

## HS-SPME-GC-MS 法分析薰衣草挥发性成分

陈国通<sup>1,2</sup>, 马萍萍<sup>1</sup>, 马锦陆<sup>3</sup>, 于文蛟<sup>1</sup>, 李慕春<sup>1</sup>, 杨中<sup>1\*</sup><sup>1</sup>新疆维吾尔自治区分析测试研究院, 乌鲁木齐 830011; <sup>2</sup>新疆师范大学 化学化工学院, 乌鲁木齐 830054;<sup>3</sup>新疆维吾尔自治区农药检定所, 乌鲁木齐 830046

**摘要:**为获得薰衣草在自然状态下的挥发性成分, 本实验采用单因素试验和正交试验优化顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)条件, 对代表性薰衣草品种太空蓝的常温下挥发性成分进行分析, 并与水蒸气蒸馏法(steam distillation)进行了对比。结果显示, 顶空固相微萃取法的优化条件为萃取时间 60 min、平衡时间 20 min、解吸时间 5 min。该条件下, 鉴定出 34 种化学成分, 水蒸气蒸馏法鉴定出 27 种化学成分, 主要以乙酸酯、醇、烯烃化合物为主类, 其中芳樟醇、乙酸芳樟酯为主要化合物。两种方法得出的薰衣草挥发性成分无论在化学组成还是在组分的相对含量上都存在较大的差异。为薰衣草品种品质快速鉴定、质量评价及探索合理的利用方式提供了理论依据。

**关键词:**薰衣草; 挥发性成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 水蒸气蒸馏

中图分类号: R284.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2022) Suppl-0039-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2022.S.006

Analysis of volatile components in *Lavandula angustifolia* Mill. by HS-SPME-GC-MSCHEN Guo-tong<sup>1,2</sup>, MA Ping-ping<sup>1</sup>, MA Jin-lu<sup>3</sup>, YU Wen-jiao<sup>1</sup>, LI Mu-chun<sup>1</sup>, YANG Zhong<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Xinjiang Academy of Analysis and Testing, Urumqi 830011, China;<sup>2</sup>College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;<sup>3</sup>Institute for Pesticide Control of Xinjiang, Urumqi 830046, China

**Abstract:** In order to obtain the volatile components of *Lavandula angustifolia* in natural state, the conditions of headspace solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) were optimized by single factor test and orthogonal test. The volatile components of space blue, a representative variety of *L. angustifolia*, were analyzed at room temperature and compared with steam distillation (SD). The results showed that the optimum conditions of HS-SPME method were extraction time 60 min, equilibrium time 20 min and desorption time 5 min. Under this condition, 34 chemical components were identified and 27 chemical components were identified by SD. The main compound types were acetate, alcohol and olefin compounds, among which linalool and linalyl acetate were the main compounds. The volatile components of *L. angustifolia* obtained by the two methods are quite different in both chemical composition and relative content. It provides a theoretical basis for rapid quality identification, quality evaluation and rational utilization of *L. angustifolia* varieties.

**Key words:** *Lavandula angustifolia*; volatile components; headspace solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; steam distillation

薰衣草 (*Lavandula angustifolia* Mill.; 英文名: lavender) 是唇型科薰衣草属植物, 为多年生亚灌木, 有着悠久的种植和应用历史<sup>[1]</sup>。我国新疆伊犁是

世界三大薰衣草基地之一, 其种植面积约占全国薰衣草种植面积的 95%。薰衣草香味浓郁而柔和, 无毒副作用, 不仅作为重要的香料原料, 被广泛用于调制化妆品、皂用香精等<sup>[2,3]</sup>。同时作为药用植物, 具有镇静助眠、抑制肿瘤、抗菌、抗炎、抗氧化等作用<sup>[4-7]</sup>。随着薰衣草应用范围的扩大, 在薰衣草的栽培技术、精油的提取、化学成分分析及应用等方面已

收稿日期: 2021-09-24 接受日期: 2021-10-22

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目(2020E02122); 天山青年计划(2018Q054); 新疆维吾尔自治区天山创新团队计划(202110498)

\* 通信作者 Tel: 86-991-3835926; E-mail: chenguotong0811@163.com

开展了广泛的研究<sup>[8,9]</sup>。

不同品种薰衣草中的挥发性成分含量的不同造成薰衣草有不同的用途<sup>[2]</sup>。初期对薰衣草挥发性成分的研究主要集中在薰衣草精油的研究,薰衣草精油提取方法主要有水蒸气蒸馏法<sup>[10]</sup>和超临界CO<sub>2</sub>萃取法<sup>[11]</sup>,二者都存在样品用量大、费时及成本高等缺点。随着分析手段的进步,目前越来越侧重于对薰衣草挥发性气体成分直接测定<sup>[12,13]</sup>。例如顶空固相微萃取(HS-SPME)<sup>[14]</sup>、吹扫捕集(P&T)<sup>[15]</sup>等分析手段。这些手段具有灵敏度高、操作简便、无溶剂污染等优势,并且可实现在线测定。

本实验通过单因素试验与正交试验优化顶空固相微萃取(HS-SPME)提取薰衣草挥发性成分的相关条件,对代表性薰衣草品种太空蓝挥发性成分进行分析,并与水蒸气蒸馏法(SD)进行了对比。为后续薰衣草快速鉴别与综合利用提供了理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

薰衣草样品为新疆伊犁盛花期薰衣草,品种为太空蓝。阴干后粉碎备用。

### 1.2 试剂与仪器

实验所用试剂均为色谱纯,实验用水均为一级水。

GC-MS-QP2010Plus型气相色谱质谱联用仪(日本岛津公司),配有电子轰击(EI)离子源;配置有50/30 μm CAR/DVB/PDMS萃取头的固相微萃取装置以及手动固相微萃取进样手柄(美国Supelco公司);FW80粉碎机(北京市永光明仪器公司);恒温水浴锅(北京市永光明医疗仪器有限公司);电子天平(赛多利斯科学仪器北京有限公司);25 mL顶空瓶;挥发油提取装置(实验室组装);Milli-Q Integral 3纯水机(默克密理博(上海)有限公司)。

### 1.3 仪器条件

GC条件:采用HP-5MS(含5%苯甲基聚硅氧烷)色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样口温度为250 °C;程序升温:起始温度为40 °C,保持3 min后以3 °C/min的速度升至190 °C,平衡3 min,然后再以15 °C/min的速度升至260 °C,保持5 min;载气:99.999%氦气;载气流速:1 mL/min;分流比为10:1。

MS条件:电子轰击(EI)离子源;电子能量70 eV;离子源温度为230 °C;接口温度为270 °C;电子倍增器电压为350 V;全扫描方式;扫描范围 $m/z$ :45

~450。

## 1.4 样品预处理

固相微萃取:准确称取阴干后粉碎的薰衣草花1.0 g于25 mL聚四氟乙烯压盖顶空瓶中,封盖室温下平衡20 min后,将已经老化的萃取头穿透密封垫插入顶空瓶内试样上方,固定好SPME手柄,小心推出纤维头开始萃取并计时60 min后插入气相色谱进样口,在250 °C下热解吸5 min。固相微萃取手柄首次使用前,萃取头插入到进样口中,在温度为270 °C下老化0.5 h后方可使用,后续使用前,萃取头仍需在此温度下老化处理5~10 min,确保萃取头在高温下脱附残留的挥发性成分,避免对待测样品造成干扰。

水蒸气蒸馏法:参照2015版《中国药典》一部挥发油测定法甲法<sup>[16]</sup>:精确称取20.0 g干燥的薰衣草花粉末样品,置于500 mL圆底烧瓶中,加入240 mL蒸馏水,浸泡一定时间后用挥发油提取器提取4 h,得到黄色透明、具有特殊浓郁气味的挥发油,用无水硫酸钠干燥后待测。

## 1.5 数据处理

采集的数据通过GCMS-solution 2.7.1化学工作站进行数据处理,并通过检测出的各组分峰与NIST14版谱库进行图库检索;保留匹配度85%以上的化合物。再结合相关文献进行人工图谱解析,确定化合物名称。利用面积归一法进行定量分析,计算出各组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 HS-SPME条件的选择

HS-SPME法的萃取效果受萃取时间、萃取温度、平衡时间、解吸时间等因素的影响<sup>[17]</sup>,因此本研究用峰面积代表萃取物质的量,出峰数目代表萃取物质的种类,选择总峰面积和总峰数两个指标考察各因素的萃取效果,确定HS-SPME薰衣草挥发性成分的较优条件。

#### 2.1.1 单因素试验结果

##### 2.1.1.1 萃取头的选择

目前常用的萃取头涂层材料有碳分子筛(carboxen, CAR)、聚乙二醇(carbowax, CW)、二乙烯苯(divinylbenzene, DVB)、聚丙烯酸酯(polyacrylate, PA)、聚二甲基硅烷(polydimethylsiloxane, PDMS)、模化树脂(templated resin, TPR)。选择萃取头时应考虑其涂层材料即萃取头极性。据萃取头的组成材料特性并结合文献报道<sup>[18]</sup>,50/30 μm复合涂层

CAR/DVB/PDMS 萃取头则更适合于进行大范围的挥发性成分分析,故本试验采用 CAR/DVB/PDMS 复合涂层萃取头。

### 2.1.1.2 萃取温度的选择

据文献报道<sup>[19,20]</sup>,采用固相微萃取测定植物挥发性成分随着萃取温度的升高,检测到的组分数呈先增加后减小的趋势,一般温度在 60~70℃ 时得到的组分数与峰面积都达到最大值,可能是由于随着温度的升高部分沸点相对高一些的组分会从样本中释放,但是温度过高时,低沸点组分在竞争吸附中处于劣势地位,造成部分流失<sup>[21,22]</sup>。虽然提高萃取温度会得到更多的挥发性组分与更大的响应峰面积,但本试验是为了探究薰衣草在自然状态下的挥发性成分,进而为不同薰衣草品种之间鉴别提供理论依据,故选择在室温下对薰衣草进行萃取。

### 2.1.1.3 萃取时间的选择

在“2.1.1.2”结果的基础上,研究萃取时间(30、40、50、60、70 min)对薰衣草挥发性成分的影响,每个水平重复 3 次,结果如图 1A 所示。随着萃取时间的延长,挥发性成分的总峰面积不断增大,当萃取时间超过 60 min 时变化不明显;而峰数目随着萃取时间的延长呈先上升后降低趋势,并在 60 min 时达到最大值。这是因为萃取时间可以影响顶空和

萃取头纤维涂层之间分析物的平衡<sup>[23]</sup>。当萃取时间不足时,目标物被吸附不充分;萃取时间过长时,已经被吸附的组分可能出现脱附现象,造成峰数目减少<sup>[24,25]</sup>。综合考虑,本试验将萃取时间设为 60 min。

### 2.1.1.4 解吸时间的选择

在“2.1.1.2”和“2.1.1.3”结果的基础上,研究不同解吸时间(3、4、5、6、7 min)的萃取效果,每个水平重复 3 次,结果如图 1B 所示。当解吸时间延长时,挥发性物质的峰数目基本不变,而总峰面积在 3~5 min 时变化不明显,超过 5 min 时略有减小,说明 5 min 时已解吸完全。若解吸时间不足,不但影响检测结果,还会污染后续样品,但解吸时间过长会缩短萃取头的使用寿命<sup>[26]</sup>。因此,本试验选择 5 min 为较佳的解吸时间。

### 2.1.1.5 平衡时间的选择

在以上结果的基础上,研究不同平衡时间(10、15、20、25、30 min)的萃取效果,每个水平重复 3 次,结果如图 1C 所示。随着平衡时间的延长,挥发性成分的总峰面积和峰数均呈上升趋势,当平衡时间超过 20 min 时,变化平缓。这说明 20 min 时挥发性物质在气相中已达到平衡状态,因此本试验选择平衡时间为 20 min。

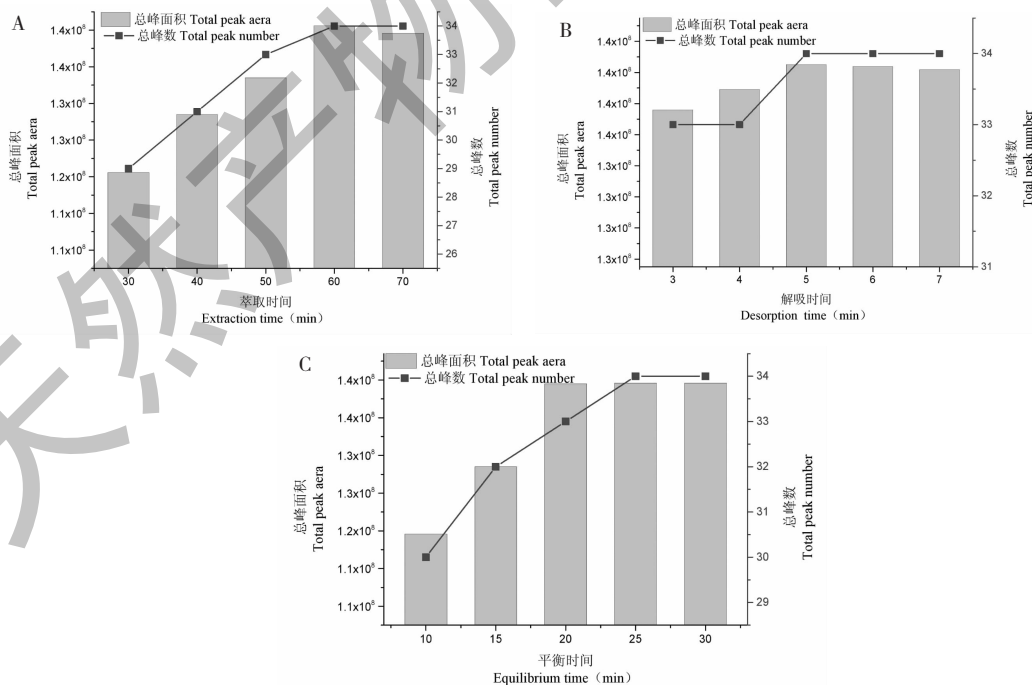


图 1 不同因素对薰衣草挥发性成分萃取效果的影响

Fig. 1 Effect of various factors on the extraction of volatile compounds from *L. angustifolia*

### 2.1.2 正交试验结果

在单因素试验基础上,选择萃取时间、解吸时间和平衡时间作为3个影响因素,采用  $L_9(3^3)$  正交表

进行3因素3水平正交试验,优化试验参数,试验设计及结果如表1所示。

表1 正交试验设计及结果

Table 1 Results and analysis of orthogonal array experiments

考察指标 Index	试验号 No.	A 萃取时间 Extraction time (min)	B 解吸时间 Desorption time (min)	C 平衡时间 Equilibrium time (min)	峰数目 Peak number	总峰面积 Total peak area
	1	50	4	15	30	118 672 934
	2	50	5	20	31	129 785 435
	3	50	6	25	33	129 891 784
	4	60	4	20	34	135 056 218
	5	60	5	25	35	140 587 793
	6	60	6	15	35	139 504 678
	7	70	4	25	36	139 526 891
	8	70	5	15	37	139 476 235
	9	70	6	20	37	139 012 584
峰数目 Peak number	$k_1$	31.3	33.3	34.0		
	$K_2$	34.7	34.3	34.0		
	$K_3$	36.7	35.0	34.7		
	R	5.3	1.7	0.7		
总峰面积 Total peak area	$k_1$	126 116 717.7	131 085 347.7	132 551 282.3		
	$k_1$	138 382 896.3	136 616 487.7	134 618 079.0		
	$k_1$	139 338 570.0	136 136 348.7	136 668 822.7		
	R	13 221 852.3	5 531 140.0	4 117 540.3		

由表1可知,当以峰数目为萃取效果考察指标时,较优组合为  $A_3B_2C_1$ ,从极差可知,3个因素对萃取效果的影响程度为  $A > B > C$ ,即在选定范围内萃取时间较解吸时间和平衡时间影响要大得多;当以总峰面积为考察指标时,较优组合为  $A_2B_2C_3$ ,从极差可知,3个因素对萃取效果的影响大小同样为  $A > B > C$ 。由此可以看出,萃取时间对峰数目和峰面积影响均较大。结合单因素试验结果,综合考虑最终确定 HS-SPME 法萃取薰衣草挥发性成分的较优

组合为  $A_2B_2C_2$ ,即:萃取时间 60 min、解吸时间 5 min、平衡时间 20 min。

### 2.2 HS-SPME-GC-MS 法的结果与分析

按照“2.1”得到的 HS-SPME 条件对薰衣草挥发性成分进行萃取并通过 GC-MS 进行检测,另外采用 SD 法,按照上述条件对同一样品进行提取,并采用同样的气相色谱-质谱条件进行分析,所得的总离子流图见图2。

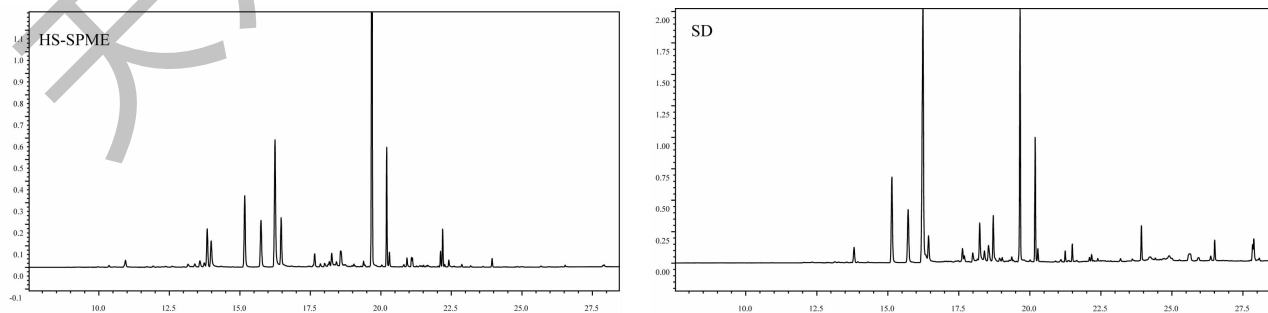


图2 薰衣草挥发性物质总离子流图

Fig. 2 TIC of volatile aromatic substances in *L. angustifolia* samples

按照“1.5”分析方法对采集数据进行谱库检索,根据谱库检索结果,结合参考文献的化合物信息进行人工图谱解析对薰衣草的香气成分进行了鉴

定,再利用面积归一化法得到各组分的百分含量,结果见表2。

表2 两种方法所得薰衣草挥发性成分

Table 2 Comparison of volatile components of *L. angustifolia* obtained by SPME and SD

序号 No.	化合物 Compound	保留时间 Retention time(min)	分子式 Molecular formula	相对百分含量 Relative content(%)	
				SPME	SD
1	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	10.360	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.15	-
2	莰烯 Camphene	10.944	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.74	-
3	乙酸乙酯 Hexyl acetate	13.161	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.31	-
4	伞花烃 Cymene	13.404	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.27	-
5	$\beta$ -伞花烃 $\beta$ -Cymene	13.583	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.64	-
6	右旋柠檬烯 D-Limonene	13.737	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.38	-
7	桉树脑 Cineole	13.843	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	3.61	1.49
8	薰衣草内酯 Lavender lactone	13.984	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	2.81	-
9	氧化芳樟醇 Linalool oxide	15.173	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	7.06	8.64
10	反-氧化芳樟醇 trans-Linalool oxide	15.749	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	5.05	5.70
11	芳樟醇 Linalool	16.247	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	13.37	30.49
12	乙酸-1-辛烯-3-醇酯 1-Pentylallyl acetate	16.425	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	4.33	2.61
13	樟脑 Camphor	17.653	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1.20	1.11
14	橙花醚 Nerol oxide	17.694	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	-	0.48
15	薰衣草醇 Lavandulol	17.990	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-	1.01
16	反-吡喃氧化芳樟醇 trans-Pyranoïd linalool oxide	18.172	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.20	-
17	龙脑 Borneol	18.257	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.26	4.02
18	4-松油醇 4-Terpineol	18.425	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.49	1.28
19	异丙基环己烯酮 Cryptone	18.541	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	1.84	2.02
20	$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	18.712	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-	4.24
21	优香芹酮 Eucarvone	19.046	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.14	-
22	甲酸龙脑酯 Bornyl formate	19.386	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.42	0.38
23	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	19.685	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	40.86	17.59
24	1,6-二氢香芹烯醇 1,6-Dihydrocarveol	20.009	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.14	0.13
25	乙酸薰衣草酯 Lavandulyl acetate	20.206	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	7.19	8.01
26	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	20.302	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.98	0.88
27	异蒲勒醇 Isopulegol	21.086	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.61	-
28	反式氧化柠檬烯 trans-Limonene oxide	21.120	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.47	-
29	橙花醇乙酸酯 Neryl acetate	21.244	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	-	0.70
30	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	21.494	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.09	1.16
31	$\alpha$ -檀香烯 $\alpha$ -Santalene	22.089	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.99	0.28
32	石竹烯 Caryophyllene	22.162	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	2.43	0.45
33	顺- $\alpha$ -香柑油烯 cis- $\alpha$ -Bergamotene	22.234	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.17	0.04
34	$\beta$ -倍半水芹烯 $\beta$ -Sesquiphellandrene	22.390	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.49	0.17
35	吉玛烯 Germacrene	22.871	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.18	-

续表 2 (Continued Tab. 2)

序号 No.	化合物 Compound	保留时间 Retention time(min)	分子式 Molecular formula	相对百分含量 Relative content (%)	
				SPME	SD
36	对檀香醇 Teresantalol	23.181	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.08	0.23
37	氧化石竹烯 Caryophyllene oxide	23.927	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	0.57	2.46
38	T-杜松醇 T-Cadinol	24.415	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	-	0.15
39	棕榈酸甲酯 Methyl palmitate	26.533	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.10	1.37

HS-SPME 法鉴定出 34 种化学成分,分别为 10 种酯类化合物 (57.09%)、8 种醇类化合物 (27.00%)、12 种烯炔类化合物 (7.48%)、5 种其他种类化合物 (8.05%)。其中,乙酸芳樟酯的含量最高,占挥发性物质总量的 40.86%,其次为芳樟醇 (13.37%) 等。

SD 法鉴定出 27 种化学成分,分别为 8 种酯类化合物 (32.70%)、9 种醇类化合物 (51.87%)、5 种烯炔类化合物 (3.40%)、6 种其他种类化合物 (9.12%)。其中,芳樟醇的含量最高,占挥发性物质总量的 30.49%,其次为乙酸芳樟酯 (17.59%) 等。

经比较发现,HS-SPME 法与 SD 法两种方法得出的薰衣草挥发性成分无论在化学组成还是在组分的相对含量上都存在较大的差异。两种方法共鉴定出 39 种化学成分,共有成分为 22 种。这可能是由于 HS-SPME 法提取温度低,加热时间短,对一些低分子量、高挥发性物质有较强的富集作用,组分不易被破坏<sup>[27]</sup>。而传统的 SD 法样品用量大,浸泡和提取时间长,加热温度高,所以提取的挥发油组分沸点较高,但这可能会使部分沸点低、挥发性强的组分流失,一些组分甚至发生分解或变性,易破坏薰衣草原有的香气成分<sup>[28]</sup>。由此可知,HS-SPME 法对一些低沸点的萜烯类和小极性化合物有较好的选择性;SD 法更适合分析高沸点的酯类及大极性的醇类等化合物。

### 3 结论

本实验通过单因素试验和正交试验优化了 HS-SPME 法萃取自然状态下薰衣草挥发性成分的条件,即:50/30 μm CAR/DVB/PDMS 萃取头、1.0 g 样品、萃取时间 60 min、平衡时间 20 min 以及解吸时间 5 min。在该优化条件下,鉴定出 34 种组分,含量最高的组分为乙酸芳樟酯。比较 HS-SPME 法和 SD 法所得挥发性成分的共性和差异。结果显示,二者的组分种类及含量差异较大,共鉴定出 39 种化

物,有 22 种共同组分。其中,HS-SPME 法提取物中低沸点、易挥发的萜烯类化合物较多,SD 法提取物中酯类及大极性的醇类化合物较多。因此,两种方法不可相互替代,结合 2 种方法共同分析薰衣草的挥发性成分能够得到更加全面的信息。本研究为薰衣草品种品质快速鉴定、质量评价及探索合理的利用方式提供了理论依据。

### 参考文献

- 1 Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China; Volume 65, Volume 2 (中国植物志:第六十五卷 第二分册) [M]. Beijing: Science Press, 1977.
- 2 Yang Y, Huang SX, Zhao YM, et al. Chemical compositions of essential oils extracted from two cultivars of *Lavandula* spp. grown in Yunnan [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2014, 26: 544-549.
- 3 Chen Y, Shi YG, Li CY, et al. Comparative study on flowers of *Lavandula angustifolia* Mill. and *Lavandula dentata* L. [J]. North Pharm J (西北药学杂志), 2017, 32: 541-544.
- 4 Xu P, Wang KZ, Lu C, et al. Research progress on neurological activities of *Lavandula angustifolia* [J]. Drug Clin (现代药物与临床), 2015, 30: 1298-1302.
- 5 Zhou GL, Song XL, Wang ZW, et al. Study on anti proliferation effect of essential oil from the lavender on HepG2 cells [J]. Food Ind Sci Technol (食品工业科技), 2013, 34: 158-160.
- 6 Ebrahimi H, Mardani A, Basirinezhad MH, et al. The effects of lavender and chamomile essential oil inhalation aromatherapy on depression, anxiety and stress in older community-dwelling people: a randomized controlled trial [J]. Explore, 2021. DOI:10.1016/j.explore.2020.12.012.
- 7 Rivaz M, Rahpeima M, Khademian Z, et al. The effects of aromatherapy massage with lavender essential oil on neuropathic pain and quality of life in diabetic patients: a randomized clinical trial [J]. Complement Ther Clin, 2021, 44: 101430.
- 8 Tong H, Tang J, Zhang ZF, et al. Study on the research development of lavender and its essential oil [J]. Flav Frag Cosm

- (香料香精化妆品),2013(6):55-58.
- 9 Xiao ZC, Zhang WM, Zhang GL, et al. Development of *Lavandula* L. and their benefits to human health[J]. Chin Wild Plant Res(中国野生植物资源),2015,34(2):63-66.
  - 10 Wang Q, Shi YG, Xu F, et al. Comparative analysis on compositions of essential oil extracted from different parts of *Lavandula angustifolia* grown in Xinjiang[J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志),2013,33:404-408.
  - 11 Tang SY, Shen QP, Liu CB, et al. Determination of volatile chemical components in lavender by supercritical fluid extraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Acta Agr Jiangxi(江西农业学报),2018,30(3):106-111.
  - 12 Tong H, Tang J. Analysis of volatile components from lavender by three different methods[J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2014,20(16):100-105.
  - 13 Xu JH, Kong H, Wen SW, et al. Study on composition of phytoncider from *Lavandula angustifolia* Mill. at room temperature[J]. Chem Ind Forest Prod(林产化学与工业),2010,30(1):81-84.
  - 14 Zhao J, Tang J, Chen ZH, et al. Identification of chemical constituents and discrimination markers in lavender by HS-SPME-GC/MS[J]. J Chin Mass Spectr Soc(质谱学报),2016,37:517-525.
  - 15 Chen GT, Zuo SR, Cao XQ, et al. Determination of aroma components of lavender by purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry[J]. J Anhui Agr Sci(安徽农业科学),2019,47:191-193.
  - 16 Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Vol IV(中华人民共和国药典:第四部)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015:2204.
  - 17 Zhang XJ, Zhao ZH, Zhang ZL, et al. Methods optimization about analyze volatile constituents from *Artemisiae Argyi* Folium by HS-SPME-GC-MS[J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2014,20(21):66-71.
  - 18 Xie Q, Xu L, Zhang QH, et al. Headspace solid phase microextraction of volatile flavor components from rapeseed oil[J]. Food Sci(食品科学),2013,34(12):281-285.
  - 19 Zhang PY, Guan W, Li R, et al. Comparison of volatile components from *Flos Lonicerae* extracted by headspace solid phase microextraction and steam distillation[J]. Food Sci(食品科学),2020,41(4):178-184.
  - 20 Fan YH, Liu J, Wang ZX, et al. Comparison of volatile components from *Curcuma longa* extracted by headspace solid-phase microextraction and steam distillation[J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志),2012,32:1787-1792.
  - 21 Tang JG, Ling N, Yang XJ, et al. Analysis of volatile constituents from poplar leaves by gas chromatography/mass spectrometry with solid-phase microextraction[J]. J Fujian Agr Fore Univ: Nat Sci(福建农林大学学报:自科版),2010,39(2):150-153.
  - 22 Angerosa F, Servili M, Selvaggini R, et al. Volatile compounds in virgin olive oil: occurrence and their relationship with the quality[J]. J Chromatogr A,2004,1054(1):17-31.
  - 23 Tankiewicz M, Morrison C, Biziuk M. Application and optimization of headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-flame-ionization detector (GC-FID) to determine products of the petroleum industry in aqueous samples[J]. Microchem J,2013,8:117-123.
  - 24 Chu Z, Wang HR, Zhang YJ, et al. GC-MS Analysis of volatiles in vanilla husk extracted by headspace solid-phase microextraction[J]. Food Sci(食品科学),2016,37(6):126-131.
  - 25 Bai JY, Huang RH, Lu YM, et al. Optimization of headspace solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry conditions of volatile flavor from *Feijoa sellowiana* leaves[J]. Chin J Chrom(色谱),2016,34:778-782.
  - 26 Wen CQ, Zhou Q, Liu WY, et al. Optimization of headspace solid phase microextraction(HS-SPME) for analysis of volatile constituents of flaxseed oil from Xinjiang by gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS)[J]. Food Sci(食品科学),2017,38(14):151-157.
  - 27 Lin L, Zhuang M, Lei F, et al. GC/MS analysis of volatiles obtained by headspace solid-phase microextraction and simultaneous-distillation extraction from *Rabdosia serra* (Maxim.) Hara leaf and stem[J]. Food Chem,2013,136:555-562.
  - 28 Huang JL, Lu JQ, Xiao YS, et al. Analysis of volatile components of *Sarcandra glabra* by HS-SPME and SD combined with GC-MS[J]. Chin J Hosp Pharm(中国医院药学杂志),2018,38:1073-1076.