

顶空固相微萃取—气质联用测定3种食用植物油中香精的挥发性成分

于丛丛¹,王玥²,金俊¹,刘一军²,金青哲¹

(1. 江南大学食品学院,食品科学与技术国家重点实验室,食品营养与安全协同创新中心,江苏无锡 214122;2. 张家港出入境检验检疫局,江苏张家港 215600)

摘要:采用顶空—固相微萃取—气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术检测食用植物油中芳香性物质的非法添加。以不同品牌的花生油、葵花籽油、芝麻油、花生油香精、葵花籽油香精、芝麻油香精为研究对象,采用HS-SPME-GC-MS进行分离鉴定,得到相应的图谱指纹库。结果显示:花生油、葵花籽油、芝麻油主要挥发性物质为醛类与吡嗪类物质,分别约占总挥发物含量的70%;花生油香精、葵花籽油香精、芝麻油香精主要为酯类和酚类物质,分别约占总挥发物含量的60%、70%、75%。上述结果表明,食用植物油与其对应香精的指纹图谱存在明显差异,因此HS-SPME-GC-MS法可以作为检测食用植物油中非法添加芳香性物质的有效手段。

关键词:食用植物油;香精;气质联用;固相微萃取;挥发性成分

中图分类号:TS 227 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)02-0056-06

Detection of volatile components in three edible vegetable oils by solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry

YU Cong-cong¹, WANG Yue², JIN Jun¹, LIU Yi-jun², JIN Qing-zhe¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Wuxi Jiangsu 214122; 2. Zhangjiagang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Zhangjiagang Jiangsu 215600)

Abstract: The aromatic substances illegally added in edible vegetable oil were detected by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Different brand of peanut oil, sunflower oil, sesame oil and their essences were separated and identified by HS-SPME-GC-MS, the spectra were obtained. The result showed that the main volatile substances in peanut oil, sunflower oil and sesame oil were aldehydes and pyrazine, which account for about 70% of total volatile matter, respectively; that in their essences were esters and phenols, which account for about 60%, 70% and 75%, respectively. The result showed that since the fingerprints of GC/MS chromatograms of vegetable oil were of great differences from those of corresponding essences, HS-SPME-GC-MS can be an effective analytical method to detect the illegal addition.

Key words: edible vegetable oil; essence; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); solid-phase microextraction; volatile component

植物油是老百姓日常生活中必不可少的烹饪材料^[1]。我国是世界第一大植物油消费国^[2]。然而,近年来一些不法商贩为获取暴利,屡屡在植物油中

掺假,利用香精香料勾兑低价值油冒充高价值油。食用油的掺假与禁用物质的非法添加对人民群众的健康构成严重威胁。

当前,我国植物油质量安全防控技术相对滞后,适合国情的植物油质量安全高通量检测技术与产品较为缺乏,且主要依赖国外,对我国粮油产业发展构成威

收稿日期:2016-08-01

基金项目:国家质检总局科研项目(2015IK140)

作者简介:于丛丛,1992年生,女,在读硕士研究生。

通讯作者:金青哲,1962年生,男,教授,博士生导师。

胁。为了保护合法生产者和消费者的权益,加强食用植物油的生产与销售监管^[3],建立一套快速、准确、有效的芳香性非法添加物检测方法体系显得尤为重要。

近年来,顶空固相微萃取结合气质联用被广泛应用于植物油的气味研究中^[4]。国外多位学者利用顶空固相微萃取技术对初榨橄榄油的风味进行了一系列研究,包括对其特征香气的分析^[5],储藏期间油脂风味的变化^[6],以及加工过程对香气形成的作用^[6]等。蓝芳等人^[7]也使用顶空固相微萃取技术检测食用油中溶剂残留。Jeleń 等人^[8]利用顶空固相微萃取结合气质联用技术分离分析出了植物油加速氧化过程中由脂肪酸过氧化生成的挥发性物质^[9]。相对于传统的挥发性物质提取方法包括溶剂萃取、溶剂辅助蒸发等^[10],顶空固相微萃取技术(headspace solid-phase microextraction, SPME)^[11]未使用溶剂、操作简单、不破坏样品,并可以结合气质联用将萃取、富集和进样检测合为一体,具有简便、无溶剂、效率高、实用性强的特点^[10]。

作者选用不同品牌的花生油^[12]、葵花籽油^[13]、芝麻油^[14]及其对应香精为原料,利用顶空固相微萃取—气质联用(headspace solid-phase microextraction method and gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)分离鉴定食用植物油及其对应香精的挥发性成分,建立植物油中固有的内源物和香精香料的特征指纹图谱库,为检测食用植物油中芳香性物质非法添加提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

鲁花浓香压榨一级花生油:山东鲁花集团有限公司;金龙鱼一级压榨花生油:益海嘉里有限公司;润记一级压榨花生油:上海良龙食品有限公司;西王一级葵花籽油:西王食品有限公司;福临门一级葵花籽油:中粮有限公司;煮煮乐一级葵花籽油:江苏金洲粮油食品有限公司;鲁花一级压榨芝麻油:山东鲁花集团有限公司;恒泰兴一级压榨芝麻油:湖州荣德粮油有限公司;太太乐一级压榨芝麻油:上海太太乐食品有限公司;沁香阁花生油香精、沁香阁芝麻油香精、沁香阁葵花籽油香精:沁香阁食用香精经营部;飘香苑花生油香精、飘香苑芝麻油香精、飘香苑葵花籽油香精:飘香苑食用香精经营部。

1.2 仪器与设备

固相微萃取手动进样(DVB/CAR/PDMS)萃取

头(50/30 μm DVB/CAR on PDMS):上海安谱实验科技股份有限公司;Trace GC Ultra 气相色谱仪,ISQ 质谱检测仪:Thermo 公司;DF-101S 恒温磁力搅拌器:金坛市精达仪器制造厂。

1.3 实验方法

1.3.1 萃取头的活化

将气质联用仪的面板温度设置为 270 $^{\circ}\text{C}$,再将萃取头插入气质联用仪进样口进行活化,以除去原先吸附在萃取头的物质,活化时间为 30~60 min。

1.3.2 挥发性成分的固相微萃取

取 2 g 食用植物油或香精置于 15 mL 顶空瓶中,加入搅拌子后,将顶空瓶置于 50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中加热平衡 20 min,通过带孔隔垫插入已经活化好的 SPME 萃取头,推出萃取头后,在 50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴的条件下顶空萃取 40 min 后,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解析 5 min。

1.3.3 挥发性成分的 GC-MS 分析

气相色谱条件:毛细管柱为 DB-5MS 色谱柱(30 mm \times 0.25 mm \times 0.25 μm);气相柱温升温程序:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温至 220 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min;汽化室温度:250 $^{\circ}\text{C}$;氦气流速 0.8 mL/min;进样方式:不分流进样。

质谱条件:电子轰击离子源(EI);电子能量 70 eV;离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$;接口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;全谱扫描,扫描质量范围 32~402 m/z。

通过 Xcalibur 软件处理实验图谱得到相关数据,经计算机检索与 NIST 谱库和 Wiley 谱库匹配确定未知化合物的名称和相关信息,仅报道 RSI(匹配度)大于 800 的相关鉴定结果。各组分的相对含量由峰面积归一化法计算得到^[5]。

2 结果与分析

2.1 食用植物油及其香精 GC-MS 分析结果

2.1.1 花生油香精和花生油 GC-MS 分析结果

由表 1 可以看出,花生油香精的主要挥发性物质(相对含量在 0.02% 以上)共有 19 种,包括醛类、酯类、酚类、吡嗪类、酮类等,其中二乙酸甘油酯、乙基麦芽酚相对含量最高,约占总检出物的 59%。花生油挥发性成分种类较复杂,包括醛类、吡嗪类、萜烯类、杂环类等,且不同品牌的花生油的挥发性物质存在差异,但花生油相对含量最高的挥发性物质均为醛类和吡嗪类物质,如戊醛、己醛、2,3,5-三甲基吡嗪等,约占总检出物的 70% 左右。

表1 花生油香精及花生油主要挥发性物质 GC-MS 分析结果

序号	保留时间 /min	化合物	相对含量/%				
			沁香阁 花生油香精	飘香苑 花生油香精	鲁花 花生油	金龙鱼 花生油	润记 花生油
1	2.56	戊醛	—	—	6.07	4.22	7.89
2	3.14	N-甲基吡咯	—	—	—	7.78	—
3	3.95	2,3-二甲基庚烷	—	—	—	2.14	—
4	3.97	正辛烷	—	—	—	—	7.38
5	4.32	己醛	—	—	55.43	19.56	35.96
6	4.64	2-甲基四氢呋喃-3-酮	—	—	—	—	—
7	5.01	2-甲基嘧啶	—	—	—	8.15	—
8	5.04	二氟丙二酸二乙酯	—	—	8.53	—	—
9	5.36	3-糠醛	9.47	9.79	—	—	2.25
10	6.56	2-庚酮	0.18	—	—	—	—
11	6.59	2-甲基戊醛	—	—	—	—	2.22
12	6.95	庚醛	—	—	3.11	—	3.07
13	7.33	2,5-二甲基吡嗪	—	—	—	20.90	20.12
14	7.36	2,6-二甲基吡嗪	—	—	11.66	—	—
15	7.78	γ-丁内酯	—	—	—	—	3.71
16	8.04	(1R)-2,2-双甲基-3-亚甲基二环[2.2.1]庚烷	—	—	—	—	2.02
17	9.01	苯甲醛	6.22	7.51	—	—	—
18	9.13	Δ-戊内酯	—	—	—	2.86	—
19	9.36	2,2-二糠基醚	—	—	—	2.03	—
20	9.65	2,2-二甲基-3-甲亚基二环[2.2.1]庚烷	—	—	—	—	3.54
21	10.00	2,3,5-三甲基吡嗪	12.77	11.98	8.33	12.55	—
22	10.41	反式-2,4-庚二烯醛	1.35	1.58	—	—	—
23	10.48	柠檬烯	—	—	—	—	21.43
24	10.72	2-乙酰基噻唑	0.79	0.89	—	—	—
25	10.80	2-乙酰基吡嗪	1.29	1.43	—	—	—
26	10.91	甲基环戊烯醇酮	0.57	0.66	—	—	—
27	11.08	2-乙酰基吡啶	3.35	3.63	—	—	—
28	11.38	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环乙烯	—	—	—	—	1.01
29	11.47	苯乙醛	—	—	—	—	4.11
30	12.16	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	4.45
31	12.40	2,3,5,6-四甲基吡嗪	0.31	0.33	—	—	—
32	12.47	2-乙酰基-3-甲基吡嗪	1.07	1.11	—	—	—
33	12.96	壬醛	—	—	6.86	1.46	9.10
34	16.24	乙基麦芽酚	25.36	25.34	—	—	—
35	16.91	苯并噻唑	0.49	0.53	—	—	—
36	18.23	甲基壬基甲酮	0.31	0.32	—	—	—
37	20.06	二乙酸甘油酯	34.29	33.10	—	—	—
38	21.65	香兰素	0.69	—	—	—	—
39	23.41	可卡醛	0.48	0.52	—	—	—
40	27.33	柠檬酸三乙酯	0.45	0.61	—	—	—
41	28.60	丁位十二内酯	0.56	0.64	—	—	—

由图1可以看出,醛类物质在花生油香精及花生油中所占比例均较大,且花生油中醛类化合物含量高于花生油香精,醛类化合物主要来源于不饱和脂肪酸的氧化降解,其阈值较低,但气味贡献较大^[15],是青香型化合物的代表^[16]。而酯类物质在花生油香精中所占的比例高于花生油,酯类物质对整体气味有柔和

作用,对气味有很重要的贡献。酚类物质在花生油香精中所占比例约为25%,但在花生油中几乎未被检出,酚类物质通常具有果香型的感官特征,在花生油中相对含量较小或未被检出^[17]。吡嗪类物质^[18]具有特殊的焙烤香味,是美拉德反应的中间产物,在花生油中所占比例高于花生油香精。

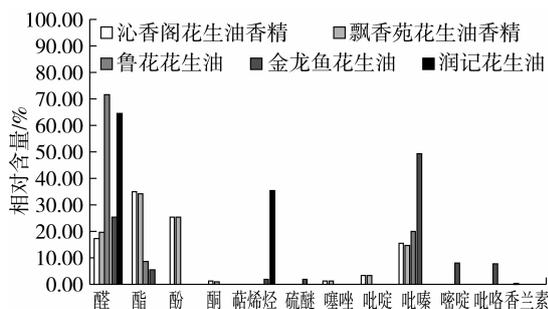


图1 挥发性物质在花生油香精和花生油中的分布

2.1.2 葵花籽油香精及葵花籽油的 GC-MS 分析结果

由表2可以看出,葵花籽油香精的主要挥发性物质(相对含量为0.02%以上)共有17种,包括吡嗪类、醛类、酯类、酚类、吡啶类等,其中2-乙酰基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪相对含量最高,约占总检出物的43%。葵花籽油挥发性成分种类比较复杂,包括醛类、吡嗪类、烯类、酯类、醇类、酚类等,不同品牌的葵花籽油的主要挥发性成分存在差异,但葵花籽油相对含量高的挥发性物质均为醛类和吡嗪类物质,约占总检出物的50%。

表2 葵花籽油香精和葵花籽油主要挥发性物质的 GC-MS 分析结果

序号	保留时间 /min	化合物	相对含量/%				
			沁香阁葵花籽油香精	飘香苑葵花籽油香精	西王葵花籽油	福临门葵花籽油	煮煮乐葵花籽油
1	2.56	戊醛	—	—	1.37	—	—
2	3.98	辛烷	—	—	2.22	—	—
3	4.33	己醛	0.30	0.24	7.84	—	—
4	4.80	4-甲基噻唑	—	—	—	1.39	2.74
5	5.33	糠醛	1.76	1.67	—	14.46	15.59
6	5.36	2-甲基丁酸乙酯	—	—	2.37	—	—
7	7.33	2,5-二甲基吡嗪	0.60	0.53	—	—	—
8	7.48	2,3-二甲基吡嗪	0.35	0.32	—	—	—
9	6.57	2-庚酮	—	—	—	1.46	2.96
10	8.89	B-蒎烯	—	—	2.50	—	—
11	9.00	苯甲醛	1.58	1.19	—	21.21	30.40
12	9.93	辛醛	—	—	3.97	—	—
13	9.95	2,3,5-三甲基吡嗪	16.27	16.92	—	37.33	12.75
14	10.07	1,4-桉叶素	—	—	3.61	—	—
15	10.42	反式-2,4-庚二烯醛	—	—	—	1.24	—
16	10.48	柠檬烯	—	—	74.89	2.10	4.53
17	10.72	2-乙酰基噻唑	—	—	—	2.21	3.34
18	10.79	2-乙酰基吡嗪	26.70	31.63	—	—	2.89
19	11.07	2-乙酰基吡啶	7.36	8.25	—	8.77	13.24
20	11.35	苯醇	13.44	—	—	—	—
21	12.41	2,3,5,6-四甲基吡嗪	4.88	5.00	—	0.62	—
22	12.47	2-乙酰基-3-甲基吡嗪	—	—	—	2.39	3.65
23	12.69	四氢芳樟醇	—	—	—	0.31	—
24	12.78	芳樟醇	—	—	—	0.25	0.42
25	12.96	壬醛	—	—	—	0.18	—
26	12.96	反-2-十一烯酸	—	—	4.83	—	—
27	14.87	乙酸苄酯	0.30	0.26	—	—	—
28	14.95	2-甲基-3-(甲硫基)吡嗪	0.24	0.19	—	1.37	2.10
29	15.54	乙酸苏合香酯	—	—	—	0.24	—
30	15.88	癸醛	—	—	—	0.19	0.34
31	15.96	乙基麦芽酚	4.26	4.98	—	2.88	3.45
32	18.48	2,4-癸二烯醛	0.22	0.20	—	—	—
33	19.15	反式-2,4-癸二烯醛	3.42	4.43	—	—	—
34	19.84	二乙酸甘油酯	—	—	—	1.38	1.58
35	19.90	柠檬酸三乙酯	11.79	14.14	—	—	—
36	21.67	丁位十二内酯	6.52	10.05	—	—	—

由图2可以看出,醛类物质在葵花籽油中所占的比例明显高于葵花籽油香精。酯类物质在葵花籽

油香精中所占的比例明显高于葵花籽油。萜烯类物质在葵花籽油中占一定比例,但在葵花籽油香精

中未被检出。萜烯类化合物一般在各植物油中较少或未检出,但在葵花籽油中含量较高,一些萜烯类化合物对人体健康有益^[15],尤其是柠檬烯,有很

强的抗癌活性^[19]。吡嗪类物质在葵花籽油香精中所占的比例很高,为 50% 左右,明显高于葵花籽油中的检出比例。

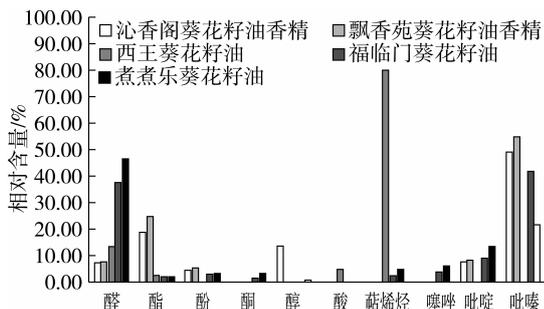


图 2 挥发性物质在葵花籽油香精及葵花籽油中的分布

2.1.3 芝麻油香精和芝麻油的 GC - MS 分析结果

由表 3 可以看出,芝麻油香精主要挥发性物质(相对含量为 0.02% 以上)共有 12 种,包括吡嗪类、酯类、酮类等,其中 2,3,6 - 三甲基吡嗪、2 - 甲基吡嗪、二糠基硫醚的相对含量最高,约占总检出物的 57%。芝麻油挥发性物质的种类比较复杂,包括吡嗪类、醛类、酯类、吡啶类等,不同品牌芝麻油的主要挥发性物质的种类存在差异,但相对含量最高的挥发性物质均为吡嗪类物质,约占总检出物的 70%。

表 3 芝麻油香精和芝麻油挥发性物质的 GC - MS 结果

序号	保留时间 /min	化合物	相对含量/%				
			沁香阁芝麻油香精	飘香苑芝麻油香精	鲁花芝麻油	恒泰兴芝麻油	太太乐芝麻油
1	2.56	戊醛	—	—	—	0.20	—
2	3.24	嘧啶	—	—	0.72	—	1.56
3	3.49	吡咯	—	—	—	—	0.84
4	3.96	辛烷	—	—	—	—	0.72
5	4.34	己醛	—	—	0.75	—	1.42
6	4.81	4 - 甲基噻唑	—	—	—	—	0.57
7	4.97	2 - 甲基吡嗪	19.93	18.70	5.48	10.72	14.37
8	5.35	3 - 糠醛	—	—	2.10	—	2.39
9	6.52	2,4 - 二甲基噻唑	—	—	—	—	0.92
10	7.35	2,5 - 二甲基吡嗪	9.07	8.82	4.01	5.18	10.05
11	7.50	2,3 - 二甲基吡嗪	—	—	—	—	1.44
12	7.78	4 - 羟基丁酸乙酯	—	—	—	—	0.94
13	9.00	苯甲醛	—	—	2.37	2.25	—
14	9.36	2 - 戊基呋喃	—	—	—	0.58	—
15	9.85	2 - 乙基 - 6 - 甲基吡嗪	—	—	—	0.42	—
16	9.93	2,3,6 - 三甲基吡嗪	22.91	21.72	—	—	—
17	9.94	2,3,5 - 三甲基吡嗪	—	—	27.25	26.16	28.33
18	10.48	右旋萜二烯	4.72	4.52	—	2.65	4.08
19	10.79	2 - 乙酰基吡嗪	—	—	37.22	30.48	16.64
20	11.06	2 - 乙酰基吡啶	—	—	11.79	9.38	4.39
21	12.07	4 - 羟基 - 2,5 - 二甲基 - 3(2H) 呋喃酮	—	3.09	—	—	—
22	12.40	2,3,5,6 - 四甲基吡嗪	—	—	2.69	2.33	3.07
23	12.48	2 - 乙酰基 - 3 - 甲基吡嗪	—	—	—	1.05	—
24	12.68	愈创木酚	14.64	13.80	2.10	4.98	3.57
25	12.95	壬醛	—	—	—	0.99	1.47
26	14.94	2 - 甲基 - 3 - (甲硫基) 吡嗪	—	—	1.17	0.98	—
27	19.16	2,4 - 癸二烯醛	—	—	—	1.62	—
28	15.87	癸醛	—	—	—	—	1.13
29	17.87	1,6 - 己二硫醇	3.32	3.56	—	—	—
30	19.85	二乙酸甘油酯	0.24	0.32	2.33	—	2.05
31	22.93	二糠基硫醚	16.06	16.20	—	—	—
32	27.33	柠檬酸三乙酯	5.57	5.59	—	—	—
33	28.14	二糠基二硫	2.62	2.71	—	—	—
34	28.59	丁位十二内酯	0.90	0.96	—	—	—

由图 3 可以看出,醛类物质在芝麻油中所占比例为 5% ~ 6%,但在芝麻油香精中未被检出。酚类物质在芝麻油香精和芝麻油中均有检出,但芝麻油

香精中酚类物质的含量明显高于芝麻油。醇类物质在芝麻油香精中所占比例为 4% 左右,但在芝麻油中未被检出,醇类物质一般气味柔和^[20]。硫醚类物

质在芝麻油香精中所占比例为18%左右,而在芝麻油中未被检出。吡嗪类物质是在芝麻油中的含量很高,占70%左右,比例明显高于芝麻油香精,吡嗪类物质主要香气特征是焙烤味^[21],这也是芝麻油具有独特浓郁香味的原因之一^[15]。

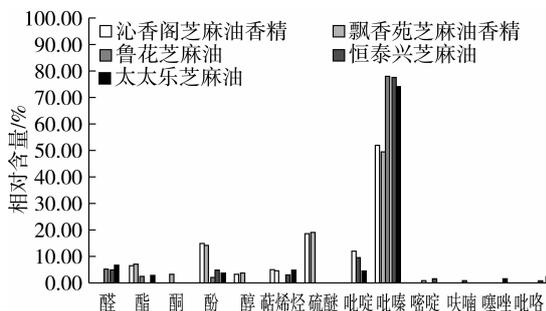


图3 挥发类物质在芝麻油香精和芝麻油中的分布

2.2 食用植物油和其香精的显著性分析结果

由表4可知,花生油香精和花生油在醛类、酯类、酮类、萜烯类以及一些杂环化合物的相对含量上有明显差异;葵花籽油香精和葵花籽油在醛类、酯类、酚类、萜烯类化合物的相对含量上有明显差异;芝麻油香精和芝麻油在醛类、酯类、酮类、酚类、醇类、萜烯类、硫醚类以及杂环类化合物的相对含量上亦有明显差异。

表4 三种食用植物油及其香精的显著性分析结果

挥发性物质种类	相对含量/%					
	花生油香精	花生油	葵花籽油香精	葵花籽油	芝麻油香精	芝麻油
醛	18.47 ^a	68.04 ^b	7.51 ^a	41.80 ^b	0.00 ^a	5.15 ^b
酯	34.83 ^a	6.90 ^b	21.53 ^a	1.61 ^b	6.80 ^a	2.67 ^b
酮	1.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^a	2.21 ^a	3.09 ^a	0.00 ^b
酚	—	—	4.80 ^a	3.17 ^b	14.22 ^a	4.28 ^b
醇	—	—	13.44 ^a	0.49 ^a	3.44 ^a	0.00 ^b
萜烯类	0.00 ^a	18.77 ^b	0.00 ^a	79.62 ^b	4.62 ^a	3.73 ^b
硫醚	0.00 ^a	2.03 ^a	—	—	18.81 ^a	0.00 ^b
噻唑	1.35 ^a	0.00 ^b	0.00 ^a	4.84 ^a	—	—
吡啶	3.49 ^a	0.00 ^b	7.81 ^a	11.01 ^a	0.00 ^a	10.59 ^b
吡嗪	15.14 ^a	34.69 ^b	51.82 ^a	31.57 ^a	50.58 ^a	77.58 ^b
噻唑	0.00 ^a	8.15 ^b	—	—	0.00 ^a	1.14 ^a
吡咯	0.00 ^a	7.78 ^b	—	—	0.00 ^a	0.84 ^b

注:对于食用植物油及其对应香精,相同字母表示在95%的置信区间中内,没有显著性差异。

3 结论

本实验利用HS-SPME-GC-MS分离鉴定了不同品牌的食用植物油及其香精,获得了食用植物油及其香精的指纹图谱。经过分析比较,花生油、葵花籽油、芝麻油与对应香精在主要挥发性物质种类及相对含量分布均存在较大差异,拥有不同的气质指纹图谱。因此,顶空固相微萃取结合气质联用操作简单,且不会破坏所测样品的内源性物质,通过指纹图谱的定性分析,可以作为食用植物油中芳香性

物质非法添加物检测的有效手段。

参考文献:

- [1] 马健鹰, 编著. 中国饮食文化史[M]. 复旦大学出版社, 2011.
- [2] 陈晨. 中国食用油产业的国际地位及进口安全研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [3] 方晓璞, 田淑梅, 张小勇, 等. 食用植物油质量安全溯源体系的建立[J]. 中国油脂, 2016(5): 50-52.
- [4] 黄永辉, 钟海雁, 李忠海. 固相微萃取及其在食用植物油香气研究中的应用[J]. 食品研究与开发, 2006(8): 192-196.
- [5] Vichi S, Pizzale L, Conte L S, et al. Simultaneous determination of volatile and semi-volatile aromatic hydrocarbons in virgin olive oil by headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography/mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1090: 146-154.
- [6] Jiménez A, Aguilera M P, Beltrán G, et al. Application of solid-phase microextraction to virgin olive oil quality-control [J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1121: 140-144.
- [7] Doleschall F, Kemény Z, Recseg K, et al. A new analytical method to monitor lipid peroxidation during bleaching [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2002, 104: 14-18.
- [8] 蓝芳, 谢丽琪, 杨左军, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱法测定油脂中浸出油溶剂残留的方法研究[J]. 分析试验室, 2004, 23(4): 70-72.
- [9] Jeleń H H, Obuchowska M, Zawirska-Wojtasiak R, et al. Headspace solid-phase microextraction use for the characterization of volatile compounds in vegetable oils of different sensory quality [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48: 2360-2367.
- [10] 刘晓君. 炒籽对花生油风味和品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [11] Kataoka H, Lord H L, Pawliszyn J. Applications of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2000, 880: 35-62.
- [12] 刘晓君. 花生油挥发性风味成分的鉴定[J]. 中国油脂, 2008(8): 40-42.
- [13] 周萍萍. 浓香葵花籽油挥发性风味成分的鉴定[J]. 食品工业科技, 2012(14): 128-131.
- [14] 秦早. 芝麻油风味物质分析研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [15] 高蓓. 固相微萃取-气质联用技术测定5种食用植物油挥发成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 7(6): 2846-2856.
- [16] Hatanaka A. The biogenesis of green odour by green leaves [J]. Phytochem, 1993, 34(5): 1201-1218.
- [17] 张义. 龙眼汁香气物质及其在加工和贮藏过程中的变化规律[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [18] 卫舒平, 张华, 徐晓彬, 等. 吡嗪衍生物的天然存在及其在食用香精中的应用[J]. 香料香精化妆品, 2000(2): 25-31.
- [19] 王伟江. 天然活性单萜-柠檬烯的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2005(1): 33-37.
- [20] Cadwallader K R, Tan Q, Chen F, et al. Evaluation of the aroma of cooked spiny lobster tail meat by aroma extract dilution analysis [J]. J Agric Food Chem, 2002, 43: 2432-2437.
- [21] Shresha K, Meulenaar B D, Gemechu F G. A novel insight on the high oxidative stability of roasted mustard seed oil in relation to phospholipid, Maillard type reaction products, tocopherol and canolol contents [J]. Food Res Int, 2013, 54(1): 587-594.