

橄榄油掺伪的气相色谱质谱鉴别方法研究

黄飞, 奉夏平, 唐丽娜, 曾宪远, 赵智锋, 黄秀丽*

(广东省惠州市质量计量监督检测所, 广东惠州 516003)

摘要: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。实验模拟了掺假过程,向橄榄油中加入不同比例的低价值植物油包括棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油,初步建立了橄榄油掺伪鉴别的气相色谱质谱法。掺入低价值植物油后,肉豆蔻酸、 α -亚麻酸、山萘酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸等脂肪酸含量随着掺加比例的增加呈现线性上升趋势。根据上述脂肪酸指标含量进行判定,棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油最低掺假检出限分别为5.27%、5.61%、6.35%、4.53%、1.93%和9.21%。通过对不同植物油中其脂肪酸特征组分及含量的分析,可达到鉴别橄榄油掺假的目的。

关键词:气相色谱质谱法,植物油,脂肪酸,聚类分析,掺假鉴别

Study on the identification of olive oil adulteration by Gas Chromatography–Mass Spectrometry

HUANG Fei, FENG Xia-ping, TANG Li-na, ZENG Xian-yuan, ZHAO Zhi-feng, HUANG Xiu-li*

(Huizhou Quality and Measuring Supervision Testing Institute, Huizhou 516003, China)

Abstract: Seven kinds of vegetable oil including olive oil, peanut oil, corn oil, rapeseed oil, sunflower oil, palm oil, soybean oil, were determined of fatty acid composition and content by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) with optimized experimental condition. According to the data of fatty acid composition and content in edible vegetable oils, cluster analysis was used to classify the vegetable oil. A method was established in the identification of olive oil adulteration by gas chromatography–mass spectrometry, results showed that with the proportion of cheap oil adding to olive oil varied, the content of the fatty acid composition including myristic acid, α -linolenic acid, docosanoic acid, trans linoleic acid, arachidic acid, eicosenoic acid changed linearly. The minimum detection limit of adding palm oil, rapeseed oil, soybean oil, corn oil, peanut oil and sunflower oil, respectively, was 5.27%, 5.61%, 6.35%, 4.53%, 1.93% and 9.21%. The qualitative and quantitative analysis of characteristic fatty acid could provide reference for appraisal of olive oil adulteration.

Key words: GC–MS; vegetable oil; fatty acids; cluster analysis; adulteration identification

中图分类号: TS227

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)18-0054-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.18.002

植物油因其种类不同,营养价值不同而有很大的价格差异。橄榄油中含有丰富的不饱和脂肪酸,易被人体吸收,具有抗氧化、调节胆固醇、预防癌症、美容等功效,素有“液体黄金”的美誉,兼具食用和保健价值^[1],因此价格也相对比较昂贵,这促使一些不法分子向橄榄油中掺入其他低价格的食用油,如棕榈油、大豆油、玉米油、花生油等来赚取利润,对消费者的利益产生不同程度的危害。为了保护消费者的经济利益和身体健康,必须加强对橄榄油的产品质量和安全卫生的监管力度。

国际上针对橄榄油掺假鉴别研究较多,而国内相关研究起步较晚,已见报道的掺假检测方法主要有理化检测法^[2]、色谱法^[3-10]、光谱法^[11-14]以及核磁共振波谱法^[15-16]等,其中气相色谱法测定橄榄油中脂肪酸的组成及含量是最常用的方法。这些研究大多针对橄榄油中掺入某一种植物油的掺假鉴定,并且只针对高含量脂肪酸进行分析。对所有常见的低价值植物油均进行掺假分析,选取低含量特征脂肪酸进行研究并计算出掺假检出限的研究尚未见报道。

采用气相色谱质谱法测定不同种类的植物油中的脂肪酸组成,进行聚类分析分类。实验模拟了掺假,将不同比例的低价油加入到橄榄油中进行掺假鉴别,根据特征脂肪酸的组成变化建立相关线性关系,推导出橄榄油掺加低价植物油的掺假检出限,从而为橄榄油的掺假鉴别提供方法参考。

收稿日期: 2013-12-18 * 通讯联系人

作者简介: 黄飞(1987-),女,硕士研究生,主要从事食品分析与检测方面的研究。

基金项目: 广东省质量技术监督局科研项目(2013ZS02)。

1 材料与方

1.1 材料与仪器

植物油种类 市售不同品牌的特级初榨橄榄油、花生油、玉米油、葵花籽油、菜籽油、大豆油和棕榈油分别为8种、8种、7种、7种、6种、5种和3种, 共计44种 购于本市内的大型超市; 正庚烷、甲醇 色谱纯; 其余试剂 均为优级纯。

7890A-5975C气相色谱质谱仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品甲酯化 准确称取0.5g(精确到0.001g)植物油样品置于磨口三角瓶中, 加入10mL正庚烷, 5mL 0.5mol/L氢氧化钠-甲醇溶液, 振荡混匀, 100℃回流反应5min, 反应过程中每1min摇匀一次。冷却至室温后加入0.5g无水硫酸钠、0.5g氯化钠后摇匀, 取上层过0.22μm滤膜过滤后供GC-MS分析。

1.2.2 气相色谱质谱条件 GC: 色谱柱: HP-88毛细管色谱柱(60m×0.25mm, 0.20μm); 进样口温度: 260℃; 进样量: 1.0μL, 分流比: 30:1; 载气: 高纯氮气, 流速为1.0mL/min; 程序升温: 初始温度140℃, 保持1min, 以2℃/min升温速率升至240℃, 保持5min。

MS: EI离子源, 电子能量70eV; 离子源温度230℃, 四级杆温度150℃, 传输线温度280℃; 全扫描方式, 质量范围30~450m/z; 溶剂延迟4.5min。

2 结果与分析

2.1 定性和定量分析

脂肪酸的定性方法采用保留时间和NIST08谱库

的检索定性, 匹配度大于90%确认化合物。定量方法采用峰面积归一化法, 根据峰面积计算每种脂肪酸的百分含量。图1为某品牌橄榄油的气相色谱图。

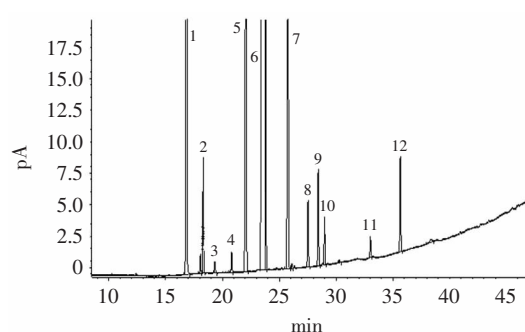


图1 某品牌橄榄油脂肪酸组成的气相色谱图

Fig.1 Scan chromatograms of fatty acids of olive oil

注: 1.棕榈酸(C16:0); 2.棕榈一烯酸(C16:1); 3.十七碳酸(C17:0); 4.十七碳一烯酸(C17:1); 5.硬脂酸(C18:0); 6.油酸(C18:1); 7.亚油酸(C18:2); 8.C花生酸(20:0); 9.α-亚麻酸(C18:3α); 10.花生一烯酸(C20:1); 11.山嵛酸(C22:0); 12.二十碳三烯酸(C20:3)。

2.2 某品牌7种植物油的脂肪酸组成及聚类分析

选取某品牌的橄榄油、棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油共7种植物油, 进行脂肪酸的种类和百分含量的测定。共检测出葵酸、月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、棕榈一烯酸、十七碳酸、十七碳一烯酸、硬脂酸、油酸、反式油酸、亚油酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸、α-亚麻酸、山嵛酸等21种脂肪

表1 某品牌7种植物油中脂肪酸的相对含量

Table 1 Contents of fatty acids in vegetable oil

种类	橄榄油	葵花籽油	花生油	玉米油	大豆油	菜籽油	棕榈油
C10:0							0.017
C12:0							0.200
C14:0		0.051	0.043	0.043	0.069	0.046	0.888
C16:0	9.939	6.428	10.468	12.890	10.420	4.380	39.414
C16:1	0.579	0.041	0.069	0.100	0.083	0.190	0.177
C17:0	0.069	0.032	0.074	0.072	0.105	0.051	0.092
C17:1	0.122	0.016	0.047	0.042	0.064	0.075	0.034
C18:0	3.023	5.173	3.207	1.899	4.754	2.012	4.218
C18:1T		0.028	0.096	0.056	0.033	0.068	0.083
C18:1	77.503	25.650	46.205	30.846	22.746	57.112	42.791
C18:2T		0.324	0.557	0.599	0.227	0.014	0.181
C18:2	4.696	59.735	30.674	49.415	51.119	20.248	11.239
C20:0	0.398	0.982	1.378	0.579	0.864	1.395	0.466
C18:3r				0.033		0.060	
C20:1	0.278	0.111	1.177	0.305	0.610	1.224	0.178
C18:3a	0.564	0.081	0.130	0.468	5.825	7.349	0.451
C22:0	0.122	0.768	2.619	0.134	0.344	0.406	0.109
C20:3	0.577						
C24:3		0.164					
C22:1						0.105	
C24:1					0.468	0.062	

酸,其各项指标均符合国家标准。

对7种植物油的脂肪酸种类及含量分析后,发现棕榈油中含特征脂肪酸葵酸和月桂酸,且其肉豆蔻酸含量也较其他植物油高。菜籽油中含特征脂肪酸芥酸,且其花生酸、花生一烯酸含量较高,与花生油接近。大豆油和菜籽油中 α -亚麻酸含量较其他5种植物油高。花生油中山嵛酸含量较高,其次为葵花籽油。棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油中均检测出反式亚油酸,含量为0.1%~0.6%不等,而橄榄油中未检测出反式亚油酸。选取同品牌的7种植物油中脂肪酸含量见表1。

为了对植物油之间脂肪酸的组成差别与相似之处进行更直观的分析,本文以7种植物油中检测出的21种脂肪酸为变量,以平方欧氏距离为度量准则,以组合连接法(between-group linkage)为群组合并准则,用SPSS 19.0软件对8种植物油进行了系统聚类分析。结果见图2。

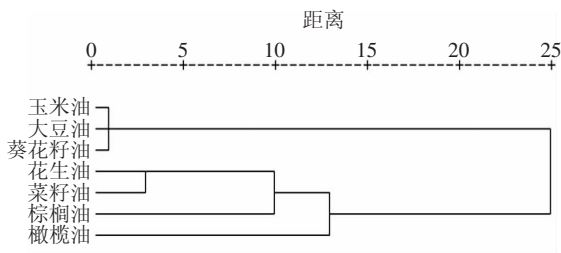


图2 植物油基于脂肪酸组成的聚类树状图

Fig.2 Dendrogram of fatty acid compositions in vegetable oil

经聚类分析后7种植物油被划分为两大类,玉米油与大豆油、葵花籽油的脂肪酸组成及含量相似性较高,为第一大类。其余4种植物油组成第二大类,其中花生油与菜籽油之间脂肪酸组成及含量相似性较高,其次为棕榈油,再其次为橄榄油。

2.3 橄榄油的掺假鉴定

2.3.1 实际样品分析 模拟掺假过程,在橄榄油中分别添加1%、3%、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%的棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油,采用气相色谱-质谱法测定其脂肪酸含量,分析变化规律。结果发现,掺入低价值植物油后,肉豆蔻酸、反式亚油酸、 α -亚麻酸、花生一烯酸、花生酸和山嵛酸等脂肪酸含量随着掺入比例的增加呈现线性上升趋势(图3)。

根据GB 23347-2009中规定的橄榄油的脂肪酸含量指标:反式亚油酸 $<0.05\%$,肉豆蔻酸:7.5%~20.0%,山嵛酸 $\leq 0.2\%$,花生酸 $\leq 0.6\%$,花生一烯酸 $\leq 0.4\%$, α -亚麻酸 $\leq 1.0\%$,进行掺假判定。橄榄油中掺入低价油后,随着掺入比例的增加,以上脂肪酸指标含量增加呈现线性增加关系,为此根据线性方程推算出橄榄油中掺入低价油的检出限,棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油、葵花籽油最低检出限分别为5.27%、5.61%、6.35%、4.53%、1.93%和9.21%,见表2。

2.3.2 理论检出限 橄榄油中掺入低价油后,肉豆蔻酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、花生一烯酸、 α -亚麻酸、山嵛酸、反式亚油酸等脂肪酸指标

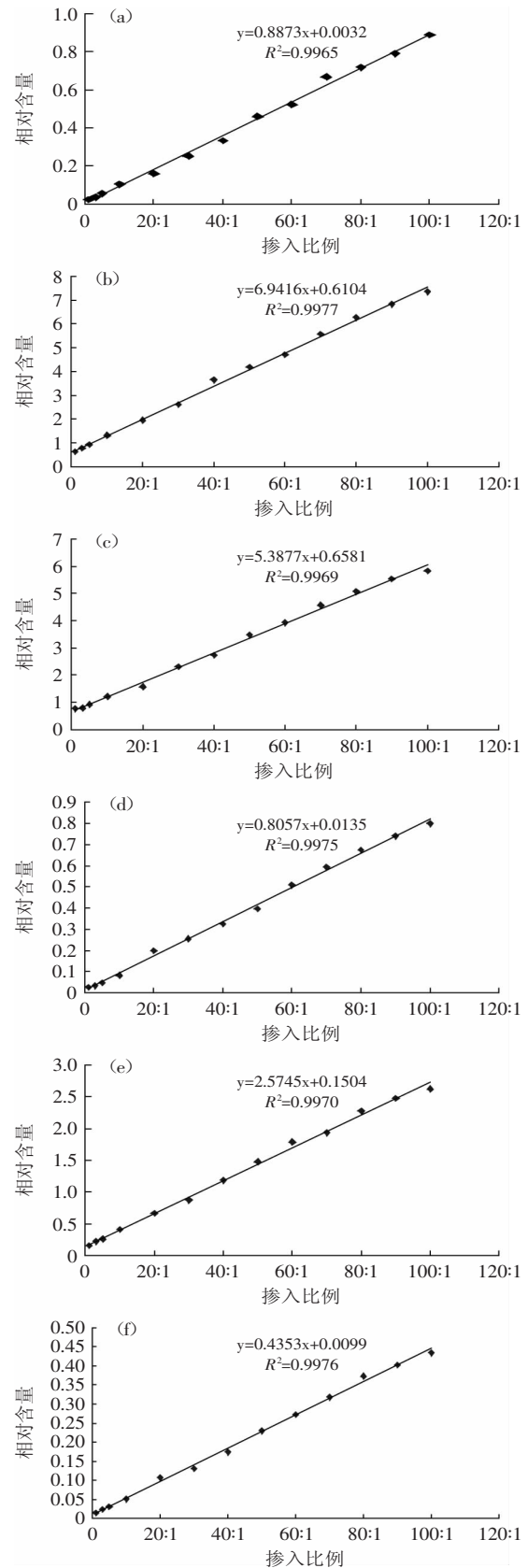


图3 特征脂肪酸含量随掺入比例的变化趋势图

Fig.3 Changetrend of characteristic fatty acids content along with the adulteration ratio

注:(a)添加棕榈油肉豆蔻酸;(b)添加菜籽油 α -亚麻酸;(c)添加大豆油 α -亚麻酸;(d)添加大豆油反式亚油酸;(e)添加花生油山嵛酸;(f)添加葵花籽油反式亚油酸。

随着掺入比例的增加而成线性关系变化, $r^2 > 0.99$, 根据线性方程可以推测橄榄油中掺入某种低价油的检出限。假定橄榄油中某种脂肪酸 (f_a) 的含量范围为 $A \sim B$ (百分含量), 低价油中该脂肪酸含量为 $C \sim D$ 。

a. 假设 $B \leq C$, 即 f_a 在橄榄油中的含量低于在低价油中的含量, 则其掺假最高检出限的值为 $(B-A)/(C-A)$, 常见植物油的掺假检出限均不大于此值。

b. 假设 $D \leq A$, 即 f_a 在橄榄油中的含量高于在低价油中的含量, 则其掺假最高检出限的值为 $(B-A)/(B-D)$ 。

c. 假设 $C < B$ 且 $D > A$, 即 f_a 在低价油中的含量与橄榄油中的含量有交叉, 则其掺假检出限无法确定。

因此对橄榄油进行掺假鉴定, 要选择与低价油无交叉且含量相差较大的脂肪酸指标为参数, 其检出限越低, 对其掺假的定量分析才更准确。据此, 参照橄榄油、棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油和葵花籽油国家标准, 挑选了9种脂肪酸指标, 并计算其理论检出限, 所得结果见表3。

由表3数据可知, 利用棕榈酸、油酸、亚油酸等9种脂肪酸指标, 对橄榄油是否掺假进行判定, 其检出限在10%~71.8%之间。但油酸、亚油酸其理论检出限过高, 不适于作为特征脂肪酸用于橄榄油掺假鉴定。

在模拟掺假实际样品分析过程中, 发现利用肉豆蔻酸、 α -亚麻酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸、山嵛酸等脂肪酸指标对橄榄油掺假进行判定, 其检出限在10%以下。选取上述脂肪酸指标用于橄榄油掺假判定则灵敏度更高, 更有意义。此外, 实际样品分析中, 脂肪酸指标检出限均在最高检出限之下, 这也与理论值相符合。

3 讨论

橄榄油中掺入棕榈油, 可以通过葵酸、月桂酸、肉豆蔻酸、反式亚油酸的含量进行掺假判定, 若橄榄

油中检出月桂酸则可判定掺入了棕榈油。橄榄油中掺入菜籽油和大豆油后, α -亚麻酸指标超标, 检出限分别为5.61%和6.35%, α -亚麻酸虽然可以作为橄榄油掺假判定的脂肪酸指标, 但是无法对掺假油的种类进行定性。若橄榄油中检出芥酸, 则可判定掺入了菜籽油。橄榄油中掺入花生油和葵花籽油后, 山嵛酸指标超标, 检出限分别为1.93%和9.95%, 为此, 山嵛酸也可作为橄榄油掺假判定的脂肪酸指标。结合 GB/T 5539-2008 4.8^[17], 若橄榄油在95℃以前发生浑浊, 则表明有花生油存在。

橄榄油中未检测出反式亚油酸, 掺入玉米油、花生油、葵花籽油、大豆油、棕榈油和菜籽油后, 反式亚油酸检出限分别为4.53%、8.12%、9.21%、16.16%、24.06%和34.16%, 因此, 反式亚油酸也可以作为对橄榄油进行掺假判定的重要脂肪酸指标。此外, 花生油和菜籽油中花生酸和花生一烯酸含量较高, 橄榄油中掺入上述两种植物油后, 可能会引起花生酸和花生一烯酸指标超标, 花生酸和花生一烯酸也可作为对橄榄油进行掺假判定的监测指标。

肉豆蔻酸、 α -亚麻酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸、山嵛酸以及芥酸可以作为橄榄油掺假判定的特征脂肪酸指标, 且检出限较低, 在1.93%~9.21%之间, 但是除棕榈油、菜籽油外, 仅依据脂肪酸指标还无法对掺假油种类进行精确定性判定, 还需借助其他方法比如油脂定性实验、电导率测定、光谱或者波谱分析来进一步确认掺入了何种植物油。

4 结论

向橄榄油中掺入低价值植物油包括棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米油、花生油和葵花籽油后, 随着掺入比例的增加, 豆蔻酸、 α -亚麻酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸、山嵛酸等指标呈现线性变化, $r^2 > 0.99$, 根据线性方程计算出棕榈油、菜籽油、大豆油、玉米

表2 橄榄油掺加低价植物油特征脂肪酸的检出限

Table 2 Detection limit of characteristic fatty acids of olive oil adulteration

植物油	肉豆蔻酸(%)	反式亚油酸(%)	α -亚麻酸(%)	花生一烯酸(%)	花生酸(%)	山嵛酸(%)
棕榈油	5.27	24.60	--	--	--	--
菜籽油	--	34.16	5.61	12.07	20.00	29.75
大豆油	--	16.16	6.35	--	34.73	--
玉米油	--	4.53	--	--	--	--
花生油	--	8.12	--	12.13	17.91	1.93
葵花籽油	--	9.21	--	--	--	9.95

表3 橄榄油掺加低价植物油特征脂肪酸的理论检出限

Table 3 Theoretical detection limit of characteristic fatty acids of olive oil adulteration

植物油	肉豆蔻酸(%)	棕榈酸(%)	油酸(%)	亚油酸(%)	亚麻酸(%)	花生酸(%)	花生一烯酸(%)	山嵛酸(%)	芥酸(%)
棕榈油	10	39.3	--	--	--	--	--	--	--
一般菜籽油	--	--	--	--	20	--	3.33	--	10
低芥菜籽油	--	--	--	--	20	--	--	--	--
大豆油	--	--	50.9	37.8	20	--	--	--	--
玉米油	--	--	68.6	57.4	--	--	--	--	--
花生油	--	--	71.8	--	--	60	14.3	13.3	--
葵花籽油	--	--	64.2	39.1	--	--	--	66.7	--

油、花生油、葵花籽油最低检出限分别为5.27%、5.61%、6.35%、4.53%、1.93%和9.21%。选取豆蔻酸、 α -亚麻酸、反式亚油酸、花生酸、花生一烯酸、山萘酸作为橄榄油掺假判定的特征脂肪酸指标。

参考文献

- [1] 于长青. 橄榄油的化学组成及对人体的营养价值[J]. 食品科技, 2000, 13(2): 59-60.
- [2] GB 23347—2009橄榄油、油橄榄果渣油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [3] ANDRIKOPOULOS N K, GIANNAKIS I G, TZAMTZIS V. Analysis of olive oil and seed oil triglycerides by capillary gas chromatography as a tool for the detection of the adulteration of olive oil[J]. Journal of Chromatographic Science, 2001, 39(4): 137-145.
- [4] SABA A, MAZZINI F, RAFFAELLI A, *et al.* Identification of 9(E), 11(E)-18:2 fatty acid methyl ester at trace level in thermal stressed olive oils by GC coupled to acetonitrile CI-MS and CI-MS/MS, a possible marker for adulteration by addition of deodorized olive oil[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(12): 4867-4872.
- [5] CAPOTE F P, JIMÉNEZ J R, LUQUE de CASTRO M D. Sequential(step-by-step) detection, identification and quantization of extra virgin olive oil adulteration by chemo metric treatment of chromatographic profiles[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 338(8): 1859-1865.
- [6] BURIAN C, BREZMES J, CORREIG X, *et al.* A Supervised feature extraction method for GC-MS data based on PLS application to olive oil adulteration detection[J]. AIP Conference Proceedings, 2011, 1362: 169-170.
- [7] FELLAT-ZARROUCK K. Detection of olive oil adulteration by HPLC[high performance liquid chromatography] in seed oils[J]. Revue Francaise des Corps Gras, 1988, 35(10): 383-385.
- [8] 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.

- [9] ZABARAS D, GORDON M H. Detection of pressed hazelnut oil in virgin olive oil by analysis of polar components: improvement and validation of the method[J]. Food Chemistry, 2004, 84(3): 475-483.
- [10] FASCIOTTIA 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] 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.
- [12] BAETEN V, MEURENS M, MORALES M T. Detection of virgin olive oil adulteration by fourier transform Raman spectroscopy[J]. J Agric Food Chem, 1996, 44(8): 2225-2230.
- [13] DANKOWSKA A, MALECKA M. Application of synchronous fluorescence spectroscopy for determination of extra virgin olive oil adulteration[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2009, 111(12): 1233-1239.
- [14] TORRECILLA J S, ROJO E, DOMONGUEZ J C, *et al.* A novel method to quantify the adulteration of extra virgin olive oil with low-grade olive oils by UV-Vis[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(3): 1679-1684.
- [15] 周凝, 刘宝林, 王欣. 核磁共振技术在食品分析检测中的应用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 325-329.
- [16] VIGLI G, PHILIPPIDIS A, SPYROS A, *et al.* Classification of edible oils by employing P and H NMR 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.
- [17] GB/T 5539—2008粮油检验油脂定性实验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(上接第53页)

- [10] Meike Bröhan, Timon Huybrighs, Christine Wouters, *et al.* Novel techniques for enhancing sensitivity in static headspace extraction-gas chromatography[J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 480-483.
- [11] 唐鑫, 夏廷斌. 发酵辣椒制品及其挥发性风味物质的研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2013(6): 55-57.
- [12] 胡文忠, 杨茂义, 姜爱丽, 等. 一种高营养油辣椒酱的制备方法[P]. 吉林: CN101816409A, 2010-09-01.
- [13] 胡文忠, 杨茂义, 姜波, 等. 一种生物活性辣椒酱的制备方法[P]. 吉林: CN101816411A, 2010-09-01.
- [14] 张恩让, 任媛媛, 胡华群, 等. 6个品种辣椒干的挥发性成分比较研究[J]. 种子, 2009, 28(10): 88-90.
- [15] 高瑞萍, 刘嘉, 蒋智钢, 等. 遵义朝天红干辣椒挥发性风味物质的HS-SPME-GC-MS分析[J]. 中国调味品, 2013, 38(10): 78-80.
- [16] 高京草, 孟焕文, 刘航空, 等. 大蒜挥发性成分静态顶空取样GC-MS分析条件的筛选[J]. 中国调味品, 2013(7): 101-105.
- [17] 刘军鸽, 田梅, 吴卫国. 不同固相微萃取头-GC/MS联用测

定干辣椒中香气组分的比较[J]. 中国调味品, 2013(7): 110-112, 120.

- [18] 钟燕青, 夏廷斌. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同菌种发酵辣椒汁的香气分析[J]. 食品科技, 2013, 37(8): 271-275.
- [19] Mazida M M, Salleh M M, Osman H, 等. 不同成熟阶段辣椒挥发性香味物质的固相微萃取分析[J]. 辣椒杂志, 2006, 4(2): 42-46.
- [20] 苗志伟, 官伟, 刘玉平. 酱中挥发性风味物质的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012(8): 390-394, 397.
- [21] 田文广, 李雁, 刘素梅, 等. 气质联用分析复合佐餐调味料的香气变化及保存条件[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 342-346.
- [22] 韩江雪, 丁筑红, 李仲军, 等. 不同乳酸菌强化接种发酵辣椒挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(10): 179-183.
- [23] 欧阳晶, 苏悟, 陶湘林, 等. 辣椒发酵过程中挥发性成分变化研究[J]. 食品与机械, 2012(6): 55-58.
- [24] 王利群, 刘蓉, 刘志敏. 辣椒风味物质萃取方法比较研究[J]. 辣椒杂志·季刊, 2009(2): 30-33.