

食用油中掺入低价动物油脂鉴别方法的研究进展

陈喆^{1,2}, 王督^{1,3}, 汪雪芳^{1,3}, 喻理^{1,3}, 马飞^{1,3}, 张良晓^{1,3,4,5*}, 李培武^{1,3,4,5}

[1. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 2. 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 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. 农业农村部油料产品质量安全风险评估实验室(武汉), 武汉 430062; 5. 湖北洪山实验室, 武汉 430070]

摘要: 动物油脂是动物脂肪组织经提取精炼而成的油脂。动物油脂因资源丰富, 具有独特风味, 广泛应用于制备食用动物油、起酥油、肉味香精, 同时也是生产肥皂、甘油和饲料的重要原料。然而, 因动物油脂价格低, 不法商贩受利益驱使在食用植物油或高价动物油脂中掺加低价动物油脂, 严重扰乱了市场秩序, 侵害消费者合法权益和身体健康。近年来, 气相色谱法与液相色谱法及其质谱联用技术、实时分析质谱法、近红外光谱法与拉曼光谱法等光谱法、低场核磁共振等技术应用于食用油掺假鉴别技术研究。本文对主要食用油掺假鉴别技术进行综述, 并对其发展趋势进行了展望, 以期为食用油中掺入低价动物油脂的鉴别技术发展提供参考。

关键词: 动物油脂; 掺假检测; 食用油; 光谱法; 色谱法; 质谱法

Research progress on identification methods of low-priced animal oil mixed in edible oils

CHEN Zhe^{1,2}, WANG Du^{1,3}, WANG Xue-Fang^{1,3}, YU Li^{1,3}, MA Fei^{1,3},
ZHANG Liang-Xiao^{1,3,4,5*}, LI Pei-Wu^{1,3,4,5}

[1. *Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China*; 2. *Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China*; 3. *Quality Inspection and Test Center for Oilseed Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China*; 4. *Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Oilseed Products (Wuhan), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China*; 5. *Hubei Hongshan Laboratory, Wuhan 430070, China*]

ABSTRACT: Animal fat is a kind of oil extracted and refined from animal tissue. Because of its rich resources and unique flavor, animal oils are widely used in the preparation of edible animal oil, shortening and meat flavor, and are also important raw materials for the production of soap, glycerin and feed. Due to the low price of animal oil, driven by interests, illegal traders add low-priced animal oil to edible vegetable oil or high-priced animal oil, which seriously disrupts the market order and infringes on the legitimate rights and interests of consumers and their health. In recent years, gas chromatography, liquid chromatography and mass spectrometry, real-time analytical mass spectrometry, near infrared spectroscopy, Raman spectroscopy and low field nuclear magnetic resonance have been applied to the identification of adulterated edible oil. This paper summarized the main identification techniques of adulteration of edible oil, and prospected its development trend, in order to provide reference for the development of identification

基金项目: 国家自然科学基金项目(31871886)、国家现代农业产业技术体系建设专项项目(CARS-12)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31871886), and the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (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

***Corresponding author:** ZHANG Liang-Xiao, Ph.D, Professor, Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China. E-mail: zhanglx@caas.cn

techniques of low-priced animal oil mixed in edible oils.

KEY WORDS: animal fat; adulteration detection; edible oils; spectroscopy; chromatography; mass spectrometry

0 引 言

动物油脂是指从动物脂肪中提取的油脂,与植物油相比,具有价格低廉、产量高、风味独特等优点^[1]。常见的动物油脂主要包括陆生温血动物油脂、家禽油脂和水产品油脂。陆生温血动物油脂主要包括猪油、牛油、羊油等。因其提取工艺简单、原料丰富、出油率高,早在远古时期人们就掌握了动物油脂的提取技术,是人类最早使用的油脂^[2]。动物油有着独特的风味和口感,是制造某些美食不可或缺的材料^[3-4]。牲畜类油脂以羊油为例,羊油可以治疗体虚、皮肤干燥,具有补虚润燥、祛风解毒的功效^[5]。禽类油脂主要以鸡油、鸭油为主,具有不饱和脂肪酸含量高、胆固醇低、香味独特等特点,被应用于方便食品的加工和糕点起酥油的生产^[6-7]。水产动物油脂常见的主要有鱼油、虾油和海兽油,含有大量对人类健康有益的药用活性成分,具有降血脂、降血压、抗癌等多种独特功效。水产动物油脂较陆生动物油和植物油相比,含有较多的不饱和脂肪酸,多不饱和脂肪酸主要以二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)为主,有降低血液中胆固醇沉淀的作用,对患有心血管疾病的中老年人有较大益处^[8-9]。但目前水产动物油脂的研究还大多集中在鱼类油脂的开发上,而对其他水产动物油脂的研究相对较少^[10]。

与食用植物油和鱼油比较,畜禽动物油饱和脂肪酸含量高,作为烹饪油的用量逐年减少。然而,随着畜禽产品产量的逐渐增加,以禽畜产品的副产物、边角料以及内脏为原料提炼的动物油产量也呈现逐渐增加趋势。在食用植物油或高价动物油脂中掺入低价动物油脂已成为不法商家攫取暴利的重要手段,这不仅仅破坏食用油市场秩序,还严重侵害了消费者的合法权利,对消费者身体健康造成安全隐患。因此,亟需建立有效的食用植物油或高价动物油脂中掺入低价动物油脂的鉴别技术^[11]。近年来,近红外光谱法与拉曼光谱等光谱法、气相色谱法与液相色谱法及其质谱联用技术、实时分析质谱法、低场核磁共振等技术应用于动物油脂掺假鉴别技术研究。光谱技术具有快速便携的优势,色谱和质谱技术等仪器设备具有灵敏度高、准确率高的特点。随着科研技术的发展,各种检测手段有很多,在解决实际问题的同时也给科研工作者在选择上造成了一定的困扰,因此本文整理综述了食用油中掺入低价动物油脂鉴别方法的研究进展,对其发展趋势进行了展望,以期对食用油掺假鉴别技术的

进一步发展提供参考。

1 基于光谱法的检测技术

1.1 近红外光谱法

近红外光谱是一种快速无损的检测技术,具有操作简单、分析时间短、样品用量少等优点^[12-16]。近红外光谱法既能实现对样品整体性的检测,也能快速测定样品的多个指标。随着化学计量学方法的发展,近红外技术在油脂的检测方面应用更加广泛^[17]。李娟等^[18]通过近红外结合化学计量学,可区分煎炸植物油中掺假动物油,模型效果良好。XU 等^[19]通过红外光谱法鉴别鱼油中掺入的陆地动物油脂(猪油、鸡油、牛油),发现鱼油中掺入猪油或鸡油比掺入牛油更容易鉴别。近红外光谱的优点是实现无损、低成本检测,尤其是最新便携式近红外仪的研制成功,可实现执法现场或企业在线鉴别。然而,基于近红外光谱的动物油掺假鉴别技术需要建立化学计量学判别模型,模型的通用性与准确率依赖于建模时选取的样品数量和样品本身的代表性。因此,要求建模样品数量大,且一般仅能实现食用植物油或高价动物油中 1 种或 2 种低价动物油的掺假鉴别。

1.2 拉曼光谱法

拉曼光谱是一种散射光谱,是指入射光照射到样品上,出现的与入射光频率不同的散射光^[20]。拉曼光谱常用于检测化学键、对称性或其他化学性质分析。LEE 等^[21]采用拉曼光谱区分常见的牛油、猪油、鸡油、鸭油,并发现可以利用拉曼峰比定量分析牛油和鸭油中猪油含量。GAO 等^[22]借助化学计量学分析比较了近红外傅立叶拉曼光谱和可见光拉曼光谱对动物脂肪的分辨能力,发现可见拉曼光谱对动物脂肪具有更好的识别能力。TAYLAN 等^[23]提出了一种新的基于拉曼光谱的猪油检测方法,采用层次聚类分析和主成分分析法成功地对掺假的黄油和猪油样品进行了分类和鉴别。拉曼光谱具有重叠少、信噪比良好等优点。但芝麻油、菜籽油等食用植物油的拉曼光谱荧光背景高,因此,排除荧光背景干扰对提高食用油中低价动物油脂掺假鉴别的准确度具有重要意义。

1.3 其他光谱检测技术

荧光光谱是指紫外光照射到物体上光子与分子之间进行能量传递,激发态的分子跃迁丧失能量伴随不同颜色和强度的荧光出现的过程,具有灵敏度高、选择性强、方法简单和用样少等优点。朱焯炜等^[24]采用总荧光光谱法结合主

成分分析法区分动物脂肪和植物油, 并建立偏最小二乘模型来测定动物脂肪与植物油混合物的比例, 此方法只需确定合适的激发和发射波长, 即可实现快速低成本的检测^[25]。激光诱导击穿光谱基本原理是利用激光脉冲对被测物体进行高温烧蚀, 诱导产生激发态等离子体, 冷却的过程中会由激发态转变成基态, 并发射出不同的光谱, 从而实现对被测物体所含元素的检测^[26]。HANASIL 等^[27]采用主成分分析法对不同冷冻方法提取的鸡脂、羊脂、牛脂和猪油的激光诱导击穿光谱信号进行分析, 实现对动物油脂的检测, 发现采用液氮法提取鸡脂、羊脂、牛脂和猪油的效果好于冰冻方法, 液氮法对动物油脂的鉴别方差达 97%。

光谱技术最大的优点是快速、低成本、无需化学试剂, 为动物油脂的现场初筛和快速检测提供技术支撑。但是光谱技术一般需要用大量的样本来建立模型。光谱技术结合先进的化学计量学方法实现多元掺伪和未知掺伪鉴别将是未来的发展方向^[11]。随着光谱技术的发展与研究, 动物油真实性鉴别技术将会更为快速、准确, 满足广大群众和市场需求。

2 基于色谱和色谱质谱联用的检测技术

2.1 气相色谱和气相色谱质谱联用技术

气相色谱法是一种利用物质的沸点、极性及吸附性质的差异来实现混合物的分离技术。气态待测化合物与柱壁的固定相接触, 使得每个化合物从柱子当中洗脱的时间不同, 通过出峰时间对化合物进行定性^[28-29]。气相色谱法对复杂样品、多组分混合物的分析中优势明显^[30]。质谱分析法是将被测化合物离子化后测定样品离子电荷比的一种方法, 通过获取样品的质谱和相关信息, 可以得到样品的定性定量结果。质谱分析具有灵敏度高、样品用量少、分析速度快、分离和鉴定可以同时进行等优点^[31]。气相色谱质谱联用法集气相色谱的高分离和质谱准确鉴定化合物结构的优势, 在食用油掺假鉴别领域广泛应用^[32]。

脂肪酸组成是食用油的重要特征指标, 常用于不同动物油的真实性鉴别^[33-35]。HEIDARI 等^[36]通过采用气相色谱质谱法检测橄榄油的脂肪酸组成实现了对橄榄油中猪油掺假的鉴别, 检测到的最低掺假比例为 5%, 方法灵敏度高。张园^[37]用气相色谱法测定了油脂中脂肪酸组成, 得到猪油的主要特征脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸和油酸, 并进一步对三酰基甘油成分进行主成分分析, 从而实现猪油的分类。LOLLI 等^[38]采用冷碱衍生制备脂肪酸甲酯的气相色谱-质谱联用方法, 对 6 只泌乳期母羊注入异丙酸后, 测定母羊乳甘油三酯中环丙脂肪酸含量, 同时此研究也是首次发现了乳脂肪中存在的甾醇酸。

除此之外, 甾醇和胆固醇也是食用动物油脂的重要标志物。魏雪冬等^[39]利用动物油脂不应含有或很少含有植

物油脂中特有的 β -谷甾醇的理论, 对 6 个地区的生鲜乳进行检测, 实现生鲜乳中植物油掺假的鉴定。CHIU 等^[40]采用气相色谱法测定食用动物脂肪中的胆固醇氧化产物, 实现对熟猪肉、生猪肉、牛肉、鱼肉的鉴别。此外, 也可以利用一些其他的指标来解决部分动植物油掺假的问题^[33]。王利爽等^[34]利用高温气相色谱法(high temperature-gas chromatography, HT-GC)和联合 HT-GC/质谱法证实了人工制品的脂质提取物中存在动物脂肪, 方法简便快速, 且在常规的检验室内即可进行操作。

2.2 液相色谱和液相色谱质谱联用技术

液相色谱-质谱联用技术是以液相色谱为分离手段, 以质谱为鉴定工具的一种分离分析技术。气相色谱不适用于不挥发物质和对热不稳定物质, 而液相色谱却不受样品的挥发性和热稳定性的限制^[41]。SCHULZE 等^[42]研究采用液相色谱技术建立了 C16:n 和 C18:n 脂肪酸甲酯的分离方法, 利用得到的 8 种脂肪酸甲酯含量不同实现对培根脂肪、鸭油、黄油、橄榄油、亚麻籽油等油脂的分类鉴别。ROHMAN 等^[43]采用高效液相色谱法和折射率检测器研究了用于鉴别猪油和其他动物脂肪(牛、羊和鸡脂肪)以及鱼肝油的三酰基甘油(triacylglycerol, TAG)的组成。KIMPE 等^[44]采用反相液相色谱-质谱联用常压化学电离法(atmospheric pressure chemical ionization, APCI)对古罗马时期的古董灯油脂样品进行分析, 发现大量的多不饱和 TAG 和微量的饱和 TAG 可以用于区分橄榄油和动物油脂, 表明通过这种方法可实现对放置时间较长的动物油脂进行鉴别。张东等^[45]采用高效液相色谱-飞行时间质谱法对比分析棕榈油、猪油、牛油和羊油的甘油三酯, 结果显示 4 种油脂的甘油三酯种类和含量均不相同, 利用主成分分析法可对 4 种油脂实现区分。磷虾油是一种具有生物活性脂质成分的来源, 适合作为一种功能性食品, 富含高浓度的长链 ω -3 脂肪酸, 尤其是 EPA 和 DHA。CASTRO-GÓMEZ 等^[46]利用超高效液相色谱/四极杆飞行时间质谱法测定了由长链 ω -3 脂肪酸水解产生的单甘脂, 鉴定最可能的分子种类及其脂肪酸组成, 实现磷虾油中掺假低价鱼油的真实性鉴别。

基于色谱和色谱联用质谱法检测技术相比其他检测技术的优势在于分析技术成熟、应用范围广、分离性能好、检测灵敏度高。但是目前, 色谱技术价格昂贵、样品前处理周期长、操作复杂、耗时费力、对仪器设备要求较高、需要专业人员操作, 制约了其在市场监管现场的使用。未来随着产品越来越精细化, 便携式气相色谱仪将会得到快速发展, 利用各种新原理的检测器也会越来越多。未来样品的前处理依旧向着更简单、更快速、更智能的方向发展。随着数据分析工作的不断发展和优化, 将会提出更多的算法, 从大规模数据中提取有效信息、智能筛选标记物, 依靠现代分析技术手段实现对于基质更复杂的样品的鉴别检

测。未来色谱和色谱联用质谱检测技术将会朝着自动化、智能化、微型化的趋势发展^[47]。

3 其他检测技术

陈文炳等^[48]通过聚合酶链反应技术(polymerase chain reaction, PCR)检测牛、羊源性成分, 结果表明建立的动物油脂 DNA 提取方法是可行的。李安等^[49]通过采用元素分析仪-稳定同位素比值质谱法开展了猪油中掺杂石蜡的鉴别技术研究。当石蜡添加量达到 10%时, 可鉴别出猪油中是否添加了石蜡。该方法简便快速, 能为动物油脂掺假行为的监管提供技术参考。赵婷婷^[50]采用低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)技术检测固态动物油脂样品, 实现了对大豆油、猪油、棕榈油的检测及餐饮废弃油脂掺假的鉴别。由于油脂掺假问题本身具有复杂性和难预见性的特点, 单一或几个指标往往难以对结果准确判断, 因此以上新技术的出现和发展, 将为油脂掺假鉴别的研究提供新的思路。

4 结论与展望

食用植物油或高价动物油中掺入低价动物油严重影响了食用油市场秩序, 威胁了消费者的生命健康, 有效的鉴别方法是市场监管的重要手段。本文综述了基于近红外光谱法、拉曼光谱等光谱法、气相色谱与液相色谱及其质谱联用技术、实时分析质谱、低场核磁共振等技术的食用油掺假鉴别技术的研究进展。基于光谱法的检测技术具有快速、低成本的优势, 未来光谱将会朝着更便携、微型化的趋势发展, 适用于现场筛查和快速检测^[51]。此外, 多元掺假是不法商法规避现有真伪鉴别技术的惯用伎俩, 建立食用植物油中多种廉价油脂勾兑掺假的现场快速鉴别技术是重要的发展方向。色谱和色谱质谱联用法检测技术成熟、应用范围广、分离性能好、检测灵敏度高, 针对不同基质样品, 核心技术的样品前处理将会向着简单、快速、绿色的方向发展, 实现靶向/非靶向指纹谱检测和特征性掺假标志物的高灵敏检测, 为食用植物油和高价动物油中廉价动物油脂的掺假鉴别提供关键技术支撑。同时, 随着信息化和智能化技术的发展, 构建食用油化学成分数据库, 发展新型数据挖掘技术, 从大规模数据中提取有效信息、筛选重要的标记物, 继而实现掺假标志物的高效提取和建立高灵敏的检测技术将成为食用油中掺入低价动物油脂鉴别技术的重要发展方向。

参考文献

- [1] 刘琳, 谢勇, 刘越, 等. 低胆固醇牛油的制备及其理化性质分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 191-199.
LIU L, XIE Y, LIU Y, *et al.* Preparation and physicochemical properties of low cholesterol butter [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(22): 191-199.

- [2] 王星光, 宋宇. 先秦至汉代动物油脂加工与应用研究[J]. 中国农史, 2019, 38(5): 26, 27-40.
WANG XG, SONG Y. Study on processing and application of animal fat from pre-Qin to Han dynasty [J]. Agric Hist Chin, 2019, 38(5): 26, 27-40.
- [3] 张杰, 薛艳霞, 李昌禹, 等. 火锅底料中两种动物油脂的风味与感官特性对比研究[J]. 中国调味品, 2020, (8): 16-19.
ZHANG J, XUE YX, LI CY, *et al.* Comparative study on flavor and sensory characteristics of two kinds of animal fats in hot pot bottom material [J]. China Cond, 2020, (8): 16-19.
- [4] 樊雨梅, 汶文文, 廖峰, 等. 驴油与 3 种常见动物油脂品质比较研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 109-112.
FAN YM, RU WW, LIAO F, *et al.* Comparative study on quality of donkey oil and three common animal fats [J]. China Oils Fats, 2019, 44(2): 109-112.
- [5] 金海燕. 药品和调料也有搭配禁忌[J]. 家庭医药, 2016, 12: 46-47.
JIN HY. Drugs and spices are also collocative contraindication [J]. Home Med, 2016, 12: 46-47.
- [6] 龙霞, 宁俊丽, 丁晓雯. 家禽油脂功能性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 263-268.
LONG X, NING JL, DING XW. Research progress on function of poultry oil [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(1): 263-268.
- [7] 李朝阳. 狮白鹅脂肪酸组成分析及其提取纯化工艺研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2018.
LI CY. Analysis of fatty acid composition of lion white goose and its extraction and purification process [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2018.
- [8] 李若谷, 李安娜, 张瑞雨, 等. 中国常见食物 ω -3 脂肪酸含量[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(3): 70-77.
LI RG, LI ANN, ZHANG RY, *et al.* The content of omega-3 fatty acids in common Chinese food [J]. Food Nutr China, 2020, 26(3): 70-77.
- [9] 张甫生, 阚建全, 邓尚贵. 水产品油脂的研究进展[J]. 中国油脂, 2007, 32(4): 7-11.
ZHANG FS, KAN JQ, DENG SG. Research progress of oil and fat in aquatic products [J]. China Oils Fats, 2007, 32(4): 7-11.
- [10] 成春到. 鱼油的保健功效[J]. 家庭科技, 2004, (1): 27.
CHENG CD. Health effect of fish oil [J]. Sci Technol Family, 2004, (1): 27.
- [11] 原喆, 窦心敬, 张良晓, 等. 基于光电磁及感官信号的食用植物油真实性快速鉴别方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, (11): 145-150.
YUAN Z, DOU XJ, ZHANG LX, *et al.* Research progress in fast identification of authenticity of edible vegetable oil based on photoelectromagnetic and sensory signals [J]. J Food Saf Qual, 2017, (11): 145-150.
- [12] 王崑, 刘连利, 仪淑敏. 地沟油鉴别检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(1): 218-225.
WANG W, LIU LL, YI SM. Research progress in identification and detection of gutter oil [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(1): 218-225.
- [13] 崔虎亮, 张亚楠, 贺霞, 等. 近红外光谱技术测定油料种子脂肪酸的研究进展[J]. 中国种业, 2020, 2: 13-18.
CUI HL, ZHANG YN, HE X, *et al.* Progress in the determination of fatty acids in oil seeds by near infrared spectroscopy [J]. China Seed Ind, 2020, 2: 13-18.

- [14] 林房, 吴丽华, 刘曼曼, 等. 近红外光谱分析技术及仪器发展概况[J]. 酿酒, 2020, 47(1): 12–16.
LIN F, WU LH, LIU MM, *et al.* Near-infrared spectroscopy and its application [J]. *Liquor Mak*, 2020, 47(1): 12–16.
- [15] 刘建学, 尹晓慧, 韩四海, 等. 便携式近红外光谱仪研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(4): 662–670.
LIU JX, YIN XH, HAN SH, *et al.* Research progress of portable near infrared spectrometer [J]. *J Henan Agric Univ*, 2019, 53(4): 662–670.
- [16] 吴宪. 近红外光谱技术在食用植物油检测中的实践研究[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(1): 34–37.
WU X. Application of near-infrared spectroscopy in the detection of edible vegetable oils [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2019, 44(1): 34–37.
- [17] 李志, 周秋香, 黎秋玲, 等. 微藻油脂含量的高效测定方法[J]. 生物技术通报, 2019, 35(12): 189–195.
LI Z, ZHOU QX, LI QL, *et al.* An efficient method for determination of lipid content in microalgae [J]. *Biotechnol Bull*, 2019, 35(12): 189–195.
- [18] 李娟, 黄木花, 燕一波, 等. 植物油中掺煎炸动物油的近红外快速无损检测[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 99–102.
LI J, HUANG MH, YAN YB, *et al.* Nir rapid nondestructive testing of vegetable oil mixed with fried animal oil [J]. *Food Mach*, 2020, 36(6): 99–102.
- [19] XU LZ, GAO F, YANG ZL, *et al.* Discriminant analysis of terrestrial animal fat and oil adulteration in fish oil by infrared spectroscopy [J]. *Int J Agric Biol Eng*, 2016, 9: 179–185.
- [20] 刘晨, 陈复生, 夏义苗, 等. 拉曼光谱技术在食品分析中的应用[J]. 食品工业, 2020, 41(4): 272–276.
LIU C, CHEN FS, XIA YM, *et al.* Application of Raman spectroscopy in food analysis [J]. *Food Ind*, 2020, 41(4): 272–276.
- [21] LEE JY, PARK JH, MUN H, *et al.* Quantitative analysis of lard in animal fat mixture using visible Raman spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2018, 254: 109–114.
- [22] GAO F, BEN-AMOTZ D, ZHOU S, *et al.* Comparison and chemical structure-related basis of species discrimination of animal fats by Raman spectroscopy using near-infrared and visible excitation lasers [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 134: 110105.
- [23] TAYLAN O, CEBI N, YILMAZ MT, *et al.* Detection of lard in butter using Raman spectroscopy combined with chemometrics [J]. *Food Chem*, 2020, 332: 127344.
- [24] 朱焯炜, 解希顺, 陈国庆. 分子荧光光谱法及其工程应用[J]. 物理通报, 2008, (9): 56–57.
ZHU CW, XIE XS, CHEN GQ. Molecular fluorescence spectroscopy and its engineering application [J]. *Phys Bull*, 2008, (9): 56–57.
- [25] MEIRA M, QUINTELLA CM, RIBEIRO E, *et al.* Prediction of concentration of animal fat in mixture with vegetable oil by multivariate calibration associated with spectrofluorimetry [J]. *Am J Agric Econ*, 2013, 4(2): 99–103.
- [26] 瞿丞, 贺雅非, 李洪军. 激光诱导击穿光谱技术在食品分析中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 264–272.
QU C, HE ZF, LI HJ. Research progress on the application of laser induced breakdown spectroscopy in food analysis [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(2): 264–272.
- [27] HANASIL NS, IBRAHIM R, DURALIM M, *et al.* Express: Signal enhancement evaluation of laser induced breakdown spectroscopy of extracted animal fats using a principal component analysis approach [J]. *Appl Spectrosc*, 2020, 74(12): 000370282091553.
- [28] 肖泽文, 王燕杰, 胡小刚. 气相色谱技术及其发展[J]. 大学化学, 2012, (3): 84–88.
XIAO ZW, WANG YJ, HU XG. Gas chromatography and its development [J]. *Univ Chem*, 2012, (3): 84–88.
- [29] 黄向荣, 绪红霞, 陈秀华, 等. 气相色谱法测定动物油脂中反式脂肪酸[J]. 中国实用医药, 2014, (6): 251–252.
HUANG XR, XU HX, CHEN XH, *et al.* Determination of trans fatty acids in animal fat by gas chromatography [J]. *China Pract Med*, 2014, (6): 251–252.
- [30] 金静, 王龙星, 陈吉平, 等. 非正常食用油鉴别新方法(二): 特征奇数碳脂肪酸的多维气相色谱-质谱检测[J]. 色谱, 2012, (11): 1100–1107.
JIN J, WANG LX, CHEN JP, *et al.* A new method for the identification of abnormal edible oils (II): Detection of characteristic odd carbon fatty acids by multi-dimensional gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2012, (11): 1100–1107.
- [31] 马先发. 气相色谱-质谱联用技术简介及应用[J]. 广东化工, 2020, 47(18): 173, 176.
MA XF. Introduction and application of gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2020, 47(18): 173, 176.
- [32] 李珍珍. 气相色谱与质谱联用技术让食品检验更高效[J]. 中国食品, 2020, (8): 115–116.
LI ZZ. Gas chromatography-mass spectrometry makes food testing more efficient [J]. *China Food*, 2020, (8): 115–116.
- [33] 刘宏超, 武英利, 杨莹, 等. 饲用油脂品质初步调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(11): 3280–3285.
LIU HC, WU YL, YANG Y, *et al.* Preliminary investigation and analysis of feed oil quality [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(11): 3280–3285.
- [34] 王利爽, 左国华, 刘宇澄. 动物油脂快速鉴定方法的研究[J]. 食品研究与开发, 2001, 22(6): 24–26.
WANG LS, ZUO GH, LIU YC. Study on rapid identification of animal fat [J]. *Food Res Dev*, 2001, 22(6): 24–26.
- [35] EVERSHED RP, DUDD SN, COPLEY MS, *et al.* Chemistry of archaeological animal fats [J]. *Accounts Chem Res*, 2002, 35(8): 660–668.
- [36] HEIDARI M, TALEBPOUR Z, ABDOLLAHPOUR Z, *et al.* Discrimination between vegetable oil and animal fat by a metabolomics approach using gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometrics [J]. *J Food Sci Technol*, 2020, 57(9): 3415–3425.
- [37] 张园. 动植物油脂在平底锅煎炸中的品质变化及甾醇氧化物的细胞毒性评价研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
ZHANG Y. Study on quality change of vegetable oils and vegetable oils in frying pan and evaluation of cytotoxicity of sterol oxides [D]. Guangzhou: Jinan University, 2020.
- [38] LOLLI V, TORAL PG, CALIGIANI A, *et al.* Determination of cyclopropanoid fatty acids in ewe milk fat by GC-MS after intravenous administration of stercularic acid [J]. *Foods*, 2020, 9(7): 9070901.
- [39] 魏雪冬, 姜毓君, 石馨, 等. 利用对 β -谷甾醇含量的检测鉴别生鲜乳中掺假植物脂肪的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(1): 71–74.
WEI XD, JIANG YJ, SHI X, *et al.* Identification of adulterated vegetable fat in fresh milk by detection of β -sitosterol content [J]. *China Anim Husb Vet Med*, 2013, 40(1): 71–74.
- [40] CHIU CW, KAO TH, CHEN BH. An improved analytical method for

- determination of cholesterol oxidation products in meat and animal fat by QuEChERS coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(13): 3561–3571.
- [41] 姚君尉. 高效液相色谱法原理及其应用[J]. *中国化工贸易*, 2020, 12(3): 118, 121.
- YAO JW. Principle and application of high performance liquid chromatography [J]. *China Chem Trade*, 2020, 12(3): 118, 121.
- [42] SCHULZE C, MERDIVAN S, FELTEN L, *et al.* Quantification of fatty acid methyl esters in various biological matrices by LC-DAD and LC-MS after one-step transesterification [J]. *Food Anal Method*, 2018, 11(8): 2244–2251.
- [43] ROHMAN A, TRIYANA K, SISMINDARI, *et al.* Differentiation of lard and other animal fats based on triacylglycerols composition and principal component analysis [J]. *Int Food Res J*, 2012, 19(2): 475–479.
- [44] KIMPE K, JACOBS PA, WAELEKENS MJ. Analysis of oil used in late Roman oil lamps with different mass spectrometric techniques revealed the presence of predominantly olive oil together with traces of animal fat [J]. *J Chromatogr A*, 2002, 937(1-2): 87–95.
- [45] 张东, 薛雅琳, 朱琳, 等. 高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱法测定棕榈油和动物脂肪甘油三酯[J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(5): 72–76.
- ZHANG D, XUE YL, ZHU L, *et al.* Determination of triglycerides in palm oil and animal fat by high performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. *Sci Technol Cere Oil Food*, 2015, 23(5): 72–76.
- [46] CASTRO-GÓMEZ MP, HOLGADO F, RODRÍGUEZ-ALCALÁ LM, *et al.* Comprehensive study of the lipid classes of krill oil by fractionation and identification of triacylglycerols, diacylglycerols, and phospholipid molecular species by using UPLC/Q ToF-MS [J]. *Food Anal Method*, 2015, 8: 2568–2580.
- [47] 邓高琼, 陈亨业, 刘瑞, 等. 气相色谱-质谱联用技术在食药检测中的应用与发展[J]. *化学试剂*, 2021, 43(5): 555–562.
- DENG GQ, CHEN HY, LIU R, *et al.* Application and development of gas chromatography-mass spectrometry in food and drug detection [J]. *Chem Reagents*, 2021, 43(5): 555–562.
- [48] 陈文炳, 邵碧英, 廖宪彪, 等. 加工食品中若干动物成分的 PCR 检测技术应用研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 338–338.
- CHEN WB, SHAO BY, LIAO XB, *et al.* Application of PCR for detection of several animal components in processed foods [J]. *Food Sci*, 2005, 26(8): 338–338.
- [49] 李安, 马红枣, 潘立刚, 等. 稳定同位素比值质谱法鉴别猪油中掺杂石蜡的研究初探[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 88–90, 94.
- LI AN, MA HZ, PAN LG, *et al.* Identification of paraffin in lard by stable isotope ratio mass spectrometry [J]. *China Oils Fats*, 2017, 42(3): 88–90, 94.
- [50] 赵婷婷. 低场核磁共振技术(LF-NMR)在动物油脂品质检测中的应用[D]. 上海: 上海理工大学, 2014.
- ZHAO TT. Application of low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) technique in quality detection of animal fat [D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2014.
- [51] 马冬红, 王锡昌, 刘利平, 等. 近红外光谱技术在食品产地溯源中的研究进展[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(4): 877–881.
- MA DH, WANG XC, LIU LP, *et al.* Research progress of near infrared spectroscopy in food origin traceability [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2011, 31(4): 877–881.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



陈 喆, 硕士研究生, 主要研究方向为粮油质量安全。

E-mail: zhechenz@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