基于特征标志物食用油掺伪鉴别技术研究进展

张良晓，窦心敬，马飞，喻理，张奇，李培武

（中国农业科学院油料作物研究所，农业部油料作物生物学与遗传改良重点实验室，农业部油料作物风险评估重点实验室（武汉），农业部油料及制品质量监督检验测试中心，农业部生物毒素检测重点实验室，湖北武汉 430062）

摘要：利益驱动的食用植物油掺伪现象危及消费安全和食用油市场秩序，亟需建立一套科学合理的食用油鉴伪方法。目前，食用植物油掺伪鉴别的方法主要包括基于常规理化测定的鉴别技术、基于波谱分析的快速鉴别技术、基于代谢组学的全谱指纹分析、基于特征标志物的鉴别技术，这些方法优势互补。其中基于特征标志物的鉴别方法因具有确证性、高灵敏、可实现鉴定多种低价食用油同时掺伪的优点，越发受到研究人员的关注。本文综述了 DNA、脂肪酸、植物甾醇、维生素 E 以及加工过程中引入的外源物质等特征标志物在食用植物油掺伪鉴别中的应用，并分析了各种方法的优势与不足，发现进一步挖掘食用植物油的特征标志物，建立多种标志物的高灵敏同步检测技术是基于特征标志物的食用植物油掺伪鉴别技术的主要发展方向。

关键词：食用植物油；掺伪鉴别；特征标志物；综述；展望

文章篇号：1673-9078(2018)02-265-270 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.2.040

Research Progress on Adulteration Detection of Edible Oils Based on Characteristic Markers

ZHANG Liang-xiao, DOU Xin-jing, MA Fei, YU Li, ZHANG Qi, LI Pei-wu

(Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Oilseed Products (Wuhan), Quality Inspection and Test Center for Oilseed Products, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Key Laboratory of Detection for Mycotoxins, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China)

Abstract: Economically motivated adulteration of edible oils endangers consumers' health and disturbs oil market, which is necessary to establish scientific and reasonable methods for adulteration detection of edible oils. At present, there are four kinds of methods of adulteration detection of edible oils, including quality analysis of ordinary parameters according to national standards, rapid adulteration detection based on spectrometric techniques, metabolomic-guided fingerprints and accurate adulteration methods based on characteristic markers, which can complement each other based on their obvious advantages and disadvantages. Among these methods, the adulteration methods based on characteristic markers have drawn more and more attentions from researches due to high selectivity of markers and high accuracy of multivariate adulteration detection, which can be used to identify a variety of edible oils adulteration at the same time.. In this review, we summarized the research progress on the application of characteristic markers of adulteration detection in edible oils, which included DNA, fatty acid and triacylglycerol, phytosterols, Vitamin E and the exogenous substances introduced during processing. Moreover, the advantages and disadvantages of these methods were analyzed. In conclusion, we found that the further researches on this direction should focus on further discovery of markers of edible oils and highly sensitive and simultaneous detection methods for characteristic markers in several edible oils.

Key words: edible vegetable oil; adulteration detection; characteristic markers; review; prospect

收稿日期：2017-08-30

基金项目：国家科技支持计划课题(2012BAK08B03)；国家自然科学基金项目(21205118)；国家农产品质量安全风险评估重大项目(GJFP2017001、GJFP2017015-02)；农业部、财政部专项课题“国家油菜现代产业技术体系建设”（批准号：CARS-12-10B)；中央级科研院所基本科研业务费专项（1610172017008）

作者简介：张良晓（1981-），男，博士，副研究员，研究方向：粮油真实性与溯源

通讯作者：李培武（1961-），男，博士，二级研究员，研究方向：农产品质量安全与风险评估

食用植物油是人们膳食结构中不可或缺的一部分，不仅为人们提供作为三大基本营养素之一的必需脂肪酸，其微量成分如甾醇、多酚、脂溶性维生素、谷维素和木脂素等功能成分也对人体健康发挥着重要作用。近年来，随着人们生活水平的提高，消费者对健康营养美味的需求也不断提升，越来越多的价格昂贵的新兴小品种植物油逐渐被大众接受。食用植物油种类繁多，营养价值与价格迥异，利益驱使的食用油掺伪现象也屡见不鲜。更有甚者，在食用油中添加劣质油、非食用油，这不仅损害了消费者的利益，甚至威胁消费者身体健康。

食用油掺伪主要包括以下三种情况：高价油中掺入低价油，如芝麻油中掺入大豆油、棉籽油和棕榈油等廉价油脂；食用油中掺入非食用油如地沟油和蓖麻油等；同种油不同质量等级的掺假，如特级初榨橄榄油中掺入果渣油。

目前现有的食用油掺伪鉴别方法可以分为四类。一是基于常规理化指标的检测技术。这些指标包括酸价、皂化值和折光系数等[1]，但这些指标通常是食用油在出厂前必须满足的基本检测指标，对掺伪油的鉴别能力不强；二是基于光电磁及感官信号的宏观组快速研究方法。例如紫外、红外、拉曼、荧光光谱、太赫兹、核磁和电子鼻等[2~7]，这一类方法的优点是快速无损，但是通常化学意义不明确，一般是针对样品的宏观特性建立一个样本模型，还需要结合化学计量学以及多元统计方法来实现掺伪鉴别；三是基于代谢组学的全谱分析方法。该类方法通常针对于食用油中的共有组分，如脂肪酸、甘油三酯、植物甾醇和挥发物等[8~13]，利用气相或气相色谱质谱、液相色谱质谱等大型仪器构建共有组分指纹图谱，并利用化学计量学方法建立纯油和掺伪食用油的分类模型，实现食用植物油掺伪鉴别。该类方法不足在于，其鉴别结论基于模型预测结果，不具有确证性。这类方法一般仅关注单种已知廉价食用油掺伪鉴别，仅适用于一元或二元掺伪，难以实现多元掺伪鉴别；四是基于掺伪标志物的检测方法，主要包括脱氧核糖核酸（DNA）特征序列、特征次生代谢物以及特定加工方式中引入的外源标志物。该类方法具有可确证性地鉴别廉价油脂的种类的优点，可实现多元掺伪鉴别，是食用植物油掺伪鉴别技术的发展方向之一。

1 食用油的特征标志物

目前的掺伪鉴别特征标志物大致分为几类：DNA、脂肪酸、植物甾醇、维生素 E、以及加工过程中引入的外源化合物等。

1.1 DNA

DNA 标志物在确证性保真及身份鉴别、食品溯源中发挥着重要作用，亦被许多专家学者所关注。近年来，DNA 标志物应用于食用油保真的相关报道也有很多[14,15]。但在食用植物油掺伪鉴别中实际应用报道很少，主要集中在橄榄油和芝麻油[16,17]。这主要因为初榨橄榄油、芝麻油未经过精炼等深加工工艺，DNA 含量相对较高，易被提取用于真伪鉴别。

覃文等[18]通过对花生染色体、微卫星及其他与代谢有关的各种酶基因的反复比较和大量筛选，发现花生 Arachis hypogaea major allergen（Arah1）基因及其表达产物是其他油料作物所不具有的，通过在 Gene Bank 中搜寻和比较，没有发现与该基因有同源的其他油料作物，因此选择花生 Arah1 基因作为花生品种特异性内源标记基因。提取出油脂中用于定性定量 PCR 的 DNA，并采用实时荧光 PCR 方法检测 Arah1 基因片段，可定性定量检测混合油脂中的花生油成分。王贝贝等[19]利用 DNA 树脂提取法，在单因素试验的基础上，进行五因素四水平正交试验设计，优化了芝麻油中 DNA 高效提取方法，为芝麻油掺伪检测或品种溯源鉴定奠定基础。

利用特征 DNA 片段对食用油进行品种鉴定及掺假检测，首先要从油脂中提取出适合 PCR 扩增的 DNA。但是由于 DNA 在油脂中溶解度不高，廉价油脂在深度精炼之后 DNA 含量更少，除初榨橄榄油、芝麻油外，食用植物油大都经过深加工，在基质复杂的食用油中对痕量 DNA 的提取富集具有较大难度，是该类方法的瓶颈性难题。Gryson[20]等通过模拟油精炼过程，并对各个精炼阶段进行 DNA 提取，发现脱胶过程是除去大豆毛油中 DNA 的主要过程，脱胶后致使 DNA 主要集中在水相中。因此，发展更高效、灵敏的 DNA 富集纯化技术是该类方法的发展方向。

1.2 脂肪酸

常见脂肪酸是不同种类食用植物油的共有性成分，在某些食用植物油中也存在特征脂肪酸。如棕榈油中的月桂酸。冯丽丽等[21]采用气相色谱法，制备月桂酸甲酯，以月桂酸为定性指标鉴别植物油中存在棕榈油，最低可以分辨出掺伪 5%棕榈油的食用植物油。在农业行业标准[22]中也采用类似的方法鉴别棕榈油的掺伪。李雅莲等[23]利用气相色谱法测定了棕榈油和其它食用植物油的脂肪酸组成，发现癸酸是棕榈油的特征脂肪酸（其他植物油中含量很少），分析发现大豆油、花生油、葵花籽油和玉米胚油中癸酸含量很少，

而在棉籽油，菜籽油中也含有少量的癸酸，因此该方法存在一定局限性。当根据癸酸含量推测棕榈油掺伪量时，只能确证性的判定棕榈油掺伪大于25%的情况，而掺伪量介于5%~25%时，则需附加冷冻试验确定棕榈油的存在。桐酸为桐油所独有，蓖麻酸为蓖麻油所独有，尚未见到其他植物油含有桐酸或蓖麻酸的报道，杨元等利用气相色谱-质谱分析技术，以桐油中的桐酸、蓖麻油中的蓖麻油酸为特征标志物，建立了测定食用植物油中掺入桐油、蓖麻油的确证分析方法[24]。

1.3 植物甾醇

植物甾醇在自然界分布广泛，存在于植物的根、茎、叶、果实和种子中，在油料种子中含量最高[25]。目前已报道的植物甾醇超过200种，其甾核以谷甾醇、豆甾醇和菜油甾醇最常见[26]。甾醇在不同油籽或油脂中的分布各有差异，因而有些特征甾醇可以作为某种油的标志物用于掺伪鉴别。

Damirchi 等[27]以4,4-二甲基甾醇为潜在特征标志物，研究表明橄榄油中4,4 二甲基甾醇主要是环阿屯醇与β-香树脂醇，而榛子油中则以羽扇豆醇与环阿屯醇为主。利用GC-MS检测标志物羽扇豆醇与另一未知化合物X(含有一个羽扇烷骨架)含量，鉴别橄榄油中掺伪榛子油，检出限可达4%。Damirchi还研究了精炼过程对结合、游离4,4 二甲基甾醇含量的影响。在精炼过程中，仅碱炼与脱色可以显著减少4,4-二甲基甾醇含量，经过全部精炼过程之后结合4,4 二甲基甾醇含量仍可保留59%，游离4,4 二甲基甾醇含量仍可保留48%，可用于分辨橄榄油中掺伪榛子油[28]。Al-Ismail 等[29]利用菜油甾醇与豆甾醇总和百分比及函数关系为指标鉴别橄榄油中分别掺伪玉米油、大豆油、葵花籽油和棉籽油，检出限可达到3%的掺伪水平。Jabeur[30]等利用HPLC测定Δ7-豆甾醇含量可检出橄榄油中掺伪1%葵花籽油，测定菜油甾醇含量可检出掺伪4%玉米油。Miloudi 等[31]分析了摩洛哥坚果油及其他食用油中的菜油甾醇及总甾醇含量，发现摩洛哥坚果油的菜油甾醇占总甾醇比例小于0.4%，明显小于其他食用油，当掺入其他食用油时该数值会增大。用该指标可以检出摩洛哥坚果油纯度达98%。

1.4 维生素E

维生素E是一种脂溶性的维生素，共有八种组分包括四种生育酚（α-，β-，γ-，δ-生育酚）和四种生育三烯酚（α-，β-，γ-，δ-生育三烯酚）。温运启等对9个不同品种的138个食用植物油样品中维生素E组分及含量进行了测定，发现不同品种的植物油维生素E总量及分布存在差异[32]。挖掘不同品种植物油的特征维生素E组分及其含量规律可以用于食用油的掺伪鉴别。

Chen[33]等利用反相 HPLC 荧光检测器的方法检测初榨橄榄油、葵花籽油、高油酸葵花籽油、榛子油、大豆油、花生油、杏仁油中的 α-生育酚、(β+γ)-生育酚、δ-生育酚含量，以 α-生育酚/(β+γ)-生育酚比值作为初榨橄榄油与葵花籽油、榛子油、花生油的鉴伪的初步筛选参数。δ-生育酚/(β+γ)-生育酚比值也可以鉴伪初步筛选参数，但由于 δ-生育酚含量较低，其灵敏度相对 α-生育酚/(β+γ)-生育酚比值参数较差。

Dionisi[34]等用 RP-HPLC 法检测油中的生育酚、生育三烯酚含量，在初榨或者精炼的橄榄油、榛子油、葵花籽油、大豆油中都未检出，但在棕榈油与葡萄籽油中检出了相对高含量生育三烯酚，此方法可以检出橄榄油中掺伪1%~2%的棕榈油和葡萄籽油。

1.5 其他成分

除此之外，还有文献报道的其他化合物如异黄酮类化合物、芝麻素和榛子酮等植物油特征化合物可以用于掺伪油的鉴别。Zhao 等[35]用混合固相萃取，LC-MS/MS方法检测食用植物油中黄豆苷元、黄豆苷、染料木素、染料木苷、顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇，结果表明异黄酮类物质与白藜芦醇分别是大豆油、花生油中的特征成分，可以用于鉴别其他油中掺入大豆油、花生油。安徽省地方标准[36]根据芝麻油中特征成分芝麻酚与蔗糖盐酸溶液反应，生成红色化合物，其颜色深浅与芝麻油纯度呈相关性的原理，通过测其520 nm波长下的吸光度来判别芝麻油的纯度。该方法用于芝麻油中非芝麻油成分的最低检出量为5%。Gracia 等[37]通过分析检测脱臭榛子油中的榛子酮应用于橄榄油中榛子油的掺伪鉴别。

1.6 加工过程中引入的外源化合物

加工过程中引入的外源化合物如植醇及其衍生物、叶绿素及其衍生物、蜡脂、甘油酯聚合物、二酰甘油酯等可以作为区分精炼油与初榨油的特征标志物。

Schröder 等[38]发现叶绿素中的植醇及其衍生物可以作为鉴别初榨油、精炼油、氢化油的标志物。在初榨植物油中，主要以反式植醇为主，顺式植醇含量<0.05%，异植醇与二氢植醇未检出。精炼植物油含有顺式、反式植醇与异植醇，但二氢植醇未检出。而部分或全部氢化的植物油中则含有二氢植醇。因此，顺式植醇与异植醇可以作为精炼植物油的标志物，而二

氢植醇则可作为氢化植物油的标志物。

初榨橄榄油与精炼橄榄油在色泽上有差异，后者颜色更浅，因此消费者可以通过鉴别色泽来区分初榨橄榄油与精炼橄榄油，当然这也使得不法商家通过加入绿色着色剂以次充好。检测掺假橄榄油中添加剂绿色色素及叶绿素的含量[39]，发现初榨橄榄油中的叶绿素类色素主要是脱镁叶绿素（a 和 b），而不存在铜衍生物。因此，叶绿素的铜衍生物可以作为初榨橄榄油掺假精炼橄榄油的标志物。

甘油酯聚合物仅存在于精炼橄榄油中，而初榨橄榄油中则未检出，因此甘油酯聚合物作为指标可以用于评估橄榄油的品质[40]。Hodaifa 等[41]在初榨橄榄油中掺入从 1%至 80%不同水平的精炼果渣油，发现蜡酯含量与掺伪精炼果渣油的量呈线性相关。Carelli 等[42]对国际橄榄理事会(IOC，International Olive Council)蜡含量检测方法进行了改进，该方法可用于橄榄油真实性监测。有文献[43-45]报道甘油二酯可作为初榨橄榄油质量与新鲜度鉴别的指标。1,2-甘油二酯是甘油三酯合成路径中的一部分，是不完整的甘三酯合成，而 1,3-甘油二酯的形成则来源于橄榄油萃取过程中或萃取之前的化学或酶水解作用。Camino 等[45]尝试用 1,3-甘油二酯/1,2-甘油二酯比率评估橄榄油真实性，但结果表明该比率只适用于酸度小于 0.30%的情况。

2 总结与展望

基于特征标志物的食用油掺伪鉴别方法具有确证性的优点，在一定程度上更容易实现掺伪油未知情况下的鉴别以及多元掺伪鉴别，是未来食用油掺伪鉴别技术的发展方向之一。然而，目前已知的特征标志物相对较少，且仅限于某些特定的油脂，仍有许多种类的食用油标志物未知，因此系统开展标志物的筛选是该类方法的研究方向。有文献报道的标志物如生物碱[46,47]，在加工过程中易被除去，从而使不法商贩达到规避掺伪标志物的目的，因此在标志物筛选前期需要充分考虑到标志物被除去的难易程度，以保证标志物的有效性。如同 DNA 在精炼油中的含量较少，在经过一系列精炼过程之后，毛油中的某些特征标志物含量也大大减少，因此发展高效的标志物提取富集技术也是该类方法的需要努力的方向。

参考文献

[1] 黎海红,李雪琴,苗笑亮.掺伪芝麻油检测的主成分分析方法研究[J].食品工业科技,2008,6:297-300
LI Hai-hong, LI Xue-qin, MIAO Xiao-liang. Study on sesame oil adulteration detection by principal component analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 6: 297-300

[2] 杨晨,于修烛,王昕,等.基于紫外光谱的花生油掺伪检测[J].食品科学,2012,33(6):186-189
YANG Chen, YU Xiu-zhu, WANG Xin, et al. Ultraviolet absorption spectroscopy for the detection of adulteration in peanut oil [J]. Food Science, 2012, 33(6): 186-189

[3] 涂斌,陈志,彭博,等.基于多源光谱特征融合技术的花生油掺伪检测[J].食品与发酵工业,2016,42(4):169-173
TU Bin, CHEN Zhi, PENG Bo, et al. Research on detection method of peanut oil adulteration based on data fusion technology of multi-source spectral characteristics [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(4): 169-173

[4] 李冰宁,武彦文,曹阳,等.分子荧光光谱结合归一化法快速判定大豆原油掺伪[J].中国粮油学报,2015,12:131-135
LI Bing-ning, WU Yan-wen, CAO Yang, et al. Rapid fluorescence spectroscopy combined with normalization method for crude soybean oil adulteration assessment [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 12: 131-135

[5] 詹洪磊,宝日玛,戈立娜,等.利用太赫兹技术和统计方法鉴别地沟油[J].中国油脂,2015,40(4):52-54
ZHAN Hong-lei, BAO Ri-ma, GE Li-na, et al. Discerning of swill-cooked dirty oil by terahertz technology and statistical method [J]. China Oils and Fats, 2015, 40(4): 52-54

[6] 李玉邯,杨柳,张一,等.低场核磁共振技术在食用油脂掺假检测中的应用进展[J].粮食与油脂,2016,29(9):69-71
LI Yu-han, YANG Liu, ZHANG Yi, et al. Study on application progress of low field nuclear magnetic resonance on detection of adulterations in edible oil [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(9): 69-71

[7] 鲁小利,王俊.仿生电子鼻在芝麻油掺伪检测中的应用研究[J].粮食与油脂,2016,29(6):75-77
LU Xiao-li, WANG Jun. Detection of adulteration in sesame oil by bionic electronic nose [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(6): 75-77

[8] 张东生,金青哲,王兴国,等.基于脂肪酸组成甄别油茶籽油掺伪的研究[J].中国粮油学报,2015,30(1):124-128
ZHANG Dong-sheng, JIN Qing-zhe, WANG Xing-guo, et al. The adulterating research of identifying camellia oil based on fatty acids [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(1): 124-128

[9] Sun X, Zhang L, Li P, et al. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry [J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-

Technologie, 2015, 63(1): 430-436

[10] Fasciotti M, Netto A D P. Optimization and application of methods of triacylglycerol evaluation for characterization of olive oil adulteration by soybean oil with HPLC-APCI-MS-MS [J]. Talanta, 2010, 81(3): 1116-1125

[11] Dionisi F, Prodolliet J, Tagliaferri E. Assessment of olive oil adulteration by reversed-phase high-performance liquid chromatography/amperometric detection of tocopherols and tocotrienols [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1995, 72(12): 1505-1511

[12] Xu B, Zhang L, Wang H, et al. Characterization and authentication of four important edible oils using free phytosterol profiles established by GC-GC-TOF/MS [J]. Analytical Methods, 2014, 6(17): 6860-6870

[13] Mildner-Szkudlarz S, Jeleń H H. The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil [J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 751-761

[14] Agrimonti C, Vietina M, Pafundo S, et al. The use of food genomics to ensure the traceability of olive oil [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(5): 237-244

[15] Costa J, Mafra I, Oliveira M B P P. Advances in vegetable oil authentication by DNA-based markers [J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 26(1): 43-55

[16] 何景,许文涛,黄昆仑.食用油 DNA 提取及检测技术的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(12):382-386
HE Jing, XU Wen-tao, HUANG Kun-lun. Research progress of dna extraction and detection technique of edible oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(12): 382-386

[17] 吴兴泉,刘楷影,王贝贝,等.以 DNA 为靶标的植物油检测技术研究进展[J].河南工业大学学报(自然科学版),2015,36(4):114-119
WU Xing-quan, LIU Kai-ying, WANG Bei-bei, et al. Progress of detection technology on plant oil using DNA as a target [J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2015, 36(4): 114-119

[18] 覃文,董洁,邓鸿铃.实时荧光 PCR 定性定量检测混合食用油脂中的花生油成分[J].中国油脂,2006,31(10):73-76
QIN Wen, DONG Jie, DENG Hong-ling. Qualitative and quantitative detection of peanut oil in blend oil by real time PCR [J]. China Oils and Fats, 2006, 31(10): 73-76

[19] 王贝贝,陈士华,祁飞翔,等.芝麻油 DNA 高效提取方法的建立与优化[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(3):21-25
WANG Bei-bei, CHEN Shi-hua, QI Fei-xiang, et al. Development and optimization of an efficient extraction method of DNA from sesame oil [J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2016, 37(3): 21-25

[20] Gryson N, Ronsse F, Messens K, et al. Detection of DNA during the refining of soybean oil [J]. Journal of Oil & Fat Industries, 2002, 79(2): 171-174

[21] 冯丽丽,史永革,杨福明,等.食用植物油中掺混棕榈油的定性与定量分析[J].食品安全质量检测学报,2015,3:822-827
FENG Li-li, SHI Yong-ge, YANG Fu-ming, et al. Qualitative and quantitative analysis of palm oil blended in edible vegetable oil [J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2015, 3: 822-827

[22] NY/T 1526-2007,植物油中棕榈油的鉴别[S]
NY/T 1526-2007, The Identification of Palm Oil in the Plant Oil [S]

[23] 李雅莲,程兴杰,李万军,等.食用植物油中掺兑棕榈油检验方法的研究[J].粮食储藏,2008,37(1):43-46
LI Ya-lian, CHENG Xing-jie, LI Wan-jun, et al. Inspection method of edible vegetable oils mixed palm oil [J]. Grain Storage, 2008, 37(1): 43-46

[24] 杨元,高玲,谯斌宗,等.食用植物油中桐油蓖麻油的确证检验方法研究[J].中国卫生检验杂志,2007,17(11):1923-1926
YANG Yuan, GAO Ling, QIAO Bin-zong, et al. Confirming test of tung oil and castor oil [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2007, 17(11): 1923-1926

[25] 管伟举,谷克仁.植物甾醇研究进展[J].粮食与油脂,2007,3:5-9
GUAN Wei-ju, GU Ke-ren. Research progress of phytosterol [J]. Cereals & Oils, 2007, 3: 5-9

[26] 葛志伟,罗自生.食品中植物甾醇的色谱分析方法研究进展[J].食品安全质量检测学报,2017,8(3):773-778
GE Zhi-wei, LUO Zi-sheng. Research progress of chromatographic analysis of phytosterols in foods [J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2017, 8(3): 773-778

[27] Damirchi S A, Savage G P, Dutta P C. Sterol fractions in hazelnut and virgin olive oils and 4, 4′-dimethylsterols as possible markers for detection of adulteration of virgin olive oil. J Am Oil Chem Soc [J]. Journal of Oil & Fat Industries, 2005, 82(10): 717-725

[28] Sodeif A D, Pareshc D. Free and Esterified 4,4'-dimethylsterols in hazelnut oil and their retention during refining processes [J]. Journal of Oil & Fat Industries, 2007,

84(3): 297-304

[29] Al-Ismail K M, Alsaed A K, Ahmad R, et al. Detection of olive oil adulteration with some plant oils by GLC analysis of sterols using polar column [J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1255-1259

[30] Jabeur H, Zribi A, Makni J, et al. Detection of Chemlali extra-virgin olive oil adulteration mixed with soybean oil, corn oil, and sunflower oil by using GC and HPLC [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(21): 4893-904

[31] Hilali M, Charrouf Z, Soulhi A E A, et al. Detection of argan oil adulteration using quantitative campesterol GC-Analysis [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2007, 84(8): 761-764

[32] 温运启,刘玉兰,王璐阳,等.不同食用植物油中维生素 E 组分及含量研究[J].中国油脂,2017,42(3):35-39
WEN Yun-qi, LIU Yu-lan, WANG Lu-yang, et al. Content and components of vitamin e in different edible vegetable oils [J]. China Oils and Fats, 2017, 42(3): 35-39

[33] Chen H, Angiuli M, Ferrari C, et al. Tocopherol speciation as first screening for the assessment of extra virgin olive oil quality by reversed-phase high-performance liquid chromatography/fluorescence detector [J]. Food Chemistry, 2011, 125(4): 1423-1429

[34] Dionisi F, Prodolliet J, Tagliaferri E. Assessment of olive oil adulteration by reversed-phase high-performance liquid chromatography/amperometric detection of tocopherols and tocotrienols [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1996, 72(12): 1505-1511

[35] Xin Z, Fei M, Li P, et al. Simultaneous determination of isoflavones and resveratrols for adulteration detection of soybean and peanut oils by mixed-mode SPE LC-MS/MS [J]. Food Chemistry, 2015, 176: 465-471

[36] DB34/T 924-2009,芝麻油纯度的测定比色法[S]

[37] Blanch G P, Caja M M, Leon M, et al. Determination of (E)-5-methylhept-2-en-4-one in deodorised hazelnut oil. Application to the detection of adulterated olive oils [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2000, 80(1): 140-144

[38] Schröder M, Lehnert K, Hammann S, et al. Dihydrophytol and phytol isomers as marker substances for hydrogenated and refined vegetable oils [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2014, 116(10): 1372-1380

[39] Roca M, Gallardoguerrero L, Mínguezmosquera M I, et al. Control of olive oil adulteration with copper-chlorophyll derivatives [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(1): 51-6

[40] Gomes T. Oligopolymer, diglyceride and oxidized triglyceride contents as measures of olive oil quality [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1992, 69(12): 1219-1223

[41] Hodaifa G, Martíneznieto L, Lozano J L, et al. Changes of the wax contents in mixtures of olive oils as determined by gas chromatography with a flame ionization detector [J]. Journal of Aoac International, 2012, 95(6): 1720-1724(5)

[42] Carelli A A, Bäumler E B, Ceci L N. Improved method for the determination of wax esters in vegetable oils [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2012, 114(11): 1312-1319

[43] Tena N, Wang S C, Aparicioruiz R, et al. An in-depth assessment of analytical methods for olive oil purity, safety and quality characterization [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(18)

[44] Garcia R, Martins N, Cabrita M J. Putative markers of adulteration of extra virgin olive oil with refined olive oil: Prospects and limitations [J]. Food Research International, 2013, 54(2): 2039-2044

[45] Pérez-Camino M C, Moreda W, Cert A. Effects of olive fruit quality and oil storage practices on the diacylglycerol content of virgin olive oils [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(2): 699-704

[46] Sánchez-Hernández L, Puchalska P, García-Ruiz C, et al. Determination of trigonelline in seeds and vegetable oils by capillary electrophoresis as a novel marker for the detection of adulterations in olive oils [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(13): 7489-7496

[47] Sánchez-Hernández L, Nozal L, Marina M L, et al. Determination of nonprotein amino acids and betaines in vegetable oils by flow injection triple-quadrupole tandem mass spectrometry: a screening method for the detection of adulterations of olive oils [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(4): 896-903