，蒸加工后样本识别确正率为 90%。由此可见该模型可以较为准确预测不同加工方式不同产地的鸡肉样本。

表 3 蒸加工后不同产地预测样本的光谱距离

Table 3 Spectral distances from the different geographical origins after steaming

预测样本名称 阈值	蒸加工后四产地鸡肉样本的光谱阈值及预测样本与其匹配值 昌邑新昌 0.02351	莱阳春雪 0.23977	牟平仙坛 0.03476	亚太中慧 0.04161	预测产地	正确与否
YZ-1	0.02384	0.30597	0.81487	0.12067	昌邑新昌	正确
YZ-2	0.83469	0.67375	0.02530	0.87782	牟平仙坛	正确
YZ-3	0.40136	0.21184	0.45280	0.45220	莱阳春雪	正确
YZ-4	0.41888	0.23334	0.43108	0.46151	莱阳春雪	正确
YZ-5	0.02359	0.31228	0.81293	0.12873	昌邑新昌	正确
YZ-6	0.01336	0.33104	0.81739	0.03847	昌邑新昌	错误
YZ-7	0.64074	0.76845	0.16481	0.04211	亚太中慧	正确
YZ-8	0.83391	0.67296	0.02350	0.87688	牟平仙坛	正确
YZ-9	0.41783	0.23429	0.43294	0.49305	莱阳春雪	正确
YZ-10	0.64154	0.7644	0.16578	0.04277	亚太中慧	正确
YZ-11	0.02391	0.31920	0.81273	0.12283	昌邑新昌	正确
YZ-12	0.02139	0.31892	0.87122	0.12324	昌邑新昌	正确
YZ-13	0.82671	0.66845	0.02473	0.87014	牟平仙坛	正确
YZ-14	0.64574	0.76453	0.16773	0.04376	亚太中慧	正确
YZ-15	0.41228	0.23577	0.43583	0.48722	莱阳春雪	正确
YZ-16	0.02144	0.34435	0.84555	0.14164	昌邑新昌	错误
YZ-17	0.41438	0.23674	0.43768	0.48544	莱阳春雪	正确
YZ-18	0.04298	0.70531	0.16698	0.60144	昌邑新昌	正确
YZ-19	0.82698	0.66862	0.02580	0.87113	牟平仙坛	正确
YZ-20	0.83248	0.67279	0.02456	0.87604	牟平仙坛	正确

表 4 煮加工后不同产地预测样本的光谱距离

Table 4 Spectral distances from the different geographical origins after boiling

预测样本名称 阈值	煮加工后四产地鸡肉样本的光谱阈值及预测样本与其匹配值 昌邑新昌 0.035007	莱阳春雪 0.047672	牟平仙坛 0.020162	亚太中慧 0.030164	预测产地	正确与否
YZ-1’	0.78171	0.04217	0.33884	0.77078	莱阳春雪	正确
YZ-2’	0.77128	0.13169	0.01759	0.75871	牟平仙坛	正确
YZ-3’	0.01709	0.66498	0.76788	0.07219	昌邑新昌	正确
YZ-4’	0.07021	0.64309	0.75120	0.01031	亚太中慧	正确
YZ-5’	0.01748	0.66479	0.76767	0.07211	昌邑新昌	正确
YZ-6’	0.01941	0.66502	0.76768	0.07355	昌邑新昌	正确
YZ-7’	0.77250	0.13262	0.01891	0.75988	牟平仙坛	正确
YZ-8’	0.77327	0.13400	0.01864	0.75085	牟平仙坛	正确
YZ-9’	0.06629	0.64378	0.75158	0.01078	亚太中慧	正确
YZ-10’	0.01930	0.66463	0.76743	0.07107	昌邑新昌	正确
YZ-11’	0.77536	0.13864	0.01887	0.76596	牟平仙坛	正确
YZ-12’	0.06602	0.64338	0.75121	0.01006	亚太中慧	正确
YZ-13’	0.77356	0.34278	0.04280	0.77269	牟平仙坛	错误
YZ-14’	0.06680	0.64409	0.75193	0.01042	亚太中慧	正确

转下页

接上页

YZ-15’	0.77458	0.13212	0.01890	0.75833	牟平仙坛	正确
YZ-16’	0.01630	0.66428	0.76734	0.07127	昌邑新昌	正确
YZ-17’	0.77892	0.04457	0.34278	0.77132	莱阳春雪	正确
YZ-18’	0.06593	0.64467	0.75243	0.01037	亚太中慧	正确
YZ-19’	0.77562	0.04516	0.34531	0.77168	莱阳春雪	正确
YZ-20’	0.77267	0.04442	0.34117	0.77462	莱阳春雪	正确

表 5 微波加工后不同产地预测样本的光谱距离

Table 5 Spectral distances from the different geographical origins after cooking in the microwave

预测样本名称	微波加工后四产地鸡肉样本的光谱阈值及预测样本与其匹配值					
	昌邑新昌	莱阳春雪	牟平仙坛	亚太中慧	预测产地	正确与否
阈值	0.025694	0.089683	0.029405	0.032955		
YZ-1”	0.83981	0.26770	0.01163	0.85857	牟平仙坛	正确
YZ-2”	0.84310	0.27173	0.01565	0.86161	牟平仙坛	正确
YZ-3”	0.07021	0.64309	0.75120	0.01031	亚太中慧	正确
YZ-4”	0.06629	0.64378	0.75158	0.01078	亚太中慧	正确
YZ-5”	0.01709	0.66498	0.76788	0.07219	昌邑新昌	正确
YZ-6”	0.78171	0.07822	0.33884	0.77078	莱阳春雪	正确
YZ-7”	0.01941	0.66502	0.76768	0.07355	昌邑新昌	正确
YZ-8”	0.84330	0.27203	0.01579	0.86179	牟平仙坛	正确
YZ-9”	0.84871	0.27761	0.02115	0.86718	牟平仙坛	正确
YZ-10”	0.06602	0.64338	0.75121	0.01006	亚太中慧	正确
YZ-11”	0.78338	0.07382	0.33153	0.76983	莱阳春雪	正确
YZ-12”	0.06680	0.64409	0.75193	0.00987	亚太中慧	正确
YZ-13”	0.78839	0.07139	0.33183	0.77673	莱阳春雪	正确
YZ-14”	0.06593	0.64467	0.75243	0.01037	亚太中慧	正确
YZ-15”	0.84923	0.27799	0.02157	0.86776	牟平仙坛	正确
YZ-16”	0.01930	0.66463	0.76743	0.07107	昌邑新昌	正确
YZ-17”	0.79882	0.07677	0.33172	0.76982	莱阳春雪	正确
YZ-18”	0.85377	0.28370	0.02890	0.87196	牟平仙坛	错误
YZ-19”	0.01748	0.66479	0.76767	0.07211	昌邑新昌	正确
YZ-20”	0.01630	0.66428	0.76734	0.07127	昌邑新昌	正确

3 结论

不同产地的鸡肉由于饲养条件条件的不同，其营养成分的含量和种类具有一定的差异，这些差异会反映在近红外光谱图中。肉类在加工过程中会发生蛋白质变性及部分营养成分的流失，因此生肉的近红外产地溯源模型无法应用于加工后的肉制品中。本文采用 PCA 和 CA 对加工后鸡肉近红外光谱进行模式识别，经不同方式加工后的鸡肉产地 CA 判别正确率分别可达到 93.33%和 96.67%；建立鸡肉产地溯源模型，利用验证样本对模型进行验证，识别正确率达到 90%~95%。研究结果表明，近红外光谱技术同样可以应用于加工后鸡肉的产地溯源研究，且结果准确、操作简便、安全高效。

随着各饲料生产企业生产销售规模的不断扩大，不同产地的肉鸡养殖场可能采用同品牌饲料进行喂养。但由于不同地域中，其水源、土壤成分存在差异，会造成农产品中营养成分的差异，在肉鸡饲养过程中若饲料添加当地农产品为辅料，也可造成不同产地鸡肉中营养成分的不同。今后研究中可进一步扩充样本产地来源及样本的数量，并采用更多的加工方式及加工条件，以增强模型的准确度，同时增加该产地溯源模型的应用广泛性。

参考文献

[1] 郭波莉,魏益民,潘家荣.同位素指纹分析技术在食品产

地溯源中的应用进展[J].农业工程学报,2007, 23(3):284-289
GUO Bo-li, WEI Yi-min, PAN Jia-rong. Progress in the application of isotopic fingerprint analysis to food origin traceability [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(3): 284-289

[2] Bruno P, Nicolas B, Gerard L, et al. Review of the current methods of analytical traceability allowing determination of the origin of foodstuffs [J]. Food Control, 2007, 18: 228-235

[3] Woo Y A, Kim H J, Cho J H, et al. Discrimination of herbal medicines according to geographical origin with near-infrared reflectance spectroscopy and pattern recognition techniques [J]. Journal of Pharmaceut and Biomed Analysis, 1999, 21(2): 407-413

[4] Arana I, Jaren C, Arazuri S. Maturity, variety and origin determination in white grapes (*Vitis Vinifera L.*) using near infrared reflectance technology [J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2005, 13: 349-357

[5] Cozzolino D, Smyth H E, Gishen M. Feasibility study on the use of visible and near-infrared spectroscopy together with chemometrics to discriminate between commercial white wines of different varietal origins [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51: 7703-7708

[6] Liu L, Cozzolino D, Cynkar W U, et al. Geographic classification of spanish and australian tempranillo red wines by visible and near-infrared spectroscopy combined with multivariate analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 6754-6759

[7] 李勇,魏益民,潘家荣,等.基于FTIR指纹光谱的牛肉产地溯源技术研究[J].光谱学与光谱分析,2009,29(3): 647-651
LI Yong, WEI Yi-min, PAN Jia-rong, et al. Determination of geographical origin of beef based on FTIR spectroscopy analysis [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(3): 647-651

[8] 孙淑敏,郭波莉,魏益民,等.近红外光谱指纹分析在羊肉产地溯源中的应用[J].光谱学与光谱分析,2011, 31(4): 937-941
SUN Shu-min, GUO Bo-li, WEI Yi-min, et al. Application of near infrared spectral fingerprint technique in lamb meat origin traceability [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(4): 937-941

[9] 常海军.不同加工条件下牛肉肌内胶原蛋白特性变化及其对品质影响研究[D].南京:南京农业大学,2010:25-63
CHANG Hai-jun. Studies on effects of different processing conditions on characteristics changes of collagen and meat quality of beef muscle [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010: 25-63

[10] 王慧文,杨曙明,程永友.鸡肉中稳定同位素组成与饲料和饮水关系的研究[J].分析科学学报,2008,24(1):47-50
WANG Hui-wen, YANG Shu-ming, CHENG Yong-you. Study on the relationship between stable isotopes composition in chicken and feed and water [J]. Journal of Analytical Science, 2008, 24(1): 47-50

[11] 夏立娅,申世刚,刘峥颢,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
XIA Li-ya, SHEN Shi-gang, LIU Zheng-hao, et al. Identification of geographcial origins of rice with pattern recognition technique by near infrared spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(1): 102-105

[12] 严衍禄,赵龙莲,韩东海,等.近红外光谱分析基础与应用[M].北京:中国轻工业出版社,2005
YAN Yan-lu, ZHAO Long-lian, HAN Dong-hai, et al. The application of near-infrared spectroscopy analysis [M]. China Light Industry Press, 2005