

顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析 丁香与肉桂子的香气成分

周天姣¹, 刘军锋², 陈林霖², 尹海龙³, 尹 强³, 咎俊峰^{1*}

(1. 湖北中医药大学药学院, 武汉 430065; 2. 湖北中医药大学中药资源与中药复方教育部重点实验室, 武汉 430065;
3. 新疆维吾尔药业有限责任公司, 乌鲁木齐 830026)

摘 要: 目的 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对天然调味品丁香和肉桂子挥发性成分进行研究, 揭示丁香与肉桂子主要香气成分并比较二者差异。**方法** 样品经 85 °C 加热 30 min, 顶空富集 10 min, 在 250 °C 解析 5 min, 再利用 GC-MS 进行测定, 对丁香与肉桂子产生独特香气的化学成分进行分析, 并用面积归一化法计算各成分的相对百分含量。**结果** 2 种药材共检测到 120 个峰, 共鉴定出 56 种主要成分。从丁香中检测到 60 个峰, 鉴定出 20 种成分, 占总挥发性成分的 98.71%, 其主要成分为 β -石竹烯、丁香酚、 α -律草烯、乙酸丁香酚酯等; 从肉桂子中检测到 60 个峰, 鉴定出 45 种成分, 占总挥发性成分的 97.31%, 其主要成分为肉桂醛、(+)- d -杜松烯、 δ -衣兰油烯、(-)- α -蒎烯、(-)香树烯等。**结论** 虽然丁香和肉桂子的性状、气味相似, 但所含挥发性成分有所差异, 具有 9 种共同香气成分, 其中 β -石竹烯为主要香气成分。丁香中的 α -律草烯和(-)-氧化石竹烯的含量更丰富, 另外 6 种成分均低于肉桂子。研究结果为分析与鉴别丁香和肉桂子的挥发性香气成分提供科学依据。

关键词: 丁香; 肉桂子; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用法

Analysis of aromatic compounds of *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

ZHOU Tian-Jiao¹, LIU Jun-Feng², CHEN Lin-Lin², YIN Hai-Long³, YIN Qiang³, ZAN Jun-Feng^{1*}

(1. College of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China; 2. Key Laboratory of Chinese Medicine Resources and Compound Prescriptions of Ministry of Education, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China; 3. Xinjiang Uyghur Pharmaceutical Co., Ltd., Urumqi 830026, China)

ABSTRACT: Objective To study the volatile components of natural condiments *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS), and reveal the main aroma components of *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* and compare the differences between them. **Methods** Samples were heated at 85 °C for 30 min, enriched in headspace for 10 min, and analyzed

基金项目: 湖北省教育厅青年基金项目(Q20142006)

Fund: Supported by Hubei Provincial Department of Education Youth Fund Project (Q20142006)

*通讯作者: 咎俊峰, 副教授, 主要研究方向为中药及天然产物活性成分研究。E-mail: junfengzan@163.com

*Corresponding author: ZAN Jun-Feng, Associate Professor, College of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China. E-mail: junfengzan@163.com

at 250 °C for 5 min before being used for determination by GC-MS. The chemical components of the unique aroma of *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* were analyzed, and area normalization method was used to calculate the relative percentage content of each component. **Results** A total of 120 peaks were detected in 2 herbal medicines and 56 volatiles were identified. Totally 60 peaks were detected from *Flos caryophyllata* and 20 compounds were identified, accounting for 98.71% of total volatile components. Its main components were β -caryophyllene, eugenol, α -humulene, acetyl eugenol, etc. And 60 peaks were detected from *Fructus cinnamomi* and 45 compounds were identified, accounting for 97.31% of the total volatile components. Its main components were cinnamaldehyde, (+)-*d*-cadinene, δ -muurolene, α -copaene, (-)-alloaromadendrene, etc. **Conclusion** Although *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* have similar characteristics and smells, they contain different volatile components, and they have 9 common aroma components, of which (-)- β -caryophyllene is the main aroma component. The relative content of α -humulene and caryophyllene oxide is much higher in *Flos caryophyllata*, while the content of other 6 components are lower than *Fructus cinnamomi*'s. The results of this study can provide scientific basis for the analysis and identification of volatile aroma components of *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi*.

KEY WORDS: *Flos caryophyllata*; *Fructus cinnamomi*; headspace solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

1 引言

丁香(*Flos caryophyllata*)是桃金娘科植物丁香(*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. Et Perry)的干燥花蕾,原产于坦桑尼亚、马来西亚、印度尼西亚等东非沿岸国家,现我国在广西、海南等地也有栽培^[1]。其味辛、性温,归脾、胃、肺、肾经,有温中降逆,温肾助阳的功效,是一种药食两用的中草药,也是一种名贵的香料^[2]。丁香挥发油为丁香的主要有效成分,现代研究表明丁香具有解热、镇痛、抗菌、抗病毒、抗氧化、抗血栓、抗凝血以及促渗透等多种药理活性^[3,4]。在食品应用中,丁香不仅能作为常用的调味品,还能作为天然食品防腐剂对果蔬^[5]、肉制品^[6]、粮油产品^[7]中的腐败菌产生抑制与杀灭作用。研究发现化学防腐剂可能严重影响人们的身体健康,天然食品防腐剂对人体健康无害且具有一定营养价值^[8]。

肉桂子(*Fructus cinnamomi*)是樟科植物肉桂(*Cinnamomum cassia* Presl)的干燥带宿萼的未成熟果实,与丁香的气味、果柄的外形极为相似,是丁香的常见伪品^[1]。肉桂子又名桂丁香,维吾尔语名为“达尔亲古丽”^[9],除用作卤制品调料外,还是新疆维医常用的药物,具有生干生热、祛寒补心、芳香开窍、温中开胃、增强消化的功效,主治湿寒性或黏液质性心脏和肠胃疾病^[10]。

从目前看,多数文献以分析丁香或肉桂子的药用价值为主,少有探索丁香与肉桂子香气特征的报道。且丁香与其伪品的鉴别仅采用薄层色谱法^[11]与显微鉴别的方法,尚未开展关于两者香气成分比较的实验。丁香与肉桂子均含有丰富的挥发油成分,中药挥发油提取方

法有水蒸气蒸馏法、溶剂提取法、压榨法等,但在提取过程中普遍存在乳化、油水难分离等问题,导致挥发油提取率不高,品质欠佳^[12]。顶空固相微萃取法集采样、萃取、浓缩和进样于一体,具有处理时间短、不使用有机溶剂、能真实反映样品挥发性成分及组成等优点,适合植物的挥发性成分分析^[13]。本研究采用顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)技术,对二者的芳香性物质进行快速萃取分析,以期对未来丁香和肉桂子的鉴别提供支持,同时为这 2 种香料在食品工业应用上的开发利用提供基础数据支撑。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

2.1.1 仪器

手动固相微萃取装置(德国 IKA 公司); Trace GC Ultra-ISQ MS 气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); 100 μ m 聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)萃取纤维头(美国 Supelco 公司); 20 mL 玻璃顶空样品瓶,直径为 20 mm 的 PTFE/蓝色硅胶垫片和铝质密封盖(上海安普公司); AL204 万分之一天平(瑞士 Mettler Toledo 公司); 数显型电子控温固态加热装置(美国 Talboys 公司)。

2.1.2 样品来源

本研究所用的丁香产地为广西桂林,产品批号为 Y1805008。

本研究所用的肉桂子产地为甘肃,产品批号为 Y1812001。

2.2 实验方法

2.2.1 实验样品的预处理

实验样品的处理: 精密称取丁香 0.5149 g, 肉桂子 0.5091 g, 分别置于 20 mL 顶空样品瓶中, 盖上片、铝盖, 压盖密封, 放置备用。

挥发性物质的提取: 取封装备用的供试样品瓶, 85 °C 预平衡 30 min, 插入装有萃取纤维头的手动进样器, SPME 萃取 10 min, 收回萃取纤维头并立即插入气相色谱仪的进样口, 250 °C 解析 5 min。

2.2.2 气相色谱-质谱分析

气相色谱条件: 色谱柱为 TR-5MS 毛细管气相色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 载气: 高纯氦气; 柱流速: 1 mL/min; 程序升温: 起始温度 60 °C, 保持 2 min, 以 4 °C/min 的升温速率升至 120 °C, 保持 3 min, 以 2 °C/min 的升温速率升至 180 °C, 保持 1 min, 再以 20 °C/min 的升温速率升至 260 °C, 保持 3 min; 进样口温度: 250 °C。

质谱检测条件: EI 源; 离子源温度 230 °C; 电离电压 70 eV; 质量扫描范围 40~600 *m/z*。谱库检索: 采用美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)2011 质谱谱库检索。

2.2.3 定性定量分析方法

通过 NIST 2011 质谱数据库检索, 并结合相对保留时间、质谱碎片的人工解析和与文献资料核对, 确定各个相关挥发性成分; 经 Xcalibur 化学工作站数据处理及用面积归一化法从总离子流图中计算各组分相对百分含量。

3 结果与分析

从丁香中检测出 60 种挥发性化学成分, 并鉴定出其中的 20 种, 占总挥发性成分的 98.71%; 从肉桂子中分离出 60 种挥发性化学成分, 并鉴定出其中的 45 种, 占总挥发性成分的 97.31%。具体结果见图 1、图 2 及表 1。

通过表 1 可知丁香与肉桂子的挥发性成分有所不同, 共有的香气成分有 9 种, 分别为(-)- α -萜荜澄茄烯、 β -石竹烯、异喇叭烯、 α -律草烯、 δ -衣兰油烯、 β -芹子烯、 α -芹子烯、(+)-*d*-杜松烯和(-)-氧化石竹烯。它们在丁香中的对应含量为 0.23%、44.18%、0.1%、6.69%、0.3%、0.16%、0.13%、0.74%、1.88%, 占总量的 54.41%; 在肉桂子中的对应含量为 0.16%、9.83%、1.61%、1.52%、9.02%、3.77%、2.11%、13.14%、0.35%, 占总量的 41.51%。对这 9 种成分进一步分析可知, 在丁香挥发性成分中, (-)- α -萜荜澄茄烯、 β -石竹烯、 α -律草烯和(-)-氧化石竹烯的相对百分含量大于在肉桂子中的, 而另外 5 者成分情况相反。丁香与肉桂子气味相似, 都具芳香辛辣的特点^[1], 其中(-)- α -萜荜澄茄烯具有辛香、樟脑味^[14], (+)-*d*-杜松烯具有较强的呈香特性, 呈现出花果香^[15], β -石竹烯有甜香、辛香味^[16], α -律草烯又名 α -石竹烯, 有丁香气、松香气^[17], 氧化石竹烯为清甜偏辛^[18]。

香气活力值(odor activity value, OAV)是指香气成分的浓度与该成分阈值的比值, 若香气值大于 1, 则表示这种成分对果实的香气起着直接作用, 若香气值小于 1, 则说明嗅觉器官对这种成分的香气无感觉, 且数值越大其对香气的贡献程度越高^[17]。在丁香与肉桂子中, β -石竹烯的含量均为高值, 其阈值为 0.064 mg/kg^[19], 在丁香中的 OAV 值为 69031, 肉桂子中的 OAV 值为 15359, 说明 β -石竹烯对丁香与肉桂子的香气贡献很大。二者香气成分含量的差异性, 使得其香气浓淡有所差异。

从图 1 和表 1 可知, 丁香挥发性成分中含量最高的是 β -石竹烯(44.18%), 其他依次是丁香酚(28.01%)、乙酸丁香酚酯(12.09%)、 α -律草烯(6.69%)、(-)-氧化石竹烯(1.88%)、(Z, E)- α -金合欢烯(1.26%)、氧化别香橙烯(0.90%)等。在日常生活中 β -石竹烯作为香料已经被应用于化妆品和食品添加剂中^[20]。其性状为无色至微黄油状液体, 具有淡的丁香似香味。药理研究表明 β -石竹烯具有局部麻醉、治疗结肠炎^[21]、抗癌、镇痛、神经保护和防治肝损伤等作用, 且安全性较高, 具有较高的保健和医疗应用价值^[22]。丁香酚作为一种天然香料, 具有抑制细菌生长^[23]、抗炎作用^[24], 被广泛应用于食品保鲜、矫味、膳食补充中。丁香酚具有强烈丁香与辛香气, 阈值为 6~30 μg/kg^[25], 在丁香中的 OAV 值为 93367~466833, 为丁香香气主要贡献成分之一。

从图 2 和表 1 可知, 肉桂子鉴定出的成分中含量最高的是(+)-*d*-杜松烯(13.14%), 其他依次是肉桂醛(12.66%)、 β -石竹烯(9.83%)、 δ -衣兰油烯(9.02%)、(-)- α -蒎烯(8.83%)、香树烯(5.58%)、(+)- γ -杜松烯(4.61%)、 α -衣兰油烯(3.99%)、 β -芹子烯(3.77%)、兰烯(3.00%)等。其中肉桂醛具有浓郁持久的桂皮油香味^[26], 为 GB 2760-2011 规定的允许使用的食品合成香料, 广泛应用于医药、化工及食品工业等领域^[27]。温小礼等^[28]用肉桂醛对实验组香菇进行熏蒸处理后发现, 相比对照组, 实验组各项指标均显示肉桂醛熏蒸处理能有效保持香菇的品质, 起到良好的保鲜效果。(-)- α -蒎烯具有松木香气, 阈值为 0.0022 mg/kg^[16], 在肉桂子中的 OAV 值为 401364, 为肉桂子香气主要贡献成分之一。

4 结论与讨论

本研究利用顶空固相微萃取的高效、快速的特点, 对丁香及其伪品肉桂子的挥发性香气成分进行提取, 通过气相色谱与质谱联用技术分析两者差异。结果发现丁香与肉桂子中香气成分丰富, 主要香气物质有萜烯类、醇类、醛类、酯类、酮类、烷烯烃类。从丁香与肉桂子中检测到 β -石竹烯、 α -律草烯等 9 种共同香气成分, 多数具有明确香气特征, 其中 β -石竹烯香气贡献度较大, 可能是二者气味相似的原因。丁香中的丁香酚阈值极低, OAV 值显著, 为丁香的特征香气成分, 肉桂子中的蒎烯香气贡献度明显, 二者香气成分与含量的差别使得其香气又有所区别。丁香

是一种作用广泛的植物，既可以做药用，又可以做调味剂、除臭剂、麻醉剂等，具有较高的开发与应用价值^[3]。而其伪品肉桂子虽具一定香气，但不具备丁香的功效，故

不可代替丁香的使用。研究结果为分析与鉴别丁香和肉桂子的挥发性香气成分提供科学依据，也可开发丁香与肉桂子的食用价值提供研究思路。

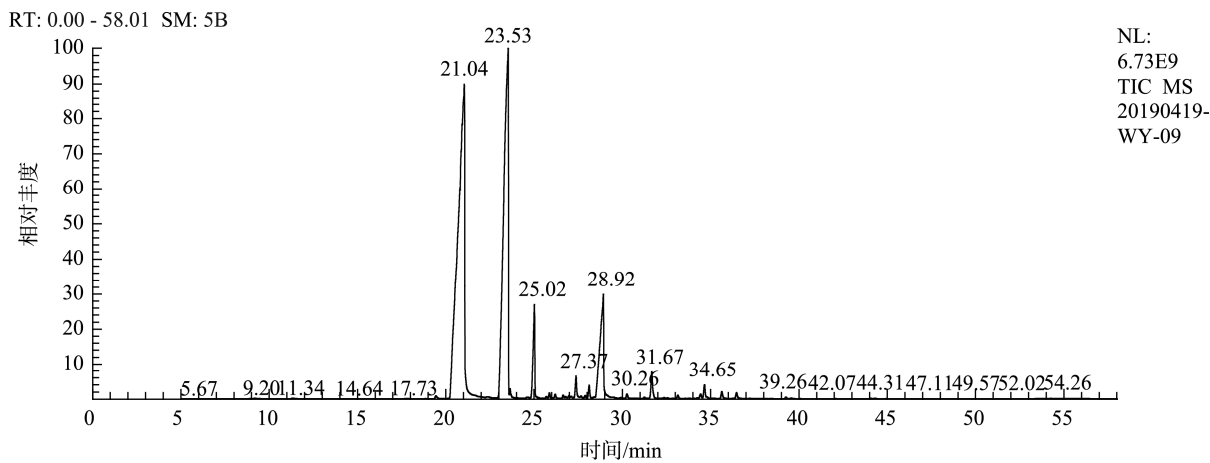


图 1 HS-SPME-GC-MS 分析丁香化学成分总离子流图
Fig.1 Total ion chromatograph of chemical constituents of *Flos caryophyllata* based on HS-SPME-GC-MS analysis

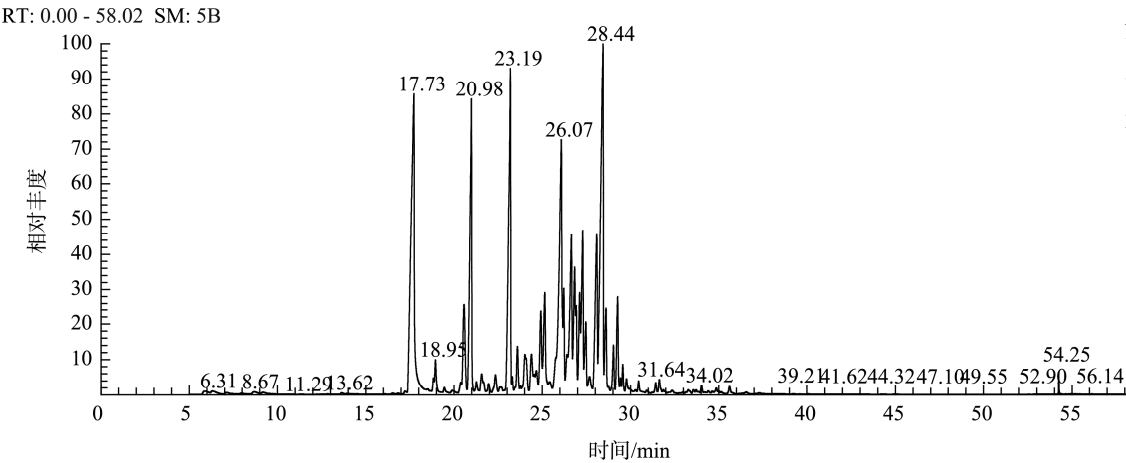


图 2 HS-SPME-GC-MS 分析肉桂子化学成分总离子流图
Fig.2 Total ion chromatograph of chemical constituents of *Fructus cinnamomi* based on HS-SPME-GC-MS analysis

表 1 丁香及肉桂子 HS-SPME-GC-MS 分析结果
Table 1 HS-SPME-GC-MS analysis of volatiles of *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi*

序号	保留时间/min	CAS 号	化合物名称	分子式	相对百分含量/%	
					丁香	肉桂子
1	5.86	80-56-8	2-蒎烯 (α -pinene)	C ₁₀ H ₁₆	-	0.16
2	6.32	79-92-5	莰烯 (camphene)	C ₁₀ H ₁₆	-	0.10
3	8.67	5989-27-5	(+)-柠檬烯 [(+)-limonene]	C ₁₀ H ₁₆	-	0.11
4	17.72	14371-10-9	肉桂醛 (cinnamaldehyde)	C ₉ H ₈ O	-	12.66
5	18.83	3650-28-0	(+)-苜蓿烯 [(+)-sativene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.26
6	18.95	339154-91-5	γ -榄香烯 (γ -elemene)	C ₁₅ H ₂₄	-	0.81

续表 1

序号	保留时间/min	CAS 号	化合物名称	分子式	相对百分含量/%	
					丁香	肉桂子
7	19.44	17699-14-8	(-)- α -萜澄茄烯 [(-)- α -cubebene]	C ₁₅ H ₂₄	0.23	0.16
8	19.89	1137-12vv8	(+)-长叶环烯 [(+)-longicyclene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.10
9	20.37	NA	石竹烯 [caryophyllene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.10
10	20.57	14912-44-8	兰烯 (ylangene)	C ₁₅ H ₂₄	-	3.00
11	20.98	3856-25-5	(-)- α -蒎烯 [(-)- α -copaene]	C ₁₅ H ₂₄	-	8.83
12	21.05	97-53-0	丁香酚 (eugenol)	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	28.01	-
13	21.27	17334-55-3	马兜铃烯 (aristolene)	C ₁₅ H ₂₄	-	0.25
14	21.57	10219-75-7	佛术烯 [eremophilene (7Cl)]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.72
15	21.96	61262-67-7	长叶烯 [longifolene-(v4)]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.25
16	22.35	6831-16-9	(-)-马兜铃烯 [(-)-aristolene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.61
17	22.66	3853-83-6	α -雪松烯 (α -himachalene)	C ₁₅ H ₂₄	-	0.20
18	23.30	18431-82-8	(-)- β -花柏烯 [(-)- β -chamigrene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.16
19	23.52	87-44-5	(-)- β -石竹烯 [(-)- β -caryophyllene]	C ₁₅ H ₂₄	44.18	9.83
20	23.59	13744-15-5	β -萜澄茄烯 (β -cubebene)	C ₁₅ H ₂₄	-	1.21
21	24.38	NA	异喇叭烯 (isolekene)	C ₁₅ H ₂₄	0.10	1.61
22	25.01	6753-98-6	α -律草烯 (α -humulene)	C ₁₅ H ₂₄	6.69	1.52
23	25.14	25246-27-9	(-)-香树烯 [(-)-alloaromadendrene]	C ₁₅ H ₂₄	-	5.58
24	25.43	88-84-6	愈创木烯 (guaiene)	C ₁₅ H ₂₄	-	0.14
25	26.08	30021-74-0	δ -衣兰油烯 (δ -muurolene)	C ₁₅ H ₂₄	0.30	9.02
26	26.20	23986-74-5	大根香叶烯 D (germacrene D)	C ₁₅ H ₂₄	0.25	-
27	26.22	483-75-0	β -紫惠槐烯 (β -amorphene)	C ₁₅ H ₂₄	-	1.54
28	26.65	28624-23-9	β -芹子烯 [(+)- β -selinene]	C ₁₅ H ₂₄	0.16	3.77
29	26.83	21747-46-6	喇叭烯 [(+)-ledene]	C ₁₅ H ₂₄	-	2.58
30	26.98	473-13-2	α -芹子烯 (α -selinene)	C ₁₅ H ₂₄	0.13	2.11
31	27.29	10208-80-7	α -衣兰油烯 (α -muurolene)	C ₁₅ H ₂₄	-	3.99
32	27.37	26560-14-5	(Z,E)- α -金合欢烯 [(Z,E)- α -farnesene]	C ₁₅ H ₂₅	1.26	-
33	27.47	489-40-7	(-)- α -古芸烯 [(-)- α -gurjunene]	C ₁₅ H ₂₄	-	1.38
34	27.68	123-35-3	月桂烯 (myrcene)	C ₁₀ H ₁₆	-	0.39
35	27.89	33912-24-2	2-十三烷基吡啶 (2-tridecylpyridine)	C ₁₈ H ₃₁ N	0.14	-
36	28.08	39029-41-9	(+)- γ -杜松烯 [(+)- γ -cadinene]	C ₁₅ H ₂₄	-	4.61
37	28.44	483-76-1	(+)- d -杜松烯 [(+)- d -cadinene]	C ₁₅ H ₂₄	0.74	13.14
38	28.61	483-77-2	(-)-菖蒲烯 [(-)-calamenene]	C ₁₅ H ₂₂	-	1.88
39	28.92	93-28-7	乙酸丁香酚酯 (acetyleugenol)	C ₁₂ H ₁₄ O ₃	12.09	-
40	29.26	24406-05-1	(-)- a -杜松烯 [(-)- a -cadinene]	C ₁₅ H ₂₄	-	2.42
41	29.43	86917-79-5	3,7(11)-桉叶二烯 [eudesma-3,7(11)-diene]	C ₁₅ H ₂₄	-	0.16

续表 1

序号	保留时间/min	CAS 号	化合物名称	分子式	相对百分含量/%	
					丁香	肉桂子
42	29.77	1504-74-1	邻甲氧基肉桂醛 (2-methoxycinnamaldehyde)	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	-	0.36
43	30.26	56362-87-9	(1E)-1-亚乙基-7a-甲基八氢-1H-茚 (1h-indene,1-ethylideneoctahydro-7a-methyl-,cis-)	C ₁₂ H ₂₀	0.26	-
44	31.42	6750-60-3	桉油烯醇 (spathulenol)	C ₁₅ H ₂₄ O	-	0.24
45	31.67	1139-30-6	(-)-氧化石竹烯 [(-)-(caryophyllene oxide)]	C ₁₅ H ₂₄ O	1.88	0.35
46	32.36	5951-67-7	(+)- α -榄香烯 [(+)- α -elemene]	C ₁₅ H ₂₄ O	-	0.10
47	33.14	19888-34-7	环氧化蛇麻烯 II (humulene epoxide II)	C ₁₅ H ₂₄ O	0.21	-
48	33.27	1406-50-4	1(10),6,8-杜松三烯 [cadina-1(10),6,8-triene]	C ₁₅ H ₂₂	-	0.13
49	34.02	21284-22-0	库贝醇 (cubenol)	C ₁₅ H ₂₆ O	-	0.18
50	34.43	68926-75-0	白菖烯环氧化物 (calarene epoxide)	C ₁₅ H ₂₄ O	0.25	-
51	34.65	NA	氧化别香橙烯 [alloaromadendrene oxide-(1)]	C ₁₅ H ₂₄ O	0.90	-
52	34.86	5937/11/1	松烷醇 (<i>t</i> -cadinol)	C ₁₅ H ₂₆ O	-	0.13
53	35.61	59367-40-7	(-)- α -毕茄醇 [(-)- α -cadinol]	C ₁₅ H ₂₆ O	-	0.24
54	35.63	NA	异香橙烯环氧化物 (isoaromadendrene epoxide)	C ₁₅ H ₂₄ O	0.82	-
55	39.26	55220-87-6	7-乙炔基-4a,5,6,7,8,8a-六氢-1,4a-二甲基 -(α .,4a. β .,7. β .,8a. α)-2-(1H)-萘酮 [2(1H)-Naphthalenone, 7-ethynyl-4a,5,6,7,8,8a-hexahydro-1,4a-dimethyl-(α .al pha.,4a.beta.,7.beta.,8a.alpha)]	C ₁₄ H ₁₈ O	0.11	-
56	54.25	123-69-3	(Z)-氧代环十七碳-8-烯-2-酮 (oxacycloheptadec-8-en-2-one)	C ₁₆ H ₂₈ O ₂	-	0.22

注: -为未检出。

参考文献

[1] 李新娥. 丁香及其混伪品的鉴别[J]. 中国药业, 2007, 16(18): 50-51.
Li XE. Identification of *Flos caryophyllata* and their adulterants [J]. China Pharm, 2007, 16(18): 50-51.

[2] 张珂, 李华, 陆启玉. 丁香的药理学特性及其在食品中的应用研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(6): 125-129.
Zhang K, Li H, Lu QY. Pharmacological properties of *Flos caryophyllata* and its application progress in food [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2015, 36(6): 125-129.

[3] 朱金段, 袁德俊, 林新颖. 丁香的药理研究现状及临床应用[J]. 中国药物经济学, 2013, (1): 32-35.
Zhu JD, Yuan DJ, Lin XY. Current status and clinical application of *Flos caryophyllata* pharmacology [J]. China J Pharm Econ, 2013, (1): 32-35.

[4] 邱电, 张魁华, 方炳虎. 丁香酚的药理作用[J]. 动物医学进展, 2007, 28(8): 101-103.
Qiu D, Zhang KH, Fang BH. The pharmacological effects of eugenol [J]. Prog Vet Med, 2007, 28(8): 101-103.

[5] Zeng R, Zhang A, Chen JY, *et al.* Postharvest quality and physiological responses of clove bud extract dip on 'Newhall' navel orange [J]. Sci Hort, 2012, (138): 253-258.

[6] Kumudavally KV, Tabassum A, Radhakrishna K, *et al.* Effect of ethanolic extract of clove on the keeping quality of fresh mutton during storage at ambient temperature (25 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C [J]. J Food Sci Technol, 2011, 48(4): 466-471.

[7] 张媛媛, 石亚丽, 李书国. 丁香乙醇提取物的抑菌效果及其在馒头保鲜中的应用[J]. 粮食加工, 2014, 39(5): 48-52.
Zhang YY, Shi YL, Li SG. Antibacterial effect of clove ethanol extract and its application in steamed bun preservation [J]. Grain Process, 2014, 39(5): 48-52.

[8] 陈冬梅, 唐春红. 国外天然食品防腐剂的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2008, (2): 73-77.
Chen DM, Tang CH. Foreign research progress of the natural food preservative [J]. China Food Addit, 2008, (2): 73-77.

[9] 国家中医药管理局. 中华本草-维吾尔药卷[M]. 上海: 上海科学技术

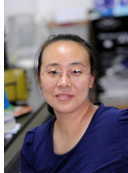
- 出版社, 2005.
- National Administration of Traditional Chinese Medicine. Chinese materia medica-Uyghur medicine roll [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005.
- [10] Amalaradiou MAR. Antibiofilm effect of trans-cinnamaldehyde on uropat hogenic *Escherichia coli* [J]. J Urol, 2010, 184(1): 358–363.
- [11] 林玉莲, 陈爱年, 陈盐生. 丁香、母丁香及肉桂子的鉴别[J]. 基层中药杂志, 2000, (6): 19.
- Lin YL, Chen AN, Chen YS. Identification of clove fruit, *Flos caryophyllata* and *Fructus cinnamomi* [J]. Prim J Chin Mater Med, 2000, (6): 19.
- [12] 邵佳, 邹俊波, 史亚军, 等. GC-MS 分析水蒸气蒸馏法提取石菖蒲挥发油过程中油水分分配规律[J]. 中草药, 2020, 51(1): 59–66.
- Tai J, Zou JB, Shi YJ, et al. GC-MS analysis of extraction kinetics of volatile oil from *Acori tatarinowii* Rhizoma by steam distillation [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2020, 51(1): 59–66.
- [13] 李亮星, 史云东, 李明, 等. 顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用法分析 2 种滇产艾纳香的挥发性成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(8): 2475–2480.
- Li LX, Shi YD, Li M, et al. Analysis of volatile components of 2 kinds of *Blumea balsamifera* collected from Yunnan by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(8): 2475–2480.
- [14] 章辰飞, 谢晓鸿, 汪庆昊, 等. 云锦杜鹃不同花期挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 检测与主成分分析[J]. 广西植物, 2020, 40(7): 1033–1045.
- Zhang CF, Xie XH, Wang QH, et al. Analysis of volatile compounds of *Rhododendron fortunei* at different flowering period by headspace solid-phase GC-MS and PCA [J]. Guihaia, 2020, 40(7): 1033–1045.
- [15] 甘秀海, 梁志远, 王道平, 等. 3 种山茶属花香气成分的 HS-SPME/GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 204–207.
- Gan XH, Liang ZY, Wang DP, et al. Analysis of aroma components in flowers of three kinds of camellia by HS-SPME/GC-MS [J]. Food Sci, 2013, 34(6): 204–207.
- [16] 胡智慧, 白佳伟, 杨文熙, 等. 新鲜草果中关键香气成分的分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 173–178.
- Hu ZH, Bai JW, Yang WX, et al. Identification of the key odorants in fresh *Amomum tsaoko* [J]. Food Sci, 2020, 41(16): 173–178.
- [17] 彭程, 常晓晓, 陈喆, 等. 不同类型黄皮果实香气成分和特征香气物质分析[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 50–60.
- Peng C, Chang XX, Chen Z, et al. Analysis on aromatic components and specific aromatic components in different clones of *C. lansium* fruits [J]. Nonwood Forest Res, 2019, 37(4): 50–60.
- [18] 尹洁, 蒋健, 刘文静, 等. GC-O 和 GC-MS 结合鉴定杨梅叶精油中的关键香气成分[J]. 中国南方果树, 2017, 46(3): 64–71.
- Yin J, Jiang J, Liu WJ, et al. Combining GC-O and GC-MS to identify key aroma components in essential oil of *Myrica rubra* leaf [J]. South China Fruits, 2017, 46(3): 64–71.
- [19] Van GJ. Odour thresholds-compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [20] 刘晓宇, 陈旭冰, 陈光勇. β -石竹烯及其衍生物的生物活性与合成研究进展[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(1): 104–110.
- Liu XY, Chen XB, Chen GY. Research progress in bioactivity and synthesis of β -caryophyllene and its derivatives [J]. Chem Ind Forest Prod, 2012, 32(1): 104–110.
- [21] 陈旭冰, 全诚, 陈光勇. β -石竹烯的研究进展[J]. 山东化工, 2011, 40(7): 34–36.
- Chen XB, Tong C, Chen GY. Advances in the research of β -caryophyllene [J]. Shandong Chem Ind, 2011, 40(7): 34–36.
- [22] 张季林, 魏惠珍, 张洁. β -石竹烯生物学功能的研究进展[J]. 山东医药, 2018, 58(38): 110–112.
- Zhang JL, Wei HZ, Zhang J. Research progress of β -caryophyllene biological function [J]. Shandong Med, 2018, 58(38): 110–112.
- [23] 高海生, 赵希艳, 李润丰. 果蔬采后处理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 273–278.
- Gao HS, Zhao XY, Li RF. Research progress on post-harvest treatment and storage and fresh-keeping technology of fruits and vegetables [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2007, 23(2): 273–278.
- [24] 陈婷, 宿树兰, 华永庆, 等. 芳香类药用植物抗炎镇痛活性成分及其作用机制研究进展[J]. 中草药, 2011, 42(6): 1221–1228.
- Chen T, Su SL, Hua YQ, et al. Advances in studies on constituents with anti-inflammatory and analgesia activity in aromatic medicinal plants and their mechanisms [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2011, 42(6): 1221–1228.
- [25] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- Sun BG. The technology of food havening [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [26] 邵俊峰. 肉桂醛的功能及在食品中的应用[J]. 现代食品, 2019, (8): 34–37.
- Shao JF. The function of cinnamaldehyde and application in food [J]. Mod Food, 2019, (8): 34–37.
- [27] Youn H. Cinnamaldehyde suppresses toll-like receptor 4 activation mediated through the inhibition of receptor oligomerization [J]. Biochem Pharmacol, 2008, 75(2): 494–502.
- [28] 温小礼, 张伟, 周巧丽, 等. 肉桂醛熏蒸处理对香菇采后生理和品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 190–196.
- Wen XL, Zhang W, Zhou QL, et al. Effect of cinnamaldehyde fumigation treatments on postharvest physiology and quality of shiitake mushroom [J]. J China Inst Food Sci Technol, 2014, 14(8): 190–196.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



周天姣, 硕士研究生, 主要研究方向为中药及天然产物活性成分研究。
E-mail: 987081279@qq.com



咎俊峰, 副教授, 主要研究方向为中药及天然产物活性成分研究。
E-mail: junfengzan@163.com