

基于 HS-SPME-GC-MS 的薰衣草不同部位挥发性成分分析

Analysis of volatile components in different parts of lavender based on HS-SPME-GC-MS

陈国通^{1,2} 芦云³ 马萍萍⁴ 范蕊² 杨中² 曹续²

CHEN Guo-tong^{1,2} LU Yun³ MA Ping-ping⁴ FAN Rui² YANG Zhong² CAO Xu²

(1. 新疆师范大学化学化工学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆维吾尔自治区新疆
分析测试研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 新疆师范高等专科学校, 新疆
乌鲁木齐 830043; 4. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang
830054, China; 2. Xinjiang Institute of Analysis and Testing, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
3. Xinjiang Normal College, Urumqi, Xinjiang 830043, China; 4. College of Food Science and
Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

摘要:目的: 获得薰衣草不同部位在自然状态下的挥发性成分。方法: 采用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, 在最优条件下对代表性薰衣草品种法国蓝的根、茎、叶、花各部位的挥发性成分进行分析。结果: HS-SPME 法的优化条件为萃取时间 70 min、平衡时间 25 min、解吸时间 5 min。该条件下, 薰衣草各部位共鉴定出 36 种化学成分, 其中各部位共有化合物 6 种。结论: 薰衣草不同部位的挥发性成分含量差别较大, 其中花部位的含量较多, 叶次之, 茎与根的相对较少。花和茎中的酯类化合物含量突出; 根和叶中的烯烃类物质含量较突出。

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

Abstract: Objective: This study aimed to obtain the volatile components of different parts of lavender in natural condition and provide theoretical basis for quality evaluation and rational utilization of lavender varieties. **Methods:** Orthogonal experiment was used to optimize the headspace solid phase microextraction (HS-SPME-GC-MS) conditions, and the volatile components of the

root, stem, leaf and flower of the representative lavender species France blue were analyzed under the optimal conditions. **Results:** The optimal conditions of HS-SPME were extraction time 60 min, equilibrium time 20 min and desorption time 5 min. Under the control of these conditions, a total of 36 chemical components were identified from different parts of lavender, among which 6 compounds were identified from each part. **Conclusion:** The content of volatile components in different parts of lavender varies greatly, among which the content of volatile components in flower parts is higher than that in leaf, and the content of volatile components in stem and root is the least. The contents of ester compounds in flowers and stems were prominent. The contents of olefin in roots and leaves were more prominent.

Keywords: lavender; volatile components; headspace solid phase micro extraction; GC-MS

薰衣草(Lavender)是唇形科多年生亚灌木, 有着悠久的种植和应用历史^[1], 因具有浓郁温和的香味, 无毒副作用, 作为重要的香料原料被广泛用于调制化妆品、皂用香精等^[2-3]。作为药用植物, 薰衣草具有镇静助眠、抑制肿瘤、抗菌、抗炎、抗氧化等作用^[4-7]。同时薰衣草花茶饮料具有良好的抗氧化活性, 可以清除体内自由基, 预防疾病, 抵抗衰老^[8-9]。随着薰衣草应用范围的扩大, 人们对薰衣草的栽培技术、精油提取、化学成分分析及应用等方面进行了广泛研究^[10-11]。

由于挥发性成分含量不同, 不同种类的薰衣草有不同的用途^[2]。目前有关薰衣草挥发性成分的研究主要集

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(编号: 2022D01A113); 新疆维吾尔自治区科技支疆项目(编号: 2020E02122); 新疆维吾尔自治区天山创新团队计划项目(编号: 202110498)

作者简介: 陈国通, 男, 新疆师范大学副研究员, 在读博士。

通信作者: 芦云(1978—), 女, 新疆师范高等专科学校副教授, 硕士。E-mail: 2456838714@qq.com

收稿日期: 2021-11-02

中在薰衣草精油上,其主要提取方法有水蒸气蒸馏法^[12]和超临界 CO₂ 萃取法^[13],但两者均存在样本消耗大、耗时长、成本高等缺点。随着分析技术的发展,薰衣草中挥发性成分的直接测定越来越受到重视^[14-15],如顶空固相微萃取(HS-SPME)^[16]、吹扫捕集(P&T)^[17]等分析方法。这些方法灵敏度高、操作简单、无溶剂污染、可实现在线测定。

研究拟通过单因素试验和正交试验优化顶空固相微萃取法(HS-SPME)提取薰衣草挥发性成分的相关条件,并在最佳条件下分析自然状态下代表性薰衣草品种法国蓝不同部位的挥发性成分,为后续薰衣草的综合利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

薰衣草:法国蓝,新疆伊犁盛花期薰衣草;

试验用水均为一级水。

1.1.2 主要仪器设备

手动固相微萃取装置:57330-U 型,美国 Supelco 公司;

萃取头:50/30 μm CAR/DVB/PDMS 型,美国 Supelco 公司;

植物样品粉碎机:FW80 型,北京市永光明仪器公司;

电子天平:BSA124S 型,德国 Sartorius 公司;

气相色谱质谱联用仪:GCMS-QP2010Plus 型,日本岛津公司;

色谱柱:HP-5MS 型(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm),美国 Agilent 公司。

1.2 方法

1.2.1 供试植物预处理 将薰衣草各部位阴干后,用植物样品粉碎机粉碎,分别取一定量样品置于顶空样品瓶中,密封。

1.2.2 固相微萃取 根据文献^[18]并修改。将处理后的 1.0 g 薰衣草各部位样品分别置于 4 个 25 mL 顶空瓶中压盖密封,室温下平衡 20 min,将老化的萃取头插入顶空瓶中样品上方,将纤维头推出。萃取 60 min 后插入气相色谱进样口,250 $^{\circ}\text{C}$ 下热解吸 5 min。首次使用前,需将萃取头于 270 $^{\circ}\text{C}$ 老化 0.5 h,后续使用前,萃取头仍需在温度下老化处理 5~10 min,确保萃取头能够在高温下解吸残余挥发性成分,避免对后续待测样品造成干扰。

1.2.3 GC-MS 检测条件及定性定量分析

(1) GC 条件:进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;柱温箱升温程序为初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 100 $^{\circ}\text{C}$,平衡 1 min,以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 260 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min;载气为 99.999% 氮气;载气流速 1 mL/min;分流比 15:1。

(2) MS 条件:电子轰击(EI)离子源;电子能量

70 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;接口温度 270 $^{\circ}\text{C}$;电子倍增器电压 350 V;全扫描方式;扫描范围(m/z)45~450。

(3) 采用 GCMS-solution 2.7.1 化学工作站对采集的数据进行处理,并使用 NIST14 版谱库对各组分峰进行图库检索;保留匹配度 $>85\%$ 的化合物。通过手动色谱分析确定化合物名称。采用面积归一化法进行定量分析,计算各组分相对含量。

1.2.4 单因素试验 以薰衣草花为试验对象,选取 50/30 μm CAR/DVB/PDMS 规格的萃取头,对平衡时间、萃取时间、解吸时间三因素进行试验,分析各因素对色谱图峰数目与总面积的影响。

1.2.5 正交试验 在单因素试验基础上,选择解吸时间、萃取时间和平衡时间为影响因素,采用 L₉(3³)正交表进行三因素三水平正交试验,以总峰面积为萃取效果考察指标优化试验参数。

1.2.6 样品分析 根据正交试验分析得到的最佳萃取条件对薰衣草不同部位样品进行试验,并对结果进行分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 萃取头的选择 根据萃取头的组成材料特性并结合文献^[19],50/30 μm 复合涂层 CAR/DVB/PDMS 萃取头更适合于进行大范围的挥发性成分分析,故采用 CAR/DVB/PDMS 复合涂层萃取头。

2.1.2 萃取温度的选择 根据文献^[20],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,一般温度为 60~70 $^{\circ}\text{C}$ 时得到的组分数与峰面积均达到最大值,可能是由于随着温度的升高,部分沸点相对较高的组分会从样本中释放,当温度过高时,低沸点组分在竞争吸附中处于劣势,导致部分流失^[21]。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,但试验是为了探究薰衣草不同部位在自然状态下的挥发性成分,故选择在室温下对薰衣草进行萃取。

2.1.3 萃取时间的选择 由图 1 可知,随着萃取时间的延长,挥发性成分的峰数和总峰面积先增加后趋于平衡,并在 60 min 时达到最大值。这可能是因为萃取时间较短时挥发性物质在萃取头上吸附不饱和,当萃取时间继续延长至超过 60 min 后,萃取头上吸附的物质与气体中游离的挥发性成分形成动态平衡^[22-24]。综合来看,萃取时间设为 60 min。

2.1.4 解吸时间的选择 由图 2 可知,当解吸时间为 3~5 min 时,挥发性成分的峰面积和数量均较少且呈递增趋势,当萃取时间 >5 min 时,挥发性成分的峰数目和峰面积均呈稳定趋势,说明萃取时间为 5 min 时萃取头上吸附的挥发性物质已解吸完全。解吸时间太长也会造成萃取头涂层受损进而影响其寿命^[25-26],因此,选择 5 min 为最

佳萃取时间。

2.1.5 平衡时间的选择 由图 3 可知,当平衡时间为 10~30 min 时,挥发性成分的总峰面积和峰数均随平衡时间的延长呈上升趋势,但是变化平缓,说明平衡时间对萃取效果影响不大,综合考虑,选择平衡时间为 20 min。

2.2 正交试验

综合单因素试验结果,以萃取时间、解吸时间和平衡时间为影响因素,采用 $L_9(3^3)$ 正交表进行三因素三水平

正交试验,以总峰面积为响应值优化试验参数,因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal experiment factor level

水平	A 萃取时间/min	B 解吸时间/min	C 平衡时间/min
1	50	4	15
2	60	5	20
3	70	6	25

表 2 正交试验设计及结果

Table 2 Results and analysis of orthogonal array experiments

试验号	A	B	C	总峰面积
1	1	1	1	118 672 934
2	1	2	2	129 785 435
3	1	3	3	129 891 784
4	2	1	2	135 056 218
5	2	2	3	140 587 793
6	2	3	1	139 504 678
7	3	1	3	139 526 891
8	3	2	1	139 476 235
9	3	3	2	139 012 584
k_1	126 116 717.7	131 085 347.7	132 551 282.3	
k_2	138 382 896.3	136 616 487.7	134 618 079.0	
k_3	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	

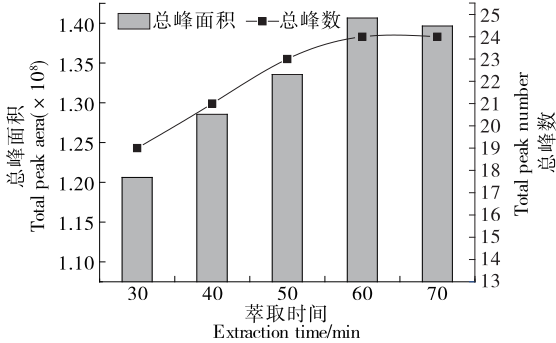


图 1 不同萃取时间下薰衣草花挥发性成分的变化

Figure 1 Changes of volatile components in lavender flowers under different extraction times

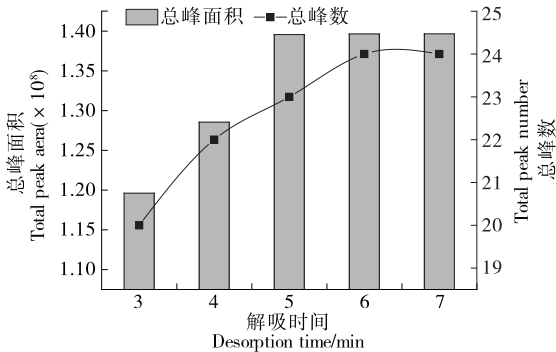


图 2 不同解吸时间下薰衣草花挥发性成分的变化

Figure 2 Changes of volatile components in lavender flowers under different desorption times

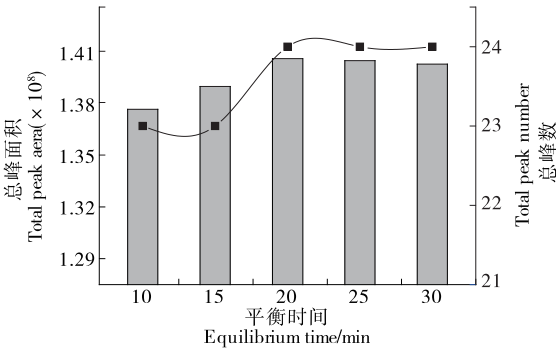


图 3 不同平衡时间下薰衣草花挥发性成分的变化

Figure 3 Changes of volatile components in lavender flowers under different equilibrium times

由表 2 可知,各因素对萃取效果影响程度为萃取时间>解吸时间>平衡时间,与文献[23]报道结果一致。根据极差结果并结合单因素试验和节能降耗等方面考虑,得出 HS-SPME 法提取薰衣草花挥发性成分的最佳工艺条件为 $A_3B_2C_3$,即萃取时间 70 min,解吸时间 5 min,平衡时间 25 min。

为确证该工艺的优劣和稳定性,将所筛选的最佳工艺条件进行 3 次平行验证实验,测得挥发性成分的总峰面积分别为 140 715 392,140 716 418,140 715 910,提取效果较好且方法稳定可行。

2.3 薰衣草不同部位挥发性成分含量

对薰衣草根、茎、叶、花 4 个部位的挥发性成分进行测定,总离子流图见图 4。利用面积归一法计算挥发性成分相对含量,结果见表 3。

由表 3 可知,薰衣草不同部位的挥发性成分差异较大。其中挥发性成分相对含量在花中较多,叶次之,茎与根中较少,与文献[12]报道一致。薰衣草各部位共鉴定出 36 种挥发性成分,其中烃类 16 种,醇类 9 种,酮类 2 种,酯类 9 种。根、茎、叶、花中共有化合物 6 种,分别占

总挥发性成分相对含量的 60.15%, 38.52%, 54.56%, 32.77%。

王强等^[12]通过 HS-SPME 法研究了薰衣草茎、叶、花中的挥发性成分,在花和茎中检出含量较高的挥发性成

分除芳樟醇和乙酸芳樟酯外还有柠檬烯二氧化物等,可能是该法采用的萃取温度为 70 ℃,因此一些高沸点化合物含量会相对偏高。在自然状态下萃取,薰衣草根中也检出较多的挥发性成分,其中柠檬烯和桉树脑这两种成

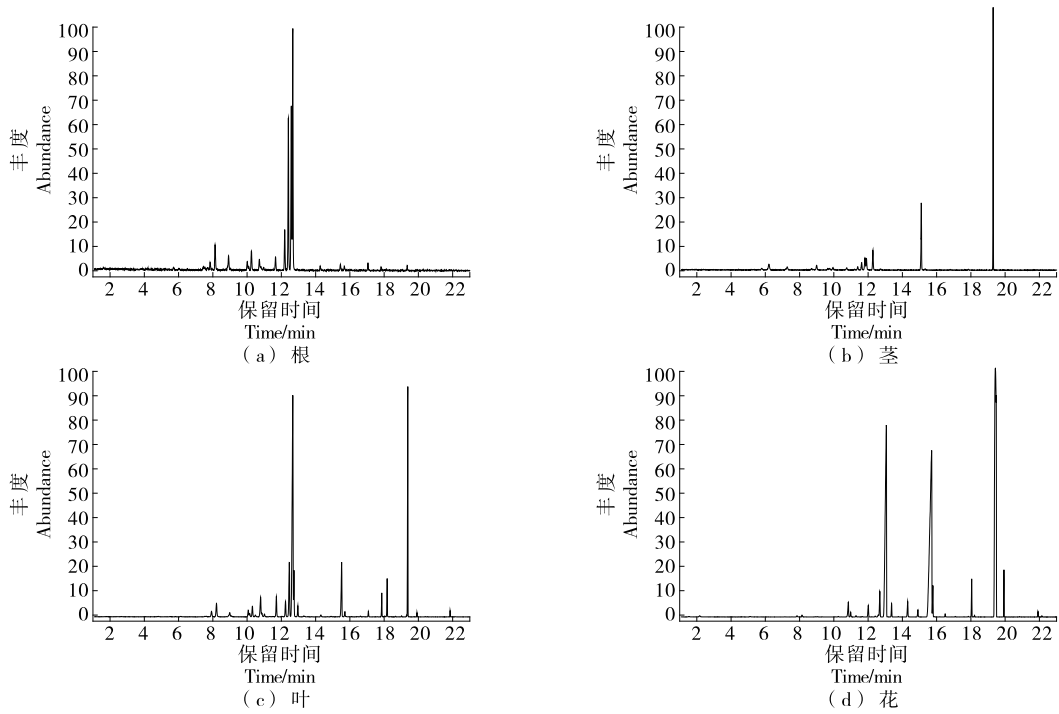


图 4 薰衣草各部位挥发性成分总离子流图

Figure 4 Total ion chromatogram in different parts of lavender

表 3 薰衣草不同部位挥发性成分相对含量[†]

Table 3 Analysis results of volatile components in different parts of lavender %

化合物名称	根	茎	叶	花	化合物名称	根	茎	叶	花
乙酸丁酯	—	—	—	0.06	柠檬烯	23.56	5.38	38.18	0.14
甲酸己酯	—	—	—	0.13	桉树脑	29.23	4.63	4.61	1.50
己醇	—	—	—	0.06	反式 β -罗勒烯	—	7.31	—	22.39
丙酸丁酯	—	—	—	0.01	α -罗勒烯	—	—	—	0.64
α -水芹烯	—	—	0.93	—	顺式芳樟醇氧化物	0.62	—	0.30	0.92
α -蒎烯	1.32	3.45	2.27	0.10	反式芳樟醇氧化物	—	—	0.07	0.39
<i>L</i> - α -蒎烯	4.18	—	—	0.14	芳樟醇	1.00	22.14	7.43	29.98
茨烯	2.96	1.95	0.87	—	乙酸反式-2-庚酯	—	—	0.57	—
β -蒎烯	3.32	2.13	1.58	0.03	辛烯	—	—	—	0.01
戊基乙烯基酮	—	—	0.26	—	庚醇	—	—	0.56	0.03
松茸醇	—	—	3.28	—	异龙脑	—	—	2.03	—
3-辛酮	1.72	0.79	0.49	1.02	4-松油醇	—	—	—	1.58
β -月桂烯	—	1.05	0.39	0.26	己基丁酯	—	—	—	0.05
丁酸丁酯	—	—	—	0.09	乙酸芳樟酯	—	44.96	18.18	36.18
β -罗勒烯	2.02	0.95	2.57	—	乙酸橙花酯	—	—	0.27	1.37
乙酸己酯	—	—	—	0.75	广藿香烷	—	—	0.37	—
波斯菊萜	5.99	3.09	2.09	—	1,9-癸二炔	—	—	—	0.16
<i>o</i> -伞花烃	19.35	—	7.84	—	<i>E</i> - β -法尼烯	—	—	—	0.04

[†] “—”表示未检出。

分含量较多。薰衣草茎和花中含量较多的成分为芳樟醇和乙酸芳樟酯。薰衣草叶中除芳樟醇和乙酸芳樟酯外,含量最高的为柠檬烯。

由表 4 可知,薰衣草不同部位的挥发性成分在种类和数量上差异较大。其中,花和茎中酯类化合物含量突出,根和叶中烯烃类物质较突出。王新玲等^[27]采用传统水蒸气蒸馏(SD)法对薰衣草不同部位中挥发油化学成分进行分析,与试验通过 SPME 法提取物的组分种类及含

量差异较大,可能是因为 HS-SPME 法是在常温下进行提取,对一些分子质量低、较易挥发物质有较强的吸附作用。而 SD 法前处理温度较高,可能会造成强挥发性成分损失,一些不稳定化合物分解。因此,HS-SPME 法前处理过程相对简单,在分析过程中不会造成强挥发性成分的损失,更能真实地反映样品挥发性成分的原始组成,而 SD 法更适合分析高沸点的酯类及大极性的醇类等化合物。

表 4 薰衣草不同部位中各类挥发性成分相对含量及数量

Table 4 Various volatile components and quantities in different parts of lavender

部位	烯烃类		醇类		酯类		酮类	
	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量
根	62.70	8	30.85	3	0.00	0	1.72	1
茎	25.31	8	26.77	2	44.96	1	0.79	1
叶	57.09	10	18.28	7	19.02	3	0.75	2
花	23.91	10	34.46	7	38.64	8	1.02	1

3 结论

优化了顶空固相萃取—气相色谱法提取薰衣草挥发性成分的条件:50/30 μm CAR/DVB/PDMS 萃取头、1.0 g 样品、萃取时间 70 min,解吸时间 5 min,平衡时间 25 min,在此优化条件下对薰衣草各部位自然状态下的挥发性成分进行分析。结果表明,薰衣草中各部位挥发性成分的种类和含量差异较大,各部位共鉴定出 36 种挥发性成分,其中共有化合物 6 种。花和茎中的酯类化合物含量突出,根和叶中的烯烃类物质较突出。各部位化合物共同影响,相互转换,其转化作用机制与规律还有待进一步研究。

参考文献

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第六十五卷: 第二分册[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 248-250.
Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Volume 65: Volume 2[M]. Beijing: Science Press, 1977: 248-250.

[2] 廖祯妮, 黄青, 程启明, 等. 云南两个薰衣草品种精油分析[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(4): 544-549.
LIAO Zhen-ni, HUANG Qing, CHENG Qi-ming, et al. Chemical-compositions of essential oils extracted from two cultivars of Lavandula spp. grown in Yunnan[J]. Nat Prod Res Dev, 2014, 26(4): 544-549.

[3] 陈燕, 施玉格, 李晨阳, 等. 狭叶薰衣草花与齿叶薰衣草花的比较研究[J]. 西北药学杂志, 2017, 32(5): 541-544.
CHEN Yan, SHI Yu-ge, LI Chen-yang, et al. Comparative study on flowers of Lavandula angustifolia Mill. and Lavandula dentata L.[J]. North Pharm J, 2017, 32(5): 541-544.

[4] 徐攀, 王克柱, 卢聪, 等. 薰衣草对神经系统药理作用的研究进

展[J]. 现代药物与临床, 2015, 30(10): 1 298-1 302.

XU Pan, WANG Ke-zhu, LU Cong, et al. Research progress on neurological activities of Lavandula angustifolia[J]. Drug & Clin, 2015, 30(10): 1 298-1 302.

[5] 周广亮, 宋晓琳, 王志伟, 等. 薰衣草精油对 HepG2 细胞的抗增殖作用研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 158-160.
ZHOU Guang-liang, SONG Xiao-lin, WANG Zhi-wei, et al. Study on anti proliferation effect of essential oil from the lavender on HepG2 cells[J]. Food Ind Sci Tech, 2013, 34(8): 158-160.

[6] EBRAHIMI H, MARDANI A, BASIRINEZHAD M H, 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, 2022, 18(3): 272-278.

[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]. Complementary Therapies in Clinical Practice, 2021, 44: 101430.

[8] 李紫薇, 张艺, 张月梅, 等. 薰衣草花茶水提物的抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(1): 28-30.
LI Zi-wei, ZHANG Yi, ZHANG Yue-mei, et al. Antioxidant activity of water extracts from lavender tea[J]. Food Research and Development, 2013, 34(1): 28-30.

[9] 裴亚萍. 不同季节薰衣草花精油挥发性香气成分的 GC-MS 分析及在花草茶饮料中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2018(3): 142-147.
PEI Ya-ping. The analysis of volatile compositions of Lavender oil at different seasons by GC-MS and its application in herbal tea beverage[J]. Chin Food Add, 2018(3): 142-147.

[10] 童红, 唐军, 张正方. 薰衣草及其精油的研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2013(6): 55-58.

- TONG Hong, TANG Jun, ZHANG Zheng-fang. Study on there-search development of lavender and its essential oil[J]. Flav Frag Cosm, 2013(6): 55-58.
- [11] 肖正春, 张卫明, 张广伦. 薰衣草的开发利用与人类健康[J]. 中国野生植物资源, 2015, 34(2): 63-66.
- XIAO Zheng-chun, ZHANG Wei-ming, ZHANG Guang-lun. De-velopment of *Lavandula* L. and their benefits to human health[J]. Chin Wild Plant Res, 2015, 34(2): 63-66.
- [12] 王强, 施玉格, 徐芳, 等. 比较研究新疆狭叶薰衣草不同部位挥发油成分[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(3): 404-408.
- WANG Qiang, SHI Yu-ge, XU Fang, et al. Comparative analysis on compositions of essential oil extracted from different parts of *Lavandula angustifolia* grown in Xinjiang[J]. Chin J Pharm Anal, 2013, 33(3): 404-408.
- [13] 唐石云, 申钦鹏, 刘春波, 等. 用超临界流体萃取—气相色谱—质谱法分析薰衣草中挥发性化学成分[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 106-111.
- TANG Shi-yun, SHEN Qin-peng, LIU Chun-bo, et al. Determination of volatile chemical components in lavender by super-critical fluid extraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Acta Agri Jiangxi, 2018, 30(3): 106-111.
- [14] 童红, 唐军. 3 种不同方法提取薰衣草挥发性成分的比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(16): 100-105.
- TONG Hong, TANG Jun. Analysis of volatile components from lavender by three different methods[J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2014, 20(16): 100-105.
- [15] 徐洁华, 孔辉, 文首文, 等. 常温条件下薰衣草精气成分研究[J]. 林产化学与工业, 2010, 30(1): 81-84.
- XU Jie-hua, KONG Hui, WEN Shou-wen, et al. Study on composition of phytoncider from *Lavandula angustifolia* Mill. at room temperature[J]. Chem Ind Forest Prod, 2010, 30(1): 81-84.
- [16] 赵洁, 唐军, 陈兆慧, 等. 薰衣草化学成分分析及差异标志物的识别[J]. 质谱学报, 2016, 37(6): 517-525.
- ZHAO Jie, TANG Jun, CHEN Zhao-hui, et al. Identification of chemical constituents and discrimination markers in lavender by HS-SPME-GC/MS[J]. J Chin Mass Spectr Soc, 2016, 37(6): 517-525.
- [17] 陈国通, 左书瑞, 曹雪琴, 等. 吹扫捕集—气相色谱—质谱法测定薰衣草香气成分[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(2): 191-193.
- CHEN Guo-tong, ZUO Shu-rui, CAO Xue-qin, et al. Determination of aroma components of lavender by purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry[J]. J Anhui Agric Sci, 2019, 47(2): 191-193.
- [18] 赵杨, 程力, 杜庭, 等. 基于 HS-SPME/GC/MS 的姜花不同部位挥发性成分分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 49-53.
- ZHAO Yang, CHENG Li, DU Ting, et al. Analysis on volatile components in different parts of *Hedychium coroarium* by HS-SPME/GC/MS[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 49-53.
- [19] 谢婧, 徐俐, 张秋红, 等. 顶空固相微萃取法提取菜籽油挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 281-285.
- XIE Jing, XU Li, ZHANG Qiu-hong, et al. Headspace solid phase microextraction of volatile flavor components from rapeseed oil[J]. Food Sci, 2013, 34(12): 281-285.
- [20] 张鹏云, 管维, 李蓉, 等. 顶空—固相微萃取法与水蒸气蒸馏法提取山银花挥发性组分的比较[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 178-184.
- ZHANG Peng-yun, GUAN Wei, LI Rong, et al. Comparison of volatile components from flos *Lonicerae* extracted by headspace solid phase microextraction and steam distillation[J]. Food Sci, 2020, 41(4): 178-184.
- [21] ANGEROSA F, SERVILI M, SELVAGGINI R, et al. Volatile compounds in virgin olive oil: Occurrence and their relationship with the quality[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1 054(1): 17-31.
- [22] 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]. Microchemical Journal, 2013, 108: 117-123.
- [23] 初众, 王海茹, 张彦军, 等. HS-SPME-GC-MS 技术分析香草兰果皮的挥发性成分[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 126-131.
- CHU Zhong, WANG Hai-ru, ZHANG Yan-jun, et al. GC-MS analysis of volatiles in vanilla husk extracted by headspace solid-phase microextraction[J]. Food Sci, 2016, 37(6): 126-131.
- [24] 白俊英, 黄仁华, 陆云梅, 等. 顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用分析费约果叶片挥发性香气成分条件优化[J]. 色谱, 2016, 34(8): 778-782.
- BAI Jun-ying, HUANG Ren-hua, LU Yun-mei, 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, 2016, 34(8): 778-782.
- [25] 张鹏云. 六种药食同源物质挥发性成分的 HS-SPME/GC-MS 研究[D]. 广州: 广东药科大学, 2019: 28.
- ZHANG Peng-yun. Study on the volatile components of six medicine and food homology substances by HS-SPME/GC-MC [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2019: 28.
- [26] 张鹏云, 李蓉, 陈丽斯, 等. 顶空固相微萃取—气质联用法结合自动解卷积技术分析葛根中的挥发性成分[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 220-225.
- ZHANG Peng-yun, LI Rong, CHEN Li-si, et al. Analysis of volatile compounds in *pueraria radix* using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) combined with automated mass spectral deconvolution and identification system (AMDIS)[J]. Food Sci, 2019, 40(12): 220-225.
- [27] 王新玲, 热娜·卡斯木, 胡君萍, 等. 薰衣草不同部位中挥发油化学成分的比较[J]. 华西药学杂志, 2010, 25(3): 361-362.
- WANG Xin-ling, KASIMU Re-na, HU Jun-ping, et al. Comparison of chemical components of volatile oils from the different parts of *Lavandula angustifolia* Mill[J]. West Chin J Pharm Sci, 2010, 25(3): 361-362.