

近红外光谱分析技术在食用植物油分析检测中的应用

严丽霞¹, 张青青¹, 缪文彬², 沈晓芳^{1*}

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 上海出入境检验检疫局, 上海 200135)

摘要: 食用植物油的品质检测和掺伪鉴别对于保障其食用安全性以及消费者利益具有重要意义。传统的分析方法由于操作繁琐、耗时较长, 因此不能满足大量样品的实时快速检测要求。近红外光谱分析技术由于可以实现快速、无损、在线和多组分同时检测, 目前已快速发展成为一种应用于食品分析领域的新方法, 具有较大的应用前景。本文主要综述了近年来近红外光谱技术在食用植物油领域的研究及应用进展, 包括在食用植物油品种定性鉴别、掺伪检测、品质检测及其在煎炸等热加工过程中的理化指标检测等多个方面的研究, 对近红外光谱技术在食用植物油检测中的检测原理、影响因素、准确度等进行了综合分析, 同时对目前近红外光谱技术在食品领域应用存在的问题进行了分析总结, 并对今后进一步研究提出了展望。

关键词: 近红外光谱技术; 食用植物油; 建模分析

Research progress on analysis of edible vegetable oils using near-infrared spectroscopy

YAN Li-Xia¹, ZHANG Qing-Qing¹, MIAO Wen-Bin², SHEN Xiao-Fang^{1*}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shanghai 200135, China)

ABSTRACT: Detection of the quality of edible vegetable oils and differentiation of adulteration are very important for safety assurance and consumer interests. The traditional analysis methods are complicated and time-consuming, therefore they are not suitable for the requirement of real-time and rapid detection of a large number of samples. Near infrared spectroscopy (NIR), which can achieve a rapid, nondestructive, on-line and multicomponent detection at the same time, currently has rapidly grown as a kind of new method applied in analysis in food quality field with great application prospects. This paper summarized the NIR research and application progresses in the field of edible vegetable oils in recent years, mainly including species identification, adulteration judgment, quality analysis as well as typical properties detection in heating process. The detection principles, influencing factors and accuracy in edible vegetable oils detection by NIR were analyzed, meanwhile some limitations of the technology and obstacles to wider acceptance were analyzed and summarized, and further study directions and some suggestions were also proposed.

KEY WORDS: near-infrared spectroscopy, edible vegetable oil, modeling analysis

基金项目: 江苏省重点研发计划项目(BE2016635)

Fund: Supported by Research and Development Program in Jiangsu Province (BE2016635)

*通讯作者: 沈晓芳, 副教授, 主要研究方向为新型食品安全检测技术与仪器研发。E-mail: xfshen@jiangnan.edu.cn

*Corresponding author: SHEN Xiao-Fang, Associate Professor, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China. E-mail: xfshen@jiangnan.edu.cn

1 引言

近红外光(near infrared, NIR)是指波长范围为780~2526 nm, 介于可见光区与中红外区之间的电磁波。近红外光谱分析技术利用有机分子中C-H、N-H、O-H、S-H等含氢基团的X-H键的倍频和合频吸收特征, 结合一系列化学计量学方法来对物质进行定性及定量分析^[1-4]。它是结合了光谱测量技术、基础测试技术、化学计量学方法与计算机技术的一种间接分析技术, 因此在运用近红外光谱技术进行物质检测时, 需要同时配备近红外光谱仪、化学计量学软件以及相应的应用模型。由于具备无需样品预处理、非破坏性检测、绿色环保、简单快速、可实现多组分指标的同时检测及远程在线分析等优势, 近年来, 近红外光谱技术越来越广泛地应用于石油^[5,6]、农业^[7-10]、医药^[11-13]、食品^[14-20]、烟草^[21-23]、纺织^[24,25]等行业。

食用植物油与人们生活密切相关, 既是人体的重要能源和营养源, 也是食品生产加工中的重要原料^[26]。现如今, 随着人们健康生活意识的增强, 食用植物油已经取代猪油等动物性油脂成为人们日常生活中最重要的食用油。不同种类的植物油营养价值不同, 导致其售价差异悬殊, 一些不法商贩为了谋取暴利, 以假乱真、以次充好, 使得植物油产品质量与食用安全情况堪忧。植物油传统检测方法如感官分析法、气相色谱法、气相色谱-质谱联用法等与近红外光谱分析法相比前处理繁琐, 且需要大量的化学试剂、检测周期长, 因此近年来运用近红外光谱分析法对植物油进行检测分析的研究工作发展迅速。本文将对现有近红外光谱分析技术在食用植物油检测中的应用研究进行介绍, 以期近红外光谱分析技术在油脂领域今后的研究分析工作提供支持。

2 近红外光谱分析技术在食用植物油品种定性鉴别中的研究进展

近红外光谱的定性分析主要利用聚类分析和模式识别等算法进行鉴别。先对不同品种食用植物油的光谱进行测定和采集, 通过聚类分析样品的光谱特征, 根据光谱的近似程度进行分类; 或者更多的是通过模式识别算法运算, 得出已知的各品种样品的数学空间范围, 然后通过运算得出未知样品的范围来判断该未知样品属于哪一种, 建立品种判别分析数学模型, 从而实现食用植物油品种的快速定性判别。

李娟等^[27]采用簇类独立软模式识别法(soft independent modeling of class analogies, SIMCA)对大豆油、棉籽油、菜籽油、米糠油、花生油、芝麻油以及棕榈油7种植物油脂的近红外光谱数据进行建模分类识别, 分类精度和验证识别准确率均可达到100%, 充分证明了近红外光谱结合SIMCA模型应用于食用植物油鉴别分析的可

行性。Luna等^[28]运用近红外光谱技术结合支持向量机判别分析法(support vectors machine discriminant analysis, SVM-DA)及偏最小二乘判别分析法(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)对转基因大豆油和非转基因大豆油进行定性识别, 在SVM-DA中, 验证集的非转基因大豆油和转基因大豆油的识别正确率分别为100%和90%, 在PLS-DA中非转基因和转基因大豆油的识别正确率分别为100%和80%, 证明近红外光谱分析技术可以快速、无损、可靠地定性识别转基因和非转基因大豆油。Dupuy等^[29]比较了SIMCA和2种PLS-DA算法对油料地理来源的中红外光谱和初榨橄榄油5种来源的近红外光谱分析结果, 发现NIR分析中PLS-DA算法优于SIMCA分析, 可以做到100%正确分类。刘翠玲等^[30]运用NIR技术与聚类分析方法相结合, 建立了食用油种类的快速鉴定模型, 该模型对大豆油、芝麻油、玉米油和花生油的识别率和拒绝率均可达到100%, 表明了NIR光谱分析技术在食用油品种鉴别中的广阔应用前景。

3 近红外光谱分析技术在食用植物油掺伪检测中的研究进展

食用植物油的掺伪检测过程中不仅涉及到对于食用油是否掺伪的定性判别分析, 同时还需要对掺伪量进行定量分析。定量分析首先需要选择一定数量具有代表性的样品作为校正集, 通过标准的或认可的方法先测出校正集样品中我们所关心的数据, 然后采集校正集样品的近红外光谱, 采用定量分析算法建立数学模型, 实现对未知样品的定量检测。

3.1 高价食用植物油中掺入低价食用植物油

不同种类植物油售价差异悬殊, 一些不法商贩为了牟取暴利将棕榈油等低价植物油兑入到高价植物油中以降低成本, 在侵害消费者权益的同时还扰乱了食用植物油市场。

彭星星等^[31]将近红外光谱分析技术与偏最小二乘法(partial least squares, PLS)结合对核桃油中掺入大豆油、菜籽油和玉米油现象进行定量分析, 结果表明NIR方法检测出核桃油分别掺入1、2、3种油含量的模型相关系数均在99.9%以上, 可以实现快速准确的核桃油掺伪检测。Azizian等^[32]结合傅里叶近红外光谱数据和PLS方法建立了橄榄油掺假的PLS标准模型, 构建的模型数据库可以实现几分钟内正确判别特级初榨橄榄油是否掺假以及掺假油的种类和掺杂量。Dumont等^[33]运用傅里叶近红外光谱技术对不同比例的棕榈油和菜籽油二元掺假样品进行PLS建模分析, 掺假油样的基本理化指标碘值、游离脂肪酸含量和过氧化值的模型决定系数分别为0.98、0.9927和0.9722, 表明NIR技术可以对掺假油样的理化指标进行准确快速的测定。

Fadzllillah 等^[34]运用主成分分析法(principal component analysis, PCA)对芝麻油中掺入玉米油进行了定性分析, 得出模型的决定系数 r^2 为 0.992, 模型效果较好。

3.2 食用植物油中掺入非食用油

一些不法生产者为进一步降低成本, 将地沟油、矿物油等非食用油加入到食用植物油中, 并加以香精香料勾兑冒充食用植物油。长期食用这类掺假油脂会对人们的身体健康造成巨大危害, 并且这类掺假油用常规方法难以辨别, 无疑更增加了执法部门的安全监管难度。由于掺假油脂的成分相对比较复杂, 所以目前主要还是对餐饮废弃油脂以及煎炸老油掺假检测的研究较多。

张丙芳等^[35]将光纤传感技术与 NIR 方法相结合对地沟油勾兑混入九三大豆油进行检测, 采用 PCA 方法进行定性鉴别, 准确率为 100%, 同时运用 PLS 和 BP 神经网络算法建立定量分析模型, 模型决定系数和均方根误差均达到应用要求, 同时实现了地沟油掺假的定性和定量检测。Graham 等^[36]通过近红外光谱技术结合 PCA 方法, 建立了可以准确鉴别在动物饲料中掺入变质油和矿物油来替代本应该掺入到饲料中的基本蔬菜混合油及大豆油的模型。洗瑞仪等^[37]采用可见和近红外透射光谱对掺入不同含量煎炸老油的橄榄油建模分析, 并对 3 种建模方法所建模型进行优选, 实验结果表明分别采用组合区间 PLS 法和反向区间 PLS 法来优选建模光谱区域, 可以对橄榄油中分别掺杂煎炸大豆油及煎炸花生油的含量进行准确判别。

4 近红外光谱分析技术在食用植物油品质检测中的研究进展

4.1 食用植物油理化指标检测

食用植物油的各项主要指标包括各种脂肪酸含量、碘值、酸价、过氧化值及溶剂残留量等, 这些指标是反映食用植物油质量安全的重要依据。常规的检测方法不仅耗时, 并且需要大量的试剂和样品, 而利用近红外光谱技术可以实现食用植物油品质快速检测, 更方便了对食用植物油品质的监管。

4.1.1 脂肪酸含量

气相色谱法(gas chromatographic, GC)是目前脂肪酸检测较常用的方法^[38-40], 在食用植物油品种鉴别中气相色谱法依据其脂肪酸的组成和含量不同进行检测, 此外, 在掺伪检测中由于掺假后油样的脂肪酸组成与含量变化, 气相色谱法可以通过测定脂肪酸的比例, 计算掺伪量。GC 因其选择性好、高效、灵敏度高和可用于痕量分析等优点成为目前典型的仪器分析方法。但是它需要样品前处理和大量的化学试剂, 而且无法做到迅速测试和在线检测分析。而 NIR 方法大多数情况下可以不经预处理, 直接检测各种类型的样品, 能做到绿色、无损、快速地检测, 同时适

合多组分同时检测和在线检测分析, 故近年来迅速发展并被大量应用于油脂检测领域。但是 NIR 方法是一种间接的分析技术, 需要结合化学计量学软件建立模型方可分析, 同时也不适合做痕量分析。

刘娟花等^[41]采用傅里叶近红外光谱透射技术对大豆油的 5 种主要脂肪酸建立了 PLS 定量分析模型, 结果显示 5 种脂肪酸模型的预测值和化学检测值之间的标准误差均小于 10%, 说明模型的预测值和化学值之间存在较为好的线性关系。Salvador 等^[42]对橄榄油($12500\sim 4000\text{ cm}^{-1}$)近红外光谱进行多元算法分析, 对橄榄油的感官参数、主要成分以及品质指标等进行测定, 其中不饱和脂肪酸的模型相关系数为 0.84~0.96, 为橄榄油工艺参数的实时信息采集提供可能。张菊华等^[43]运用 NIR 透反射模式采集 114 个油茶籽油样品光谱, 运用竞争适应重加权采样(competitive adaptive reweighted sampling, CARS)波长变量挑选方法预处理后进行 PLS 建模分析, 预测得到茶油中油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸的含量与实际化学值较接近, 而亚麻酸的预测集相关性较差, 证明 NIR 方法可以作为茶油中主要脂肪酸含量测定的一种准确、快速、无损方法。文韬等^[44]建立了应用 NIR 技术检测茶油中脂肪酸含量的偏最小二乘回归(partial least squares regression, PLSR)模型, 优选了全光谱波段和显著性波段, 结果表明卷积平滑预处理后显著性波段建模的 PLSR 模型对油酸、亚油酸和棕榈酸的综合预测性能最优, 相关系数均达到 0.92 以上。

4.1.2 碘值

碘值可以判断食用植物油脂肪酸的不饱和度。赵武善等^[45]采用近红外透射方法分别建立了油脂的低碘值范围定标模型($6\sim 62\text{ gI}/100\text{ g}$)和高碘值范围定标模型($97\sim 134\text{ gI}/100\text{ g}$), 校正集相关系数分别为 0.999、0.998, 验证集相关系数分别达到 1.000、0.997, 表明近红外技术运用于油脂碘值快速分析是完全可行的。程欲晓等^[46]提出了运用近红外光谱方法对动植物油脂进行种类鉴别并测定其碘值, 对碘值分布范围较宽的 5 种油脂即牛羊油、棕榈仁油、蓖麻油、棕榈硬脂及椰子油的近红外光谱数据进行 PLS 运算, 建立动植物油脂中碘值的近红外光谱模型, 模型决定系数达 0.9996, 预测值相对误差小于 7%。

4.1.3 酸价与过氧化值

酸价和过氧化值是判断油脂酸败、氧化程度的指标。高媛等^[47]利用氢过氧化物与三苯基磷快速反应生成三苯基磷后在近红外光谱区域的吸收发生变化建立 PLS 模型, 对食用油过氧化值进行间接快速鉴定, 相关系数达到 0.99 以上, 模型测定结果接近国标法测定结果。陈志等^[48]运用 NIR 技术结合算法建立支持向量机回归模型(support vector regression, SVR)对植物油酸价进行预测, 结果表明正交信号校正预处理后建立的 SVR 模型具有最佳预测性能, 相关系数达到 0.93 以上, 为植物油酸价的快速检测提供了可靠方法。

4.2 食用植物油在煎炸等热加工过程中理化指标的检测

食用植物油在高温下会发生一系列的氧化、聚合、裂解和水解等反应,从而导致过氧化值、酸价、羰基价、极性化合物等指标发生变化,对人体健康产生危害。王亚鸽等^[49]为实现煎炸油在煎炸过程中羰基值的快速检测与实时监控,采集了不同混合比例、不同氧化程度的混合油以及不同煎炸时间的煎炸油近红外光谱,运用多种光谱预处理方法结合 PLS 建模分析,结果显示在 9739~6274 cm^{-1} 波数范围内,同时采用标准正态变量变换和二阶求导进行光谱预处理后 PLS 建模,模型的测定结果与传统方法测定结果线性关系良好,相关系数达到 0.9952,可用于煎炸过程中对羰基值的监控。陈秀梅等^[50]通过热处理及模拟煎炸 2 种方式制备氧化程度不同的油样,采集其 NIR 光谱,利用 PLS 建立煎炸油的极性组分定量分析模型,所建模型的校正集相关系数为 0.9965,校正均方根误差为 1.84%,验证集相关系数为 0.9936,验证均方根误差为 1.92%,模型的预测效果良好。Du 等^[51]运用傅里叶近红外光谱技术(Fourier-near infrared spectroscopy, FT-NIR)和傅里叶中红外光谱技术(Fourier-infrared spectroscopy, FT-IR)分别对当地大学食堂煎炸用油的游离脂肪酸值和过氧化值进行检测,实验结果显示在游离脂肪酸值检测中 FT-NIR 和 FT-IR 的预测能力相当,相关系数分别为 0.948 和 0.954;在过氧化值检测中 FT-NIR 方法的预测能力则明显优于 FT-IR 方法,相关系数分别为 0.953 和 0.893。Kuligowski 等^[52]利用 4 种食用植物油(橄榄油、葵花籽油、玉米油和菜籽油)的煎炸油近红外光谱数据结合 PLS 建模分析,同时检测 4 种煎炸油中的聚合物含量,模型的预测误差为 2.28%,效果较好。

5 展望

近年来,由于具有操作简单快速、绿色环保以及可在线检测等突出优势,近红外光谱技术在食品常规安全检测、生产质量控制和在线检测等方面得到了广泛应用,其在食用植物油种类鉴别、掺假鉴定及品质检测等方面的大量研究也取得了良好效果,证实了该技术在食用油领域的广阔应用前景。但是,近红外光谱技术存在其不足:(1)建立模型时必须收集大量具有代表性并且已运用标准方法测定出理化值的样品。(2)近红外模型的分析精度与测定化学值时采用的标准参考方法的分析精度直接关联,如果参考方法的精度不够,则建立的近红外光谱模型无法分析得到满意结果。(3)近红外模型建立后,需要不断地维护改进,扩充样品库。此外,食品本身成分复杂,且食品生产过程中产地、采收时间存在差异以及各种食品掺伪手段日趋复杂,这些都给近红外光谱技术在食品检测中的应用带来了挑战。因此,需要进一步探索优化模型算法和光谱预处理

方法,建立稳定、精确、通用性好的模型,建立起一类食品的专用模型数据库,实现数据共享。同时开发适应现代工厂化生产的近红外光谱在线检测装置,应用到实际生产中,而不是仅仅停留在实验室阶段。相信随着近红外光谱仪器性能、模型算法及光谱预处理方法的快速发展,以及食品品质安全分析中各种更加准确的标准方法的出现,近红外光谱技术在食用油及其他食品检测中会得到更加广泛的应用。

参考文献

- [1] 李民赞. 光谱分析技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Li MZ. Spectral analysis technique and application [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [2] 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.
Lu WZ. The near infrared spectral analysis technology [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2007.
- [3] 石德芝. 近红外光谱分析技术的应用综述[J]. 科技信息, 2009, (33): 433-455.
Shi DZ. Near infrared spectroscopy technology review [J]. Sci Technol Inf, 2009, (33): 433-455.
- [4] 严衍禄. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
Yan YL. Near infrared spectrum analysis and application [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005.
- [5] Eduardo Maia P, Jarbas José Rodrigues R, Celio P, *et al.* Quantification of biodiesel and adulteration with vegetable oils in diesel/biodiesel blends using portable near-infrared spectrometer [J]. Fuel, 2015, 160: 57-63.
- [6] Lutz OM, Bonn GK, Rode BM, *et al.* Reproducible quantification of ethanol in gasoline via a customized mobile near-infrared spectrometer [J]. Anal Chim Acta, 2014, 826: 61-68.
- [7] Hedley C, Roudier P, Maddi L. VNIR soil spectroscopy for field soil analysis [J]. Commun Soil Sci Plan, 2015, 46: 104-121.
- [8] Guo Z, Huang W, Peng Y, *et al.* Color compensation and comparison of shortwave near infrared and long wave near infrared spectroscopy for determination of soluble solids content of 'Fuji' apple [J]. Postharv Biol Technol, 2016, 115: 81-90.
- [9] Makky M, Soni P. In situ quality assessment of intact oil palm fresh fruit bunches using rapid portable non-contact and non-destructive approach [J]. J Food Eng, 2014, 120: 248-259.
- [10] Yuan LM, Cai JR, Sun L, *et al.* Nondestructive measurement of soluble solids content in apples by a portable fruit analyzer [J]. Food Anal Methods, 2016, 9(3): 785-794.
- [11] Ishikawa D, Murayama K, Awa K, *et al.* Application of a newly developed portable NIR imaging device to monitor the dissolution process of tablets [J]. Anal Bioanal Chem, 2013, 405(29): 9401-9409.
- [12] Srivastava HK, Wolfgang S, Rodriguez JD. Expanding the analytical toolbox for identity testing of pharmaceutical ingredients: Spectroscopic screening of dextrose using portable Raman and near infrared spectrometers [J]. Anal Chim Acta, 2016, 914: 91-99.
- [13] Murayama K, Ishikawa D, Genkawa T, *et al.* Image monitoring of pharmaceutical blending processes and the determination of an end point by using a portable near-infrared imaging device based on a

- polychromator-type near-infrared spectrometer with a high-speed and high-resolution photo diode array detector [J]. *Molecules*, 2015, 20(3): 4007–4019.
- [14] Lohumi S, Lee S, Lee H, *et al.* A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2015, 46(1): 85–98.
- [15] Porep JU, Kammerer DR, Carle R, On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2015, 46(2): 211–230.
- [16] Ayvaz H, Luis E, Rodriguez S. Application of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips [J]. *Food Chem*, 2015, 174: 154–162.
- [17] OuYang Q, Zhao JW, Pan WX, *et al.* Real-time monitoring of process parameters in rice wine fermentation by a portable spectral analytical system combined with multivariate analysis [J]. *Food Chem*, 2016, 190: 135–141.
- [18] Huck CW. Advances of infrared spectroscopy in natural product research [J]. *Phytochem Lett*, 2015, 11: 384–393.
- [19] 许奕翔. NIR 在食品检验及油品分析中的应用研究[D]. 福州: 福州大学, 2014.
- Xu YX. Research on the application of NIR in food inspection and conducting oil test [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2014.
- [20] 殷秀秀, 红外光谱技术用于牛奶的回归分析及模式识别研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Yin XX. The regression analysis and pattern recognition of milk based on infrared spectroscopy [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [21] 潘威, 马文广, 郑昉, 等. 用近红外光谱无损测定烟草种子淀粉含量 [J]. *烟草科技*, 2017, 50(02): 15–21.
- Pang W, Ma GW, Zheng YY, *et al.* Nondestructive determination of starch content in tobacco seeds by near infrared spectroscopy [J]. *Tobacco Sci Technol*, 2017, 50(02): 15–21.
- [22] Duan YQ, Wang JJ, Yang T, *et al.* FT-NIR spectroscopic determination of five key chemical components in tobacco sheets [J]. *Laser Infrared*, 2007, 37(10): 1058–1061.
- [23] Qin Y, Gong H. NIR models for predicting total sugar in tobacco for samples with different physical states [J]. *Infrared Phys Technol*, 2016, 77: 239–243.
- [24] 孙武勇, 何艳丽, 魏东伟, 等. 近红外光谱技术在棉纤维品质检测和产地溯源中的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(09): 146–149.
- Sun WY, He YL, Wei DW, *et al.* Near infrared spectroscopy in quality inspection and origin tracing of cotton fibers [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2017, 33(09): 146–149.
- [25] Sun T, Geng X. Determination of cotton content in cotton/ramie blended fabric by NIR spectra and variable selection methods [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2014, 34(12): 3257–3261.
- [26] Hashempour-Baltork F, Torbati M, Azadmard-Damirchi S, *et al.* Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2016, 57: 52–58.
- [27] 李娟, 范璐, 邓德文, 等. 近红外光谱法SIMCA分析七种植物油脂[C]. “科技创新与食品产业可持续发展”学术研讨会暨广东省食品学会年会论文集, 广州, 2008.
- Li J, Fan L, Deng DW, *et al.* SIMCA analysis of 7 kinds of vegetable oil and fats by near infrared spectroscopy [C]. *Sustainable development of the science and technology innovation and food product industry theory of academic seminars and Guangdong food association annual meeting in the corpus*, Guangzhou, 2008.
- [28] Luna AS, Da Silva AP, Pinho JS, *et al.* Rapid characterization of transgenic and non-transgenic soybean oils by chemometric methods using NIR spectroscopy [J]. *Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectr*, 2013, 100: 115–119.
- [29] Galtier O, Abbas O, Le Dréau Y, *et al.* Comparison of PLS1-DA, PLS2-DA and SIMCA for classification by origin of crude petroleum oils by MIR and virgin olive oils by NIR for different spectral regions [J]. *Vib Spectrosc*, 2011, 55(1): 132–140.
- [30] 刘翠玲, 位丽娜, 赵薇, 等. 近红外光谱技术在食用油种类鉴别及定量分析中的应用[J]. *中国酿造*, 2014, 33(11): 149–151.
- Liu CL, Wei LN, Zhao W, *et al.* Application of near infrared spectrum technology in identification and quantitative analysis of edible oil species [J]. *China Brew*, 2014, 33(11): 149–151.
- [31] 彭星星, 陈文敏, 乔茜华, 等. 近红外光谱技术鉴别核桃油中掺入菜籽油、大豆油及玉米油的研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(12): 106–113.
- Peng XX, Chen WM, Qiao QH, *et al.* Quantitative determination of walnut oil adulteration with rapeseed oil, soybean oil and corn oil by near infrared spectroscopy [J]. *J Chin Cere Oils Assoc*, 2015, 30(12): 106–113.
- [32] Azizian H, Mossoba MM, Fardin-Kia AR, *et al.* Developing FT-NIR and PLS1 methodology for predicting adulteration in representative varieties/blends of extra virgin olive oils [J]. *Lipids*, 2016, 51(11): 1309–1321.
- [33] Mba O, Adewale P, Dumont M J, *et al.* Application of near-infrared spectroscopy to characterize binary blends of palm and canola oils [J]. *Ind Crops Prod*, 2014, 61: 472–478.
- [34] Fadzillah NA, Che Man YB, Rohman A. FTIR spectroscopy combined with chemometric for analysis of sesame oil adulterated with corn oil [J]. *Int J Food Prop*, 2014, 17(6): 1275–1282.
- [35] 张丙芳, 苑立波, 孔庆明, 等. 近红外光谱技术快速鉴别地沟油与食用植物油的研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 10(34): 2723–2727.
- Zhang BF, Yuan LB, Kong QM, *et al.* Rapid discrimination hogwash oil and edible vegetable oil using near infrared optical fiber spectrometer technique [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2014, 10(34): 2723–2727.
- [36] Graham SF, Haughey SA, Ervin RM, *et al.* The application of near-infrared (NIR) and Raman spectroscopy to detect adulteration of oil used in animal feed production [J]. *Food Chem*, 2012, 3(132): 1614–1619.
- [37] 洗瑞仪, 黄富荣, 黎远鹏, 等. 可见和近红外透射光谱结合区间偏小二乘法(IPLS)用于橄榄油中掺杂煎炸老油的定量分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2016, 36(08): 2462–2467.
- Xian RY, Huang FR, Li YP, *et al.* Quantitative analysis of deep frying oil adulterated virgin olive oil using Vis-NIR spectroscopy with IPLS [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2016, 36(08): 2462–2467.
- [38] Jiménez-Carvelo AM, González-Casado A, Cuadros-Rodríguez L. A new analytical method for quantification of olive and palm oil in blends with other vegetable edible oils based on the chromatographic fingerprints from the methyl-transesterified fraction [J]. *Talanta*, 2017, 164: 540–547.
- [39] Semmar N, Laroussi-Mezghani S, Grati-Kamoun N, *et al.* A new simplex chemometric approach to identify olive oil blends with potentially high traceability [J]. *Food Chem*, 2016, 208: 150–160.
- [40] Monfreda M, Gobbi L, Grippa A. Blends of olive oil and seeds oils:

- Characterisation and olive oil quantification using fatty acids composition and chemometric tools. Part II [J]. *Food Chem*, 2014, 145: 584–592.
- [41] 刘娟花, 曹小华, 李小奎, 等. 傅里叶近红外透射光谱法快速测定豆油脂肪酸[J]. *广东饲料*, 2015, 24(11): 34–36.
Liu JH, Cao XH, Li XR, *et al.* Fourier infrared transmission spectra method for rapid determination of soy oil fatty acid [J]. *Guangdong Feed*, 2015, 24(11): 34–36.
- [42] Inarejos-García AM, Gómez-Alonso S, Fregapane G, *et al.* Evaluation of minor components, sensory characteristics and quality of virgin olive oil by near infrared (NIR) spectroscopy [J]. *Food Res Int*, 2013, 50(1): 250–258.
- [43] 张菊华, 卞建明, 朱向荣, 等. 近红外光谱结合化学计量学法在油茶籽油脂肪酸含量测定中的应用[J]. *科技与产业*, 2013, (12): 30–32.
Zhang JH, Bian JM, Zhu XR, *et al.* Near infrared spectroscopy combined with stoichiometric method application in camellia oil fatty acid content determination [J]. *Technol Ind*, 2013, (12): 30–32.
- [44] 文韬, 郑立章, 龚中良, 等. 基于近红外光谱技术的茶油脂肪酸含量的快速检测[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(06): 676–681.
Wen T, Zheng LZ, Gong ZL, *et al.* Rapid determination of fatty acid content in camellia oil based on near infrared spectroscopy technology [J]. *J Hunan Agric Univ (Nat Sci)*, 2016, 42(06): 676–681.
- [45] 赵武善, 陈云波, 李向阳, 等. 采用近红外透射技术分析油脂碘值[J]. *中国油脂*, 2003, 28(09): 38–40.
Zhao WS, Chen YB, Li XY, *et al.* Analysis of oil IV by using near infrared transmission technology [J]. *China Oils Fats*, 2003, 28(09): 38–40.
- [46] 程欲晓, 咸洋, 马腾洲, 等. 动植物油脂种类鉴别及其碘值测定的近红外光谱方法[J]. *理化检验(化学分册)*, 2013, 49(12): 1405–1409.
Cheng YX, Xian Y, Ma TZ, *et al.* Classification of animal and vegetable oils or fats and determination of their iodine values by near infrared spectrometry [J]. *Chem Anal (Chem Anal Part)*, 2013, 49(12): 1405–1409.
- [47] 高媛, 王宁, 于修焯, 等. 基于傅里叶近红外光谱的食用油过氧化值间接检测研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(5): 138–142.
Gao Y, Wang N, Yu XZ, *et al.* Indirect determination of peroxide value of edible oils by Fourier transform near infrared spectrum spectroscopy [J]. *J Chin Cere Oils Assoc*, 2015, 30(5): 138–142.
- [48] 陈志, 涂斌, 彭博, 等. 应用近红外光谱技术对植物油酸值预测的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40 (12): 261–264.
Chen Z, Tu B, Peng B, *et al.* Predicted on content of vegetable oil esters by near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci Technol*, 2015, 40(12): 261–264.
- [49] 王亚鸽, 张静亚, 于修焯, 等. 近红外光谱的煎炸油羰基值检测及监控研究[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(02): 105–109, 114.
Wang YG, Zhang JY, Yu XZ, *et al.* Determining and monitoring carbonyl value of frying oil in frying process by near infrared spectroscopy [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2014, 29(02): 105–109, 114.
- [50] 陈秀梅, 于修焯, 王亚鸽, 等. 基于近红外光谱的煎炸油极性组分定量分析模型构建[J]. *食品科学*, 2014, 35(02): 238–242.
Chen XM, Yu XZ, Wang YG, *et al.* Quantitative analysis calibration of polar components of frying oils based on near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2014, 35(02): 238–242.
- [51] Du, R, Lai K, Xiao Z, *et al.* Evaluation of the quality of deep frying oils with Fourier transform near-infrared and mid-infrared spectroscopy [J]. *J Food Sci*, 2012, 77(2): C261–C266.
- [52] Kuligowski J, Quintas G, Garrigues S, *et al.* Direct determination of polymerised triacylglycerides in deep-frying vegetable oil by near infrared spectroscopy using Partial Least Squares regression [J]. *Food Chem*, 2012, 131(1): 353–359.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



严丽霞, 硕士, 主要研究方向为食品质量与安全控制。

E-mail: yanlixia_jiangnan@163.com



沈晓芳, 副教授, 主要研究方向为新型食品安全检测技术与仪器研发。

E-mail: xfshen@jiangnan.edu.cn