

# 食用植物油鉴别研究进展

高蓓, 章晴, 杨悠悠, 杨永坛\*

(中粮营养健康研究院营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209)

**摘要:** 近年来, 食用植物油掺假问题引起了社会的广泛关注。本文通过收集相关的文献资料, 对我国食用油鉴别的研究进展进行了阐述, 简要介绍了食用植物油掺假的现状, 从食用植物油的组分包括脂肪酸、甘油三酯、甾醇、维生素 E、挥发性成分以及其他成分和整体特征差异两个方向综述了目前植物油鉴别的国内外研究进展, 并对食用植物油鉴别的研究发展趋势进行了展望。

**关键词:** 食用植物油; 鉴别; 脂肪酸; 甘油三酯

## Research progress on the identification of edible vegetable oil adulteration

GAO Bei, ZHANG Qing, YANG You-You, YANG Yong-Tan\*

(Beijing Key Laboratory of Nutrition Health and Food Safety, Chinese oil & Foodstuffs Corporation (COFCO) Nutrition and Health Research Institute, Beijing 102209, China)

**ABSTRACT:** In recent years, the problem of edible vegetable oil adulteration has drawn a wide attention in China society. Researches on edible vegetable oil adulteration published in China and abroad were reviewed and the present situation of edible vegetable oil adulteration was summarized in this paper. Edible vegetable oil adulteration could be identified by analyzing single distinctive chemical composition such as fatty acid, triglyceride, sterol, Vitamin E, volatile compounds and other compositions. It can also be identified by whole characteristic difference analysis. The research progress in identification of edible vegetable oil adulteration was reviewed on the 2 above-mentioned aspects and the development trend of authentication technology was prospected.

**KEY WORDS:** edible vegetable oil; adulteration identification; fatty acid; triglyceride

## 1 引言

近年来, 随着人们生活水平的不断提高, 我国食用植物油的生产和消费大幅增长。据国家粮油信息中心统计, 2012/2013 年我国食用植物油的消费量达 2816.4 万吨, 比 2008/2009 年的 2223.7 万吨增长了 592.7 万吨, 年均增长 6.09 %。食用植物油的人均消费从 2008/2009 年的 18.6 公斤, 增长到 2012/2013 年的 22.8 公斤, 年均增长 5.22%<sup>[1]</sup>。

目前对食用植物油市场状况而言, 大豆油、花生油、调和油、菜籽油是食用油市场的主要占有者; 山茶油、橄榄油其次; 亚麻籽油、葡萄籽油、红花籽油等特种用油则打开了一片细分市场。

食用植物油因种类、营养价值等不同, 价格上存在较大差异, 不法生产经营者为牟取暴利而进行掺杂使假事件时有发生。常见掺假手段有: (1) 在食用植物油中掺入非食用油。如在食用植物油中掺入桐油、矿物油、大麻籽油、

基金项目: 中粮集团项目(2013-C2-F007)

**Fund:** Supported by Chinese Oil & Foodstuffs Corporation (2013-C2-F007)

\*通讯作者: 杨永坛, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测研究, E-mail: yangyongtan@cofco.com

\*Corresponding author: YANG Yong-Tan, Ph.D, Senior Engineer, Food Quality & Safety Center, COFCO Nutrition & Health Research Institute, No. 4 Road, Future Science and Technology Park South, Changping District, Beijing 102209, China. E-mail: yangyongtan@cofco.com

蓖麻油,甚至地沟油等<sup>[2]</sup>。2011年辽宁警方破获抚顺食用油掺假事件即为在食用油中勾兑地沟油。(2)在高价食用植物油中掺入低价油<sup>[3]</sup>。这类现象较为普遍,主要有在芝麻油、花生油、橄榄油、油茶籽油等高价油中掺入大豆油、葵花籽油、菜籽油、棕榈油等其他低价油。2015年5月7日焦点访谈曝光的两广花生油事件即为在花生油中掺入大量大豆油和棕榈油。(3)在高级别油中掺入同种的低级别油<sup>[4]</sup>。此现象在橄榄油行业中较严重,2012年初意大利橄榄油掺假事件即为在特级初榨橄榄油中掺入廉价橄榄油。这些掺假行为不仅导致消费者的经济损失,也严重损害了合法经营者的利益,更损害了消费者的健康。因此,研究开发准确便捷的食用油鉴伪技术十分重要。目前国内外对食用植物油掺假鉴定的研究主要围绕两个方向展开。一是关注食用植物油的组分,包括脂肪酸、甘油三酯、甾醇、维生素E、挥发性成分等,另一个是从不同植物油的整体特征差异来判断掺假。

## 2 组分鉴伪

### 2.1 脂肪酸

对于特定来源的植物油,其所含的脂肪酸种类和含量相对固定,具有一定的特征性。有不少研究者通过对脂肪酸组成、特征脂肪酸构成比、相对不饱和度等指标进行分析来进行食用植物油的掺杂鉴别<sup>[5-7]</sup>。针对脂肪酸组分的分析,其方法是先将脂肪酸甲酯化衍生为脂肪酸甲酯,再进行气相色谱分析<sup>[8,9]</sup>,建立脂肪酸指纹图谱,并结合计量学方法<sup>[10,11]</sup>,找出特征组分或比例从而进行掺假识别。张东生等<sup>[12]</sup>依据脂肪酸组成结合化学计量学方法甄别油茶籽油的掺假,结果显示,掺伪比例和脂肪酸组成之间有较好线性关系。其中,采用偏最小二乘法(PLS)能够定量分析5%~60%的掺伪样品。冯丽丽<sup>[13]</sup>等采用气相色谱-氢火焰离子检测器(GC-FID)方法对植物油中脂肪酸组成进行检测,以月桂酸为特征指标,建立食用植物油中掺入棕榈油的定性与定量方法,结果表明,该方法月桂酸检出限为0.01%,植物油中棕榈油的定量限为5%~100%,最低可分辨出添加了5%棕榈油的食用植物油。Monfreda等<sup>[14]</sup>采用GC-FID结合PLS、主成分分析(PCA)、目标因子分析(TFA)统计方法对橄榄油中掺入花生油、玉米油、米糠油、葡萄籽油进行鉴别,判定限范围为40%~60%,准确率大于95%。李琦等<sup>[15]</sup>研究菜籽油中掺入不同比例大豆油脂脂肪酸组成发现,菜籽油中芥酸(C 22:1)与油酸(C 18:1)含量线性相关程度高,92.39%的菜籽油棕榈酸(C 16:0)值不超过4.5%、99.06%菜籽油的亚油酸(C 18:2)含量范围在11.8%~20.3%,通过此3项特征指标将菜籽油中大豆油掺伪量判定限降至15%以下,低芥酸菜籽油(芥酸含量≤5%)中大豆油掺伪量判定限降至6%以下。Sun等人<sup>[16]</sup>采用气相色谱/质谱-选择离子检测(GC/MS-SIM)模式结合PCA、

在R中使用支持向量机(R-SVM)有效判定在亚麻籽油中花生油、芝麻油、菜籽油等掺假物,判定限达10%,准确率95.6%。脂肪酸组分的分析在鉴伪方面有一定的可行性,但有些植物油的脂肪酸组成较相近(如花生油与芝麻油、橄榄油与榛子油),且不同产地、不同品种的食用植物油脂肪酸组成差异较大<sup>[17-19]</sup>,因此,采用脂肪酸组作为掺杂鉴定指标有一定的局限性。

### 2.2 甘油三酯

甘油三酯是植物油的主要成分,天然油脂均具有独特的甘油三酯组成,对食用植物油中甘油三酯的定性和定量分析,也被应用于各种食用植物油及掺伪油种类的鉴定。甘油三酯的分析通常采用液相色谱技术进行,也有学者<sup>[20,21]</sup>采用气相色谱分离植物油中的甘油酯,并取得了一定的分离效果,但该方法对色谱柱要求较高,并且因高温条件对不饱和甘油三酯有破坏作用,因此只能测定不饱和度相对较低的甘油三酯。目前最常用的是非水反相-高效液相色谱(RP-HPLC)结合化学计量方法<sup>[22,23]</sup>。Lee等<sup>[24]</sup>根据大豆油中的特征甘油三酯二亚油酸单亚麻酸甘油酯(LLnL),油酸亚麻酸亚油酸甘油酯(OLnL),棕榈酸亚麻酸亚油酸甘油酯(PLnL)和芥花油中的油酸亚麻酸亚油酸甘油酯(OLnL)、二油酸单亚麻酸甘油酯(OLnO),能有效地鉴别芝麻油中大豆油和芥花油掺假,判定限达到20%。Salghi等<sup>[25]</sup>采用高效液相色谱-蒸发光散射检测器(HPLC-ELSD)测定食用植物油的甘油三酯,通过峰面积比值不同可鉴别摩洛哥坚果油掺入其他食用植物油如大豆油、葵花籽油和橄榄油,判定限达5%。等价碳数(ECN)常用来描述甘油三酯的色谱属性并预测其洗脱顺序, Holčápek等<sup>[26]</sup>采用高效液相色谱-大气压化学电离源质谱(HPLC-APCI-MS)结合PCA分析,对橄榄油中掺入葵花籽油进行鉴别,判定限可达1%。陆慧媛等<sup>[27]</sup>采用GC-FID和高效液相色谱-示差检测器(HPLC-RID)分别对8种常见食用植物油的ECN 42和ECN 44甘油三酯含量进行计算比较,结果表明,橄榄油和山茶油的ECN 42和ECN 44值远低于高亚油酸的大豆油、玉米油等种籽油类,且差异显著( $P < 0.05$ )。因此,ECN 42和ECN 44值可有效应用于山茶油和橄榄油中高亚油酸含量种籽油的掺伪鉴别。虽然液相色谱-质谱联用技术具有快速、高通量、高精度等特点,但甘油三酯类复杂化合物完全分离要求较高,高效液相方法很难对甘油三酯的不同双键数目、双键位置及双键顺反异构体进行完全分离,使得甘油三酯测定还停留在定性阶段。此外,有些植物油也具有类似甘油三酯组成。因此,有不少学者在甘油三酯结构解析的基础上结合脂肪酸组分分析,进行植物油的鉴伪研究。如Christopoulou等<sup>[28]</sup>利用三亚油酸甘油酯LLL/ECN42、ECN46/LLL和(ECN44+ECN46)/LLL比值三个参数可鉴别橄榄油中葵花籽油、大豆油、玉米油等8种食用植物油,判定限低至1%。

### 2.3 甾醇和甾醇烯类

植物甾醇是植物油不皂化物的主要组分,通常以游离态和酯结合形式存在于植物油中。甾醇作为食用油内源性成分之一,具有较高的惰性、稳定性和分布专一性的特点,因而测定油样中甾醇的含量和组成,可方便地检出某些植物油是否掺伪。如菜籽油中的特征甾醇菜籽甾醇,米糠油中的 $\gamma$ -谷维素等。甾醇的测定主要通过气相色谱方法,Xu等<sup>[29]</sup>采用全二维气相色谱飞行时间质谱(GC-GC-TOF/MS)结合PLS和层次聚类分析(HCA)和随机森林(Random Forests)计量方法对花生油、大豆油、葵花籽油和菜籽油的游离甾醇进行分析,可将上述4种油进行很好的分类区分;同时采用蒙特卡洛法(Monte Carlo)可有效鉴别花生油中大豆油的掺假情况,判定限低至5%。Damirchi等<sup>[30]</sup>通过GC-MS分析发现,4,4'-二甲基甾醇部分中仅榛子油含有未知化合物X(含有一个羽扇烷骨架)和羽扇豆醇,含量分别在2%~8%和6%~10%,通过检测这两种化合物,在橄榄油中仅掺入4%榛子油即可检出。Dulf等<sup>[31]</sup>通过特征甾醇芜菁甾醇、 $\beta$ -谷甾醇/芸苔甾醇和芸苔甾醇/芜菁甾醇比值3个指标能有效地鉴别特级初榨橄榄油是否添加菜籽油。甾醇烯类是甾醇类发生脱水反应,产生烯键形成的物质,通常采用气相色谱进行测定。于瑞祥等<sup>[32]</sup>建立了GC-MS测定植物油中4种甾醇烯类物质的方法,并发现植物油中的3,5-胆甾二烯等甾醇烯类物质可作为鉴别地沟油的重要指标。3,5-豆甾二烯在特级初榨橄榄油中含量极低,而在精炼橄榄油中含量相对较高,Colin Crews等<sup>[33]</sup>根据3,5-豆甾二烯的含量差异,检测了特级初榨橄榄油中精炼橄榄油的掺杂情况。

### 2.4 维生素E

维生素E是指具有 $\alpha$ -生育酚生物活性的一类物质,自然界中共有8种。其中 $\alpha$ -T、 $\beta$ -T、 $\gamma$ -T、 $\delta$ -T为生育酚, $\alpha$ -TT、 $\beta$ -TT、 $\gamma$ -TT、 $\delta$ -TT为生育三烯酚。不同食用植物油中生育酚种类和含量各不相同,因此,可作为植物油掺假识别的方法之一。维生素E的检测通常采用高效液相色谱法。Dionisi等<sup>[34]</sup>人根据生育三烯酚是棕榈油和葡萄籽油中存在的一种功能性成分,而在橄榄油、榛子油、大豆油和葵花籽油中均不含有的特点,将生育三烯酚应用于橄榄油中棕榈油和葡萄籽油的掺杂鉴别,判定限为1%~2%。Chen等<sup>[35]</sup>采用高效液相色谱荧光检测器(HPLC-FLD)分析植物油中的生育酚,通过特级初榨橄榄油、葵花籽油、榛子油、花生油等8种食用植物油中的生育酚比值不同,可以有效鉴别特级初榨橄榄油的掺假情况。黄宏南等<sup>[36]</sup>采用HPLC-FLD对植物油中生育酚进行了研究,结果显示花生油和菜籽油的生育酚指纹图谱有明显的区别, $\alpha$ 、 $\gamma$ 和 $\delta$ -生育酚的百分含量也不同,可据此进行鉴别。Shrestha等<sup>[37]</sup>对掺入大豆油的高芥酸菜籽油、芥籽油(HEARM)和低芥酸

菜籽油(LEAR)进行了脂肪酸组分和生育酚的分析发现,大豆油的 $\delta$ -生育酚含量(275  $\mu\text{g/g}$ )约为HEARM和LEAR(约为8  $\mu\text{g/g}$ )的30倍,大豆油中 $\delta$ -生育酚与总生育酚比值约为0.24,而HEARM和LEAR的该比值约为0.02,以此作为依据鉴别大豆油的掺伪情况。针对甾醇、挥发性成分、生育酚等组分方面的鉴别方法研究尚存在一些问题,如相关标准品难以获得等,缺乏系统性和全面性,对其应用于掺伪鉴别的研究还有待进一步深入。

### 2.5 挥发性成分

食用植物油的挥发性成分化学组成复杂,主要包括萜烯类、酯类、醇类、醛酮类、烷烃类等,因品种差异(如花生油和芝麻油)、加工工艺不同(如冷榨和热榨),其挥发性成分和含量也不同。因此,挥发性成分的测定常作为植物油掺假鉴别的手段之一。通常采用气相色谱方法结合固相微萃取进行测定分析。Marcos等<sup>[38]</sup>采用顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)分别测定了纯橄榄油和掺假橄榄油的挥发性成分,结合线性判别分析可成功分类纯橄榄油和混入不同比例葵花籽油和橄榄果渣油(混合比例分别为5%、10%、20%、40%、60%)的橄榄油,准确率达100%。杨虹等<sup>[39]</sup>基于GC-MS和MassHunter软件对玉米油掺伪芝麻油的风味质谱数据进行了研究,结果通过倍率变化分析和方差分析确定区分芝麻油和玉米油的特征标记物,通过主成分分析对纯芝麻油和掺伪芝麻油进行100%分类。Zhao等<sup>[40]</sup>采用GC $\times$ GC-TOF/MS结合PCA和CA分析可有效鉴别花生油和芝麻油中掺入的大豆油,判定限分别为5%和10%。洪振童等<sup>[41]</sup>采用HS-SPME-GC-MS对比冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质,结果表明冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质的种类相似,主要是萜烯类、烷烃类和醛酮类,但其含量有很大区别。Mildner-Szkudlarz等<sup>[42]</sup>对比了固相微萃取-气相色谱-氢火焰离子检测器(SPME-GC-FID)、固相微萃取-质谱直接进样(SPME-MS)、电子鼻和固相微萃取-气相色谱质谱联用(SPME-GC/MS)技术几种技术在食用植物油掺伪方面的应用效果。结果表明,上述方法均能有效鉴别橄榄油中的榛子油掺假情况,判定限低至5%,其中SPME-GC/MS方法更佳。食用植物油挥发性成分的组分复杂,并且提取方法对测定结果影响较大,因此,如何对挥发性成分进行充分提取、有效分离,以便更全面地反映出植物油的真实风味组分,如何更好地应用于食用植物油鉴别工作还有待进一步研究。

### 2.6 其他成分

除了脂肪酸、甘油三酯、甾醇等常见组分外,某些植物油还含有特定的特征物质,可将其含量作为检测食用植物油是否掺假的依据。以橄榄油为例。橄榄油等级不同,蜡含量也不同。张蕊等<sup>[43]</sup>采用气相色谱方法,通过检测橄榄油的蜡组分,可鉴别特级和中级初榨橄榄油。另一个特征

物质是角鲨烯,其在橄榄油中含量较高而在其他植物油中含量较低。Geng等<sup>[44]</sup>通过GC-MS方法对角鲨烯的含量进行测定,可区分不同品种和成熟度的橄榄油。此外,橄榄油中的叶绿素不含任何铜衍生物,而其他植物油中的叶绿素均含有叶绿素铜衍生物。根据这一特点,Roca等<sup>[45]</sup>采用高效液相色谱-光电二极管阵列检测(HPLC-DAD)技术检测植物油中的叶绿素铜衍生物(E 141i),可有效鉴别橄榄油中是否掺有其他植物油。

### 3 整体特征鉴别

植物油是一个十分复杂的多组分体系,当两种组成相似、含量相近的植物油混合后,很难从某一组分或某几个组分准确识别掺假,但细微的差别会使植物油的整体特征发生改变。因此,除了针对食用植物油的各组分进行鉴别研究之外,从食用植物油的整体特征差异上判别掺假也成为研究的另一热点。

核磁共振技术通过脉冲序列对样品的原子核(如<sup>1</sup>H,<sup>13</sup>C,<sup>31</sup>P)进行激发,产生的弛豫信号强度以及信号衰减过程可反映样品的成分和微观结构信息。植物油掺假后,在核磁共振谱上会表现出较大的区分度。邵小龙等<sup>[46]</sup>采用低场核磁测定植物油的氢质子横向弛豫曲线,结合PCA和PLS方法,能够鉴别芝麻油中大豆油的掺假情况,判定限为5%~10%;精炼芝麻油中掺入冷榨或热榨芝麻油的判定限为10%~20%。

食用植物油的种类、等级不同,其分子组成或化学基团的含量不同,在红外吸收谱带上的吸收强度也不同,因此,通过红外光谱分析可判定食用植物油的掺假情况<sup>[47]</sup>。温珍才等<sup>[48]</sup>采用可见/近红外联合无信息变量消除(UVE)方法进行波长变量优选,应用PLS-DA建立鉴别分类模型,能较好区分压榨和浸出山茶油,正确率100%。而不同植物油由于分子结构的不同,各种物质都有其特征荧光激发和发射光谱,因此可用荧光光谱来鉴别植物油的掺假使假<sup>[49]</sup>。Li等<sup>[50]</sup>对比傅里叶红外光谱(FTIR)和荧光光谱,并结合SIMCA和PLS方法,通过峰的位置和发射光谱强度分析核桃油中大豆油掺假的情况,判定限低于5%,并且荧光光谱的检测限低、预测偏差小,更适于植物油的鉴别研究。

离子迁移谱仪(IMS)是基于气相中不同离子在电场中迁移速度差异的微量化学物质分析技术。具有原理简单、设备轻便、灵敏度高、选择性强、检测过程快速高效等特点,可应用于食用植物油的鉴别检测<sup>[40]</sup>。Shuai等<sup>[51]</sup>采用IMS结合PCA和R-SVM分析鉴别亚麻籽油掺假情况,结果显示R-SVM可有效鉴别亚麻籽油掺假情况,判定限5%,准确率达93.1%。

电子鼻是20世纪80年代末发展起来的一种新颖的分析、识别和检测复杂嗅味和大多数挥发性成分的仪器,能提供样品中挥发成分的整体信息,也称“指纹”数据。因此,

可以运用于食用植物油等级的区分和鉴别。潘磊庆等<sup>[52]</sup>使用电子鼻结合PCA和线性判别式分析(LDA)对芝麻油中掺入大豆油、玉米油、葵花籽油进行分析,结果表明电子鼻能较好地识别出上述掺杂情况,并且LDA方法优于PCA。

采用光谱法、核磁共振法、电子鼻、离子迁移谱等技术手段对植物油整体特征差异进行鉴别,具有快速、高效、环境友好、操作简单等优势,成为食用植物油掺假识别的另一重要研究领域。

### 4 展望

目前,通过关注食用植物油的各个组分和整体特征差异来进行掺假识别的研究,取得了一些突破性进展,为食用油的掺假鉴别提供了技术支撑。但是,食用植物油种类繁多,具有组成相似性和复杂性的特点,仅仅研究某一种或某几种食用植物油的一两个样本量、做单个成分的鉴定是远远不够的,容易导致结果的误判。需要收集足够的样本量,有针对性的建立每种食用植物油中各个成分指标和整体特征指标的详细基础数据,结合科学统计学分析方法,形成建立单种食用植物油的纯度鉴别方法。随着技术的发展和研究的深入,食用植物油的掺假鉴别将会更快速、更准确,满足老百姓、企业、政府等各个层面对食用植物油安全检测和掺假鉴别方面的要求。

#### 参考文献

- [1] 王汉中,殷艳.我国油料产业形势分析与发展对策建议[J].中国油料作物学报,2014,36(3):414-421.  
Wang HZ, Yin Y. Analysis and strategy for oil crop industry in China[J]. Chin J Oil Crop Sci, 2014, 36(3): 414-421.
- [2] 杨佩荣.食用油中掺入非食用油的鉴别[J].西部粮油科技,2003,28(5):28-30.  
Yang PY. Identification of inedible oil adulteration in edible oil [J]. Chin Western Cereals Oils Technol, 2003, 28(5): 28-30.
- [3] 唐佳妮,刘东红.食用植物油掺假鉴别方法研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(11):158-162.  
Tang JN, Liu GH. Research progress on authentication methods of edible vegetable oils [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2009, 24(11): 158-162.
- [4] 林远辉,高蓓,李玉玉,等.橄榄油掺假鉴别技术研究进展[J].食品科学,2013,34(5):279-283.  
Lin YH, Gao B, Li YY, et al. Research progress in identification of olive oil adulteration [J]. Food Sci, 2013, 34(5): 279-283.
- [5] Zhang L, Li P, Sun X, et al. Classification and adulteration detection of vegetable oils based on fatty acid profiles [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(34): 8745-8751.
- [6] Seo HY, Ha J, Shin DB, et al. Detection of corn oil in adulterated sesame oil by chromatography and carbon isotope analysis [J]. J Oil Fat Ind, 2010, 87(6):621-626.
- [7] Ren X, Yanlan BI, Yang G, et al. Research on identification methods of sesame oil adulterated with rapeseed oils [J]. China Oils Fats, 2012, 37(2): 75-80.

- [8] GB/T 17376-2008 动植物油脂脂肪酸甲酯制备[S].  
GB/T 17376-2008 Animal fats and vegetable oils methyl esters preparation [S].
- [9] GB/T 17377-2008 动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析[S].  
GB/T 17377-2008 Animal fats and vegetable oils methyl esters analysis by gas chromatography [S].
- [10] 刘韦华, 别玮, 张朝晖, 等. 气相色谱仪结合数据分析软件鉴别橄榄油掺杂[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3197–3202.  
Liu WH, Bie W, Zhao CH, *et al.* Identification of olive oil adulteration by gas chromatograph combined with data analysis [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(10): 3197–3202.
- [11] Lee DS, Bae SY, Kim K, *et al.* Characterization of fatty acids composition in vegetable oils by gas chromatography and chemometrics [J]. Anal Chim Acta, 1998, 358(2): 163–175.
- [12] 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 DS, Jin QZ, Wang XG, *et al.* The adulterating research of identifying camellia oil based on fatty acids [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2015, 30(1): 124–128.
- [13] 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, 6(3): 822–827.  
Feng LL, Shi YG, Yang FM, *et al.* Qualitative and quantitative analysis of palm oil blended in edible vegetable oil [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(3): 822–827.
- [14] 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(4): 584–592.
- [15] 李琦, 刘勇, 刘坚, 等. 菜籽油脂肪酸组成特征指标及大豆油掺伪后不合格判定的研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 117–123.  
Li Q, Liu Y, Liu J, *et al.* Study on rapeseeds oil fatty acid composition characteristic and adulteration research after mixed with different proportions of soybean oil [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2014, 29(8): 117–123.
- [16] 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-Technol, 2015, 63(1): 430–436.
- [17] 李丹华, 朱圣陶. 气相色谱法测定常见植物油中脂肪酸[J]. 粮食与油脂, 2006, (8): 46–48.  
Li DH, Zhu ST. Determination of fatty acids in vegetable oils by gas chromatography [J]. Cereals Oils, 2006, (8): 46–48.
- [18] Vigli G, Philippidis A, Spyros A, *et al.* Classification of edible oils by employing P and HNMR spectroscopy in combination with multivariate statistical analysis. A proposal for the detection of seed oil adulteration in virgin olive oils [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(19): 5715–5722.
- [19] 刘国艳, 王兴国, 金青哲, 等. 不同地区茶叶籽油理化指标及脂肪酸组成的比较分析[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 85–88.  
Liu GY, Wang XG, Jin QZ, *et al.* Physicochemical properties and fatty acid compositions of tea seed oils from different areas [J]. China Oils Fats, 2013, 38(7): 85–88.
- [20] Ruiz-Samblás C, Cuadros-Rodríguez L, González-Casado A, *et al.* Multivariate analysis of HT/GC-(IT)MS chromatographic profiles of triacylglycerol for classification of olive oil varieties [J]. Anal Bioanal Chem, 2011, 399(6): 2093–2103.
- [21] Evershed RP. High-resolution triacylglycerol mixture analysis using high-temperature gas chromatography / mass spectrometry with a polarizable stationary phase, negative ion chemical ionization, and mass-resolved chromatography [J]. J Am Soc Mass Spectrom, 1996, 7(4): 350–361.
- [22] Momchilova S, Itabashi Y, Nikolova B, *et al.* Regioselective separation of isomeric triacylglycerols by reversed-phase high-performance liquid chromatography: Stationary phase and mobile phase effects [J]. J Sep Sci, 2006, 29(17): 2578–2583.
- [23] 刘涛, 尹春华, 谭天伟. 高效液相色谱-蒸发光散射检测器测定脂肪酸和甘油酯的含量[J]. 中国油脂, 2005, 30(9): 52–55.  
Liu T, Yin CH, Tan TW. Determination of free fatty acids and glycerides by HPLC with evaporative light-scatter detector [J]. China Oils Fats, 2005, 30(9): 52–55.
- [24] Lee W, Su N, Lee M, *et al.* Assessment of authenticity of sesame oil by modified Villavecchia test and HPLC-ELSD analysis of triacylglycerol profile [J]. Food Res Inter, 2013, 53(1): 195–202.
- [25] Salghi R, Armbruster W, Schwack W. Detection of argan oil adulteration with vegetable oils by high-performance liquid chromatography-evaporative light scattering detection [J]. Food Chem, 2014, 153 (15): 387–392.
- [26] Holčápek M, Lisa M. Statistical evaluation of triacylglycerol composition by HPLC/APCI-MS [J]. Lipid Technol, 2009, 21(11-12): 261–265.
- [27] 陆慧媛, 刘静, 沈伟健, 等. 8 种食用植物油碳原子当量 42 和 44 甘油三酯含量的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3016–3029.  
Lu HY, Liu J, Shen WJ, *et al.* Comparison of triacylglycerols with equivalent carbon number 42/44 for 8 edible vegetable oils [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(10): 3016–3029.
- [28] Christopoulou E, Lazaraki M, Komaitis M, *et al.* Effectiveness of determinations of fatty acids and triglycerides for the detection of adulteration of olive oils with vegetable oils [J]. Food Chem, 2004, 84(3): 463–474.
- [29] 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]. Anal Methods, 2014, 6(17): 6860–6870.
- [30] Damirchi SA, Savage GP, Dutta PC. Sterol fractions in hazelnut and virgin olive oils and 4,4'-dimethylsterols as possible markers for detection of adulteration of virgin olive oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2005, 82(10): 717–725.
- [31] Dulf FV, Bele C, Ungureșan. ML, *et al.* Qualitative and quantitative markers to identify the quality and adulteration of olive oil with rapeseed oil [J]. Bulletin Univ Agric Sci Veter Med Cluj-Napoca Agri, 2007, 63: 575–580.
- [32] 于瑞祥, 杨瑞钰, 方晓明, 等. 植物油中甾醇烯类物质的检测研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(6): 81–85.  
Yu RX, Yang RY, Fang XM, *et al.* Determination of steradienes in vegetable oils [J]. Chin Oils Fats, 2012, 37(6): 81–85.
- [33] Crews C, Pye C, Macarthur R. An improved rapid stigma stadiene test to detect addition of refined oil to extra virgin olive oil [J]. Food Res Inter, 2014, 60: 117–122.
- [34] Dionisi F, Prodoliet J, Tagliaferri E. Assessment of olive oil adulteration by reversed-phase high-performance liquid chromatography/ampereometric detection of tocopherols and tocotrienols [J]. J Am Oil Chem Soc, 1995,

- 72(12): 1505–1511.
- [35] 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 Chem*, 2011, 125(4): 1423–1429.
- [36] 黄宏南, 刘伟, 张文舟. 植物油中天然维生素 E 特征与高效液相指纹图谱的应用研究[J]. *海峡预防医学杂志*, 2001, 7(3): 10–13.  
Huang HN, Liu W, Zhang WZ. Application study on stripe picture of natural vitamin E in vegetable oil by HPLC [J]. *Strait J Prev Med*, 2001, 7(3): 10–13.
- [37] Shrestha K, Jacxsens L, Meulenaer BD. Monte Carlo simulation based prediction of blended oil composition containing mustard, rapeseed and soybean oil [J]. *Food Res Inter*, 2014, 60(6): 108–116.
- [38] Marcos LI, Pérez Pavón JL, Fernández Laespada ME, *et al.* Detection of adulterants in olive oil by headspace-mass spectrometry [J]. *J Chromat A*, 2002, 945(1–2): 221–230.
- [39] 杨虹, 姜元荣, 周川, 等. 基于 GC-MS 和 MassHunter 统计方法的芝麻油掺伪识别[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(3): 828–835.  
Yang H, Jiang YR, Zhou C, *et al.* Applied research on gas chromatography-mass spectrometry and MassHunter data mining and statistic software for sesame oil adulteration recognition [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(3): 828–835.
- [40] Zhao F, Liu J, Wang X, *et al.* Detection of adulteration of sesame and peanut oils via volatiles by GC × GC-TOF/MS coupled with principal components analysis and cluster analysis [J]. *Europ J Lipid Sci Technol*, 2013, 115(3): 337–347.
- [41] 洪振童, 陈洁, 范璐, 等. HS-SPME-GC-MS 分析冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质[J]. *中国油脂*, 2015, 40(2): 90–94.  
Hong ZT, Chen J, Fan L, *et al.* Volatile compounds in cold-pressed sunflower seed oil and hot-pressed sunflower seed oil by HS-SPME-GC-MS [J]. *China Oils Fats*, 2015, 40(2): 90–94.
- [42] Mildner-Szkudlarz S, Jelen HH. 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 Chem*, 2008, 110(3): 751–761.
- [43] 张蕊, 薛雅琳, 赵会义. 蜡含量法鉴别初榨橄榄油油的方法研究[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(8): 119–122.  
Zhang R, Xue YL, Zhao HY. A study on distinguishing method of virgin olive oil by determining wax content [J]. *J. Chin Cereals Oils Assoc*, 2011, 26(8): 119–122.
- [44] Geng S, Ning D, Zhang Y, *et al.* Detection and analysis of squalene in oil from olive fruits of different varieties and of different degrees of maturity [J]. *Agric Sci Technol*, 2013: 1482–1485.
- [45] Roca M, Gallardo-guerrero L, Minguez-mosquera MI, *et al.* Control of olive oil adulteration with copper-chlorophyll derivatives [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58 (1): 51–56
- [46] 邵小龙, 张蓝月, 冯所兰. 低场核磁技术检测芝麻油掺假[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 110–113.  
Shao XL, Zhang LY, Feng SL. Application of LF-NMR for detection of sesame oil adulteration [J]. *Food Sci*, 2014, 35(20): 110–113.
- [47] 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, 27(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, 27(1): 24–29.
- [48] 温珍才, 孙通, 耿响等. 可见/近红外联合 UVE-PLS-LDA 鉴别压榨和浸出山茶油[J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(9): 2354–2358.  
Wen ZC, Sun T, Geng X, *et al.* Discrimination of pressed and extracted camellia oils by Vis/NIR spectra combined with UVE-PLS-LDA [J]. *Spec Spectral Anal*, 2013, 33(9): 2354–2358.
- [49] 田萍, 陈斌, 陆道礼, 等. 二维相关荧光光谱鉴别 4 种食用植物油种类的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2011, 02(6): 294–298.  
Tian P, Chen B, Lu DL, *et al.* Discriminating four kinds of vegetable oil by two-dimensional correlation fluorescence spectroscopy [J]. *J Food Saf Qual*, 2011, 02(6): 294–298.
- [50] Li B, Wang H, Zhao Q, *et al.* Rapid detection of authenticity and adulteration of walnut oil by FTIR and fluorescence spectroscopy: A comparative study [J]. *Food Chem*, 2015: 25–30.
- [51] Shuai Q, Zhang L, Li P, *et al.* Rapid adulteration detection for axseed oil using ion mobility spectrometry and chemometric methods [J]. *Royal Soc Chem*, 2014, 6: 9575–9580.
- [52] 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, (20): 318–321.  
Pan LQ, Tang L, Zhan G, *et al.* Detection of adulteration in sesame oil using electronic nose [J]. *Food Sci*, 2010, (20): 318–321.

(责任编辑: 卢忆)

## 作者简介



高 蓓, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: gaobei@cofco.com



杨永坛, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: yangyongtan@cofco.com