

近红外光谱快速检测食用植物油中酸价

崔芳^{1,2}, 李雪², 王督^{2,3}, 汪雪芳^{2,3}, 马飞^{2,3}, 张良晓^{2,3,4*},
胡春弟^{1*}, 李培武^{2,3,4}

(1. 湖北科技学院药学院, 咸宁 437100; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062;
3. 农业农村部油料及制品质量监督检验测试中心, 武汉 430062; 4. 湖北洪山实验室, 武汉 430070)

摘要: **目的** 建立基于近红外光谱快速测定食用植物油中酸价的分析方法。**方法** 采用冷溶剂指示剂滴定法检测 371 个食用植物油样品的酸价, 并采集样品的近红外光谱。经过标准正态变换结合一阶导数对近红外光谱进行数据预处理, 选用竞争性自适应重加权采样算法选取重要变量, 建立食用植物油酸价的偏最小二乘回归模型。**结果** 蒙特卡洛交叉验证结果显示, 食用植物油酸价预测模型的验证集决定系数 Q^2 为 0.9983, 交叉验证的均方根误差(root mean square error of cross validation, RMSECV)为 0.0461, 模型预测的独立测试集的酸价与实测值相关系数为 0.9834, 预测效果良好。**结论** 本研究建立的食用植物油酸价近红外光谱快速检测方法能够满足检测要求, 为评价或跟踪食用油品质提供快速无损的技术思路。

关键词: 食用植物油; 酸价; 近红外光谱; 化学计量学

Rapid detection of acid value of edible vegetable oil by near-infrared spectroscopy

CUI Fang^{1,2}, LI Xue², WANG Du^{2,3}, WANG Xue-Fang^{2,3}, MA Fei^{2,3}, ZHANG Liang-Xiao^{2,3,4*},
HU Chun-Di^{1*}, LI Pei-Wu^{2,3,4}

(1. School of Pharmaceutical Sciences, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China;
2. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; 3. Quality Inspection and Test Center for Oilseed Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China;
4. Hubei Hongshan Laboratory, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the rapid determination of acid value of edible vegetable oil based on near-infrared spectroscopy. **Methods** The acid values of 371 edible vegetable oil samples were detected by cold solvent indicator titration. Meanwhile, near-infrared spectra of these samples were collected. After preprocessing including standard normal variable transformation and first-order derivation, competitive adaptive re-weighted sampling was used for wavelength selection, and then a partial least square regression model was

基金项目: “十四五”国家重点研发计划重点专项(2021YFD1600101)、国家自然科学基金面上项目(31871886)、国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-12)

Fund: Supported by the “Fourteenth Five-year” National Key Research and Development Program Key Special Project (2021YFD1600101), the National Natural Science Foundation of China General Project (31871886), and the National Modern Agricultural Industrial Technology System Construction Special Project (CARS-12)

***通信作者:** 张良晓, 博士, 研究员, 主要研究方向为油料产品特异品质检测与真实性鉴别。E-mail: zhanglx@caas.cn

胡春弟, 博士, 教授, 主要研究方向为食品与药物分析。E-mail: hcd918@163.com

***Corresponding author:** ZHANG Liang-Xiao, Ph.D, Professor, Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2 Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: zhanglx@caas.cn

HU Chun-Di, Ph.D, Professor, School of Pharmaceutical Sciences, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China. E-mail: hcd918@163.com

established to predict the acid value of edible vegetable oil. **Results** Monte Carlo cross validation results showed that determination coefficient (Q^2) of this model was 0.9983 for the validation set, and the root mean square error of cross validation (RMSECV) was 0.0461. Moreover, correlation coefficient of the predicted acid values and the measured ones in the independent validation set was 0.9834, indicating the prediction effect was good. **Conclusion** The fast detection method of acid value of edible vegetable oil by near-infrared spectroscopy established in this study can meet the detection requirements, and provide a rapid and nondestructive technical idea for evaluating or tracking the quality of edible oil.

KEY WORDS: edible vegetable oil; acid value; near infrared spectroscopy; chemometrics

0 引言

食用油中所含脂类是人体必须摄入的 3 种宏量营养素之一^[1], 它不仅是机体的能量来源, 同时含有多种人体所需的营养成分, 例如多不饱和脂肪酸、生育酚、植物甾醇、角鲨烯等^[2]。然而, 食用植物油在微生物、酶和太阳光等外界环境的影响下会水解为游离脂肪酸^[3], 从而危害人体健康, 如引起各种肠胃病变、引起人体腹泻, 甚至损害肝肾功能^[4]。酸价(acid value, AV)是评价食用油中游离脂肪酸含量的质量指标^[5], 是食品安全国家标准中规定的食用植物油的强制必检项目, GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中规定了食用植物油(包括调和油)中酸价限量为 3 mg KOH/g。

滴定法是食用油酸价的经典测定方法, 食品安全国家标准规定食品中酸价的测定方法主要分为冷溶剂指示剂滴定法、冷溶剂自动电位滴定法和热乙醇指示剂滴定法。但这些检测方法耗时长、试剂耗量大、操作复杂、检测成本高、不适合现场快速检测^[6-8]。KJ 201911《食用植物油酸价、过氧化值的快速检测》利用游离脂肪酸与固化在试纸上的复合指示剂反应后试纸的颜色改变, 检测食用植物油酸价, 从而实现了食用植物油酸价的快速检测, 但仍无法避免使用化学试剂, 且测定精度有待进一步提高。

近红外光谱分析技术具备无损、测试速度快、成本低、绿色、低碳等优势^[9-11], 可实现多组分的同步测定^[9-13], 已应用于农业、食品、医疗、化工等多个领域^[14-19]。胡玉君等^[20]应用偏最小二乘法(partial least squares, PLS)和 BP 神经网络算法对芝麻油的酸价开展了定量分析研究; 冯燕玲等^[21]用 PLS 方法选取重要波长, 构建了菜籽油酸价的定量模型; 周小华等^[22]优化了光谱特征范围, 在此基础上, 采用 PLS 算法建立了花生油酸价的预测模型; 陈凤香等^[23]采用 PLS 方法建立了葵花籽毛油的酸价回归模型; 万毅等^[24]利用近红外光谱结合 PLS 算法建立了橄榄油酸价的定量分析模型; 李希熙^[25]构建了菜籽油酸价的多元线性关系回归分析预测数据模型, 确定了 30 个特征波长; RAO 等^[26]采用 PLS 算法建立了近红外定量分析花生油的酸价的模型。但上述研究仅能实现一种食用油酸价的检测, 模型通用性差,

因此, 建立常见食用植物油通用性酸价预测模型具有重要意义。

本研究以常见食用植物油作为研究对象, 运用近红外光谱仪结合化学计量学, 建立了一种高效无损的食用植物油酸价测定方法, 为快速评价食用油品质优劣提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同品牌、不同品种、不同产地、不同精炼等级的代表性食用植物油样本 371 个, 包括菜籽油 51 个、大豆油 59 个、花生油 30 个、亚麻籽油 39 个、葵花籽油 29 个、芝麻油 47 个、玉米油 34 个、茶籽油 16 个、葡萄籽油 23 个、橄榄油 43 个, 基本涵盖我国市场常见的食用油种类, 样本油均购于当地超市。

石油醚(沸程 60~90 °C)、异丙醇(分析纯)、石油醚-异丙醇混合液[由石油醚和异丙醇按 1:1 (V:V)配制, 现配现用]、氢氧化钾-乙醇标准滴定溶液[C(KOH)=0.1 mol/L]、酚酞-乙醇指示剂(10 g/L 乙醇溶液)(广东西陇科学股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

Antaris II 傅里叶变换近红外光谱仪(光谱扫描范围为 1000~2500 nm, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); CPA224S 电子分析天平(德国 Sartorius 公司); 1 mm 玻璃比色皿(宜兴市谱析光学元件有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 酸价测定

参照郭渊清等^[27]用石油醚-异丙醇混合溶液测定食用植物油酸价的滴定方法。

1.3.2 食用植物油样本的近红外光谱扫描

取样温度为 16 °C, 波长范围 1000~2500 nm 内扫描近红外光谱, 每隔 0.5 h 测定一次背景光谱, 样品池光程为 1 mm, 检测方式为透射, 以 8 cm⁻¹ 的分辨率扫描 32 次, 每个样本平行测定 3 次, 取平均值。

1.3.3 近红外光谱数据预处理

在 Matlab R2020a 数据处理软件中,使用标准正态变换(standard normal variation, SNV)结合一阶导数的预处理方法处理近红外光谱原始数据。标准正态变换可用来消除因样本分布不均匀导致的光谱差异^[28-29],而一阶导数是用来消除基线漂移,减少背景干扰^[30]。

1.3.4 食用植物油酸价预测模型的构建

本研究共计 371 个样本,按 80:20 分为训练集和测试集样本,其中 297 个训练集样本用来建立模型,74 个测试集样本用来检验与评估模型。在 Matlab R2020a 数据处理软件中,利用竞争性自适应重加权采样算法(competitive adaptive reweighted sampling, CARS)选择重要波长后构建食用植物油酸价的偏最小二乘回归模型,最后用蒙特卡洛交互检验决定系数 Q^2 和交互检验均方根误差(root mean square error of cross validation, RMSECV)来衡量模型效果^[31]。

2 结果与分析

2.1 食用植物油中酸价化学值分析

按照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》,食用油中酸价检测的原理是用有机溶剂将油脂试样溶解成样品溶液,再用氢氧化钾或氢氧化钠标准滴定溶液中和滴定样品溶液中的游离脂肪酸,以指示剂相应的颜色变化来判定滴定终点,最后通过滴定终点消耗的标准滴定溶液的体积计算油脂试样的酸价。由于本研究中检测食用油样品量大,考虑到乙醚属于公安部门管制的危险化学品,参考文献[27]方法,本研究采用石油醚-异丙醇混合液替代乙醚-异丙醇混合液溶解油脂试样。如表 1 所示,两种有机溶剂溶解油脂试样测定的酸价结果间相对偏差远小于国家标准要求的 15%和 12%的要求,无明显差异。

表 1 不同溶剂测定油脂酸价结果对照 Table 1 Results comparison of determination of acid value of oils with different solvents				
样品号	酸价/(mg KOH/g)		平均值/ (mg KOH/g)	相对偏差/%
	石油醚-异丙醇混合液	乙醚-异丙醇混合液		
1	0.25	0.26	0.26	2.77
2	0.75	0.71	0.73	3.87
3	1.20	1.26	1.23	3.45
4	2.50	2.44	2.47	1.72
5	0.84	0.86	0.85	1.66

采用传统化学方法测定食用植物油酸价的测定结果如表 2 所示,样本酸价范围较广,基本符合正态分布,适合建立模型。

表 2 食用植物油酸价化学值相关统计学参数
Table 2 Statistical parameters related to the acid value of edible vegetable oil

食用植物油酸价 /(mg KOH/g)	最小值	最大值	平均值	标准偏差
	0.05	7.10	1.23	1.08

2.2 重要波长选择及模型内部验证

在测定近红外光谱时,由于食用植物油颜色、折光指数等差异、环境因素的干扰,测定的近红外光谱直接建模,预测效果较差。因此,要对初始光谱信息预处理^[32],常见的近红外光谱预处理方法包括求导(一阶求导、二阶求导)和标准正态变换。不同光谱预处理方法的建模效果如表 3 所示,以模型的交互检验决定系数 Q^2 和 RMSECV 值作为模型指标评价参数。结果显示,采用 SNV 和一阶求导两步预处理消除干扰,模型预测效果最佳。

表 3 不同光谱预处理方法建模效果
Table 3 Modeling effects of different spectral preprocessing methods

预处理方法	Q^2	RMSECV	最佳主成分数	重要变量数
原始光谱	0.9970	0.0615	61	306
一阶导数	0.9948	0.0463	51	354
二阶导数	0.9896	0.0648	49	276
SNV	0.9877	0.1246	57	294
一阶导数+SNV	0.9983	0.0461	28	242

近红外光谱中除包含与食用植物油酸价相关信息外,还包含大量的无信息变量^[33],因此,建立食用油中酸价近红外光谱预测模型需选择重要变量。本研究选取 297 个样品作为训练集,利用 CARS 方法选取重要变量,交互检验共计算 10000 次。结果显示,基于 CARS 选取的重要变量 242 个,最佳主成分数为 28,建立的食用植物油中酸价的预测模型交互检验决定系数 Q^2 为 0.9983,交互检验的 RMSECV 为 0.0461,模型内部交互检验效果良好。

2.3 近红外光谱定量模型的验证

除了以模型自身的主要参数评价定量模型的效果外,还可以用独立测试集样本评价模型的预测能力,模型定量预测的精确度由样本的近红外预测酸价与标准方法实际测定酸价的差别来反映。定量模型建立以后,用独立测试集样本进行模型预测准确性的评价,结果如图 1 所示。

由图 1 可知,独立测试集中食用植物油验证所得到的酸价预测值与实测值的相关系数为 0.9834,表明该模型的酸价预测值与化学方法测定的真实值之间差异不显著,具有高度相关性,模型的拟合效果较好,进一步表明该模型能够用来预测酸价,可用于食用油贮存运输过程中品质优劣的评价。

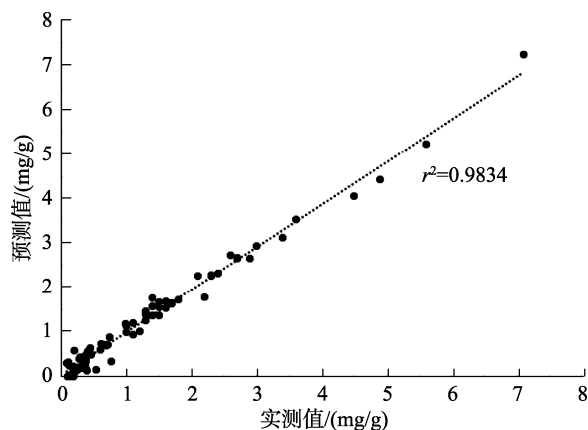


图 1 测试集样本酸价实测值和模型预测值分布

Fig.1 Distribution of measured acid value and model predicted value of test set samples

经验证, 该模型对市面上主要食用植物油的酸价均可以准确地预测。以菜籽油为例(见图 2), 菜籽油样本的测试集样本验证所得到的酸价预测值与实测值的相关系数为 0.9946, 拟合效果良好, 预测值与实测值之间无显著性差异, 表明该模型可以准确地预测菜籽油的酸价, 用近红外取代传统化学方法测定食用植物油酸价是可取的, 可以为其运输贮存过程中品质的监测控制提供技术手段支持。

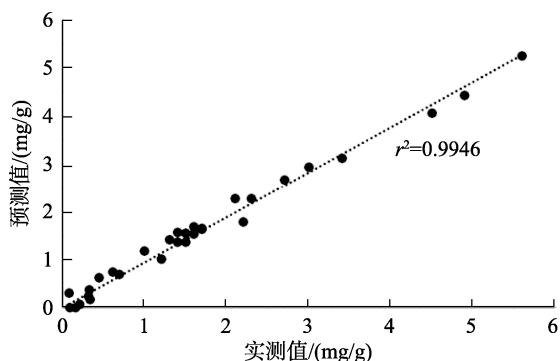


图 2 菜籽油的酸价实测值和模型预测值分布

Fig.2 Distribution of measured and predicted acid value of rapeseed oil

3 结论与讨论

本研究采集 371 个代表性研究样本的近红外吸收光谱谱图, 按照 80:20 的比例分为 297 个样品的训练集和 74 个样品的测试集, 经过 SNV 和一阶求导预处理, 利用 CARS 算法选出 242 个重要波长, 构建了食用植物油酸价的偏最小二乘回归分析预测模型, 并通过蒙特卡洛交互检验的方式评估模型有效性, 食用植物油酸价预测模型的验证集决定系数 Q^2 为 0.9983, 交互检验的均方根误差 RMSECV 为 0.0461, 且独立测试集验证所得到的酸价预测值与实测值相关系数为 0.9834, 不同食用植物油预测效果

良好。结果表明该方法可以准确预测市面上主要食用植物油的酸价。本研究结合化学计量学方法, 构建了基于近红外光谱的食用植物油酸价的快速无损测定方法, 既可避免传统方法中化学试剂的使用, 绿色环保, 又可提高检测效率, 实现快速无损检测, 为现场快速无损的监测提供了重要的技术支撑。

参考文献

- [1] BAI YY, ZHAI YJ, JI CX, *et al.* Environmental sustainability challenges of China's edible vegetable oil industry: From farm to factory [J]. *Resour Conserv Rec*, 2021, 170: 105606.
- [2] ZHANG LX, WANG SJ, YANG RN, *et al.* Simultaneous determination of tocopherols, carotenoids and phytosterols in edible vegetable oil by ultrasound-assisted saponification, LLE and LC-MS/MS [J]. *Food Chem*, 2019, 289: 313–319.
- [3] 程宁宁, 贾颖萍, 尹静梅. 现代分析仪器检测油脂过氧化值的研究进展[J]. *食品工业*, 2017, 38(6): 266–269.
CHENG NN, JIA YP, YIN JM. The research progress of modern analytical instruments in detecting the peroxide value of fats and oils [J]. *Food Ind*, 2017, 38(6): 266–269.
- [4] 周石洋, 陈玲. 食用油脂中酸价测定的研究[J]. *粮食科技与经济*, 2014, 39(4): 37–38.
ZHOU SY, CHEN L. Research on oils edible acid value determination [J]. *Food Sci Technol Econ*, 2014, 39(4): 37–38.
- [5] 邓丰. 保健食品酸价测定方法的探讨[J]. *广州化工*, 2015, 43(20): 147–149.
DENG F. Discussion on the determination method of the acid value of health food [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2015, 43(20): 147–149.
- [6] BOTOSO A EP, KAROUI R. 3D front face fluorescence spectroscopy as a tool for monitoring the oxidation level of edible vegetable oil during storage at 60 °C [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2022, 154: 112659.
- [7] YANG MX, CHEN QS, KUTSANEDZIE FYH, *et al.* Portable spectroscopy system determination of acid value in peanut oil based on variables selection algorithms [J]. *Measurement*, 2017, 103: 179–185.
- [8] ZHANG N, LI YL, WEN SS, *et al.* Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review [J]. *Food Chem*, 2021, 358: 129834.
- [9] 李雪, 杨瑞楠, 原喆, 等. 油菜籽叶绿素含量近红外光谱快速检测[J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41(1): 126–129.
LI X, YANG RN, YUAN Z, *et al.* Rapid detection of chlorophyll content in rapeseed based on near infrared spectroscopy [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2019, 41(1): 126–129.
- [10] JIANG H, LIU T, CHEN QS. Dynamic monitoring of fatty acid value in rice storage based on a portable near-infrared spectroscopy system [J]. *Spectrochim Acta A*, 2020, 240: 118620.
- [11] 冯放. 现代近红外光谱分析技术及其应用[J]. *生命科学仪器*, 2007, 5(10): 9–13.
FENG F. Modern near-infrared spectroscopy analysis technology and its application [J]. *Life Sci Instrum*, 2007, 5(10): 9–13.
- [12] 孙颖. 近红外光谱分析技术及应用进展[J]. *山东化工*, 2010, 39(2): 24–26.
SUN Y. Near-infrared spectroscopy analysis technology and application progress [J]. *Shandong Chem Ind*, 2010, 39(2): 24–26.

- [13] 王宁, 孙岱, 王玉. 近红外光谱分析技术在医药领域中的应用[J]. 山东医药, 2008, 48(5): 110–111.
WANG N, SUN D, WANG Y. Application of near-infrared spectroscopy analysis technology in the field of medicine [J]. Shandong Med, 2008, 48(5): 110–111.
- [14] 孙通, 徐惠荣, 应义斌. 近红外光谱分析技术在农产品/食品品质在线无损检测中的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1): 122–126.
SUN T, XU HR, YING YB. Research progress in the application of near-infrared spectroscopy technology in the online non-destructive testing of agricultural products/food quality [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2009, 29(1): 122–126.
- [15] JIANG H, CHEN QS. Determination of adulteration content in extra virgin olive oil using FT-NIR spectroscopy combined with the BOSS-PLS algorithm [J]. Molecules, 2019. DOI: 10.3390/molecules24112134
- [16] WANG JJ, ZAREEF M, HE PH, *et al.* Evaluation of matcha tea quality index using portable NIR spectroscopy coupled with chemometric algorithms [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(11): 5019–5027.
- [17] JIANG H, XU WD, CHEN QS. Comparison of algorithms for wavelength variables selection from near-infrared (NIR) spectra for quantitative monitoring of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cultivations [J]. Spectrochim Acta B, 2019, 214: 366–371.
- [18] SHENG R, CHENG W, LI HH, *et al.* Model development for soluble solids and lycopene contents of cherry tomato at different temperatures using near-infrared spectroscopy [J]. Postharvest Biol Technol, 2019, 156: 110952.
- [19] AGYEKUM AA, KUTSANEDZIE FYH, MINTAH BK, *et al.* Rapid and nondestructive quantification of trimethylamine by FT-NIR coupled with chemometric techniques [J]. Food Anal Methods, 2019, 12: 2035–2044.
- [20] 胡玉君, 刘翠玲, 孙晓荣, 等. 基于近红外光谱的芝麻油酸价含量的预测[J]. 中国酿造, 2014, 33(8): 131–135.
HU YJ, LIU CL, SUN XR, *et al.* Prediction of the acid value of sesame oil based on near-infrared spectroscopy [J]. China Brew, 2014, 33(8): 131–135.
- [21] 冯燕玲, 高瑀琰, 周建新. 近红外光谱法快速测定菜籽油酸值和过氧化值波长的优化[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(10): 78–81.
FENG YL, GAO YL, ZHOU JX. Optimization of wavelength for rapid determination of acid value and peroxide value of rapeseed oil by near infrared spectroscopy [J]. J Cere Oils, 2018, 31(10): 78–81.
- [22] 周小华, 张玫, 相秉仁. 近红外光谱结合区间偏最小二乘法应用于花生油酸价的测定[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(2): 62–64.
ZHOU XH, ZHANG M, XIANG BR. Application of near-infrared spectroscopy combined with interval partial least squares method to the determination of peanut oil acid value [J]. Sci Technol Cere Oils Foods, 2017, 25(2): 62–64.
- [23] 陈凤香, 包杰, 朱天仪. 近红外光谱法快速测定葵花籽油酸价和过氧化值[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(9): 151–152.
CHEN FX, BAO J, ZHU TY. Rapid determination of acid value and peroxide value of crude sunflower oil by near infrared spectroscopy [J]. J Cere Oils, 2021, 34(9): 151–152.
- [24] 万毅, 张玉, 杨华, 等. 基于近红外光谱的橄榄油理化指标快速检测模型研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 257–262.
WAN Y, ZHANG Y, YANG H, *et al.* Research on the rapid detection model of olive oil physical and chemical indicators based on near-infrared spectroscopy [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(21): 257–262.
- [25] 李希熙. 基于近红外光谱技术的菜籽油品质快速评价方法的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- LI XX. Research on rapid evaluation method of rapeseed oil quality based on near-infrared spectroscopy technology [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [26] RAO YL, XIANG BR, ZHOU XH, *et al.* Quantitative and qualitative determination of acid value of peanut oil using near-infrared spectrometry [J]. J Food Eng, 2009, 93(2): 249–252.
- [27] 郭渊清, 吴礼娥, 尚澍, 等. 用石油醚-异丙醇混合溶剂测定食用油脂的酸价[J]. 中国食品工业, 2018, 7: 71–74.
GUO YQ, WU LE, SHANG S, *et al.* Determination of acid value of edible fats and oils with petroleum ether-isopropanol mixed solvent [J]. Chin Food Ind, 2018, 7: 71–74.
- [28] 周莹. 羽绒及其混合物成份的近红外快速检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
ZHOU Y. Research on the fast detection method of down and its mixture components by near infrared [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [29] ZHAO YG, WENG YY, LU ZH. An orthogonal normal transformation of correlated non-normal random variables for structural reliability [J]. Probabilist Eng Mech, 2021, 64: 103130.
- [30] 王学顺, 戚大伟, 黄安民. 基于小波变换的木材近红外光谱去噪研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(8): 2059–2062.
WANG XS, QI DW, HUANG ANM. Research on wood near-infrared spectroscopy denoising based on wavelet transform [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2009, 29(8): 2059–2062.
- [31] ZHONG JF, QIN XL. Rapid quantitative analysis of corn starch adulteration in konjac glucomannan by chemometrics-assisted FT-NIR spectroscopy [J]. Food Anal Methods, 2016, 9: 61–67.
- [32] 章海亮, 任众财, 刘雪梅, 等. 基于可见-近红外光谱法无损检测赣南脐橙中总酸含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(23): 8985–8992.
ZHANG HL, REN ZC, LIU XM, *et al.* Non-destructive detection of total acid content in Gannan navel orange based on visible-near infrared spectroscopy [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(23): 8985–8992.
- [33] YUN YH, LI HD, DENG BC, *et al.* An overview of variable selection methods in multivariate analysis of near-infrared spectra [J]. TrAC Trend Anal Chem, 2019, 113: 102–115.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



崔芳, 硕士研究生, 主要研究方向为食品与药物分析。
E-mail: c18434376023@163.com



张良晓, 博士, 研究员, 主要研究方向为油料产品特异品质检测与真实性鉴别。
E-mail: zhanglx@caas.cn



胡春弟, 博士, 教授, 主要研究方向为食品与药物分析。
E-mail: hcd918@163.com