

基于 HS-SPME-GC-MS 的襄荷不同部位挥发性成分分析

邓淼¹, 秦枫怡², 李子怡¹,
江鸿翎¹, 卿志星², 赵玲艳¹, 罗凤莲^{1,3*}¹湖南农业大学食品科学技术学院; ²湖南农业大学动物医学院;³湖南农业大学食品科学技术学院 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 长沙 410128

摘要: 探讨襄荷不同部位的挥发性成分差异, 以便从襄荷植株提取天然香料成分。本研究采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术 (HS-SPME-GC-MS) 测定襄荷不同部位 (根、茎、叶、花苞) 中的挥发性成分。结果表明: 从襄荷四个部位中共鉴定了 197 种化合物, 其中根 92 种, 茎 67 种, 叶 64 种, 花苞 96 种。烯烃类和醇类化合物是各部位中的主要挥发性化合物, 而桉烯 (sabinene) 为根和花苞中含量最高的化合物, 约占 13%, 但在叶中的含量只有 1.98%。 β -蒎烯 (β -pinene) 为茎和叶中含量最高的化合物, 在叶中的含量占到 53.46%。此外, α -蒎烯 (α -pinene)、隐品酮 (cryptone)、 α -松油醇 (α -terpineol) 等化合物在襄荷各部位挥发性成分中的占比也较高。襄荷不同部位中均有其特殊的挥发性成分, 共有的挥发性成分为 23 种。

关键词: 襄荷; 挥发性成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: R284.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2023)8-1338-10

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2023.8.006

Analysis of the volatile components in different parts of
Zingiber mioga Rosc. based on HS-SPME-GC-MSDENG Miao¹, QIN Feng-yi², LI Zi-yi¹,
JIANG Hong-ling¹, QING Zhi-xing², ZHAO Ling-yan¹, LUO Feng-lian^{1,3*}¹College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University;²College of Veterinary Medicine, Hunan Agricultural University; ³Hunan Provincial

Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: Discussing the difference of volatile components in different parts of *Zingiber mioga* Rosc is to extract natural fragrance components from *Z. mioga* plant. Volatile components in different parts of *Z. mioga* (root, stem, leaf and flower bud) were determined by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The results showed that a total of 197 compounds were identified from the four parts of *Z. mioga*. There were 92, 67, 64 and 96 kinds of volatile components in root, stem, leaf and flower bud respectively. A total of 25 volatile compounds have been reported to exist in *Z. mioga*. Alkenes and alcohols were the main volatile compounds. Sabinene was the most abundant compound in root and bud, accounting for about 13%, but only 1.98% in leaf. β -Pinene was the most abundant compound in stem and leaf, accounting for 53.46%. In addition, α -pinene, cryptone, α -terpineol were the relatively high contents in each site. There were special volatile components in different parts of *Z. mioga*, 23 kinds same volatile components as well.

Key words: *Zingiber mioga* Rosc; volatile component; HS-SPME; GC-MS

襄荷 (*Zingiber mioga* Rosc.) 为姜科姜属多年生草本植物, 又叫作茗荷、阳荷、阳藿、野姜等, 在韩国

以 Yangha 著称, 而在日本以 Myoga 著称, 是我国重要的食药兼用保健型植物资源^[1]。襄荷喜欢温暖荫湿环境, 多生长于山地林荫下或水沟旁, 山谷中荫湿处, 在国内主要分布于我国华中南地区^[2]。襄荷的地下茎、花轴、嫩芽都可以用作各种食材, 是一种营养价值很高的药食同源膳食纤维蔬菜^[3]。在《本

收稿日期: 2023-02-27 接受日期: 2023-07-05

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-24-E-02); 湖南省自然科学基金 (2021JJ30338)

* 通信作者 Tel: 86-013467715114; E-mail: luofenglian@hunau.edu.cn

草纲目》中有记载,襄荷不仅可以作为蔬菜食用,还具有活血调经、镇咳祛痰、改善炎症、风湿性疾病和胃肠道不适等多种药用功效^[4]。襄荷富含多酚、姜辣素、黄酮、萜类等化合物,这些化合物表现出了强烈的抗炎、抗氧化、抗疲劳、降血糖、减肥、缓解过敏性哮喘等活性^[5-11]。目前对襄荷的研究集中于花苞中的黄酮类化合物,但襄荷中还富含具有多种生理活性的挥发性成分,如 α -蒎烯、 β -蒎烯等,另外,襄荷根、茎具有芳香味,对襄荷中挥发性成分的研究也集中于其花苞部位,目前尚未有对其不同部位中的挥发性成分进行分析研究。若能对襄荷不同部位(根、茎、叶、花苞)的挥发性成分进行鉴定,以便从襄荷植株不同部位提取天然香料成分,将会给襄荷的多样化利用提供新的思路。本实验采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱技术(HS-SPME-GC-MS)对襄荷不同部位(根、茎、叶、花苞)进行挥发性成分测定,为襄荷资源的综合利用提供帮助。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜襄荷样品采自湖南省怀化市芷江县,经湖南农业大学罗凤莲副教授鉴定为襄荷(*Zingiber mioga* Rosc),样品存放湖南农业大学动物医学院中兽药湖南省重点实验室-20℃冰箱。分别取襄荷根、茎、叶、花苞共四部位进行试验。

1.2 仪器与设备

GC/MS-QP2010 型气相色谱-质谱联用仪、GC/MS Solution 色谱工作站和 NIST. 17 质谱数据库(日本岛津公司);SAAA-SPME-ST 固相微萃取仪、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维头、13-425 标准螺纹口样品瓶(上海安谱实验科技股份有限公司);Scientz 冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司);HB-88 毛细管色谱柱(100.0 m \times 0.25 mm \times 0.20 μm ,美国安捷伦公司)。

1.3 样品制备

先将襄荷的根、茎、叶、花苞样品置于冷冻干燥

机中干燥,然后分别用粉碎机磨碎,称取根、茎、叶、花苞四部位样品各 0.5 g 置于 10 mL 顶空萃取瓶,待检测。

1.4 萃取方法

气化室设定温度 240℃,需将萃取纤维头插入气化室中 40 min,除去纤维头上残存或空气中的杂质。初始固相微萃取装置温度为 70℃,再将装有样品的萃取瓶置于固定在装置中预热,40 min 后将萃取进样手柄插入顶空样品瓶中,萃取 40 min 后,将萃取手柄取出。

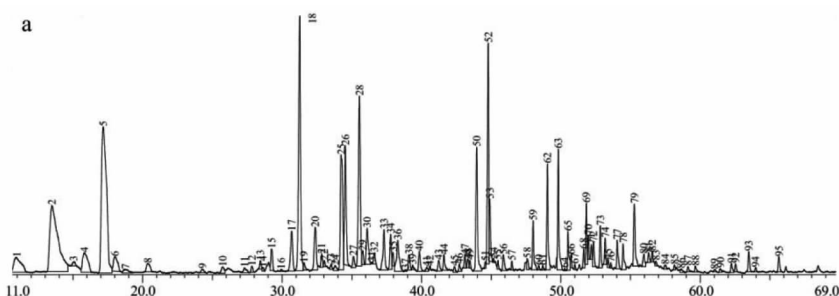
1.5 GC-MS 条件

进样口温度:240℃;柱内温度:60℃;进样方式:无分流;载气高纯 He;载气流速:1.37 mL/min;分割比:-0.1;初始温度:60℃,维持 5 min,再以 3℃/min 升至 140℃,维持 5 min,然后以 5℃/min 升至 210℃,维持 5 min,最后从 10℃/min 升至 240℃,维持 10 min。

离子源:EI 源;离子源温度为 200℃,接口温度为 220℃。质核比扫描范围为 45~500 m/z ;采集的 GC-MS 数据由日本岛津公司 GC/MS Solution 色谱工作站进行处理,自动识别信噪比 > 50 的色谱峰,并将质谱图与美国国家标准技术研究所(NIST) 17 质谱库检索比对,结合匹配度、保留时间,并与文献报道进行对比,选择相似度大于 80% 的化合物作为鉴定结果。各挥发性化合物含量由色谱峰面积的外部归一化计算,以相对百分比表示。

2 结果

通过 HS-SPME-GC-MS 对襄荷不同部位(根、茎、叶、花苞)挥发性成分进行测定,得到襄荷不同部位挥发性化学成分的总离子流图(见图 1)。经过 NIST. 17 质谱数据库检索,采用面积归一法计算各个积分的色谱峰占总峰面积百分比,得到襄荷不同部位挥发性成分的种类及相对百分比含量(见表 1 和表 2)。



续图 1(Continued Fig.1)

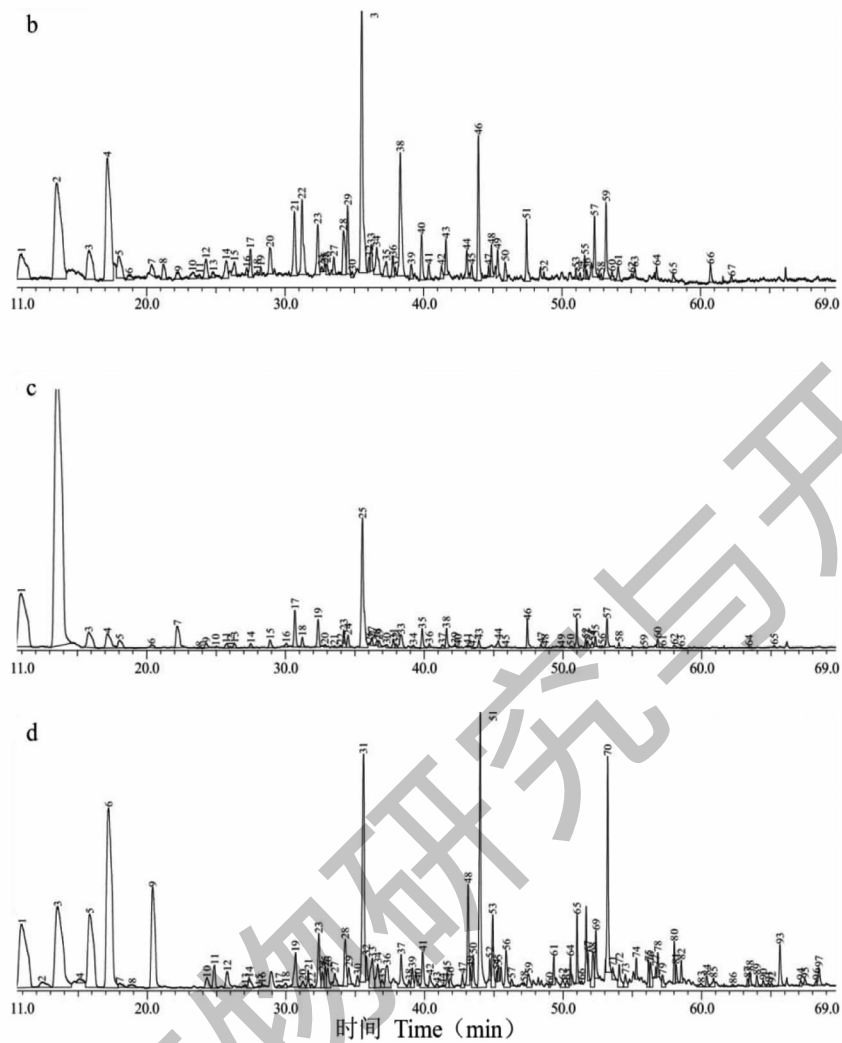


图 1 襄荷不同部位挥发性成分总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatograms of volatile components in different parts of *Z. mioga*
注: a. 根; b. 茎; c. 叶; d. 花苞。 Note: a. Root; b. Stem; c. Leaf; d. Flower bud.

表 1 襄荷不同部位挥发性成分种类

Table 1 Types of volatile components in different parts of *Z. mioga*

| 种类 Type | 根 Root | | 茎 Stem | | 叶 Leaf | | 花苞 Bud | |
|-------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | 含量 Content (%) | 数量 Number | 含量 Content (%) | 数量 Number | 含量 Content (%) | 数量 Number | 含量 Content (%) | 数量 Number |
| 醇类 Alcohol | 12.25 | 26 | 17.16 | 17 | 5.07 | 13 | 12.04 | 27 |
| 醛类 Aldehyde | 5.20 | 8 | 6.52 | 11 | 4.06 | 10 | 5.54 | 7 |
| 酯类 Ester | 1.28 | 5 | 1.17 | 2 | 1.02 | 4 | 6.87 | 14 |
| 醚类 Ether | 1.58 | 3 | 3.37 | 3 | 2.08 | 6 | 6.45 | 6 |
| 酮类 Ketone | 5.17 | 9 | 8.02 | 7 | 2.32 | 7 | 11.24 | 15 |
| 烯烃类 Alkene | 73.24 | 37 | 61.99 | 22 | 85.15 | 21 | 54.35 | 19 |
| 其他类 Other | 1.26 | 4 | 1.79 | 5 | 0.29 | 3 | 3.50 | 8 |
| 总共 Total | | 92 | | 67 | | 64 | | 96 |

表 2 囊荷不同部位挥发性成分鉴定结果

Table 2 Results of volatile components in different parts of *Z. mioga*

| 序号 No. | t_R (min) | 化合物 Compound | 分子式 Molecular formula | 相对百分含量 Relative content (%) | | | |
|-----------|----------------|--|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 花苞 Bud |
| 1 | 10.909 | α -蒎烯 α -Pinene | C ₁₀ H ₁₆ | 2.00 | 3.65 | 11.48 | 7.12 |
| 2 | 12.385 | 莜烯 Camphene | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | - | 0.52 |
| 3 | 13.484 | β -蒎烯 β -Pinene | C ₁₀ H ₁₆ | 9.91 | 13.16 | 53.46 | 8.57 |
| 4 | 15.049 | α -水芹烯 α -Phellandrene | C ₁₀ H ₁₆ | 0.20 | - | - | 0.30 |
| 5 | 15.813 | D-柠檬烯(苧烯) D-Limonene | C ₁₀ H ₁₆ | 1.88 | 3.03 | 2.15 | 5.89 |
| 6 | 17.167 | 桉烯 Sabinene | C ₁₀ H ₁₆ | 13.54 | 12.00 | 1.98 | 13.23 |
| 7 | 17.989 | β -罗勒烯 β -Ocimene | C ₁₀ H ₁₆ | 1.10 | 1.86 | 0.85 | 0.23 |
| 8 | 18.741 | 萜品油烯 Terpinolene | C ₁₀ H ₁₆ | - | 0.41 | - | - |
| 9 | 18.774 | 2-萜烯 2-Carene | C ₁₀ H ₁₆ | 0.34 | - | - | - |
| 10 | 18.915 | 桉树醇 Eucalyptol | C ₁₀ H ₁₈ O | - | - | - | 0.24 |
| 11 | 20.335 | 邻甲基异丙基苯 <i>o</i> -Cymene | C ₁₀ H ₁₄ | 0.56 | 0.67 | 0.26 | 5.35 |
| 12 | 21.200 | 十四烷 Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | - | 0.83 | - | - |
| 13 | 22.206 | 2-己烯醛 2-Hexenal | C ₆ H ₁₀ O | - | 0.47 | 2.03 | - |
| 14 | 23.321 | 十八烷基氯乙酸酯 Octadecyl chloroacetate | C ₂₀ H ₃₉ ClO ₂ | - | 0.50 | - | - |
| 15 | 23.821 | 别罗勒烯 Allocimene B | C ₁₀ H ₁₆ | - | 0.15 | 0.10 | - |
| 16 | 24.284 | α -葎澄茄油烯 α -Cubebene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.16 | 1.07 | 0.34 | 0.49 |
| 17 | 24.807 | 十五烷 Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | - | 0.25 | - | 0.72 |
| 18 | 24.966 | δ -榄香烯 δ -Elemene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.06 | - |
| 19 | 25.741 | 可巴烯 Copaene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.33 | 1.03 | 0.31 | 0.74 |
| 20 | 26.044 | 甲基庚烯酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl- | C ₈ H ₁₄ O | - | - | 0.05 | - |
| 21 | 26.328 | 甘香烯 Elixene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.26 | - |
| 22 | 26.353 | Elemene isomer | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.67 | - | - |
| 23 | 27.083 | β -马榄烯 β -Maaliene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.07 |
| 24 | 27.232 | 3-甲基十五烷 Pentadecane, 3-methyl- | C ₁₆ H ₃₄ | - | 0.24 | - | - |
| 25 | 27.310 | <i>p</i> -(1-丙烯基)-甲苯 <i>p</i> -(1-Propenyl)-toluene | C ₁₀ H ₁₂ | 0.27 | - | - | 0.44 |
| 26 | 27.493 | 壬醛 Nonanal | C ₉ H ₁₈ O | - | 1.20 | 0.24 | - |
| 27 | 27.833 | (+)-7-表-倍半萜烯 (+)-7- <i>epi</i> -Sesquithujene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.19 | - | - | - |
| 28 | 27.991 | 2-乙基己醇 2-Ethyl-1-hexanol | C ₈ H ₁₈ O | - | 0.10 | - | - |
| 29 | 28.056 | 2-壬酮 2-Nonanone | C ₉ H ₁₈ O | - | - | - | 0.04 |
| 30 | 28.245 | 十六烷 Hexadecane | C ₁₆ H ₃₄ | - | 0.19 | - | 0.07 |
| 31 | 28.443 | 顺式 α -香柑油烯 <i>cis</i> - α -Bergamotene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.88 | - | - | - |
| 32 | 28.618 | Santalene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.09 | - | - | - |
| 33 | 28.893 | β -葎澄茄油烯 β -Cubebene | C ₁₅ H ₂₄ | - | 1.31 | 0.49 | - |
| 34 | 29.506 | 柠檬烯-1,2-环氧化物 (+)-Limonene oxide | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.11 |
| 35 | 29.975 | 反式柠檬烯 Limonene 1,2-epoxide | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.21 |
| 36 | 30.052 | 2,4-己二烯醇 2,4-Hexadienal, (<i>E</i> , <i>E</i>) - | C ₆ H ₈ O | - | - | 0.23 | - |
| 37 | 30.678 | β -榄香烯 β -Elemene | C ₁₅ H ₂₄ | 1.63 | 2.56 | 1.83 | 1.14 |
| 38 | 31.218 | 大牛儿烯 B Germacrene B | C ₁₅ H ₂₄ | - | 3.27 | - | 0.27 |
| 39 | 31.219 | γ -榄香烯 γ -Elemene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.50 | - |

续表 2 (Continued table 2)

| 序号 No. | t_R (min) | 化合物 Compound | 分子式 Molecular formula | 相对百分含量 Relative content (%) | | | |
|-----------|----------------|--|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 花苞 Bud |
| 40 | 31.262 | Isodaucene | C ₁₅ H ₂₄ | 9.20 | - | - | - |
| 41 | 31.616 | 十七烷 Heptadecane | C ₁₇ H ₃₆ | 0.22 | - | - | 0.39 |
| 42 | 31.866 | 2-癸酮 2-Decanone | C ₁₀ H ₂₀ O | - | - | - | 0.09 |
| 43 | 32.355 | 石竹烯 Caryophyllene | C ₁₅ H ₂₄ | 1.63 | 2.08 | 1.40 | 1.63 |
| 44 | 32.627 | 4-Isopropyl-1-methylcyclohex-2-enol | C ₁₀ H ₁₈ O | - | - | - | 0.43 |
| 45 | 32.640 | 香树烯 Alloaromadendrene | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.15 | - | - |
| 46 | 32.826 | 广藿香萜醇 Pogostol | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.35 | - | - | - |
| 47 | 32.834 | 3-十七碳烯 3-Heptadecene | C ₁₇ H ₃₄ | - | - | - | 0.47 |
| 48 | 32.835 | 龙脑烯醛 α -Campholenal | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | 0.10 | - |
| 49 | 32.861 | 1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | 0.20 | - | - |
| 50 | 33.017 | (E)-3(10)-Caren-4-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | 0.37 | - | 0.60 |
| 51 | 33.017 | 倍半香桉烯 Sesquisabinene | C ₁₅ H ₂₄ | 0.13 | - | 0.14 | - |
| 52 | 33.507 | 葑醇 Fenchol | C ₁₀ H ₁₈ O | 0.14 | 0.60 | 0.06 | 0.44 |
| 53 | 33.805 | sesquisabinen | C ₁₅ H ₂₄ | 0.21 | - | - | - |
| 54 | 33.985 | 2-甲基烯醛 2-n-Butylacrolein | C ₇ H ₁₂ O | - | - | 0.10 | - |
| 55 | 34.201 | β -红没药烯 β -Bisabolene | C ₁₅ H ₂₄ | 5.00 | 2.18 | 0.87 | - |
| 56 | 34.268 | 乙酸异龙脑酯 Isobornyl acetate | C ₁₂ H ₂₀ O ₂ | - | - | - | 1.50 |
| 57 | 34.518 | 4-萜烯醇 Terpinen-4-ol | C ₁₀ H ₁₈ O | 3.75 | 2.35 | 0.59 | 0.45 |
| 58 | 34.857 | 反式 2-壬烯醛 <i>trans</i> -2-Nonenal | C ₉ H ₁₆ O | - | 0.18 | - | - |
| 59 | 35.118 | 广藿香萜醇 Pogostol | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.37 | - | - | - |
| 60 | 35.170 | 2-Cyclohexen-1-ol,1-methyl-4-(1-methylethyl) | C ₁₀ H ₁₈ O | - | - | - | 0.33 |
| 61 | 35.541 | 葎草烯 Humulene | C ₁₅ H ₂₄ | 5.88 | 11.42 | 8.23 | 6.80 |
| 62 | 35.789 | 2-十一酮 2-Undecanone | C ₁₁ H ₂₂ O | 0.37 | - | - | 0.51 |
| 63 | 36.052 | 巴厘西亚橘烯 Valencene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.06 | - |
| 64 | 36.091 | β -人参烯 β -Panasinene | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.43 | - | - |
| 65 | 36.099 | δ -芹子烯 (+)- δ -Selinene | C ₁₅ H ₂₄ | 1.43 | - | - | - |
| 66 | 36.203 | 松香芹醇 Pinocarveol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | 0.90 | 0.34 | 1.35 |
| 67 | 36.439 | 反式乙酸松香芹酯 <i>trans</i> -Pinocarvyl acetate | C ₁₂ H ₁₈ O ₂ | 0.02 | - | - | - |
| 68 | 36.595 | 松香芹酮 Pinocarvone | C ₁₀ H ₁₄ O | 0.32 | 1.56 | 0.23 | 0.97 |
| 69 | 36.741 | 8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclodecane | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.31 | - |
| 70 | 36.944 | (+)- <i>p</i> -Mentha-2,8-dien-1-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.26 |
| 71 | 37.283 | 1-丁基环己烯 1-Butylcyclohexene | C ₁₀ H ₁₈ | - | - | - | 1.04 |
| 72 | 37.307 | 姜醇 Zingiberenol | C ₁₅ H ₂₆ O | - | 0.83 | - | - |
| 73 | 37.309 | β -倍半水芹烯 β -Sesquiphellandrene | C ₁₅ H ₂₄ | 1.44 | - | - | - |
| 74 | 37.788 | 乙酸桃金娘烯酯 Myrtenyl acetate | C ₁₂ H ₁₈ O ₂ | 1.01 | 0.67 | 0.35 | - |
| 75 | 37.953 | 香茅醛 Citronellal | C ₁₀ H ₁₈ O | 0.32 | - | - | - |
| 76 | 37.967 | 金合欢氰化物 Farnesyl cyanide | C ₁₆ H ₂₅ N | - | - | 0.15 | - |
| 77 | 37.968 | 6,11-Dimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol | C ₁₄ H ₂₄ O | - | 0.15 | - | - |
| 78 | 38.296 | α -松油醇 α -Terpineol | C ₁₀ H ₁₈ O | 1.48 | 5.45 | 1.02 | 1.07 |
| 79 | 38.848 | 6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one | C ₈ H ₁₂ O | 0.04 | - | - | 0.20 |

续表 2(Continued table 2)

| 序号 No. | t_R (min) | 化合物 Compound | 分子式 Molecular formula | 相对百分含量 Relative content (%) | | | |
|-----------|----------------|--|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 花苞 Bud |
| 80 | 39.103 | 龙脑 Borneol | C ₁₀ H ₁₈ O | 0.48 | 0.50 | - | 0.52 |
| 81 | 39.215 | 2,6-Dimethyl-1,5,7-octatrien-3-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | 0.14 | - |
| 82 | 39.364 | 辣薄荷醇 (<i>E</i>)-Piperitol | C ₁₀ H ₁₈ O | 0.11 | - | - | - |
| 83 | 39.526 | (+)-二氢青芹酮 (<i>E</i>)-Dihydrocarvone | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.09 |
| 84 | 39.844 | 桃金娘烯醛 (1 <i>R</i>)-(-)-Myrtenal | C ₁₀ H ₁₄ O | 0.62 | 1.54 | 0.91 | 1.06 |
| 85 | 40.368 | 诺菝酮 (1 <i>R</i>)-(+)-Nopinone | C ₉ H ₁₄ O | 0.15 | 0.51 | 0.16 | 0.44 |
| 86 | 40.600 | 反式乙酸香芹酯 <i>trans</i> -Carveyl acetate | C ₁₂ H ₁₈ O ₂ | 0.09 | - | - | - |
| 87 | 40.896 | 异香芹醇 (<i>E</i>)-Isocarveol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.11 |
| 88 | 41.230 | 伪柠檬烯 Pseudolimonene | C ₁₀ H ₁₆ | 0.35 | - | - | - |
| 89 | 41.287 | 苯乙醛 Benzeneacetaldehyde | C ₈ H ₈ O | - | 0.49 | 0.23 | 0.03 |
| 90 | 41.607 | 桃金娘烯醇 (±)-Myrtenol | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.46 | 1.04 | 0.84 | 0.37 |
| 91 | 41.849 | exo-2-Hydroxycineole acetate | C ₁₂ H ₂₀ O ₃ | - | - | - | 0.32 |
| 92 | 42.218 | γ-红没药烯 (<i>E</i>)-γ-Bisabolene | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.07 | - |
| 93 | 42.368 | (-)-反式-松香芹醇 (-)- <i>trans</i> -Pinocarveol | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.18 | - | - | - |
| 94 | 42.417 | 8-十六炔 8-Hexadecyne | C ₁₆ H ₃₀ | - | - | 0.08 | - |
| 95 | 42.711 | 桉醇 <i>cis</i> -Sabinol | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.21 | - | - | 0.31 |
| 96 | 43.116 | 水芹醛 Phellandral | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.31 | 0.91 | - | 2.24 |
| 97 | 43.124 | 顺式香芹醇 <i>cis</i> -Carveol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | 0.08 | - |
| 98 | 43.300 | 2-十三烷酮 2-Tridecanone | C ₁₃ H ₂₆ O | 0.23 | - | - | 0.17 |
| 99 | 43.457 | 左旋香芹酮 (-)-Carvone | C ₁₀ H ₁₄ O | 0.15 | 0.39 | 0.09 | 0.73 |
| 100 | 43.941 | 隐品酮 Cryptone | C ₉ H ₁₄ O | 3.71 | 4.33 | 0.32 | 6.83 |
| 101 | 44.576 | (<i>Z</i>)-6-Tetradecen-2-one | C ₁₄ H ₂₆ O | 0.11 | - | - | - |
| 102 | 44.697 | 胡椒酮 Piperitone | C ₁₀ H ₁₆ O | - | 0.21 | - | 0.34 |
| 103 | 44.790 | 香叶草基-α-蒎品烯 geranyl-α-terpinene | C ₂₀ H ₃₂ | 5.02 | - | - | - |
| 104 | 44.895 | 枯茗醛 <i>p</i> -Isopropylbenzaldehyde | C ₁₀ H ₁₂ O | 1.36 | 0.87 | - | 1.60 |
| 105 | 45.170 | 紫苏酸甲酯 Methyl perillate | C ₁₁ H ₁₆ O ₂ | 0.06 | - | - | - |
| 106 | 45.207 | 三甲基苯甲醇 <i>p</i> -Cymen-8-ol | C ₁₀ H ₁₄ O | - | - | - | 0.16 |
| 107 | 45.323 | 11-Tridecyn-1-ol | C ₁₃ H ₂₄ O | - | - | - | 0.28 |
| 108 | 45.345 | 橙化基丙酮 Nerylacetone | C ₁₃ H ₂₂ O | - | 0.79 | 0.41 | - |
| 109 | 45.481 | 香叶基-α-蒎品烯 Geranyl-α-terpinene | C ₂₀ H ₃₂ | 0.17 | - | - | - |
| 110 | 45.877 | 1,3- <i>p</i> -Menthadien-7-al | C ₁₀ H ₁₄ O | - | - | 0.07 | - |
| 111 | 45.877 | 2-Caren-10-al | C ₁₀ H ₁₄ O | 0.50 | - | - | - |
| 112 | 45.892 | 马鞭草烯醇 1-Verbenone | C ₁₀ H ₁₄ O | - | 0.66 | - | 1.10 |
| 113 | 46.275 | 豆蔻酸甲酯 Methyl myristate | C ₁₅ H ₃₀ O ₂ | - | - | - | 0.15 |
| 114 | 46.485 | Tetramethylhexadeca-1,3,6,10,14-pentaene | C ₂₀ H ₃₂ | 0.18 | - | - | - |
| 115 | 47.196 | 肉豆蔻酸乙酯 Ethyl myristate | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | - | - | - | 0.04 |
| 116 | 47.434 | 反式-橙花叔醇 <i>trans</i> -Nerolidol | C ₁₅ H ₂₆ O | - | 1.73 | 1.00 | - |
| 117 | 47.514 | 1,5-Menthadien-7-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | - | - | - | 0.52 |
| 118 | 47.598 | 倍半香桉烯水合物 (<i>Z</i>)-Sesquisabinene hydrate | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.30 | - | - | - |
| 119 | 48.001 | β-春烯 β-Springene | C ₂₀ H ₃₂ | 1.12 | - | - | - |

续表 2(Continued table 2)

| 序号 No. | t_R (min) | 化合物 Compound | 分子式 Molecular formula | 相对百分含量 Relative content (%) | | | |
|-----------|----------------|---|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 花苞 Bud |
| 120 | 48.395 | 紫苏醇 Perillol | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.10 | - | 0.15 | - |
| 121 | 48.691 | 十五醛 Pentadecanal- | C ₁₅ H ₃₀ O | 0.11 | 0.13 | 0.05 | - |
| 122 | 49.017 | 2-十五酮 2-Pentadecanone | C ₁₅ H ₃₀ O | - | - | - | 0.08 |
| 123 | 49.029 | 1-(6,10-Dimethylundecen-2-yl)-4-methylbenzene | C ₂₀ H ₃₂ | 5.06 | - | - | - |
| 124 | 49.328 | 三十五烷 Pentatriacontane | C ₃₅ H ₇₂ | - | - | - | 0.50 |
| 125 | 49.877 | 反-2-己烯-4-氧代-醛 (<i>E</i>)-4-Oxohex-2-enal | C ₆ H ₈ O ₂ | - | - | 0.10 | - |
| 126 | 49.965 | 喇叭茶醇 Ledol | C ₁₅ H ₂₆ O | - | - | - | 0.28 |
| 127 | 50.260 | Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triantanone,1,7-diepoxy- | C ₃₀ H ₅₂ O ₂ | 0.06 | - | - | - |
| 128 | 50.288 | <i>E</i> -2-Octadecadecen-1-ol | C ₁₈ H ₃₆ O | - | - | - | 0.20 |
| 129 | 50.514 | 1,2-15,16-Diepoxyhexadecane | C ₁₆ H ₃₀ O ₂ | 0.94 | - | - | - |
| 130 | 50.526 | 1,2-环氧十六烷 1,2-Epoxyhexadecane | C ₁₆ H ₃₂ O | - | - | - | 0.42 |
| 131 | 50.545 | Undec-10-ynoic acid,3-methylbut-2-en-1-ylester | C ₁₆ H ₂₆ O ₂ | - | - | 0.11 | - |
| 132 | 50.724 | Cycloheptane,4-methylene-1-methyl-2-(2-methyl-1-propen-1-yl)-1-vinyl- | C ₁₅ H ₂₄ | 0.24 | - | - | - |
| 133 | 50.995 | 二十七烷酸甲酯 Methyl heptacosanoate | C ₂₈ H ₅₆ O ₂ | 0.10 | - | - | - |
| 134 | 50.997 | 三甲基-2-十五酮 Hexahydrofarnesyl acetone | C ₁₈ H ₃₆ O | - | 0.23 | 1.06 | - |
| 135 | 51.006 | 棕榈酸甲酯 Methyl palmitate | C ₁₇ H ₃₄ O ₂ | - | - | - | 1.01 |
| 136 | 51.301 | 13-异海松二烯 13-Isopimaradiene | C ₂₀ H ₃₂ | - | 0.18 | - | 0.05 |
| 137 | 51.636 | Trimethyl-3-methylene-hexadeca-tetraene | C ₂₀ H ₃₂ | 0.41 | - | - | - |
| 138 | 51.643 | 石竹素 Caryophyllene oxide | C ₁₅ H ₂₄ O | - | 0.51 | 0.31 | - |
| 139 | 51.792 | <i>E,Z</i> -5,7-Dodecadien-1-olacetate | C ₁₄ H ₂₄ O ₂ | - | - | 0.32 | 0.44 |
| 140 | 51.793 | 1,3-环十二二烯 1,3-Cyclododecadiene | C ₁₂ H ₂₀ | - | 0.21 | - | - |
| 141 | 51.827 | Geranyl- <i>p</i> -cymene | C ₂₀ H ₃₀ | 1.14 | - | - | - |
| 142 | 51.974 | β -桉油醇 β -Eudesmol | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.43 | - | - | - |
| 143 | 52.121 | 葎草烯环氧化物 I Humulene epoxide I | C ₁₅ H ₂₄ O | - | - | 0.31 | 1.10 |
| 144 | 52.185 | 枯茗醇 Cuminol | C ₁₀ H ₁₄ O | 0.27 | - | - | - |
| 145 | 52.334 | 桉油烯醇 Spathulenol | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.56 | 1.72 | 0.33 | 0.92 |
| 146 | 52.816 | α -红没药醇 α -Bisabolol | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.91 | 0.14 | 0.08 | - |
| 147 | 53.177 | 葎草烯环氧化物 II Humulene epoxide II | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.58 | 2.31 | 1.14 | 4.27 |
| 148 | 53.385 | Tricyclo[8.6.0.0(2,9)]hexadeca-3,15-diene | C ₁₆ H ₂₄ | 0.16 | - | - | - |
| 149 | 53.585 | 香芹酚 Carvacrol | C ₂₀ H ₃₂ | - | - | - | 0.29 |
| 150 | 53.590 | α -异甲基紫罗酮 α -Isomethyl ionone | C ₁₄ H ₂₂ O | 0.09 | - | - | - |
| 151 | 53.607 | 3,5-二叔丁基苯酚 3,5-di-tert-Butylphenol | C ₁₄ H ₂₂ O | - | 0.28 | - | - |
| 152 | 54.039 | 1,4,8-环十二碳三烯 1,4,8-Dodecatriene | C ₁₂ H ₁₈ | 0.73 | - | - | - |
| 153 | 54.040 | 十八碳四烯酸甲酯 Methyl stearidonate | C ₁₉ H ₃₀ O ₂ | - | - | 0.21 | 0.71 |
| 154 | 54.057 | Heneicosapentaenoic Acid methyl ester | C ₂₂ H ₃₄ O ₂ | - | 0.50 | - | - |
| 155 | 54.457 | 3,7-Cyclodecadiene-1-methanol,4,8-tetramethyl-, | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.75 | - | - | - |
| 156 | 54.492 | 对枯烯醇 <i>p</i> -Cumenol | C ₉ H ₁₂ O | - | - | - | 0.37 |
| 157 | 55.040 | 异桉油烯醇 Isospathulenol | C ₁₅ H ₂₄ O | - | 0.11 | - | - |
| 158 | 55.257 | 5-Ethylcyclopent-1-enecarboxaldehyde | C ₈ H ₁₂ O | 1.71 | 0.24 | - | 0.36 |
| 159 | 55.839 | <i>cis-Z</i> - α -Bisabolene epoxide | C ₁₅ H ₂₄ O | - | - | 0.09 | - |

续表 2 (Continued table 2)

| 序号 No. | t_R (min) | 化合物 Compound | 分子式 Molecular formula | 相对百分含量 Relative content (%) | | | |
|-----------|----------------|---|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 花苞 Bud |
| 160 | 55.944 | Bergamotanol | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.37 | - | - | - |
| 161 | 56.172 | 反-9-十八碳烯酸甲酯 Methyl elaidate | C ₁₉ H ₃₆ O ₂ | - | - | - | 0.51 |
| 162 | 56.299 | 2,3-蒎烷二醇 2,3-Pinenediol | C ₁₀ H ₁₈ O ₂ | 0.27 | - | - | - |
| 163 | 56.316 | 1,3,3-Trimethyl-2-oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol | C ₁₀ H ₁₈ O ₂ | - | - | - | 0.66 |
| 164 | 56.557 | 木香醇 Costol | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.23 | - | - | - |
| 165 | 56.688 | 反油酸乙酯 (<i>E</i>)-9-Octadecenoic acid ethylester | C ₂₀ H ₃₈ O ₂ | - | - | - | 0.13 |
| 166 | 56.818 | 萜草烯醇-II Humulenol-II | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.10 | 0.31 | 0.33 | 0.40 |
| 167 | 57.182 | Isoaromadendrene epoxide | C ₂₀ H ₃₄ O ₂ | - | - | 0.06 | 0.34 |
| 168 | 57.489 | 3,7-Dimethyl-6-octen-1-yn-3-ol | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.14 | - | - | - |
| 169 | 58.008 | <i>cis</i> -11,14-Eicosadienoic acid, methylester | C ₂₁ H ₃₈ O ₂ | - | - | 0.17 | - |
| 170 | 58.020 | Androstane-3,11-dione | C ₁₉ H ₂₈ O ₂ | - | 0.33 | - | - |
| 171 | 58.021 | Methyl 10- <i>trans</i> ,12- <i>cis</i> -octadecadienoate | C ₁₉ H ₃₄ O ₂ | - | - | - | 0.80 |
| 172 | 58.143 | 柠檬烯醇 Limonene glycol | C ₁₀ H ₁₈ O ₂ | 0.11 | - | - | 0.35 |
| 173 | 58.506 | 异亚油酸 9(<i>E</i>),11(<i>E</i>)-Conjugated linoleic acid | C ₁₈ H ₃₂ O ₂ | - | - | 0.06 | - |
| 174 | 58.522 | 亚油酸乙酯 Ethyl linoleate | C ₂₀ H ₃₆ O ₂ | - | - | - | 0.41 |
| 175 | 58.630 | 9-Cyclohexylbicyclo(3.3.1)nonan-9-ol | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.15 | - | - | - |
| 176 | 59.110 | 1,8,11,14-Heptadecatetraene, (<i>Z</i> , <i>Z</i> , <i>Z</i>) - | C ₁₇ H ₂₈ | 0.14 | - | - | - |
| 177 | 59.640 | 新乔布林 1,5,9-Cyclotet | C ₂₀ H ₃₂ | 0.17 | - | - | - |
| 178 | 59.962 | 4,10-香木兰烷二醇 Aromadendrane-4,10-diol | C ₁₅ H ₂₆ O ₂ | - | - | - | 0.17 |
| 179 | 60.365 | 亚麻酸甲酯 Methyl Linolenate | C ₁₉ H ₃₂ O ₂ | - | - | - | 0.55 |
| 180 | 60.717 | α -细辛脑 Asarone | C ₁₂ H ₁₆ O ₃ | - | 0.55 | - | - |
| 181 | 61.016 | 水合蒎醇 Sobrerol | C ₁₀ H ₁₈ O ₂ | 0.07 | - | - | - |
| 182 | 61.450 | 4,8,13-Duvatriene-1,3-Diol | C ₂₀ H ₃₄ O ₂ | 0.12 | - | - | - |
| 183 | 62.233 | 龙涎酮 Ambrial | C ₁₆ H ₂₆ O | 0.27 | 0.16 | - | 0.06 |
| 184 | 62.524 | 3-Hydroxyisosqualene | C ₃₀ H ₅₀ O | 0.19 | - | - | - |
| 185 | 63.314 | 亚麻酸乙酯 Ethyl linolenate | C ₂₀ H ₃₄ O ₂ | - | - | - | 0.16 |
| 186 | 63.406 | Methyl jasmonate | C ₁₃ H ₂₀ O ₃ | - | - | 0.14 | - |
| 187 | 63.477 | 4-Methylimidazole-5-methanol | C ₅ H ₈ N ₂ O | 0.52 | - | - | - |
| 188 | 63.486 | 2-Butenamide,2-ethyl-3-methyl-N-phenyl - | C ₁₃ H ₁₇ NO | - | - | - | 0.28 |
| 189 | 63.957 | 驱蛔砵 Ascaridole | C ₁₀ H ₁₆ O ₂ | 0.10 | - | - | 0.29 |
| 190 | 64.451 | 2-Cyclohexen-1-one,4-ol-3-methyl-6-methylethyl | C ₁₀ H ₁₆ O ₂ | - | - | - | 0.19 |
| 191 | 64.825 | 反式-香叶基香叶醇 <i>trans</i> -Geranylgeraniol | C ₂₀ H ₃₄ O | - | - | - | 0.09 |
| 192 | 65.055 | 香芹酮水合物 Carvone hydrate | C ₁₀ H ₁₆ O ₂ | - | - | - | 0.08 |
| 193 | 65.635 | 6-Isopropyl-3-methyl-7-oxabicycloheptan-2-one | C ₁₀ H ₁₆ O ₂ | 0.42 | - | - | 0.96 |
| 194 | 67.141 | Undec-10-ynoic acid, tridec-2-yn-1-ylester | C ₂₄ H ₄₀ O ₂ | - | - | - | 0.14 |
| 195 | 67.448 | 1-(1-Heptadecynyl)cyclopentanol | C ₂₂ H ₄₀ O | - | - | - | 0.14 |
| 196 | 68.282 | 新异异薄荷醇 Neoisopulegol | C ₁₀ H ₁₈ O | - | - | - | 0.12 |
| 197 | 68.450 | 3a,9-Dimethyldodecahydrocycloheptainden-3-one | C ₁₆ H ₂₆ O | - | - | - | 0.47 |

由表 1、表 2 可知,采用 HS-SPME-GC-MS 方法 从囊荷不同部位(根、茎、叶、花苞)中共鉴定出 197

种不同化合物,其中根、茎、叶、花苞分别鉴定 92、67、64 和 96 种,各部位的特有化合物分别为 48、18、21 和 45 种。烯烴类化合物是囊荷挥发性成分中种类最多、相对含量最高的一类化合物,在根、茎、叶中均占到了 60% 以上,在花苞中占到了 54.35%。桉烯在根和花苞含量中含量最高,在茎中含量为其次,但在叶中的含量仅为 1.98%。 β -蒎烯在各部位的

相对百分比含量均较高,是囊荷主要的挥发性成分。异胡萝卜烯是根中特有的高含量挥发性成分。此外,萹草烯、隐品酮、 α -蒎烯等化合物也是囊荷主要的挥发性成分。在囊荷各部位的挥发性成分中,共存在 23 种相同的挥发性成分(见图 2),包括有桉烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、*D*-柠檬烯、隐品酮等。

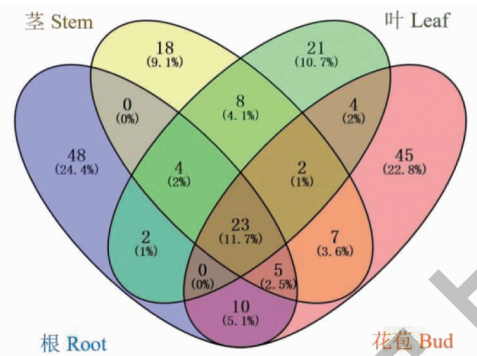


图 2 囊荷不同部位挥发性成分差异对比

Fig. 2 Comparison of volatile components in different parts of *Z. mioga*

3 讨论与结论

气味是目前判断药用植物优劣的重要手段之一,药用植物中所含有的挥发性成分能够使其具有特有的气味,因此挥发性化合物是评价药用植物质量的重要指标。囊荷中挥发性成分的研究主要集中于花苞部位,目前已被报道的挥发性成分有 50 多种,本试验的测定结果发现共有 25 种化合物(如 α -蒎烯、 β -蒎烯、*D*-柠檬烯等)为已被报道的挥发性成分,这与 Zhang 等^[12]的结果基本一致。此外,本试验还测定了囊荷根、茎、叶部位的挥发性成分,这些结果可以为囊荷的多样化利用提供新的思路。

烯烴类化合物是囊荷挥发性成分中种类最多、相对含量最高的一类化合物,由于阈值较低,对囊荷的风味贡献较大。桉烯是一种重要的高密度燃料前体,可以作为航空燃料的添加剂,也可以作为香水添加剂、精细化学品消炎药物,特别是针对慢性炎症有很好的缓解作用^[13]。 α -蒎烯和 β -蒎烯是多种香精、香料制造的中间体,可以被用于制作杀菌剂、香料、抗病毒和抗菌剂^[14]。萹草烯具有抗肿瘤、抗病毒等药理活性,广泛应用于医药、食品、保健品等领域^[15]。*D*-柠檬烯因其高品质的香味特性,主要以添加剂的形式添加在香水、肥皂和食品中^[16]。石竹烯和 β -榄香烯分别呈木香和辛香,具有显著的抗癌、抗炎活性,其中 β -榄香烯在中医中被用于治疗多种

癌症,且没有严重的副作用^[17,18]。

醇类化合物在囊荷挥发性成分中相对含量和种类仅次于烯烴类化合物,大多具有令人愉快的花香、果香^[19]。囊荷样品中的挥发性醇类化合物主要为松油醇(α -松油醇和 4-萹烯醇)。 α -松油醇具有紫丁香香气,其甲酸酯及乙酸酯可用于香精的配制,同时也是玻璃器皿上色彩的优良溶剂。由于松油醇耐碱性强,可被用作皂用香精,同时也被广泛用于医药、仪表、电信等领域^[20]。此外相对含量较高的桉油烯醇、桃金娘烯醇、萹草烯醇-II 等在各部位均有检出,这些醇类可使囊荷的香气更加协调。

醛类、酯类、醚类、酮类等挥发性化合物在囊荷中的占比较低。桃金娘烯醛常用于香料、有机合成和诱集云南纵坑切梢小蠹^[21]。乙酸桃金娘烯酯有清新的草香和果香香气,并伴有柑橘样的香韵^[22]。酮类物质阈值较高,对囊荷的风味贡献较小^[23]。其他类挥发性化合物包括酚类、酸类、烷烴类等。

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术从囊荷不同部位(根、茎、叶、花苞)共鉴定出 197 种挥发性成分,其中根、茎、叶、花苞分别鉴定 92、67、64 和 96 种,各部位的特有化合物分别为 48、18、21 和 45 种,共有的挥发性成分为 23 种,主要包括烯烴类、醇类、醛类、酯类、酮类等。烯烴类在根、茎、叶中均占到了 60% 以上,在花苞中占到了 54.35%,是囊荷中主要

的挥发性成分。花苞中的醛类、酯类、醚类、酮类化合物要高于其他部位。本研究为对囊荷中挥发性成分的多样化利用提供了理论依据和数据参考。

参考文献

- 1 Xia JY, Ye FB, Du YX. Artificial cultivation techniques of *Zingiber mioga* Rosc [J]. Chin Hortic Abs (中国园艺文摘), 2015, 31:186-187.
- 2 Zhang SJ, Li ZX, Song WT, et al. Oxidation resistance of flavonoids in *Zingiber Mioga* Rosc [J]. Food Sci Technol (食品科技), 2020, 45:230-234.
- 3 Tang QM, Yan J, Wu ZJ, et al. Nutritional & healthy function and processing status of *Zingiber mioga* Rosc [J]. Farm Prod Process (农产品加工), 2019, 17:89-92.
- 4 Lee DH, Ahn JY, Jang YJ, et al. *Zingiber mioga* reduces weight gain, insulin resistance and hepatic gluconeogenesis in diet-induced obese mice [J]. Exp Ther Med, 2016, 12:369-376.
- 5 Xu Y, Wei HP, Wu Y, et al. Study on optimization of extraction of total flavonoids from *Zingiber striatum* by response surface methodology and its antioxidant activity [J]. Sci Technol Food Ind (食品工业科技), 2015, 36:233-239.
- 6 Park SH, Lee DH, Choi HI, et al. Synergistic lipid-lowering effects of *Zingiber mioga* and *Hippophae rhamnoides* extracts [J]. Exp Ther Med, 2020, 20:2270-2278.
- 7 Jo SH, Cho CY, Lee JY, et al. *In vitro* and *in vivo* reduction of post-prandial blood glucose levels by ethyl alcohol and water *Zingiber mioga* extracts through the inhibition of carbohydrate hydrolyzing enzymes [J]. BMC Complem Altern M, 2016, 16:111.
- 8 Li Y. Purification of total flavonoids extract from *Zingiber mioga* (Thunb.) Rosc by macroporous resin and its effect on exercise fatigue of mice [J]. Stor Proc (保鲜与加工), 2021, 21:64-70.
- 9 Kim MH, Han YS. Anti-oxidative and anti-diabetic effects of butanol fraction from Yangha (*Zingiber mioga* Rose) [J]. Korean J Food Cookery Sci, 2018, 34:105-112.
- 10 Kim HW, Murakami A, Abe M, et al. Suppressive effects of mioga ginger and ginger constituents on reactive oxygen and nitrogen species generation, and the expression of inducible pro-inflammatory genes in macrophages [J]. Antioxid Redox Sig, 2005, 7:1621-1629.
- 11 Shin NR, Shin IS, Jeon CM, et al. *Zingiber mioga* (Thunb.) Roscoe attenuates allergic asthma induced by ovalbumin challenge [J]. Mol Med Rep, 2015, 12:4538-4545.
- 12 Zhang SJ, Luo FL, Deng M. Effects of drying and freezing treatment on volatile components of *Zingiber mioga* [J]. Food Mach (食品与机械), 2022, 38:159-166.
- 13 Cao YJ, Zhang HH, Liu H, et al. Biosynthesis and production of sabinene: current state and perspectives [J]. Appl Microbiol Biot, 2018, 102:1535-1544.
- 14 Bahare S, Shashi U, Ilkay EO, et al. Therapeutic potential of α - and β -pinene: a miracle gift of nature [J]. Biomolecules, 2019, 9:738-738.
- 15 Jiao SG, Zhang RF, Li JJ, et al. Phytochemical and pharmacological progress on humulane-type sesquiterpenoids [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2018, 43:4380-4390.
- 16 Anandakumar P, Kamaraj S, Vanitha MK. D-limonene: A multifunctional compound with potent therapeutic effects [J]. J Food Biochem, 2020, 45:e13566.
- 17 Scandiffio R, Geddo F, Cottone E, et al. Protective effects of (*E*)- β -caryophyllene (BCP) in chronic inflammation [J]. Nutrients, 2020, 12:3273.
- 18 Zhai BT, Zhang NN, Han XM, et al. Molecular targets of β -elemene, a herbal extract used in traditional Chinese medicine, and its potential role in cancer therapy: a review [J]. Biomed Pharmacother, 2019, 114:108812.
- 19 Liu JH, Chen MF, Zhong XH, et al. Analysis of volatile composition of various parts in *Hemerocallis citrina* Baroni by HS-SPME-GC-MS [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2020, 32:464-472.
- 20 Huo ZY, Li JF, Zhu SJ. Research progress on the application of terpinol [J]. Guangdong Chem Ind (广东化工), 2022, 49:106-108.
- 21 Lin GS, Duan WG, Li ZS, et al. Synthesis and properties of myrtenal-based thiadiazole-amide compounds [J]. Fine Chem (精细化工), 2017, 34:588-595.
- 22 Liu SW. Technical manual for synthetic flavors (合成香料技术手册) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009:141.
- 23 Han Y, Wang P, He L, et al. Effect of drying method on volatile substances of *Agastache rugosa* [J]. Chin Condiment (中国调味品), 2020, 45:101-107.