

近红外光谱技术分析草鱼营养成分

徐文杰^{1,2}, 李俊杰^{1,2}, 贾 丹^{1,2}, 熊善柏^{1,2,*}

(1.华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 2.国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北 武汉 430070)

摘 要: 采用化学计量学方法, 测定107个草鱼样品鱼肉的粗蛋白、粗脂肪、水分含量, 并采集各样品的近红外光谱, 以建立基于近红外光谱技术的草鱼营养成分的检测方法。结果表明: 在107个样品中, 草鱼鱼肉蛋白质含量为18.00%~26.00%, 粗脂肪含量为2.08%~4.36%, 水分含量为70.80%~81.20%, 数据范围较大, 可满足建模要求。比较多种光谱预处理方法, 确定数据多元散射校正与Savitzky-Golay导数结合适宜分析鱼肉水分含量, 而鱼肉粗蛋白和粗脂肪含量的近红外光谱的最佳预处理方法是数据多元散射校正, 并采用偏最小二乘法分别建立鱼肉粗蛋白含量、粗脂肪含量和水分含量的近红外定量分析模型。所建立的鱼肉粗蛋白、粗脂肪和水分含量的近红外光谱模型的相关系数分别为0.9806、0.9968和0.9372, 模型具有较好的预测能力, 采用该方法能较为准确、快速地测出草鱼鱼肉中粗蛋白、粗脂肪和水分的含量。

关键词: 近红外光谱; 蛋白质; 脂肪; 水分; 定量模型

Nutrient Analysis of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by Near Infrared Spectroscopy

XU Wen-jie^{1,2}, LI Jun-jie^{1,2}, JIA Dan^{1,2}, XIONG Shan-bai^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China)

Abstract: Protein, fat and moisture in 107 grass carp samples were analyzed by chemometric methods. Meanwhile, near infrared spectra (NIRS) of these samples were investigated in order to obtain quantitative analysis methods for grass carp nutrients. The protein content in grass carp ranged from 18.00% to 26.00%, fat content from 2.08% to 4.36%, and moisture content from 70.80% to 81.20%. The results showed that the nutrient values met the modeling requirements. Various spectral preprocessing methods were tested, and the best preprocessing method was multiplicative scatter correction (MSC) together with Savitzky-Golay derivatives for grass carp moisture spectra, and standardization for protein and fat spectra. The near-infrared quantitative analysis models were obtained for fish protein, fat and moisture contents by partial least square regression. The correlation coefficients of the models were 0.9806, 0.9968 and 0.9372 for protein, fat and moisture contents, respectively. These results indicate the acceptable fitting accuracy and prediction capability of the models for the analysis of protein, fat and moisture contents in grass carp by NIRS.

Key words: near infrared spectroscopy; protein; fat; moisture; quantitative mode

中图分类号: TS254.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)20-0161-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201320033

我国是淡水鱼生产大国, 2010年我国淡水鱼总产量2346.5万t, 其中草鱼422.22万t, 已成为我国产量最大的淡水鱼品种^[1]。随着我国水产品物流业和加工业的发展, 水产品的感官品质、营养品质以及安全品质已成为消费者关注焦点^[2]。目前多采用测定鱼肉理化指标^[3-5]及风味物质^[6-8]综合评定鱼类品质的好坏, 但这些方法耗时长、操作复杂。因此, 探寻一种简便、快速的分析技术对建立鱼肉品

质评价体系、确保水产食品安全具有重要意义。

近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)分析技术是一种快速、无损检测技术, 具有操作简单、分析快速、分析过程无污染、对操作人员无专业要求等优点。已有多位学者利用NIRS建立肉制品营养指标检测模型, 如Ripoll等^[9]利用NIRS检测牛肉中的水分、蛋白质含量; Prieto等^[10]利用NIRS测定牛肉的水分和脂肪含量来区分牛

收稿日期: 2012-10-22

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46-23); “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD19B10)

作者简介: 徐文杰(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工。E-mail: 406083958@qq.com

*通信作者: 熊善柏(1963—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为水产品加工及贮藏工程。E-mail: xionsgb@mail.hzau.edu.cn

肉的来源;Uddin等^[11]利用NIRS测定鱼糕的凝胶终点温度;Shimamoto等^[12]则利用NIRS检测冷冻和解冻鲑鱼的脂肪含量。本实验在测定107个草鱼样品鱼肉的水分、粗蛋白、粗脂肪含量和采集各样品近红外光谱的基础上,采用近红外光谱技术和化学计量学方法定量分析建模,以期建立基于近红外光谱技术检测草鱼营养成分的方法。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

草鱼,从武汉市集贸市场采集到不同批次、不同规格的鲜活草鱼样品107个,鱼体质量1000~3000g/尾,样品采集时间为2011年10月和11月。

硼酸、甲基红、次甲基蓝等均为分析纯 国药集团化学试剂有限公司;浓盐酸、浓硫酸(分析纯) 信阳市化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

Supnir-2720近红外光谱仪 杭州聚光科技股份有限公司;AC210S型分析天平 德国赛多利斯公司;K600食物调理机 德国博朗电器公司;烘箱 上海精宏实验设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 草鱼肉样本的制备

将市场上购买到的鲜活草鱼样品于10℃左右宰杀,取鱼背脊肉、绞碎、分装、随机编号后放置到0℃冰箱中保存备用,放置时间不超过2d。

1.3.2 近红外光谱扫描

取按1.3.1节制备的草鱼鱼肉样品装入样品盒内并用样品盒盖轻轻压平,排除样品盒底部的气泡。用近红外光谱仪进行光谱采集。样品的光谱曲线取3次扫描所得光谱曲线的平均值。光谱采集条件为扫描波长:1000~1799nm;仪器带宽:1nm;扫描间隔:1nm;光谱重复性:优于0.2nm;信噪比:优于2000:1;测量方式:漫反射测量;工作温度范围:15~25℃;测量时间:3s。

1.3.3 水分的测定

取按1.3.1节制备的草鱼鱼肉样品2~5g,按GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》^[13]中的直接干燥法(101~105℃)测定。取3次平行结果的平均值。

1.3.4 粗蛋白的测定

取按1.3.1节制备的草鱼鱼肉样品2~5g,按GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》^[14]中的凯氏定氮法测定($F=6.25$)。取3次平行结果的平均值。

1.3.5 粗脂肪的测定

取按1.3.1节制备的草鱼鱼肉样品10g左右,按GB 5009.6—2010《食品中脂肪的测定》^[15]中的索氏抽提法测定。取3次平行结果的平均值。

1.3.6 建模方法与异常样品剔除

1.3.6.1 鱼肉营养成分的近红外光谱定量模型的建模方法

依据107个草鱼肉样品的粗蛋白、粗脂肪和水分含量和近红外光谱数据,采用偏最小二乘(partial least squares regression, PLS)回归方法建立粗蛋白、粗脂肪和水分含量的定量模型,并对模型进行优化,寻找最佳光谱预处理方法、最佳波段范围和最佳主因子数。通过定标相关系数(R_c)、验证相关系数(R_p)、验证标准偏差(SECV)、预测标准偏差(SEP)等参数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^[16]。

1.3.6.2 异常样品剔除

建立模型过程中,发现异常样品时需要对其进行分析。剔除异常样本一般要遵循预测浓度残差、重构光谱残差、光谱PLS分解主成分得分的聚类分析以及杠杆值与学生残差等标准^[17]。

1.3.7 光谱数据处理与分析

光谱数据采用近红外光谱仪自带的RIMP化学计量学软件进行处理。各定量分析模型分别采用PLS建立,PLS是NIRS定量分析中应用最多的多元校正方法^[18]。PLS不仅可以对光谱矩阵进行分解,同时也可以对浓度矩阵进行分解^[19-20],因此PLS可以过滤掉原始数据矩阵中的无用信息,以保证保留的主成分一定与组分浓度相关,此外PLS适用于多变量模型的建立可有效消除噪声,减少误差,提高模型稳定性和模型的预测精度^[21]。

2 结果与分析

2.1 样品的光谱采集与化学分析结果

107个草鱼样品所对应的近红外光谱见图1,鱼肉的粗蛋白、粗脂肪和水分含量见表1。

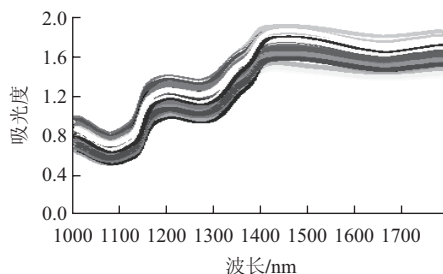


图1 草鱼肉样本近红外反射光谱

Fig.1 NIRS of fish samples

表1 草鱼肉样本粗蛋白、粗脂肪、水分的化学测量值
Table 1 The measured contents of protein, fat and moisture in grass carp samples

序号	蛋白含量/%	脂肪含量/%	水分含量/%	序号	蛋白含量/%	脂肪含量/%	水分含量/%	序号	蛋白含量/%	脂肪含量/%	水分含量/%
1	21.20	2.52	74.50	39	21.00	3.53	74.60	76	22.40	2.60	72.60
2	21.70	2.48	74.70	40	21.20	3.52	74.70	77	23.40	2.54	73.00
3	21.10	2.45	74.70	41	20.40	3.60	74.10	78	25.30	3.14	72.50
4	21.80	2.44	75.10	42	21.30	3.52	74.50	79	23.50	3.08	73.00
5	20.80	2.38	75.00	43	26.00	3.04	70.80	80	22.50	3.14	72.50
6	21.60	2.35	75.30	44	24.40	3.06	72.70	81	23.40	3.11	72.50
7	20.60	2.49	74.60	45	23.30	2.98	72.90	82	24.10	3.02	73.00
8	20.20	2.37	75.30	46	24.30	2.84	73.50	83	22.50	3.02	73.30
9	19.70	2.38	75.00	47	22.90	2.93	73.40	84	21.10	4.36	72.20
10	21.80	2.33	75.50	48	23.90	2.85	73.60	85	21.00	4.29	72.30
11	20.60	2.31	75.20	49	23.60	2.96	72.60	86	22.70	4.32	72.10
12	20.20	2.27	75.90	50	22.90	2.49	74.30	87	21.60	4.21	72.50
13	18.40	2.24	77.60	51	24.20	2.63	74.20	88	21.40	4.25	72.60
14	18.20	2.15	78.30	52	22.50	2.39	74.80	89	22.60	4.20	72.40
15	18.70	2.18	78.00	53	21.30	2.53	75.00	90	20.20	2.35	81.20
16	18.80	2.15	78.10	54	22.50	2.40	74.50	91	19.00	2.70	78.90
17	18.00	2.11	78.50	55	23.20	2.46	74.90	92	18.30	2.59	78.40
18	18.70	2.08	78.10	56	25.80	3.62	71.70	93	19.10	2.63	77.10
19	22.80	2.62	74.10	57	25.70	3.60	71.90	94	19.90	2.54	78.50
20	23.30	2.49	75.10	58	25.60	3.52	72.30	95	19.90	2.60	79.70
21	22.10	2.53	74.70	59	25.00	3.45	72.60	96	24.10	3.17	72.20
22	22.40	2.49	74.60	60	22.20	2.77	75.50	97	24.40	3.10	72.60
23	21.90	2.38	75.50	61	22.00	2.66	75.80	98	23.40	3.17	72.20
24	21.50	2.40	75.00	62	21.70	2.71	75.80	99	24.10	3.10	72.10
25	20.70	2.62	75.50	63	21.50	2.57	76.40	100	24.00	3.11	72.20
26	20.30	2.49	76.30	64	20.10	2.59	76.50	101	22.10	3.06	72.40
27	20.00	2.56	75.60	65	20.90	2.53	76.60	102	18.80	3.59	76.10
28	19.90	2.51	76.10	66	20.00	2.62	76.60	103	20.00	3.48	76.80
29	20.30	2.52	75.50	67	19.80	2.55	76.80	104	19.20	3.53	76.50
30	19.30	2.47	76.00	68	19.90	2.55	76.80	105	19.70	3.50	76.50
31	22.70	3.98	73.10	69	19.50	2.59	76.50	106	20.00	3.44	76.90
32	22.40	4.01	73.10	70	20.00	2.54	76.70	107	19.70	3.46	76.60
33	21.80	4.04	72.70	71	19.80	2.58	76.30	最大值/%	26.00	4.36	81.20
34	21.80	4.00	73.00	72	22.10	2.51	73.60	最小值/%	18.00	2.08	70.80
35	22.30	3.98	73.10	73	22.40	2.55	73.40	平均值/%	21.63	2.93	74.77
36	22.00	3.87	73.70	74	23.50	2.49	73.50	方差/%	1.86	0.59	2.03
37	21.70	3.65	74.10	75	22.40	2.52	73.20	极差/%	8.00	2.28	10.40
38	20.60	3.61	74.20								

2.2 数据处理

对表1中107个草鱼样品鱼肉的粗蛋白、粗脂肪和水分进行统计分析,可知107个草鱼样品的蛋白质含量为18.00%~26.00%,平均为(21.63±1.86)%,粗脂肪含量为2.08%~4.36%,平均为(2.93±0.59)%,而水分含量为70.80%~81.20%,平均为(74.77±2.03)%,数据范围较大,可满足近红外光谱技术定量建模的需要。

对107个数据进行K-S分组,定标集为80%,验证集为20%。根据鱼肉样本的近红外光谱特性,从中选取22个样本作为验证集,其余为定标集。定标集样本用于建立NIRS定标模型,验证集样本用于检验所建NIRS定标模型的准确性和可靠性。定标集和验证集鱼肉营养指标数据统计见表2。

表2 定标集和验证集草鱼肉样本营养指标数据统计
Table 2 Statistical analysis of nutrients for the calibration set and validation set of samples

组分	定标集					验证集				
	样品数	最大值/%	最小值/%	平均值/%	方差/%	样品数	最大值/%	最小值/%	平均值/%	方差/%
粗蛋白	85	26.00	18.00	21.51	1.80	22	25.80	18.70	22.06	2.07
粗脂肪	85	4.36	2.11	2.93	0.01	22	4.19	2.08	2.89	0.01
水分	85	81.20	70.80	74.87	2.07	22	78.10	71.70	74.26	1.84

2.3 草鱼营养指标模型的建立

将各样品化学测定值与所采集的样品光谱一一对应。分别比较各个营养指标的多种光谱预处理方法,得到鱼肉营养指标的最佳光谱预处理方法,并以RMSECV为评价指标对模型最佳波段进行选择,RMSECV值越小,表明模型精确度越高,预测性越好。在最优的光谱预处理方法和最优的光谱区域下,采用留一法交互验证,根据交互验证的标准差PRESS值来确定模型的最佳主因子数,PRESS值越小,说明定标模型的预测能力越强。利用近红外仪自身配备软件(导向功能)得到了粗蛋白、粗脂肪和水分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,结果见表3。

表3 草鱼肉粗蛋白、粗脂肪和水分模型的最佳条件
Table 3 The optimal parameters of the models for moisture, protein and fat

组分	波段范围/nm	预处理方法	回归方法	最佳主因子数
粗蛋白	1000~1200, 1300~1650	数据多元散射校正	PLS	13
粗脂肪	1000~1799	数据多元散射校正	PLS	14
水分	1000~1799	数据多元散射校正和Savitzky-Golay导数	PLS	10

利用RIMP化学计量学软件,计算出鱼肉样本中的粗蛋白、粗脂肪和水分的马氏距离值和标准化残差值,对异常样品进行剔除。由此而建立的粗蛋白、粗脂肪和水分模型预测性能比剔除异常样品之前的模型都有一定的提高。最终经过优化后的粗蛋白、粗脂肪和水分模型的各项统计参数值见表4。

表4 草鱼肉粗蛋白、粗脂肪和水分模型的内部验证结果
Table 4 Internal validation of the models for moisture, protein and fat

组分	定标集		验证集	
	R_c	SEC	R_p	SEP
粗蛋白	0.980580	0.009897	0.684300	0.015399
粗脂肪	0.996810	0.123380	0.857450	0.307450
水分	0.937230	0.012171	0.625850	0.016108

由表4可知,定标集在草鱼粗蛋白、粗脂肪和水分定量模型的相关系数分别为0.9806、0.9968和0.9372,说明粗蛋白、粗脂肪和水分数学模型的预测值和实测值之间具有较高的相关性。

将光谱数据与鱼肉营养指标的实测值在以上最优设置条件下一一对应,拟合出鱼肉粗蛋白模型、粗脂肪模型和水分模型,见图2。其中鱼肉粗蛋白模型的线性方程为 $y_1=0.96166x_1+0.0082069$,粗脂肪模型的线性方程为 $y_2=0.99364x_2+0.0181$,水分模型的线性方程为 $y_3=0.87842x_3+0.090885$ 。

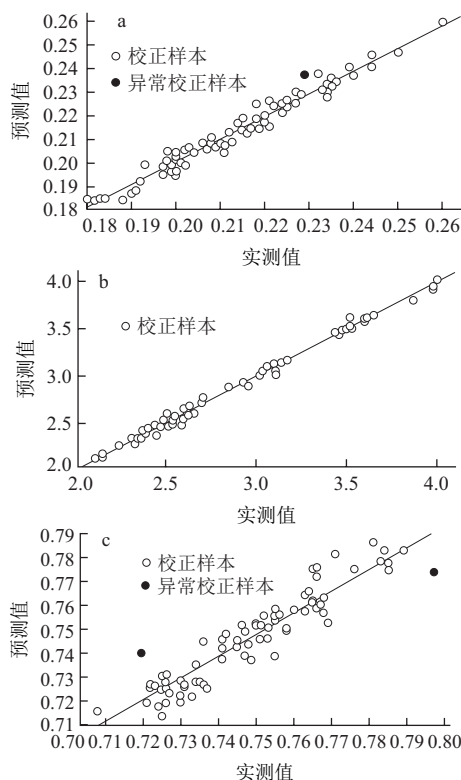


图2 基于近红外光谱参数的草鱼肉粗蛋白(a)、粗脂肪(b)和水分(c)的预测模型

Fig.2 Prediction models of fish moisture, protein and fat based on near infrared spectral parameters

2.4 草鱼营养指标模型的检验

表5 预测模型对草鱼肉样本粗蛋白、粗脂肪和水分含量的预测结果

Table 5 Predicted values from the models for moisture, protein and fat contents in grass carp

粗蛋白含量/%			粗脂肪含量/%			水分含量/%		
真实值	预测值	偏差	真实值	预测值	偏差	真实值	预测值	偏差
19.70	19.31	0.39	2.38	2.43	-0.05	75.00	76.88	-1.88
20.20	20.87	-0.67	2.27	2.62	-0.35	75.90	76.37	-0.47
18.70	18.96	-0.26	2.18	2.20	-0.02	78.00	77.12	0.88
18.70	20.04	-1.34	2.08	2.15	-0.07	78.10	76.92	1.18
22.10	21.24	0.86	2.53	2.47	0.06	74.70	75.44	-0.74
22.40	20.48	1.92	2.49	2.45	0.04	74.60	75.51	-0.91
19.90	18.73	1.17	2.51	2.48	0.03	76.10	76.27	-0.17
21.80	22.42	-0.62	4.04	4.06	-0.02	72.70	72.92	-0.22
21.00	21.36	-0.36	3.53	3.52	0.01	74.60	73.10	1.50
21.20	21.22	-0.02	3.52	3.55	-0.03	74.70	73.17	1.53
23.30	23.56	-0.26	2.98	2.89	0.09	72.90	74.30	-1.40
24.30	22.71	1.59	2.84	2.89	-0.05	73.50	74.50	-1.00
22.90	22.61	0.29	2.49	2.63	-0.14	74.30	73.34	0.96
21.30	23.23	-1.93	2.53	2.76	-0.23	75.00	73.46	1.54
25.80	20.56	5.24	3.62	3.52	0.10	71.70	74.59	-2.89
19.50	21.75	-2.25	2.59	2.59	0.00	76.50	73.23	3.27
22.40	21.76	0.64	2.52	2.50	0.02	73.20	73.78	-0.58
25.30	21.93	3.37	3.14	2.53	0.61	72.50	73.70	-1.20
24.10	21.97	2.13	3.02	3.07	-0.05	73.00	73.64	-0.64
22.60	21.64	0.96	4.20	3.20	1.00	72.40	73.58	-1.18
24.10	20.41	3.69	3.17	2.49	0.68	72.20	76.18	-3.98
24.10	22.69	1.41	3.10	3.03	0.07	72.10	74.19	-2.09

随机选取一些模型之外的样品对模型进行外部验证。采集验证集中22个样品的近红外光谱,采用2.3节中所建立的粗蛋白、粗脂肪和水分模型分别对各样品的

粗蛋白、粗脂肪和水分进行计算得到预测值,并与验证集中各样品的粗蛋白、粗脂肪和水分的实测值进行比较,结果见表5,并对其进行 t 检验,3者的 t 值分别为1.21580、0.24544和1.51378,均小于 $t_{0.05(21)}=2.07961$,表明近红外光谱预测值与实测值之间不存在显著差异,模型具有较好的预测能力。

3 结论

在107个草鱼样品中,鱼肉蛋白质含量为18.00%~26.00%,粗脂肪含量为2.08%~4.36%,水分含量为70.80%~81.20%,数据范围较大,可满足建模要求。

采用偏最小二乘法(PLS)分别建立草鱼肉粗蛋白含量、粗脂肪含量和水分含量的最优模型,所建立的近红外光谱定量模型预测值与实测值的相关系数分别为0.9806、0.9968和0.9372。对模型进行外部验证,草鱼肉粗蛋白、粗脂肪和水分含量的预测标准偏差分别为0.015399、0.307450和0.016108, t 检验证明近红外光谱预测值与实测值之间不存在显著差异,表明模型具有较好的预测能力。

参考文献:

- [1] 戈贤平, 缪凌鸿. 我国大宗淡水鱼产业发展现状与体系研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2011, 1(3): 22-30.
- [2] 王丽, 励建荣. 红外光谱技术在肉品品质鉴别中的应用[J]. 中国食品学报, 2010, 10(5): 232-235.
- [3] 刘丽, 余红心, 肖维, 等. 鱼肉品质的研究进展[J]. 内陆水产, 2008(8): 9-12.
- [4] 任亚梅, 董蕾, 袁春龙, 等. 鲤鱼冻藏期间品质变化的研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 162-165.
- [5] PERIAGE M J, AYALA M D. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass *Dicentrarchus labrax* L.[J]. Aquaculture, 2005, 249(1/4): 175-188.
- [6] 黄钧, 陈琴, 陈意明, 等. 黄颡鱼的含肉率及肌肉营养价值研究[J]. 广西农业生物科学, 2001, 20(1): 45-50.
- [7] 任洁, 韩育章, 管敏. 3种鲫鱼营养成分分析与评价[J]. 水利渔业, 2008, 28(1): 35-37.
- [8] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 286-291.
- [9] RIPOLL G, ALBERTI P, PANEA B, et al. Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef[J]. Meat Science, 2008, 80(3): 697-702.
- [10] PRIETO N, ANDRES S, GIRALDEZ F, et al. Ability of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to estimate physical parameters of adult steers (oxen) and young cattle meat samples[J]. Meat Science, 2008, 79(4): 692-699.
- [11] UDDIN M, OKAZAKI E, UDDIN-AHMAD M, et al. Noninvasive NIRS spectroscopy to verify endpoint temperature of kamaboko gel[J]. Food Science and Technology, 2005, 38(8): 809-814.
- [12] SHIMAMOTO J, HASEGAWA K, SATO M, et al. Non-destructive determination of fat content in frozen and thawed mackerel by near infrared spectroscopy[J]. Fisheries Science, 2004, 70(2): 345-347.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3—2010 食品安全国家标准: 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5—2010 食品安全国家标准: 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.6—2010 食品安全国家标准: 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [16] 陆烨, 王锡昌, 刘源. 近红外光谱技术在鱼糜定性和定量上的应用[J]. 水产学报, 2011, 35(8): 1273-1279.
- [17] 祝诗平. 近红外光谱品质检测方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003: 28.
- [18] 杨曙明, 张瑜. 近红外光谱分析技术及其在饲料质量分析中的应用[J]. 分析测试仪器通讯, 1997, 7(4): 215-220.
- [19] SCHIMANN H, JOFFRE R, ROGGY J C, et al. Evaluation of the recovery of microbial functions during soil restoration using near-infrared spectroscopy[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 37(3): 223-232.
- [20] TEWARI J C, DIXIT V, CHO B K, et al. Determination of origin and sugars of citrus fruits using genetic algorithm, correspondence analysis and partial least square combined with fiber optic NIR spectroscopy[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2008, 71(3): 1119-1127.
- [21] 王欣, 叶华俊, 黎庆涛. 近红外光谱结合人工神经网络分析蔗汁的锤度和旋光度[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1759-1762.