

近红外光谱技术分析草鱼的质构特性

徐文杰¹, 洪响声², 熊善柏¹

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

(2. 华中农业大学水产学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 采用化学计量学方法, 测定 211 个草鱼样品鱼肉的质构参数和持水性, 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质构特性的快速检测方法。结果表明, 样品数据范围较大, 可满足建模要求, 比较多种光谱预处理方法, 确定正交信号校正 (OSC) 适宜分析鱼肉持水性、硬度、回复性、弹性和剪切力的大小, 而鱼肉咀嚼性的近红外光谱的最佳预处理方法是数据标准化 (S)。采用偏最小二乘法分别建立草鱼各质构指标的近红外定量分析模型。所建立的鱼肉持水性、硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力指标的近红外光谱模型的相关系数分别为 0.9194、0.9812、0.9830、0.9871、0.7860 和 0.9896, 说明除了咀嚼性模型外, 草鱼质构指标各数学模型的预测值和实测值之间具有较高的相关性, 采用该方法能较为准确、快速地测出草鱼鱼肉持水性、硬度、回复性、弹性和剪切力的值。

关键词: 近红外光谱; 质构; 持水性; 定量模型

文章编号: 1673-9078(2014)4-136-141

Prediction of Textural Properties of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by Near Infrared Spectroscopy

XU Wen-jie¹, HONG Xiang-sheng², XIONG Shan-bai¹

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China) (2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Texture and water-holding capacity of 211 grass carp samples were analyzed by near infrared spectrum and chemometric method. The diffuse reflectance spectra of samples were performed with different spectral pretreatments, such as multiplicative scatter correction (MSC), orthogonal signal correction (OSC), and standardization (S). The near-infrared quantitative analysis models were obtained for texture and water-holding capacity by partial least square regression. The results showed that the measured values met the modeling requirements. The optimized spectral pretreatments was orthogonal signal correction (OSC) which was suitable for analysis of water-holding capacity, hardness, resilience, springiness and shear force models of grass carp, while standardization was used for chewiness model. Partial least square method was applied to build near infrared spectrum models of grass carp texture indexes, and the correlation coefficients of the models were 0.9194, 0.9812, 0.9830, 0.9871, 0.7860 and 0.9896 for water-holding capacity, hardness, resilience, springiness, chewiness and shear force, respectively. The results indicated that the models have the potential to predict texture and water-holding capacity of grass carp expect chewiness. The NIR spectroscopy offers great advantages for the rapid and on-line application.

Key words: near-infrared spectroscopy; texture; water-holding capacity; quantitative model

草鱼是我国四大家鱼之一, 已成为我国产量最高的淡水鱼品种, 2010 年总产量为 422.22 万 t^[1]。随着我国水产品加工业和物流业的发展, 水产品的质地品质越来越受到人们的关注。目前多采用感官评价和

收稿日期: 2013-11-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项 (GARS-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, 研究方向为水产品加工

通讯作者: 熊善柏 (1963-), 男, 教授, 研究方向为水产品加工及贮藏工程

测定鱼肉质构参数来分析鱼肉质地的品质的好坏, 但這些方法耗时长、操作复杂, 而且感官评价受主观因素影响较大, 评价结果因人而异。因此, 探寻一种简便、快速的分析技术对鱼肉质地进行客观快速的评价具有重要意义。

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、无需化学试剂、对操作人员无专业要求等优点^[2-4]。近红外技术不仅可用作品种鉴别, 还可用于

食品品质评价。国内外已有多位学者利用近红外光谱技术建立了食品的质构指标模型。张德权等^[5]利用偏最小二乘法建立了羊肉嫩度的近红外模型,模型的最高相关系数为 0.862,且预测能力较好;罗阳等^[6]利用近红外光谱技术和化学计量学方法建立了鱼丸弹性的近红外定量模型,模型具有较高的相关系数和较低的预测误差,能够很好的应用于鱼丸弹性的预测;而 Liu 等^[7]、Mehinagic 等^[8]、Belie 等^[9]和 Revilla 等^[10]分别利用近红外技术建立了牛排、苹果、胡萝卜和奶酪的质构参数模型,且都取得了较好的效果。但利用近红外技术建立新鲜鱼类的质构模型,尤其是鲜活草鱼质构模型的文章还未见报道。本实验在测定 211 个草鱼样品鱼肉质构参数、持水性和采集各样品近红外漫反射光谱的基础上,采用近红外光谱技术和化学计量学方法,建立基于近红外光谱技术的草鱼质构指标模型,以期实现草鱼质构快速检测方法的建立。

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 211 个,鱼体质量 1000~3000 g/尾,样品采集时间为 2012 年 3 月、5 月和 9 月。

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;TA-XTPlus 物性测试仪,英国 Stable Micro System 公司;木屋式硬度计,日本 Kiya Seiakushow 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 草鱼肉样本的制备

将采集到的鲜活草鱼样品于 10 ℃ 左右宰杀,去皮,取鱼背脊肉、切成 2 cm×2 cm×1 cm 大小的鱼块、分装、随机编号后放置到 4 ℃ 冰箱中保存备用,放置时间不超过 1 d。

1.3.2 近红外光谱扫描

取制备好的草鱼鱼肉样品装入直径为 70 mm,高度为 20 mm 的圆形黑色样品盒内,尽量排除样品盒底部的气泡。以装满 1 个容器作为 1 个试验样品,样品用 Supnir-2720 近红外光谱仪进行光谱采集。近红外光谱仪经 30 min 预热并进行白板参比和性能测试后开始测试。光谱采集间隔为 1 nm,测定范围 1000~1799 nm,样品的光谱曲线取 3 次扫描所得光谱曲线的平均值。光源是与光谱仪配套的 5 V 卤钨灯,探头位于光

源侧面。光谱数据用仪器自带的 RIMP 软件进行处理。光谱采集条件为扫描波长:仪器带宽为 1 nm;光谱重复性优于 0.2 nm;信噪比优于 2000:1;测量方式为漫反射;工作温度范围为 15~20 ℃;测量时间为 3 s。

1.3.3 质构的测定

TPA 的测定:采用圆柱形探头,型号为 P/36R,用物性测试仪对样品进行两次压缩。测试前用滤纸吸干鱼肉表面水分,结果为 8 次平行测定的平均值。测前速度为 5 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测后速度为 5 mm/s,压缩比为 60%,停留时间为 5 s。

剪切力的测定:采用剪切探头,型号为 HDP/BS,用物性测试仪对样品进行一次压缩。测试前用滤纸吸干鱼肉表面水分,结果为 8 次平行测定的平均值。测前速度为 5 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测后速度为 5 mm/s,压缩距离 5 mm。

1.3.4 持水性的测定

将鱼肉样品切成 2 cm×2 cm×0.5 cm 大小的鱼块,称重并记录为 X_1 ,取长条滤纸将其裹住,用木屋式硬度计加压 5 Kgf/cm² 并保持 1 min,去掉包裹的滤纸后将样品称重 X_2 ,重复测量 5 次。

$$\text{持水性}(\%) = 1 - \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100\%$$

1.3.5 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。各定量分析模型均采用 PLS 建立,PLS 是 NIRS 定量分析中应用最多的多元校正方法,是一种类似于主成分回归分析的建模方法^[11],利用样品的全光谱阵,从近红外光谱数据中提取有用的信息。PLS 不仅可以对光谱矩阵进行分解,同时也可以对原始数据矩阵进行分解^[12-13],从而提供更丰富、深入的信息。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^[14]。

2 结果与分析

2.1 样品的光谱采集与化学分析结果

211 个草鱼样品所对应的近红外光谱见图 1,样品的质构指标参数统计结果见表 1。

2.2 数据处理

对 211 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 43 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

集鱼肉质构指标数据统计见表 2。

表 1 草鱼样本本质构参数和持水性的化学测量值

Table 1 The chemical measured values of texture and water-holding capacity of grass carp

指标	样品数	最大值	最小值	平均值	方差
持水性	211	0.920	0.741	0.842	0.048
硬度/kg	211	10.848	2.751	6.593	1.838
回复性	211	0.193	0.102	0.144	0.016
弹性	211	0.528	0.301	0.450	0.046
咀嚼性/kg	211	1.509	0.190	0.758	0.258
剪切力/kg	211	0.988	0.104	0.473	0.174

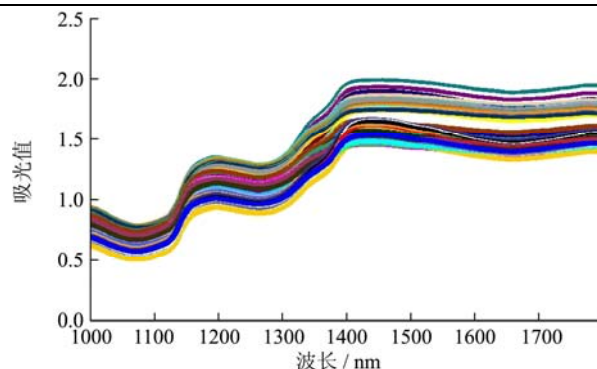


图 1 211 个草鱼样品的近红外光谱图

Fig.1 NIR spectra of 211 grass carp samples

表 2 定标集和验证集草鱼样本本质构指标数据统计

Table 2 Texture parameters for calibration set and validation set of grass carp samples

指标	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
持水性	168	0.919	0.741	0.837	0.049	43	0.920	0.759	0.860	0.043
硬度/kg	168	10.848	2.751	6.830	1.818	43	8.933	3.164	5.645	1.608
回复性	168	0.193	0.104	0.143	0.016	43	0.183	0.102	0.135	0.017
弹性	168	0.528	0.313	0.453	0.040	43	0.522	0.301	0.426	0.057
咀嚼性/kg	168	1.509	0.190	0.804	0.251	43	0.923	0.271	0.580	0.194
剪切力/kg	168	0.988	0.110	0.490	0.157	43	0.873	0.104	0.391	0.205

2.3 草鱼质构指标模型的建立

2.3.1 异常样品的剔除

将各样品质构测定值和持水性与所采集的样品光谱一一对应。利用 RIMP 化学计量学软件，计算出鱼肉样本的各质构指标马氏距离值和学生化残差值，对异常样品进行剔除。其中，持水性模型剔除的样本数为 3 个，硬度、回复性、咀嚼性和剪切力模型剔除的样本数为 5 个，弹性模型剔除的样本数为 2 个。

2.3.2 草鱼质构指标模型的建立

分别比较各质构模型的 20 种光谱预处理方法，包括 Savitzky-Golay 平滑，Savitzky-Golay 导数，多元散

射校正 (MSC)，均值中心化，数据标准 (S)，净分析信号 (NAS)，正交信号校正 (OSC)，去趋势校正 (DT) 和基线校正等，以定标相关系数 R_c 、定标标准偏差 SEC、验证相关系数 R_p 、验证标准偏差 SEP 和交互验证标准误差 SECV 等值为评价指标对模型最佳光谱预处理方法、最佳波段进行选择， R_c 、 R_p 值越高，SEC、SEP 和 SECV 值越小，表明模型精确度越高，预测能力越好。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。20 种光谱预处理方法下持水性模型的统计参数见表 3。

表 3 20 种光谱预处理条件下持水性模型的统计参数

Table 3 Statistical parameters of water-holding capacity model under 20 different spectral pretreatments

预处理方法	定标标准偏差 SEC	定标相关系数 R_c	交互验证标准误差 SECV	验证标准偏差 SEP	验证相关系数 R_p	主因子 PF
Savitzky-Golay 平滑、Savitzky-Golay 导数、多元散射校正(MSC)、均值中心化	0.038	0.640	0.042	0.030	0.767	7
Savitzky-Golay 平滑、Savitzky-Golay 导数、标准正态变量变换(SNV)、均值中心化	0.038	0.643	0.042	0.029	0.794	7
Savitzky-Golay 平滑、Savitzky-Golay 导数、去趋势校正(DT)、均值中心化	0.039	0.627	0.043	0.034	0.591	7

转下页

接上页

Savitzky-Golay 平滑、差分求导、多元散射校正(MSC)、均值中心化	0.037	0.672	0.043	0.027	0.790	7
不进行预处理(N)	0.041	0.636	0.047	0.030	0.760	13
标准化(S)	0.035	0.713	0.041	0.028	0.798	13
多元散射校正(MSC)、Savitzky-Golay 平滑	0.037	0.679	0.043	0.029	0.757	13
Savitzky-Golay 平滑	0.042	0.607	0.047	0.030	0.760	13
多元散射校正(MSC)、标准化(S)	0.034	0.742	0.047	0.029	0.741	12
多元散射校正(MSC)、Savitzky-Golay 导数	0.030	0.789	0.044	0.031	0.760	6
多元散射校正(MSC)	0.035	0.713	0.044	0.029	0.750	13
净分析信号(NAS)	0.028	0.870	0.055	0.027	0.790	12
正交信号校正(OSC)	0.022	0.904	0.040	0.029	0.767	14
去趋势校正(DT)	0.061	0.246	0.068	0.055	0.136	9
Savitzky-Golay 导数	0.049	0.501	0.069	0.055	0.039	6
基线校正、标准正态变量变换(SNV)	0.035	0.714	0.043	0.029	0.757	13
多元散射校正(MSC)、基线校正	0.035	0.710	0.043	0.029	0.732	13
基线校正、Savitzky-Golay 导数	0.049	0.501	0.069	0.055	0.039	6
Savitzky-Golay 平滑、Savitzky-Golay 导数、基线校正	0.062	0.186	0.067	0.057	0.093	7
Savitzky-Golay 平滑、Savitzky-Golay 导数	0.058	0.303	0.067	0.047	0.253	8

由表 3 可知，原始光谱数据经正交信号校正处理后的模型定标相关系数最高，为 0.904，定标标准偏差 SEC 和交互验证标准差 SECV 均为最低。因此持水性

模型的最佳光谱预处理方法为正交信号校正。在最优的光谱预处理方法下不同波段范围的模型统计参数见表 4。

表 4 不同光谱波段条件下持水性模型的统计参数

Table 4 Statistical parameters of water-holding capacity model under different spectral bands

波段/nm	定标标准 偏差 SEC	定标相关 系数 R _c	交互验证标准 误差 SECV	验证标准 偏差 SEP	验证相关 系数 R _p	主因子 PF
1000~1799	0.022	0.904	0.040	0.029	0.767	14
1000~1350、1450~1799	0.022	0.897	0.043	0.030	0.719	14
1000~1300、1700~1799	0.028	0.838	0.046	0.031	0.728	12
1160~1350、1500~1799	0.039	0.631	0.044	0.029	0.743	6
1000~1200、1300~1450	0.026	0.865	0.047	0.035	0.588	13
1000~1200、1300~1650	0.020	0.920	0.042	0.034	0.637	14
1000~1450	0.025	0.874	0.047	0.030	0.731	14
1000~1650	0.024	0.886	0.042	0.029	0.759	13
1000~1700	0.022	0.902	0.043	0.028	0.753	14
1000~1760	0.020	0.919	0.043	0.029	0.752	15

由表 4 可知，波段范围为 1000~1200 nm、1300~1650 nm 时，定标相关系数最高，为 0.920，但验证相关系数较低，且验证标准偏差 SEP 较高，可能是出现了过拟合的现象。而波段范围为 1000~1760 nm 时，模型有较高的验证相关系数和较低的验证标准偏差。因此，持水性模型的最佳光谱波段范围为 1000~1760 nm，最佳主因子数为 15。在最优条件下所建立的持水性模型，定标相关系数为 0.919，标准差为 0.020，验证相关系数为 0.752，标准差为 0.029。

采用同样的方法得到草鱼硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力模型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 5。最优条件下的草鱼各质构指标模型的各项统计参数值见表 6。

由表 6 可知，定标集在草鱼持水性、硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力定量模型的相关系数分别为 0.9194、0.9812、0.9830、0.9871、0.7860 和 0.9896，说明除了咀嚼性模型外，草鱼质构指标各数学模型的预测值和实测值之间具有较高的相关性，且模型的稳

定性较高。

表5 草鱼质构模型的最佳条件

Table 5 The optimized parameters of texture models of grass carp

carp				
指标	波段范围/nm	预处理方法	回归方法	最佳主因子数
持水性	1000~1760	正交信号校正(OSC)	PLS	15
硬度	1000~1350, 1450~1799	正交信号校正(OSC)	PLS	15
回复性	1000~1760	正交信号校正(OSC)	PLS	16
弹性	1000~1700	正交信号校正(OSC)	PLS	14
咀嚼性	1000~1450	数据标准化(S)	PLS	11
剪切力	1000~1350, 1450~1799	正交信号校正(OSC)	PLS	13

表6 草鱼质构指标模型的内部验证结果

Table 6 Internal validation results of texture models of grass carp

carp					
组分	SEC	R _C	SECV	SEP	R _p
持水性	0.0200	0.9194	0.0434	0.0292	0.7525
硬度	0.0427	0.9812	0.0840	0.0348	0.9795
回复性	0.0508	0.9830	0.1020	0.1937	0.8735
弹性	0.0337	0.9871	0.0529	0.0274	0.9957
咀嚼性	0.0168	0.7860	0.0193	0.0106	0.9523
剪切力	0.4765	0.9896	0.8257	0.2785	0.9984

光谱数据与鱼肉质构指标的实测值在以上最优设置条件下一一对应, 拟合出鱼肉各质构指标的定量分析模型, 见图2。其中鱼肉持水性模型预测值与真实值之间的线性方程为 $y_1=0.86232x_1+0.11527$, 硬度模型的线性方程为 $y_2=0.96273x_2+0.01085$, 回复性模型的线性方程为 $y_3=0.96572x_3+1.1776$, 弹性模型的线性方程为 $y_4=0.9756x_4+1.0113$, 咀嚼性模型的线性方程

表9 预测模型对未知草鱼样本各质构指标的预测结果

Table 9 Predicted values of models for texture of unknown grass carp samples

持水性		硬度/kg			回复性			弹性			咀嚼性/kg			剪切力/kg			
真值	预测值	偏差	真值	预测值	偏差	真值	预测值	偏差	真值	预测值	偏差	真值	预测值	偏差	真值	预测值	偏差
0.900	0.874	0.026	5.679	5.601	0.077	0.130	0.137	-0.007	0.440	0.440	0.000	0.521	0.596	-0.075	0.257	0.194	0.063
0.909	0.884	0.025	6.079	6.350	-0.271	0.129	0.134	-0.004	0.444	0.437	0.007	0.567	0.670	-0.103	0.259	0.232	0.027
0.833	0.862	-0.029	4.106	5.174	-1.068	0.128	0.133	-0.005	0.501	0.409	0.093	0.462	0.489	-0.027	0.873	0.194	0.679
0.835	0.851	-0.016	4.345	5.301	-0.956	0.138	0.136	0.002	0.409	0.404	0.005	0.407	0.517	-0.109	0.165	0.183	-0.017
0.909	0.877	0.032	6.028	6.104	-0.076	0.131	0.145	-0.014	0.487	0.478	0.009	0.699	0.712	-0.013	0.359	0.355	0.003

为 $y_5=0.61776x_5+0.013702$, 剪切力模型的线性方程为 $y_6=0.97939x_6+0.055582$ 。

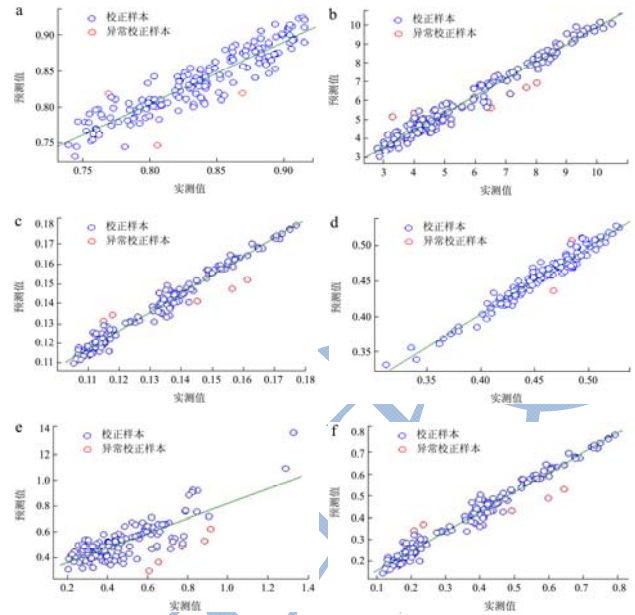


图2 基于近红外光谱参数的草鱼质构指标模型

Fig.2 Texture models of grass carp based on the near infrared spectroscopy

注: a: 持水性模型, b: 硬度模型, c: 回复性模型, d: 弹性模型, e: 咀嚼性模型, f: 剪切力模型。

2.4 草鱼质构指标模型的检验

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43个样品的近红外光谱, 采用所建立的草鱼各质构指标模型分别对各样品的持水性、硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力值进行计算得到预测值, 并与验证集中各样品的质构指标实测值进行比较, 部分结果见表9, 并对其进行t检验, 各质构指标的T值分别为0.072792、0.756045、0.090307、0.012786、0.979069和0.300142, 均小于 $f_{(0.05, 42)}=2.01808$, 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。

接上页

0.910	0.860	0.050	6.114	6.211	-0.097	0.134	0.144	-0.010	0.491	0.483	0.009	0.733	0.714	0.019	0.356	0.361	-0.005
0.900	0.862	0.038	6.370	6.250	0.120	0.136	0.148	-0.012	0.461	0.474	-0.013	0.707	0.731	-0.024	0.852	0.366	0.486
0.759	0.845	-0.086	4.485	5.269	-0.784	0.168	0.131	0.037	0.413	0.411	0.003	0.424	0.524	-0.099	0.185	0.213	-0.028
0.787	0.836	-0.049	6.296	5.214	1.081	0.132	0.135	-0.003	0.405	0.408	-0.004	0.565	0.535	0.031	0.173	0.194	-0.021
0.870	0.881	-0.011	7.144	7.662	-0.517	0.129	0.134	-0.005	0.452	0.456	-0.005	0.720	0.833	-0.113	0.381	0.395	-0.014
0.897	0.876	0.021	7.944	8.040	-0.097	0.134	0.136	-0.002	0.496	0.492	0.004	0.923	0.919	0.004	0.410	0.439	-0.029
0.871	0.908	-0.037	7.742	7.913	-0.171	0.133	0.125	0.008	0.499	0.495	0.003	0.922	0.917	0.004	0.394	0.422	-0.028
0.892	0.864	0.028	4.786	4.265	0.521	0.123	0.135	-0.011	0.477	0.378	0.099	0.514	0.366	0.148	0.713	0.215	0.497
0.897	0.861	0.036	8.933	4.241	4.692	0.172	0.132	0.040	0.391	0.384	0.007	0.774	0.381	0.393	0.217	0.260	-0.043
0.898	0.868	0.030	3.181	4.311	-1.130	0.153	0.132	0.022	0.386	0.389	-0.003	0.271	0.398	-0.127	0.220	0.207	0.013

3 结论

3.1 采用偏最小二乘法(PLS)分别建立草鱼持水性、硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力的近红外定量模型,所建立的模型预测值与实测值的相关系数分别为0.9194、0.9812、0.9830、0.9871、0.7860和0.9896。说明除咀嚼性外,草鱼质构指标数学模型对未知样品有很好的预测能力。

3.2 对所建模型进行外部验证,结果表明草鱼持水性、硬度、回复性、弹性、咀嚼性和剪切力预测标准偏差分别为0.0292、0.0348、0.1937、0.0274、0.0106和0.2785, 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。该方法具有准确、快速、无污染等优点,可以作为草鱼质构参数的快速测定方法进行推广应用,具有一定的应用价值。

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
GE X P, MIAO L H. Current State and Development Suggestion on National Conventional Freshwater Fishery Industry [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2011, 1(3): 22-30
- [2] 汤丽华,刘敦华.基于近红外光谱的枸杞化学成分定量分析[J].现代食品科技,2013,29(9):2306-2310
TANG L H, LIU D H. Quantitative Analysis of *Lycium barbarum* L. Composition Based on Near Infrared Spectrum [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9): 2306-2310
- [3] 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,2013,29(5):1160-1162
PANG Y P, LIU K, YAN J Y, et al. Rapid Identification of Cheng'an Strawberry with Near Infrared Spectroscopy [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1160-1162
- [4] ElMasry G, Sun D W, and Allen P. Chemical-free assessment and mapping of major constituents in beef using hyperspectral imaging [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(2): 235-246
- [5] 张德权,陈宵娜,孙素琴,等.羊肉嫩度傅立叶变换近红外光谱偏最小二乘法定量分析研究[J].光谱学与光谱分析, 2008,28(11):2550-2553
ZHANG D Q, CHEN X N, SUN S Q, et al. The Quantified Analysis of Fresh Mutton Tenderness Using PLS Methods and Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(11): 2550-2553
- [6] 罗阳,王锡昌,邓德文.近红外光谱分析技术检测鱼丸弹性的可能性研究[J].食品科学,2008,29(8):530-533
LUO Y, WANG X C, DENG D W. Feasibility Study on Prediction of Springiness of Fish-ball Using Near-infrared Spectroscopy [J]. Food Science, 2008, 29(8): 530-533
- [7] Liu Y, Lyon B G, Windham W R, et al. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Science, 2003, 65(3): 1107-1115
- [8] Mehinagic E, Royer G, Bertrand D, et al. Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible-NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars [J]. Food Quality and Preference, 2003, 14(5-6): 473-484
- [9] Belie N D, Pedersen D K, Martens M, et al. The Use of Visible and Near-Infrared Reflectance Measurements to assess Sensory Changes in Carrot Texture and Sweetness during Heat Treatment [J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(2): 213-225
- [10] Revilla I, Gonzalez-Martin I, Hernandez-Hierro J M, et al. Texture evaluation in cheeses by NIRS technology employing a fibre-optic probe [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 92(1): 24-28

- [11] Stone M, Brooks R J. Continuum Regression: Cross-Validated Sequentially Constructed Prediction Embracing Ordinary Least Squares, Partial Least Squares and Principal Components Regression [J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), 1990, 52(2): 237-269
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- WANG X, YE H J, LI Q T, et al. Determination of Brix and POL in Sugar Cane Juice by Using Near Infrared Spectroscopy Coupled with BP-ANN [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(7): 1759-1762