

提取方法对芒果皮精油化学成分的影响

Study on Components of Essential Oil of Mango Peel Extracted by Different Methods

梁秀媚 胡卓炎 赵雷 王凯

LIANG Xiu-mei HU Zhuo-yan ZHAO Lei WANG Kai

(华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

(College of Food, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

摘要:分别采用水蒸气蒸馏法(SD)、溶剂萃取法(SE)和超临界 CO₂ 萃取法(SFE-CO₂)提取芒果皮精油,经气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对 3 种方法提取的芒果皮精油主要成分及相对含量进行分析。结果表明,3 种芒果皮精油共鉴定出 80 种化合物,包括萜烯类 22 种、非萜烯类 8 种、醇类 19 种、醛酮类 8 种、酯类 14 种和酸类 9 种。其中,SD 法鉴定出化学成分 49 种、SE 法鉴定出化学成分 56 种和 SFE-CO₂ 法鉴定出化学成分 59 种。SD 法提取的精油主要为低沸点挥发性的萜烯类;SE 法提取的精油酯类、酸类化合物比例较大;SFE-CO₂ 对芒果皮精油的提取最充分,是较理想提取精油的方法。

关键词:芒果皮;精油;水蒸气蒸馏法;溶剂萃取法;超临界 CO₂ 萃取法

Abstract: Steam distillation (SD), solvent extraction (SE) and supercritical CO₂ extraction (SFE-CO₂) were individually used to extract the essential oil in mango peel. The components and contents of essential oil were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 80 compounds were identified in essential oils obtained by the three methods, including 22 terpenes, 8 hydrocarbons, 19 alcohols, 8 carboxides, 14 esters and 9 acids. The three methods detected 49 (SD), 56 (SE) and 59 (SFE-CO₂) compounds respectively. Comparison of the three methods showed, SD suit for the extraction of low boiling point and volatile compounds, SE suit for the extraction of esters and acids, SFE-CO₂ was the most effective method which could keep the components of essential oil of mango peel.

Keywords: Mango peel essential oil; Steam distillation; Solvent extraction; Supercritical CO₂ extraction

基金项目:国家荔枝龙眼产业技术体系项目(编号:CARS-33)

作者简介:梁秀媚,女,华南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:胡卓炎(1961—),男,华南农业大学教授,博士。

E-mail: zyhu@scau.edu.cn

收稿日期:2016—12—27

近年来,中国芒果种植面积不断扩大,产量也随之而提高,芒果除供鲜食外,还被加工为果汁饮料、果酒、罐头、果干、蜜饯、果酱等几大类产品^[1]。芒果皮作为芒果加工过程中的废弃物,约占鲜果重的 7%~24%^[2],富含挥发性精油、多酚、黄酮、有机酸、类胡萝卜素、膳食纤维等功能性成分^[3-4],若将其进行再加工及综合利用,不但可以创造更多的经济价值,还可以解决环境污染及资源浪费的问题。

植物精油是一类植物次生代谢物质,来源于植物的花、叶、根、树皮、果实、种子等各个部位,具有抗菌消炎、抗癌抑瘤、抗氧化^[5]、延缓衰老、抗病毒、防治心血管疾病^[6]、缓解焦虑^[7]等多种生物活性,有极高的开发应用价值。据报道^[8-9],芒果中果皮与果浆的特征香气组分具有较大的相似性,且精油含量远高于果浆,是提取天然芒果精油的重要原料。目前,芒果精油的相关研究,多以芒果花^[10]、芒果叶^[11]为原料,且以研究原料的产地、成熟度对芒果精油的影响为主,而以芒果皮为原料提取精油的研究没有报道。植物精油提取方法繁多,包括水蒸气蒸馏法、溶剂萃取法、超临界流体萃取法、亚临界水萃取法、微波辅助提取法^[12]等,其中水蒸气蒸馏法是最传统的植物精油提取方法;溶剂提取法工艺操作简单,是目前中国植物油脂提取的主要方法;超临界流体萃取法能在较温和的条件下进行,且植物精油所含化学成分在超临界 CO₂ 中具有良好的溶解性,所得精油品质较高。不同提取方法的原理不同,对芒果皮精油的性质、成分组成是否存在影响有待进一步研究。

本研究分别采用水蒸气蒸馏、溶剂萃取、超临界 CO₂ 萃取 3 种方法对芒果皮精油进行提取和分析鉴定,比较 3 种提取方法对芒果皮精油化学成分的影响,旨在为芒果皮精油的提取寻找一种高效的技术途径,为芒果皮的综合开发利用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

芒果:品种为“台农 1 号”,市售;

石油醚、乙醚等试剂:均为分析纯。

1.2 仪器与设备

安捷伦气质联用仪:7890A-5975C型,日本岛津公司;

超临界CO₂萃取装置:SFE-1L型,广州汉维冷气机电有限公司;

电热鼓风干燥箱: DGG-9070B型,上海森信实验仪器有限公司;

旋转蒸发器:Re-52A型,上海亚荣生化仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 芒果果皮的预处理 新鲜芒果,清洗干净后人工去皮取肉,取无果肉残留的芒果皮 10 kg,置于 50℃烘箱烘至水分含量 5%以下,粉碎,过 60 目筛,备用。

1.3.2 样品制备

(1) 水蒸气蒸馏法(SD法):根据文献[13],经预试验,考察料液比、蒸馏时间、助剂种类、助剂添加量 4 个单因素对芒果皮精油提取的影响,并进行响应面优化试验,得出最佳的水蒸气蒸馏法工艺条件:料液比 1:10(g/mL),蒸馏时间 4.8 h,助剂 NaCl 添加量 1.72%。称取 100 g 芒果皮粉末,置于 1 000 mL 平底蒸馏瓶中,加入 600 mL 蒸馏水,加入玻璃珠数颗,充分振摇混合后 45℃水浴浸泡 12 h。转移至蒸馏装置中蒸馏 3 h 后停止蒸馏,收集溜出液移至分液漏斗中,加入一定量的乙醚摇匀、静置,去掉水层,用无水硫酸钠吸收水分后过滤,回收滤液中乙醚,得浅黄的透明液状挥发油,4℃保存备用。

(2) 有机溶剂萃取法(SE法):根据文献[14],经预试验,考察溶剂种类、料液比、萃取时间、萃取温度 4 个单因素对芒果皮精油提取的影响,并进行响应面优化试验,得出最佳的有机溶剂萃取法工艺条件:以石油醚为提取溶剂,料液比 1:9(g/mL),萃取时间 4.5 h,萃取温度 45℃。称取 100 g 芒果皮粉末,置于 1 000 mL 平底蒸馏瓶中,加入 600 mL 石油醚,充分振摇混合后 45℃水浴提取 3 h。滤出提取液置于收集瓶中,回收滤液中石油醚,得黄色透明液状挥发油,4℃下保存备用。

(3) 超临界 CO₂ 萃取法(SFE-CO₂法):根据文献[15],经预试验,考察萃取时间、萃取温度、改性剂种类、改性剂添加浓度 4 个单因素对芒果皮精油提取的影响,并进行响应面优化试验,得出最佳的超临界 CO₂ 萃取法工艺条件:萃取温度 45℃,萃取时间 130 min,改性剂乙醇浓度 85%。称取 1 000 g 芒果皮粉末,置于 3 L 萃取柱中密封,在萃取压力 20 MPa、萃取温度 50℃、CO₂ 流量 1.5 L/min 的条件下萃取 130 min 后,从解析罐中放出萃取物,得橘红色的半固体膏状挥发油,4℃保存备用。

芒果皮精油得率的计算:

$$Y = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

Y——得率,%;

m₁——芒果皮精油重量,g;

m₂——芒果皮粉重量,g。

1.3.3 GC—MS 分析 所得挥发油分别用正己烷稀释至 10 mg/mL,过 0.22 μm 有机滤膜后进行 GC—MS 鉴定分析。

(1) 气相色谱条件:HP-INNO-WAX 毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.5 μm),进样量 1.0 μL,进样口温度 260℃,柱流量 1.0 mL/min,载气为高纯氦气。程序升温:初始温度 50℃(保持 2 min),以 10℃/min 速度升至 270℃(保持 10 min)。

(2) 质谱条件:EI 电离源;电离电压 70 eV;四极杆 150℃,进样口 250℃,离子源温度 280℃;扫描范围(*m/z*) 50~550。利用 NIST11.Lib 质谱检索库,确定 3 种芒果皮精油主要成分及相对含量。

2 结果与讨论

2.1 提取方法对芒果皮精油得率的影响

由图 1 可知,芒果皮精油得率从高到低分别为:SFE-CO₂法>SD法>SE法,其中 SFE-CO₂法提取精油得率最高,主要由于提取环境较温和,且精油所含化学成分在超临界 CO₂中具有良好的溶解性,避免了其中有效成分的破坏或分解。SD法由于操作温度较高,引起精油中热敏性成分的热分解^[12],导致精油得率较 SFE-CO₂法低。SE法主要利用相似相溶的原理提取芒果皮精油,虽然工艺操作简单但残留的杂质较多,进一步精制的同时导致精油成分的损失,所以较其他两种方法得率低。

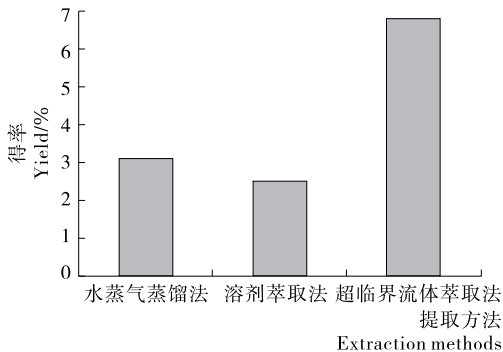


图 1 提取方法对芒果皮精油得率的影响

Figure 1 Effect of different extraction methods on extraction yield of mango peel essential oil (n=3)

2.2 提取方法对芒果皮精油化学成分的影响

图 2 为分别采用 SD 法、SE 法和 SFE-CO₂法提取芒果皮精油成分的 GC—MS 总离子流色谱图。

3 种方法提取得到的精油成分差异较明显,各组分的鉴定结果见表 1。

由表 1 可知,3 种方法共检测出 6 类 80 种化合物,包括萜烯类 22 种、非萜烃类 8 种、醇类 19 种、醛酮类 8 种、酯类 14 种和酸类 9 种。其中,SD 法检测出 49 种化合物(相对含量 98.13%),SE 法检测出 56 种化合物(相对含量 98.84%),SFE-CO₂法检测出 59 种化合物(相对含量 99.52%)。

表 1 芒果皮挥发油化学成分 GC—MS 鉴定结果				
Table 1 GC—MS analysis results of the constituents of peel essential oil of mango				
化合物 种类	名称	提取方法/%		
		SD	SE	SFE-CO ₂
萜烯类	β -蒎烯*	7.09	2.74	3.05
	桉烯	—	2.63	—
	δ -3-蒎烯*	60.15	30.55	43.06
	α -水芹烯	0.38	—	2.90
	β -月桂烯	1.04	—	0.49
	d -柠檬烯*	6.69	1.34	2.58
	4-蒎烯*	2.69	0.13	0.24
	γ -松油烯*	0.66	2.43	2.55
	罗勒烯*	0.21	5.51	4.91
	别罗勒烯	—	0.11	—
	异松油烯	1.52	—	0.32
	α -蒎品油烯*	1.14	0.12	0.43
	p -伞花烃*	0.38	0.45	0.71
	β -石竹烯*	0.25	9.68	9.38
	β -芹子烯*	1.07	12.45	11.50
	香树烯	0.59	—	0.04
	马兜铃烯	—	—	0.22
	α -衣兰油烯	0.03	—	0.02
	巴伦西亚橘烯*	0.08	0.15	0.02
	大根香叶烯*	0.12	0.19	0.22
非萜烃类	α -芹子烯	0.11	—	0.56
	d -杜松烯	—	0.13	—
	萘	8.66	—	—
	十四烷	0.01	—	—
	十六烷	0.02	—	0.12
	环十六烷*	0.02	0.21	0.78
	十七烷	—	—	0.02
	十八烷	0.02	0.04	—
	二十烷	0.01	0.07	—
	二十一烷	—	0.04	—
酯类	十三烷酸乙酯	—	—	0.04
	己酸己酯	0.09	0.63	—
	肉豆蔻酸甲酯	—	—	0.04
	13-甲基十四烷酸甲酯	—	0.13	0.07
	邻苯二甲酸二异丁酯	—	1.99	—
	棕榈反油酸甲酯	—	0.34	—
	棕榈酸甲酯	—	0.58	—
	邻苯二甲酸二丁酯*	0.21	3.93	0.55
	丁酸香叶酯	—	1.23	—
	乙酸芳樟酯	—	0.16	0.24
	乙酸龙脑酯	—	0.54	0.07
	(E)-2-甲基-2-丁酸丁酯	—	0.02	—
	乙酸橙花酯*	0.02	2.10	1.10
	乙酸香叶酯*	0.01	1.65	0.72

续表 1				
化合物 种类	名称	提取方法/%		
		SD	SE	SFE-CO ₂
醇类	3-辛醇*	0.05	0.07	0.05
	环氧丙醇	—	0.07	0.08
	1-辛烯-3-醇*	0.02	0.15	0.16
	4-侧柏醇	—	0.02	0.06
	氧化芳樟醇*	0.08	0.07	0.11
	芳樟醇*	0.11	0.09	0.09
	紫丁香醇*	0.05	0.04	0.06
	(-)-4-蒎品醇	—	1.83	1.93
	α -松油醇*	0.32	0.69	0.73
	2-茨醇	—	0.37	0.38
	香茅醇*	0.08	0.11	0.01
	橙花醇*	0.07	0.26	0.12
	对甲基苯异丙醇	0.04	—	0.02
	香叶醇	—	0.03	0.28
	α -杜松醇	0.03	—	0.04
	1-十四醇	—	—	0.02
	1-十六烷醇	0.07	0.05	—
	柠檬烯醇	—	—	0.02
	二十醇	0.06	—	0.02
	2-己烯醛	0.12	0.04	—
醛及酮类	柠檬醛*	2.51	1.36	3.40
	α -香茅醛	—	—	0.03
	4-异丙基苯甲醛	—	0.04	0.04
	4-十一烯醛	0.02	—	0.01
	β -紫罗兰酮*	0.98	0.02	0.78
	表姜烯酮	0.05	—	—
	2-茨酮	—	0.09	0.09
	月桂酸	0.02	—	—
	肉豆蔻酸	0.05	0.36	—
	棕榈酸	0.13	—	0.13
脂肪酸	3-十六碳烯酸	—	0.16	—
	十七酸	—	—	0.12
	6-十八烯酸	—	1.72	—
	油酸	—	0.72	0.16
	亚油酸	—	3.25	0.92
	亚麻酸	—	5.32	2.71

† “*”为 3 种样品共有的化学成分,“—”为未检出。

3 种方法提取得到的精油共有成分有 26 种(烯类 12 种、非萜烃类 1 种、醇类 8 种、醛酮类 2 种、酯类 3 种),分别是 β -蒎烯、 δ -3-蒎烯、 d -柠檬烯、4-蒎烯、 γ -松油烯、罗勒烯、 α -蒎品油烯、 p -伞花烃、 β -石竹烯、 β -芹子烯、巴伦西亚橘烯、大根香叶烯、环十六烷、3-辛醇、1-辛烯-3-醇、氧化芳樟醇、芳樟醇、紫丁香醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、柠檬醛、 β -紫罗兰酮、邻苯二甲酸二丁酯、乙酸橙花酯、乙酸香叶酯,这些化合物是芒果皮精油的重要成分,且其中大部分为芒果果实中的特征香气成

分^[16-17]。共有成分含量分别占各提取精油成分的85.06%，76.49%，87.31%，表明 3 种方法都能够较好地保留芒果皮精油的主要成分，可应用于芒果皮精油的提取和利用。

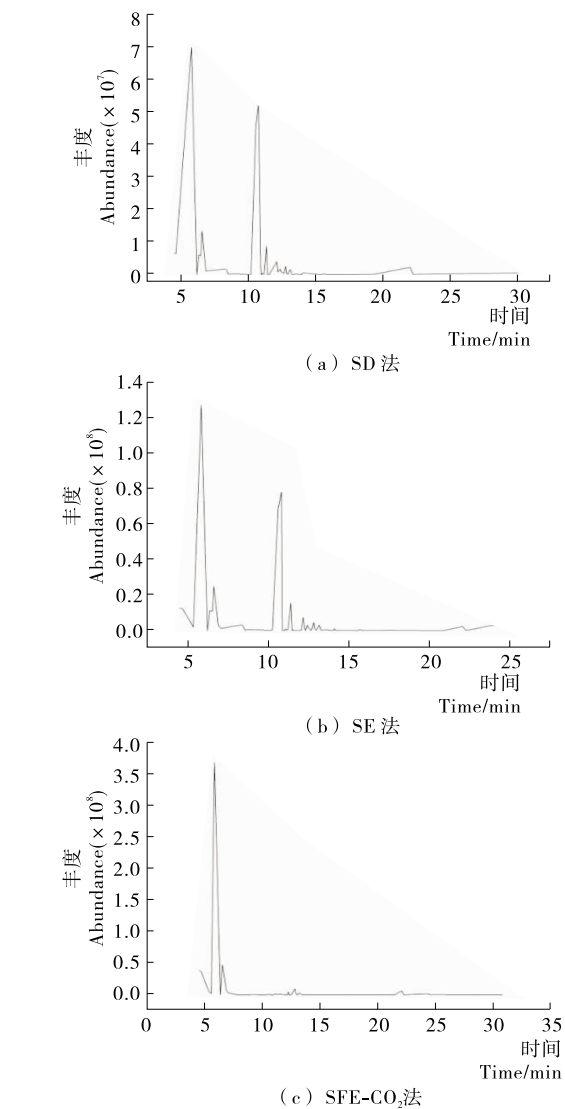


图 2 3 种提取方法提取芒果皮精油的 GC—MS 总离子流色谱图

Figure 2 Total ion chromatograms in mango peel essential oil from different extraction method

3 种方法提取芒果皮精油的化学成分种类、含量相差较大(表 2)。由表 2 可知,芒果皮精油的主要成分为萜烯类(68%~90%),其次是酯类(0%~13%)和酸类(0%~11%)。非萜烯类(0%~9%)、醇类(1%~4%)、醛类及酮类(2%~4%)的含量相对较少,但是对芒果香气构成具有较大的贡献。

SD 法得到的芒果皮精油主要成分是 δ -3-萜烯(60.15%)、萘(8.66%)、 β -蒎烯(7.09%)、 d -柠檬烯(6.69%)、4-萜烯(2.69%)、柠檬醛(2.51%);SE 法得到的芒果皮精油主要成分是 δ -3-萜烯(30.55%)、 β -芹子烯(12.45%)、 β -石竹烯(9.68%)、罗勒烯(5.51%)、亚麻酸(5.32%)、邻苯二甲酸二丁酯(3.93%)、亚油酸(3.25%);SFE-CO₂法得到的芒果皮精油主要成分是 δ -3-萜烯(43.06%)、 β -芹子烯(11.50%)、 β -石竹烯(9.38%)、罗勒烯(4.91%)、柠檬醛(3.40%)、 β -蒎烯(3.05%)、亚麻酸(2.71%)。SD 法得到的芒果皮精油成分主要是分子量在 174 g/mol 以下的单萜及其含氧化合物,分子量在 200 g/mol 以上的倍半萜类、酯类及酸类化合物的含量不足 1%,是由于 SD 法利用水蒸气将挥发性较强的精油携带出来,形成油水混合物,待其冷却后,混合物重新分离出水层和油层的原理来提取精油,因而其成分以低沸点、小分子物质单萜为主^[12,18]。SE 法主要利用有机溶剂石油醚与精油极性的“相似相溶”原理提取精油,其成分中含有相当一部分的酯类及脂肪酸类物质。SFE-CO₂法由于在较为温和的条件下提取精油,加上超临界 CO₂流体良好的溶解性能,其精油成分除含有丰富的单萜、倍半萜类化合物外,还有长链的烷烃、高级醇、高级脂肪酸和酯类。在实际生产中,可根据目标产物的不同,选择不同的提取方法。

2.3 芒果皮精油中的化学成分

2.3.1 萜烯类化合物 萜烯类化合物是指具有(C₅H₈)_n通式及其含氧和不同饱和程度的衍生物,根据聚合程度不同分为单萜($n=2$)、倍半萜($n=3$)、二萜($n=4$)、二倍半萜($n=5$)及多萜($n\geq 6$)等。它是芒果皮精油中相对含量最高、种类最多的一类化合物,SD 法检测出 18 种(84.20%),SE 法检测出 15 种(68.61%),SFE-CO₂法检测出 19 种(83.20%),以单萜与倍半萜为主,大多带有浓郁的甜香、花香和木香。相对含量最高的组分是 δ -3-萜烯(43%~60%),具有强烈的松木

表 2 提取方法提取芒果皮精油化学成分种类及含量

Table 2 Chemical classes and relative contents of volatile compounds in mango peel essential oil from different extraction method

化合物种类	SD 法		SE 法		SFE 法	
	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类
萜烯类	84.20	18	68.61	15	83.20	19
非萜烯类	8.74	6	0.36	4	0.92	3
醇类	0.98	12	3.85	14	4.18	18
醛类及酮类	3.68	5	1.55	5	4.35	6
酯类	0.33	4	13.30	12	2.83	8
酸类	0.20	4	11.53	6	4.04	5
合计	98.13	49	99.20	56	99.52	59

样香气,是芒果的主要特征香气,同时也存在于松节油及长白胡椒、九里香、圆叶当归等多种植物精油中,具有抗炎、抗菌等生理活性,在药物、农药、香料及化妆品等方面有重要的应用价值^[19]。含量较高的萜烯类化合物还有 β -芹子烯(1%~12%)、 β -石竹烯(0%~10%)、 β -蒎烯(3%~7%)和 d -柠檬烯(1%~7%)。 β -芹子烯及 β -石竹烯为双环倍半萜型化合物,具有较高的药用价值,研究^[20]表明 β -石竹烯具有局麻、抗炎、驱除蚊虫、抗焦虑、抗抑郁等作用,可用于药物的研究与开发中。 β -蒎烯及其衍生物具有抗菌、抗肿瘤等生理活性。 d -柠檬烯具有类似柠檬的香味,具有消炎、抑菌、抗肿瘤等多种功效^[21]。

2.3.2 非萜烃类化合物 芒果皮精油中烷烃类化合物的含量较少(<1%),且其香气阈值较大,对精油香气的贡献相对较小。萜是一种稠环芳香烃,纯品具有香樟木气味,可用作驱虫剂(即樟脑丸)。

2.3.3 醇类化合物 芒果皮精油检测出醇类的含量较少(1%~4%),但在精油香气的形成中,起着重要的作用。如芳樟醇具有铃兰香气;氧化芳樟醇具有强烈的木香、花香、萜香、青香气,并带有清凉气息;紫丁香醇、(-)-4-萜品醇、 α -松油醇具有紫丁香花香气;2-蒎醇具有类似樟脑的气味;香茅醇及香叶醇具有温和的甜玫瑰香;橙花醇是香叶醇的异构体,其香气比香叶醇柔和优美,相对偏清,并带有新鲜的清香和柑橘香调。

2.3.4 醛类及酮类化合物 3 种方法提取的芒果皮精油含有的醛类及酮类化合物以柠檬醛和 β -紫罗兰酮为主。柠檬醛具有浓烈的柠檬香气,具有抑菌、杀虫、驱避等广泛的生物活性,同时,柠檬醛也可用来合成香叶醇、紫罗兰酮、鸢尾酮等其他物质,广泛用于饮料、食品、医药业及化工行业^[22-23]。 β -紫罗兰酮具有紫罗兰花(也似桂花)的香气。

2.3.5 酯类化合物 酯类化合物是使芒果呈甜味及水果香气的重要物质,在 SE 法提取的芒果皮精油中含量较高。3 种方法提取的芒果皮精油含量较高的酯类化合物是邻苯二甲酸二丁酯、乙酸橙花酯、邻苯二甲酸二异丁酯、乙酸香叶酯和丁酸香叶酯。邻苯二甲酸二丁酯和邻苯二甲酸二异丁酯呈轻微芳香味;乙酸橙花酯呈橙花、玫瑰样香气及蜂蜜、覆盆子样风味;乙酸香叶酯呈玫瑰和熏衣草香气;丁酸香叶酯呈果香、玫瑰样香气。

2.3.6 酸类化合物 芒果皮精油中的酸类化合物以亚油酸、亚麻酸为主,属多不饱和脂肪酸,是人体必需脂肪酸,具有抗癌、降血压、防止动脉硬化等作用,有较高的营养价值和保健功能^[24-25]。

3 结论

采用 SD 法、SE 法及 SFE-CO₂ 法提取芒果皮精油,结合 GC—MS 技术分析鉴定,3 种芒果皮精油共有 80 种化合物,包括萜烯类 22 种、非萜烃类 8 种、醇类 19 种、醛酮类 8 种、酯类 14 种和酸类 9 种。其中萜烯类物质占主要优势(69%~84%),主要成分为 δ -3-蒎烯(31%~60%)、 β -石竹烯(0%~10%)、 β -芹子烯(1%~12%)。3 种芒果皮精油的成

分组成有一定的相似性,能够较好地保留芒果皮精油的主要成分,可应用于芒果皮精油的提取和利用。

3 种提取方法各有特点,SD 法能够把大量小分子、易挥发的单萜类物质提取出来,但由于提取温度高、提取时间长,导致部分热敏性成分破坏、高沸点物质不易蒸出;SE 法能够萃取出大量的酯类及亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂肪酸,但由于溶剂残留问题,不能直接运用于食品、化妆品等行业中;SFE-CO₂ 法由于在较为温和的条件下进行,其精油成分除含有丰富的单萜、倍半萜类化合物外,还有长链的烷烃、高级醇、高级脂肪酸和酯,与植物天然的组成最为相似,而且没有溶剂残留的影响,是目前比较理想的提取精油的方法。实际生产中,可根据产品的用途,选择不同的提取方法。

芒果皮精油中含有多种具有抗炎、抗菌、局麻、驱除蚊虫、抗焦虑、抗抑郁消炎、抗癌、降血压、防止动脉硬化等生理活性的成分,如 δ -3-蒎烯、 β -石竹烯、 d -柠檬烯、柠檬醛、亚麻酸、亚油酸等,可以进一步评价芒果皮精油的生理活性,为其开发、利用提供更多的理论依据。

参考文献

[1] 赖必辉,毕金峰,庞杰,等. 芒果加工技术研究进展[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 152-155.

[2] 王瑞兰,张培丽. 芒果皮活性成分的萃取及其生理活性研究[J]. 怀化学院学报, 2010(2): 72-74.

[3] 李建强,陆利霞,熊晓辉. 芒果皮中功效成分应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012(1): 176-178.

[4] WANG Miao-miao, FAN Chuan-hui, ZHAO Kai-li, et al. Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016(91): 794-803.

[5] 陈建烟,李永裕,吴少华. 植物精油生物活性作用机理研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2012(1): 176-178.

[6] SHAABAN H A E, EL-GHORAB A H, SHIBAMOTO T. Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review [J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(2): 203-212.

[7] SATOU T, MIYAHARA N, MURAKAMI S, et al. Differences in the effects of essential oil from Citrus junos and (+)-limonene on emotional behavior in mice[J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(5): 493-500.

[8] TAMURA H, BOONBUMRUNG S, YOSHIZAWA T, et al. The Volatile Constituents in the Peel and Pulp of a Green Thai Mango, Khiao Sawoei Cultivar (Mangifera indica L.)[J]. Food Science and Technology Research, 2001, 7(1): 72-77.

[9] 张劲. 芒果香气特征分析研究[D]. 桂林: 广西大学, 2011: 26-27.

[10] WANG Hong-wu, LIU Yan-qing, WEI Shou-lian, et al. Comparison of microwave-assisted and conventional hydrodistillation in the extraction of essential oils from mango (Mangifera indica L.) flowers[J]. Molecules, 2010, 15(11): 7 715-7 723.

[11] OMOLO M V. Essential oil chemistry of some Mangifera indica varieties from Kenya[J]. American Journal of Essential Oils and Natural Products, 2015, 2(5): 18-23.

(下转第 173 页)

期糖基化末端产物如何,有待进一步研究。

参考文献

[1] 彭丽霞,黄彦芳,刘翠平,等. 酿酒葡萄皮渣的综合利用[J]. 酿酒科技, 2010(10): 93-96.

[2] TYAGI A, RAINA K, SHRESTHA S P, et al. Procyanidin B2 3, 3(’)-di-O-gallate, a biologically active constituent of grape seed extract, induces apoptosis in human prostate cancer cells via targeting NF- κ B, Stat3, and AP1 transcription factors[J]. Nutrition and cancer, 2014, 66(4): 736-746.

[3] AHMAD F, KHAN G M. Study of aging and hepatoprotective activity of *Vitis vinifera* L. seeds in albino rats[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(3): S1 770-S1 774.

[4] GU Shao-bin, WU Ying, YANG Jian-bo. Screening of cytoprotectors against methotrexate-induced cytogenotoxicity from bioactive phytochemicals[J]. Peer J, 2016, 4: e1983.

[5] 廖素凤,陈剑雄,黄志伟,等. 响应曲面分析法优化葡萄籽原花青素提取工艺的研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(3): 554-559.

[6] HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ A, KENNEDY J A, BAUTISTA-ORTÍN A B, et al. Effect of ethanol on grape seed proanthocyanidin extraction[J]. American journal of enology and viticulture, 2012, 63(1): 57-61.

[7] 樊金玲,罗磊,武涛,等. 沙棘籽原花色素与葡萄籽原花青素抗氧化活性的比较[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 26-30.

[8] 金华,刘志刚,曾晓丹,等. 超声提取葡萄籽原花青素工艺的优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2014, 39(4): 102-107.

[9] PÉREZ C, DEL CASTILLO M L R, GIL C, et al. Supercritical fluid extraction of grape seeds: extract chemical composition, antioxidant activity and inhibition of nitrite production in LPS-stimulated Raw 264.7 cells[J]. Food & function, 2015, 6(8): 2 607-2 613.

[10] GRILO A L, RAQUEL AIRES-BARROS M, AZEVEDO A M. Partitioning in Aqueous Two-Phase Systems: fundamen-

tals, applications and trends[J]. Separation & Purification Reviews, 2016, 45(1): 68-80.

[11] TONGUL B, KAVAKCIOGLU B, TARHAN L. Partitioning and purification of menadione induced NAD (P) H oxidase from *Phanerochaete chrysosporium* in aqueous two-phase systems[J]. Separation and Purification Technology, 2016, 163: 275-281.

[12] 张喜峰,冯蕾蕾,赵玉丽,等. 响应面优化葡萄籽中原花青素的双水相萃取条件[J]. 食品工业科技, 2014, 35(7): 227-231.

[13] 涂佳,邓学良,周文化,等. 野生毛葡萄常规营养成分和原花青素含量分析[J]. 食品与机械, 2010, 28(2): 82-85.

[14] 张丽芝,冯娜. 酶协同微波辅助提取红枣多糖的工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 145-147.

[15] 吕丽爽,潘道东. 微波对葡萄籽中低聚原花青素(OPC’s)提取的影响[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 31-32.

[16] IBARRA-HERRERA C C, AGUILAR O, RITO-PALOMARES M. Application of an aqueous two-phase systems strategy for the potential recovery of a recombinant protein from alfalfa (*Medicago sativa*)[J]. Separation and Purification Technology, 2011, 77(1): 94-98.

[17] 刘叶青. 生物分离工程实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 42.

[18] CAI Yu, YU Ying-jia, DUAN Geng-li, et al. Study on infrared-assisted extraction coupled with high performance liquid chromatography (HPLC) for determination of catechin, epicatechin, and procyanidin B2 in grape seeds[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1 872-1 877.

[19] KRISHNAN R Y, RAJAN K S. Microwave assisted extraction of flavonoids from *Terminalia bellerica*: Study of kinetics and thermodynamics[J]. Separation and Purification Technology, 2016, 157: 169-178.

[20] ROSTAMI H, GHARIBZAHEDI S M T. Microwave-assisted extraction of jujube polysaccharide: Optimization, purification and functional characterization[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 143: 100-107.

(上接第 159 页)

[12] 杨君,张献忠,高宏建,等. 天然植物精油提取方法研究进展[J]. 中国食物与营养, 2012(9): 31-35.

[13] 李双,王成忠,唐晓璇,等. 不同提取方法对牡丹精油理化性质和成分的影响[J]. 食品工业, 2015(7): 170-174.

[14] 杜丽君,郑国华,牛先前,等. 溶剂萃取法提取胡椒木叶片精油影响因子的分析[J]. 福建热作科技, 2015(4): 42-44.

[15] 戴琳,单银花,王志祥,等. 超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2015(3): 266-269, 274.

[16] PINO J A, MESA J, MUÑOZ Y, et al. Volatile components from mango (*Mangifera indica* L.) cultivars[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 2 213-2 223.

[17] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2): 207-213.

[18] 宋平,宋元德. 不同方法提取沙田柚柚皮精油成分的研究[J]. 保鲜与加工, 2014(1): 41-46.

[19] 何丽芝,王婧,赵振东,等. 3-萜烯资源及其生物活性应用研究进展[J]. 林产化学与工业, 2011(3): 122-126.

[20] 刘晓宇,陈旭冰,陈光勇. β -石竹烯及其衍生物的生物活性与合成研究进展[J]. 林产化学与工业, 2012(1): 104-110.

[21] 黄巧娟,孙志高,龙勇,等. D-柠檬烯抗癌机制的研究进展[J]. 食品科学, 2015(7): 240-244.

[22] 钟佳,徐小军,陈尚铨,等. 柠檬醛衍生物的合成及其活性研究进展[J]. 广东化工, 2015, 42(9): 109-111.

[23] 向俊,樊蕊,王磊,等. 柠檬醛微胶囊化研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(9): 176-183.

[24] 张春娥,张惠,刘楚怡,等. 亚油酸的研究进展[J]. 粮油加工, 2010(5): 18-21.

[25] 杨静,常蕊. α -亚麻酸的研究进展[J]. 农业工程, 2011(1): 72-76.