

基于近红外光谱技术对蒸制大马哈鱼水分含量检测方法研究

徐朔, 赵钜阳*, 陈逸玉, 李玉奇

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150028)

摘要: 目前评定鱼类产品水分含量的方法多采用直接干燥法, 但此法耗时长、操作复杂, 因此需要一种简便、快速的水分含量分析法。本实验以地产黑龙江的大麻哈鱼为研究对象, 运用直接干燥法测定 120 组蒸制大马哈鱼样品的水分含量及其近红外光谱图。采用偏最小二乘 (PLS) 法并经过多元散射校正、标准正态变化和一阶导数等预处理方式在 4000~10000 nm 光谱范围内建立蒸制大马哈鱼水分含量及其近红外光谱定量分析模型, 通过主因子数、马氏距离法、杠杆值与学生残差法进一步剔除异常样本, 优化光谱模型, 其中模型校正集的相关系数为 0.9682, 标准差为 0.00508, 验证集相关系数为 0.9850, 标准差为 0.00426。表明所建模型可对蒸制大马哈鱼进行准确的快速、无损评价, 为蒸制大马哈鱼水分含量的快速、无损检测技术的应用提供了理论参考。

关键词: 蒸制大马哈鱼; 近红外光谱; 快速无损检测; 偏最小二乘法

Rapid Quantitative Detection of Water Content in Steamed *Oncorhynchus Keta* by Near Infrared Spectroscopy

Xu Shuo, Zhao Juyang, Chen Yiyu, Li Yuqi

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150028)

Abstract: At present, the direct drying method is widely used to evaluate the water content of fish products, but this method is time-consuming and complicated, so a simple and rapid analysis method for water content is urgently needed. The steaming technology of *Oncorhynchus keta* in Heilongjiang Province is optimized, the water content and near infrared spectra of 120 groups of steamed salmon samples are determined by direct drying method. By using partial least squares (PLS) method and multivariate scattering correction, variable standardization and first derivative pretreatment method, a quantitative analysis model of water content and near infrared spectrum of steamed salmon is established in the range of 4000~10000 nm. The correlation coefficient, standard deviation, correlation coefficient and standard deviation of model calibration set is 0.9682, 0.00508, 0.9850 and 0.00426 respectively. The results show that the model can be used for accurate and rapid non-destructive evaluation of steamed *Oncorhynchus keta*, which provides

a theoretical reference for the application of rapid non-destructive testing technology of water content in steamed *Oncorhynchus keta*.

Keyword: steamed *Oncorhynchus keta*; near infrared spectroscopy; rapid non-destructive detection; partial least square.

大马哈鱼为黑龙江省著名的特色水产品,是一种河海洄游性鱼类,在海洋里生活三、四年后,为了繁殖后代,每年秋季,它们会成群结队千里迢迢从太平洋北部向出生地黑龙江、乌苏里江和松花江洄游进行产卵、繁殖^[1]。大马哈鱼肉嫩味鲜,质地细腻,鲜香软糯,蛋白质含量高达 14.9%~17.5%,脂肪为 8.7%~17.8%,水分为 61.4%^[2]。然而大马哈鱼的加工利用程度特别是精深加工程度很低,其加工基本上以冷冻加工为主,其他形式的加工产品较少,富有中式特色的产品很少。具有中式特色的大马哈鱼类菜肴通常出现在餐馆或食堂,并且对其品质的控制手段依然停留在厨师的感官经验,尚未形成标准化的品质评价标准和快速检测手段。因此,中式大马哈鱼类菜肴形成标准、快速的品质评价方法已迫在眉睫。

肉品的品质特别是其嫩度的大小与其水分含量的高低密切相关。然而由于水分含量的一般检测方法采用将样品直接干燥的方式,因而检测起来耗时、耗力、耗能,因此对于中式烹饪菜肴样品来说,其测定受场地、仪器、时间、人力等限制,而且测定也对样品具有不可逆的破坏性,在实际生产中实施起来存在相当大的困难,因此需要建立一种能够实现对中式烹饪菜肴水分含量快速、无损、低耗的检测方法。

近红外光谱仪具有检测快、价格低廉、非破坏性、可在线分析等诸多优点,近年来多用于肉类标准化的快速检测。其方法通常通过扫描未知水分含量的肉样近红外光谱图,再套用具体的科学模型,即可得到水分含量的预测值,测定过程安全、快速、无损、环保、低耗且预测值准确可靠^[3,4,5,6,7,8,9],能够满足标准、快速地检测中式大马哈鱼类菜肴水分含量的需要。

目前国内外学者利用 NIR 研究水产品多数为新鲜鱼肉成分的检测,例如对新鲜鱼类的脂肪、水分和蛋白质^[10,11]和一些特殊成分(如色素、二甲胺、甲醛、胶原蛋白等^[12,13,14,15])含量的定量测定,此外也有对鱼类新鲜度和种类的定性测定^[16,17]。再者是对鱼糜和鱼丸制品的研究,例如新鲜鱼糜的水分、蛋白质、脂肪含量^[18,19,20,21]的定量检测,鱼丸类制品的水分、淀粉含量的定量检测^[22]。此外,还有少部分对于新鲜鱼类品种的检测^[23]。但是对熟制鱼类产品的应用还较少,且鱼类种类也较为单一,对于我国特产的大马哈鱼的应用更是少之又少,而尚未见针对熟制大马哈鱼的相应品质的测定。因此,本研究应用近红外光谱分析技术快速、

无损、低耗的特点,建立一种对蒸制大马哈鱼水分含量检测的新型手段,并为中式大马哈鱼类菜肴的形成标准、快速的品质评价方法提供一定的理论依据,以期应用在实际生产中。

1 材料与方法

1.1 材料

实验所用的大马哈鱼肉产于黑龙江省抚远市,购买于哈尔滨市家乐福超市,采样部位均为大马哈鱼大腹肉。

1.2 实验仪器与设备

ANTARISII近红外光谱仪 Thermo Fisher 科技有限公司;DHG/50Hz 鼓风干燥箱昆山一恒仪器有限公司;JD200-3 电子天平沈阳天平仪器有限公司;GD-ZFG 蒸箱中国格盾有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 大马哈鱼样品的制备

取出所购买的大马哈鱼鱼腹肉,清洗,将其切成 $2\text{cm}\times 2\text{cm}$, 15g 的小方块,共制成 120 个样品。分成 6 组,每组 20 个样品,放入蒸箱蒸制,根据预实验结果,设定蒸制时间为 $5\sim 10\text{min}$,此时大马哈鱼肉中心温度 $>74^{\circ}\text{C}$,可以保证大马哈鱼肉蒸制成熟,冷却待测。

1.3.2 水分含量传统测定方法

参照 GB 5009.3-2010 的直接干燥法^[5]。

1.3.3 光谱采集、建模及模型评价

首先采用近红外光谱分析仪随机采集 120 组具有代表性的大马哈鱼肉样品的 NIR 光谱;采用 1.3.2 方法测定大马哈鱼肉样本中要预测的水分含量;用化学计量学分析软件对大马哈鱼肉样本原始光谱进行预处理,剔除异常样本,并建立大马哈鱼肉样本内部成分近红外光谱定量模型;用建立好的大马哈鱼肉样本水分含量定量模型对未知大马哈鱼肉样品进行预测分析。

光谱采集:将 1.3.1 制备好的鱼肉样本均匀放置于红外光谱仪的样品积分球上,并确保积分球被肉样完全覆盖。之后按如下条件采集光谱:波数范围 $4000\sim 9000\text{cm}^{-1}$,扫描次数 64 次。在大马哈鱼肉 $5\sim 10\text{min}$ 的蒸制时间范围内,每 1min 设置 20 组样品,共计 120 组样品。每组样品平均 3 次进行,并进行平均光谱处理。

建模方法:采用 TQ Analyst 软件进行光谱分析,建模利用 PLS 法 (Partial Least Squares, 偏最小二乘法) 进行。

模型评价方法:采用验证集样品对最终模型进行外部验证,并以校正误差均方根(RMSEC)、预测误差均方根(RMSEP)、 R_c (RMSEC对应的相关系数)、 R_v (RMSEP对应的相关系数)值作为模型性能的评价指标。

1.3.4 数据分析

由于大马哈鱼肉基质及其成分复杂,在其NIR光谱中,多种化学成分或基团吸收峰相互叠加,很难直接建立二者的相互关系,因此需利用传统的检测手段测定水分含量,再与其NIR光谱信息进行一一对应,进而得到相应的数学关系模型。

1.3.4.1 校正集和验证集的划分

基于光谱变量的选择方法,采用 Kennard-Stone (KS) 法,即根据约 4:1 的比例将样品划分为 96 个校正集和 24 个验证集。

1.3.4.2 光谱建模区间选择

分别采用全光谱区间(4000~10000 cm^{-1})以及 TQ 软件所建议优化的区间(6614.64~8735.95 cm^{-1})建立样品的 PLS 模型,按照 1.3.3 方法对模型进行评价,选出最佳的建模区间。

1.3.4.3 光谱预处理方法

光谱采集过程中,由于客观因素产生的系统误差将影响 NIR 定量分析模型的信息,例如样品不均匀或受污染、样品受到其他组分的干扰、光谱采集不准确、光谱范围的选择不正确、光谱噪音大等而产生误差,因此最终模型确定前,要不断地进行优化处理原始光谱。本研究采用 S-G 平滑、N-D 平滑、MSC、SNV、一至二阶导数及对数化处理方式,对原始光谱进行全面的预处理,最终建立最佳的 PLS 模型。

1.3.4.4 光谱异常样本的剔除方法

采用马氏距离相似性判别(Discriminant Analysis)判别样品类别的匹配程度并剔除异常样本,利用杠杆值与学生残差 t 检验和内部交互验证均方根法(RMSECV)剔除异常样本。

2 结果与分析

2.1 近红外光谱采集

蒸制大马哈鱼中的含氢基团会随着近红外光线的照射而不断地随之振动,进而吸收能量,产生吸收带。而根据吸收带的信息(如吸收带位置、吸收波长和强度等),可以了解相应分子的结构特点,反映大马哈鱼的化学物质信息。蒸制大马哈鱼原始近红外光谱图见图 1。

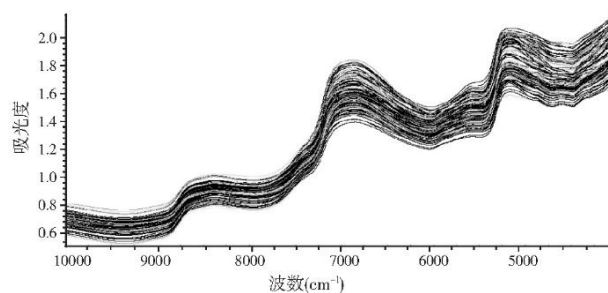


图 1 蒸制大马哈鱼近红外原始光谱图

Fig.1 Near infrared original spectrogram of steamed *Oncorhynchus keta*

由图 1 可知, 在 5000, 6600, 8500nm 波长下, 可以明显观察到光谱吸收峰;此外, 在 4500nm 时光谱噪音较大;波长>8000nm 时光谱走向趋向平缓。总体而言, 不同样品间的光谱走势大致相同, 无法直接提取特征信息, 因此需对原始光谱进行进一步处理。

2.2 光谱区间的选择

以 R_c 、 R_v 、RMSEC、RMSEP 为指标比较全光谱与 TQ 软件建议光谱区间的建模结果, 选择建模最适光谱区间。其中 RMSEC 值和 RMSEP 值越小, 表明模型误差越小; R_c 和 R_v 值越大, 模型相关性越好。误差越小, 线性越好, 则所建模型良好。原始光谱分别在全光谱和软件建议光谱区间的建模图见图 2 和图 3, 图中左上角为不同建模区间 R_c 、 R_v 、RMSEC、RMSEP 值。

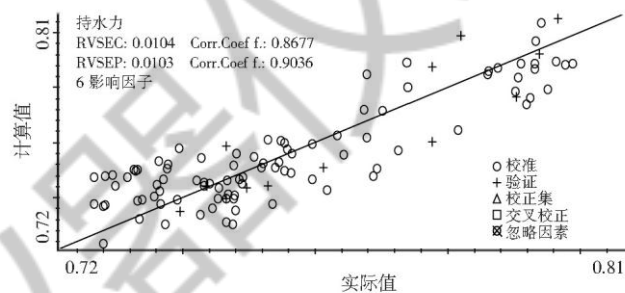


图 2 原始光谱在全光谱区间 PLS 建模结果

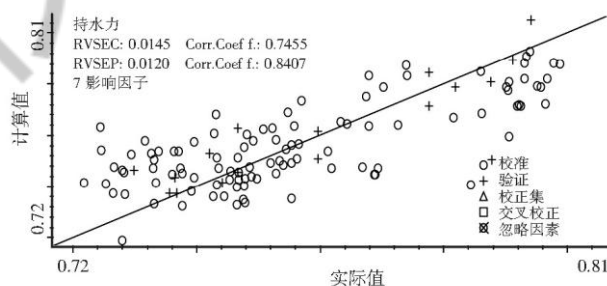


图 3 原始光谱在建议光谱区间 PLS 建模结果

由图 2 和图 3 可知, 相比于全光谱区间, 原始光谱在建议光谱区间建模的 R_c 、 R_v 值较大, $RMSEC$ 、 $RMSEP$ 值较小, 说明原始光谱建模效果较佳, 这可能是因为 TQ 建议光谱区间范围较窄, 不如全光谱区间包含的信息全面, 失去部分有效信息。因此, 建模区间选择 $4000\sim 10000\text{cm}^{-1}$ 全光谱区间。

2.3 光谱预处理

2.3.1 不同预处理方法得到的 PLS 模型

采用 S-G 平滑、N-D 平滑、MSC、标准正态变化 (SNV)、一至二阶导数及对数化处理方式, 对原始光谱进行全面的预处理, 并分别建立相应的 PLS 模型。不同预处理方法对 PLS 模型各指标及模型建议主因子数的影响见表 1。

表 1 不同预处理方式对蒸制大马哈鱼水分含量模型各参数的影响

光谱预处理方法	RESEC	R_c	RMSEP	R_v	模型建议主因子数
原始光谱	0.01040	0.8677	0.01030	0.9036	6
S-G 平滑	0.01000	0.8649	0.01050	0.8937	6
N-D 平滑	0.00953	0.8782	0.00951	0.8967	6
MSC	0.00829	0.9112	0.00483	0.9718	6
SNV	0.00286	0.9900	0.00687	0.9172	10
一阶导数	0.00665	0.9519	0.00324	0.9838	7
二阶导数	0.00665	0.9422	0.0144	0.7551	5
对数化	0.00848	0.9167	0.0127	0.8847	6

S-G 和 N-D 平滑的主要计算方法是利用 S-G 或 N-D 函数运算, 对数据进行拟合, 对光谱进行多点处理, 并采用数字滤波函数对拟合函数进行卷积平滑处理^[24]。由表 1 可知, 经 S-G 平滑后, 各评价指标均小于原始光谱; 经 N-D 平滑后, 虽然 R_c 、 $RMSEC$ 、 $RMSEP$ 值会有所优化, 但 R_v 却小于原始光谱, 说明平滑处理优化模型效果较差, 这可能是平滑处理会误删部分有效信息导致的。

MSC (多元散射校正) 通常是假定样品收集的散射信号与化学吸收信号进行分离时在整个波长范围内的散射信号的散射系数是同一个, 其优点是收集的光谱信息不会被散射影响, 可有效提高肉样组成成分包含的信息^[25]。由表 1 可知, 经过 SNV 处理后误差减小, 相关系数增加。

SNV (标准正态变化), 其与 MSC 原理相似, 但算法略有不同, SNV 是以每条谱线在各个波长位置都有一定的数学分布 (如正态分布) 为前提, 然后进一步校正谱线, 将平均谱线认定为标准的理想谱线, 再进行正态标准化^[26]。

由表 1 可知, 经过 SNV 处理后, 与原始光谱相比, 其 RMSECV 值大大减小, 相关系数 Rc 大大增加, 但其 RMSEP 值和 Rv 值与其他各组相比优化程度相对较小, 因此还需结合其他模型处理方式进一步探讨。

经求导变换和对数化处理后, 可消除基线漂移、背景干扰并忽略谱线重叠, 使得光谱分辨率和清晰度均有所提高^[27]。由表 1 可知, 相比于原始光谱, 经对数化处理后, Rc 有所提高, 其余参数下降; 经二阶导数处理, RMSEC 值减小, Rc 增大, 但 RMSEP 及 Rv 值则远不如其, 这可能是因为导数处理后虽分辨率增加但同时增大噪声, 引起拟合过度, 致使模型预测误差增大。

2.3.2 Press 值对 PLS 模型因子个数选取的影响

Press 值能决定模型因子个数的选取。在进行定量回归时, PLS 模型因子个数的多少直接影响模型的效果, 当因子个数较小时造成光谱模型误差较大, 模型不适宜应用。当因子个数过多时, 可能增添噪声, 使模型拟合过度, 即无法适用于预测检测样品, 即使模型的参数可能较好, 但在测试其他样品时误差较大。所以, 恰当的主因子数是良好模型建立的必要条件, 在保证模型评价参数俱佳的前提下, 应尽可能地选择较小的主因子数, 进而减小迭代次数, 提高分析效率^[28]。由表 1 可知, 虽然经 SNV 预处理的光谱 Rc 值高于其他建模方法, 但其 Rv 值较低且建模主因子数达到最大值 10, 因此不建议采用; 而相比于原始光谱, 一阶导数预处理后更优, 仅多 1 个主因子数, 因而选择一阶导数预处理方式。

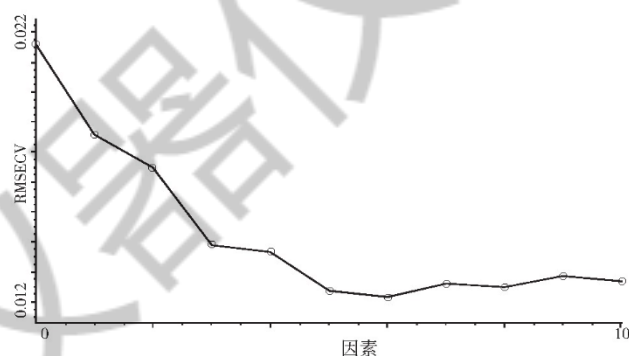


图 4 一阶导数 PRESS 图

由图 4 可知, 当主因子数 < 7 时, 随主因子数的增加, RMSECV 不断减小; 而当主因子数为 7~10 时, RMSECV 随主因子数的变化幅度较小, 且此时 RMSEC 值也几乎不变 (数据未显示), 因此模型主因子数选择 7。

2.4 异常样本的剔除

2.4.1 马氏距离排序剔除

在多元统计的判别分析中，会经常采用马氏距离 (Mahalanobis Distance)，来判别样本点的类别归属。根据马氏距离可通过计算样本间的协方差距离进而分析二者间的相似度，即将每个样本与计算得出的平均光谱之间的距离进行比对，标记异常样本用于剔除^[29]。利用 TQ 软件的 Specture Outliner 功能，对样本马氏距离进行排序，见图 5。

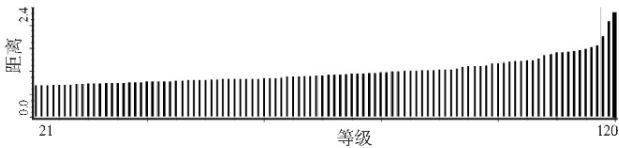


图 5 样本马氏距离排序图

由图 5 可知，最右侧线与平均光谱差异最大、距离最远，显示为 y 值最大，因此将此异常样本剔除。将异常样本剔除后，再次进行建模。剔除异常样本 (第 33 号样本) 后得到的一阶导数 PLS 模型见图 6。

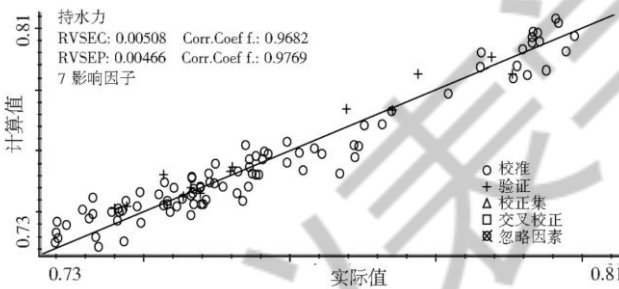


图 6 马氏处理后的 PLS 模型图

由图 6 可知，剔除异常样本后模型 RMSEC 变小，且相关系数增加。

2.4.2 杠杆值与学生残差 t 检验

各样本可通过杠杆值分析其对模型不同的影响程度，进而鉴别出异常样本。而根据杠杆值和校正集的均方根残差的结果则可计算得到各样本的学生残差值，进而进一步筛选样本^[30]。杠杆值与学生残差处理的鱼肉样光谱数据图见图 7。

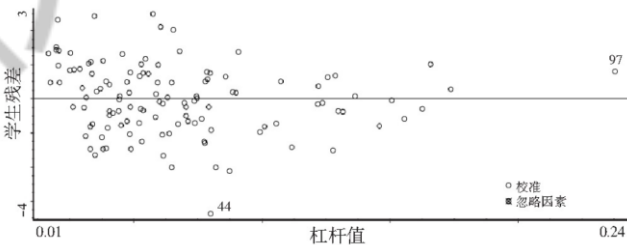


图 7 杠杆值与学生残差处理鱼肉样光谱数据

由图 7 可知, 有 2 个较偏离的点, 分别为 44 和 97, 所以判定为异常样本, 将此 2 个异常样本剔除后, 再次建模。杠杆法剔除异常样本后的模型见图 8。

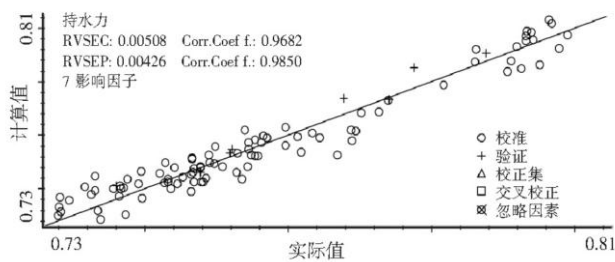


图 8 杠杆法剔除异常样本后的 PLS 模型

由图 8 可知, 剔除异常样本后模型的 RMSEP 变小, 且相关系数增加。

2.5 模型的验证试验

将传统法测得的水分含量 (即真实值) 与模型预测水分含量 (即理论值) 比较, 可计算模型的误差率, 验证其准确性。

随机 10 个样本的模型理论值与真实值对照表见表 2。

表 2 蒸制大马哈鱼近红外光谱水分含量测定理论值与真实值对照表

样品号	真实值	理论值	误差率
1	78.49	78.59	0.10
2	72.78	72.65	0.13
3	74.56	74.35	0.21
4	80.00	79.88	0.12
5	75.40	75.40	0.00
6	76.28	76.09	0.19
7	74.81	74.51	0.30
8	76.33	76.11	0.22
9	75.48	75.22	0.26
10	79.76	79.65	0.11

由表 2 可知, 所得模型与直接干燥法测定的水分含量相比, 其误差率为 0.1%~0.3%, 正确率达 97.0% ($P<0.05$), 误差率较小, 准确度较高。综上所述, 模型评价参数值 (见图 8) 分别为 $R_c:0.9682; R_v:0.9850; RMSEC:0.00508; RMSEP:0.00426$, 模型参数值较好, 能满足蒸制大马哈鱼水分含量的分析要求。说明所建立的模型较为准确, 可应用于蒸制大马哈鱼肉水分含量的无损、快速检测。

3 结论

本研究选取蒸制大马哈鱼作为样本集与校正集,采用近红外光谱仪在 4000~10000cm⁻¹ 波长内采集鱼肉块样品近红外光谱,并利用化学法测定其水分含量,并与光谱对应,建立偏最小二乘模型。经全面的光谱预处理、筛选适宜的主因子数并反复多种方式剔除异常样本后,得到最优模型。结果显示所构建的检测蒸制大马哈鱼水分含量模型的校正均方差值为 0.00508,相关系数值为 0.9682,预测结果正确率大于 97.0% ($P<0.05$),能够实现对未知蒸制大马哈鱼水分含量的准确预测,达到快速、无损检测的目的。

参考文献:

- [1] 王继隆,刘伟,唐富江.黑龙江水系(中国)大麻哈鱼生物学特征分析[J].中国水产科学, 2013, 20 (1):93-100.
- [2] 姜晓东,李红艳,王颖,等.大麻哈鱼 (*Oncorhynchus keta*) 鱼皮的营养成分分析[J].渔业科学进展, 2015, 36 (5):145-150.
- [3] 刘家忠,王希彪.鸡肉可榨出水分测定条件的初步探讨[J].肉类研究, 1991, 5 (2):30-32.
- [4] Gupta A, Sheth M. Chemical stability of cottonseed and groundnut oil used for frying bhajias and its sensory qualities[J]. Journal of Microbiology Biotechnology & Food Sciences, 2015, 4 (3):198-202.
- [5] GB 50093-2010, 食品中水分的测定[S].
- [6] 曹小华,李小奎,刘娟花,等.肉骨粉常规营养成分近红外模型的建立及验证[J].粮食与饲料工业, 2017, 12 (3):51-54.
- [7] Marchi M D, Manuelian C L, Sofia T, et al. Prediction of sodium content in commercial processed meat products using near infrared spectroscopy[J]. Meat Science, 2017, 125 (3):61-65.
- [8] Wang J X, Fan L F, Wang H H, et al. Determination of the moisture content of fresh meat using visible and near-infrared spatially resolved reflectance spectroscopy[J]. Biosystems Engineering, 2017, 162 (10):40-56.
- [9] Alamprese C, Amigo J M, Ernestina C, et al. Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozenthawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics[J]. Meat Science, 2016, 121 (11):175-181.
- [10] Isaksson T, Tøgersen G, Iversen A, et al. Non-destructive determination of fat, moisture and protein in salmon fillets by use of near-infrared diffuse spectroscopy[J]. Journal of the Science

of Food&Agriculture, 2010, 69 (1) :95-100.

- [11] Uddin M, Okazaki E, Fukushima H, et al. Nondestructive determination of water and protein in surimi by nearinfrared spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2006, 96 (3) :491-495.
- [12] Folkestad A, Wold J P, Rorvik K A, et al. Rapid and noninvasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture, 2008, 280 (1-4) :129-135.
- [13] Boknas N, Jensen K N, Guldager H S, et al. Thawed chilled barents sea cod fillets in modified atmosphere packaging application of multivariate data analysis to select key parameters in good manufacturing practice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2002, 35 (5) :436-443.
- [14] Berzaghi P, Riovanto R. Near infrared spectroscopy in animal science production: principles and applications[J]. Italian Journal of Animal Science, 2010, 8 (3) :39-62.
- [15] Marquardt B J, Wold J P. Raman analysis of fish: a potential method for rapid quality screening[J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37 (1) :1-8.
- [16] Downey G. Non-invasive and non-destructive percutaneous analysis of farmed salmon flesh by near infrared spectroscopy[J]. Food Chemistry, 1996, 55 (3) :305-311.
- [17] Nilsen H, Esaiassen M, Heia K, et al. Visible/near-infrared spectroscopy: a new tool for the evaluation of fish freshness? [J]. Journal of Food Science, 2010, 67 (5) :1821-1826.
- [18] 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 (2) :282-284.
- [19] 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.
- [20] 王锡昌, 陆烨, 刘源. 近红外光谱技术快速无损测定狭鳕鱼糜水分和蛋白质含量[J]. 食品科学, 2010, 31 (16) :168-171.
- [21] 栾东磊, 王玉明, 薛长湖, 等. 大黄鱼脂肪含量的近红外光谱快速无损检测[J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2009 (s1) :59-62.
- [22] 罗阳, 王锡昌, 邓德文. 近红外光谱分析测定鱼丸中的水分和淀粉含量[J]. 光谱实验室, 2008, 25 (6) :1131-1137.
- [23] 王幸幸, 徐坤, 史岩, 等. 基于近红外光谱技术的大麻哈鱼品种快速鉴别研究[J]. 食品工业, 2012 (6) :132-134.
- [24] 朱红艳, 邵咏妮, 蒋璐璐, 等. 浸入式可见/近红外光谱技术的藻种鉴别研究[J]. 光谱学与

光谱分析, 2016, 36 (1) :75-79.

[25] 褚小立, 袁洪福, 王艳斌, 等.近红外稳健分析校正模型的建立 (I) ---样品温度的影响[J].

光谱学与光谱分析, 2004, 24 (6) :666-671.

[26] 冯华东, 李彤彤, 张惠, 等.近红外光谱分析技术在阿莫西林颗粒厂家鉴别方面的定性研究[J].食品与药品, 2017, 19 (5) :318-322.

[27] 马毅, 汪西原, 雍慧.小波变换去噪应用于鲜枣糖度近红外光谱检测的研究[J].计算机与应用化学, 2011, 28 (3) :303-306.

[28] 王辉, 田寒友, 张顺亮, 等.便携式中波近红外光谱仪在线无损检测生鲜猪肉胆固醇[J].光谱学与光谱分析, 2017, 37 (6) :1759-1764.

[29] Marchi M D, Manuelian C L, Ton S, et al.Prediction of sodium content in commercial processed meat products using near infrared spectroscopy[J].Meat Science, 2016, 125:61.

[30] 梁秀英, 李小昱, 杨万能.奇异数据筛选法在玉米籽粒蛋白质近红外光谱检测中的应用[J].激光生物学报, 2015, 24 (1) :38-45.