

# Extraction and GC-MS Analysis of Volatile Oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm

Jing Ye<sup>1</sup>, Lin Zhao<sup>2</sup>, Yanbin Lu<sup>1</sup>, Hong Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>College of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou Zhejiang

Email: yellowleaf@zjgsu.edu.cn

Received: Jul. 29<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 19<sup>th</sup>, 2019; published: Aug. 26<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

The volatile oil of *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm was extracted by traditional distillation method. The effects of soaking time, extraction time and liquid-material ratio on the extraction efficiency of volatile oil were investigated. The results showed that the optimum extraction conditions were as follows: the soaking time of 3 hours, the extraction time of 3 hours and the ratio of liquid to material of 12:1. Under the optimum conditions, the extraction yield of 0.36% was obtained. The volatile oil extracted was analyzed by GC-MS to determine the chemical constituents of volatile oil in *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm. The results indicated that totally 39 compounds were identified compared with the GC-MS database and most of them were terpenoids.

## Keywords

*Lindera aggregata* (Sims) Kosterm, Volatile Oil, Extraction, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

# 天台乌药挥发油成分的提取及气质联用分析

叶婧<sup>1</sup>, 赵琳<sup>2</sup>, 卢延斌<sup>1</sup>, 张虹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>浙江工商大学海洋食品研究院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江 杭州

Email: yellowleaf@zjgsu.edu.cn

收稿日期: 2019年7月29日; 录用日期: 2019年8月19日; 发布日期: 2019年8月26日

## 摘要

本文以浙江省特色中药材天台乌药为原料, 采用水蒸气蒸馏法提取其中的挥发油成分。分别考察了浸泡

时间、提取时间、料液比对挥发油提取效率的影响, 实验结果表明天台乌药挥发油成分的最佳提取条件为: 浸泡时间3 h、提取时间3 h、料液比为1:12。在此条件下, 天台乌药挥发油的提取率约为0.36%。采用GC-MS法分析天台乌药挥发油的化学成分。经过标准谱库检索并与相关文献进行比对, 共鉴定出了39个化学成分, 其中大多数为萜类化合物。

## 关键词

天台乌药, 挥发油, 提取, 气相色谱-质谱法(GC-MS)

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

乌药为传统常用中药, 分布于江苏、浙江、台湾、福建、广东等省, 其中天台乌药的品质最佳[1]。天台乌药以块根入药, 是重要的温胃理气止痛药之一, 有抗菌、消炎, 抗疲劳, 保肝护胃, 抗氧化等药理作用[2] [3] [4] [5]。乌药的根、叶、果皮以及种子中都含有挥发油。据文献报道, 乌药挥发油含有杀菌、消炎、祛痛、止痒、降血压、抗肿瘤等有效成分[6] [7], 但由于产地及提取方法不同, 其化学成分也存在较大差异[8] [9] [10] [11]。本文采用水蒸气蒸馏法提取天台乌药中的挥发油成分, 分别考察了浸泡时间、提取时间和料液比对提取效果的影响, 优化了挥发油的提取条件。此外, 采用 GC-MS 方法对天台乌药挥发油的化学成分进行了分析。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料与试剂

#### 2.1.1. 实验材料

乌药块根购于浙江省台州市天台县, 经浙江大学生命科学学院吴世华博士鉴定, 为樟科山胡椒属植物乌药 *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm 的干燥块根, 凭证标本存于本实验室。将干燥的乌药块根粉碎成粗粉后密封, 存放于阴凉干燥处备用。

#### 2.1.2. 主要试剂

分析纯无水硫酸钠, 购买自浙江常青化工有限公司; 实验用水由娃哈哈纯净水经 Milli-Q 系统 (Bedford, MA, USA) 净化得到, 电阻率为 18.2 MΩ/cm。

### 2.2. 仪器与设备

电子天平 (AL204 型): 美国 METTLER 公司; MilliQ 超纯水系统 (Direct-Q™ 5): 美国密理博公司; 挥发油提取器: 科腾实验仪器公司; YH 系列电热器: 江苏近湖镇教学仪器厂; 气质联用仪 (Thermo Trace DSQII): 美国 Thermo Fisher Scientific 公司。

### 2.3. 实验方法

#### 2.3.1. 天台乌药挥发油的提取

1) 蒸馏法提取

准确称取天台乌药粗粉 100.00 g, 置于 2000 mL 的圆底烧瓶中, 按一定的料液比加入相应体积的水。浸泡一段时间, 取适量沸石振摇混合, 连接挥发油测定器和回流冷凝管, 从冷凝管的上端加水并充满挥发油测定器的刻度部分, 当水溢流入烧瓶时停止。置电热器中缓缓加热至沸, 并保持微沸适当时间, 停止加热。放置一段时间后开启测定器下端的活塞, 将水慢慢放出至油层上端到达刻度 0 线上方 5 mm 处为止。之后放置 1 小时以上, 再开启活塞使油层下降到它的上端正好与刻度 0 线平齐, 读取挥发油的量, 并计算收油率(%). 将挥发油取出, 密封, 4℃ 储存待用。

### 2.3.2. 乌药挥发油提取方法的优化

#### 1) 浸泡时间的优化

准确称取天台乌药粗粉 100.00 g, 加入 1200 mL 水, 分别浸泡 1, 3, 6, 9, 12 h, 取适量沸石振摇混合后, 置电热器中缓缓加热至沸, 并保持微沸 3 h, 停止加热, 按 1.3.1.1 中方法读取挥发油的得量, 并计算挥发油提取率(%).

#### 2) 提取时间的优化

准确称取天台乌药粗粉 100.00 g, 加入 1200 mL 水, 浸泡 3 h, 取适量沸石, 振摇混合后, 置电热器中缓缓加热至沸并分别保持微沸 1, 2, 3, 4, 5 h, 停止加热, 按 1.3.1.1 中方法读取挥发油的得量, 并计算挥发油提取率(%).

#### 3) 液料比的优化

准确称取天台乌药粗粉 100.00 g, 分别按一定液料比 6:1、8:1、10:1、12:1、14:1 加入水, 浸泡 3 h, 取适量沸石振摇混合后, 置电热器中缓缓加热至沸, 并保持微沸 3 h, 停止加热, 按 2.3.1 1) 中方法读取挥发油的得量, 并计算挥发油提取率(%).

### 2.3.3. 乌药挥发油成分的分析方法

采用优化条件提取乌药挥发油, 加入适量的无水硫酸钠进行脱水, 然后进行气质联用分析。

GC 条件: 色谱柱, TR-35MS (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度 250℃; 升温程序: 初始温度 60℃ 保持 1 min, 然后以 18℃/min 升至 120℃, 保持 1 min, 再以 3℃/min 升至 180℃, 保持 3 min, 最后以 3℃/min 升至 250℃, 保持 2 min; 载气 He 流速 0.8 mL/min; 分流比 1:30。

MS 条件: EI 源; 电子能量 70 eV; 离子源温度 200℃; 传输线温度 250℃; 检测器温度 280℃; 质量扫描范围 m/z30~500 amu。

使用 Xcalibur 2.0 软件对实验数据进行分析处理, 将分离出的各物质通过 NIST2.0 标准谱库进行检索并且结合有关文献[12] [13]进行对比, 从而分析鉴定了天台乌药中挥发油的化学成分, 组分相对百分含量的确定采用面积归一化法。

## 2.4. 挥发油提取率计算

挥发油提取率/% = 挥发油提取的量(mL)/乌药粗粉的质量(g) × 100%

每组实验重复 3 次, 所得的数据取平均值, 利用 Excel 2013 和 OriginPro 8.1 处理数据。

## 2.5. 工艺优化试验说明

经查阅相关挥发油的提取文献, 钱俊青[14]等优化超声提取乌药有效成分的工艺条件, 确定了超声前浸泡时间 45 min、超声功率 600 w、超声时间 13.2 min、液固比 10:1、超声后浸泡时间 1.5 h、提取次数 3 次时乌药的有效成分提取最优。田金凤[15]等用水蒸气蒸馏法提取挥发油, 并用正交试验法对挥发油提取进行 3 因素 3 水平考察, 确定最佳提取条件为陈皮、白术粉碎成过 50 目筛的粉末, 加 10 倍水量, 提取 5 h。高慧[16]

采用水蒸气蒸馏法提取陈皮挥发油，以挥发油提取率为指标，应用  $L_9(3^4)$  正交试验选取最佳提取工艺条件，确定最佳提取工艺条件为蒸馏水浸泡 20 分钟，提取 3 小时。雍菁[17]等以水蒸气蒸馏法提取陈皮挥发油，应用正交试验设计选取最佳提取工艺条件。结果表明最佳提取条件为 6 倍加水量、浸泡 1 h、蒸馏时间 6 h。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 天台乌药挥发油提取条件的优化

##### 3.1.1. 浸泡时间对挥发油提取率的影响

在液料比为 12:1，提取时间为 3 h 的条件下，不同的浸泡时间对乌药挥发油的提取影响如图 1 所示。从图中可知，浸泡时间对乌药挥发油提取率的影响趋势不明显。当浸泡时间低于 6 h，浸泡 3 h 时的收油率最大；当浸泡时间超过 6 小时，收油率缓慢增大，但和浸泡 3 h 的收油率接近，可能是浸泡过程中有效成分挥发，导致收油率增加不明显。从实际应用角度出发，选择浸泡时间短且能达到较高收油率的时间作为提取挥发油的最佳浸泡时间，因此本实验选取浸泡时间为 3 h。

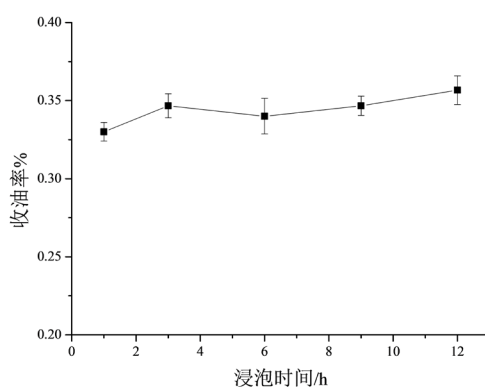


Figure 1. The effect of soaking time on the extraction efficiency of the volatile oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm  
图 1. 浸泡时间对乌药挥发油提取率的影响

##### 3.1.2. 提取时间对挥发油提取率的影响

在浸泡时间为 3 h，液料比为 12:1 的条件下，不同的提取时间对乌药挥发油的提取影响如图 2 所示。从图中可知，随着提取时间的增加，收油率逐渐增大，当提取时间超过 3 h，收油率增加不明显。因此本实验选取 3 h 作为最佳提取时间。

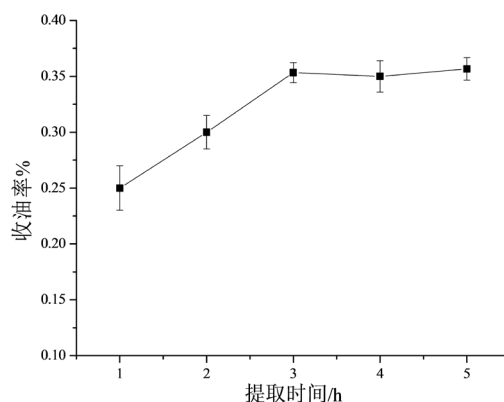
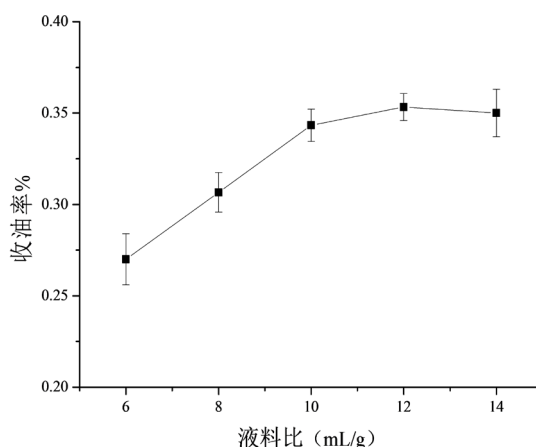


Figure 2. The effect of extracting time on the extraction efficiency of the volatile oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm  
图 2. 提取时间对乌药挥发油提取率的影响

### 3.1.3. 液料比对挥发油提取率的影响

在浸泡时间为 3 h, 提取时间 3 h 的条件下, 不同的液料比对乌药挥发油的提取影响如图 3 所示。从图中可知, 随着液料比的增加, 挥发油提取率逐渐增大, 当液料比为超过 12:1 时, 挥发油提取率缓慢减小。在实验过程中, 当液料比较小时, 有效成分不能充分提取, 影响实验结果; 当液料比较大时, 有效成分虽能充分提取, 但提取过程中容易出现暴沸现象, 有时液料会冲出圆底烧瓶, 导致实验中断。因此本实验选取液料比为 12:1。



**Figure 3.** The effect of liquid-solid ratio on the extraction efficiency of the volatile oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm  
**图 3.** 液料比对乌药挥发油提取率的影响

### 3.2. 乌药挥发油的提取结果

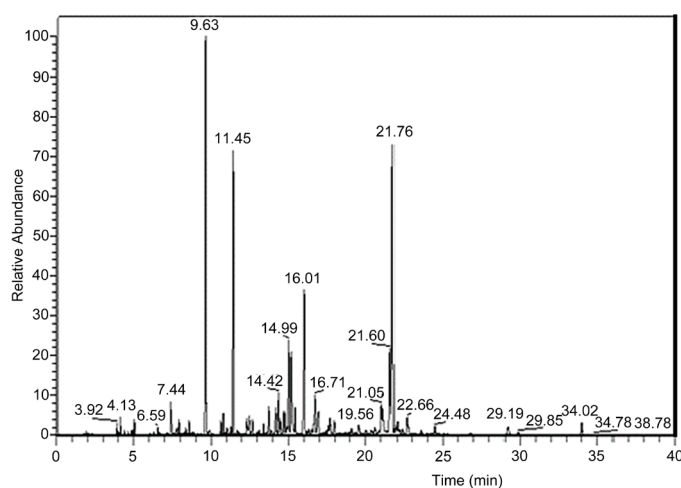
通过单因素实验确定乌药挥发油的最佳提取条件为: 浸泡时间 3 h, 提取时间 3 h, 液料比 12:1。在最佳提取条件下采用水蒸气蒸馏法提取乌药挥发油三次, 提取率依次为 0.36%, 0.35%, 0.36%, 平均提取率为 0.357%。董岩[18]等采用微波-水蒸气回流法提取挥发油, 将乌药粉碎后用适量去离子水浸泡 12 h, 微波加热 10 min 后, 水蒸气回流法提取 3 h, 收油率为 0.41%。但是此提取方法浸泡时间较长, 可能会导致挥发油成分发生改变; 周继斌[19]等对乌药根进行成分测定时, 块根粗粉 150 g, 得油 0.53 mL, 提取率为 0.35%; 晏润纬[6]等将 7.5 kg 新鲜的乌药块根剪成小段, 利用挥发油提取器水蒸汽蒸馏 3 h 后得到乌药根挥发油约 22 mL, 提取率为 0.293%; 晏润纬[20]等按常规的水蒸气蒸馏法提取乌药根的挥发油, 收油率为 0.31%。对比以上文献, 本实验的提取率约为 0.36%, 提取效果较好。

### 3.3. 乌药挥发油有效成分的气质联用分析与鉴定

准确称取天台乌药粗粉 100 g, 加入 1200 mL 水, 浸泡 3 h, 取适量沸石振摇混合后, 置电热器中缓缓加热至沸, 并保持微沸 3 h, 停止加热, 按 2.3.1.1 的方法提取挥发油, 并加入适量的无水硫酸钠进行脱水, 通过 2.3.3 的气质联用方法对其进行分析, 天台乌药挥发油有效成分的总离子流图如图 4 所示, 可知挥发油中的化学成分有良好的分离效果。

按 2.3.3 的 GC-MS 条件对挥发油成分进行分析, 结果如表 1 所示, 共鉴定了天台乌药挥发油中的 39 个化学成分。在天台乌药块根的挥发油中, 烃类占 20.35%, 醛类占 28.53%, 酯类占 0.98%, 酮类占 14.87%, 酸酚类占 0.87%, 醇类占 0.22%, 其它种类占 7.06%。其中含量最高的为视黄醛, 占挥发油总量的 22.56%, 其次为 2-萜烯, 占挥发油总量的 17.14%, 再次为异长叶烯酮, 占挥发油总量的 13.45%, 上述三种化合物占挥发油总量的 53.15%。其它主要成分还有 L-樟脑醌、萜品烯、1-萜品-4-基乙酸酯、桉叶油醇、4-萜

烯醇、萜品油烯、黄樟脑等。从乌药挥发油化学成分的分类看，它们大多为萜类化合物。萜类化合物具有重要的生理活性，是研究天然产物和开发新药的重要来源。因此，研究乌药挥发油具有极高的价值。



**Figure 4.** Total ion chromatogram of the volatile oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm  
**图 4.** 乌药挥发油成分的总离子流图

**Table 1.** Constituent of the volatile oil from *Lindera aggregata* (Sims) Kosterm  
**表 1.** 乌药挥发油的化学成分分析结果

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对百分含量/%
1	2.09	Acetone(丙酮)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.03
2	2.26	Acetic acid(冰乙酸)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.04
3	3.98	3-Furaldehyde(3-呋喃甲醛)	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.15
4	5.04	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-(间异丙基甲苯)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.52
5	6.09	Benzaldehyde(苯甲醛)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	0.05
6	6.33	Eucalyptol(桉叶油醇)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.07
7	6.59	Phthalan(1,3-二氢异苯并呋喃)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.3
8	6.78	Undecanoic acid, hydroxy-, lactone(羟基十一烷酸内酯)	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.03
9	7.15	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-(4-萜烯醇)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.04
10	7.23	Hexanal(正己醛)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.06
11	7.44	Bicyclo[2.2.1]heptane-2,3-dione, 1,7,7-trimethyl-, (1S)-(L-樟脑醌)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	1.45
12	7.71	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-(芳樟醇)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.11
13	7.76	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-(萜品油烯)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.17
14	7.9	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, acetate(1-萜品-4-基乙酸酯)	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.91
15	8.27	Thymol(百里香酚)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.06
16	8.35	Benzene, butyl-(丁苯)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.24
17	8.56	Benzene, 1-methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-(2-异丙基-1-甲氧基-4-甲基苯)	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	0.49
18	8.78	9-Tetradecen-1-ol, (E)-	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O	0.06

## Continued

19	8.84	Benzene, 1,3-bis(1-methylethyl)-(1,3-二异丙苯)	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub>	0.13
20	9.63	Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene, 3,7,7-trimethyl-(2-薷烯)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	17.14
21	9.91	Phenol, 2-methyl-6-(2-propenyl)-(2-烯丙基-6-甲基苯酚)	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	0.2
22	10.8	Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-(2-乙基对二甲苯)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.74
23	10.94	Phenol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-(香芹酚)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.06
24	11.05	1,3-Benzodioxole, 5-(2-propenyl)-(黄樟脑)	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.27
25	11.45	Vitamin A aldehyde(视黄醛)	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O	22.56
26	11.68	1,3,5-trimethyl-(均三甲苯)	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	0.23
27	12.33	1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-(萜品烯)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.18
28	15.17	1,2,3,4,5,6-Hexahydro-1,1,5,5-tetramethyl-2,4a-methanonaphthalen-7(4aH)-one(异长叶烯酮)	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O	13.45
29	16.94	1,4-Methanoazulen-7(1H)-one, octahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.71
30	19.56	Dodecanal(月桂醛)	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	0.56
31	21.05	17 $\alpha$ -Methyltestosterone(甲睾酮)	C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	1.39
32	21.6	Retinal, 9-cis-(视网醛)	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O	5.13
33	22.05	4a,7-Methano-4aH-naphth[1,8a-b]oxirene, octahydro-4,4,8,8-tetramethyl-(2,2,7,7-四甲基-5,6-环氧三环[2.2.1.0 <sup>1,6</sup> ]十一烷)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	2.05
34	23.59	Gibberellic acid(赤霉素)	C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub>	0.51
35	27.58	Benzaldehyde, 3-(4-methoxyphenoxy)-(3-(4-甲氧基苯氧基)苯甲醛)	C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	0.02
36	28.29	Cyclopropanecarboxylic acid, 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethyl-, (3-phenoxyphenyl)methyl ester, (1R-trans)-(生物氯菊酯)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04
37	34.02	9H-Pyrido(3,4-b)indole, 6-methoxy-1-methyl-	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	0.67
38	38.78	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-(2,2-双对羟苯基丙烷)	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.04
39	39.17	Benzene, 1-methoxy-4-(2-phenylethenyl)-(4-甲氧基二苯乙烯)	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O	0.02

查阅乌药挥发油成分分析相关文献发现, 何桂霞[21]等采用超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法和水蒸气蒸馏法对乌药根挥发油进行了提取。以超临界 CO<sub>2</sub> 萃取方法提取时, 鉴定出了 46 个成分, 主要有 1,1-二乙氧基乙烷、(2-[2-(2,4-二甲基苯基)环丙基]咪唑)、20-十四氢环十并[a]环十四烯等; 当采用水蒸气蒸馏法提取挥发油时, 通过 GC-MS 分析鉴定了 36 个化合物, 主要有龙脑乙酸酯、长叶烯、桉叶 4(14),11-二烯、龙脑、 $\beta$ -愈创木烯等。董岩[18]等对广西产乌药的挥发油进行气相色谱-质谱分析, 共分离出 51 种组分, 鉴定出了 41 个化学成分, 大多数化合物属于单萜类和倍半萜类物质, 主要有愈创树-1(5),7(11)-二烯、冰片醋酸酯、 $\delta$ -3-薷烯、琼脂螺醇、苜烯、茨佛精、2,4-二异丙基-1-甲基-1-乙烯基环己烷等。邓桂明[22]等通过水蒸气回流法提取湖南产乌药的挥发油, 通过 GC-MS 共鉴定出了 68 个化学成分, 大多数为单萜类物质, 主要有(-)-马兜铃烯、 $\beta$ -桉叶油醇、4a-甲基-4,4a,9,10-四氢(-2(3H))菲酮以及 1-甲基-1-乙基-2,4-二(1-甲基乙基)环己烷等。结合本文实验结果及上述文献研究内容可知, 乌药挥发油化学成分十分复杂。由于产地、采集时间以及提取方法的不同, 乌药挥发油的化学成分也存在较大的差异。

#### 4. 结论

本文采用水蒸气蒸馏法提取天台乌药中的挥发油, 分别考察了浸泡时间、提取时间和料液比对提取效果的影响, 优化了挥发油的提取条件, 确定了最佳的提取工艺为浸泡时间 3 h, 提取时间 3 h, 液料比

12:1, 在此条件下, 天台乌药挥发油的收率约为 0.36%。此方法在一定程度上缩短了提取时间, 避免原料的浪费, 适合用于天台乌药挥发油化学成分的提取。同时, 采用 GC-MS 法分析天台乌药挥发油的化学成分。经过标准谱库检索并与相关文献进行比对, 鉴定出了 39 个化学成分, 其中大多数为萜类化合物。研究表明, GC-MS 法可以简便、快速地对乌药挥发油中化学成分进行定性研究。挥发油是乌药中的特征成分之一, 具有多种药理作用, 对挥发油化学成分的研究将为乌药的进一步开发和应用奠定基础, 具有重要的药用开发价值和经济价值。

## 基金项目

浙江省公益性科技计划项目(LGN18C200016)。

## 参考文献

- [1] 朱发伟, 孙乙铭, 王彬辉, 等. 不同产地乌药质量研究[J]. 浙江中西医结合杂志, 2015, 25(12): 1166-1167.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 77-78.
- [3] 魏国清, 蒋合众, 耿耘. 山胡椒属植物药理作用研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(1): 61-62.
- [4] 张剑, 刘冰晶. 乌药化学成分研究进展[J]. 山东化工, 2015, 44(3): 62-68.
- [5] 邢梦雨, 田崇梅, 夏道宗. 乌药化学成分及药理作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2017(12): 2147-2152.
- [6] 程慧洁, 蔡夏琴, 项家席, 等. 乌药块根与叶药用价值探析[J]. 浙江中西医结合杂志, 2014, 24(6): 563-565.
- [7] 晏润纬, 花金红. 乌药根挥发油的体外抗肿瘤活性及其有效成分分析[J]. 武汉大学学报(理学版), 2014, 60(4): 345-348.
- [8] 周继斌, 范明. 乌药块根及根、茎挥发油成分测定[J]. 中国野生植物资源, 2000, 19(3): 45-47.
- [9] 胡玉熙, 刘清飞, 从文娟, 等. 气质联用技术在生物医药领域中的应用进展[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(6): 999-1005.
- [10] 张仁慈, 柏慧, 罗京, 等. 气-质联用技术在天然产物研究中应用进展[J]. 内蒙古民族大学学报(自然汉文版), 2018, 33(2): 113-117.
- [11] Xu, X.N., Tang, Z.H., Liang, Y.Z., et al. (2015) Comparison of the Volatile Constituents of Different Parts of Cortex *Magnolia officinalis* by GC-MS Combined with Chemometric Resolution Method. *Journal of Separation Science*, **32**, 3466-3472. <https://doi.org/10.1002/jssc.200900378>
- [12] 丛浦珠. 质谱学在天然有机化学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [13] 中国质谱学会有机专业委员会. 香料质谱图集[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 18-221.
- [14] 钱俊青, 许雅颖, 卢时勇. 乌药超声提取工艺的研究[J]. 生物资源, 2011, 33(4): 63-66.
- [15] 田金凤, 尚远宏, 王深红, 等. 陈皮、白术挥发油的提取及其包合工艺的研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014(12): 65-68.
- [16] 高敏惠. 正交试验法优选陈皮挥发油的提取工艺[J]. 中国社区医师, 2014, 30(1): 7-8.
- [17] 雍菁, 赵学龙, 王文晓, 等. 正交试验法优选香桔合剂中陈皮挥发油的最佳提取工艺条件[J]. 中国医疗器械信息, 2015, 21(1): 136-137.
- [18] 董岩, 刘洪玲, 王新芳. 乌药挥发油化学成分的微波蒸馏 GC-MS 分析[J]. 山东中医杂志, 2005, 24(6): 370-372.
- [19] 周继斌, 范明, 周文波. 乌药挥发油化学成分测定[J]. 中国野生植物资源, 1999, 18(2): 48-49.
- [20] 晏润纬, 彭小梅. 乌药挥发油的化学成分及药理作用[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(11): 2747-2749.
- [21] 何桂霞, 易海燕, 郭建生, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和水蒸汽蒸馏法研究乌药中挥发性有机物[J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(5): 816-819.
- [22] 邓桂明, 向彪, 肖小芹, 等. 基于 GC-MS 和 UPLC-ESI-MS/MS 法研究乌药化学成分[J]. 中药材, 2016, 39(10): 2229-2236.