

油脂加工

# TD - GC - MS 技术分析不同提取方法对椰子油挥发性成分的影响

董李雅, 张小素, 张敏, 匡婷, 姚梦莹, 张伟敏

(海南大学食品学院, 海口 570228)

**摘要:** 研究采用热脱附结合气质联用技术(TD - GC - MS)对冷榨法、超临界法、亚临界法和溶剂提取法所得椰子油中的挥发性成分组成与含量进行分析测定。结果表明:从4种椰子油中共鉴定出83种挥发性成分,主要包括醇类、酸类、酮类、酯类、醛类、烃类等化合物;亚临界法制得的椰子油中检出醇类化合物种类最多,达8种,与其他3种椰子油几乎无共同性;辛酸在4种椰子油中均有检出,在亚临界油中含量最高,达58.75%;酮类及醛类化合物在4种椰子油中种类与含量均较少;酯类化合物在各椰子油中种类最为丰富, $\delta$ -辛醇内酯在溶剂提取油中含量最高,达21.53%;*D*-柠檬烯在溶剂提取油中含量最高,为2.68%;1,3,4,6,7,8-六氢-4,6,6,7,8,8-六甲基环五- $\gamma$ -2-苯并吡喃在超临界油中含量最高,为2.86%。

**关键词:** 椰子油;提取;挥发性成分;热脱附;气相色谱-质谱联用

中图分类号:TS224;TS227

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)08-0001-07

## Effect of different extraction methods on volatile components in coconut oil analyzed by TD - GC - MS technology

DONG Liya, ZHANG Xiaosu, ZHANG Min, KUANG Ting, YAO Mengying, ZHANG Weimin

(College of Food Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** The composition and content of volatile components in coconut oils obtained by cold pressing method, supercritical method, subcritical method and solvent extraction method were analyzed by thermal desorption combined with gas chromatography mass spectrometry (TD - GC - MS). The results showed that 83 kinds of volatile components were identified from four kinds of coconut oils, including alcohols, acids, ketones, esters, aldehydes and hydrocarbons. Subcritical extracted coconut oil obtained the largest species of alcohol by the detection, up to eight, and almost no commonality with the other three kinds of coconut oils. Octanoic acid was detected in all the four kinds of coconut oils, and the content was the highest in subcritical extracted coconut oil, up to 58.75%. Ketones and aldehydes were not abundant both in species and content in the four kinds of coconut oils. Species of esters were the most abundant in the four coconut oils. The contents of  $\delta$ -octanol lactone and *D*-limonene were the highest in the solvent extracted coconut oil, up to 21.53% and 2.68% respectively. The content of 1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopentane- $\gamma$ -2-benzopyran was the highest in the supercritical extracted coconut oil, up to 2.86%.

**Key words:** coconut oil; extraction; volatile component; thermal desorption (TD); gas chromatography - mass spectrometry (GC - MS)

收稿日期:2018-03-01;修回日期:2018-04-08

基金项目:国家自然科学基金项目(31660495);椰子油提取关键技术与产品开发(HD-KYH-2016074)

作者简介:董李雅(1996),女,在读本科,研究方向为热带特色食物资源开发与综合利用(E-mail)1250947705@qq.com。

通信作者:张伟敏,副教授,在读博士(E-mail)zhwm1979@163.com。

椰子是棕榈科椰子属植物,不仅是热带地区主要景观植物之一,也是热带地区主要的木本油料作

物和食品资源<sup>[1]</sup>。我国椰子有两千多年的栽培历史,主产于海南东部沿海,雷州半岛、云南省和台湾省的南部<sup>[2]</sup>。根据《2016年海南省国民经济和社会发展统计公报》,2016年海南椰子种植面积近2万 $\text{hm}^2$ ,占全国种植面积的90%以上,椰子产量2.21亿个,占全国产量的99%。椰子油(Coconut oil, CO)是椰子的主要成分,新鲜椰肉含油量可达33%,椰干含油量高达63%。椰子油不仅可作为食物、食品配料和功能食品,还可用在药物、滋补药、化妆品和工业生物燃料等方面,逐渐被人们所关注并发展成为活跃在国际市场上的一种重要植物油<sup>[1,3]</sup>。

挥发性香气物质是评价植物油质量的重要指标,对植物油整体香气起着重要作用<sup>[4]</sup>。目前,植物油中已知的挥发性香气物质主要有醛类、醇类、酮类、酸类、酯类、吡嗪类、吡咯类、呋喃类、噻唑类和噻吩类等<sup>[5-6]</sup>。这些香气成分的种类、含量和感官阈值差异以及它们之间的累加、协同、抑制等作用,使得植物油呈现的香气千差万别,同时客观地反映出不同植物油的风味和品质<sup>[7]</sup>。目前研究认为,油脂香气不仅与油料品种、地域、果实的成熟度、萃取技术等因素密切相关,同时萃取前油料的预处理如焙烤等方法也有很重要的影响<sup>[8]</sup>。Dong等<sup>[9]</sup>比较水代法、溶剂浸出法、机械压榨法对芝麻油风味影响研究发现,水代法制取的芝麻油香气最好。洪振童等<sup>[10]</sup>的研究结果表明,冷榨和热榨会影响葵花籽油的挥发性成分等。

通过文献调研发现,湿法加工、干法加工(压榨法、冷榨法与溶剂提取法)、酶解法、亚临界萃取和超临界 $\text{CO}_2$ 萃取椰子油的工艺先后被应用于椰子油的加工,且关于椰子油理化性质和功能特性的研究居多<sup>[11-17]</sup>,而关于不同椰子油制备方法对椰子油香气成分的研究尚未见报道。鉴于此,本试验利用热脱附仪结合气相色谱-质谱法(TD-GC-MS)分别对溶剂提取法、冷榨法、亚临界法和超临界法4种方法所得椰子油中的挥发性成分进行分析测定,了解不同提取方法对椰子油中挥发性成分的影响与差异,以期对椰子油加工方法的选择和判别提供理论基础和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

市售新鲜椰子,产于海南,样品去壳、去种皮后取椰肉切片,在烘箱中 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥成片,粉碎制成椰子粉,保存于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 备用。

HH-4型数显恒温水浴锅;DHG-9070A电热

鼓风干燥箱;RE52AA旋转蒸发仪;EL204电子分析天平;300Y多功能粉碎机;CA59-1H液压冷榨机;CBE-5L亚临界流体萃取系统(河南亚临界生物技术有限公司);HSFE-35-1多功能超临界流体萃取装置(大连Joel-Lab);7890A-5975C GC-MS Agilent气相色谱质谱联用仪;CTC前处理平台:CTC RTC(包含热脱附+冷阱模块)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 样品处理

##### 1.2.1.1 液压冷榨提取椰子油

按照Uquiche等<sup>[18]</sup>所述的方法,用液压冷榨机在室温、 $10\text{ MPa}$ 下提取 $10\text{ min}$ 。将提取的椰子油过滤, $3\text{ }500\text{ r/min}$ 离心 $20\text{ min}$ ,提取所得的油储存在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 备用。

##### 1.2.1.2 超临界 $\text{CO}_2$ 萃取椰子油

将椰子粉(约 $10\text{ kg}$ )用Joel-Lab的HSFE-35-1多功能超临界流体萃取装置在 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $28\text{ MPa}$ 下萃取 $2.5\text{ h}$ ( $\text{CO}_2$ 流量 $200\text{ L/h}$ )。萃取结束后收集油并称量。提取所得的油储存在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 备用。

##### 1.2.1.3 亚临界丁烷萃取椰子油

采用CBE-5L亚临界流体萃取系统进行椰子油亚临界丁烷萃取(SBE)。正丁烷溶剂(White Martins S.A.,纯度 $95\% \sim 99.5\%$ )通过带有控温恒温槽的泵式注射器在 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 下加压,流速保持在 $1\text{ mL/min}$ 。在 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $0.4\text{ MPa}$ 下萃取 $40\text{ min}$ 。萃取4次,过滤,滤液减压蒸发,收集萃取的油。萃取所得的油储存在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 备用。

##### 1.2.1.4 溶剂提取椰子油

取椰子粉约 $5\text{ g}$ 于索氏抽提器,加入 $200\text{ mL}$ 石油醚,在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 下回流提取 $8\text{ h}$ ,后 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 旋转蒸发,油储存在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 备用。

#### 1.2.2 热脱附-气相色谱-质谱(TD-GC-MS)测定挥发性组分

##### 1.2.2.1 样品热脱附处理

取 $30 \sim 50\text{ }\mu\text{L}$ 样品于 $60\text{ }\mu\text{L}$ 内衬管中,置于热脱附衬管中,热脱附温度 $110\text{ }^\circ\text{C}$ ,脱附时间 $5\text{ min}$ ;脱附吹扫流速 $1\text{ mL/min}$ ,分流比 $5:1$ ,吹扫时间 $5\text{ min}$ ;冷阱捕集温度 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ,脱附温度 $280\text{ }^\circ\text{C}$ ,脱附时间 $5\text{ min}$ ,脱附后冷阱维持温度 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 。

##### 1.2.2.2 GC-MS条件

色谱条件:色谱柱为HP-5MS UI( $0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m} \times 60\text{ m}$ , Agilent 19091s-436UI);进样口温度 $110\text{ }^\circ\text{C}$ ,气质接口温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ,载气流速 $1.5\text{ mL/min}$ ;升温程序为初始温度 $50\text{ }^\circ\text{C}$ ,保持 $1\text{ min}$ ,以 $5\text{ }^\circ\text{C/min}$ 升温到 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 保持 $5\text{ min}$ , $4\text{ }^\circ\text{C/min}$ 升温到

140℃保持10 min,4℃/min升温到180℃保持10 min,4℃/min升温到250℃保持5 min。

质谱条件:EI离子源;电子能量70 eV;离子源温度230℃,四级杆温度150℃;扫描范围( $m/z$ )35~550。

### 1.2.2.3 数据统计

挥发性成分通过质谱库NIST11检索结果,选择

匹配度最高的物质进行定性。挥发性物质的相对含量用峰面积归一化法计算。采用GraphPad Prism 5.0软件对数据进行分析及作图处理。

## 2 结果与讨论

2.1 不同提取方法制得椰子油中挥发性成分组成  
4种椰子油中挥发性成分的分析结果见表1。

表1 不同提取方法制得椰子油中挥发性成分组成及相对含量

化合物	相对含量/%			
	冷榨法	超临界法	亚临界法	溶剂提取法
<b>醇类</b>				
乙醇		0.58		
2,3-丁二醇		0.29	0.62	
甲基- $\beta$ -D-吡喃核糖苷			10.60	
3,3,6-三甲基-1,4-庚二烯-6-醇			2.09	
1-辛醇		0.18		
反式-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-环己醇			0.67	
3,3,6-三甲基-1,5-庚二烯-4-醇			0.33	
芳樟醇			0.65	
苯乙醇			0.23	
(-)-萜烯-4-醇		0.46		
6,10-二甲基十二碳-1,6-二烯-12-醇			0.39	
3-十二碳烯-1-醇				0.68
<b>酸类</b>				
醋酸			0.19	
2-甲基丙酸			0.13	
丁酸		0.50	0.35	
3-甲基丁酸			0.17	
2-甲基丁酸			0.22	
戊酸			0.13	
L-乳酸		2.91		
己酸	3.00	3.52		2.06
辛酸	57.87	10.14	58.75	10.17
癸酸	7.31	1.48	2.49	
月桂酸	10.84	1.74	0.14	
3-癸炔酸				0.85
十六碳二烯酸	1.78			
<b>酮类</b>				
2-乙基环丁酮	0.25			
左旋樟脑			0.29	
右旋樟脑			0.51	
2-十三烷酮		0.17		
2-羟基环十五烷酮		2.58		
7-丁基氧杂环庚-2-酮				0.55
<b>酯类</b>				
己酸乙酯		2.20		2.22
$\delta$ -己醇内酯		0.44		1.40
乙酸苄酯			0.09	
3-甲基戊酸乙酯				1.66

续表 1

化合物	相对含量/%			
	冷榨法	超临界法	亚临界法	溶剂提取法
辛酸乙酯		16.13		15.30
$\epsilon$ -癸内酯			1.37	
2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯			0.14	
$\delta$ -辛醇内酯	5.11	4.24	3.61	21.53
3-己酸戊酯				5.26
丁酸丁酯	0.54			
癸酸乙酯	0.35	2.95	0.23	4.22
$\delta$ -癸内酯	3.12	2.45	1.29	8.52
月桂酸甲酯	0.30			
月桂酸乙酯	1.08	4.24	0.27	6.16
亚硫酸丁基癸基酯		0.13		
二甲基丙二酸-4-乙酰基苯基十一烷基酯				0.31
二乙基-2-(四氢呋喃-2-基)琥珀酸酯			0.11	
二氢茉莉酮酸甲酯	0.93	1.90	0.90	1.57
$\epsilon$ -十二内酯		4.51	1.56	2.17
$\delta$ -十二内酯	0.37	4.92	1.19	1.96
肉豆蔻酸乙酯		0.59		0.92
(Z)-壬基-3-烯-1-丙基碳酸酯	0.53			
(Z)-4-十三碳烯-1-醇乙酸酯		0.94		
十五内酯			1.04	
2-己基-4-甲基富马酸戊酯		0.52		
柳酸苄酯			0.28	0.69
醛类				
壬醛		0.55		0.52
癸醛		0.49		
桃醛		1.43		
E-11,13-十四碳双烯醛	0.50			
烃类				
苯乙烯		0.11		
1,2,3-三甲基苯	0.29			
3-萜烯			0.30	
D-柠檬烯	2.28		0.24	2.68
(-)-蒎烯			0.13	
2,6,10-三甲基十二烷	0.16			
正十三烷				1.27
十九烷	0.30			
3,7-二甲基壬烷	0.45			
十四烷	0.45			0.54
十六烷	0.40			0.44
环癸烷		0.91		
1,10-十一烷二烯			0.39	
E-2-十八碳烯-1-烯				1.86
1-十二烯			0.16	
其他				
醋酸铵		1.36		
乙基丙基醚		2.67		
癸酸银				0.61

续表 1

化合物	相对含量/%			
	冷榨法	超临界法	亚临界法	溶剂提取法
4-三氟乙酰十六烷				0.36
N-羟基-1,8-萘二甲酰亚胺				0.13
1,3,4,6,7,8-六氢-4,6,6,7,8,8-六甲基环五- $\gamma$ -2-苯并吡喃		2.86		0.50
4,5-二氢-3-甲基-4-(4-二氨基亚苄基)-5-氧代异恶唑				0.38

由表 1 可知,采用 TD-GC-MS 从 4 种方法所得椰子油中共确定了 83 种挥发性成分,其中醇类化合物 12 种,酸类化合物 13 种,酮类化合物 6 种,酯类化合物 26 种,醛类化合物 4 种,烃类化合物 15 种,其他化合物 7 种。

## 2.2 不同提取方法对椰子油挥发性成分种类与含量的影响

不同提取方法对椰子油挥发性成分种类的影响分析结果见图 1。

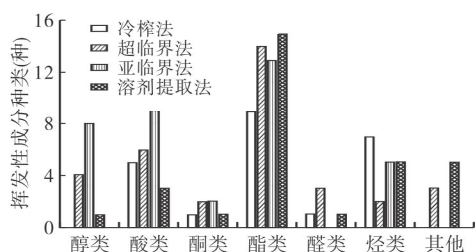


图 1 不同提取方法对椰子油中挥发性成分种类的影响

由图 1 可以看出,采用亚临界法所得椰子油中检出的挥发性成分种类最多,共有 37 种,其次为超临界法、溶剂提取法所得椰子油中分别检出了 34、31 种香气成分,而冷榨椰子油中最少,仅为 23 种。一般而言,压榨法是用物理压榨方式,从油料中榨取油脂的方法,能够有效地保留油脂的风味。浸出法制油相较于压榨法出油率明显较高,但在溶剂分离中油脂香气损失,油脂香味单薄且有溶剂残留<sup>[8]</sup>。而本研究发现,冷榨椰子油中香气成分最少,原因有待于进一步分析。此外,在 4 种方法制备椰子油中以酯类化合物居多,而在冷榨椰子油中未检出醇类和其他化合物,亚临界法所得椰子油中未检出醛类及其他化合物。由此可见,不同制备方法对椰子油香气成分种类的影响也不一样,该结果与 Dong 等<sup>[9]</sup>的研究结果基本一致,但具体与提取方法压力、温度之间有何联系还不清楚。

不同提取方法对椰子油挥发性成分含量的影响结果见图 2。由图 2 可知,不同制备方法对椰子油中醇类、酸类、酮类、酯类、醛类和烃类等挥发性成分

含量的影响结果也有差异,其中亚临界法所得椰子油中醇类化合物的含量最高、冷榨法所得椰子油中酸类化合物含量最高,超临界法所得椰子油中酮类、醛类和其他化合物含量最高,溶剂提取法所得椰子油中酯类和烃类化合物的含量最高。值得一提的是,冷榨法中的酸类化合物含量最高,而醇类、酯类、酮类和醛类化合物的含量较低,据此初步推测,在一定的压力和温度下,椰子油中的酸类物质减少的原因是可能发生了一定的氧化反应产生了醇类、酮类、醛类和酯类等氧化产物,但具体原因需进一步分析研究。

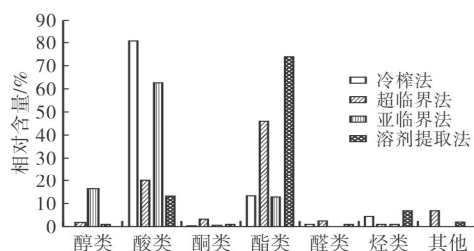


图 2 不同提取方法对椰子油中挥发性成分含量的影响

## 2.3 不同提取方法对椰子油中各类挥发性成分的影响(见表 1)

由表 1 可知,亚临界法制得的椰子油中检出醇类化合物种类较之其他 3 种提取方法多,共检出 8 种,其中甲基- $\beta$ -D-吡喃核糖苷相对含量最高,达到 10.60%,但在其他 3 种椰子油中均未检出。超临界法和亚临界法椰子油中均检出 2,3-丁二醇,但在冷榨及溶剂提取油中未检出。冷榨法椰子油中未确认出任何醇类化合物,而溶剂提取法中仅确认出 3-十二碳烯-1-醇,相对含量为 0.68%。

辛酸在 4 种椰子油中均有检出,且在各类化合物中相对含量均为最大,可初步判定其为椰子油的基本挥发性成分。辛酸在冷榨与亚临界法中含量相近,超临界法与溶剂提取法相差无几。其中,亚临界法椰子油中辛酸相对含量最高,达 58.75%,检出酸类化合物种类也较之其他 3 种椰子油多,共检出 9 种,产生了较低含量的醋酸、2-甲基丙酸、丁酸、

3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、戊酸等具有不愉快的、刺激性气味的酸类物质。己酸在冷榨法、超临界法和溶剂提取法中均有检出,而在亚临界法中缺失。癸酸和月桂酸在冷榨法、超临界法、亚临界法中均有检出,而均在溶剂提取法中缺失,均在冷榨法中相对含量较高。

酮类化合物在4种椰子油中仅检出6种,任一酮类化合物均无同时在两种及两种以上椰子油中检出,且相对含量均较低,但在超临界法中,2-羟基环十五烷酮的含量相对较高,为2.58%。

4种椰子油的挥发性成分中酯类化合物种类最多,在冷榨法中相对偏少。4种椰子油中均含有 $\delta$ -辛醇内酯、癸酸乙酯、 $\delta$ -癸内酯、月桂酸乙酯、二氢茉莉酮酸甲酯、 $\delta$ -十二内酯,对椰子油香气的构成具有重要的作用。其中, $\delta$ -辛醇内酯呈可可、椰子和乳脂似香气,在溶剂提取法中含量最高,达21.53%,其余3种椰子油中含量相对偏低;癸酸乙酯有椰子香味,在溶剂提取法中含量较高,为4.22%,而液压冷榨法及亚临界法中含量较低,不及0.5%; $\delta$ -癸内酯具有椰子及桃子似的果香香气,天然存在于椰子中,在溶剂提取法中含量较高,为8.52%,亚临界法中损失较多,仅1.29%;月桂酸乙酯带花生香气,在溶剂提取法中含量较高,为6.16%,亚临界法中损失较多,仅0.27%;二氢茉莉酮酸甲酯具有清雅的茉莉花香气,新鲜而又柔和的柠檬样果香香韵,含量均较低,在超临界法中含量相对较高,为1.90%; $\delta$ -十二内酯具有强烈的奶油香味和果香香气,天然存在于椰子中,在超临界法中含量较高,为4.92%,液压冷榨法中损失较多,为0.37%。

醛类化合物在4种椰子油中仅检出4种,相对含量均较低,甚至在亚临界法中未检出,但在超临界法中具有强烈桃子似香气的桃醛含量相对较高,为1.43%。在超临界法和溶剂提取法中均检出有微甜、尖锐的蜜蜡花香气息的壬醛,且含量相近,而在另2种椰子油中缺失。

4种椰子油中烃类物质种类较丰富,但大部分烃类物质仅在1种椰子油中检出,不存在于其余3种椰子油中,且含量均较低。也存在几种如十四烷、十六烷在冷榨法及溶剂提取法中均有检出;有新鲜橙子香气及柠檬样香气的D-柠檬烯在冷榨法、亚临界法及溶剂提取法中均有检出,而在超临界法中缺失,其在溶剂提取法中含量最高,为2.68%,而亚临界法中含量相对偏低,仅0.24%。

此外,4种椰子油中还检出其他一些化合物,但几乎无共同性,且含量均较低,仅具有麝香香气的

1,3,4,6,7,8-六氢-4,6,6,7,8,8-六甲基环五- $\gamma$ -2-苯并吡喃在超临界法及溶剂提取法中均有检出,其中在超临界法中含量最高,为2.86%。

### 3 结论

采用热脱附结合气质联用技术(TD-GC-MS)对冷榨法、超临界法、亚临界法和溶剂提取法所得椰子油进行检测,共鉴定出了83种挥发性成分,主要包括醇类、酸类、酮类、酯类、醛类、烃类等化合物。不同油脂提取方法对椰子油香气成分的种类和含量影响也不同。其中亚临界法制得的椰子油的挥发性成分种类最丰富,但由于癸酸乙酯、 $\delta$ -癸内酯等赋予椰子油特有风味的香气成分的较大损失,以及醋酸、2-甲基丙酸、丁酸等具有不愉快的、刺激性气味的酸类物质的产生,使产品香气保留效果欠佳,相较之下,超临界法制得的椰子油香气保留得较好,香气自然,无明显异味。椰子油中主要呈香机理和主要不良气味物质的形成机制并不明确。此外,冷榨法中的酸类物质含量最高,而醇类、酮类、醛类和酯类化合物的含量较低,据此初步推测,在一定的压力和温度下,椰子油中的酸类物质含量减少的原因可能是发生了一定的氧化反应产生了醇类、酮类、醛类和酯类等氧化产物,但具体原因需进一步分析研究。

### 参考文献:

- [1] 颜巧丽,邓福明,赵松林,等.椰子油的生理活性(V):代谢与平衡[J].热带农业科学,2013,33(9):79-83,87.
- [2] 段尚君,陈卫军,宋菲,等.椰子油的精深加工与综合利用[J].热带农业科学,2013,33(5):67-72.
- [3] BLANCA J, LIANNE M D. Descriptive sensory evaluation of virgin coconut oil and refined, bleached and deodorized coconut oil [J]. Food Sci Technol, 2007, 40(2): 193-199.
- [4] DABBOU S, ISSAOUI M, BRAHMI F, et al. Changes in volatile compounds during processing of tunisian-style table olives [J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 89(2): 347-354.
- [5] NEWELL J A, MASON M E, MATLOCK R S. Precursors of typical and a typical roasted peanut flavor [J]. J Agric Food Chem, 1967, 15(5): 767-772.
- [6] KALUA C M, ALLEN M S, DRJR B, et al. Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: a critical review [J]. Food Chem, 2007, 100(1): 273-286.
- [7] 林琅.不同来源油茶籽油香气品质分析研究[D].上海:上海应用技术大学,2016.
- [8] 刘宁露.焙烤及超临界CO<sub>2</sub>萃取工艺对茶油品质及香气成分的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2007.

(下转第11页)

表2 白木香种子油理化指标分析结果

项目	超临界 CO <sub>2</sub> 萃取	石油醚提取
性状	黄色的澄明液体	暗黄色油状液体, 混浊, 不透明
相对密度 ( $d_{20}^{20}$ )	0.914 6	0.915 3
折光指数 ( $n_{20}^{20}$ )	1.469 2	1.469 8
碘值 (I)/(g/100 g)	81.9	80.9
酸值 (KOH)/(mg/g)	7.3	7.9
皂化值 (KOH)/(mg/g)	184.3	188.2
过氧化值/(mmol/kg)	0.077 0	0.079 9
水分与挥发物/%	0.26	0.45

从表2可以看出,超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的白木香种子油理化性质与石油醚回流提取法相近,但超临界 CO<sub>2</sub> 萃取所得油在酸值、含水量、外观上均较好,杂质少,产品品质好,而且萃取效率高;不使用有机溶剂,无污染,没有易燃易爆等安全问题。

### 3 结 论

(1)实验确定了超临界 CO<sub>2</sub> 萃取白木香种子油的最佳萃取工艺条件为:物料粒度 20~30 目,萃取压力 30 MPa,萃取温度 45 °C,萃取时间 80 min,分离釜 I 压力 11 MPa,分离釜 I 温度 50 °C。在最佳工艺条件下,白木香种子油平均收率为 41.2%。

(2)超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和石油醚回流提取的白木香种子油在脂肪酸组成上基本相同。白木香种子油主要脂肪酸组成为油酸、棕榈酸、亚油酸和硬脂酸等。

### 参考文献:

[1] 李勇,蒋海强,巩丽丽. 沉香种子超临界 CO<sub>2</sub> 萃取物的气相色谱-质谱联用分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(16): 142-144.

[2] 丽艳,罗丽萍,杨柏云,等. 白木香种子油脂肪酸组成分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2207-2208.

(上接第6页)

[9] DONG X Y, LI P P, WEI F, et al. The impact of processing on the profile of volatile compounds in sesame oil[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2012, 114(3): 277-286.

[10] 洪振童,陈洁,范璐,等. HS-SPME-GC-MS 分析冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质[J]. 中国油脂, 2015, 40(2): 90-94.

[11] 姜月霞,李永纲,杨巡天,等. 亚临界萃取原生态椰子油的工艺研究[J]. 海南医学院学报, 2012, 18(9): 1200-1202, 1205.

[12] NEVIN K G, RAJAMOHAN T. Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid parameters and in vitro LDL oxidation [J]. *Clin Biochem*, 2004, 37(9): 830-835.

[13] NEVIN K G, RAJAMOHAN T. Virgin coconut oil supplemented diet increases the antioxidant status in rats [J].

[3] 郭璟,钱大玮,段金殿,等. 白木香种子营养成分的分析与评价[J]. 热带作物学报, 2012, 33(1): 11-14.

[4] 弓宝,陈德力,赵祥升,等. 沉香种子中脂肪油成分的分析与鉴定[J]. 中国中医药科技, 2017, 24(1): 51-52.

[5] 吴红,肖志红,易志彪,等. 广东沉香籽油理化性质与脂肪酸组分分析[J]. 湖南林业科技, 2014, 41(4): 48-51.

[6] 夏菁,施蕊,张静美,等. 薏苡仁油的超临界 CO<sub>2</sub> 萃取工艺及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(6): 9-11.

[7] 王文成,饶建平,张远志,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取罗汉果渣油工艺研究及其油脂成分分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(1): 125-129.

[8] 李林开. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取云南松子油提取工艺研究[J]. 粮油加工(电子版), 2014(4): 40-43.

[9] 易军鹏,朱文学,马海乐,等. 牡丹籽油超临界二氧化碳萃取工艺[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 144-150.

[10] 张学彬,陈孟涛,杨宇奇,等. 均匀设计法优化超临界 CO<sub>2</sub> 萃取丁香精油工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 50-54.

[11] 高宇杰,赵立艳,安欣欣,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取灵芝孢子油及其挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 41-46.

[12] 王丰俊,王建中,王宪昌,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 流体萃取核桃油工艺条件的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 67-70.

[13] 李宝昌,孙丽雪,李俊,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 体系氧化大豆浓缩磷脂的技术研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(1): 37-41.

[14] 吴明一,赵金华,梁慧,等. 中药材挥发油提取过程的传质动力学模型[J]. 化工学报, 2008, 59(12): 2990-2995.

[15] 郭宏奎,李冬,雷雄,等. 花椒多酚提取工艺响应面优化及动力学分析[J]. 食品科学, 2018(2): 247-253.

[16] 王瑞,刘海学,马俪珍,等. 几种食用油中脂肪酸含量的测定与分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7): 106-109.

Food Chem, 2006, 99: 260-266.

[14] 李瑞,夏秋瑜,陈华,等. 国外原生态椰子油的加工方法及功能性质[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 237-239.

[15] 黄龙芳. 热带食用作物加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.

[16] 夏秋瑜,李瑞,陈卫军,等. 纤维素酶水解制备天然椰子油的研究[J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 16-19.

[17] 李光辉, FEILIANA T, 陈佳子, 等. 原生态椰子油不同提取方法下理化特性比较研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(8): 1-5.

[18] UQUICHE E, JERÉZ M, ORTÍZ J. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Cevina avellana* Mol.) [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2008, 9(4): 495-500.