

食用植物油掺假鉴别研究进展

喻 晴, 钟培培, 王远兴

(南昌大学 食品科学与技术国家重点实验室, 南昌 330047)

摘要:综述了在食用植物油中掺入其他食用植物油或非食用油的主要鉴别方法,包括电导率法、红外光谱法、太赫兹时域光谱法、拉曼光谱法、色谱法等,并对上述方法在食用植物油掺假鉴别中的研究进展和应用进行了归纳,最后对食用植物油掺假检测技术的研究方向进行了展望。

关键词:食用植物油;掺假鉴别;电导率法;光谱法;色谱法

中图分类号:TS225.1;TQ646 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2018)06-0081-05

Progress in adulteration identification of edible vegetable oil

YU Qing, ZHONG Peipei, WANG Yuanxing

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: The main adulteration identification methods of adding other edible vegetable oil or non-edible oil in edible vegetable oil were reviewed, including conductivity method, infrared spectroscopy, THz time-domain spectroscopy, Raman spectroscopy and chromatography, etc. The research progress and application of the above methods were summarized. Finally, the research direction of adulteration identification technology of edible vegetable oil was prospected.

Key words: edible vegetable oil; adulteration identification; conductivity method; spectroscopy method; chromatography method

近年来我国食用油质量安全事件频发,不法商贩受利益驱使,以次充好、以假乱真现象屡禁不止,包括在高价植物油中掺入廉价的植物油,如在山茶油中掺入菜籽油、大豆油等,甚至向食用植物油中掺入国家禁用的有毒物质或非食用油,以及主要来源于餐厨废油、煎炸废油和动物废油脂的地沟油,从而导致中毒事件时有发生,严重危害了消费者的身体健康和市场的健康发展。因而,保护广大消费者的合法权益,对食用植物油质量进行准确鉴别是非常必要的。

传统的食用植物油掺假鉴别方法为理化鉴定法。但理化鉴定方法的检测结果受主观因素影响较大,不适用于大批量样本的检测。近年来,国内外众多机构和研究人员开展了食用植物油掺假鉴别的研究工作。目前主要采用电导率法、红外光谱法、太赫

兹时域光谱法、拉曼光谱法、气相色谱法、液相色谱法、离子色谱法以及色谱质谱联用技术等对食用植物油进行掺假鉴别。本文对上述方法的研究进展进行综述,并对其前景进行展望。

1 电导率法

食用油属于非电解质,其萃取水相电导率极低。地沟油在回收和提炼的过程中溶入很多金属离子、微生物,同时油脂变质生成酸败和游离产物,这些都会使电导率升高。因此,电导率法是一个有效的、快速鉴别地沟油的方法,并且仪器和试验条件要求简单。

王飞艳等^[1]采用先建立检测条件,再计算定量模型的方式得出:若测定油脂的水相电导率高于 $10 \mu\text{s}/\text{cm}$,可快速定性判断为食用油掺伪。通过两个线性方程 $y = 7.741x - 73.412$ 和 $y = 2.9243x - 29.115$,相关系数 R 分别为 0.998 6 和 0.996 5,电导率最大值分别为 $22.37 \mu\text{s}/\text{cm}$ 和 $44.67 \mu\text{s}/\text{cm}$ 可以半定量分析掺伪量。黄芳等^[2]用去离子水从有机溶剂中萃取油脂中的杂质离子,测定水相电导率,发现利用电导率的测定鉴别油脂的优劣程度具有很

收稿日期:2017-08-26;修回日期:2018-02-01

作者简介:喻 晴(1993),女,硕士研究生,研究方向为营养与食品卫生学(E-mail)1229002414@qq.com。

通信作者:王远兴,教授(E-mail)yuanxingwang@ncu.edu.cn。

好的稳定性和重现性。劣质油电导率值一般为 $100 \mu\text{s}/\text{cm}$ 以上。王冰等^[3]测定了煎炸老油、水煮鱼油、炸串油、精炼地沟油、黑地沟油等各类地沟油的电导率。在最佳实验条件下,煎炸老油的电导率为 $30 \sim 45 \mu\text{s}/\text{cm}$;精炼地沟油和黑地沟油的电导率为 $60 \sim 150 \mu\text{s}/\text{cm}$ 。如果油脂电导率大于 $45.00 \mu\text{s}/\text{cm}$,可以断定其掺伪。

2 光谱法

2.1 红外光谱法

庄小丽等^[4]通过近红外光谱技术测定了纯橄榄油中掺假 $0 \sim 100\%$ 菜籽油、花生油、玉米油、葵花籽油、山茶油、罂粟油的混合油的光谱,选择最佳波段结合 PLS 法建立定量模型,其预测相对误差在 $-5.67\% \sim 5.61\%$ 之间。Lerma - García 等^[5]通过 FT - IR 对不同来源的橄榄油进行鉴定,在二元混合体系中,能检测出橄榄油中掺入 5% 的其他种类植物油。王传现等^[6]运用近红外光谱技术分析掺杂了食用调和油的初榨橄榄油,利用聚类分析和主成分分析法对橄榄油掺杂掺假进行定性鉴别,对未知样本的鉴定准确率达到了 100% 。Rohman 等^[7]建立了基于傅里叶变换近红外光谱结合化学计量学方法的特级初榨橄榄油掺杂菜籽油的鉴别方法。孙通等^[8]通过近红外光谱技术结合子窗口重排分析 (SPA) 对山茶油中掺入菜籽油、大豆油、花生油和混合油进行检测,结果表明预测集样本的分类错误率、灵敏度及特异性分别为 0 、 1 和 1 。Fadzilliah 等^[9]采用 NIR 结合 PCA 对芝麻油中掺伪玉米油进行了研究,结果得出 R^2 为 0.992 ,均方根校正误差和预测误差分别为 0.53% 、 1.31% 。陈秀梅等^[10]通过近红外透射光谱结合偏最小二乘法建立了煎炸油极性组分的快速检测定量模型,在 $4\ 963 \sim 4\ 616 \text{ cm}^{-1}$ 、 $5\ 222 \sim 5\ 037 \text{ cm}^{-1}$ 、 $5\ 688 \sim 5\ 499 \text{ cm}^{-1}$ 波段范围内能够测定煎炸油中的极性组分,实现极性组分的快速测定和监控分析。Zhang 等^[11]应用近红外光谱技术采集不同比例煎炸老油的透射光谱,通过 PLS 和人工神经网络分别建立煎炸老油的定量分析模型,两种方法均能实现对煎炸老油的快速鉴别与定量分析,提高了煎炸老油的检测效率。

2.2 太赫兹时域光谱法

太赫兹时域光谱技术是一种新的、非常有效的相干探测技术,许多极性大分子振动和转动能级间的跃迁均处于太赫兹频率范围之内。太赫兹相干电磁辐射的光子能量较低,应用于样品探测时,不会产生有害的光致电离,是一种有效的无损探测方法。由于油脂大分子基团的振动和转动频率均处于太赫

兹波段,会产生共振吸收,太赫兹波谱可以灵敏直接地反映到这一变化,因此太赫兹时域光谱技术近年来成为了油脂的质量检测的一种全新的技术途径。

徐朝辉等^[12]利用太赫兹时域光谱法技术测量了两种地沟油及其对照用的植物油在 $0 \sim 3.0 \text{ THz}$ 范围内的时域谱和频域吸收谱,并通过采用太赫兹时域光谱分析技术 (THz - TDS) 对波谱进行分析,结果表明两组油中反复烹炸过的油和未使用过的油在此波段的波谱和光学特性显著不同,并且会随着频率的增加而变化,表明经过高温的植物油可以通过这种方法与相应的未使用过的植物油进行鉴别。廉飞宇等^[13]利用太赫兹时域光谱技术对地沟油和大豆油在 $0.2 \sim 1.5 \text{ THz}$ 波段的折射率和吸收特性进行了研究。两种油的折射率以及吸收特性都有明显的区别,地沟油的吸收特性变化特别明显,并且在 1.33 THz 和 1.47 THz 处各有一个吸收峰,植物油变化平稳,没有出现吸收峰。宝日玛等^[14]利用太赫兹时域光谱技术在室温氮气环境下对普通食用油及地沟油进行了光谱测试,获得了各自的特征吸收和折射光谱。从样品吸收和折射光谱的差异可以得到反映不同组分样品的分子振动及官能团影响的信息,通过太赫兹光谱包含的特征信息对地沟油的定性分析结果表明,太赫兹光谱信息可作为辨别地沟油与合格食用油的理化指标,对市场上的食用油进行快速筛查。

2.3 拉曼光谱法

拉曼光谱分析法是对与入射光频率不同的散射光谱进行分析以得到分子振动、转动方面信息,并应用于分子结构研究的一种分析方法。

Farhard 等^[15]以大豆油、玉米油、葵花籽油、棕榈油、椰子油为研究对象,选择 $2\ 800 \sim 3\ 200 \text{ cm}^{-1}$ 区域特征谱带作为不同油的总不饱和脂肪酸/总脂肪酸的定量,可迅速测量不同油的不饱和酸比值,估计可能掺假程度。Zhang 等^[16]结合拉曼光谱和主成分分析法对橄榄油掺杂鉴别进行研究,对纯橄榄油中掺入 4 种不同类型的植物油分别进行主成分特征提取,成功鉴别了橄榄油和掺杂橄榄油。Zou 等^[17]将拉曼光谱振动带 $1\ 441 \text{ cm}^{-1}$ 波数 CH_2 键顺反式结构吸收归一化强度比值用于验证橄榄油的真实性,该方法能可靠地识别含掺杂油 (大豆油、花生油、菜籽油、葵花籽油) 5% 以上的橄榄油。邓平建等^[18]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,实现了对掺假橄榄油的

快速、无损和准确鉴别。

3 色谱法

3.1 气相色谱法

2003—2004年,我国新出台了8种食用植物油标准,其中规定了每种油品的脂肪酸组成,可作为该种食用油的特征指标,这为食用油的掺假鉴别提供了一定的依据。Monfreda等^[19]采用气相色谱法对橄榄油和葵花籽油混合物进行脂肪酸分析,应用多种模型识别方法对橄榄油的含量进行了鉴别,结果表明橄榄油在50%左右时的标准偏差为1.51%。He等^[20]采用固相萃取-气相色谱氢火焰离子检测器法分析了84个植物油样品和13个地沟油样品中胆固醇含量,测定结果表明当胆固醇含量超过50 μg/g可判定为疑似地沟油。

3.2 液相色谱法

Chen等^[21]利用反相高效液相色谱-荧光检测器,对初榨橄榄油、葵花籽油、大豆油、玉米油、榛子油、花生油以及杏仁油中的 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚进行测定,可用于初榨橄榄油真实性的初步评价。郭涛等^[22]通过高效液相色谱法测定油脂样品中胆固醇含量,定性分析食用油中是否掺有地沟油。结果表明,当待检植物油样品中胆固醇的含量大于0.05 mg/g时,可以很明显地观察到胆固醇色谱峰,而合格的食用植物油脂未检测出胆固醇。可利用这一特征作为判断植物油中是否掺入了地沟油的依据。靳智等^[23]利用高效液相色谱法测定地沟油中5种生物胺含量。该方法检测限为腐胺1.2 μg/g,尸胺1.4 μg/g,组胺1.3 μg/g,酪胺、精胺1.5 μg/g。当标品添加质量浓度为10~20 μg/g时,回收率82.0%~89.0%,相对标准偏差1.8%~3.5%。正常食用植物油样品中均未检出生物胺。利用此法可较快速、准确地鉴别地沟油。

3.3 离子色谱法

魏益华等^[24]采用离子色谱法精确测定油脂样品中氯离子含量,鉴别地沟油和普通食用油。结果表明,地沟油中的氯离子含量明显高于正常油脂。该方法对氯离子的检出限为0.004 mg/L,在0.004~0.8 mg/L范围具有良好线性关系($r=0.9992$),平均加标回收率为88.0%,相对标准偏差为3.1%。同样Zhang等^[25]也采用离子色谱法测定地沟油样品中 Na^+ 和 Cl^- 的含量,发现地沟油中 Na^+ 与 Cl^- 物质的量的比值高于4,确定地沟油中 Na^+ 和 Cl^- 的含量及其比例关系可作为判断地沟油的重要依据。张咏等^[26]利用离子色谱法测定地沟油样品水萃取液中阴离子组成及含量,在地沟油中能检测出一定量

的乙酸根离子,且当食用植物油中掺杂质量分数为5%以上的地沟油时,色谱图上会出现乙酸根离子的峰,可用于鉴别食用植物油是否掺混地沟油。

3.4 色谱-质谱联用技术

赵海香等^[27]则根据植物油和地沟油中脂肪酸酯存在方式的不同,利用GC-MS的全扫描模式检出地沟油中含有肉豆蔻酸甲酯、棕榈酸甲酯和硬脂酸甲酯等14种脂肪酸甲酯,得出若植物油样品脂肪酸甲酯种类多、含量高,则可判定为地沟油掺假的结论。此法可以作为地沟油掺假的快速粗筛方法。Hrastar等^[28]利用GC/C/IRMS研究亚麻籽油的脂肪酸组成以及每种脂肪酸中稳定C同位素 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比例。结果表明, $\delta^{13}\text{C}_{18:2n6}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{18:3n3}$ 的比值可以用来鉴别亚麻籽油是否掺假。金青哲等^[29]利用气相色谱-燃烧-同位素质谱仪对棕榈油掺入玉米油以及花生油掺入玉米油的油样分别进行了检测,实验表明,玉米油与棕榈油、花生油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异都很大,均可以检出15%以上的掺伪水平。

Ruiz-Samblas等^[30]采用高温气质色谱(HTGC-MS)分析掺杂了其他植物油的橄榄油样品的甘油三酯组成,使用SIMCA法建立掺伪识别模型,并用遗传算法作为变量选择方法对模型进行优化,能够识别掺杂10%以上其他植物油脂的橄榄油。Wang等^[31]采用液相色谱-大气压化学电离质谱方法,分析了15个地沟油和11个食用油样品,结果表明地沟油中存在三亚油酸甘油酯、二亚油酸单油酸甘油酯、二亚油酸单亚麻酸甘油酯、二油酸单亚油酸甘油酯等甘油三酯的5种亚油酰基氧化产物,建立了地沟油和正常食用油的判别模型,确定含有亚油酸环氧化物的甘油三酯分子可作为地沟油区别于正常食用油的标志成分。

4 结束语

总体而言,常规的理化方法在油脂的掺伪检测中操作比较简单,适合在现场进行检测,容易在基层推广,但其不足之处在于只能对油脂质量进行初步判断,而不能进行定性和定量分析。因此,在实际工作中可以应用理化方法进行快速的初筛定性,再结合现代仪器分析方法进行定量分析,进而提高油脂质量鉴别的效率和准确度。仪器分析法因其免去了样品前处理的烦琐步骤,正逐步在油脂质量检测中普及。光谱法分析的优点在于其无损、快速、简单,尤其是红外光谱法和拉曼光谱法易于操作,检测成本较低,不足之处在于红外光谱法不适于痕量掺杂分析,检测精度易受环境及样品温度的影响。色谱法尤其是气相色谱法已成为应用最为普遍的检测方

法,其不仅可以对食用植物油中特有的脂肪酸进行定性,而且可以进行定量分析,所以利用气相色谱法分析食用植物油中特征脂肪酸含量和鉴别食用植物油掺杂的研究已经比较成熟,但是该法比较耗时,对大批量样品难以实现快速、简便的检测,而且由于食用植物油质量问题的多元化与复杂化,同样也对气相色谱法提出了更高的要求,这就使得气-质、液-质联用技术的使用得到了进一步的应用与推广,不过,由于仪器设备的昂贵,联用技术目前在国内难以普及和推广。

综上所述,考虑到植物油掺假情况的复杂性、地沟油来源广泛,化学结构复杂以及各种方法的局限性,可选择多指标联合鉴别地沟油,即把多种有效检测方法联合使用。另外,无论是光谱法还是色谱法等所检测得到的结果大多为图谱,需要借助化学计量学进行数据处理与分析。因此,化学计量学方法在油脂质量检测中也占有非常重要的地位。由此可见,在未来的食用植物油掺假鉴别分析中,除了对先进的仪器和技术的研究,如何结合化学计量学方法从大批量复杂的数据中获得有用的信息也是学者们又一重要的研究方向。

参考文献:

- [1] 王飞艳,于修焯,吕曼曼,等. 基于电导率的地沟油快速定性定量分析[J]. 食品科学,2011(18):304-307.
- [2] 黄芳,段海宝,张凤,等. 电导率法快速鉴别地沟油的方法研究[J]. 粮油食品科技,2013,21(1):43-45.
- [3] 王冰,韩松,肖怡,等. 电导率法快速鉴别地沟油的试验研究[J]. 辽宁化工,2014(6):676-679.
- [4] 庄小丽,相玉红,强洪,等. 近红外光谱和化学计量学方法用于橄榄油品质分析与掺杂量检测[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(4):933-936.
- [5] LERMA-GARCÍA M, RAMIS-RAMOS G, HERRERO-MARTÍNEZ J, et al. Authentication of extra virgin olive oils by Fourier-transform infrared spectroscopy[J]. Food Chem, 2010,118:78-83.
- [6] 王传现,褚庆华,倪昕路,等. 近红外光谱法用于橄榄油的快速无损鉴别[J]. 食品科学,2010,31(24):402-404.
- [7] ROHMAN A, MAN Y B C, YUSOF F M. The use of FTIR spectroscopy and chemometrics for rapid authentication of extra virgin olive oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2014,91(2):207-213.
- [8] 孙通,吴宜青,李晓珍,等. 基于近红外光谱和子窗口重排分析的山茶油掺假检测[J]. 光学学报,2015,36(6):342-349.
- [9] FADZLILLAH N A, CHE MAN Y, ROHMAN A. FTIR spectroscopy combined with chemometric for analysis of sesame oil adulterated with corn oil[J]. Int J Food Prop, 2014,17:1275-1282.
- [10] 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(2):238-242.
- [11] ZHANG B F, YUAN L B, KONG Q M, et al. Rapid discriminating hogwash oil and edible vegetable oil using near infrared optical fiber spectrometer technique[J]. Spectr Spectral Anal, 2014,34(10):2723-2727.
- [12] 徐朝辉,廉飞宇. 地沟油的 Terahertz 波谱检测方法初探[J]. 科学技术与工程,2013(7):1996-1999.
- [13] 廉飞宇,秦建平,牛波,等. 一种利用太赫兹波谱检测地沟油的新方法[J]. 农业工程,2012(6):37-40.
- [14] 宝日玛,赵昆,滕学明,等. 地沟油的太赫兹波段光谱特性研究[J]. 中国油脂,2013,38(4):61-65.
- [15] FARHARD S F U, ABEDIN K M, ISLAM M R, et al. Determination of ratio of unsaturated to total fatty acids in edible oils by laser Raman spectroscopy[J]. J Appl Sci, 2009,9(8):1538-1543.
- [16] ZHANG X F, QI X H, ZOU M Q, et al. Rapid authentication of olive oil by Raman spectroscopy using principal component analysis[J]. Anal Lett, 2011,44:2209-2220.
- [17] ZOU M Q, ZHANG X F, QI X H, et al. Rapid authentication of olive oil adulteration by Raman spectrometry[J]. J Agric Food Chem, 2009,57:6001-6006.
- [18] 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,2015,40(2):50-55.
- [19] 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.
- [20] HE W X, FANG R, LI Y X, et al. Determination of cholesterol content in vegetable oil for rapid screening waste oil[J]. Chin J Anal Chem, 2015,43(3):394-398.
- [21] CHEN H L, 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.
- [22] 郭涛,杜蕾蕾,万辉,等. 高效液相色谱法测定胆固醇含量鉴别地沟油[J]. 食品科学,2009,30(22):286-297.
- [23] 靳智,李明,张煌涛,等. 高效液相色谱法测定地沟油中5种生物胺[J]. 福建分析测试,2010,19(3):10-14.
- [24] 魏益华,张金艳,戴廷灿. 离子色谱法测定地沟油和食用油中氯离子含量[J]. 食品科学,2011,32(12):213-215.
- [25] ZHANG Z, WANG L C, LU Y T, et al. Determination of sodium and chloride in hogwash oil and their molar ratio by ion chromatography[J]. Chin J Chromatogr, 2012,30(11):1113-1116.

种植,种植亚麻荠助力贫困山区脱贫具有重要意义。亚麻荠产业化开发可以促进农民增收,优化植物油营养成分结构,缓解食用植物油供给不足,促进农牧循环发展,具有重要的经济、社会、生态效益。

亚麻荠籽(油)虽然在食品领域营养作用独特,是当今的珍稀植物油品种,但亚麻荠籽(油)尚未列入食品原料目录,在我国未批准用于食品领域,严重影响亚麻荠籽(油)营养价值的发挥。为更好发挥亚麻荠籽(油)的作用,建议从以下几方面入手:一是对国内现有对亚麻荠进行产业化开发的企业给予政策支持,解决企业在亚麻荠综合开发中的实际困难。二是组织专家对亚麻荠籽(油)在食品、动物饲料、工业燃料领域开展理化性质、生产工艺、质量标准、检测方法、稳定性试验、环境影响、毒理学安全评价及应用试验综合评估,形成权威、系统的可行性研究报告,促成亚麻荠籽(油)列入食品目录、饲料原料目录和在工业应用的官方许可。

参考文献:

- [1] 邓曙东,张青文. 亚麻荠种植和利用的研究现状[J]. 植物学通报,2004,21(3):376-382.
- [2] 周太炎. 中国植物志:第三十三卷[M]. 北京:科技出版社,1987.
- [3] 苑丽霞,毛雪,高昌勇,等. 新型工业油料作物亚麻荠:从基因组到代谢工程[J]. 植物生理学报,2015,51(8):1204-1216.
- [4] 张效明. 和政县亚麻荠高产栽培技术[J]. 农村经济与科技,2012(12):123.
- [5] 王祎,秦海英. 芥蓝1号在淳化县的示范推广和优质高产栽培技术[J]. 农业科技通讯,2015(5):189-190.
- [6] 李小伟,王文举,孙权. 宁夏十字花科1种新记录植物[J]. 西北植物学报,2009,29(1):197-198.
- [7] 孟宪东,龙茹,张凤娟,等. 两个河北植物分布新记录属[J]. 河北科技师范学院学报,2012,21(4):5-6.
- [8] 邓乾春,黄凤洪,黄庆德,等. 一种高利用价值油料作物——亚麻荠的研究进展[J]. 中国油料作物学报,2009,31(4):551-559.
- [9] 孙思邈. 千金食治[M]. 吴受琚,注释. 北京:中国商业出版社,1985.
- [10] 杨和璧. 农四师谊群农场试种亚麻荠成功[J]. 新疆农业科学,1960(6):250-251.
- [11] 崔江,姜伟,孙群,等. 亚麻荠种子萌发抗旱性研究初报[J]. 中国农学通报,2016,22(10):203-205.
- [12] 黄庆德,王江薇,黄沁洁,等. 芥蓝籽冷榨制油和芥蓝籽油精炼工艺研究[J]. 中国油脂,2006,31(1):17-20.
- [13] 程义勇. 《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013修订版简介[J]. 营养学报,2014,36(4):313-317.
- [14] 刘阳,王春立,曹培让,等. 7种食用植物油物性及氧化稳定性评价[J]. 中国油脂,2017,42(10):63-68.
- [15] 王瑞元. 中国食用植物油消费现状[J]. 黑龙江粮食,2017(5):11-13.
- [16] 张雯丽,许国栋. 2016年油料和食用植物油市场形势分析及2017年展望[J]. 农业展望,2017(2):9-12.
- [17] 张永泰,毛善婧,李爱民,等. 亚麻荠原生质体培养再生植株的研究[J]. 扬州大学学报,2006,27(4):78-79.
- [18] 陈利涛,陈燕,石珊珊,等. 亚麻荠籽压榨制油工艺的研究[J]. 中国油脂,2010,35(7):16-18.
- [19] 黄凤洪,谢笔钧,刘昌盛. 新型油料作物——芥蓝[J]. 中国油脂,2005,30(10):76-77.
- [20] 苑丽霞,郝敬云,周广航,等. 新型油料作物亚麻荠种子油脂积累的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2015,35(3):271-276.
- [21] 黄凤洪,谢笔钧,钮琰星. 芥蓝油食品安全性毒理学试验研究[J]. 中国粮油学报,2006,21(5):102-107.
- [22] 邓乾春,黄凤洪,黄庆德,等. 芥蓝籽饼粕在家禽饲料中的应用效果研究[J]. 中国饲料,2009(17):3-7.
- [23] 佚名. 亚麻荠油提高猪肉的营养价值[J]. 猪业科学,2013(11):28.
- [24] 钱伯章. 应用于航空业的第二代生物燃料研发与生产进展[J]. 生物产业技术,2012(3):37-44.
- [25] 谢光辉,秦烁,薛帅,等. 亚麻荠作为生物柴油原料树种的研究现状与前景分析[J]. 中国农业大学学报,2012,17(6):239-246.
- [26] 张咏,李莹,蔡春明. 离子色谱法鉴别地沟油的应用研究[J]. 中国粮油学报,2012,27(1):107-110.
- [27] 赵海香,任荷玲,许秀丽,等. 应用脂肪酸甲酯快速筛选植物油中掺假地沟油[J]. 食品科学,2014,35(16):148-152.
- [28] HRASTAR R, PETRISIC M G, OGRINC N, et al. Fatty acid and stable carbon isotope characterization of *Camelina sativa* oil: implications for authentication [J]. J Agric Food Chem,2009,57(2):579-585.
- [29] 金青哲,施峰华,谢峰,等. 碳同位素比值法检测棕榈油掺入玉米油的研究[J]. 中国油脂,2009,34(1):73-75.
- [30] RUIZ-SAMBLAS C, MARINI F, CUADROS-RODRÍGU-EZ L, et al. Quantification of blending of olive oils and edible vegetable oils by triacylglycerol fingerprint gas chromatography and chemometric tools[J]. J Chromatogr B,2012,910:71-77.
- [31] WANG S C, FAN J S, WANG Y H, et al. Determination of oxidation products of glycerides in hogwash oil using high performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Chin J Anal Chem,2014,24(5):741-746.

(上接第84页)