

近红外光谱检测法快速检测冻藏猪肉贮藏期

李玉奇¹, 赵钜阳*

1. 哈尔滨商业大学旅游烹饪学院 黑龙江哈尔滨 150030

摘要: 利用可见 - 近红外光谱技术对新鲜肉和长期冻藏猪肉水分含量进行定量模型的建立。采集冻藏0、3月的新鲜肉和冻藏6、9月的长期冻藏肉的光谱图, 分别与其水分含量值一一对应, 选用偏最小二乘回归结合二阶微分处理方法建立定量判别模型, 所得新鲜肉和长期冻藏猪肉定量模型的相关系数分别为0.8714、0.9614, 校正均方根误差分别为1.10、0.3169。所建模型可较好的判别新鲜肉与长期冻藏猪肉。

关键词: 长期冷冻; 长期冻藏猪肉; 新鲜肉; 水分含量; 近红外

Rapid detection of storage period of frozen Tibetan pork by near infrared spectroscopy

LI yuqi¹, ZHAO Juyang*

Abstract :A quantitative model for the moisture content of fresh meat and long - term frozen pork was established by visible - near infrared spectroscopy. The spectral image of fresh meat frozen for 0 and 3 months and long - term frozen meat frozen for 6 and 9 months were collected and corresponded to their moisture content values one by one. Partial least squares regression was selected and combined with a second - order differential processing method , and a quantitative discriminant model was established. The correlation coefficients of the fresh meat and long - term frozen pork quantitative models were 0.8714 and 0.9614 respectively, and the corrected root mean square errors were 1.10 and 0.3169 respectively. The established model could better distinguish between fresh meat and long - term frozen pork.

Key words: long - term freezing; long - term frozen pork; fresh meat; moisture content; near - in- frared

猪肉由于其价格低廉、营养价值丰富、易获得、烹饪方式多样等优点, 成为人们每日餐食中必不可少的部分, 猪肉的需求日益见涨。我国已经成为肉类生产第一大国, 国际肉类组织公布的数据中显示: 中国畜禽肉类生产量约占世界生产总量的29%, 其中猪肉产量在世界各国中稳居第一(约50%)^[1]。冷冻贮藏可以作为食物的一种储存方式。我国的《诗经》中曾记载人们在夏天时, 将冰放入地窖中长期保存食物^[2], 这种方法已沿用至今并广泛应用, 且具有方便、快捷、成本适中的优点。

然而长期的冻藏会使禽畜肉的品质显著改变,

如营养素大程度地被破坏, 微生物大面积地繁殖等, 如果类似的肉及其制品流入市场被人们食用将会造成很大的食品安全隐患^[3, 4]。此外长期冻藏肉作为走私品, 并未经过海关检疫部门的相关检验, 意味着类似长期冻藏肉有携带传染性病毒的可能, 例如禽流感、口蹄疫、疯牛病病毒等, 频繁食用携带病毒的长期冻藏肉会对生命造成危险^[5~8]。

检测冻藏肉的新鲜度, 常见的理化指标有: 水分含量、致病菌菌落数、色泽、嫩度、纹理、持水力等。其中肉制品的水分含量是检验其品质的一个重要指标, 直接关系到成品的多汁性、口感、风味和色泽等食用品质^[9~11], 决定了肉品的质量和货架期, 是肉品加工贮藏中的重要卫生、营养指标^[12]。

近红外采集的光谱是未经过处理的复杂信息,

能够反映物质的成分、结果以及化学性质。要将光谱内在深入的信息显现出来,就需要借助化学计量方法,即多元校正方法,建立起化学成分与采集光谱间定性或者定量的关系模型。检验新样本时,直接将新样本的光谱及化学值输入原有的模型中,就可以得到新样本定性或者定量信息,达到快速无损检测的目的。目前国内关于近红外研究较为广泛,如食品领域中的茶、牛奶;医药领域都有所涉及^[13~18]。

在肉及肉制品加工领域与近红外相关的研究都局限于新鲜肉制品或新鲜熟制品范围内^[11, 18, 19],而关于利用近红外技术检测冻藏前后肉制品品质差异的研究还未曾可见。因此本实验应用近红外光谱分析技术,建立新鲜肉与长期冻藏肉水分含量的快速检测模型,从而能够快速、无损、精确检测待检肉样的新鲜度,进而鉴别是否属于长期冻藏肉。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验所用的猪肉均为猪里脊肉,购于哈尔滨市家乐福超市。

1.2 实验仪器与设备

砧板,中式厨房菜刀,100mL烧杯、20mL称量瓶(哈尔滨百大实验试剂有限公司);

近红外分析仪(ANTARIS II,塞默飞世尔科技(中国)有限公司);

鼓风干燥箱(DHG/50Hz,上海一恒科学仪器有限公司);

电子天平(JD200-3,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

新鲜肉样品组,将新鲜的猪里脊肉于-18℃冻藏0、3月,标记为A组。

长期冻藏猪肉样品组于-18℃冻藏6、9月,标记为B组。

将A、B两组的冻藏肉分别置于4℃缓化12h,待肉样中心温度达到4℃,拿出在室温条件下沥干水分,剔除筋膜和脂肪。将解冻处理后的肉样切成与近红外积分球样品窗口大小一致的形状(直径约2cm、厚约0.5cm)以盖住反区。处理方根)、 R_c (RMSEC对应的相关系数)、R值(RMSEP

组取样本30个,共120个肉样,依次标记为A-1~A-60和B-1~B-60。

1.3.2 水分含量测定方法

参照GB 9695.15—2008《肉与肉制品:水分含量的测定》^[19]中直接干燥法进行测定。根据公式(1)进行计算:

$$C_1 = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad \text{公式(1)}$$

式中:

C_1 ——样品中的水分含量,单位为克每百克(g/100g);

m_1 ——烧杯或称量瓶重量,单位为克(g);

m_2 ——烘干前烧杯和肉沫得总重量,单位为克(g);

m_3 ——烘干后样品与烧杯或称量瓶总重量,单位为克(g)。

1.3.3 光谱采集、建模及模型评价方法

将预冻藏时间分别为0、3、6、9月的冻藏猪肉样品肉片,依次放入积分球中采集样品光谱,利用“TQ”软件导出光谱,并在该软件下浏览所有光谱,并进行模型的建立与优化,最后用建立好的冻藏猪肉样本水分含量定量模型,对未知猪肉样品进行预测分析。

(1) 光谱采集。本研究采用配置积分球采样系统的Antaris II近红外分析仪进行样品测定。将近红外光谱仪预热约30min,打开光谱采集软件,维护仪器结束后选用“块片光谱采集 workflow”采集光谱,依次采集冻藏时间分别为0、3、6、9月的冻藏猪肉样品的近红外光谱,共测量120组样品,每组样品进行3次平均光谱处理。

(2) 建模方法。本研究使用TQ Analyst软件分析光谱,将预先测得样品的水分含量与该样品的光谱图一一对应,采用偏最小二乘法(Partial Least Squares, PLS)并结合二阶求导“Second derivative”降噪处理进行建模。本次实验的模型建立分为A(新鲜肉)、B(长期冻藏肉)两组进行。

(3) 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RMSEC(root-mean-squares error of cross calibration,校正误差均方根)、RMSEP(root-mean-squares error of prediction,预测误差均

对应的相关系数)作为模型性能的评价指标。

1.3.4 数据分析方法

1.3.4.1 光谱建模区间选择

分别采用不同光谱区间建立样品模型,按照

1.3.3方法对模型评价,选出最佳建模的区间。

1.3.4.2 光谱预处理方法

光谱采集过程中,无论人为操作多么精确,还是会无法避免一些客观因素产生系统误差影响 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,因此在建模前,要对原始光谱进行预处理,进而不断优化所建立的模型。本研究采用 SG 平滑、Norris 平滑结合一阶导数、二阶导数、对数化分别对原始光谱预处理并建立 PLS 模型。

1.3.4.3 光谱异常样本的剔除及优化方法

由于样品的单一特异性,在模型优化前需将明显偏离中心的光谱剔除。本实验采用 TQ Analyst v6 软件提供的马氏距离相似性判别(Discriminant analysis),计算其光谱到每个类别中心点的距离,判别样品类别的匹配程度;采用 3D 分布图中分散的簇状红点,观察离散点的分布及光谱信息,剔除分布不均匀的散点,有助于模型的后期优化;采用杠杆值与学生残差 t 检验剔除异常样本。

2 结果与分析

2.1 近红外光谱采集

当冻藏猪肉中的分子受到近红外光线的照射时,其中的含氢基团通过不断的振动,将近红外光的部分能量吸收。吸收带的波长、位置和强度,可以反映出分子结构的特点,图 1a 为新鲜肉原始近红外光谱图。由图 1a 可见,光谱在 5 000、7 000、8 500nm 附近,产生了明显光谱的吸收峰,光谱在 5 200nm 时产生的噪音比较大,在大于 8 000nm 时趋近平稳。图 1b 为长期冻藏猪肉原始近红外光谱图。由图 1b 可见,光谱在 5 000、7 000nm 附近,产生了明显光谱的吸收峰,光谱在 5 200nm 时产生的噪音比较大,在大于 7 000nm 时趋近平稳。但两组谱图的整体走势大抵一致,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。

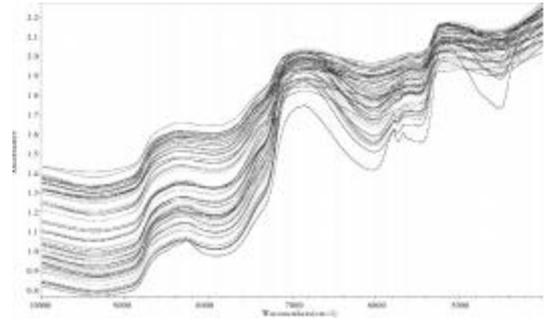


图1 a

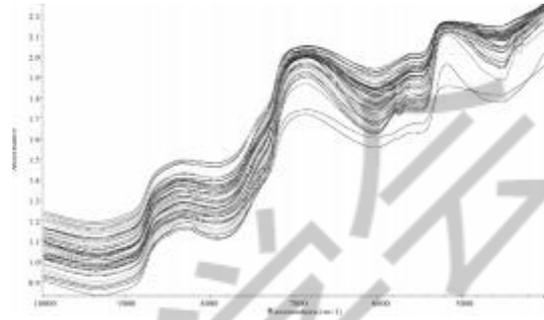


图1 b

图 1 a、b 分别为 60 组新鲜肉的全波段原始光谱图、60 组长期冻藏肉的全波段原始光谱图

Fig. 1 a and b are the full - band original spectra of 60 groups of fresh meat, and the full - band original spectra of 60 groups of long - term frozen meat

2.2 光谱区间的选择

通过比较不同光谱区间的建模结果,以 RMSEC、RMSEP、 R_c 、 R_p 值为指标选择最佳建模光谱区间。RMSEC 和 RMSEP 值越小,表明模型误差越小; R_c 和 R_p 值越大,模型相关性越好,误差越小,线性越好,所建模型良好。图 2 和图 3 为 A、B 两组猪肉在不同光谱区间的建模图,在图中左上角为不同建模区间 R_c 、 R_p 、RMSEC、RMSEP 值。

对新鲜肉组(A组)采集光谱,本试验选择在 4 000~6 200nm、6 200~7 200nm、7 200~8 200nm、8 200~10 000nm,四个波段分别建模。具体模型图如图 2 所示,具体评定指标数值见表 1。依据模型的评定指标 RMSEC、RMSEP、 R_c 、 R_p 值以及对模型线性关系的直观判断,在 6 200~7 200nm 下光谱区间建模的 R_c 、 R_p 值较大, RMSEC、RMSEP 值较小,说明建模效果较佳,对样本的预测能力较好且预测精度相对较高。

对长期冻藏猪肉组(B组)的光谱,本次试验选

择在4 400 ~ 5 400nm、5 400 ~ 6 400nm、6 400 ~ 7 400nm、7 400 ~ 8 400nm、8 400 ~ 9 400nm, 五个波段分别建模。具体模型图如图3所示, 具体评定指标数值见表2。依据模型的评定指标以及对模型线性关系的直观判断, 本次实验选择6 400 ~ 7 400nm 波段尽可能尝试优化模型。

根据B组模型的相关系数和均方差的值, 发现该组原始模型的整体预测性较差, 推断可能原因如下: 样本数量过少, 猪肉冻藏过程中出现人为失误, 如误拿导致的反复冻融, 导致冻藏时间的区分性不强, 水分含量无显著性的差异; 采集光谱前, 样品缓化后没有等待样品中心温度升至室温后测定, 导致采集光谱时, 影响近红外对样品表面的漫反射, 使得仪器不能分析光与样品内部分子发生作用的光, 无法正确负载了样品的结构和组成信息。综合这五个波段的建模信息选择5 400 ~ 6 400nm 波段并等待进一步处理。

表1 不同光谱区间对新鲜肉水分含量模型评定参数的影响
Table 1 Effect of Different Spectral Intervals on Evaluation

Parameters of Fresh Meat Moisture Content Model				
	RMSEC	R_c	RMSEP	R_p
4000 ~ 6200nm	2. 01	0. 6274	1. 80	0. 0527
6200 ~ 7200nm	1. 99	0. 6357	1. 82	0. 0224
7200 ~ 8200nm	2. 09	0. 5831	1. 78	0. 1320
8200 ~ 10000nm	2. 16	0. 5454	1. 72	0. 2049

表2 不同光谱区间对长期冻藏肉水分含量模型评定参数的影响
Table 2 Effects of Different Spectral Intervals on Evaluation Parameters of Long-term Frozen Meat Moisture Content Model

	RMSEC	R_c	RMSEP	R_p
4400 ~ 5400nm	1. 55	0. 0403	1. 68	0. 1494
5400 ~ 6400nm	1. 55	0. 585	1. 68	0. 989
6400 ~ 7400nm	1. 54	0. 0708	1. 09	0. 1104
7400 ~ 8400nm	1. 53	0. 0708	1. 71	0. 0718
8400 ~ 9400nm	1. 51	0. 2097	1. 74	0. 818

2. 3 模型优化

2. 3. 1 不同预处理方法对模型的优化

A、B 两组选择特殊波段建模后校正均方根误差 RMSEC 分别为1. 99、1. 51;校正集相关系数 R_c 分别为0. 6357、0. 2097;相对预测均方根误差RMSEP分

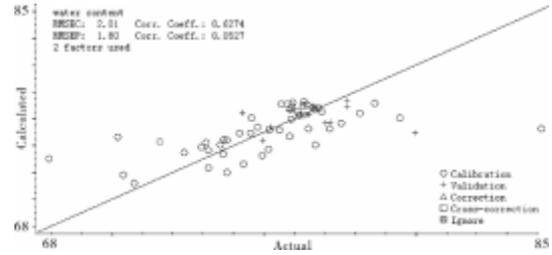


图2 a

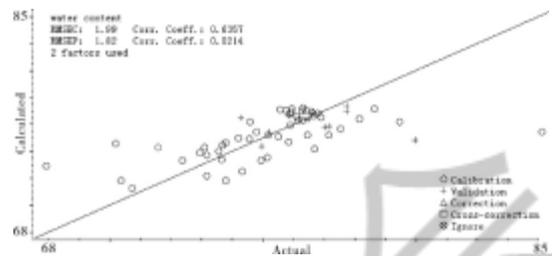


图2 b

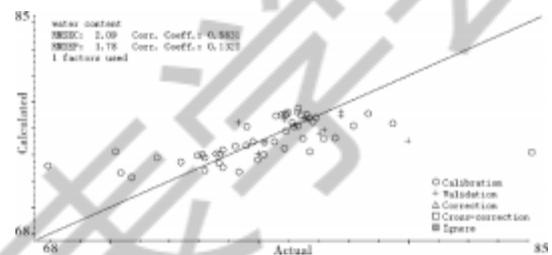


图2 c

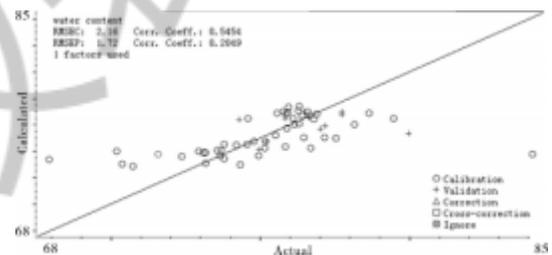


图2 d

图2 a、b、c、d 分别为新鲜肉在4000 ~ 6200nm、6200 ~ 7200nm、7200 ~ 8200nm、8200 ~ 10000nm 下波长范围内的近红外光谱水分含量原始模型图

Fig. 2 a, b, c, and d are the original models of the near-infrared spectral moisture content of fresh meat in the wavelength range of 4000 ~ 6200nm, 6200 ~ 7200nm, 7200 ~ 8200nm, and 8200 ~ 10000nm

别为1. 82、1. 74;预测集相关系数 R_p 分别为0. 0224、0. 0818。虽然缩小了建模波段, 过滤去除了部分无效信息, 但达到模型的最优化还远远不够, 故需要对光谱进行预处理:平滑、去除光谱噪音等。

首先, 对两组模型进行一阶导数(First Deriva-

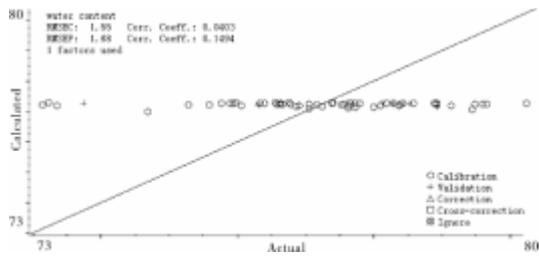


图3 a

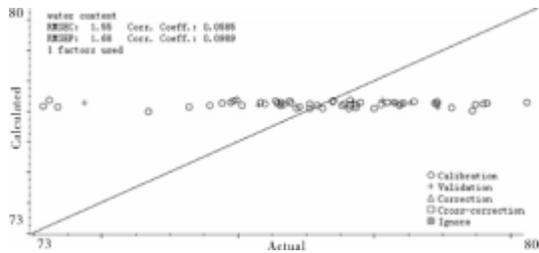


图3 b

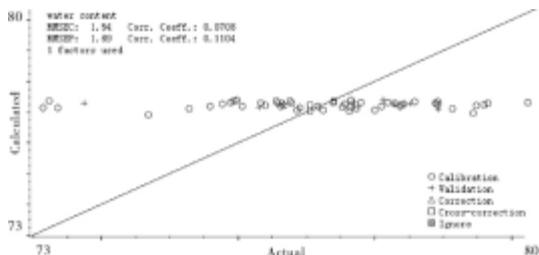


图3 c

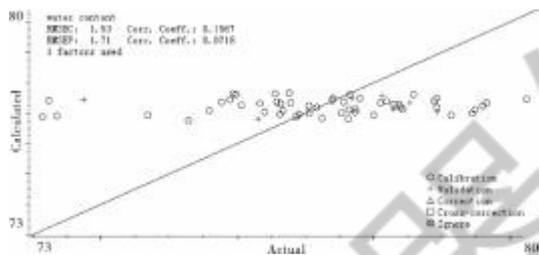


图3 d

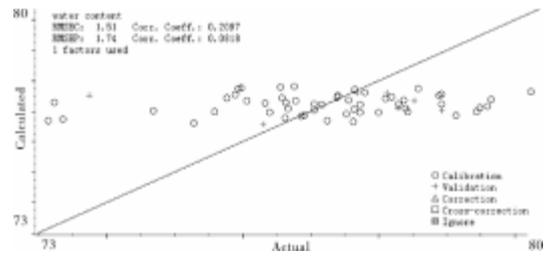


图3 e

图3 a、b、c、d、e 分别为长期冻藏肉组在4400~5400nm、5400~6400nm、6400~7400nm、7400~8400nm、8400~10000nm 下波长范围内的近红外光谱水分含量原始模型图

Fig. 3 a, b, c, d, and e are the original model diagram of near - infrared spectral moisture content of the long - term frozen meat group in the wavelength range of 4400 ~ 5400nm, 5400 ~ 6400nm, 6400 ~ 7400nm, 7400 ~ 8400nm, and 8400 ~ 10000nm

1.44; R_p 分别为 0.4806、0.5620。

表3 不同模型预处理方式对A、B 两组模型性能的影响

Table 3 Influence of different model preprocessing methods on the performance of A and B models

A 组				
	RMSEC	R_c	RMSEP	R_p
原始模型	1.99	0.6357	1.82	0.0224
一阶导数+不平滑	2.08	0.5917	1.65	0.2090
一阶导数+SG平滑	2.08	0.5913	1.65	0.2104
一阶导数+Norris平滑	2.08	0.5902	1.65	0.2097
二阶导数+不平滑	1.73	0.7406	2.89	0.4806
二阶导数+SG平滑	1.83	0.7019	2.05	0.1229
二阶导数+Norris平滑	2.14	0.5549	1.64	0.2504
B 组				
	RMSEC	R_c	RMSEP	R_p
原始模型	1.51	0.2097	1.74	0.0818
一阶导数+不平滑	1.53	0.1547	1.67	0.0636
一阶导数+SG平滑	1.53	0.1458	1.67	0.548
一阶导数+Norris平滑	1.54	0.1235	1.67	0.0425
二阶导数+不平滑	0.582	0.9265	1.44	0.5620
二阶导数+SG平滑	0.984	0.7719	1.47	0.5090
二阶导数+Norris平滑	1.53	0.1347	1.66	0.1131

ive, FD) 优化结合平滑处理, 无论是不平滑或是经过 Savitzky - Golay 卷积平滑、Norris 导数平滑后, 比较发现 A、B 两组模型相关系数、均方差值均变差, 这可能是因为平滑处理会误删部分有效信息。其次, 选择二阶导数(Second Derivative, SD) 优化后的模型相关系数明显升高、均方差降低显著, 在此基础上选择恰当的平滑或降噪方式, 提高模型精度。模型优化结果见表3。

综上, 采用二阶导数且不对模型进行平滑处理时, 模型对样本的预测精确度更高。经过预处理优化后 A、B 两组模型的 RMSEC 分别为 1.73、0.582; R_c 分别为 0.7406、0.9265; RMSEP 分别为 2.89、

2. 3. 2 剔除异常光谱对模型的优化

为了避免个别离散光谱对总体建模效果的影响,对 A、B 组分别剔除了明显偏离中心的光谱。其中, A 组剔除的光谱有:A - 02、A - 06、A - 17;B 组剔除的光谱有:B - 05、B - 26、B - 32、B - 51。剔除后得到图 4 中更加平滑的全波段光谱图。如表 4 所示,优化后建立的模型评定指标有所好转。因此,该试验下采用剔除异常光谱的优化方法有助于提高模型的准确性和预测精度。

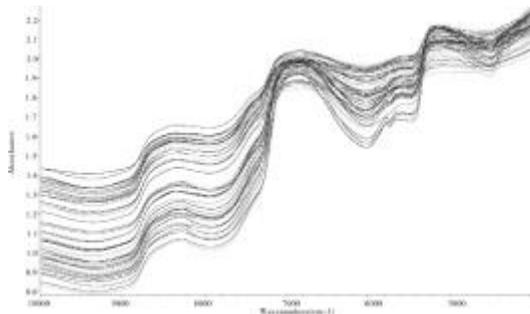


图4 a

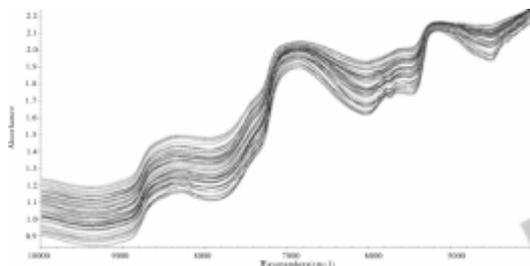


图4 b

图4 a、b 分别为A、B 两组剔除异常光谱后的平滑光谱图
Fig. 4 a, b are the smooth spectrum of the A and B groups after removing the anomalous spectrum

表4 剔除异常光谱对A、B 两组模型各评定指标值

Table 4 Excluding the anomalous spectrum for each of the A and B models

A 组				
	R_c	RMSEC	R_p	RMSEP
剔除前	1. 73	0. 7406	0. 4806	2. 89
剔除后	0. 7669	1. 58	0. 3536	2. 67
B 组				
	R_c	RMSEC	R_p	RMSEP
剔除前	0. 9265	1. 54	0. 5620	1. 44
剔除后	0. 9346	0. 545	0. 5798	1. 38

2. 3. 3 马氏距离排序剔除优化模型

马氏距离表示数据的协方差距离,用于测量样本间的相似度,同时可以找到相似度最小的样本点,将其剔除以提高模型的准确性。如图 5 为 A、B 两组马氏距离图,红色线条所代表的样本点相似度最小,故从右向左依次剔除。A 组剔除 A - 33、A - 35、A - 43、A - 46、A - 50、A - 60 六个样本;B 组剔除 B - 36、B - 44、B - 55 三个样本。优化后的模型如图 6 所示,其 RMSEC 为 1. 55、0. 493; R_c 为 0. 7858、0. 9391;RMSEP 为 2. 92、1. 10; R_p 为 0. 4542、0. 8617。根据优化后模型的评定指标值,说明马氏距离剔除样本的优化方法可以提高模型的预测性。



图5 a



图5 b

图5 a、b 分别为A、B 组马氏距离图

Fig. 5 a, b are the A and B groups of Markov distance map

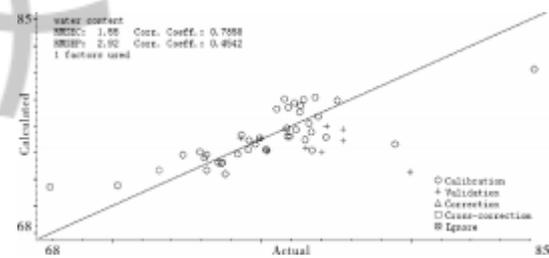


图6 a

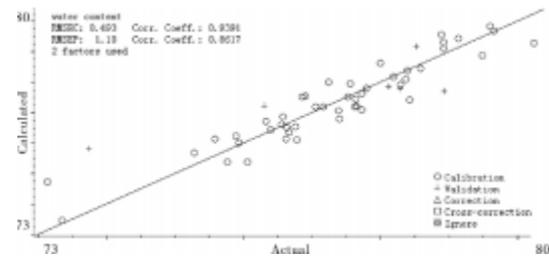


图6 b

图6 a、b 分别为A、B 组马氏距离优化后的模型关系图

Fig. 6 a and b are the model relationships of the A and B groups after the Mahalanobis distance optimization

2. 3. 4 3D分布图优化模型

3D分布图优化即空间离散数据分布，属于统计学中主成分分析法，可以减少数据集的维数且保留数据集对方差的最大贡献率。

将马氏距离剔除后的数据载入后得到如图7的3D分布图，观察样本点的三维空间离散分布情况，找到远离中心点簇的样本点，将其剔除从而进一步优化当前模型。

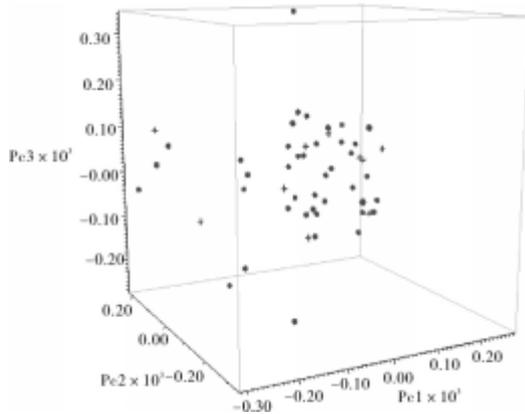


图7 a

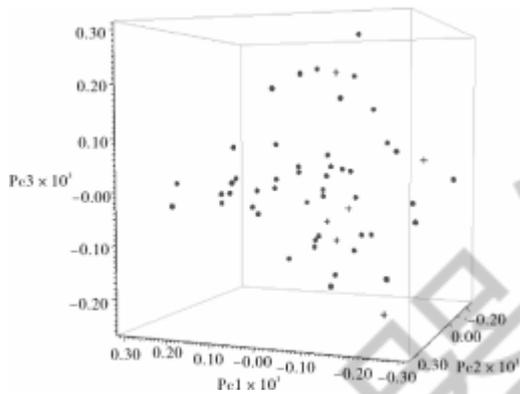


图7 b

图7 a、b分别为A、B两组标记异常数据的红外投射光谱3D分布图

Fig. 7 a and b are the 3D distribution maps of infrared projection spectra of the abnormal data of the two groups A and B respectively

如图8所示，A组共剔除三个样本A-31、A-52、A-55；B组共剔除四个样本B-04、B-38、B-40、B-43。优化后A、B两组模型的RMSEC分别降到1.29、0.453， R_c 上升至0.8261、0.9507，表明模型的判别结果更加精确。

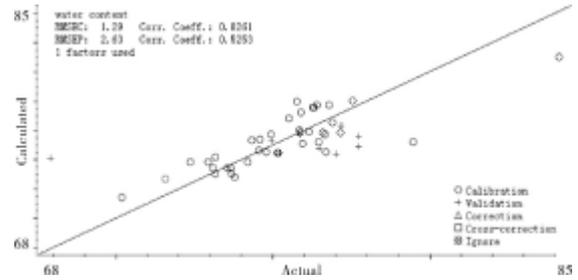


图8 a

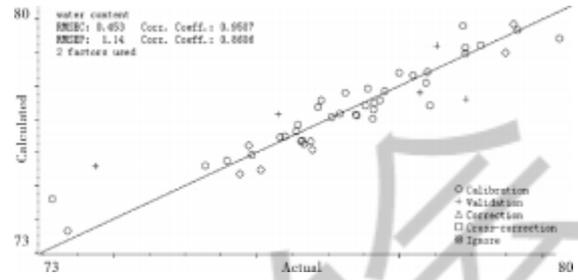


图8 b

图8 a、b分别为A、B两组通过3D分布图优化方法后的模型关系图

Fig. 8 a and b are the model relationship diagrams of the A and B groups after passing the 3D distribution map optimization method

2. 3. 5 杠杆法优化模型

利用TQ Analysis化学计量软件，计算出A、B两组样本水分含量的光谱杠杆值和学生残差值。

图9中可见，A组中化学值异常的样本有A-03、A-57；B组中化学值异常的样本有B-06、B-35，这些“坏”的杠杆点(Bad leverage)，应从样本集中剔除。

如图10所示，剔除后得到最终模型，A、B两组RMSEC分别为1.10、0.369， R_c 分别为0.8714、0.9614，RMSEP分别为2.70、1.12， R_p 分别为0.4596、0.8992。

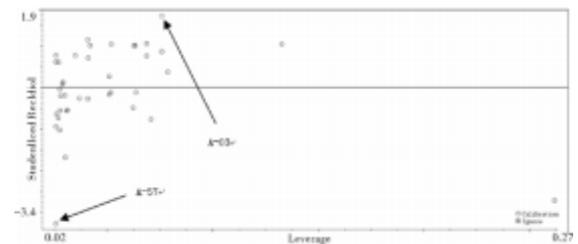


图9 a

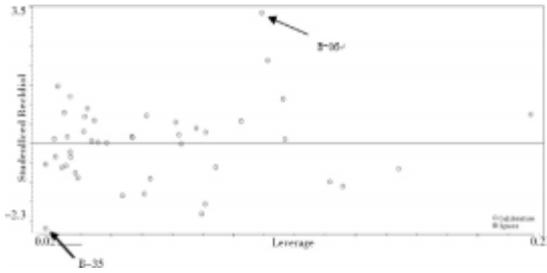


图9 b

图9 a、b分别为A、B两组的杠杆图

Fig. 9 a, b are the lever diagrams of the two groups

A and B respectively

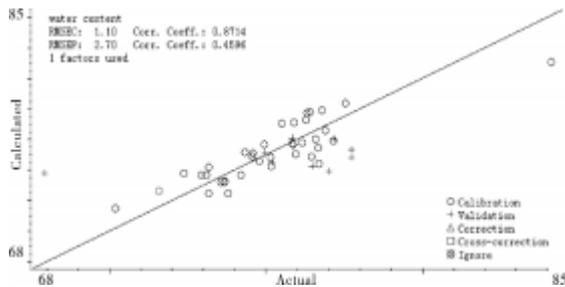


图10 a

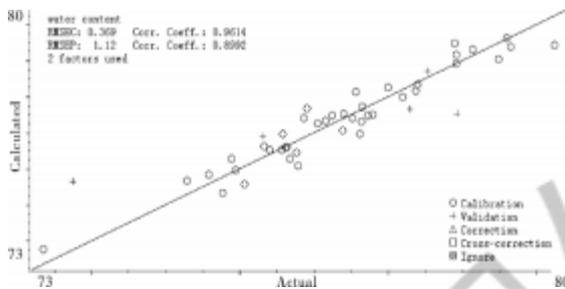


图10 b

图10 a、b分别为A、B两组近红外光谱最终模型图

Fig. 10 a and b are the final model diagrams of the near-infrared spectra of the two groups A and B respectively.

2. 4 模型的验证试验

为验证模型的准确性，本实验将直接干燥法测定的8组新鲜肉和8组长期冻藏肉水分含量与近红外光谱仪器建立的模型预测到的水分含量进行对比。比较结果如表5所示，所验证的A、B两组模型误差率为0.1%~3.11% ($p < 0.05$)，误差率较小，准确度较高。虽然会出现极个别误差较大的预测样本，但总体误差结果在可接受范围内，故模型建立成功，且B组长期冻藏肉组模型的拟合效果明显优于A组新鲜肉组的拟合效果。

3 结论

本实验以冻藏0、3月的新鲜肉组和冻藏6、9月的长期冻藏肉组为研究对象。分别建立二者近红外光谱图与水分含量的定量关系模型，以避免使用直接干燥检测肉的品质，造成处理过程繁琐及原料的浪费。本实验选取6 200~7 200nm作为新鲜肉组模型建立的区间波段，6 400~7 400nm为长期冻藏肉

表5 A、B两组模型水分含量预测理论值与真实值对照表

Table 5 A and B models of water content prediction theoretical value and real value comparison table

样品号	直接干燥法 测水分含量/%	采用近红外光谱测定 样品的水分含量/%	测定结果 误差值/%
1号	74.98	75.10	0.12
2号	75.21	74.49	0.72
3号	77.76	75.35	2.41
4号	76.50	74.25	2.25
5号	77.18	76.00	1.18
6号	77.76	74.82	2.94
7号	77.02	73.91	3.11
8号	75.85	76.10	0.25
9号	78.93	77.43	1.5
10号	76.31	76.89	0.58
11号	77.52	77.09	0.43
12号	77.64	76.87	0.77
13号	78.29	77.61	0.68
14号	77.79	76.96	0.83
15号	78.53	78.63	0.1
16号	73.75	75.52	1.77

组模型建立的区间波段，通过不同的预处理方式和不同的异常样本剔除方法优化模型，经建模数据分析，A、B两组均选择偏最小二乘法结合二阶导数，且做不平滑处理时，所建立的近红外光谱定量分析模型结果最佳。最终所建新鲜肉和长期冻藏肉模型的相关系数分别为0.8714、0.9614，校正均方根误差分别为1.10、0.3169。最后的验证实验中，利用所建模型对未知样品的水分含量进行预测，所得预测值与直接干燥法所测量的真实值进行对比，结果显示，所建模型能够较好地预测新鲜肉与长期冻藏肉的水分

含量值, 达到快速检测定量分析的作用。

参考文献

- 1 孙振. 中国肉类局部均衡模型研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- 2 何加伟. 基于高光谱图像技术的冷冻食品品质的无损检测研究 [D]. 天津: 天津商业大学硕士学位论文, 2016.
- 3 张秋, 肖平辉. 从“僵尸肉”事件谈肉制品安全风险管 理 [J]. 肉类研究, 2016, (10):49 - 52
- 4 刘国信. “僵尸肉”不必“撕”, “走私肉”须严打 [J]. 四川 畜牧兽医, 2015, 42(9):18
- 5 叶毅飞, 胡健声, 朱声涛. 应用全自动荧光酶联免疫法检测肉类中的大肠杆菌 O157 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2016, (7) :27
- 6 林涛, 刘真真, 冯小军等. 全自动荧光酶免疫分析仪检测冻肉产品中致病菌的研究 [J]. 食品科技, 2007, (1) :216 - 219
- 7 张婷. 不同贮藏温度下牛肉新鲜度及品质变化研究 [D]. 西安: 陕西师范大学硕士学位论文. 2016.
- 8 杨潇, 郭登峰, 王祖文等. 基于电子鼻的猪肉冷冻储藏期的无损检测方法 [J]. 食品与发酵工业, 2018, (3) :247 - 252
- 9 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
- 10 孙永海, 万鹏, 于春生. 基于 BP 神经网络的大米含水量近红外检测方法 [J]. 中国粮油学报, 2008, (6) :193 - 197
- 11 王婉娇, 王松磊, 贺晓光等. 冷鲜羊肉冷藏时间和水分含量的高光谱无损检测 [J]. 食品科学, 2015, (16) :112 - 116
- 12 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
- 13 Patrizia Firmani, Silvia De Luca, Remo Bucci, Federico Marini, Alessandra Biancolillo. Near infrared (NIR) spectroscopy - based classification for the authentication of Darjeeling black tea [J]. Food Control, 2019, 100(2):188
- 14 Lorenzo De Benedictis, Christian Huck. New approach to optimize near - infrared spectra with design of experiments and determination of milk compounds as influence factors for changing milk over time [J]. Food Chemistry, 2016, 212 (1) :552 - 560
- 15 Gamal ElMasry, Da - Wen Sun, Paul Allen. Non - destructive determination of water - holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2624 - 2633
- 16 闫龙, 蒋春志, 于向鸿等. 大豆粗蛋白、粗脂肪含量近红外检测模型建立及可靠性分析 [J]. 大豆科学, 2008, (5) :833 - 837
- 17 许倩, 朱秋劲, 叶春等. 近红外光谱分析技术快速检测冰温贮藏牛肉品质 [J]. 肉类研究, 2015, (3) :23 - 26
- 18 王梦东, 王胜鹏. 适用于 3 类茶的定性分类及主要内含成分定量分析的近红外预测模型的建立 [J]. 华中农业大学学报, 2015, (1) :123 - 127
- 19 中国国家标准化管理委员会. GB 9695. 15 - 2008 肉与肉制品水分含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.