

近红外高光谱快速无接触评估冷鲜猪肉脂质氧化

Rapid and non-contact evaluation of lipid oxidation in fresh chilled pork by near-infrared hyperspectral imaging

何鸿举^{1,2} 王 魏¹ 李 波¹ 王玉玲³

HE Hong-ju^{1,2} WANG Wei¹ LI Bo¹ WANG Yu-ling³

朱亚东¹ 蒋圣启¹ 马汉军^{1,2} 陈复生²

ZHU Ya-dong¹ JIANG Sheng-qi¹ MA Han-jun^{1,2} CHEN Fu-sheng²

(1. 河南科技学院食品学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001;

3. 河南科技学院生命科技学院, 河南 新乡 453003)

(1. School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China;

2. College of Grain, Oil and Food, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;

3. School of Life Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China)

摘要:基于近红外高光谱成像技术对不同贮藏期的猪肉脂肪氧化程度进行快速无接触评估研究。采集冷鲜猪肉样品的 900~1 700 nm 反射光谱信息,经高斯滤波平滑(GFS)、移动平均值平滑(MAS)、卷积平滑(SGCS)、中值滤波平滑(MFS)、多元散射校正(MSC)、标准正态变量变换(SNV)和基线校正(BC)7种预处理后,利用偏最小二乘回归(PLSR)算法挖掘光谱信息与 2-硫代巴比妥酸(TBA)参考值之间的定量关系。结果显示,经 GFS 预处理的全波段光谱(486 个波长)构建的 GFS-PLSR 模型预测 TBA 效果较好($R_p = 0.919$, $RMSEP = 0.036$ mg/100 g)。采用回归系数法(RC),逐步回归法(Stepwise)和连续投影算法(SPA)筛选最优波长优化 GFS-PLSR 模型。结果显示,使用 RC 法从 GFS 光谱中筛选的 29 个最优波长构建的 RC-GFS-PLSR 模型预测 TBA 效果较好($R_p = 0.924$, $RMSEP = 0.034$ mg/100 g),且和 GFS-PLSR 模型预测精度相近。试验表明,利用近红外高光谱成像技术结合 RC 法预测猪肉中 TBA 值可实现猪肉脂肪氧化程度的间接快速评估。

关键词:近红外;高光谱;检测;猪肉;2-硫代巴比妥酸;脂质氧化

Abstract: The lipid oxidation of fresh chilled pork was evaluated rapidly and contactlessly by near-infrared hyperspectral imaging during different storage periods. The Gaussian filter smoothing (GFS), moving average smoothing (MAS), Savitzky-Golay convolution smoothing (SGCS), median filtering smoothing (MFS), multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variable (SNV) correction and baseline correction (BC) were used to preprocess the reflectance spectra of the pork samples at 900 ~ 1 700 nm. After the seven kinds of pretreatments mentioned above, Partial least squares regression (PLSR) model was established to explore the quantitative relationship between spectral data and the 2-thiobarbituric acid (TBA) value. As a result, the GFS-PLSR model based on full 486 wavelengths of GFS spectra showed better performance in prediction ($R_p = 0.919$, $RMSEP = 0.036$ mg/100 g). Regression coefficients (RC) method, stepwise and successive projections algorithm (SPA) were used to select optimal wavelengths to simplify the GFS-PLSR model and improve the efficiency of prediction. It was indicated that the RC-GFS-PLSR model established with the 29 optimal wavelengths selected from GFS spectra by RC showed better performance in prediction ($R_p = 0.924$, $RMSEP = 0.034$ mg/100 g), similar to GFS-PLSR model. The overall results showed that the TBA value could be quantitatively predicted by using near-infrared hyperspectral imaging technology combined with RC method, and this could be applied to realize the rapid and contact-

基金项目:河南省重大科技专项项目(编号:161100110600);中国博士后科学基金(编号:2018M632767);河南省博士后科研项目(编号:001801021);河南省青年人才托举工程项目(编号:2018HYTP008);河南省留学人员科研择优资助项目(编号:豫人社办函 2020-70-107)

作者简介:何鸿举(1983—),男,河南科技学院教授,博士。

E-mail: hongju_he007@126.com

收稿日期:2020-03-02

less evaluation of lipid oxidation in pork.

Keywords: near-infrared; hyperspectral imaging; detection; pork; TBA; lipid oxidation

随着生活水平的提高和食品安全意识的增强,人们更加关注肉品的新鲜、营养和安全。冷鲜猪肉汁液流失、肉嫩味美、安全卫生、便于切分等优点赢得消费者的认可,在日常饮食结构中有着重要地位。但猪肉脂肪含量较高,若在贮藏过程中发生脂质氧化会引起猪肉变味、变色、营养成分破坏,并且会产生大量自由基、过氧化物、有害醛酮等有毒化合物^[1]。脂质氧化的程度与脂类不饱和程度密切相关,常通过 2-硫代巴比妥酸(TBA)值间接判断^[2]。脂质氧化程度是衡量肉类品质优劣的重要指标,故对脂质的氧化程度进行定量检测可为肉的品质、货架期提供重要的评价依据。

高光谱是近年来发展起来的一种新型无损分析检测技术,具有信息量大、检测速度快、同时多组分检测、能够反映样品的综合信息等特点。该方法不需要化学试剂,对样品无接触,对环境无污染^[3-4]。与化学分析方法相比,高光谱技术集光谱测量技术、计算机技术、化学计量学技术和基础测试技术于一体,利用光谱的吸收、反射和散射效应,与化学计量学方法相结合,实现待测指标的快速、无损及定量分析,是现场快速筛查和加工过程实时检测的理想手段^[5]。目前,高光谱技术在预测肉品 TBA 值的检测方面已有报道,如 Xiong 等^[6]采用连续投影算法(SPA)筛选最优波长后构建鸡肉 TBA 的偏最小二乘回归(PLSR)预测模型,预测集相关系数为 0.801,预测集均方根误差为 0.157;采用同样的最优波长筛选方法,Wu 等^[7]构建猪肉 TBA 的 PLSR 预测模型,预测集相关系数为 0.81,预测集均方根误差为 0.33。鉴于高光谱技术的优势及巨大潜力,试验尝试挖掘 900~1700 nm 波段的高光谱信息,构建预测模型实现快速检测不同贮藏期冷鲜猪肉 TBA 值的可行性,旨在为在线、快速、无接触评估猪肉氧化程度提供理论支撑和数据参考。

1 材料与方法

1.1 原材料与主要设备

冷鲜猪肉(里脊):河南新乡高金食品有限公司;

2-硫代巴比妥酸:分析纯,上海安妍生物有限公司;

三氯乙酸:分析纯,上海山浦化工有限公司;

高光谱成像系统:HSI-eNIR-XC130 型,台湾五铃光电科技有限公司;

可见分光光度计:722N 型,上海青华科技仪器有限公司;

拍打式均质机:NAI-JZQ 型,上海那艾精密仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的预处理 在超净工作台上经去皮、剔筋、除膜、修整后,辅助钢尺人工测量将里脊进行切块处理成尺寸大小为 3.0 cm×3.0 cm×1.0 cm 的立方体肉块^[8],经多次取样最终获得 260 个试验样品,用于猪肉的 TBA 参考值测定。将得到的试验样品整齐有序地摆放在一次性带盖保鲜盒中编号、标记,置于 0~4℃冰箱中连续贮藏 2 周。

1.2.2 高光谱信息采集 每次试验开始前,从冰箱中随机取出 18 个样品,室温下放置约 30 min,同时将高光谱成像系统打开预热约 30 min,待其稳定之后进行样品的光谱信息的采集,设置系统参数为:曝光时间 4.65 ms,扫描速度 6.54 mm/s。检测波长范围为 900~1700 nm,样品扫描 5 次获得猪肉样品的高光谱图像。该图像反映的是光强度图像,需转化成反射图像,校正方法如式(1)所示。

$$I_c = \frac{I_R - I_B}{I_W - I_B}, \quad (1)$$

式中:

I_c ——校正后的反射光谱图像;

I_R ——原始高光谱图像;

I_B ——黑板图像(反射率约为 0%);

I_W ——白板图像(反射率约为 99.9%)。

1.2.3 TBA 值测定 根据文献^[6]。

1.2.4 光谱提取及预处理 确定样品图像中感兴趣区域(Range of interests, ROI),并提取 ROI 中的平均光谱作为该样品的光谱值^[9]。同时,对原始光谱信息进行预处理,以提高模型预测精度和稳定性^[10]。试验使用移动平均值平滑(MAS)、高斯滤波平滑(GFS)、S-G 卷积平滑(SGCS)、中值滤波平滑(MFS)、多元散射校正(MSC)、标准正态变量校正(SNV)、基线校正(BC)7 种方法对原始光谱进行预处理。MAS 选取点进行平均,去除数据变化剧烈的点以实现谱线平滑^[11]。GFS 适用于消除高斯噪声,对于抑制服从正态分布的噪声非常有效,可以除去密集噪声点对光谱信息的影响^[12]。SGCS 可以有效消除基线漂移、倾斜等噪声,提高光谱信噪比^[1]。MFS 在图像处理中常用于保护边缘信息,是经典的平滑噪声的方法^[13]。MSC 通过缩小漫反射造成的数据差异增强与有效成分相对应的光谱信息^[14]。SNV 主要通过消除样品表面分布不均匀、颗粒散射和光程变化而产生的光散射影响^[15]。BC 可有效估计基线因为系统内外部的影响而产生的波动,抑制基线漂移的现象,并改善信号质量^[16]。

1.2.5 模型的构建及评价 PLSR 常被用于光谱信息挖掘,适用于多因变量对多自变量的线性回归建模,特别适用于自变量存在多重相关性和样本点数少于变量个数时

的回归建模^[17]。试验中以猪肉 TBA 参考值为因变量,以波长为自变量,基于 PLSR 建立猪肉脂质氧化程度的预测模型。

试验构建的 PLSR 模型性能主要通过校正集参数和预测集参数进行评估,具体包括:校正集相关系数(R_c)、校正集均方根误差(Root mean square error of calibration, RMSEC)、预测集相关系数(R_p)、预测集均方根误差(Root mean square error of prediction, RMSEP)^[18-19]。 R_c 和 R_p 越接近于 1, RMSEC 和 RMSEP 越接近于 0, RMSEC 和 RMSEP 之间的绝对值越接近于 0, 模型精度越高、稳定性越好, 相反, 模型精度较差, 说明存在较多干扰因素^[20]。

1.2.6 最优波长的选择与模型优化 试验获取的全波段光谱(900~1 700 nm)中包含 486 个波长,数据量大、冗余信息多、运算效率低,需筛选最优波长,以提高模型运算效率^[21]。试验选用回归系数法(Regression coefficients, RC),逐步回归法(Stepwise)和连续投影算法(Successive projections algorithm, SPA)选取最优波长。其中 RC 法是在高光谱领域应用最为广泛的一种特征波长提取方法,来源于 PLSR 建模过程。Stepwise 法是一种多元线性回归模型选择最优波长的常用数学方法,以对显著水平贡献最大的自变量所对应的回归方程为基础,再逐步引入其余自变量,剔除不显著的变量。经过逐步回归,使得最后保留在模型中的自变量既是重要的,又没有严重多重共线性^[22]。SPA 法通过前向变量选择算法使矢量空间共线性最小化,消除原始光谱矩阵中冗余的信息,常用于光谱特征波长的选择^[7]。经以上 3 种方法筛选出最优波长后,以最优波长作为输入变量,建立优化模型,模型性能依然以 R 和 RMSE 评价。

1.3 数据处理

RC 法筛选最优波长和 PLSR 模型构建使用软件 Unscrambler v9.7(挪威 CAMO 公司)完成,Stepwise 法和 SPA 法筛选最优波长则使用软件 Matlab 2016a(美国 Matlab 公司)完成。

2 结果与分析

2.1 样品的 TBA 参考值

试验样品按照 He 等^[23]方法进行校正集和预测集划分,将 TBA 参考值从小到大依次排序,从连续的 4 个样品中随机选取一个划入预测集共计 65 个,其余的样品划入校正集共计 195 个。试验样品在 0~4 °C 条件下连续贮藏 14 d,测得的 260 个样品 TBA 参考值结果如表 1 所示。

2.2 样品的光谱特征

所有试验猪肉样品的光谱特征如图 1 所示。尽管这些试验样品的近红外光谱曲线高低位置不同,但总体趋

表 1 校正集和预测集 TBA 值测量结果统计

Table 1 Results of measured pork TBA values in calibration set and prediction set

样品集	mg/100 g			
	最小值	最大值	平均值	标准差
校正集	0.015 6	0.460 2	0.121 6	0.087 5
预测集	0.015 6	0.358 8	0.119 9	0.084 1

势一致,这主要源于猪肉在不同贮藏期的化学组分含量发生了变化^[24]。在近红外波段,O—H、N—H 和 C—H 等基团发生伸缩、振动、弯曲等会导致出现吸收峰,图 1 中显示,在 980 nm 和 1 200 nm 处出现明显的吸收峰,这主要分别源于猪肉化学组分中 O—H 的吸收和 C—H 的吸收所致^[25-26]。因猪肉水分含量太高(约为 75%),其他基团的近红外吸收被水分吸收所掩盖。尽管如此,可通过化学计量法挖掘光谱信息,揭示 TBA 参考值和近红外光谱信息之间的相关性。

2.3 基于全波段光谱预测 TBA 值

为进一步挖掘 TBA 值与光谱信息之间的相关性,试验采用 7 种不同的预处理方法,基于全波段光谱构建 F-PLSR 模型,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,原始光谱(RAW)经 7 种预处理后构建的 PLSR 模型(RAW-PLSR、GFS-PLSR、MAS-PLSR、SGCS-PLSR、MFS-PLSR、MSC-PLSR、SNV-PLSR、BC-PLSR)预测效果略有不同。其中,经 GFS 光谱构建的 GFS-PLSR 模型预测猪肉 TBA 值效果最好。相关系数最高($R_c=0.941$, $R_p=0.919$),均方根误差最小(RMSEC=0.029 mg/100 g, RMSEP=0.036 mg/100 g)。此外, F-PLSR 模型的 ΔE 为 0.007。说明构建的 F-PLSR 模型具有良好的鲁棒性。模型相关系数较高,说明猪肉 TBA 参考值和近红外光谱信息之间相关性很好。因此,后续波长筛选及模型优化仅采用 GFS 光谱。

2.4 最优波长的提取

试验使用 3 种方法提取最优波长,结果如表 3 所示。全波段 486 个波长经筛选后,最优波长的数量减少到 3~29 个,光谱波长减少量为 94%~99%。

2.5 基于最优波长预测 TBA 值

筛选出最优波长后,将其作为输入变量,构建基于最优波长的 PLSR 模型,结果见表 4。与 GFS-PLSR 相比,使用 RC 法构建的 RC-GFS-PLSR 模型预测效果最好,相关系数分别为 $R_c=0.941$ 、 $R_{cv}=0.920$ 、 $R_p=0.924$,且 $\Delta E=0.004$ 较低。此外,试验构建的 RC-GFS-PLSR 模型预测猪肉 TBA 值的精度高于 Wu 等^[7]在 870~1 734 nm 波段构建的 O-PLSR 模型($R_c=0.85$, RMSEC=0.47 mg/100 g)。说明选择合适的预处理(GFS)和最优波长的筛选方法(RC),可提高模型精度和稳定性。

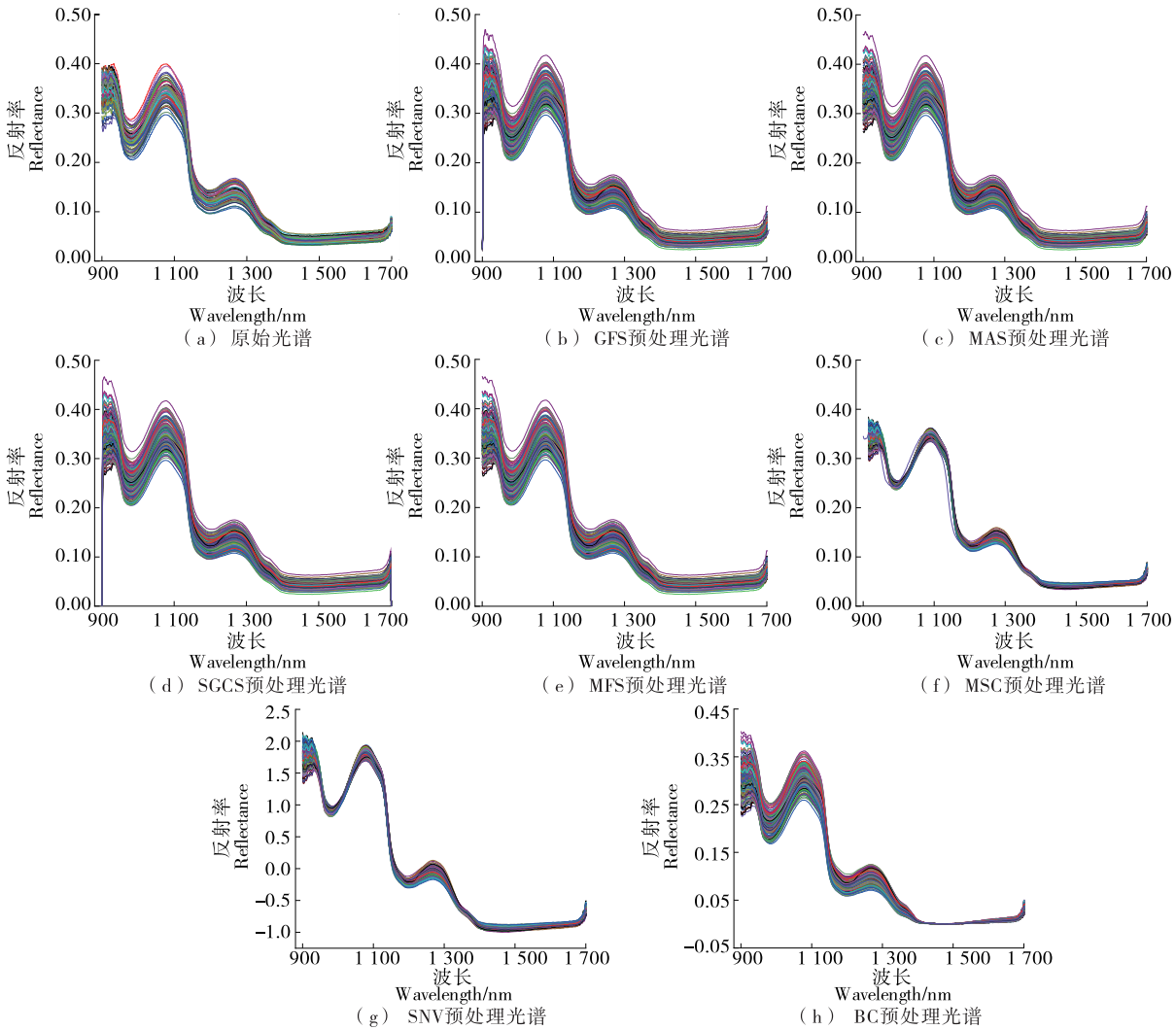


图 1 用于 TBA 测量的猪肉样品平均光谱

Figure 1 Mean spectral profiles of pork samples

表 2 PLSR 模型预测猪肉 TBA 值结果[†]

Table 2 PLSR model performance for predicting pork TBA values

预处理	模型	波长数	潜变量	校正集		交叉验证集		预测集		ΔE
				R_c	RMSEC/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	R_{cv}	RMSECV/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	R_p	RMSEP/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	
RAW	RAW-PLSR	486	16	0.940	0.023	0.905	0.037	0.913	0.036	0.013
GFS	GFS-PLSR	486	16	0.941	0.029	0.910	0.036	0.919	0.036	0.007
MAS	MAS-PLSR	486	16	0.940	0.030	0.909	0.037	0.919	0.036	0.006
SGCS	SGCS-PLSR	486	16	0.940	0.030	0.910	0.037	0.919	0.036	0.006
MFS	MFS-PLSR	486	16	0.939	0.030	0.899	0.038	0.920	0.036	0.006
MSC	MSC-PLSR	486	12	0.911	0.036	0.861	0.045	0.866	0.043	0.007
SNV	SNV-PLSR	486	12	0.914	0.035	0.863	0.044	0.869	0.043	0.008
BC	BC-PLSR	486	15	0.919	0.034	0.873	0.044	0.887	0.042	0.008

[†] ΔE :RMSEC 与 RMSEP 绝对值差。

表 3 3 种不同方法筛选最优波长结果比较

Table 3 Results of optimal wavelengths selected by three different methods

筛选方法	总波长数	最优波长数	最优波长/nm	波长减少量/%
RC	486	29	913.7,918.7,923.6,930.2,933.5,946.7,951.6,992.8,1 019.1,	94
			1 063.5,1 109.6,1 126.0,1 144.1,1 191.8,1 303.7,1 361.4,	
			1 377.8,1 394.3,1 410.8,1 428.9,1 455.3,1 473.5,1 501.5,	
			1 508.1,1 663.6,1 676.9,1 690.1,1 695.1,1 698.4	
Stepwise	486	3	938.4,1 045.4,1 080.0	99
SPA	486	8	915.4,920.3,1 002.6,1 344.9,1 364.6,1 402.5,1 473.5,1 688.5	98

表 4 GFS-PLSR 预测猪肉的 TBA 值

Table 4 Results of GFS-PLSR models for predicting pork TBA value

筛选方法	模型	波长数	变量数	校正集		交叉验证集		预测集		ΔE
				R_c	RMSEC/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	R_{cv}	RMSECV/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	R_p	RMSEP/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	
RC	RC-GFS-PLSR	29	16	0.941	0.030	0.920	0.034	0.924	0.034	0.004
Stepwise	S-GFS-PLSR	3	2	0.474	0.077	0.458	0.078	0.501	0.073	0.004
SPA	SPA-GFS-PLSR	8	3	0.486	0.076	0.395	0.081	0.402	0.077	0.001

3 结论

通过 900~1 700 nm 波段的高光谱信息结合不同的预处理和最优波长提取方法构建猪肉 2-硫代巴比妥酸值的预测模型,探究猪肉脂质氧化程度的快速无接触评估。经高斯滤波平滑(GFS)预处理光谱构建的全波段 GFS-PLSR 模型预测猪肉 2-硫代巴比妥酸值效果较好;使用回归系数法(RC)从高斯滤波平滑光谱中筛选出 29 个最优波长构建的 RC-GFS-PLSR 模型预测猪肉 2-硫代巴比妥酸值效果较好($R_p=0.924$, $\text{RMSEP}=0.034 \text{ mg}/100 \text{ g}$),且略高于 GFS-PLSR 模型精度。试验表明近红外高光谱技术结合偏最小二乘回归(PLSR)模型可实现对冷鲜猪肉的脂质氧化程度的无损快速评估。

参考文献

[1] 张雷蕾,李永玉,彭彦昆,等. 基于高光谱成像技术的猪肉新鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 254-259.

[2] 张玉斌,邵晶晶,刘金鑫,等. 天然抗氧化剂对冷却藏羊肉贮藏过程中脂质氧化影响的研究[J]. 肉类工业, 2017(12): 13-18.

[3] 刘峥,殷勇. 基于高光谱技术的香肠亚硝酸盐快速检测方法[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 78-82.

[4] 王光辉,殷勇. 基于高光谱融合神经网络的玉米黄曲霉毒素 B₁ 和赤霉烯酮含量预测[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 64-69.

[5] 谢安国,康怀彬,王飞翔,等. 高光谱成像检测煎制中调理牛肉品质的变化[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 20-23, 54.

[6] XIONG Zheng-jie, SUN Da-wen, PU Hong-bin, et al. Non-destructive prediction of thiobarbituric acid reactive

substances (TBARS) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging[J]. Food Chemistry, 2015, 179: 175-181.

[7] WU Xiang, SONG Xing-lin, QIU Zheng-jun, et al. Mapping of TBARS distribution in frozen-thawed pork using NIR hyperspectral imaging[J]. Meat Science, 2016, 113: 92-96.

[8] 王慧,何鸿举,张海曼,等. 高光谱成像技术快速预测冷鲜鸡胸肉的嫩度[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(2): 164-170.

[9] HE Hong-ju, SUN Da-wen. Selection of informative spectral wavelength for evaluating and visualising enterobacteriaceae contamination of salmon flesh[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(10): 2 427-2 436.

[10] 郭中华,郑彩英,金灵. 基于近红外高光谱成像的冷鲜羊肉表面细菌总数检测[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 66-68.

[11] 毛莎莎,曾明,何绍兰,等. 哈姆林甜橙果实内在品质的可见—近红外漫反射光谱无损检测法[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 258-263.

[12] DAI Qiong, SUN Da-wen, XIONG Zheng-jie, et al. Recent advances in data mining techniques and their applications in hyperspectral image processing for the food industry[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(5): 891-905.

[13] 赵高长,张磊,武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用[J]. 应用光学, 2011, 32(4): 678-682.

[14] JIA Bei-bei, YOON S C, ZHUANG Hong, et al. Prediction of pH of fresh chicken breast fillets by VNIR hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 208: 57-65.

[15] CHENG Wei-wei, SUN Da-wen, CHENG Jun-hu. Pork bi-

- ogenic amine index (BAI) determination based on chemometric analysis of hyperspectral imaging data[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 73: 13-19.
- [16] 潘冉冉, 骆一凡, 王昌, 等. 高光谱成像的油菜和杂草分类方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(11): 3 567-3 572.
- [17] 何鸿举, 王玉玲, 乔红, 等. 基于长波近红外光谱快速无接触评估小麦籽粒含水率[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2019, 32(1): 26-32.
- [18] HE Hong-ju, WU Di, SUN Da-wen. Potential of hyperspectral imaging combined with chemometric analysis for assessing and visualising tenderness distribution in raw farmed salmon fillets[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 126: 156-164.
- [19] PENG Yan-kun, TAO Fei-fei, LI Yong-yu, et al. Rapid detection of total viable count of chilled pork using hyperspectral scattering technique[J]. Proc of Spie, 2010, 7 676: 76760K1-76760K8.
- [20] HE Hong-ju, SUN Da-wen, WU Di. Rapid and real-time prediction of lactic acid bacteria (LAB) in farmed salmon flesh using near-infrared (NIR) hyperspectral imaging combined with chemometric analysis[J]. Food Research International, 2014, 62: 476-483.
- [21] EIMASRY G, SUN Da-wen, PAUL A. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2 624-2 633.
- [22] FENG Yao-ze, SUN Da-wen. Determination of total viable count (TVC) in chicken breast fillets by near-infrared hyperspectral imaging and spectroscopic transforms[J]. Talanta, 2013, 105: 244-249.
- [23] HE Hong-ju, SUN Da-wen. Toward enhancement in prediction of Pseudomonas counts distribution in salmon fillets using NIR hyperspectral imaging[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 11-18.
- [24] 何鸿举, 王玉玲, 乔红, 等. NIR 光谱法快速预测小麦籽粒干物质含量[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2019, 32(1): 36-41.
- [25] 刘欣, 马金爽, 张晓青, 等. 基于近红外技术快速检测青金桔果粉中 β -胡萝卜素含量[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(3): 31-36.

(上接第 97 页)

- [4] 张方舟, 陈荣冰, 李元钦, 等. 不同湿度做青环境对乌龙茶香气的影响[J]. 福建农业学报, 1999, 14(4): 34-37.
- [5] 王秀萍, 金心怡. 乌龙茶做青环境调控的研究现状及发展思路[J]. 福建茶叶, 2001(1): 3-5.
- [6] 陈孝照. 乌龙茶连续做青自动控制系统的设计[J]. 福建农机, 2015(2): 33-36.
- [7] 何静, 吴薇, 陈达错, 等. 武夷岩茶做青机智能温控系统的设计[J]. 福建电脑, 2019(1): 42-43.
- [8] 曹成茂, 吴正敏, 梁闪闪, 等. 茶叶杀青机双模糊控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 259-264.
- [9] 张天福. 茶树品种和制茶工艺对乌龙茶品质风格的影响[J]. 福建茶叶, 1994(3): 5-7.
- [10] 张方舟, 陈加友. 清香型乌龙茶空调做青设备及加工的关键技术[J]. 中国茶叶, 2005(1): 32-33.
- [11] 蔡金福, 郭雅铃. 空调做青对夏暑乌龙茶品质影响初报[J]. 福建茶叶, 2000(3): 10-12.
- [12] 梁彦. 基于 PLC 的马铃薯播种机施肥控制系统研究[J]. 农机化研究, 2020(10): 231-234.
- [13] 吴新道, 朱汉珍, 马文烈, 等. PLC 与模糊控制在名优茶杀青加工中的应用[J]. 农机化研究, 2008(12): 156-159.
- [14] 范杰, 王长德, 崔巍, 等. 渠道运行系统中的模糊 PID 联合控制研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(4): 59-62.
- [15] 谢守勇, 李锡文, 杨叔子, 等. 基于 PLC 的模糊控制灌溉系统的研制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 208-210.
- [16] 诸静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 207-287.

信息窗

俄农业部放宽乳清粉进口国限制要求

俄媒 Milknews 8 月 24 日报道,为满足儿童食品生产需求,俄罗斯农业部发布命令,暂时允许自食品禁运国家进口 3 000 t 乳清粉。

据悉,俄罗斯联邦政府于 2020 年 4 月 6 日颁发政府令,内容涉及禁止自制裁国家进口某些类别的食品,乳清粉包括在内。俄农业部令此次对其进行修订:由该部负责对用于生产配方乳粉(母乳代用品)的脱盐水平为 90% 的乳清粉进行全面监管,包括进口预期用途、

进口量以及进口方式等。

据俄联邦兽植局刊物《兽医与生命》统计:在俄罗斯对某些西方制裁国家实施禁运前,至少 13.6 万 t 乳清粉出口到俄罗斯,进口额度占市场总额的 65%。目前该产品的主要供应国为白俄罗斯(90%)。

该法令将于 2020 年 12 月 31 日到期,欧盟国家(主要为法国、意大利和德国)或将受益。

(来源: <http://news.foodmate.net>)