

## 近红外光谱技术在鱼糜定性和定量上的应用

陆 焯, 王锡昌\*, 刘 源

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘要:**以海水鱼糜(包括狭鳕、带鱼、鲷和混合鱼糜)以及淡水鱼糜(包括鲢和草鱼鱼糜)为研究对象,应用傅立叶近红外光谱技术结合化学计量学对鱼糜进行定性和定量分析。用聚类分析和线性判别的方法建立海水和淡水鱼糜的定性鉴别模型,并应用偏最小二乘法(PLS)分别建立海水鱼糜水分含量和蛋白质含量的近红外定量分析模型。结果表明,海水和淡水鱼糜的定性鉴别模型预测率达100%;建立的近红外定量分析模型中,海水鱼糜的水分和蛋白质的模型的相关系数分别达0.98和0.96以上,模型能较为准确、快速地预测定海水鱼糜中水分和蛋白质含量,有很大的潜力可应用于实际生产。

**关键词:**鱼糜;品质;近红外光谱

**中图分类号:**TS 254.7

**文献标志码:**A

鱼糜,即将鲜活原料鱼预处理后,经采肉、漂洗、精滤、脱水、分装、冻结而成的具有一定保藏期的中间素材产品<sup>[1]</sup>。优质冷冻鱼糜具有高蛋白、低脂肪、口感佳、白度好、杂点少、弹性好等优点,被广泛用于生产各种调理食品,如鱼丸、鱼糕、鱼饼、鱼肉火腿、鱼香肠、模拟蟹肉等鱼肉深加工产品,深受消费者的喜爱。目前鱼糜市场上,海水鱼仍然是生产鱼糜的主要原料。国际上,狭鳕(*Alaska pollack*)自20世纪60年代就成为生产高品质、富弹性的传统鱼糕制品的极佳原料<sup>[2]</sup>。而带鱼糜、鲷鱼糜(俗称:铜盆鱼糜)和混合鱼糜是国内主要的海水鱼糜种类。另一方面,随着对淡水鱼综合利用的提高,国内市场上逐渐出现以淡水鱼为原料的鱼糜和鱼糜制品。鱼糜的原料、加工工艺直接影响了鱼糜品质的高低,而其水分、蛋白质含量是衡量鱼糜品质好坏的重要指标。

近红外光谱技术(near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)具有快速、无损以及多组分同时测定的优点。国外RIPOLLA等<sup>[3]</sup>利用NIR检测牛肉的水分、蛋白质含量以及质构。PRIETO等<sup>[4]</sup>基于水分和脂肪含量的不同利用NIR区分

不同来源的牛肉。del MORAL等<sup>[5]</sup>将人工神经网络与近红外光谱技术结合应用于鉴别不同产地猪肉的研究中,MUSLEH等<sup>[6]</sup>利用NIR测定鱼糕凝胶的终点温度。国内在此方面的研究发展较晚,于20世纪50年代中后期,NIRS首先被应用于农副产品的分析中。王加华等<sup>[7]</sup>利用NIRS采用峰面积判别法(PADA)、主成分分析判别法(PCADA)和偏最小二乘判别法(PLSDA)建立判别模型,识别褐腐病和水心病苹果。其中褐腐病苹果识别率达100%,PLSDA建立的水心病苹果识别模型正确率最高,达96.7%。于海燕等<sup>[8]</sup>将近红外透射光谱应用于黄酒酒龄的定性分析中,林涛等<sup>[9]</sup>研究了光程变化对近红外检测黄酒酒精度、糖度以及pH指标测定的影响。刘魁武等<sup>[10]</sup>利用近红外光谱技术建立猪肉中水分、脂肪以及蛋白质的定量检测模型,发现0~4℃下的模型优于20℃下的模型,且该方法能够很好地检测冷鲜猪肉中的脂肪和水分<sup>[10]</sup>。

鱼糜的主要成分是水分和蛋白质,并且具有较好的均一性,因此,将近红外应用于鱼糜的品质检测也同样具有可行性。黄艳等<sup>[11]</sup>在利用近红

收稿日期:2010-09-08 修回日期:2011-02-22

资助项目:国家自然科学基金项目(30901125);国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD94B09);农业部“九四八”项目(2006-G43)

通讯作者:王锡昌. E-mail:xcwang@shou.edu.cn

外漫反射光谱对鲢鱼糜的研究中得到了水分和蛋白质预测值与化学测定值的相关系数都大于0.98的良好结果。本研究以海水鱼糜(狭鳕、带鱼、鲷和混合鱼糜)为研究对象,建立海水鱼糜水分和蛋白质含量的近红外定量模型,并建立海水与淡水鱼糜(鲢和草鱼鱼糜)的分类鉴别模型,以期工业化的鱼糜品质快速测定提供依据和数据积累。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样与制样

**海水鱼糜** 狭鳕鱼糜(AAA级,上海彩星食品公司)从市场上购得;不同级别和多批次的带鱼糜(浙江兴业集团有限公司和舟山龙生水产制品有限公司),鲷鱼糜(FA级,东山龙生水产制品有限公司)和混合鱼糜(AA、AAA、FA级,浙江兴业集团有限公司和舟山龙生水产制品有限公司)由生产厂家提供。

**淡水鱼糜** 自制白鲢鱼糜和草鱼糜,采集不同时期的白鲢和草鱼,经采肉、漂洗、精滤、脱水制作成多批次不同含量的白鲢和草鱼鱼糜。

鱼糜均贮藏于 $(-18 \pm 2)$  °C冰箱中。冷冻鱼糜经流水解冻1 h后置于5 °C冰箱过夜解冻,每份取大约60 g鱼糜样品。为得到更多批次营养成分含量不同的海水鱼糜,在鱼糜中通过添加0%~20%水分、0%~2%大豆分离蛋白质和0%~2%玉米淀粉,构成的海水鱼糜水分含量在73.76%~81.15%,蛋白质含量在10.71%~17.04%。将鱼糜和添加的辅料同时放入均质器内杯,取碎冰置于外杯中,分3次,每次均质1 min,转速为12 000 r/min。

### 1.2 实验仪器及软件

JZ-II型均质器(天津四方电器设备厂);NIRFlex N-500傅立叶变换近红外光谱仪(瑞士BUCHI公司);光源为钨灯,检测器为珀耳帖温控InGaAs,波长精度为 $\pm 0.2$  cm<sup>-1</sup>,带固体测量池和培氏培养皿附件;BUCHI公司的近红外自带软件NIRCal 5.2。

### 1.3 光谱采集与化学值测定

扫描谱区波数范围为4 000~10 000 cm<sup>-1</sup>,扫描次数为32次,分辨率为8 cm<sup>-1</sup>。采集反射强度(*R*),每4 cm<sup>-1</sup>采集一个数据点,共采集1 501个。扫描温度控制在20~25 °C。

海水与淡水鱼糜的分类定性中,采集28个不同批次的样品(其中狭鳕鱼糜2个、带鱼糜3个、鲷鱼糜2个、混合鱼糜2个以及鲢鱼糜9个和草鱼糜10个)的近红外反射光谱。海水鱼糜的水分和蛋白质定量分析中,分别选择170个海水鱼糜(64个带鱼糜、36个狭鳕鱼糜、20个混合鱼糜和50个鲷鱼糜)和162个海水鱼糜(63个带鱼糜、33个狭鳕鱼糜、14个混合鱼糜和52个鲷鱼糜)作为海水鱼糜水分和蛋白质定量分析模型的建模样品。将样品放入培养皿中,充分压实,不能在培养皿底部存在大的气泡。每个样品通过重新装样连续扫描3次。

水分含量的测定参考文献[12]中的直接干燥法,每份样品平行测定3次,取其平均值。

蛋白质含量的测定参考文献[13]的方法,每份样品平行测定3次,取其平均值。

### 1.4 建模方法与异常样品剔除

定性分析中,将采集得到的样品近红外光谱赋以海水鱼糜或淡水鱼糜名称。分别利用聚类分析和线性判别的方法对采集的反射光谱数据进行处理,建立海水鱼糜和淡水鱼糜的定性分析模型,并且随机采集未参与建模的样品对模型进行外部验证,考察模型的适应性。

定量分析中,将各样品化学测定值与所采集的样品光谱一一对应。利用软件NIRCal 5.2中的向导功能寻找建立数学模型的最佳光谱预处理方法、最佳谱区和最佳主因子数,为进一步得到最佳建模方法提供依据。本研究中,海水鱼糜水分和蛋白质定量模型所采用的均为偏最小二乘(partial least square, PLS)回归方法。通过定标相关系数(*R<sub>c</sub>*)、预测相关系数(*R<sub>v</sub>*)、定标标准偏差(SEC)、预测标准偏差(SEP)等参数作为评价模型的依据对模型进行内部验证。最后通过外部验证考察模型的准确性和适应性。无论定性还是定量分析,均将参与建模样品以2:1比例分配为定标集和预测集,定标集用于建模,预测集用于内部验证。

建立模型的过程中,发现异常样品时需要对其进行分析,有的异常样品加入模型后可以增加模型的分析能力,而有的异常样品加入模型后,易产生过拟合情况,会降低模型分析的准确度。可以采用软件中提供的杠杆值(leverages)、光谱残差(spectra Residual)、属性残差(property

residual) 和载荷值 (loadings) 的方法剔除因传统化学方法分析和近红外光谱检测中误差而产生的异常值。

## 2 结果与分析

### 2.1 定性分析

**聚类分析方法建立模型** 将参与建模的同种鱼糜光谱进行平均处理,图 1 为 6 种鱼糜近红外平均光谱。横坐标为波数( $\text{cm}^{-1}$ ),纵坐标为反射率。图中,从上向下分别为狭鳕、鲷、带鱼、混合、鲢和草鱼鱼糜的平均光谱。图中可以看出,谱峰主要由水峰组成,如在  $8\ 197\ \text{cm}^{-1}$  处。另外,在  $4\ 255\ \text{cm}^{-1}$  和  $4\ 587\ \text{cm}^{-1}$  可以分别观察到脂肪和蛋白质的吸收峰。由于水分、蛋白质等主要成分含量的不同,6 种鱼糜的近红外光谱呈现出差异,为进一步利用化学计量学方法进行鱼糜鱼种的鉴别提供依据。

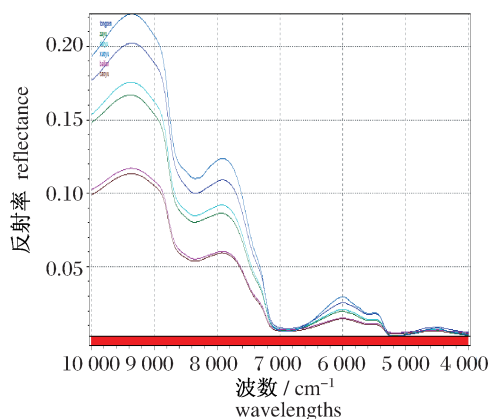


图 1 海水鱼糜和淡水鱼糜近红外反射平均光谱  
Fig. 1 Average reflectance spectroscopy of four kinds seawater surimi

经过一阶求导 (db1) 和平滑处理 (sa9g2) 的鱼糜光谱(图 2),基本可以区分海水和淡水鱼糜的近红外光谱,其中蓝色为海水鱼糜光谱,绿色为淡水鱼糜光谱。进而采用聚类分析的方法进行定性分析模型的建立。最终获得模型的最佳光谱数据预处理方法为 db1 和 sa9g2,最佳谱区范围为  $4\ 000 \sim 10\ 000\ \text{cm}^{-1}$ ,最佳主因子数 4 个。

**外部验证** 为检验所建立判别模型的判别能力,随机选取 12 个(每种鱼糜各两个)已知类别的样品作为盲样组成检测集,利用软件中建立好的模型预测检测集样品,验证模型的可靠性。得到的第 1、2 主成分空间分布见图 3,其

中蓝色菱形表示参与建模的光谱经平均处理的样品,绿色正方形表示检测集样品。经验证,淡水和海水鱼糜能够较好进行区分,其中椭圆形框中的点是淡水鱼糜建模和检测样品,而框外的海水鱼糜也能较为集中地落在一定范围内。检测集所得的正确判别率则称为预测率,利用预测率对模型的好坏进行分析。结果表明,聚类分析方法建立的海水鱼糜和淡水鱼糜的定性分析模型预测率达 100%,即 12 个鱼糜样品均可被正确识别。

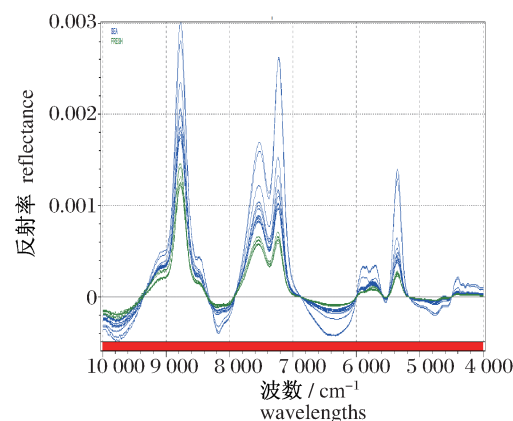


图 2 经过 db1 和 sa9g2 预处理的鱼糜光谱图  
Fig. 2 db1 and sa9g2-treated surimi spectra

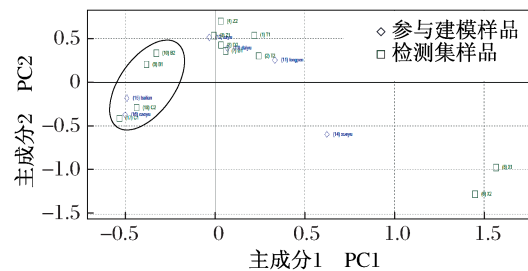


图 3 第 1、2 主成分空间分布图  
Fig. 3 The distribution plot of PC1 and PC2

**线性判别分析法建立模型** 采用线性判别分析法来建立模型。设定淡水鱼糜的值为 0,海水鱼糜的值为 1。根据主成分分析方法将已知类别的样品的近红外光谱数据转化为得分数据,采用偏最小二乘法 PLS 回归分析方法<sup>[14]</sup>进行运算,建立模式识别。最终获得模型的最佳光谱数据预处理方法为 sg9,最佳谱区范围  $5\ 000 \sim 10\ 000\ \text{cm}^{-1}$ ,最佳主因子数 14 个。

线性判别方法建立的海水与淡水鱼糜分类模型结果见图 4,横坐标是检测样品的设定值,

纵坐标是利用模型得到的预测值。如图所示,当选用最佳模型预测鱼糜样品时,淡水鱼糜预测值集中在 0 值附近,而海水鱼糜的预测值将集中在 1 值附近。并且淡水鱼糜的预测值范围在  $-0.1398 \sim 0.2683$ ,海水鱼糜的预测值范围在  $0.8415 \sim 1.194$ 。显然两种鱼糜的预测范围没有任何重叠。本次研究设定的阈值是无交集范围的中间值  $0.5549$ 。即判别样品时,当预测值大于  $0.5549$  时便认为该样品为海水鱼糜,如果预测值小于  $0.5549$  时,则认为样品为淡水鱼糜。

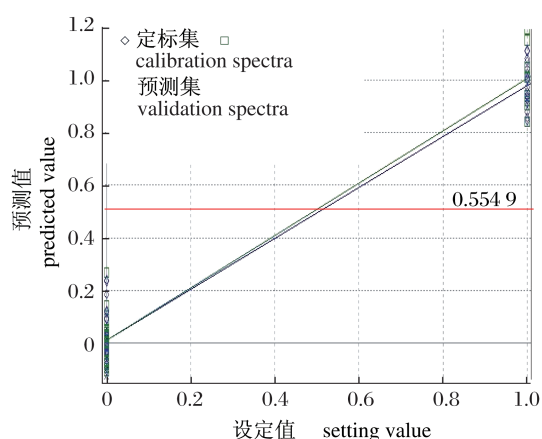


图 4 设定值与模型预测值的模型散点图

Fig. 4 Scatter plot of the reference determined and NIR predicted values

**外部验证** 同聚类分析方法建立的模型一样,用另外一组已知类别的样品作为盲样,组成检测集,用来验证模型的可靠性。每种鱼糜随机挑选两个样品,对 6 种鱼糜的 12 个样品进行检测。盲样检验结果见图 5。横坐标为检测样品序号,纵坐标为模型的预测值。

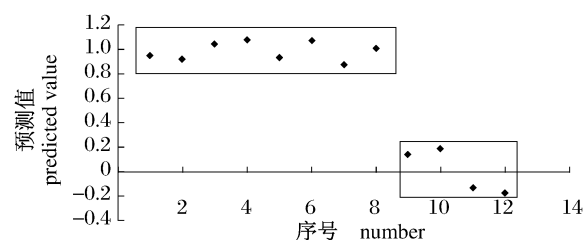


图 5 样品盲审的结果

上框为海水鱼糜检测样品;下框为淡水鱼糜检测样品。

Fig. 5 The predicted results of the unknown samples

Up box is test samples of seawater surimi, down box is test samples of freshwater surimi.

结果表明,鲷鱼糜(1、2号),狭鳕鱼糜(3、4号),混合鱼糜(5、6号),带鱼鱼糜(7、8号)的预测值分布在  $0.88$  到  $1.08$  之间,而鲢鱼糜(9、10号)以及草鱼鱼糜(11、12号)预测值分布在  $-0.18$  到  $0.21$  之间。利用线性判别方法建立的海水鱼糜和淡水鱼糜的定性分析模型预测率达  $100\%$ ,即 12 个鱼糜样品均可被正确识别。

由于原料和加工工艺的不同,海水和淡水鱼糜的主要组分有一定的差异,根据不同组分在近红外区域反射率的不同,再结合化学计量学软件,能将海水和淡水鱼糜较好的区分。不同的海水鱼糜或者淡水鱼糜之间差异较小,区分效果不显著。本研究为近红外光谱法区分海水和淡水鱼糜提供了依据,对进一步区分鱼糜鱼种奠定了基础。

## 2.2 定量分析

**定量分析模型的建立** 将海水鱼糜样品按照定标集与预测集的比约  $2:1$  的比例进行分配,其中最大值和最小值选入定标集。本研究得到的水分和蛋白质建模的最佳光谱数据预处理方法、最佳图谱范围和最佳主因子数列于表 1。

表 1 建立水分和蛋白质模型的最佳条件

Tab. 1 The best parameters of the models for moisture and protein

组分 component	波数范围/( $\text{cm}^{-1}$ ) wavelengths	预处理方法 pretreatment	回归方法 regression	主因子数 PCs
水分 moisture	5 000 ~ 10 000	mf	PLS	13
蛋白质 protein	4 400 ~ 4 800, 5 400 ~ 6 600, 7 800 ~ 10 000	ncl	PLS	11

选择软件自带的属性残差 (property residual) 方法剔除异常值。采用阈值为 2.5 倍定标集标准差的重构属性残差计算,最终水分模型和蛋白质模型分别需要剔除 7 条和 4 条光

谱。由此而建立的水分和蛋白质模型预测性能上比剔除异常样品之前的模型都有一定的提高。最终经过优化后的水分和蛋白质模型的各项统计参数值见表 2。

表 2 水分和蛋白质模型的内部验证结果  
Tab.2 Internal validation results of models for moisture and protein

组分 component	定标集 calibration set			验证集 validation set		
	Rc	SEC/%	Slope *	Rv	SEP/%	Slope
水分	0.985	0.319	0.976	0.984	0.319	0.965
蛋白质	0.960	0.459	0.922	0.964	0.486	0.927

注: \* 以化学测定值为横坐标,模型预测值为纵坐标所得标准曲线斜率。

Notes: \* standard curve slope based on abscissa of chemical values and ordinate of model predicted values.

从表 2 中可以看出,不论定标集还是验证集,海水鱼糜水分和蛋白质定量模型的相关系数分别在 0.98 和 0.96 以上。这说明水分和蛋白质数学模型的预测值和化学测定值之间具有较高的相关性。水分定标集和验证集的 RSD 分别为 0.41% 和 0.42%,蛋白质定标集和验证集的 RSD 分别为 3.39% 和 3.60% 均小于 10%;水分定标集和验证集的 RPD 都为 5.66,蛋白质定标集和验证集的 RPD 分别为 3.60 和 3.35,均大于 3。说明本研究所建立的海水鱼糜水分和蛋白质定量分析模型具有应用到实际生产的前景。总体来说利用 NIRS 检测海水鱼糜水分和蛋白质含量的模型比较理想。

近红外模型的验证 随机选取一些模型之外不同含量的样品对模型进行外部验证。用所得模型预测检验组各样品该成分的含量,并与化学测定值比较。用于检验的样品扫描 3 次,取 3 次检验的平均值。水分和蛋白质模型预测结果见图 6 和图 7。相关系数分别为 0.945 和 0.957。

将水分和蛋白质模型的预测值和化学值作为成对数据,利用统计软件 SPSS 对近红外方法和常规化学方法进行配对  $t$ -检验(表 3)。

设定置信度为 95% 时,无论水分模型还是蛋白质模型,其预测值和化学值之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。这说明用近红外方法取代传统法对海水鱼糜进行水分和蛋白质含量的快速测定是可行的。

表 3 水分和蛋白质模型的外部验证结果

Tab.3 External validation results of models for moisture and protein

组分 component	样品数 $n$	变量差 均数 /% mean	变量差标 准差/% Std. deviation	变量差标 准误差/% Std. error mean	自由度			变量差均数的 95% 置信区间/% 95% confidence interval of the difference	
					$t$	$f$	Sig.	低 lower	高 upper
水分 water	10	0.10	0.41	0.13	0.74	9	0.48	-0.194 95	0.385 35
蛋白质 protein	10	0.01	0.39	0.12	0.07	9	0.95	-0.272 77	0.289 19

为考察模型的稳定性,随机挑选 10 个鱼糜样品考察重新装样对模型预测结果的影响,以预测

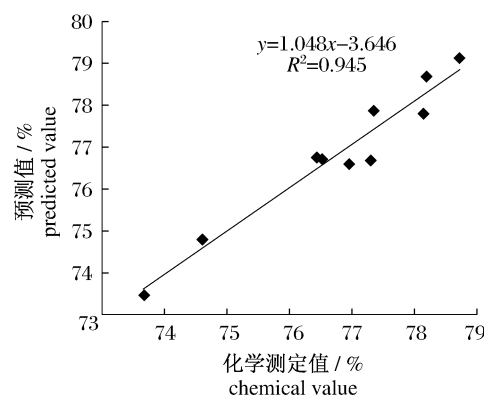


图 6 海水鱼糜水分预测值与化学测定值比较  
Fig.6 Comparison of NIR predicted values and chemical values of moisture in seawater surimi

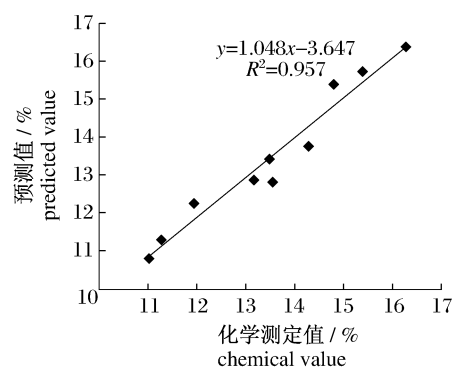


图 7 海水鱼糜蛋白质预测值与化学测定值比较  
Fig.7 Comparison of NIR predicted values and chemical values of protein in seawater surimi

值标准偏差和平行测定结果的绝对差值/平均值作为评价指标。同一海水鱼糜 10 次平行测定统

计结果列于表 4。从表中可以看到水分和蛋白质的标准偏差都较低,并且 10 个样品测定的平行值的绝对差值/平均值均小于 5%,符合国标方法中

对于精准性的要求,本研究建立的模型有较好的稳定性。

表 4 水分和蛋白质模型稳定性的统计结果

Tab.4 Statistical results of the stability of the moisture and protein models

组分 component	项目 items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水分 moisture	平均值/% mean	12.90	12.28	13.82	15.78	15.41	13.45	12.96	16.36	10.87	11.34
	标准差/% SD	0.74	0.436	0.186	0.053	0.187	0.030	0.012	0.078	0.117	0.062
	绝对差值/平均值	0.96	3.33	0.82	0.62	1.32	0.27	0.05	0.92	0.74	0.26
蛋白质 protein	平均值/% mean	76.60	77.81	76.71	76.76	78.70	77.89	79.15	74.80	73.51	76.74
	标准差/% SD	0.13	0.05	0.09	0.27	0.30	0.24	0.25	0.17	0.18	0.21
	绝对差值/平均值	0.14	0.03	0.05	0.04	0.47	0.61	0.63	0.28	0.20	0.12

### 3 结论

从国内外的海水鱼糜市场上看,狭鳕、鲷鱼、混合和带鱼鱼糜是主要的海水鱼糜,具有极高的市场占有率。用于加工海水鱼糜的原料有较强的季节性和区域性,即同一种鱼糜的原料均为同一季节、同一海域的原料鱼。再者,海水鱼糜的加工工艺自 20 世纪 60 年代发展至今,已形成一套规范的标准化工序。因此,本研究从市场上采集的多批次海水鱼糜具有较强的代表性。淡水鱼糜区别于海水鱼糜,淡水鱼因水域和季节的不同,其主要成分含量存在较大区别。本研究所选取了鲢和草鱼两种最常见的淡水鱼作为原料鱼,自制多批次淡水鱼糜进行研究。同时,建立好的近红外模型需要在生产应用中不断扩充代表性样品以增强其适应性,随着我国淡水鱼糜工艺的不断研究,应在市场上采集更多种类和批次的样品对模型进行验证和调整,加强模型的适应性。由于近红外光谱技术对于特征性结构的鉴别能力较弱,即只能将成分含量差异较大的样品进行区分。因此,近红外定性分析中,本研究仅将淡水鱼糜和海水鱼糜进行区分,在今后的研究中,还可以尝试结合更多的化学计量学方法对鱼糜鱼种进一步鉴别。在近红外定量分析中,海水鱼糜的水分和蛋白质定量模型的建立为 NIRS 应用于实际生产积累了数据。

感谢吴卫平(浙江兴业集团有限公司),颜耀、刘振林(浙江龙凤食品有限公司),方伟平(舟山龙生水产制品有限公司)提供的实验原料。感谢上海海洋大学食品学院黄轶群教授在数据分析

和文章撰写方面给予的建议与帮助。

### 参考文献:

- [1] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [2] 于红,冯月荣,王艳丽. 冷冻鱼糜的制作及品质控制[J]. 肉类分析,2008,6:21-24.
- [3] RIPOLLA G, ALBERT P. Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef[J]. Meat Science, 2008, 80:697-702.
- [4] PRIETO N, ANDRES S, GIRA' LDEZ F J, et al. Discrimination of adult steers(oxen) and young cattle ground meat samples by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) [J]. Meat science, 2008, 79: 198-201.
- [5] del MORAL F G, GUILLÉN A, del MORAL L G, et al. Duroc and Iberian pork neural network classification by visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90:540-547.
- [6] MUSLEH U, EMIKO O, MOIN UDDIN A, et al. Noninvasive NIR spectroscopy to verify endpoint temperature of kamaboko gel [J]. LWT, 2005, 38: 809-814.
- [7] 王加华,孙旭东,韩东海,等. 基于可见/近红外能量光谱的苹果褐腐病和水心鉴别[J]. 光谱学与光谱分析,2008,28(9):2098-2102.
- [8] 于海燕,应义斌,傅霞萍,等. 近红外透射光谱应用于黄酒酒龄的定性分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2007,27(5):920-923.
- [9] 林涛,于海燕,徐惠荣,等. 光程变化对基于近红外光谱的黄酒品质检测的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(4):950-955.

- [10] 刘魁武,成芳,应义斌,等. 可见/近红外光谱检测冷鲜猪肉中的脂肪、蛋白质和水分含量[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(1):102-105.
- [11] 黄艳,王锡昌,邓德文. 利用近红外光谱技术快速测定白鲢鱼糜中的水分含量[J]. 食品工业科技,2008,29(2):282-284.
- [12] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.3-2003 食品中水分的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [13] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.5-2003 食品蛋白质含量的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [14] 褚小立,许育鹏,陆婉珍. 偏小二乘法方法在光谱定性分析中的应用研究[J]. 现代仪器,2007,5:13-15.

## Qualitative and quantitative analyses of surimi with near infrared reflectance spectroscopy

LU Ye, WANG Xi-chang\*, LIU Yuan

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** With the increasing production and trade of surimi and surimi-based foods, consumers have a higher quality requirement. Traditional analysis methods are time-consuming, consumed large quantities of chemical reagents. Quality of surimi can be rapidly detected using near-infrared analysis. Seawater surimi (including Alaska pollock surimi, hairtail surimi, sea bream surimi and mix surimi) and freshwater surimi (including silver carp surimi and grass carp surimi) were used in the study. Chemometric methods, including cluster and linear discriminant analysis (LDA) as well as partial least square (PLS) regression, were used to interpret spectral data. Results indicated that NIR method could successfully classify seawater and freshwater surimi with 100% prediction rate. In addition, the PLS models for water and protein content in surimi had good predictability; the correlation coefficients of the models were 0.98 for water and 0.96 for protein. Results showed that NIRS has great potential to be used in determining surimi quality. And important efforts for the practical application of near-infrared have been made. In future studies, more representative samples should be added to enhance adaptability of models.

**Key words:** surimi; quality; near infrared reflectance spectroscopy

**Corresponding author:** WANG Xi-chang. E-mail: xcwang@shou.edu.cn