

植物油掺伪检验技术研究进展

刘伟¹, 张敏², 张然¹, 杨颖^{1*}

(1. 山东省食品药品检验研究院, 济南 250101; 2. 成都市食品药品检验研究院, 成都 610000)

摘要: 食用植物油是重要生活必需品, 但食用油脂掺假问题比较突出。将廉价植物油掺入到高价植物油中, 可以此获得高额利润, 但这些做法极大损害了广大消费者的利益。本文主要综述了理化鉴别、仪器分析等当前植物油掺伪检验的主要方法及基本原理, 重点介绍了气相色谱、液相色谱和质谱联用等色谱技术, 红外光谱、近红外光谱、紫外和拉曼光谱等光谱技术以及核磁共振和电子鼻等现代分析技术在植物油防伪鉴别上的应用, 总结了国内外植物油掺伪检测技术的研究进展, 并对各种方法的优缺点进行了比较, 对在植物油掺伪鉴别最新研究进展和应用中存在的问题进行了分析和展望。

关键词: 植物油; 掺伪; 检测技术

Research progress on determination of adulterated vegetable oil

LIU Wei¹, ZHANG Min², ZHANG Ran¹, YANG Ying^{1*}

(1. Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250101, China; 2. Chengdu Institute for Food and Drug Control, Chengdu 610000, China)

ABSTRACT: Edible vegetable oil is an important necessity of life, but the adulteration of edible oil is more prominent. The incorporation of cheap vegetable oils into high-priced vegetable oils can bring high profits, but these practices greatly harm the interests of consumers. This paper mainly reviewed the main analytic technologies and basic principles for adulteration detection including physical and chemical identification and instrument analysis, specifically introduced the applications of chromatographic techniques (gas chromatography, liquid chromatography and mass spectrometry), spectral technique (infrared/near infrared spectrum, UV spectrum and Raman spectrum), nuclear magnetic resonance method as well as electronic nose technology. It also summarized the research progresses of domestic and foreign scholars in the research of vegetable oil adulteration detection, compared the advantages and disadvantages of various methods, and analyzed and prospected the problems in the identification of vegetable oil adulteration in latest research and application.

KEY WORDS: vegetable oil; adulteration; determination technologies

1 引言

植物油是以富含油脂的植物种仁为原料, 采用一定的加工预处理后, 经过机械压榨或溶剂浸出法等工艺提取获得粗油, 再次经过精炼后获得。我国常见的植物油有花生油、大豆油、芝麻油、菜籽油等。原油和成品油是根据

植物油的加工方式、精炼程度不同来区分的。植物油中的主要成分包括直链高级脂肪酸和甘油生成的酯, 脂肪酸包括饱和脂肪酸(软脂酸、硬脂酸等), 单不饱和脂肪酸(油酸、花生一烯酸等), 多不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸、DHA、EPA等), 同时含有甾醇、生育酚和谷维素等。不同种类植物油中的营养成分含量和脂肪酸组成也有所差异^[1]。

*通讯作者: 杨颖, 副高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。E-mail: 276265137@qq.com

*Corresponding author: YANG Ying, Senior Engineer, Shandong Institute for Food and Drug Control, No.2749, the New Lok Street, High-tech District, Jinan 250101, China. E-mail: 276265137@qq.com

近年来,一些生产经营者违法将廉价植物油掺入到高价植物油中(按营养比例要求生产的调和油除外),以此获得高额利润。如将菜籽油、棉籽油、葵花油等掺入到芝麻油中,将棕榈油、棉籽油掺入到菜籽油中,将玉米油掺入到核桃油和橄榄油中,还有的在植物油中掺入矿物油等,这些做法极大损害了广大消费者的利益^[2]。根据不同种类植物油的固有特性如色泽、气味、滋味等感官特征以及不同的化学成分和脂肪酸组成等方面的差异可以进行掺伪检测,目前已经有的真伪鉴别方法主要有常规理化法、光谱法、色谱法和核磁共振等。

2 理化鉴别方法

根据各种植物油的理化特性不同,采用测定折光指数、碘值、皂化值、不皂化物以及感官鉴定的方式检验^[3,4]。

2.1 感官鉴别法

不同的植物油具有不同的气味,这是由于原料的不同造成的。如花生油有花生的香味,大豆油(三级、四级)有豆腥味。根据气味的不同可以简单快速的鉴别其类别。方法是取少许几滴待测油样至于手背或者掌心,双手合拢后快速摩擦,发热后闻其气味;或者用玻璃容器取适量的待测油样,缓缓加热至 50℃,然后再闻其挥发出来的气味,根据所固有的气味辨别植物油的种类。

2.2 皂化法

根据皂化反应现象进行鉴别,方法是量取 1 mL 待测油样,置于锥形瓶中,先后加 1 mL 氢氧化钾(3:2, V:V)溶液和 25 mL 无水乙醇,然后接入冷凝管进行回流皂化,振荡加热约 5 min 后,加入 25 mL 沸水摇匀观察现象,若油样发生浑浊,说明待测油中可能掺入矿物油或松香。但食用油中含有高级脂肪族化合物和高级醇类等物质,也有可能产生假阳性现象。

2.3 荧光法

根据食用油具有荧光反应的现象,可利用荧光法检出是否掺有矿物油。方法是取已知的矿物油和待测油滴到滤纸上,然后用荧光灯进行照射。观察后若发现待测油样与矿物油有同样的荧光反射。说明待测油中含有此种矿物油。但是液体石蜡的存在会影响检测,不会产生荧光现象。

3 仪器分析法

3.1 光谱分析鉴别方法

3.1.1 近红外光谱法

近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIR)分析技术具有无污染、非破坏性、分析速度快等特点,被广泛应用于食品、药品等定性、定量分析领域^[5-7]。针对食用植物油的特点,可以采用偏最小二乘法建立不同植物油近红外光

谱定性定量检测模型。目前利用近红外光谱法用于检测油脂的品质多有报道。于燕波等^[8]应用近红外光谱技术建立了快速测定植物油中 4 种脂肪酸含量的方法。赵武善等^[9]通过分析油脂的碘价检测食用油的种类和比例;Lai 等^[10]利用近红外光谱法对菜籽油的掺假进行了识别;刘福莉等^[11]分析了食用调和油中花生油的含量。但结合模式识别方法对花生油掺伪成分进行鉴别的报道较少。罗香等^[12]采用近红外光谱技术采集样品的各种数据,光谱经一阶求导后,采用偏最小二乘法建立花生油中棕榈油含量的定标模型,并用交互验证法对模型做了验证。李红莲等^[13]用近红外光谱技术结合小波变换和模式识别技术鉴别花生油的真伪及掺伪成分,结果令人满意。

3.1.2 紫外光谱法

油脂的各种脂肪酸在紫外光谱区域显示出特有的吸收光谱,主要原理是利用植物油在紫外区的不同的特征吸收峰进行鉴别。朱杏冬等^[14]研究了利用紫外分光光度法测定芝麻油的掺假方法,在实验过程中发现芝麻油在 285 nm 处有较强的紫外吸收,不同于菜籽油、色拉油和大豆色拉油的特征吸收峰,利用此法可以快速鉴别芝麻油;王力清等^[15]研究了用分光光度法测定麻油的掺假情况,棉籽油与二硫化碳吡啶溶液(含 1%硫磺)在水浴中生成红色物质,棉籽油含量与红色的深浅呈正相关的特点;王耀等^[16]根据光谱曲线形状差异和吸光度大小研究了泔水油、花生油、调和油和葵花籽油的不同紫外可见光吸收光谱,可以鉴别掺兑泔水油的花生油,并能进行定量检测。

3.1.3 拉曼光谱

拉曼光谱(Raman spectra)是研究分子振动的一种光谱方法,与红外光谱有不同的原理和机制,它提供了类似的结构信息。拉曼光谱分析法是在印度科学家 C.V.拉曼(Raman)所发现的拉曼散射效应基础上建立的,分析入射光频率不同的散射光谱从而得到分子振动、转动方面的信息,并将其应用于分子结构研究。邓平建等^[17]以不同产地、不同品牌的多批次橄榄油、大豆油、玉米油、菜籽油、葵花籽油、棕榈油、棉籽油及精炼地沟油为样品,探索建立快速鉴别掺伪橄榄油的拉曼光谱聚类分析方法。在 780、532 nm 激光光源普通光栅和 532 nm 激光光源扩展光栅条件下,研究了橄榄油、低价食用植物油与精炼地沟油的拉曼光谱形态,并采用聚类分析法鉴别掺伪橄榄油。李冰宁等^[18]通过大豆原油与部分植物精炼油拉曼谱图的特征差异,并结合主成分分析-支持向量机模式识别建立了大豆原油是否掺伪的快速判别方法。邓平建等^[19]利用不同产地、不同品牌的多批次芝麻油、大豆油、玉米油、菜籽油、精炼棕榈油、精炼棉籽油及精炼地沟油为样品,在 780 nm 和 532 nm 激光光源下扫描和比较其普通、扩展及导数拉曼光谱的形态。吴静珠等^[20]划分建模集和校验集,采用拉曼光谱和距离匹配法分别建立简单背景和复杂背景的食用油掺伪快速定性识别模型。

3.2 色谱分析鉴别方法

3.2.1 气相色谱法

每种植物油品的脂肪酸组成的范围是一定的, 并已列入各种植物油的国家标准中, 这为单品种植物油掺伪鉴别提供了一定的依据。每一单品种油脂都有特征脂肪酸, 如棕榈油含有 40%~50% 的棕榈酸, 菜籽油含有芥酸, 亚麻油、大豆油含有亚麻酸, 花生油含有花生四烯酸等, 都是非常具有代表性的特征。魏明等^[21]用气相色谱法分析测定了常见植物油的脂酸组成与含量, 对其有关实验条件进行了优选, 获得常见植物油脂的脂肪酸组成与含量正常值。任小娜等^[22]以 4 种不同熔点棕榈油与 4 种芝麻油所配制的 128 个掺伪芝麻油样品为原料, 分别采用全样脂肪酸组成分析法、Sn-2 位脂肪酸组成分析法和甘三酯结构分析法对芝麻油中掺棕榈油的鉴别方法进行了研究。张宏荣^[23]利用气相色谱法研究分析纯大豆油、纯花生油以及不同浓度模拟掺伪花生油的脂肪酸组成与含量。黄飞等^[24]采用气相色谱质谱法测定了某品牌橄榄油、棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油的脂肪酸组成与含量, 并采用聚类分析软件对其相似性进行了分析。林丽敏^[25]在广泛收集不同产地芝麻油纯正样品基础上, 利用气相色谱法进行了分析并得到纯芝麻油的特征脂肪酸组成, 用它作为鉴别实际样品的基础, 对大豆油、玉米油、葵花籽油等人为掺入进行掺伪鉴别试验。

3.2.2 液相色谱法

高效液相色谱法目前主要应用在对某种食用植物油的特征伴随物的分析和检测, 如棉籽油中的棉酚, 芝麻油中的芝麻素、芝麻酚, 菜籽油中的硫代葡萄糖苷以及可能会引入植物油中有害物质的鉴别, 如各种真菌毒素、苯并芘等。Marikkar 等^[26]采用液相色谱偶联多元数据分析甘油三酯的组成变化, 以检测植物油中猪油的掺杂程度。

宁德山等^[27]针对灵芝孢子油的掺伪现象采用液相色谱指纹图法进行了定量分析。李沂光^[28]优化了测定油样中胆固醇含量的高效液相色谱法, 该方法对地沟油的鉴别准确率为 90%。为了提高食用油掺伪检测效果, 对数据的处理方法也进行了研究。Huo 等^[29]利用高效液相色谱法对纯油和掺伪的混合油进行均衡等时采样, 对油样的图谱特征数据采用了改进后的多标号算法进行分类, 该算法除了对样品能定性区分外, 还能较好地识别样品的组成成分。陈景波^[30]基于食用油的高效液相色谱数据, 提出了一个新的多标号学习矢量量化算法, 其性能更优于改进的多标号算法。

3.3 质谱分析鉴别方法

3.3.1 气相色谱-质谱联用法

采用气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析花生油与花生油香精挥发性气味的化学成分, 在识别的 50 种化合物中仅有 4 种相同成分,

可以根据这种差异进行有针对性的研究和分析试验。何小青等^[31]建立了微波辅助衍生化气质联用法测定食用植物油中的脂肪酸组成含量, 使用校正变换矩阵法建立的校正模型对花生油、菜籽油、芝麻油、棕榈油、棉籽油等多元人工合成样品进行了计算分析, 待测样品的平均预测误差均不超过 5%。杨柳等^[32]采用顶空-气质联用法得出了一种油茶籽油真伪鉴别的方法, 可测出掺假浓度大于 5% 的油茶籽油。毛丽莎等^[33]建立了食用油脂中测定柠檬烯的 GC-MS 法, 该方法对水油的鉴别灵敏度高, 判断正确率达到 100%。

3.3.2 电子鼻分析鉴别法

用电子鼻的 10 个传感器对花生油与花生油香精进行挥发性气味成分采集、数据分析和模型建立, 花生油、花生油香精的挥发性成分模型的区域区分明显, 有很强的辨识度。因此, 电子鼻识别方法可以作为鉴别花生油香精的快速方法, 气质联用法能够清晰地鉴别花生油与花生油香精挥发性化合物的成分, 可以检测花生油香精, 对食用油市场掺伪判定提供有力依据, 对此研究具有很好的社会应用价值。

电子鼻技术具有分析效率高、便于操作、良好的重现性和检测范围广等众多优点, 但是在传感器系统稳定性方面还有待提高, 环境因素影响较大, 并且容易过载或者中毒, 如果在干扰气体存在情况下, 会发生反应导致检测结果不准确, 除此以外存在缺乏通用的模式识别等数据处理算法等问题, 限制了电子鼻技术应用的发展。因此还需与其他更精确的分析技术相互补充, 以降低成本, 提高检测速度^[34]。潘磊庆等^[35]使用电子鼻系统结合主成分分析法和采用线性判别式分析法对芝麻油中掺入不同量的大豆油、玉米油和葵花籽油均能明显区分。钟诚等^[36]以电子鼻结合多元统计方法建立了特级初榨橄榄油-油茶籽油二元掺伪体系的定性鉴别方法。

3.4 碳同位素比值质谱法

稳定碳同位素示踪技术是鉴别植物油掺杂的强有力工具。最早将此技术用于食物掺杂鉴别可追溯到稳定碳同位素示踪技术是鉴别植物油掺杂的强有力工具。采用气相色谱-同位素比值质谱(gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry, GC-IRMS)和元素分析-同位素比值质谱(elemental analysis-isotope ratio mass spectrometry, EA-IRMS)技术测定待检植物油全油及其脂肪酸的稳定碳同位素比值($\delta^{13}\text{C}$), 再比较待检植物油与典型同类植物油 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间的差异, 就能确定待检植物油是否存在掺杂。如 Woodbury 等^[37,38]研究了 150 种植物油的稳定碳同位素组成, 建立了判识植物油掺杂的稳定碳同位素指标, 并能从植物商品油中检出掺杂量低至 5% 的玉米油。Kelly 等^[39]和 Angerasa 等^[40]分别建立了产自欧洲的常见植物油和产自地中海沿岸的橄榄油稳定碳同位素的判识标准。然而,

因食用植物油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其原产地密切相关,故不能简单地将国外的稳定碳同位素判识标准直接用于中国食用油的掺杂鉴别。此法也有望成为检测食用油掺伪的一种新方法。

吴玉奎等^[41]建立了元素分析-同位素比率质谱联用技术分析植物油样品的稳定碳、氢同位素比值的方法。金青哲等^[42]利用碳同位素比值法进行花生油和玉米油掺合物的检测研究。郭莲仙等^[43]运用所建立的纯植物油的脂肪酸组成及其稳定碳同位素比值判别标志对市售商品植物油是否掺杂进行判识。

3.5 核磁共振法

核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)是基于原子核磁性的一种波谱技术,其分析简便,光谱稳定性好,可解释丰富的化合物信息,常常用在食品分析和结构鉴定中。目前较多应用在食用油品检测上,掺伪方面的研究较少^[44,45]。国外报道有使用核磁共振技术检测橄榄油的掺伪,其中 Zamora 等^[46]利用高分辨率核磁共振法建立了橄榄油的掺伪鉴别模型,实验准确率为 97.1%。国内有研究废弃油脂的掺伪检测方法^[47],王乐等^[48]利用核磁共振方法(脉冲式)分别检测了泔水油、地沟油和 3 种食用植物油(花生油、菜籽油和大豆油)在 10 °C 和 0 °C 下的固体脂肪值,发现随着泔水油和地沟油掺入食用植物油量的增多,固体脂肪值随之增大,利用该方法可检测出食用油中掺伪 1% 以上的废弃油脂。

4 展 望

当前植物油掺伪检验方法很多,但理化方法和气相色谱法是应用最为普遍的方法。近红外光谱法易于操作、检测成本较低,是快速筛查的好方法,有良好的应用前景。气质联用、液质联用对掺伪结果的最终判定有一定说服力,但由于检测成本高的原因还不能普及。在今后各种植物油真实性鉴别分析技术中不仅要借鉴快速的光谱分析仪,如近红外分析仪、拉曼光谱仪和紫外分光光度计,也要利用色谱和质谱分析技术再结合化学统计学方法从大量复杂的数据中提取有效信息,建立各个单品种植物油身份图谱库,为真实性识别提供技术支持。这也是目前国内外植物油掺伪检验技术研究的重要方向。

参考文献

- [1] 王肇慈. 粮油食品品质分析(第二版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
Wang ZC. Grain and food quality analysis (second edition) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.
- [2] 白满英, 张金诚. 掺伪粮油食品鉴别检验[M]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
Bai MY, Zhang JC. Adulterated grain and oil food identification test [M]. Beijing: China Standards Press, 1995.
- [3] GB/T5539-2008 植物油油脂检验 油脂定性试验[S].
- [4] 薛雅琳, 龙伶俐, 史文青, 等. 植物油品质特性和掺伪检验技术研究[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(3): 20-23.
Xue YL, Long LL, Shi WQ, *et al.* Research of quality characteristics and adulteration tests in vegetable oil [J]. Sci Technol Cere Oils Foods, 2012, 20(3): 20-23.
- [5] 瞿海斌, 刘全, 程翼宇. 近红外漫反射光谱法测定黄连浸膏粉中生物碱含量[J]. 分析化学研究简报, 2004, 32(4): 477-480.
Zhai HB, Liu Q, Cheng YY. Determination of the coptis extract alkaloids using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy [J]. Chin J Anal Chem, 2004, 32(4): 477-480.
- [6] 吴建虎, 彭彦昆, 高晓东, 等. 基于 VIS/NIR 高光谱散射特征预测牛肉的嫩度[J]. 食品安全质量检测技术, 2009, 1(1): 20-26.
Wu JH, Peng YK, Gao XD, *et al.* Prediction of beef tenderness using VIS/NIR hyper spectral scattering characteristics [J]. J Food Saf Qual, 2009, 1(1): 20-26.
- [7] Sáizabajo MJ, Gonzálezsaiz JM, Pizarro C. Near infrared spectroscopy and pattern recognition methods app lied to the classification of vinegar according to raw material and elaboration process [J]. J Near Infr Spectrosc, 2004, 12(4): 207-219.
- [8] 于燕波, 臧鹏, 付元华, 等. 近红外光谱法快速测定植物油中脂肪酸含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(7): 1554-1558.
Yu YB, Zang P, Fu YH, *et al.* The rapid analysis of fatty acids in vegetable oils by near infrared spectrum [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2008, 28(7): 1554-1558.
- [9] 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(9): 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(9): 38-40.
- [10] Lai YW, Kemsley EK, Wilson RH. Potential of fourier transform infrared spectroscopy for the authentication of vegetable oils [J]. J Agric Food Chem, 1994, 42(5): 1154-1159.
- [11] 刘福莉, 王志岗, 郑驰原, 等. 食用调和油中花生油含量的近红外光谱分析[J]. 激光生物学报, 2007, 16(6): 759-762.
Liu FL, Wang ZL, Zheng CY, *et al.* Quantitative analysis of the peanut oil content in blended edible oil using near infrared spectroscopy [J]. Acta Laser Biol Sin, 2007, 16(6): 759-762.
- [12] 罗香, 刘波平, 冯立辉, 等. 近红外光谱技术用于花生油中棕榈油含量的测定[J]. 分析科学学报, 2010, 26(6): 673-676.
Luo X, Liu BP, Feng LH, *et al.* Determination of palm oil content in peanut oil samples by near infrared spectroscopy [J]. J Anal Sci, 2010, 26(6): 673-676.
- [13] 李红莲, 赵志磊, 庞艳苹, 等. 近红外光谱法快速鉴别花生油真伪及掺伪成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 1(1): 24-29.
Li HL, Zhao ZL, Pang YP, *et al.* Identification of peanut oil and its adulteration component with by near-infrared spectroscopy [J]. J Food Saf Qual, 2010, 1(1): 24-29.
- [14] 朱杏冬, 王凯雄, 臧荣春. 芝麻油掺伪检测的紫外分光光度法研究[J]. 中国油脂, 2000, 25(1): 50-52 .
Zhu XD, Wang KX, Zang RC. Study on ultraviolet spectrometry method for detection of adulteration sesame oil [J]. China Oils Fats, 2000, 25(1): 50-52 .
- [15] 王力清, 刘瑞兴. 芝麻油中掺棉籽油的分光光度法研究[J]. 食品与机

- 械, 2003, (1): 39–40 .
- Wang LQ, Liu RX. Study on spectrometry method for detection of sesame oil adulterated with cotton-seed oil [J]. Food Mach, 2003, (1): 39–40 .
- [16] 王耀, 尹平河, 梁芳慧, 等. 紫外可见分光光度法鉴别掺兑泔水油的花生油[J]. 分析实验室, 2006, 25(3): 92–94 .
- Wang Y, Yin PH, Liang FH, *et al.* Distinguishing hogwash oil from peanut oil by ultraviolet-visible spectrophotometry [J]. Chin J Anal Lab, 2006, 25(3): 92–94 .
- [17] 邓平建, 耿艺介, 梁裕, 等. 快速鉴别掺伪橄榄油的拉曼光谱-聚类分析方法[J]. 中国油脂, 2015, (2): 50–55.
- Deng PJ, Geng YJ, Liang Y, *et al.* Raman spectrum-cluster analysis for rapid discerning of adulterated olive oil [J]. China Oils Fats, 2015, (2): 50–55.
- [18] 李冰宁, 武彦文, 汪雨, 等. 拉曼光谱结合模式识别方法用于大豆原油掺伪的快速判别[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2696–2700.
- Li BN, Wu YW, Wang Y, *et al.* Raman spectroscopy combined with pattern recognition methods for rapid identification of crude soybean oil adulteration [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2014, 34(10): 2696–2700.
- [19] 邓平建, 梁裕, 杨冬燕, 等. 拉曼光谱-聚类分析快速鉴别掺伪芝麻油[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 4991–4999.
- Deng PJ, Liang Y, Yang DY, *et al.* Rapid detection of adulterated peanut oil by raman spectrum-cluster analysis [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(12): 4991–4999.
- [20] 吴静珠, 张宇靖, 石瑞杰, 等. 拉曼光谱结合距离匹配法快速鉴别掺伪食用油[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(9): 119–122.
- Wu JZ, Zhang YJ, Shi RJ, *et al.* Rapid detection of adulterated edible oil using raman spectroscopy and distance match method [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2015, 30(9): 119–122.
- [21] 魏明, 曹新志, 廖成华. 常见植物油鉴别及掺伪的气相色谱新检测法[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 103–106.
- Wei M, Cao XZ, Liao CH. A new adulteration detection method on edible vegetable oils by gas chromatography [J]. Food Sci, 2003, 24(12): 103–106.
- [22] 任小娜, 毕艳兰, 杨国龙, 等. 芝麻油掺棕榈油鉴别方法的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 17: 317–321.
- Ren XN, Bi YL, Yang GL, *et al.* Research on identification methods of sesame oil adulterated with palm oils [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 17: 317–321.
- [23] 张宏荣. 气相色谱法测定花生油掺伪大豆油的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7): 120–122.
- Zhang HR. The study of peanut oil adulterated with soybean oil by gas chromatography [J]. Food Res Dev, 2011, 32(7): 120–122.
- [24] 黄飞, 奉夏平, 唐丽娜, 等. 橄榄油掺伪的气相色谱质谱鉴别方法研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 54–58.
- Huang F, Feng XP, Tang LN, *et al.* Study on the identification of olive oil adulteration by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(18): 54–58.
- [25] 林丽敏. 气相色谱法测定芝麻油掺伪的研究[J]. 粮食储藏, 2006, 35(6): 43–45.
- Lin LM. Research on the adulteration of sesame oil by gas chromatography [J]. Grain Stor, 2006, 35(6): 43–45.
- [26] Marikkar JMN, Ghazali HM, CheMan YB, *et al.* Distinguishing lard from other animal fats in admixtures of some vegetable oils using liquid chromatographic data coupled with multivariate data analysis [J]. Food Chem, 2005, 91(1): 514.
- [27] 宁德山, 唐青涛, 陈路林. 液相色谱指纹图法鉴别灵芝孢子油掺伪研究[J]. 临床医学工程, 2009, 16(12): 65–67.
- Ning DS, Tang QT, Chen LL. Research on how to discriminate ganoderma lucidum spore oil adulteration phenomenon with HPLC polt-wise [J]. Clin Med Eng, 2009, 16(12): 65–67.
- [28] 李沂光. 地沟油与合格食用油鉴别检测方法的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- Li YG. Study on discrimination of illegal cooking oil and edible oil [D]. Changsha: Centre Southern University, 2013.
- [29] Huo QG, Jin XB, Zhang HM. Multi-label classification for oil authentication [C]. FSKD: Proceeding of the 2012 International Conference on Fuzzy System and Knowledge Discovery, 2012.
- [30] 陈景波. 多标号学习矢量量化的食用油掺伪检测[J]. 计算机应用, 2013, 33(11): 3141–3143.
- Chen JB. Oil adulteration detection with multi-label learning vector quantization [J]. J Comput Appl, 2013, 33(11): 3141–3143.
- [31] 何小青, 许德英, 罗美中, 等. 微波辅助衍生 GC-MS 测定脂肪酸-校正变换矩阵法鉴别食用植物油的研究[J]. 现代科学仪器, 2004, (3): 36–39.
- He XQ, Xu DY, Luo MZ, *et al.* Determination of fatty acids by microwave-assisted derivatization and GC-MS-an adulteration detection method on edible oils with calibration transformation matrix [J]. Mod Sci Instrum, 2004, (3): 36–39.
- [32] 杨柳, 吴蓉蓉, 朱杰丽, 等. 顶空-气质联用法鉴别油茶籽油真伪[J]. 中国粮油学报, 2012, 11: 105–109.
- Yang L, Wu CR, Zhu LJ, *et al.* Identification of authentic or fake of camellia oil by headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2012, 11: 105–109.
- [33] 毛丽莎, 仲岳桐, 卢紫燕, 等. 泔水油特征成分柠檬烯的气质联用技术鉴定研究[J]. 中国热带医学, 2013, 15(5): 548–552.
- Mao LS, Zhong YT, Lu ZY, *et al.* Detection of limonene in hogwash oil with gas chromatography-mass spectrometry [J]. China Trop Med, 2013, 15(5): 548–552.
- [34] 李元元, 吴亚君, 张海亮, 等. 电子鼻在食用油鉴别中的应用进展[J]. 中国油脂, 2011, 10: 60–63.
- Li YY, Wu YJ, Zhang HL, *et al.* Progress on the application of electronicnose for edible oil adulteration [J]. China Oils Fats, 2011, 10: 60–63.
- [35] 潘磊庆, 唐琳, 詹歌, 等. 电子鼻对芝麻油掺假的检测[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 318–320.
- Pan QL, Tang L, Zhan G, *et al.* Detection of adulteration in sesame oil using electronic nose [J]. Food Sci, 2010, 31(20): 318–320.
- [36] 钟诚, 谢雅琳, 王兴国, 等. 初榨橄榄油风味特征在掺伪检测中的应用[J]. 中国油脂, 2013, 38(12): 84–87.
- Zhong C, Xie YL, Wang XG, *et al.* Application of flavor characteristics of virgin olive oil in adulteration detection [J]. China Oils Fats, 2013, 38(12): 84–87.
- [37] Woodbury SE, Evershed RP, Rossell JB, *et al.* Detection of vegetable oil adulteration using gas chromatography combustion/isotope ratio mass spectrometry [J]. Anal Chem, 1995, 67: 2685–2690.
- [38] Woodbury SE, Evershed RP, Rossell JB. $\delta^{13}\text{C}$ analyses of vegetable oil

- fatty acid components, determined by gas chromatography-combustion-isotope ratio mass spectrometry, after saponification or regiospecific hydrolysis [J]. *J Chromatogr A*, 1998, 805: 249–257.
- [39] Kelly S, Parker I, Sharman M, *et al.* Assessing the authenticity of single seed vegetable oils using fatty acid stable carbon isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) [J]. *Food Chem*, 1997, 59: 181–186.
- [40] Angerosa F, Breas O, Contento S, *et al.* Application of stable isotope ratio analysis to the characterization of the geographical origin of olive oils [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47: 1013–1017.
- [41] 吴玉奎, 董浩, 王超, 等. 商品植物油的稳定碳、氢同位素比值的测定 [J]. *现代食品科技*, 2016, (11): 323–327.
- Wu YL, Dong H, Wang C, *et al.* Determination of stable carbon and hydrogen isotope ratios of commercial vegetable oils [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2016, (11): 323–327.
- [42] 金青哲, 谢峰, 丁志华, 等. 花生油和玉米油掺合物的碳同位素比值质谱法检测研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(5): 95–99.
- Jin QZ, Xie F, Ding ZH, *et al.* Detection of blend of corn oil and peanut oil by carbon isotope ratio [J]. *J Chin Cere Oil Assoc*, 2010, 25(5): 95–99.
- [43] 郭莲仙, 梁福睿, 梁一, 等. 基于稳定碳同位素示踪技术的商品植物油掺杂鉴别研究[J]. *现代食品科技*, 2014, (5): 292–296.
- Guo LX, Liang FR, Liang Y, *et al.* Discrimination of the adulteration of commercial vegetable oils by stable carbon isotope analysis [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2014, (5): 292–296.
- [44] Lu RS, Zhou XL, Wu WP, *et al.* Development of the miniature NMR apparatus for edible oil quality control [J]. *Appl Mag Reson*, 2014, 45(5): 461–469.
- [45] Rosilene AP, Luiz AC, Lucimara AF, *et al.* A rapid and automated lower solution NMR method to analyze oil quality in intact oil seeds [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 596(2): 325–329.
- [46] Zamora R, Alba V, Hidalgo FJ. Use of high-resolution ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy for the screening of virgin olive oils [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001, 78(1): 89–94.
- [47] 王永巍, 王欣, 刘宝林, 等. 煎炸油掺伪食用植物油的低场核磁共振检测[C]. *科学仪器服务民生学术大会论文集*, 2011.
- Wang YW, Wang X, Liu BL, *et al.* Discrimination of edible vegetable oil adulterated frying oil by low-field nuclear magnetic resonance [C]. *Scientific Instruments Conference Proceedings*, 2011.
- [48] 王乐, 黎勇, 胡健华. 核磁共振法鉴别食用植物油掺伪餐饮业废油脂 [J]. *中国油脂*, 2008, 33(10): 75–77.
- Wang L, Li Y, Hu JH. Discrimination of edible vegetable oil adulterated waste cooking oil by nuclear magnetic resonance [J]. *China Oils Fats*, 2008, 33(10): 75–77.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



刘 伟, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。
E-mail: liuwei8513@163.com



杨 颖, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。
E-mail: 276265137@qq.com