

## 不同采收期辛夷挥发油 GC-MS 分析及其抗氧化、抗菌活性\*

王杰敏<sup>1</sup>, 郭浩川<sup>1</sup>, 赵梦薇<sup>1</sup>, 孙会改<sup>1,2</sup>, 宋永兴<sup>1,3</sup>, 郑玉光<sup>2,4\*\*</sup>, 马东来<sup>1,2,3\*\*</sup>

(1. 河北中医药大学药学院, 石家庄 050200; 2. 河北省中药炮制技术创新中心, 石家庄 050091;  
3. 河北省中药资源利用与质量评价国际联合研究中心, 石家庄 050091; 4. 河北化工医药职业技术学院, 石家庄 050026)

**摘要 目的:**分析不同采收期辛夷挥发油的组分和相对含量,探讨5个采收期辛夷化学成分的动态变化规律,并评价其抗氧化、抗菌活性。**方法:**采用水蒸气蒸馏法对5个采收期辛夷药材进行挥发油提取,利用气相色谱-质谱联用技术分析其化学成分,并计算各成分的相对含量;对5个采收期辛夷的成分进行偏最小二乘法判别分析,筛选出差异性化合物;采用铁离子还原/抗氧化能力法测定辛夷挥发油的抗氧化活性,96孔板法研究其体外抗菌活性。**结果:**第4采收期(2023年2月10日)辛夷药材总挥发油平均含量最高;从辛夷挥发油中鉴定出38个成分,筛选得到12个差异性化合物,包括 $\gamma$ -衣兰油烯、榄香烯、 $\delta$ -杜松烯、 $\alpha$ -松油醇等,其中 $\gamma$ -衣兰油烯、别香橙烯、2-茨醇、樟脑和顺式-4-侧柏醇在第4采收期相对含量最大,与挥发油含量变化趋势基本一致;5个采收期辛夷挥发油均表现出一定的抗氧化、抗菌活性,第4采收期抗氧化能力最强,且对五种菌的抑制作用均较强。**结论:**5个采收期辛夷挥发油化学成分基本相同,但在各采收阶段其挥发性成分相对含量有明显差异,推测2月初为辛夷最佳采收期。

**关键词:**辛夷;挥发油;气相色谱-质谱联用(GC-MS);偏最小二乘法判别分析(PLS-DA);抗氧化;抗菌

中图分类号: R 917 文献标识码: A 文章编号: 0254-1793(2024)09-1475-10

doi: 10.16155/j.0254-1793.2024-0178

## GC-MS analysis of volatile oils in Magnoliae Flos at different harvesting periods and their antioxidant and antibacterial activities\*

WANG Jie-min<sup>1</sup>, GUO Hao-chuan<sup>1</sup>, ZHAO Meng-wei<sup>1</sup>, SUN Hui-gai<sup>1,2</sup>,  
SONG Yong-xing<sup>1,3</sup>, ZHENG Yu-guang<sup>2,4\*\*</sup>, MA Dong-lai<sup>1,2,3\*\*</sup>

(1. Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China; 2. Traditional Chinese Medicine Processing Technology Innovation Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050091, China; 3. International Joint Research Center on Resource Utilization and Quality Evaluation of Traditional Chinese Medicine of Hebei Province, Shijiazhuang 050091, China; 4. Hebei Chemical and Pharmaceutical Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050026, China)

**Abstract Objective:** To analyze the fractions and relative contents of volatile oils of Magnoliae Flos at different harvesting periods, to elucidate the dynamic pattern of changes in the chemical composition of Magnoliae Flos at five harvesting periods, and to evaluate its antioxidant and antimicrobial activities. **Methods:** The volatile oils of Magnoliae Flos at five harvesting periods was extracted by water vapour distillation, and the chemical composition

\* 河北省重点研发计划项目(23372504D);河北省中医药管理局科研计划项目(2024094);河北省二期现代农业产业技术体系创新团队项目(HBCT2023080201, HBCT2018060205);道地药材可持续利用项目(202400262157-3)

\*\* 通信作者 马东来 Tel: 13831193865; E-mail: mdl\_hebei@aliyun.com

郑玉光 Tel: (0311)89926316; E-mail: zyg314@163.com

第一作者 Tel: 15030331834; E-mail: wjm15030331834@163.com

was analyzed by gas chromatography – mass spectrometry (GC – MS) technique, and the relative content of each constituent was calculated. The constituents of Magnoliae Flos at the five harvesting periods were analyzed by PLS – DA analysis, which was used in combination with the VIP value to screen out the differential compounds. The antioxidant activity of the volatile oil of Magnoliae Flos was determined by ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) method, and its *in vitro* antimicrobial activity was investigated by 96 – well plate method. **Results:** The total volatile oils content of Magnoliae Flos was the highest in samples at the 4th harvesting period (10 February 2023). Thirty – eight components were identified in the volatile oils of Magnoliae Flos, and 12 differential compounds were screened, including  $\gamma$  – muurolene, elemene,  $\delta$  – cadinene and  $\alpha$  – terpineol, etc. The relative contents of  $\gamma$  – muurolene, alloaeromadendrene, borneol, camphor and *cis* – 4 – thujanol were the largest in samples at the 4th harvesting period, which was basically in line with the trend of the change of volatile oil content. The volatile oils in samples at five harvesting period showed certain antioxidant and antibacterial activities. And that in samples at the 4th harvesting period showed the strongest antioxidant activity and the inhibition ability against all five species of bacteria. **Conclusion:** The chemical composition of the volatile oils in Magnoliae Flos was basically the same in in samples at five harvesting periods, but there is a significant difference in the relative content of its volatile components in each harvesting period, and it is presumed that the beginning of February is the optimal harvesting period for Magnoliae Flos.

**Keywords:** Magnoliae Flos (Xinyi); volatiles; gas chromatography – mass spectrometry (GC – MS); partial least squares discriminant analysis (PLS – DA); antioxidant; antimicrobial

辛夷为木兰科 (Magnoliaceae) 植物望春花 (*Magnolia biondii* Pamp.)、玉兰 (*Magnolia denudata* Desr.) 或武当玉兰 (*Magnolia sprengeri* Pamp.) 的干燥花蕾, 味辛、性温, 具有散风寒, 通鼻窍的功效<sup>[1]</sup>。现代研究表明, 辛夷具有抗炎、抗过敏、抗菌、平喘、降血压等多种药理作用, 可治疗变应性鼻炎、过敏性鼻炎、鼻窦炎等<sup>[2-3]</sup>, 是重要的中药材。辛夷主要成分有挥发油、生物碱、木脂素类、酚酸性化合物及水溶性成分等, 其中挥发性成分是辛夷的主要化学组成<sup>[4]</sup>, 包括萜烯类、醇类、酯类和醛酮类等。因其具有特殊的香气, 所以辛夷也是重要的香精原料<sup>[5]</sup>。

受光照、温度、湿度等因素的影响, 辛夷药材会产生不同的次生代谢产物, 这些物质对药材的品质起着重要作用, 因此科学的采收时期可保证药材品质<sup>[6-7]</sup>。汪宁等<sup>[8]</sup>通过测定 11 月至次年 3 月的 5 批玉兰花蕾挥发油含量, 得出 2 月初是玉兰花蕾最佳采摘期的结论。倪天宇等<sup>[9]</sup>根据古籍记载, 并结合现代文献, 认为我国辛夷采收时间多在一月和二月, 但目前有关辛夷采收时期对其化学成分影响的研究报道较少。因此, 规范和确定辛夷的适宜采收期及挥发油成分差异是确保其品质的关键。

本研究基于气相色谱 – 质谱联用技术 (gaschromatography – mass spectrometry, GC – MS) 对 11 月份

至次年 3 月份的 5 批辛夷药材挥发油中化学成分进行了定性分析和比较, 以期对辛夷的适宜采收期提供参考。同时, 以铁离子还原/抗氧化能力法 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP) 研究辛夷挥发油的抗氧化活性; 用 96 孔板法研究其对大肠杆菌、霍氏肠杆菌、金黄色葡萄球菌等体外抑制能力, 从而为辛夷在药物、食品等领域的开发利用提供理论基础。

## 1 材料

### 1.1 材料与试剂

5 批辛夷药材分别为 2022 年 11 月 10 日 (X1)、2022 年 12 月 10 日 (X2)、2023 年 1 月 10 日 (X3)、2023 年 2 月 10 日 (X4)、2023 年 3 月 10 日 (X5) 于道地产区河南南召辛夷种植基地采摘, 每个采摘期选取种植基地中长势相同的树木, 人工采摘 3 份样品, 每份样品 2000g, 所有样品经河北中医药大学药学院郑玉光教授鉴定为木兰科植物望春花 (*Magnolia biondii* Pamp.) 的干燥花蕾; 总抗氧化能力 (T – AOC) 测定试剂盒: 南京建成生物工程研究所; 正己烷 (色谱纯): 天津市大茂化学试剂厂; 其他试剂均为分析纯。

## 1.2 仪器与设备

7890-5977B 型 GC-MS 联用仪 (Agilent 公司)、BSA224S-CW 型万分之一电子分析天平 (赛多利斯科学仪器有限公司)、Varioskan LUX 多功能酶标仪 (微孔板检测仪) (赛默飞世尔科技公司)、1788 型挥发油测定计 (郑州益康化工产品有限公司)。

## 2 方法

### 2.1 挥发油的提取

取辛夷药材 100 g, 精密称定, 放入研钵中研碎, 置于 2 000 mL 圆底烧瓶中, 加水 1 000 mL 后静置浸泡 1 h, 照 2020 年版《中华人民共和国药典》(简称《中国药典》) 四部通则挥发油测定法 (甲法) 操作, 提取 5 h, 静置分液, 计算挥发油得率。挥发油经无水硫酸钠脱水后, 用正己烷溶解稀释, 待 GC-MS 检测。

### 2.2 GC-MS 分析条件

采用 Agilent HP-5 色谱柱 (30 mm × 0.25 mm, 0.25 μm), 载气为 He; 载气流速 1.0 mL · min<sup>-1</sup>, 进样量 1 μL, 分流比 10:1, 进样口温度 230 °C, 程序升温 (起始柱温 60 °C, 以 0.2 °C · min<sup>-1</sup> 升至 64 °C, 以 10 °C · min<sup>-1</sup> 升至 140 °C, 以 1 °C · min<sup>-1</sup> 升至 150 °C, 保持 1 min, 共用时 41 min), 质谱检测采用电子轰击离子源 (electron impaction source, EI), 离子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C, TIC 扫描质量范围  $m/z$  50~500, 溶剂延迟时间为 3 min。

### 2.3 定性和定量分析

采用 NIST11 标准数据库和相关文献<sup>[10-13]</sup>, 对辛夷药材挥发油组分进行定性研究, 并根据峰面积归一化法确定其相对含量。

### 2.4 数据分析

以不同采收时期下各挥发性成分的相对百分含量为特征值, 利用 SIMCA 14.1 软件进行 PLS-DA 分析, 根据 VIP 值大于 1 评估差异性化合物<sup>[14-15]</sup>; 采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析, 统计结果以  $\bar{x} \pm s$  表示。为评估各组间的显著差异, 在数据符合正态分布且方差齐的基础上采用邓肯新多重范围检验 (DNMRT) 对不同组间的平均数进行显著性比较。首先, 将所有平均数按降序排列。然后, 以最大平均数为基准, 标记为 a, 并与相邻平均数进行比较。若差异不显著, 则相邻平均数同样标记为 a; 若显著, 则下一个平均数标记为 b。重复此过程, 直至所有平均数均被标记。最终, 相同标记的平均数表示差异不

显著, 不同标记的平均数表示差异显著, 显著性水平设定为  $P < 0.05$ 。使用 GraphPad Prism 9 软件进行柱形图的绘制。

### 2.5 抗氧化活性测定

参考 SZYDŁOWSKA-CZERNIAK 等<sup>[16]</sup> 的方法测定铁离子还原能力, 将检测缓冲液、基质液和底物液参照体积比 10:1:1 混匀充分后得 FRAP 工作液, 用蒸馏水配制浓度为 100 mmol · L<sup>-1</sup> 的 FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 母液。取适量 FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 母液再稀释至 0.15、0.3、0.6、0.9、1.2 和 1.5 mmol · L<sup>-1</sup>。在 96 孔板中添加 FRAP 工作液 180 μL 与 FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 溶液 5 μL, 37 °C 孵育 3~5 min, 于 593 nm 处测定各孔吸收度 (A) 值, 各孔减去空白孔 A 值后, 以标准品的 A 为横坐标, 各 A 对应的标准品浓度 C 为纵坐标绘制标准曲线, 得到回归方程:

$$C = 4.161A - 0.05390 \quad r = 0.9997$$

### 2.6 抑菌活性测定

将辛夷挥发油用无水甲醇稀释成 5 个质量浓度梯度, 分别为 10、5、2.5、1.25、0.625 mg · mL<sup>-1</sup>, 每个梯度重复 3 次, 以无水甲醇做空白对照。酶标仪平板每孔中加入 NB 培养基 8 μL、菌液 90 μL (大肠杆菌、霍氏肠杆菌、金黄色葡萄球菌、解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌) 和不同浓度梯度的辛夷挥发油 2 μL。配好的平板于 37 °C 恒温培养箱培养 8~10 h, 其中大肠杆菌和霍氏肠杆菌在 570 nm 下测 A, 金黄色葡萄球菌、解淀粉芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌在 630 nm 测 A, 计算不同采收时期辛夷挥发油的抑菌率<sup>[17]</sup>。

## 3 结果

### 3.1 不同采收期辛夷挥发油含量的比较

采用水蒸气蒸馏法对 5 个采收时期的辛夷药材进行挥发油提取, 记录出油量和出油率, 见表 1。5 个采收期辛夷药材挥发油含量均满足 2020 年版《中国药典》有关规定。不同采收期辛夷的挥发油含量均存在一定变化, 其中第 4 采收期 (2023 年 2 月 10 日) 辛夷药材出油量最高, 平均含量为 3.30 mL · g<sup>-1</sup>, 并且其显著高于第 1 采收期、第 2 采收期和第 5 采收期。

### 3.2 不同采收期辛夷挥发性成分鉴定

5 个采收时期辛夷药材挥发油的代表性总离子流图如图 1 所示。由表 2、3 可知, 在 5 批不同采收时期辛夷药材挥发油中共鉴定出 36、36、35、35、34 个

表 1 不同采收时期辛夷挥发油出油量及出油率( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Tab.1 Contents and extraction rates of volatile oil in Magnoliae Flos at different harvesting periods

| 样品编号<br>(number of sample) | 日期<br>(date) | 出油量<br>(oil content)/<br>mL | 出油率<br>(oil extraction rate)/<br>(mL · g <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|--------------|-----------------------------|--|
| X1                         | 2022-11-10   | 2.37 ± 0.22 <sup>c</sup>    | 2.37 ± 0.22 <sup>c</sup>                                 |
| X2                         | 2022-12-10   | 2.63 ± 0.26 <sup>bc</sup>   | 2.63 ± 0.26 <sup>bc</sup>                                |
| X3                         | 2023-01-10   | 3.05 ± 0.25 <sup>ab</sup>   | 3.05 ± 0.25 <sup>ab</sup>                                |
| X4                         | 2023-02-10   | 3.30 ± 0.22 <sup>a</sup>    | 3.30 ± 0.22 <sup>a</sup>                                 |
| X5                         | 2023-03-10   | 2.81 ± 0.11 <sup>bc</sup>   | 2.81 ± 0.11 <sup>bc</sup>                                |

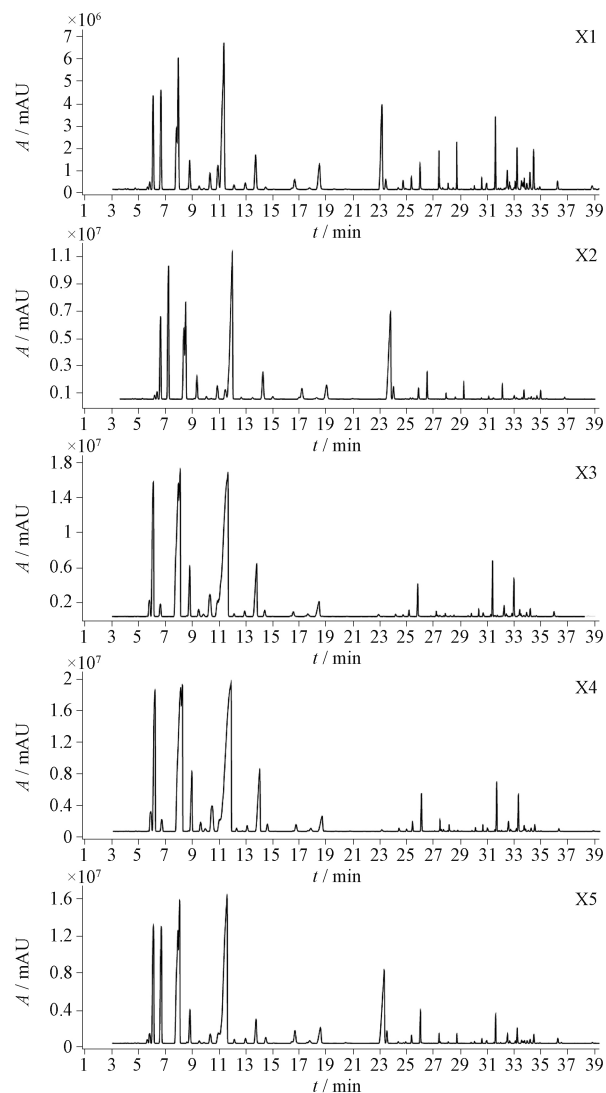
注 (note): 同列数据后无相同小写字母表示不同组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) (no identical lowercase letters after the data in the same column indicates significant differences between different groups)

成分, 分别占总挥发性成分的 93.72%、92.61%、90.92%、98.62%、85.89%。5 批不同采收时期辛夷药材挥发油均以萜烯烃类和萜烯醇类化合物为主, 萜烯烃类化合物分别有 23、23、22、22、21 个, 在各批次中分别占比 54.83%、53.54%、49.18%、53.12%、45.68%; 萜烯醇类化合物分别有 11、10、10、10、10 个, 在各批次中分别占比 28.08%、28.74%、30.66%、32.19%、29.67%。相较于其他采收期, 第 1 采收期中萜烯烃类和酯类的占比较大, 分别为 54.83% 和 1.43%; 第 4 采收期中萜烯醇类和酮类的占比较大, 分别为 32.19% 和 12.97%。

5 个采收时期辛夷的共有成分为 31 个, 其中相对含量较高的有桉叶油醇、 $\beta$ -蒎烯、樟脑、 $\alpha$ -蒎烯、香桉烯和茨烯等。桉叶油醇、樟脑、香桉烯和  $\alpha$ -蒎烯在 5 个采收时期中占比呈现先升高后下降的趋势, 其中均在第 4 采收期的占比最大, 分别为 25.00%、12.43%、11.36%、9.06%;  $\beta$ -蒎烯在第 1 采收期的占比最大, 为 10.39%, 其次为第 4 采收期, 占比为 9.97%; 茨烯在第 1 采收期和第 2 采收期的占比分别为 8.19% 和 11.90%, 高于其他 3 个时期 (0.74%、0.91% 和 0.73%)。

### 3.2 PLS-DA

将不同发育时期辛夷数据导入 SIMCA 14.1 软件对进行主成分分析, 得到 5 个时期辛夷挥发性成分的 PLS-DA 得分图, 见图 2。PLS-DA 提供 2 个主成分, 分别占总方差贡献率的 58.6% 和 23.0%, 总和为 81.6%, 表明这 2 个成分可以很好地说明 5 个发育时期辛夷的挥发性成分组成, 解释度较好



X1 ~ X5. 不同采收期样品编号 (sample No. at different harvesting periods)

图 1 不同采收期辛夷挥发油 GC-MS 总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion chromatograms of volatile oils in Magnoliae Flos at different harvesting periods

且稳定。由图 2 可知, 5 个采收时期数据各组独立分布, 表明不同采收时期辛夷的挥发性成分存在差异。

化合物的 VIP 值越大, 说明该化合物越是关键性的差异代谢物。以 VIP 值  $> 1$  作为条件进行筛选, 见图 3, 可知 12 个差异性成分对主成分的贡献较大, 分别为  $\gamma$ -衣兰油烯 (No. 17)、榄香烯 (No. 19)、 $\delta$ -杜松烯 (No. 23)、 $\alpha$ -松油醇 (No. 30)、别香橙烯 (No. 16)、 $\gamma$ -杜松烯 (No. 22)、 $\tau$ -杜松醇 (No. 34)、 $\beta$ -蒎烯 (No. 5)、2-茨醇 (No. 28)、樟脑 (No. 37)、 $\alpha$ -水芹烯 (No. 7) 和顺式-4-侧柏醇 (No. 25)。

表2 不同采收期辛夷挥发油 GC-MS 成分分析表

 Tab.2 GC-MS compositional analysis of volatile oils in *Magnoliae Flos* at different harvesting periods

| 类型<br>(type)              | 序号<br>(No.)   | $t_R$ /<br>min                    | 化学式<br>(chemical<br>formula)                   | 名称<br>(name)               | 匹配度<br>(matched<br>degree)/<br>% | 相对百分含量<br>(relative percentage)/% |       |       |       |       |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|--|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                           |               |                                   |  |                            |                                  | X1                                | X2    | X3    | X4    | X5    |
| 萜烯烃类<br>(terpene alkenes) | 1             | 5.88 ± 0.021                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | α-侧柏烯(α-thujene)           | 95                               | 0.55                              | 0.61  | 1.43  | 1.30  | 1.33  |
|                           | 2             | 6.16 ± 0.036                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | α-蒎烯(α-pinene)             | 94                               | 5.36                              | 7.52  | 8.38  | 9.06  | 7.29  |
|                           | 3             | 6.72 ± 0.022                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 莰烯(camphene)               | 96                               | 8.19                              | 11.90 | 0.74  | 0.91  | 0.73  |
|                           | 4             | 7.98 ± 0.119                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 香桉烯(sabinene)              | 93                               | 5.77                              | 8.87  | 9.94  | 11.36 | 9.88  |
|                           | 5             | 8.11 ± 0.106                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | β-蒎烯(β-pinene)             | 96                               | 10.39                             | 7.36  | 8.87  | 9.97  | 8.26  |
|                           | 6             | 8.89 ± 0.041                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | β-月桂烯(β-myrcene)           | 92                               | 2.53                              | 2.27  | 3.39  | 3.19  | 3.28  |
|                           | 7             | 9.58 ± 0.024                      | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | α-水芹烯(α-phellandrene)      | 87                               | 0.32                              | 0.30  | 0.55  | 0.53  | 0.61  |
|                           | 8             | 10.40 ± 0.040                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 4-萜烯(4-carene)             | 92                               | 1.62                              | 1.60  | 2.73  | 2.49  | 2.81  |
|                           | 9             | 11.00 ± 0.069                     | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>                | 邻-伞花烃(o-cymene)            | 95                               | 2.79                              | 1.33  | -     | 1.60  | -     |
|                           | 10            | 13.64 ± 0.036                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 顺式-β-罗勒烯(cis-β-ocimene)    | 89                               | 0.69                              | 0.51  | 0.40  | 0.38  | 0.40  |
|                           | 11            | 14.64 ± 0.100                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | γ-松油烯(γ-terpinene)         | 98                               | 3.84                              | 3.62  | 6.03  | 5.28  | 6.14  |
|                           | 12            | 16.64 ± 0.011                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 异松油烯(terpinolene)          | 95                               | 1.41                              | 1.84  | 0.56  | 0.44  | 0.50  |
|                           | 13            | 27.64 ± 0.004                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | α-香柑油烯(α-bergamene)        | 95                               | 0.36                              | 0.31  | 0.30  | 0.35  | 0.27  |
|                           | 14            | 28.64 ± 0.010                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 石竹烯(caryophyllene)         | 93                               | 2.79                              | 0.95  | 1.08  | 1.81  | 1.11  |
|                           | 15            | 29.64 ± 0.003                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 顺式-β-金合欢烯(cis-β-farnesene) | 96                               | 1.06                              | 0.45  | 0.40  | 0.50  | 0.41  |
|                           | 16            | 30.64 ± 0.001                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 别香橙烯(alloaeromadendrene)   | 91                               | 0.46                              | 0.43  | 0.28  | 0.62  | 0.14  |
|                           | 17            | 31.64 ± 0.002                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | γ-衣兰油烯(γ-murolene)         | 86                               | 0.37                              | 0.33  | 0.53  | 0.53  | 0.23  |
|                           | 18            | 32.64 ± 0.010                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 吉马烯 D(germacrene D)        | 95                               | 2.01                              | 1.02  | 1.07  | 1.40  | 1.11  |
|                           | 19            | 33.64 ± 0.003                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 榄香烯(elemene)               | 99                               | 0.44                              | 0.32  | 0.43  | 0.13  | 0.33  |
|                           | 20            | 35.64 ± 0.001                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | α-依兰油烯(α-murolene)         | 87                               | 0.58                              | 0.53  | 0.05  | 0.06  | 0.15  |
|                           | 21            | 36.64 ± 0.005                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | α-金合欢烯(α-farnesene)        | 86                               | 0.34                              | 0.43  | 0.54  | 0.94  | 0.47  |
|                           | 22            | 37.64 ± 0.005                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | γ-杜松烯(γ-cadinene)          | 90                               | 0.92                              | 0.32  | 0.54  | 0.27  | 0.23  |
|                           | 23            | 38.64 ± 0.003                     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | δ-杜松烯(δ-cadinene)          | 89                               | 2.04                              | 0.72  | 0.94  | -     | -     |
| 萜烯醇类(terpenols)           | 24            | 11.64 ± 0.216                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 桉叶油醇(eucalyptol)           | 91                               | 19.10                             | 21.13 | 23.70 | 25.00 | 23.28 |
|                           | 25            | 15.64 ± 0.032                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 顺式-4-侧柏醇(cis-4-thujanol)   | 95                               | 0.24                              | 0.35  | 0.48  | 0.48  | 0.37  |
|                           | 26            | 18.64 ± 0.066                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 芳樟醇(linalool)              | 90                               | 3.39                              | 2.40  | 1.93  | 1.78  | 1.88  |
|                           | 27            | 20.64 ± 0.044                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 水合莰烯(hydroxycineole)       | 87                               | 0.75                              | 1.10  | 1.36  | 1.64  | 1.17  |
|                           | 28            | 21.64 ± 0.005                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 2-茨醇(borneol)              | 86                               | 0.53                              | -     | 0.24  | 0.54  | 0.13  |
|                           | 29            | 22.64 ± 0.008                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 4-松油醇(4-carvomenthenol)    | 97                               | 0.60                              | 0.69  | -     | -     | -     |
|                           | 30            | 23.64 ± 0.023                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | α-松油醇(α-terpineol)         | 98                               | 1.07                              | 1.53  | 1.31  | 1.24  | 1.22  |
|                           | 31            | 24.64 ± 0.005                     | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O              | 香茅醇(citronellol)           | 94                               | 1.45                              | 0.32  | 0.43  | 0.21  | 0.31  |
|                           | 32            | 25.64 ± 0.005                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 香叶醇(geraniol)              | 95                               | 0.26                              | -     | -     | -     | -     |
|                           | 33            | 39.64 ± 0.006                     | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 橙花叔醇(nerolidol)            | 93                               | -                                 | 0.48  | 0.73  | 0.95  | 0.81  |
|                           | 34            | 40.64 ± 0.002                     | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | τ-杜松醇(τ-cadinol)           | 91                               | 0.35                              | 0.32  | 0.27  | 0.32  | 0.29  |
| 35                        | 41.64 ± 0.002 | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O | α-杜松醇(α-cadinol)                               | 93                         | 0.34                             | 0.42                              | 0.21  | 0.03  | 0.21  |       |
| 酮类(tones)                 | 36            | 17.64 ± 0.003                     | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O               | 2-壬酮(2-nonanone)           | 95                               | -                                 | 0.26  | 0.33  | 0.54  | 0.34  |
|                           | 37            | 19.64 ± 0.091                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | 樟脑(camphor)                | 95                               | 9.38                              | 9.44  | 10.32 | 12.43 | 9.66  |
| 酯类(esters)                | 38            | 26.64 ± 0.001                     | C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 龙脑乙酯(bornyl acetate)       | 99                               | 1.43                              | 0.63  | 0.43  | 0.34  | 0.54  |

注(note):“-”未检出(not detected)

表 3 不同采收期辛夷挥发油的组成分类和相对含量

Tab.3 Compositional classification and relative contents of volatile oils in *Magnoliae Flos* at different harvesting periods

| 类型<br>(type)         | 相对含量(relative content)/% |       |       |       |       |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                      | X1                       | X2    | X3    | X4    | X5    |
| 萜烯类(terpene alkenes) | 54.83                    | 53.54 | 49.18 | 53.12 | 45.68 |
| 萜烯醇类(terpenols)      | 28.08                    | 28.74 | 30.66 | 32.19 | 29.67 |
| 酮类(etones)           | 9.38                     | 9.70  | 10.65 | 12.97 | 10.00 |
| 酯类(esters)           | 1.43                     | 0.63  | 0.43  | 0.34  | 0.54  |
| 合计(total)            | 93.72                    | 92.61 | 90.92 | 98.62 | 85.89 |

注(note): X1 ~ X5. 不同采收期样品编号(sample No. at different harvesting periods)

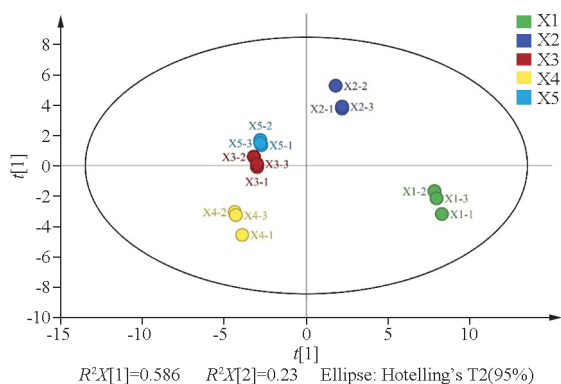


图 2 不同发育时期辛夷 PLS-DA 得分图

Fig.2 The PLS-DA score plot of *Magnolia Flos* at different growing stages

### 3.3 辛夷挥发油抗氧化活性测定

由图 4 可知,不同采收期辛夷挥发油均具有一定的铁离子还原/抗氧化能力。随着采收时间的延后,辛夷挥发油的还原/抗氧化能力表现出先升高再降低的形势,其中第 4 采收期(2023 年 2 月 10 日)辛夷挥发油的铁离子还原/抗氧化能力最强,显著高于其他 4 个采收期。图中柱上无相同小写字母表示不同组间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3.4 辛夷挥发油抑菌活性测定

由图 5 可知(柱上无相同小写字母表示不同组间差异显著, $P < 0.05$ ),不同采收期辛夷挥发油均具有一定的抗菌能力。辛夷挥发油对大肠杆菌表现出

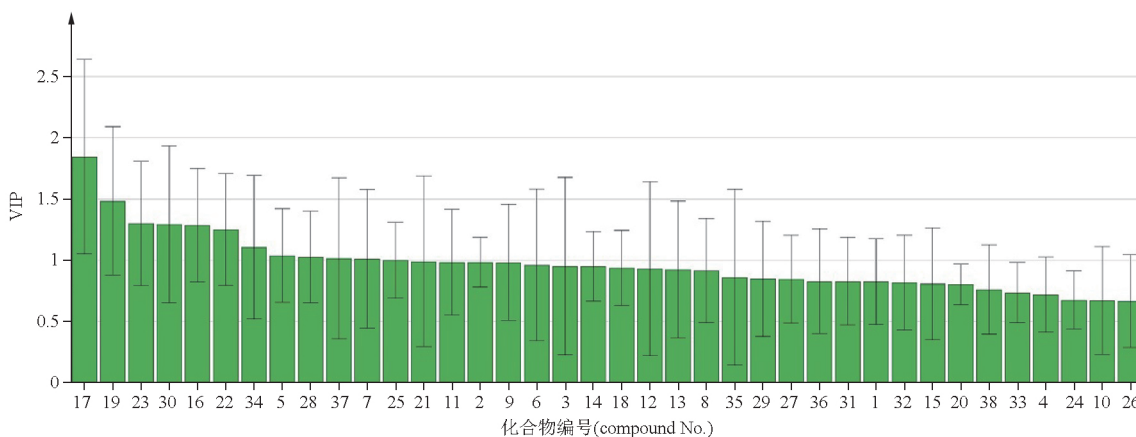


图 3 不同发育时期辛夷 PLS-DA 的 VIP 图

Fig.3 The VIP plot of PLS-DA in *Magnolia Flos* at different growing stages

较强的抑制作用,但对金黄色葡萄球菌和解淀粉芽孢杆菌的抑制作用较弱。一定质量浓度的辛夷挥发油能有效抑制细菌的生长,随着挥发油质量浓度升高其抑菌效果总体上表现出先升高后降低的趋势,其中第 4 采收期(2023 年 2 月 10 日)辛夷挥发油的

变化趋势相对平缓,且对 5 种菌的抑制作用均较强,显著高于其余 4 个采收期(表 4)。

## 4 讨论

辛夷可散风寒、通鼻窍,为治疗鼻渊之要药<sup>[2-3]</sup>。不同采收时期对药材质量和疗效均具有影响。

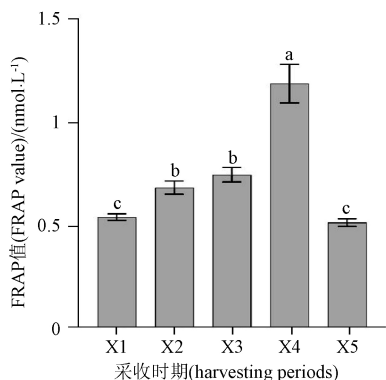


图4 不同采收期辛夷挥发油的抗氧化能力( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 4 Antioxidant capacity of volatile oils in Magnoliae Flos at different harvesting periods

本研究采用水蒸气蒸馏法对11月至次年3月份的5个采收时期辛夷药材的总挥发油进行提取,分别对浸泡时间、提取时间和料液比等进行考察,确定了“1.3.1”项下提取条件。结果表明,挥发油含量随着生长时间的延长表现出先增加后减少的趋势,其中第4采收时期(2023年2月10日)辛夷平均出油量最高,为 $3.30 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。11月份为辛夷生长初期,随着时间的推移,挥发油含量不断积累,在次年2月初达到顶峰,此时辛夷身干、个大、色黄绿、内瓣紧实、气味芳香,结合辛夷采收相关文献及2020年版《中国药典》中规定“冬末春初花未开放时采收”<sup>[18]</sup>,可推测辛夷最佳采收期为2月初。3月初辛夷挥发

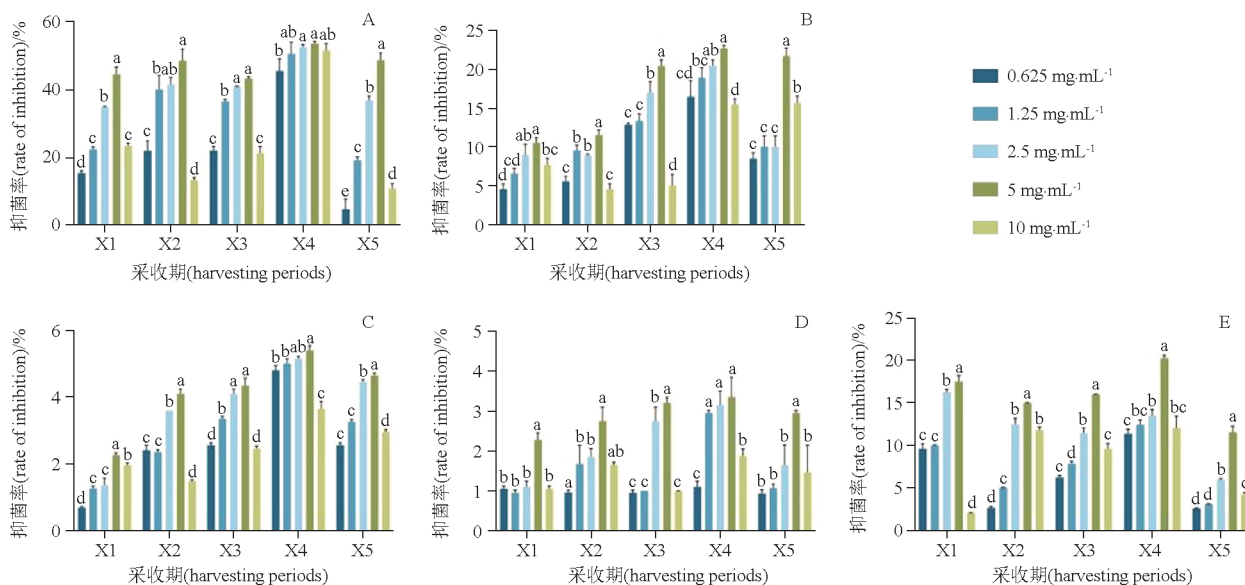


图5 辛夷挥发油对大肠杆菌(A)、霍氏肠杆菌(B)、金黄色葡萄球菌(C)、解淀粉芽孢杆菌(D)和枯草芽孢杆菌(E)的抑制结果( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 5 Inhibition results of volatile oils in Magnoliae Flos against *Escherichia coli* (A), *Enterobacter cloacae* (B), *Staphylococcus aureus* (C), *Bacillus amyloliquefaciens* (D) and *Bacillus subtilis* (E)

表4 不同采收时期辛夷挥发油对5种细菌的抑制率( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Tab. 4 Inhibition rates of volatile oils at Magnoliae Flos at different harvesting periods against five bacterial species

| 样品编号<br>(number of sample) | 抑菌率 (inhibition rates) / %          |  |   |  |  |
|----------------------------|-------------------------------------|--|---|--|--|
|                            | 大肠杆菌<br>( <i>Escherichia coli</i> ) | 霍氏肠杆菌<br>( <i>Enterobacter cloacae</i> ) | 金黄色葡萄球菌<br>( <i>Staphylococcus aureus</i> ) | 解淀粉芽孢杆菌<br>( <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ) | 枯草芽孢杆菌<br>( <i>Bacillus subtilis</i> ) |
| X1                         | 28.19 ± 10.84 <sup>c</sup>          | 7.62 ± 2.27 <sup>c</sup>                 | 1.50 ± 0.59 <sup>c</sup>                    | 1.29 ± 0.53 <sup>c</sup>                         | 11.05 ± 5.87 <sup>b</sup>              |
| X2                         | 33.12 ± 14.01 <sup>b</sup>          | 7.98 ± 2.78 <sup>c</sup>                 | 2.79 ± 1.00 <sup>d</sup>                    | 1.78 ± 0.64 <sup>b</sup>                         | 9.36 ± 4.99 <sup>d</sup>               |
| X3                         | 32.88 ± 9.87 <sup>b</sup>           | 13.74 ± 5.49 <sup>b</sup>                | 3.36 ± 0.82 <sup>c</sup>                    | 1.78 ± 1.05 <sup>b</sup>                         | 10.19 ± 3.58 <sup>c</sup>              |
| X4                         | 50.70 ± 3.47 <sup>a</sup>           | 18.83 ± 2.91 <sup>a</sup>                | 4.80 ± 0.65 <sup>a</sup>                    | 2.49 ± 0.93 <sup>a</sup>                         | 13.90 ± 3.48 <sup>a</sup>              |
| X5                         | 24.13 ± 17.24 <sup>d</sup>          | 13.17 ± 5.26 <sup>b</sup>                | 3.57 ± 0.88 <sup>b</sup>                    | 1.62 ± 0.81 <sup>bc</sup>                        | 5.43 ± 3.44 <sup>e</sup>               |

注 (note): 同列数据后无相同小写字母表示同菌株下不同组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) (absence of the same lowercase letter after the data in the same column indicates that the difference between different groups under the same bacterial condition is significant)

油含量下降,推测可能为春季气温回暖、空气干燥等因素导致。

为探究不同发育时期辛夷挥发性成分的差异和变化规律,本研究对5个发育时期采摘烘干的辛夷进行GC-MS分析。经匹配鉴定,共得38个化合物,与胡静等<sup>[13]</sup>研究结果相似,分别属于萜烯烃类、萜烯醇类、酮类和酯类。结果表明,辛夷在不同采收时期,其化学成分基本相同,但在各采收阶段其挥发性成分相对含量有明显差异。为进一步明确辛夷各采收时期挥发性成分差异,采用偏最小二乘法判别分析。结果可知,不同采收阶段辛夷挥发油样本独立分布于5个区域,其中第3采收时期和第5采收时期距离较近,第1采收时期和第2采收期距其他样本均较远,表明第3采收时期和第5采收时期挥发性成分含量差异较小,第1采收时期和第2采收期挥发性成分含量教其他采收期差异较大,揭示辛夷挥发性成分含量的积累在前期较快。依据VIP值大于1,筛选出 $\gamma$ -衣兰油烯、榄香烯、 $\delta$ -杜松烯、 $\alpha$ -松油醇等12个差异成分。在此基础上,对12个差异组分的相对含量进行了动态分析, $\gamma$ -衣兰油烯、别香橙烯、2-茨醇、樟脑和顺式-4-侧柏醇在第4采收时期相对含量最大,与挥发油含量变化趋势基本一致;榄香烯、 $\delta$ -杜松烯、 $\gamma$ -杜松烯、 $\tau$ -杜松醇和 $\beta$ -蒎烯在第1采收时期相对含量最大; $\alpha$ -松油醇在第2采收时期相对含量最大; $\alpha$ -水芹烯在第3采收时期相对含量最大,这一现象可能原因是辛夷花蕾在前期低温条件下,其化学物质积累更为丰富。

在当前对抗生素耐药性问题日益关注的背景下,中药抗菌的研究受到了越来越多的关注。研究表明,中药的抗菌作用主要通过干扰细菌细胞膜的完整性、蛋白质结构和功能以及核酸的稳定性来实现,进而影响细菌细胞壁的结构和功能,实现抑制细菌生长的效果<sup>[19]</sup>。因此,对具有抗菌潜力的中药成分进行筛选,不仅有助于理解其抗菌机制,也能为开发新型抗菌药物提供科学依据和新的思路。HANDALI和REZAEI的研究指出细胞死亡机制和表型以及随后的细胞毒性药物均严格依赖于浓度<sup>[20]</sup>。本研究中随着挥发油质量浓度升高其抑菌效果总体上表现出先升高后降低的趋势,其中第4采收期(2023年2月10日)辛夷挥发油的变化趋势相对平缓。在不同采收期中,浓度为 $5\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的辛夷挥发油对大肠杆菌、霍氏肠杆菌、金黄色葡萄球菌、解淀粉芽孢

杆菌和枯草芽孢杆菌的抑制效果均最强,而在挥发油浓度为 $10\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,其对5种菌的抑制作用却表示出下降的趋势,推测原因可能是在高浓度下,挥发油中的不同成分发生相互作用,这些相互作用抑制了某些有效成分的抑菌活性。为了准确解释这一现象,需要后期进一步的研究来确定具体的原因,包括对细菌的抗性机制、挥发油成分的相互作用、以及挥发油在不同浓度下的稳定性和溶解性等方面的深入分析。

人体受到伤害后,自身的抗氧化清除能力若不能抵消蓄积过多的活性氧簇(ROS)等氧化物质,则会产生氧化应激反应,进而可能造成多种疾病的附带发生,例如皮肤损伤、高血压、糖尿病、器官纤维化、脓毒症等<sup>[21]</sup>。有研究表明橙花叔醇和蒎烯具有良好的抗炎和抗氧化活性<sup>[22-23]</sup>;金合欢醇具有抗炎、抑菌功效<sup>[24]</sup>,樟脑可起到镇痛、止咳等作用<sup>[25]</sup>,这与辛夷药材抗炎、抗过敏、抑菌、平喘、降血压等药理作用相符。桉叶油醇能够抗菌、杀虫<sup>[26]</sup>;R-和S-芳樟醇对金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、大肠杆菌具有良好的抗菌活性<sup>[27]</sup>,由此推断,上述组分是辛夷用于预防和治疗疾病的重要物质基础。本研究通过对辛夷挥发油总抗氧化能力和抗菌活性分析表明,各采收阶段挥发油均具有一定的抗氧化能力和抗菌活性,其中第4采收期抗氧化能力最强,且对五种菌的抑制作用均较强,显著高于其他4个时期,故推测2月初为辛夷最佳采收期。

本研究阐述了五个时期辛夷中的12个差异性成分及其含量变化,推测2月初为辛夷最佳采收时期,为中药资源的合理利用和临床选药用药提供了化学依据,但化学成分的含量与药理作用的相关性仍需进一步的研究。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国药典2020年版.一部[S]. 2020: 282  
ChP 2020. Vol I [S]. 2020: 282
- [2] 王萍,张海燕,刘英孟,等.辛夷挥发油的化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J].中国药房,2022,33(3): 378  
WANG P, ZHANG HY, LIU YM, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and clinical application of volatile oil from *Magnolia liliflora* [J]. China Pharm, 2022, 33(3): 378
- [3] 李心如,徐发红,范奇盼,等.辛夷挥发油提取方法及辛夷化学成分、药理作用研究进展[J].中国野生植物资源,2023,42(12): 84

- LI XR, XU FH, FAN QP, *et al.* Research progress on extraction methods of essential oil from Magnoliae Flos, chemical constituents and pharmacological effects of Magnoliae Flos [J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2023, 42(12): 84
- [4] 卢晓莹, 梁月仪, 吕渭升, 等. 辛夷标准汤剂化学成分分析: 基于 UPLC-QE Orbitrap MS/MS 技术[J]. *亚太传统医药*, 2023, 19(9): 50
- LU XY, LIANG YY, LÜ WS, *et al.* Analysis of chemical components of Magnoliae Flos standard decoction based on UPLC-QE Orbitrap MS/MS technology [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2023, 19(9): 50
- [5] 初洪波, 刘聪, 刘艳华, 等. 超临界萃取法提取传统香药中的挥发油的醒脑提神香薰产品制备工艺的建立和质量标准研究[J]. *吉林中医药*, 2021, 41(6): 793
- CHU HB, LIU C, LIU YH, *et al.* Study on the preparation process and quality standards of refreshing aromatherapy products for extracting essential oil from traditional aroma medicines by supercritical extraction [J]. *Jilin J Chin Med*, 2021, 41(6): 793
- [6] 李聪, 黄诗雨, 陈丽华, 等. 药材部位、产地及采收期对中药挥发油成分的差异性分析[J]. *中草药*, 2020, 51(20): 5395
- LI C, HUANG SY, CHEN LH, *et al.* Analysis on the difference of volatile oil components in traditional Chinese medicine by location, origin and harvesting time of traditional Chinese medicine [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2020, 51(20): 5395
- [7] 郭梅, 安琪, 申亚君, 等. 基于 HPLC 结合化学计量学对黄芩茎叶最佳采收期的评价研究[J]. *药物分析杂志*, 2020, 40(12): 2099
- GUO M, AN Q, SHEN YJ, *et al.* Evaluation of the best harvest time of the stems and leaves of *Scutellaria baicalensis* based on HPLC and chemometrics [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2020, 40(12): 2099
- [8] 汪宁, 武祖发, 朱荃. 玉兰蕾最佳采收期[J]. *中药材*, 2005, 28(12): 1054
- WANG N, WU ZF, ZHU Q. The optimal harvest time for Magnolia buds [J]. *J Chin Med Mater*, 2005, 28(12): 1054
- [9] 倪天宇, 张水利, 汤丽, 等. 经典名方中辛夷的本草考证[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2023, 29(8): 80
- NI TY, ZHANG SL, TANG L, *et al.* Herbal textual research on Magnoliae Flos in famous classical formulas [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2023, 29(8): 80
- [10] 魏鹏程, 赵铭钦, 刘鹏飞, 等. 不同蒸馏方法提取辛夷挥发油的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(2): 358
- WEI PC, ZHAO MQ, LIU PF, *et al.* Comparative analysis of different distillation extraction of Flos Magnoliae volatile oil [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(2): 358
- [11] 张婷婷, 郭夏丽, 黄学勇, 等. 辛夷挥发油 GC-MS 分析及其抗氧化、抗菌活性[J]. *食品科学*, 2016, 37(10): 144
- ZHANG TT, GUO XL, HUANG XY, *et al.* GC-MS analysis and antioxidant and antimicrobial properties of volatile oil from Flos Magnoliae [J]. *Food Sci*, 2016, 37(10): 144
- [12] 王甜甜, 陈玲, 李心怡, 等. 辛夷药材及嫁接品种挥发油的 GC-MS 鉴别研究[J]. *中华中医药杂志*, 2019, 34(2): 787
- WANG TT, CHEN L, LI XY, *et al.* Identification study of volatile oil of Magnoliae Flos and grafted varieties by GC-MS [J]. *Chin J Tradit Chin Med Pharm*, 2019, 34(2): 787
- [13] 胡静, 付志博, 桑情妮, 等. 辛夷、辛夷仁和辛夷外苞片中挥发性成分的比较[J]. *中草药*, 2019, 50(7): 1555
- HU J, FU ZB, SANG QN, *et al.* Comparative study of volatile components of Magnoliae Flos, Magnoliae Flos kernels, and Magnoliae Flos bracts [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2019, 50(7): 1555
- [14] 常雅晴, 薛紫鲸, 杨贵雅, 等. 基于 GC-MS 和化学计量学的不同采收期祁艾挥发油成分动态变化研究[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(10): 2417
- CHANG YQ, XUE ZJ, YANG GY, *et al.* Dynamic changes of volatile components of Qiai from different harvest time based on GC-MS and chemometrics analysis [J]. *China J Chin Mater Med*, 2020, 45(10): 2417
- [15] 高美美, 黄建猷, 翟雅南, 等. 指纹图谱和多成分定量结合化学模式识别法评价不同产地杉木叶质量[J]. *药物分析杂志*, 2024, 44(5): 882
- GAO MM, HUANG JY, ZHAI YN, *et al.* Quality evaluation of leaves of *Cunninghamia lanceolata* from different habitats by fingerprint and multi-component quantification combined with chemical pattern recognition [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2024, 44(5): 882
- [16] SZYDŁOWSKA-CZERNIAK A, DIANOCZKI C, RECSEG K, *et al.* Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods [J]. *Talanta*, 2008, 76(4): 899
- [17] 李思琪, 江芊, 黄英, 等. 不同产地龙脑樟枝叶化学成分分析及体外抑菌研究[J]. *热带作物学报*, 2023, 44(5): 1011
- LI SQ, JIANG Q, HUANG Y, *et al.* Chemical composition analysis and *in vitro* bacteriostasis research of *Cinnamomum camphora* (L.) presl branches and leaves from different habitats [J]. *Chin J Trop Crops*, 2023, 44(5): 1011
- [18] 贾银芝, 吴琦, 王鑫, 等. 基于辨状论质法结合熵权法分析辛夷外观性状与内在质量的相关性[J]. *中药新药与临床药理*, 2021, 32(8): 1178
- JIA YZ, WU Q, WANG X, *et al.* Correlation between the appearance characteristics and the intrinsic quality of Magnoliae Flos based on quality-discrimination-by-character combined with entropy-weight method [J]. *Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol*, 2021, 32(8): 1178
- [19] 刘云宁, 李小凤, 班旭霞, 等. 中药抗菌成分及其抗菌机制的研究进展[J]. *环球中医药*, 2015, 8(8): 1012
- LIU YN, LI XF, BAN XX, *et al.* The review on active antibacterial ingredients of Chinese medicine and the antibacterial mechanism [J]. *Glob J Tradit Chin Med*, 2015, 8(8): 1012
- [20] HANDALI S, REZAEI M. Interlink between improved formula-

- tions, inhibitory concentrations and cell death mechanism investigations of cytotoxic drugs: what really matters? [J]. *J Control Release*, 2020, 320, 404
- [21] 靳亚静, 党玲玲, 陈希瑜, 等. 虎杖苷抗氧化活性研究进展 [J]. *天津中医药大学学报*, 2024, 43(4): 333  
JIN YJ, DANG LL, CHEN XY, *et al.* Recent advances in antioxidant activity of polydatin [J]. *J Tianjin Univ Tradit Chin Med*, 2024, 43(4): 333
- [22] 薛涵予, 王泽秀, 张晓丽. 橙花叔醇对脓毒症急性肺损伤大鼠炎症反应及 AMPK/SIRT1 通路的影响 [J]. *广州中医药大学学报*, 2023, 40(5): 1214  
XUE HY, WANG ZX, ZHANG XL. Effect of nerolidol on the inflammatory response and AMPK/SIRT1 pathway in rats with sepsis - induced acute lung injury [J]. *J Guangzhou Univ Tradit Chin Med*, 2023, 40(5): 1214
- [23] 李少宁, 陶雪莹, 李绣宏, 等. 植物释放有益挥发性有机物研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2022, 31(1): 187  
LI SN, TAO XY, LI XH, *et al.* Research progress of beneficial biogenic volatile organic compounds released from plants [J]. *Ecol Environ Sci*, 2022, 31(1): 187
- [24] 刘傲蕾, 杨艳芳, 孙赛宇, 等. 抗幽门螺杆菌活性挥发油的筛选、药效物质分析及其作用机制预测 [J]. *药物评价研究*, 2024, 47(6): 1199
- LIU AL, YANG YF, SUN SY, *et al.* Screening of anti - *Helicobacter pylori* active volatile oils, analysis of pharmacodynamic substances and prediction of their mechanism of action [J]. *Drug Eval Res*, 2024, 47(6): 1199
- [25] 于宏, 汪涛涌, 王建, 等. 山蜡梅的化学成分及其生物活性研究进展 [J]. *药物分析杂志*, 2021, 41(9): 1477  
YU H, WANG TY, WANG J, *et al.* Research progress of chemical compositions of *Chimonanthus nitens* Oliv. and their biological activities [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2021, 41(9): 1477
- [26] 王曼笛. 艾草精油主要化合物桉叶油醇的抑菌机理及艾草精油 Pickering 乳液抑菌作用研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.  
WANG MD. Antibacterial Mechanism of the Main Compounds in Artemisia Argyi Essential Oil - Eucalyptol and Antibacterial Effect of Artemisia argyi Essential Oil Pickering Emulsion [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022
- [27] 胡小刚, 陈剑鸿, 夏培元, 等. 芳樟醇 R- 和 S- 对映异构体的体外抗菌活性研究 [J]. *第三军医大学学报*, 2013, 35(19): 2077  
HU XG, CHEN JH, XIA PY, *et al.* *In vitro* anti - bacterial activities of R - and S - linalool [J]. *J Third Mil Med Univ*, 2013, 35(19): 2077

(本文于 2024 年 3 月 16 日收到)