

水蒸汽蒸馏法提取广佛手挥发精油及其组成分析

林敏浩, 周爱梅*, 杨 慧, 谢 维, 李雪楠, 刘仲豪, 陈旭美

(华南农业大学食品学院, 广州 510642)

摘 要: **目的** 本文以广佛手为研究对象, 确定水蒸气蒸馏法提取广佛手精油的最佳工艺条件, 同时对精油的质量及化学组成进行分析。**方法** 采用水蒸汽蒸馏法提取广佛手精油, 以精油得率为主要指标, 研究了料液比、蒸馏时间及助剂对广佛手精油得率的影响, 通过正交实验确定了最佳提取工艺条件; 采用气质联用技术 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 测定分析精油组成成分。**结果** 采用水蒸气蒸馏法提取广佛手精油时, 料液比、提取时间对精油提取有明显影响, 助剂对广佛手精油的提取有帮助, 以 NaCl 的效果为最好。水蒸汽蒸馏法提取广佛手精油的最佳工艺为: 料液比 1:3, 蒸馏时间 6 h, 助剂氯化钠浓度 9%, 此时精油得率为 3.81%。所得广佛手精油为浅黄色油状液体, 透明度高, 有纯正佛手香味, 其主要由烯烴类、醇类和醛类组成, 分别占佛手果挥发精油相对百分含量的 39.75%、24.73%、26.38%。**结论** 该法设备简单、容易操作、成本低、对环境友好, 所得广佛手精油为浅黄色油状液体, 有纯正佛手香味、透明度高。

关键词: 广佛手; 水蒸汽蒸馏法; 精油; 化学组成; 气相色谱-质谱联用技术

Research on the extraction of bergamot essential oil by steam distillation and component analysis

LIN Min-Hao, ZHOU Ai-Mei*, YANG Hui, XIE Wei, LI Xue-Nan, LIU Zhong-Hao, CHEN Xu-Mei

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

ABSTRACT: Objective The fresh bergamot of Guangdong province was used as raw materials to determine the suitable extracting condition by steam distillation and analyze the quality of essential oil and chemical composition. **Methods** Bergamot essential oil was extracted by steam distillation, the effects of the ratio of material to liquid, extracting time and additives on the yield of essential oil of bergamot was studied by orthogonal test, the chemical composition was determined by gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS). **Results** Liquid ratio and extraction time had obvious effects on oil extraction, and the additives were helpful to wide bergamot essential oil extraction, in which the effect of NaCl was the best. The optimum parameters were determined using extraction rate as evaluation index. The optimum extraction process of bergamot essential oil extracted by steam distillation was obtained as follows: the ratio of material to liquid was 1:3, distillation time was 6 h, and the additive(sodium chloride) concentration was 9%. The extraction rate was 3.81 %. The light and yellow,

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201310564088)、广东省省部产学研结合重点项目(2012B091000003)

Fund: Supported by the National College Students' Innovative Entrepreneurial Training Program(201310564088) and the Guangdong Provincial Key Project for College Manufacturing, Education & Research Base and Commercialization of Scientific & Technological Achievements (2012B091000003)

*通讯作者: 周爱梅, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品化学与营养, 水产品和农产品加工与综合利用, 功能食品。E-mail:

zhouam@scau.edu.cn

*Corresponding author: ZHOU Ai-Mei, Associate Professor, Food College of South China Agricultural University, No.483, Wushan Road, Tianhe District, Guangzhou 510000, China. E-mail: zhouam@scau.edu.cn

essential oil obtained had a specific bergamot flavor and was transparency. The main chemical compositions were olefins, alcohols and aldehydes, and its percentage was 39.75%, 24.73%, and 26.38%, respectively.

Conclusion This method is simple, inexpensive and environmentally friendly. The bergamot essential oil obtained is pale yellow oily liquid with pure bergamot flavor and high transparency.

KEY WORDS: bergamot; steam distillation; bergamot volatile essential oil; orthogonal experiment; gas chromatography-mass spectrometry

1 引言

佛手(*Citrus medical var. sarcodactylis*), 又名佛手柑、五指柑、佛手桔, 是芸香料柑橘属植物佛手的果实, 为常绿小乔木。在我国, 佛手主要分布于广东、四川、浙江、福建、云南等地, 按产地主要分为广佛手、川佛手、金佛手和建佛手。佛手果含有柠檬油素、香叶木貳橙皮醇、香豆素、黄酮和多糖等多种药用成分, 具有和胃健脾、舒肝理气、止咳化痰、抗肿瘤等多种生理功效, 深受广大种植户和消费者的青睐^[1,2]。此外, 佛手果中还含有丰富的挥发精油。佛手挥发性精油是一类具有生理活性的物质, 在临床上具有多方面的医疗作用^[3], 如能很好地改善情绪、应激障碍等轻度症状^[4]。另外, 佛手挥发精油也是一种名贵的天然香料, 可应用于各类化妆品中。佛手挥发精油的成分主要有柠檬烯、 γ -蒎品烯、 α -松萜和 β -松萜、芳樟醇等, 但不同品种的佛手, 其挥发精油含量和化学组成存在很大差异, 同一品种产地不同也不一样。黄海波^[5]、赵磊^[6]、施长春^[7]等报道的佛手油的主要成分有所不同。这说明品种、栽培地点和提取方法对佛手挥发油的主要成分有很大影响。广东省佛手产量很高, 但目前关于广佛手精油的研究鲜见报道。因此, 研究广佛手精油的分离与提取具有重要意义。

目前, 挥发油的提取和分离技术主要有压榨法、水蒸汽蒸馏法、溶剂提取法、同步蒸馏-萃取法和超临界流体萃取法等^[8-10]。不同提取方法提取佛手油的得率有较大差异, 同时对佛手精油的品质也有很大影响。水蒸汽蒸馏提取精油是最传统的方法, 提取的全部产物是挥发性精油成分, 提取完全。而且, 水是环境友好的溶剂, 对精油产品和环境均不造成污染, 提取所得精油澄清透彻, 风味纯正, 可直接应用于化妆品和食品。王晓杰^[11]和陈菲^[12]等已成功采用水蒸汽蒸馏法提取金华新鲜佛手挥发油并对其成分进行分析测定。本文对水蒸气蒸馏法提取广佛手挥发油的

工艺条件及其化学组成进行了研究, 为广佛手精油的开发利用提供进一步的参考。

2 材料与方法

2.1 实验材料

新鲜广佛手、广佛手干片(广东展翠食品有限公司); NaCl、Na₂SO₄、CaCO₃(分析纯, 天津市富宇精细化工厂)。

2.2 主要试剂及仪器

DHG-924A 电热恒温热风干燥箱(上海精宏实验仪器有限公司); DHG-9070 型鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司); 119 型中药粉碎机(浙江瑞安永历制药机械); MA-35 水分测定仪(德国赛多利斯股份公司); 水蒸汽蒸馏装置(南通佳和玻璃仪器有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 水蒸汽提取佛手精油工艺流程

按《中华人民共和国药典》2010 年版附录甲法提取挥发油进行实验, 工艺流程如下: 新鲜佛手→准确称量→室温条件下切块→按照料液比加定量水、助剂→蒸馏提取→挥发精油。

2.3.2 水蒸汽蒸馏提取佛手精油的单因素实验设计

(1) 料液比对佛手精油得率的影响

新鲜广佛手 100 g, 料液比分别为 2:1、1:1、1:2、1:3、1:4, 分别蒸馏 4 h, 测定最终挥发精油的提取量, 考察料液比对佛手精油得率的影响。

(2) 蒸馏时间对佛手精油得率的影响

新鲜广佛手 100 g, 料液比为 1:1, 分别蒸馏 2、3、4、5、6 h, 提取佛手果挥发油, 考察蒸馏时间对佛手精油得率的影响。

(3) 助剂对佛手精油得率的影响

新鲜广佛手 100 g, 料液比为 1:1, 分别加入 NaCl、Na₂SO₄、CaCO₃ 三种助剂, 将每种助剂的添加

量分别设定为: 0%、3%、6%、9%、12%、15%, 在此条件下, 分别蒸馏 4 h, 提取佛手果挥发油, 考察助剂对佛手精油得率的影响。

2.3.3 水蒸汽蒸馏提取佛手精油工艺优化设计

根据单因素试验结果, 以料液比、蒸馏时间及助剂 3 个因素 3 个水平设计 $L_9(3^4)$ 正交试验, 如表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Primary variables and levels used in the orthogonal

水平	因素		
	A 料液比	B 蒸馏时间/h	C NaCl 浓度/%
1	1:1	4	6
2	1:2	5	9
3	1:3	6	12

2.4 佛手精油得率的计算

$$\text{佛手精油得率} = \frac{\text{精油重量(g)}}{\text{原料重量(g)}} \times 100\% \quad (\text{公式 1})$$

2.5 佛手果挥发精油成分的气质联用仪 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 分析

2.5.1 精油分析前处理

将精油用色谱纯的正己烷稀释至 10 mg/mL, 过 0.22 μm 的有机滤膜, 气相及气质备用。

2.5.2 色谱分析条件

气相色谱条件为: 色谱柱为 HP-INNO-WAX 毛细管柱 (30 m \times 0.32 mm \times 0.5 μm); 载气为氦气, 柱流量为 1.0 mL/min, 进样量为 1.0 μL 。升温条件: 50 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 然后 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 270 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 10 min。

质谱条件为: 气质接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 离子化能量为 70 eV, 质谱范围 35~335 a.m.u, 电子放大电压 1800 V。质谱检索库为 NIST08.L。

2.6 数据分析方法

单因素实验使用 Origin 软件进行分析; 正交实验使用 The SAS System for Windows 9.0(简体中文) 统计软件进行数据处理。

3 结果与讨论

3.1 水蒸汽蒸馏提取广佛手精油的单因素实验

研究了料液比、蒸馏时间和助剂对水蒸汽蒸馏法

提取广佛手精油得率的影响, 结果如图 1、图 2、图 3 所示。图 1 表明, 料液比对佛手精油得率有显著影响 ($P<0.05$), 并在料液比为 1:2 时获得最大得率, 为 2.39%; 当料液比大于 1:2 时, 精油得率显著减少 ($P<0.05$)。料液比较小时, 水蒸汽很难引起容器内液固循环而影响了佛手果表面精油的更新速度, 使得出油率降低。且因容器内水少使佛手果不能都浸在水中, 因而造成温度分布不均, 精油内扩散速度不同, 出油率较低。适当加大料液比可以加快精油从佛手油胞中向外扩散的过程, 从而提高佛手出油率。但加水过量后, 由于水分达到微沸所需时间加长, 致使精油成分部分散失, 降到了出油率, 同时也浪费了水资源^[13]。

由图 2 可以看出, 蒸馏时间对精油得率也有显著影响 ($P<0.05$), 并在蒸馏时间为 5 h 时精油得率最大,

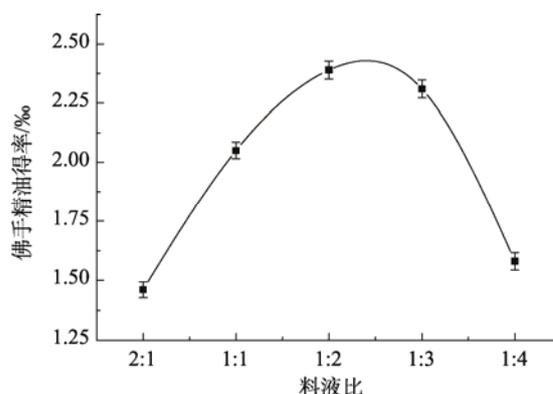


图 1 料液比对佛手精油得率的影响

Fig. 1 Effects of material liquid ratio on extraction rate of volatile oil from bergamot

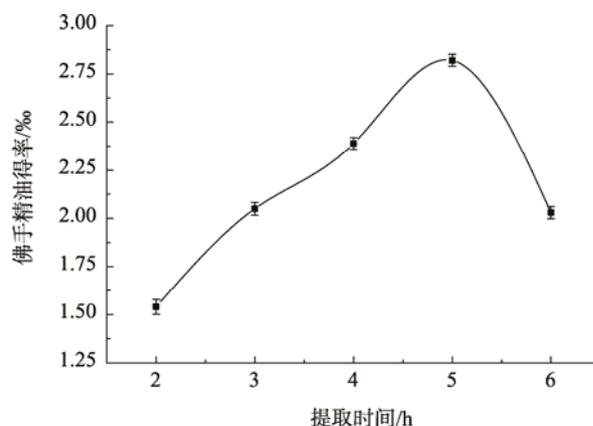


图 2 蒸馏时间对佛手精油得率的影响

Fig. 2 Effects of time on extraction rate of volatile oil from bergamot

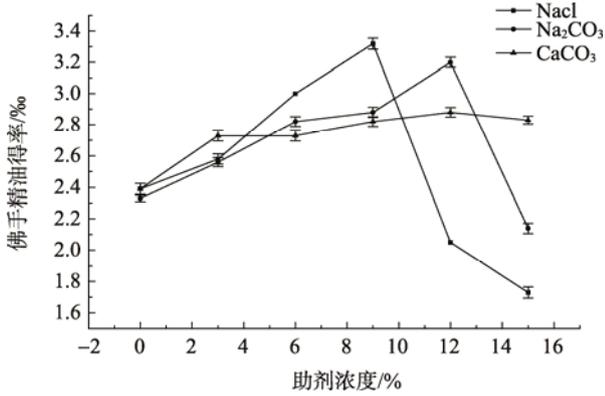


图 3 不同助剂对佛手精油得率的影响

Fig. 3 Effects of additives on extraction rate of volatile oil from bergamot

为 2.82%；但是当蒸馏时间大于 5 h 时，随着蒸馏时间的增加，精油得率又显著减少($P < 0.01$)。这可能是因为精油容易挥发，长时间的蒸馏很容易导致精油大量损失。

图 3 表明，加入 NaCl 溶液、Na₂SO₄ 溶液、CaCO₃ 溶液对佛手出油率都有显著性影响，其中助剂 NaCl 和 Na₂SO₄ 的影响达到非常显著水平($P < 0.01$)、并以 NaCl 的影响更加显著，当 NaCl 浓度为 9% 时，佛手精油得率最大，为 3.32%。因此，选择 NaCl 作为提取的助剂。加入 NaCl 可在一定程度上增加出油率，这可能是盐对被分离组分的相对挥发度影响不同，NaCl 溶液在果皮内外的渗透压差使精油更容易渗出而被蒸出。NaCl 为中性盐，不影响原料的结构，且具有盐析作用，可使产品更加澄清。增大加入量后，并不能使得出油率继续增加，其原因可能是佛手精油在外界较高的渗透压下不易蒸出，从而降低了出油率；也可能是盐溶液吸收了部分精油致使精油得率下降^[14]。

3.2 水蒸汽蒸馏提取佛手精油工艺优化

正交试验结果及方差分析见表 2、表 3 所示。由表 2 的极差 R 分析可得出：各因素对佛手精油得率的影响程度依次是 A (料液比) $>C$ (助剂) $>B$ (蒸馏时间)。即料液比对佛手精油的得率的影响最大，助剂氯化钠浓度次之，提取时间的影响最小。表 3 方差分析的结果表明，料液比对佛手精油的得率有显著性影响($P < 0.05$)，蒸馏时间和氯化钠浓度对精油得率无

表 2 正交试验结果分析

Table 2 Results obtained under the experimental conditions using the L9(3⁴) orthogonal design

试验号	因素				精油得率 /%
	A 料液比	B 蒸馏时间/h	C 氯化钠浓度/%	D 空列	
1	1	1	1	1	0.85
2	1	2	2	2	2.54
3	1	3	3	3	2.54
4	2	1	2	3	3.13
5	2	2	3	1	1.69
6	2	3	1	2	2.54
7	3	1	3	2	2.37
8	3	2	1	3	3.48
9	3	3	2	1	3.81
K ₁	5.92	6.35	7.87		
K ₂	7.36	8.72	9.47		
K ₃	10.66	8.88	6.60		
k ₁	1.97	2.12	2.62		
k ₂	2.45	2.91	3.19		
k ₃	3.55	2.96	2.20		
R	1.58	0.85	0.96		

表 3 正交试验方差分析表

Table 3 The orthogonal experiment anova

变异来源	SS	df	MS	F	F _{0.05}	显著性
A 料液比	7.866	2	3.933	6.148	4.10	显著
B 蒸馏时间	2.685	2	1.342	2.098		
C 助剂	2.771	2	1.385	2.165		
区组	0.003	1	0.003			
模型误差(e ₁)	176.398	2	88.199			
试验误差(e ₂)	5.118	8	0.639			
总变异	183.702	17				

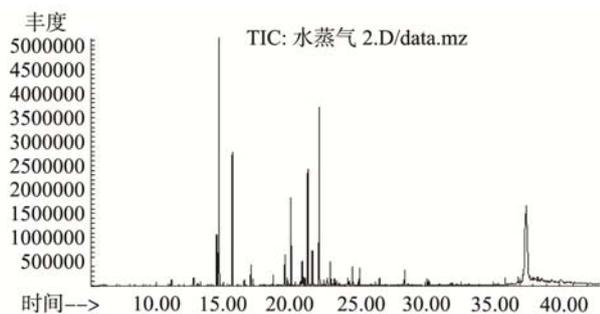


图 4 广佛手精油 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 4 Total ion chromatogram of volatile oil from beigamot

即料液比为 1:3、NaCl 浓度为 9%、蒸馏时间 6 h、此时精油得率为 3.81%。这个最佳组合 $A_3B_3C_2$ 正好是正交表中的 9 号实验组合, 故不需要做验证实验。

3.3 水蒸汽蒸馏法提取广佛手精油挥发性成分的 GC-MS 分析

采用 GC-MS 分析检测广佛手果中精油成分, 得样品总离子流色谱图, 如图 4 所示。从广佛手精油中共检测出 45 个峰, 由化学工作站 NIST08.L 标准质谱图库进行检索, 对未知物进行定性分析, 鉴定了其中的 26 个峰。采用峰面积归一化法进行相对定量的计算, 求得各个化合物在佛手精油中的相对百分含量, 结果见表 4 所示。

表 4 广佛手精油化学成分及相对百分含量

Table 4 The chemical constituents of volatile oil from bergamot analyzed by GC-MS

编号	英文名	中文名	分子式	保留时间/min	相对百分含量(%)
1	1S)-(-)-alpha-Pinene;	左旋-alpha-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	11.104	0.576
2	(1S)-(1)-beta-Pinene	左旋-beta-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	12.744	0.733
3	3-methylene-6-(1-methylethyl)-Cyclohexene	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	C ₁₀ H ₁₆	13.245	0.345
4	p-isopropyltoluene	p-伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	14.453	3.767
5	D-Limonene	D-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	14.631	21.981
6	Cineole	桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	14.711	0.304
7	g-Terpinene	萜品烯	C ₁₀ H ₁₆	15.627	11.728
8	Terpinolene	萜品油烯; 异松油烯	C ₁₀ H ₁₆	16.518	0.624
9	Linalool	芳樟醇; 沉香醇	C ₁₀ H ₁₈ O	17.006	2.146
10	1-Nonanal	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	17.169	0.543
11	Citronellal	香茅醛	C ₁₀ H ₁₈ O	18.660	0.563
12	3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (1R)-	(-)-4-萜品醇	C ₁₀ H ₁₈ O	19.541	2.545
13	2-(4-Methylphenyl)propan-2-ol	2-(4-甲基苯基)丙-2-醇	C ₁₀ H ₁₄ O	19.715	0.760
14	alpha-Terpineol	alpha-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	19.986	7.838
15	Decanal	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	20.310	0.366
16	2-Cyclohexen-1-ol,2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1R,5R)-rel-	香芹醇	C ₁₀ H ₁₆ O	20.676	0.519
17	2,6-Octadien-1-ol,3,7-dimethyl-, (2Z)-	橙花醇	C ₁₀ H ₁₈ O	20.832	3.796
18	Citronellol	香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	20.899	1.176
19	6-Octen-1-ol,3,7-dimethyl-, (3R)-	(R)-3,7-二甲基-6-辛烯醇	C ₁₀ H ₂₀ O	21.034	0.398
20	(z)-3,7-dimethylocta-2,6-dienal;	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	21.240	9.460
21	D(+)-Carvone	右旋香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	21.403	0.192
22	Geraniol	香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	21.581	5.639
23	(E)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	22.100	15.448
24	o-Cymen-5-ol	4-异丙基-3-甲基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O	22.441	0.224
25	5-Isopropyl-2-methylphenol	香芹酚	C ₁₀ H ₁₄ O	22.688	0.434
26	3-methyl-4-isopropylphenol	4-异丙基-3-甲基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O	22.922	0.920

表4表明,所鉴定出的26种成分,总相对百分含量为93.02%。其中有7个烯烃类化合物,总相对百分含量为39.75%,为水蒸汽蒸馏提取得到的佛手精油的主要香气成分;有5个醛类化合物,总相对百分含量为26.38%;9个醇类化合物,总相对百分含量为24.73%;3个酚类化合物,总相对百分含量为1.58%;2个酮类化合物,总相对百分含量为5.83%;其他的占1.73%。香气成分中相对百分含量从高到底依次是D-柠檬烯(21.98%)、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛(15.45%)、萜品烯(11.73%)、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛(9.46%)、 α -松油醇(7.84%)、香叶醇(5.64%)、橙花醇(3.80%)、p-伞花烃(3.77%)、(-)-4-萜品醇(2.54%)、芳樟醇(2.15%)、香茅醇(1.18%)、4-异丙基-3-甲基苯酚(0.92%)、2-(4-甲基苯基)丙-2-醇(0.76%)、左旋-beta-蒎烯(9.73%)、萜品油烯(0.62%)、左旋-alpha-蒎烯(0.58%)。

由表4可知,广佛手挥发油的主要成分是柠檬烯和(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛。近年来,国内学者采用水蒸气蒸馏法对所得佛手精油主要成分进行了研究。黄海波等^[5]所得广东肇庆佛手精油主要成分为十六酸和亚油酸。赵磊等^[6]所得浙江金华佛手精油主要成分为柠檬烯和 γ -松油烯。施长春等^[7]得到的浙江金华佛手精油的主要成分为柠檬烯和萜烯。而金晓玲等^[15]得到的浙江金华佛手精油主要成分则为柠檬烯和1-甲基-2-(1-甲基)-苯。这就说明品种、栽培地点和提取方法等因素对佛手挥发油的主要成分有很大影响。

4 结论

采用水蒸气蒸馏法提取广佛手精油时,料液比、提取时间对精油提取有明显影响,助剂对广佛手精油的提取有帮助,其中以NaCl的效果为最好。在以上三个因素中,料液比对广佛手精油得率影响最大,助剂(NaCl)浓度次之,提取时间的影响最小。最佳提取工艺条件为,料液比1:3,蒸馏时间6h,助剂NaCl浓度9%,在此条件下挥发油得率最高,为3.81%。该法设备简单、容易操作、成本低、对环境友好等优点;所得广佛手精油为浅黄色油状液体,有纯正佛手香味、透明度高。精油香气成分由烯烃类化合物、醛类化合物、醇类化合物、酚类化合物、酮类化合物等组成,其中烯烃类、醇类、醛类占主体,其相对百分

含量分别为39.75%、24.73%和26.38%。

参考文献

- [1] 赵秀玲. 佛手生理活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 21(33): 393-398.
Zhao XL. Research progress of physiologically active compounds of bergamot [J]. Food Sci Technol, 2012, 21(33): 393-398.
- [2] 杨慧, 周爱梅, 林敏浩. 佛手挥发精油提取及其药理研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(5): 1347-1351
Yang H, Zhou AM, Lin MH. Research progress of extraction methods and pharmacological effects of bergamot essential oil [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(5): 1347-1351.
- [3] 高幼衡, 黄海波, 徐鸿华. 广佛手挥发性成分的GC-MS分析[J]. 中草药, 2002, 10: 21-22.
Gao YH, Huang HB, Xu HH. Analysis of chemical composition of volatile oils from citrus bergamot by GC-MS [J]. Chin Herbal Med, 2002, 10: 21-22.
- [4] Giacinto B, Luigi AM, Laura R. Neuropharmacology of the essential oil of bergamot-a review [J]. Fitoterapia, 2010, (81): 453-461.
- [5] 黄海波, 潘超美, 贺红, 等. 三种不同产地佛手挥发油含量测定和GC-MS分析[J]. 医药世界, 2002, 07: 55-56.
Huang HB, Pan CM, He H, et al. Determination of three different bergamot volatile oil and GC-MS analysis [J]. Med World, 2002, 07: 55-56.
- [6] 赵磊, 籍保平, 周峰, 等. 十二种金华佛手挥发油成分的比较研究[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 179-183.
Zhao L, Ji BP, Zhou F, et al. Study on chemical composition of 12 volatile oils from bergamots [J]. Food Sci, 2006, 27(6): 179-183.
- [7] 施长春, 王建英, 朱婉萍, 等. 金佛手挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 药学实践杂志, 2004, 22(4): 209-210.
Shi CC, Wang JY, Zhu WP, et al. Analysis of chemical composition of volatile oils from citrus bergamot by GC-MS [J]. J Pharm Pract, 2004, 22(4): 209-210.
- [8] 赵兴杰, 籍保平, 赵磊, 等. 佛手挥发油不同提取方法的比较研究[J]. 食品科学, 2008, 28(4): 167-170.
Zhao XJ, Ji BP, Zhao L, et al. Comparison of extraction methods for volatile oil from *Citrus medica* L. var. *Sarcodactylis* (Noot) Swingle [J]. Food Sci, 2007, 28(4): 167-170.
- [9] 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, 18(9): 31-35.
Yang J, Zhang XZ, Gao HJ, et al. Research progress of natural plant essential oil extraction methods [J]. Food Nutr China, 2012, 18(9): 31-35.

- [10] 蔡基智, 林杰. 植物精油提取新技术的研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2012, 20(1): 14-16.
Cai JZ, Lin J. Research development of the new extraction techniques of plant essential oil [J]. Fine Spec Chem, 2012, 20(1): 14-16.
- [11] 王晓杰, 马越, 杨国伟, 等. 水蒸气蒸馏法提取佛手挥发油的工艺研究[J]. 食品科技, 2009, 03: 86-88.
Wang XJ, Ma Y, Yang GW, *et al.* Study on the extract technology of bergamot essential oil by water vapor distillation [J]. Food Technol, 2009, 03: 86-88.
- [12] 陈菲, 王建美, 马丽. 顶空进样法和水蒸汽蒸馏法提取佛手挥发性成分分析[J]. 中医药导报, 2014, 20(8): 77-81.
Chen F, Wang JM, Ma L. Analysis of volatile components in bergamot collected by headspace sampling and steam distillation [J]. Guid J Trad Chin Med Pharm, 2014, 20(8): 77-81.
- [13] 樊荣. 柚皮精油的提取分析及活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
Fan R. Analysis of extraction and activity of pomelo peel oil [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [14] 廖玉琴. 柠檬果皮精油提取、微胶囊化工艺及抑菌性研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
Liao YQ. Research of extraction, the microcapsule technology and antibacterial activity of Lemon peel essential oil [D]. Chengdu: Xihua University, 2013.
- [15] 金晓玲, 徐丽珊, 郑孝华. 佛手挥发油的化学成分[J]. 分析测试学报, 2000, 19(4): 71-73.
Jin XL, Xu LS, Zheng XH. Analysis of chemical composition of volatile oils from citrus bergamot [J]. J Instrum Anal, 2000, 19(4): 71-73.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



林敏浩, 本科生, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: 354171150@qq.com



周爱梅, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品加工、食品添加剂、水产品。
E-mail: zhouam@scau.edu.cn