

气相色谱 - 离子迁移谱分析不同植物油 浸提的花椒油的挥发性成分

肖 岚¹, 幸 勇², 唐英明³, 熊 敏¹

(1. 四川旅游学院 食品学院, 成都 610100; 2. 四川五丰黎红食品有限公司, 四川 雅安 625300;

3. 四川旅游学院 烹饪学院, 成都 610100)

摘要:通过了解不同植物油浸提的花椒油的挥发性成分(VOCs)特征,获得筛选花椒浸提用植物油的方法。利用气相色谱(GC)和离子迁移谱(IMS)联用技术对不同植物油浸提的花椒油的VOCs进行采集和分析。结果表明:不同植物油浸提的花椒油的VOCs差异较大。GC-IMS可有效分离各花椒油中极性相近的VOCs,并筛选出50种离子峰强度变化明显的VOCs;通过二维数据可视化方式可显示各VOCs离子峰的差异;经数据降维处理后构建主成分分析模型,可将不同植物油浸提的花椒油根据浸提用植物油的不同进行聚类。相似度分析表明,与一级压榨菜籽花椒油相似度最高的是一级浸出菜籽花椒油,其次为大豆花椒油。因此,利用GC-IMS技术获取不同植物油浸提的花椒油产生的VOCs组成特征来筛选花椒油生产企业用的植物油原料的方法是可行的。

关键词:植物油;花椒油;气相色谱-离子迁移谱;挥发性成分;浸提

中图分类号:TS225.1;O657 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)08-0138-07

Volative component analysis of Sichuan pepper oil extracted with different vegetable oils by gas chromatography - ion mobility spectroscopy

XIAO Lan¹, XING Yong², TANG Yingming³, XIONG Min¹

(1. College of Food Science, Sichuan Tourism College, Chengdu 610100, China; 2. Sichuan

Wu Feng Li Hong Food Co., Ltd., Ya'an 625300, Sichuan, China; 3. College of

Culinary Science, Sichuan Tourism College, Chengdu 610100, China)

Abstract: Through understanding volatile components (VOCs) of Sichuan pepper oil extracted using different vegetable oils, the method for selecting vegetable oil was obtained. VOCs of Sichuan pepper oil extracted using different vegetable oils were collected and analyzed by GC-IMS. The results showed that VOCs of Sichuan pepper oil extracted using different vegetable oils had great differences. GC-IMS could effectively separate VOCs with similar polarity in Sichuan pepper oil, and 50 kinds of VOCs with obvious ion peak intensity change were screened out. The differences of VOCs ion peaks could be displayed by two-dimensional data visualization, the principal component analysis (PCA) model was established after data dimensionality reduction, and Sichuan pepper oil extracted using different vegetable oils could be clustered according to the different vegetable oils used for extraction. It was feasible to use GC-IMS to obtain VOCs composition characteristics of Sichuan pepper oil extracted using different vegetable oils to screen the vegetable oil raw materials for Sichuan pepper oil production enterprises.

Key words: vegetable oil; Sichuan pepper oil; GC-IMS; volatile component; extraction

收稿日期:2020-02-09;修回日期:2020-05-29

基金项目:四川旅游学院-四川五丰黎红食品有限公司校企合作横向项目

作者简介:肖 岚(1981),女,副教授,研究方向为食品加工与安全控制(E-mail)30430664@qq.com。

通信作者:熊 敏,教授(E-mail)123865637@qq.com。

花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)是芸香科花椒属植物,其成熟果皮干燥后,味辛麻,香气浓郁。花椒油是通过植物油浸提工艺从花椒中浸提出呈香呈

味物质的一种食用调味油,其味道鲜美、醇麻可口,且方便食用、易保存。四川地区的传统花椒油均采用原香纯菜籽油对花椒进行高温(100~200℃)浸提^[1],因此花椒油辛麻口感比较重,同时保留了菜籽油清香;此外,浸提过程中,菜籽油中的风味成分可与花椒中的风味成分相互作用,有助于形成四川花椒油的特殊风味。然而,原香纯菜籽油的成本较高,因此部分中小企业常采用大豆油、调和油作为浸提用油生产花椒油。目前,花椒油的研究主要集中在花椒原料、制备工艺对其风味、麻味的影响^[2-4],关于浸提用植物油对花椒油风味影响的相关报道鲜见。因此,本研究采用一级浸出菜籽油、一级压榨菜籽油、四级压榨菜籽油、一级浸出大豆油以及特级初榨橄榄油作为浸提用植物油,采用专利技术^[5]对汉源红花椒进行浸提,制备花椒油。为了从定性和定量两个方面分析花椒油的风味,本研究采用GC-IMS联用技术对不同植物油浸提的花椒油的挥发性成分(VOCs)进行采集和分析,利用化学计量法处理数据后进行聚类分析,并以数据可视化形式显示该方法的判别效果,为花椒油生产企业筛选花椒浸提用植物油提供数据支持,同时为该项快检技术在调味油中的实际应用提供理论依据和数据支持。

表1 花椒油感官评价标准

评分(分)	麻度	综合香气	色泽	透明度
8~10	麻味浓厚,无异味	香气清纯、浓郁	较深的青绿色	清澈透明、无杂质
6~8	麻味一般,无异味	香气纯正	明显的青绿色	透明度一般
4~6	麻味不明显	香气较淡	颜色偏淡	透明度较差
2~4	无麻味	无明显的香气	无青绿色或黄绿色	透明度差

感官评价方法:将10g花椒油倒入纯白色小陶瓷碗中,在水浴上加热到45℃左右,用玻璃棒搅拌后,由感官评价人员进行评分。

1.2.2 GC-IMS分析

气相色谱色谱柱型号为FS-SE-54-CB-1(15m×0.53mm),柱温60℃,载气/漂移气为N₂。取1mL花椒油样品置于20mL顶空瓶中,80℃孵育15min后进样500μL,进样针温度85℃,孵化转速500r/min;离子迁移谱(IMS)温度45℃,分析时间30min。气相色谱条件如表2所示。

表2 气相色谱条件

时间/min	漂移气流量/(mL/min)	载气流量/(mL/min)
0	150	2
2	150	2
20	150	100
30	150	100

1 材料与方法

1.1 实验材料

干红花椒:四川汉源贡椒。一级浸出菜籽油、四级压榨菜籽油、一级压榨菜籽油(原香型):成都市新兴粮油有限公司。特级初榨橄榄油:四川省广元市荣生源食品有限公司。一级浸出大豆油:中粮集团有限公司。以以上原料制备5种花椒油(每种花椒油有3个平行样品,采用四川五丰黎红食品有限公司的发明专利技术制备花椒油^[5]),均由四川五丰黎红食品有限公司提供,包括一级浸出菜籽花椒油(JC)、一级压榨菜籽花椒油(YJ)、四级压榨菜籽花椒油(SJ)、橄榄花椒油(GL)、大豆花椒油(DD)。

FlavourSpec@ 风味分析仪(配有CTC自动顶空进样器、Laboratory Analytical Viewer(LAV)分析软件、Reporter插件、Gallery Plot插件、Dynamic PCA插件及Library Search定性软件),德国G.A.S公司。

1.2 实验方法

1.2.1 感官评价

采用双盲法对花椒油进行感官评定。评价小组由受过专业培训的感官评价人员组成,共10人,男女各半,分别从花椒油的麻度、综合香气、色泽和透明度4个指标进行感官评价,感官评价标准见表1。

1.2.3 数据处理

采用设备自带Laboratory Analytical Viewer(LAV)分析软件及Library Search定性软件对花椒油中的VOCs进行采集和分析。

2 结果与分析

2.1 花椒油的感官评价

对不同植物油浸提的花椒油的麻度、综合香气、色泽以及透明度4个指标进行感官评价,结果如表3所示。

由表3可知,不同植物油浸提的花椒油的麻度差异不显著($P > 0.05$)。王立艳等^[6]研究发现,影响花椒油中麻味素含量的主要因素是花椒的品种以及花椒油浸提工艺(包括料液比、油浸温度、油浸时间)。而本实验中的5个花椒油样品所用的花椒品种以及浸提工艺均一致,故其麻度的感官评分差异不显著。

表3 花椒油的风味感官评分

花椒油	麻度	综合香气	色泽	透明度
一级浸出菜籽花椒油(JC)	9.13 ± 0.59a	7.42 ± 0.85ab	9.23 ± 0.56a	7.47 ± 0.23ab
一级压榨菜籽花椒油(YJ)	9.16 ± 0.83a	9.29 ± 0.52a	9.37 ± 0.15a	6.85 ± 1.58b
四级压榨菜籽花椒油(SJ)	9.27 ± 0.54a	9.18 ± 0.36ab	9.16 ± 0.47a	6.43 ± 0.71b
橄榄花椒油(GL)	9.02 ± 0.85a	6.35 ± 1.58b	6.52 ± 1.47bc	8.42 ± 0.53ab
大豆花椒油(DD)	8.46 ± 0.69a	7.18 ± 1.24ab	5.84 ± 1.32c	9.29 ± 0.69a

注:同列各组比较,不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

不同植物油浸提花椒油的综合香气差异较大,3种菜籽花椒油的综合香气感官评分高于大豆花椒油、橄榄花椒油,而2种压榨菜籽花椒油的综合香气感官评分高于浸出菜籽花椒油。一级压榨菜籽花椒油的综合香气感官评分最高(9.29),源于其浓郁的菜籽油香气;四级压榨菜籽花椒油的综合香气感官评分次之,为9.18;一级浸出菜籽花椒油为7.42,大豆花椒油为7.18,但均与一级压榨菜籽花椒油差异不显著($P > 0.05$);然而,橄榄花椒油与一级压榨菜籽花椒油在综合香气感官评分差异显著($P < 0.05$)。菜籽油具有特殊的烘焙、坚果气味^[7]。蒋林利^[8]研究了不同提油方式(冷榨、热榨、浸出、炒籽结合浸出)对菜籽油风味的影响,结果发现提油方式对菜籽油风味影响显著,炒籽-压榨所得菜籽油风味物质更多,风味更好;此外,油菜籽品种也显著影响菜籽油风味,四川本地的双高菜籽油风味最好。橄榄油具有特殊的橄榄果香味,并夹杂着青草味、涩味、苦杏仁味^[9-10],橄榄油挥发性物质的组成和含量与橄榄品种、地理环境、成熟度、水分、栽培、加工工艺等因素密切相关^[11]。大豆油具有特殊的“臭味”,主要与亚麻酸酯、不皂化物中的碳氢化合物有关;另外,大豆油中的2-戊基呋喃、乙基乙基甲酮、戊烷醛、

4-顺-庚烯醛、丁二酮和3-顺-己醇会引起大豆油的腥味^[12]。以上结果提示,花椒油的香气与浸提用植物油的香型及香气浓郁程度有密切关系^[13]。

各花椒油的色泽差异较大,其中3种菜籽花椒油的色泽感官评分较高,这与菜籽油本身的青绿色有密切关系;橄榄花椒油、大豆花椒油的色泽感官评分显著降低($P < 0.05$),主要因为橄榄油和大豆油本身无青绿色,呈黄绿色且颜色偏淡,因此橄榄花椒油、大豆花椒油的透明度感官评分较高,而3种菜籽花椒油的透明度感官评分均较低。综上,菜籽油作为花椒油的浸提用油,有利于四川花椒油特殊香气的形成;而大豆油、橄榄油作为浸提用油,花椒油的透明度好。

2.2 花椒油中的挥发性成分

2.2.1 气相离子迁移谱(见图1)

图1中横坐标1.0处竖线为反应离子峰(RIP峰);RIP峰两侧的每一个点代表一种挥发性有机物,颜色越亮,面积越大,代表浓度越大^[14]。由图1中圆圈标注部分可以看出,不同植物油浸提的花椒油具有不同GC-IMS特征谱信息,各花椒油样品中的VOCs的差异主要表现在离子峰的位置、数量、强度及时间上。

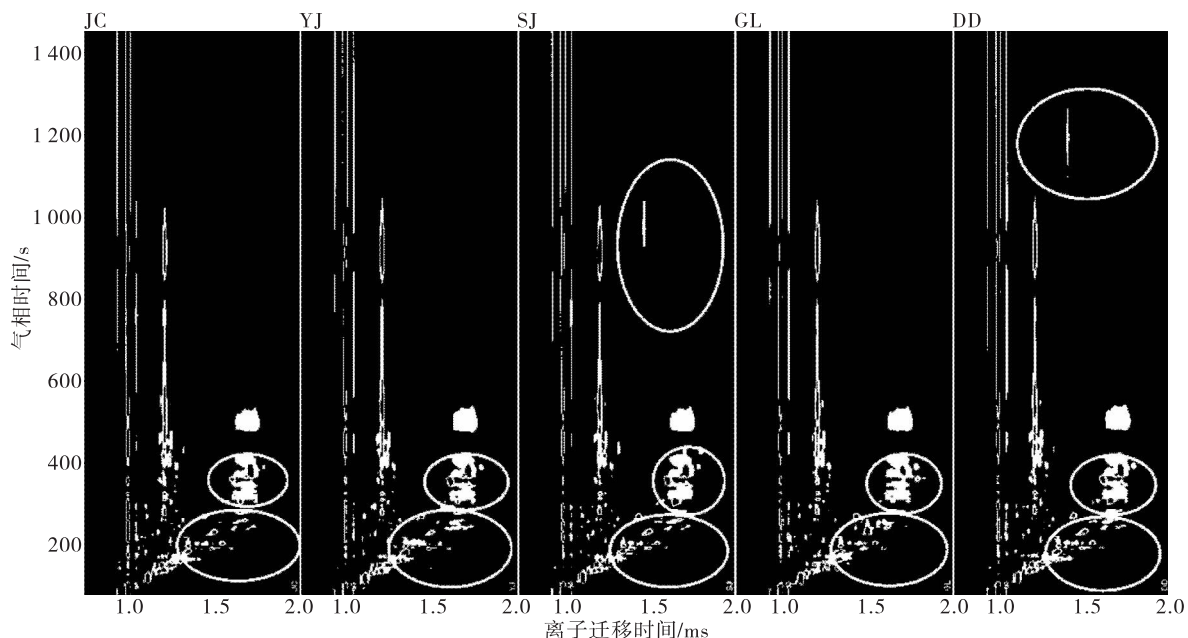


图1 花椒油的气相离子迁移谱图

实际生产中,四川花椒油生产企业多采用本地油菜籽压榨生产的四级菜籽油作为浸提用植物油,也有一些企业为了降低生产成本而采用浸出菜籽油、浸出大豆油或调和油(大豆油与菜籽油按一定比例调和)作为花椒浸提用植物油。根据花椒油的感官评价分析可知,不同植物油浸提花椒油的香气差异较大,这是与植物油本身所含有的挥发性物质有关^[15-18],此外,植物油中的相关成分也会与花椒中的相关成分发生相互作用而形成特殊复杂的气味。然而,感官评价并不能精准找出各花椒油间的

风味差异,因此可通过 VOCs 的种类增减和相对应物质的浓度变化比较浸提用植物油对花椒油风味的影响,从而指导花椒油生产企业筛选花椒浸提用植物油,在保证花椒油特定风味品质的同时,扩大花椒浸提用植物油品种的使用范围。

2.2.2 花椒油中的挥发性物质指纹图谱对比

图2为 FlavourSpec[®]系统自带 LAV 软件内置的 Gallery Plot 插件筛选出的具有明显变化规律的 VOCs 的离子峰图库。花椒油中 VOCs 定性分析结果见表4。

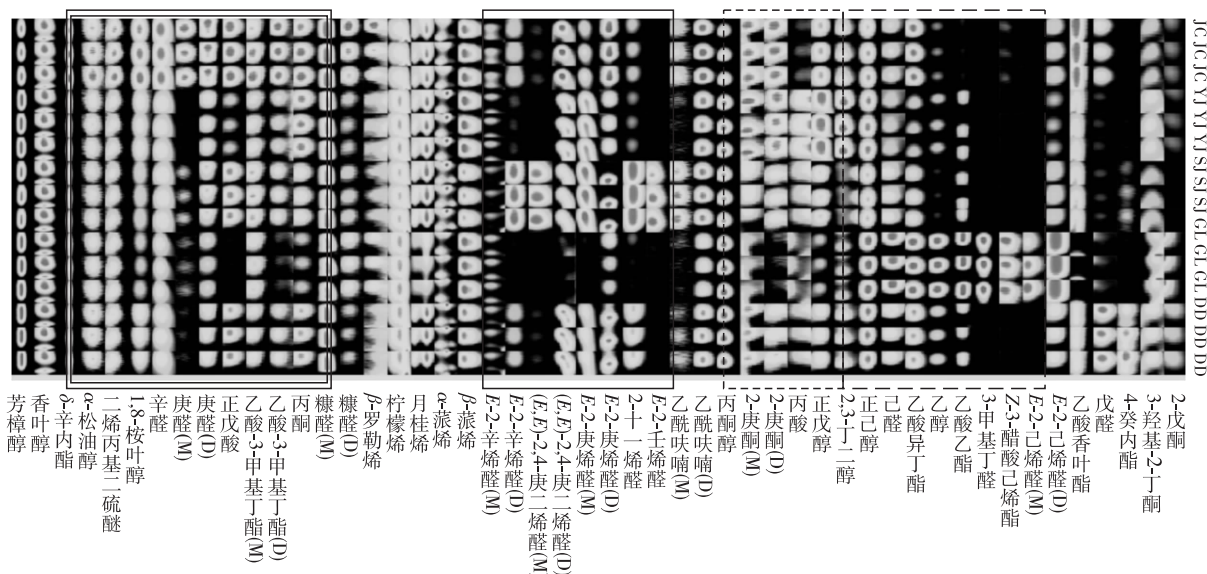


图2 花椒油的 Gallery Plot 图(指纹图谱)

从图2可以看出,组内的3个花椒油样品具有明显的相似性,5种花椒油样品组间则呈现出明显的差异性,另外,不同花椒油都有各自的特征峰区域。一级浸出菜籽花椒油的特征峰区域在黑色双实线区域内,特征 VOCs 主要有 δ -辛内酯、 α -松油醇、二烯丙基二硫醚、1,8-桉叶醇、辛醛、庚醛、正戊酸、乙酸-3-甲基丁酯、丙酮、糠醛;一级压榨菜籽花椒油的特征峰区域在黑色虚线区域内,特征 VOCs 主要有丙酮醇、2-庚酮、丙酸、正戊醇等;四级压榨菜籽花椒油的特征峰区域在黑色实线区域内,特征 VOCs 主要有 *E*-2-辛烯醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、*E*-2-庚烯醛、2-十一烯醛、*E*-2-壬烯醛等。可见,不同加工工艺的菜籽油的风味是有区别的,这与杨涪^[15]、邓龙^[19]等的研究结果一致。橄榄花椒油的特征峰区域在黑色长划线区域内,特征 VOCs 主要有 2,3-丁二醇、正己醇、己醛、乙酸异丁酯、乙醇、乙酸乙酯、3-甲基丁醛、*Z*-3-醋酸己烯酯、*E*-2-己烯醛等。龙伟等^[11]在四川青川县主栽的3个油橄榄品种初榨橄榄油中检出较高

浓度的 *E*-2-己烯醛(16.25%~48.55%)、己醛(0.05%~0.2%),提示 *E*-2-己烯醛是橄榄花椒油的特征挥发性物质。然而,大豆花椒油没有特征峰区域及特征 VOCs,可能是因为大豆花椒油中的 VOCs 在种类和含量上与其他花椒油较为相似。

由表4可知,花椒油共检测出50种主要挥发性成分,包括醇类9种、醛类18种、酮类5种、烯炔类5种、酯类8种、酸类及其他类共5种。5种花椒油检出的具有明显变化规律的 VOCs 较少,是因为 GC-IMS 的检测温度较低,为 45℃,而气相色谱-质谱联用法(GC-MS)的检测温度一般都高于 200℃,检测温度较低导致花椒油中某些脂肪酸未发生充分的氧化降解反应^[20-21],同时,部分物质未挥发而未检出,然而此温度检出的 VOCs 的种类及含量可能与常温花椒油 VOCs 的种类及含量更为接近。牛文婧等^[4]采用顶空固相微萃取与气相色谱质谱联用法(GC-MS)测定7个不同品种花椒油中的香气物质,通过建立花椒油的香气质量评价模型得出四川汉源红花椒作为原料制备花椒油的香气质量最佳,7

个不同品种花椒油的挥发性风味物质共检出 81 种,醇类、烃类、酯类对花椒油特征性风味的形成有重要意义,主成分分析法得出的前 3 个主成分是 α -松油醇、芳樟醇、柠檬烯。

表 4 花椒油的挥发性成分定性分析

化合物	保留时间/s	归一化处理	备注
酸类			
正戊酸	262.605	1.228 8	
丙酸	185.406	1.361 9	
醇类			
香叶醇	756.921	1.220 2	
芳樟醇	497.599	1.219 7	
α -松油醇	677.305	1.295 4	
1,8-桉叶醇	389.256	1.730 8	
正己醇	239.121	1.631 8	
正戊醇	191.614	1.502 4	
2,3-丁二醇	198.093	1.361 9	
丙酮醇	158.550	1.238 5	
乙醇	107.557	1.046 4	
醛类			
<i>E</i> -2-辛烯醛(M)	429.475	1.338 8	单体
<i>E</i> -2-辛烯醛(D)	428.178	1.826 0	二聚体
(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛(M)	362.111	1.194 2	单体
(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛(D)	362.571	1.621 5	二聚体
<i>E</i> -2-庚烯醛(M)	306.475	1.257 7	单体
<i>E</i> -2-庚烯醛(D)	307.395	1.673 3	二聚体
辛醛	355.674	1.404 0	
庚醛(M)	262.794	1.328 9	单体
庚醛(D)	261.874	1.701 8	二聚体
糠醛(M)	221.036	1.085 8	单体
糠醛(D)	220.766	1.335 0	二聚体
己醛	204.571	1.565 9	
2-十一烯醛	968.159	1.487 7	
戊醛	167.326	1.426 8	
<i>E</i> -2-壬烯醛	621.347	1.413 3	
<i>E</i> -2-己烯醛(D)	232.922	1.521 1	二聚体
<i>E</i> -2-己烯醛(M)	233.236	1.182 6	单体
3-甲基丁醛	157.192	1.4051	
酮类			
2-庚酮(M)	254.507	1.260 5	单体
2-庚酮(D)	255.047	1.636 7	二聚体
3-羟基-2-丁酮	171.109	1.330 2	
2-戊酮	165.662	1.369 4	
丙酮	120.116	1.118 1	
酯类			
乙酸香叶酯	911.958	1.220 2	
δ -辛内酯	855.064	1.277 9	
乙酸-3-甲基丁酯(M)	246.949	1.309 4	单体
乙酸-3-甲基丁酯(D)	246.139	1.7540	二聚体
乙酸异丁酯	192.154	1.620 8	
4-癸内酯	1 155.622	1.419 8	
乙酸乙酯	145.208	1.342 2	
<i>Z</i> -3-醋酸己烯酯	360.218	1.820 6	
烯烃类			
β -罗勒烯	408.068	1.708 4	
柠檬烯	367.849	1.706 5	
月桂烯	339.849	1.727 5	

续表 4

化合物	保留时间/s	归一化处理	备注
β -蒎烯	318.179	1.640 5	
α -蒎烯	280.749	1.679 6	
其他			
二烯丙基二硫醚	459.315	1.191 4	
乙酰呋喃(M)	270.151	1.116 5	单体
乙酰呋喃(D)	271.070	1.453 2	二聚体

综上,除大豆花椒油以外的其他花椒油均有属于该花椒油的特征 VOCs,花椒油生产企业可通过建立花椒油 VOCs 离子迁移谱指纹特性数据库,比对筛选出适合的花椒浸提用植物油,由此进行植物油原料的甄选。

2.2.3 花椒油样品的主成分及相似度分析

花椒油的主要成分分析见图 3。由图 3 可知,各花椒油样品在 PC - 1 和 PC - 2 上均能得到较好地分离且组内各样品相对集中于一定范围内,通过二维空间的数据分布差异可以直观地观察到组间和组内样品间的差异性^[22]。橄榄花椒油在主成分上与其他花椒油的差异较大,而一级压榨菜籽花椒油与大豆花椒油在主成分上较为相近,一级浸出菜籽花椒油

与四级压榨菜籽花椒油在主成分上的差异不大。

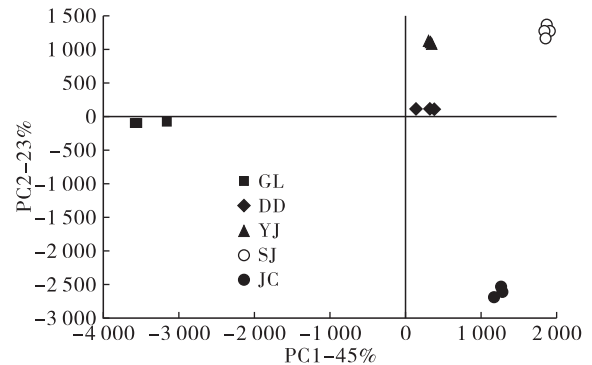


图 3 花椒油的 PCA 分析图

根据各花椒油的 VOCs 种类和含量进行相似度分析,结果见表 5。

表 5 花椒油的相似度分析

样品	JC	JC	JC	YJ	YJ	YJ	SJ	SJ	SJ	GL	GL	GL	DD	DD	DD	%
JC	100	93	90	72	73	72	67	66	65	60	59	59	73	72	71	
JC	93	100	96	73	75	74	69	69	67	60	59	59	74	73	72	
JC	90	96	100	74	76	75	70	70	67	60	59	59	74	73	72	
平均值		95			74		68			59				73		
YJ	72	73	74	100	89	91	70	69	68	61	60	60	74	73	71	
YJ	73	75	76	89	100	95	72	71	68	63	61	62	74	74	72	
YJ	72	74	75	91	95	100	72	71	68	62	60	61	74	73	72	
平均值		74			94		70			61				73		
SJ	67	69	70	70	72	72	100	97	87	54	53	53	69	69	68	
SJ	66	69	70	69	71	71	97	100	88	54	52	53	68	69	68	
SJ	65	67	67	68	68	68	87	88	100	53	52	52	69	69	69	
平均值		68			70		94			53				69		
GL	60	60	60	61	63	62	54	54	53	100	94	89	64	63	62	
GL	59	59	59	60	61	60	53	52	52	94	100	93	63	61	60	
GL	59	59	59	60	62	61	53	53	52	89	93	100	62	61	60	
平均值		59			61		53			95				62		
DD	73	74	74	74	74	74	69	68	69	64	63	62	100	95	92	
DD	72	73	73	73	74	73	69	69	69	63	61	61	95	100	97	
DD	71	72	72	71	72	72	68	68	69	62	60	60	92	97	100	
平均值		73			73		69			62				96		

由表 5 可知,组内相似度均大于等于 94%,组间相似度则较低,说明花椒浸提用植物油对花椒油的风味影响较大。一级浸出菜籽花椒油与一级压榨菜籽花椒油的相似度最高,为 74%;大豆花椒油与

一级浸出菜籽花椒油、一级压榨菜籽花椒油的相似度均为 73%;四级压榨菜籽花椒油与一级压榨菜籽花椒油的相似度为 70%;橄榄花椒油与大豆花椒油的相似度较低,为 62%。花椒油的相似度与各花椒

油主成分的分析结果基本一致。

综上,与四级压榨菜籽花椒油相似度最高的一级压榨菜籽花椒油,然而其成本较高,故可采用一级浸出大豆油或者一级浸出菜籽油作为替代油。另外,也可考虑菜籽油与大豆油的调和油作为花椒浸提用植物油,本课题组将在后续实验中进行深入研究。

3 结 论

实验对花椒浸提用植物油进行了研究,选择四川花椒油生产企业常用的四级压榨菜籽油、一级浸出大豆油、一级浸出菜籽油作为花椒浸提用植物油,同时,选择了成本较高、香气浓郁的原香型一级压榨菜籽油以及营养保健功能较好、成本较高的初榨橄榄油作为花椒浸提用植物油,采用相同的花椒原料及生产工艺制备四川特色的花椒油。结果表明,一级浸出菜籽花椒油、一级压榨菜籽花椒油、橄榄花椒油及四级压榨菜籽花椒油的 GC-IMS 谱图信息差异显著,利用离子迁移谱获取的数据经过 PCA 分析后可以很好的将其进行区分。因此,利用 GC-IMS 获取不同植物油浸提制备的花椒油产生的特征 VOCs 来筛选花椒油生产企业用植物油的方法是可行的。此外,花椒油生产企业常因浸提用植物油的价格波动而更换植物油生产厂家,也可通过构建 GC-IMS 指纹特征数据库,实现植物油的快速识别,从而筛选出对花椒油既定风味影响较小的植物油。

本实验属于新的检测分析技术在调味油质量控制中的创新性应用,实验样品的种类和数量较少,因此实验后期工作是采用 GC-IMS 进一步研究不同配比植物调和油(大豆油与菜籽油调和)对花椒油风味的影响,从而为企业提供植物调和油的最佳配比。此外,本研究中的橄榄花椒油(四川五丰黎红食品有限公司的专利产品)的风味与其他花椒油差异较大,主要因为橄榄油本身气味的影响较大,而四川人喜好菜籽油浸提花椒的独特风味,因此实验后期工作将进一步筛选出对花椒油风味、营养影响较小的浸提用调和油(橄榄油-菜籽油)。

参考文献:

[1] 罗昌荣. 一种花椒油的加工工艺: CN103549035A [P]. 2014-02-05.
 [2] 王占河,杨正仓,许谔,等. 一种花椒油及其制备方法: CN103749741A [P]. 2014-04-30.
 [3] 牛欣欣,祝瑞雪,赵志峰,等. 响应面法优化花椒油浸提工艺[J]. 食品工业,2015,36(1):86-91.
 [4] 牛文婧,田洪磊,詹萍. 基于主成分分析的花椒油香气质

量评价模型的构建[J]. 食品工业科技,2019,40(17):263-269,275.
 [5] 刘仕林,何学云. 一种花椒油及其制备方法和用于该方法的生产设备:CN03117388.8 [P]. 2004-04-21.
 [6] 王立艳,陈吉江,安骏,等. 混合原料制取花椒油工艺优化及挥发成分分析[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(8):18-23.
 [7] 张谦益,包李林,熊巍林,等. 浓香菜籽油挥发性风味成分的鉴定[J]. 粮食与油脂,2017,30(3):78-80.
 [8] 蒋林利. 菜籽油加工与储藏过程中挥发性风味物质变化规律研究[D]. 成都:西华大学,2019.
 [9] TURA D, PRENZLER P D, DANNY R. Varietal and processing effects on the volatile profile of Australian olive oils [J]. Food Chem, 2004, 84(3):341-349.
 [10] 顾强,王玥,陈君义,等. 同等级橄榄油中挥发性特征成分的研究[J]. 中国油脂,2012,37(12):85-87.
 [11] 龙伟,王裕斌,姚小华,等. 四川青川县初榨橄榄油营养成分及油脂特性分析[J]. 中国粮油学报,2017,32(8):77-83.
 [12] 肇立春. 大豆油气味稳定性的试验研究[J]. 粮油加工,2010(1):7-8.
 [13] HU W, ZHANG L, LI P, et al. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry [J]. Talanta, 2014, 129(21):629-635.
 [14] 杨俊超,曹树亚,杨柳. 气相色谱与离子迁移谱仪联用的研究[J]. 现代仪器与医疗,2014,20(3):20-24.
 [15] 杨涓,刘昌盛,周琦,等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. 中国油料作物学报,2010,32(4):551-557.
 [16] 谢婧,徐俐,吴浪,等. SPME-GC-MS 对菜籽毛油和精炼菜籽油挥发性风味成分的分析[J]. 中国油脂,2012,37(8):84-87.
 [17] 吴浪,徐俐,谢婧,等. 不同炒制温度对菜籽毛油挥发性风味物质的影响[J]. 中国油脂,2012,37(11):39-43.
 [18] 张盛阳,孙建军,杜京京,等. 冷冻凝香工艺对菜籽油品质及主要挥发性风味成分的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(29):65-67,71.
 [19] 邓龙. 菜籽油特征香气成分和营养物质组成的研究[D]. 南昌:南昌大学,2017.
 [20] 张亮,李世刚,曹培让,等. 制油工艺对菜籽油微量成分和氧化稳定性的影响[J]. 中国油脂,2017,42(2):1-6.
 [21] 仇宏图,李光春,吴明根,等. 菜籽油脂质成分分析及甲酯化研究[J]. 安徽农业大学学报,2019,46(4):583-588.
 [22] GUO Q, WU W, MASSART D L, et al. Feature selection in principal component analysis of analytical data [J]. Chemometr Intell Lab Syst, 2002, 61(12):123-132.