

## 桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油抗氧化研究

杨 伟<sup>1, 2</sup> 张北红<sup>1\*</sup> 另青艳<sup>1, 3</sup> 钟 庆<sup>4</sup> 余佳敏<sup>1</sup> 肖祖飞<sup>1</sup> 金志农<sup>1</sup> 刘苑秋<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>南昌工程学院水土保持学院/江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心, 江西 南昌 330099;

<sup>2</sup>华中农业大学园艺林学学院, 湖北 武汉 430000; <sup>3</sup>江西农业大学林学院, 江西 南昌 330099; <sup>4</sup>吉安市园林绿化中心, 江西 吉安 343000)

**摘 要:**【目的】探究桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油及其纯露的抗氧化性。【方法】采用水蒸气蒸馏法提取桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油, 气相色谱质谱联用分析仪(GC-MS)分析其化学成分及相对含量。

【结果】桉叶油素型樟树精油中相对含量 0.1% 以上的化学成分有 15 种, 其中 1, 8-桉叶油素相对含量最高为 57.28%, 精油浓度为 128 g·L<sup>-1</sup> 时, 对 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)清除率(82.60%)高于阳性对照(77.85%), 对 DPPH 和 2, 2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)清除能力最强的半抑制浓度(IC<sub>50</sub>)分别为 14.25、31.65 g·L<sup>-1</sup>。柠檬醛型樟树精油中相对含量 0.1% 以上的化学成分有 30 种, 柠檬醛(橙花醛和香叶醛)相对含量最高为 42.32%, 对 DPPH 和 ABTS 清除能力最强的 IC<sub>50</sub> 分别为 44.45、34.46 g·L<sup>-1</sup>。精油纯露对 DPPH 和 ABTS 有一定的清除效果, 且桉叶油素型樟树精油抗氧化效果(DPPH: 53.24%, ABTS: 4.86%)优于柠檬醛型樟树精油(DPPH: 10.58%, ABTS: 9.06%)。【结论】两种化学型樟树精油及其纯露均具有抗氧化性, 且在一定浓度范围内高浓度精油的抗氧化性显著强于低浓度, 桉叶油素型樟树精油抗氧化性强于柠檬醛型樟树精油。研究可为樟树精油的开发利用提供理论依据。

**关键词:** 樟树; 精油; 柠檬醛; 桉叶油素; 抗氧化

## Antioxidant Activity of Eucalyptus-type and Citral-type Camphor Essential Oils

YANG Wei<sup>1, 2</sup> ZHANG Beihong<sup>1, \*</sup> LING Qingyan<sup>1, 3</sup> ZHONG Qing<sup>4</sup> YU Jiamin<sup>1</sup>  
XIAO Zufei<sup>1</sup> JIN Zhinong<sup>1</sup> LIU Yuanqiu<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Jiangxi Provincial Engineering Research Center of Seed-breeding and Utilization of Camphor Trees/The School of Water and Soil Conservation, Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330099; <sup>2</sup>College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430000; <sup>3</sup>Jiangxi Agricultural University Forestry College, Nanchang, Jiangxi 330099; <sup>4</sup>Ji'an Landscaping Center, Ji'an, Jiangxi 343000)

**Abstract:** 【Objective】In order to explore the antioxidant properties of eucalyptus and citral camphor essential oils and hydrosols. 【Method】Eucalyptus and citral camphor essential oils were extracted by steam distillation, and their chemical composition and relative content were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry analyzer (GC-MS). 【Result】There were 15 major compounds with a relative content of more than 0.1% in eucalyptus-type camphor essential oil, among which Eucalyptol had the highest content of 57.28%. At the essential oil concentration of 128 g·L<sup>-1</sup>, the scavenging rate of essential oil to 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) was 82.60%, which was higher than that of the positive control (77.85%). The half maximal inhibitory concentration (IC<sub>50</sub>) with the strongest scavenging capacity for DPPH and 2,2-Azinobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate) (ABTS) were 14.25 and 31.65 g·L<sup>-1</sup> respectively. There were 30 major compounds with a relative content more than 0.1% in citral-type camphor essential oil, among which citral (neral and geranial) had the highest content of 42.32%. The IC<sub>50</sub> with the strongest scavenging capacity for DPPH and ABTS were 44.45 and 34.46 g·L<sup>-1</sup> respectively. The hydrosols of essential oil had a certain scavenging effect on DPPH and ABTS, and the antioxidant effect of eucalyptus-type camphor (DPPH: 53.24%, ABTS: 4.86%) was better than citral-type camphor (DPPH: 10.58%, ABTS:

基金项目: 江西省科学技术厅重大科技研发专项(20203ABC28W016), 江西省林业局林业科技创新项目([2020]07), 江西省自然科学基金面上项目(20232BAB205055), 南昌工程学院博士科研启动项目(2022kyqd012)

\*通讯作者: 张北红, 女, 讲师, 主要从事林木良种选育与栽培。Email: 362559339@qq.com

9.06%)。【Conclusion】Both chemotypes of camphor essential oils and hrdrosols possessed antioxidant properties, and in a certain concentration range, the antioxidant properties of the essential oils were significantly stronger at higher concentrations than the lower concentrations. Essential oil of eucalyptus-type camphor had stronger antioxidant activity than citral-type camphor. The research provide a theoretical basis for the development and utilization of camphor essential oil.

**Keywords:** *Cinnamomum camphora*, essential oil, citral, eucalyptus, antioxidant

樟树，常作为樟属多树种的统称，包含香樟[*Cinnamomum camphora* (L.) Presl]、黄樟[*C. porrectum* (Roxb.) Kosterm]、油樟[*C. longepaniculatum* (Gamble) N. Chao ex H. W. Li]、细毛樟 (*C. tenuipilum* Kosterm.) 等<sup>[1]</sup>。樟树全株可用作精油的制作<sup>[2]</sup>，不同化学型樟树精油化学成分不同、性质各异<sup>[3]</sup>。其中，桉叶油素型樟树因精油中富含桉叶油素而得名，桉叶油素作为一种单萜醇类化合物，具有较强的消炎、抑菌功效，主要用于医药领域<sup>[4]</sup>。柠檬醛型樟树因精油中富含柠檬醛而得名，柠檬醛是一种单萜醛类化合物，包括香叶醛和橙花醛两种同分异构体<sup>[5]</sup>，是合成维生素 A、维生素 E、紫罗兰酮等的重要原料，因此柠檬醛主要用于医药、食品、香精香料等领域<sup>[6]</sup>。樟树精油为纯天然提取，未添加任何人为合成物质<sup>[7]</sup>，因此较人工合成精油更受大众青睐。纯露指的是在植物精油提取过程中，产生的含有微量精油和植物水溶性物质的混合液<sup>[8]</sup>，作为精油提取剩余物有很大的利用空间。

樟树精油的开发利用的现有研究表明，桉叶油素型樟树精油具有杀虫、抗癌、除菌等效果<sup>[9]</sup>，还可缓解博来霉素诱导的肺纤维化，并抑制白细胞介素 (IL)-13 诱导的 M2 巨噬细胞极化<sup>[10]</sup>；柠檬醛型樟树精油可以抑制小鼠 B 细胞淋巴瘤 38B9 细胞增殖，还能促进该细胞凋亡进而阻滞细胞周期<sup>[11]</sup>。然而，尚未有关于桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油及其纯露抗氧化性的深入研究。检测植物精油抗氧化性的方法有多种<sup>[12]</sup>，其中 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 和 2,2-联氮-二 (3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 [2,2-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS] 自由基清除法是测定抗氧化性的典型方法，已普遍被用于鸡蛋花、黑胡椒、迷迭香等多种植物的抗氧化性研究<sup>[13-15]</sup>。本研究以桉叶油素型和柠檬醛型樟树为材料，采用水蒸气蒸馏法提取樟树精油，气相色谱质谱联用分析仪 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 分析其化学成分及相对含量；以丁基羟基茴香醚 (Butyl hydroxyanisole, BHA) 为阳性对照，运用 DPPH 和 ABTS 自由基清除法测定精油及纯露的抗氧化性，探究樟树精油中主要成分和抗氧化性的关系，旨在为后续香料樟树精油及纯露开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

香料樟树优良无性系 (桉叶油素型和柠檬醛型)，经江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心筛选获得。2017 年扦插栽植于江西省金溪樟树种质资源保护与良种繁育基地 (北纬 27°89′，东经 116°47′)，统一养护管理，生长环境条件一致。桉叶油素型和柠檬醛型樟树各选取 3 个无性系，分别为桉叶油素 34 (A1)、桉叶油素 114 (A2)、桉叶油素 122 (A3)，柠檬醛 NGN-1 (N1)、柠檬醛 ZS-W3 (N2)、柠檬醛 ZS-W5 (N3)。2022 年 9 月采集 5 年生、相同高度的桉叶油素型和柠檬醛型樟树样株叶片，提取相应的精油并收集纯露，测定其抗氧化活性，每个无性系重复 3 次。

化学试剂包括 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH)、2,2-联氮-二 (3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS)、丁基羟基茴香醚 (BHA)、无水乙醇、过硫酸钾溶液，均来自上海麦克林生化科技股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

CN206599548U 便携式水蒸气精油提取设备，江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心自主研发；8890-5977B GC-MS 气相色谱-质谱联用仪，安捷伦科技有限公司；GWB-1/30 纯水仪，北京普析通用仪器有限责任公司；TopPette 手动单道可调移液器，大龙兴创实验仪器 (北京) 股份公司；Molecular Devices SpectraMax 190 酶标板、SpectraMax 190 型连续波长酶标仪/读板机，美国 MD 公司；AX4202ZH 电子天平，奥豪斯仪器 (常州) 有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 樟树精油的制备

称取不同化学型樟树叶片各 400 g, 放入精油提取机中, 加入 1 L 水, 水蒸气蒸馏 1 h, 通过冷凝、油水分离得到樟树精油。

### 1.3.2 樟树精油化学成分分析

色谱条件: Tp-5 ms 毛细管柱, 载气为高纯氮气, 进样口温度为 230 °C, 离子源温度和传输线温度为 280 °C。分流比例为 1:20, 进样量 1 μL。初始温度 50 °C, 维持 1 min, 以 10 °C·min<sup>-1</sup> 升至 250 °C, 维持 6 min<sup>[16-17]</sup>。

质谱条件: 电子轰击源 (electron ionization, EI), 电离电压 70 eV, 经 50~650 amu 全扫描, 溶剂延迟时间 3.5 min, 人工进样量 1 μL。采用气相色谱法定量分析樟树精油, 运用 Wiley7n.1/NIST17.L 光谱库 (<https://webbook.nist.gov/chemistry/>), 以柠檬醛标准品作为对照, 根据相对保留时间 (Relative Retention Time, RT) 找到对应物质<sup>[18]</sup>。对比分析正构烷烃 C<sub>8</sub> 至 C<sub>30</sub> 的标准物与样品, 根据公式 (1) 计算试验保留指数 (Retention Index, RI), 试验 RI 和 RT 绝对值相差在 30 以内的确定为同一物质。

$$RI = 100 * n + 100 * [(\log t_x - \log t_n) / (\log t_{n+1} - \log t_n)] \quad (1)$$

式中, RI 为试验保留指数; n 为待测物质前流出的正构烷烃碳原子数; n+1 为待测物质后流出正构烷烃碳原子数; t 为待测化合物的保留时间; t<sub>n</sub> 和 t<sub>n+1</sub> 为相对应正构烷烃的保留时间 (t<sub>n</sub> < t < t<sub>n+1</sub>)。

### 1.3.3 樟树精油抗氧化测试

DPPH 自由基含有单电子, 在 517 nm 波长处有最大吸收峰。向 DPPH 溶液中加入抗氧化剂后, 抗氧化剂可与 DPPH 自由基的单电子配对, 使其在波长 517 nm 处的吸光度降低。根据李嘉欣等<sup>[19]</sup>关于 DPPH 自由基清除的方法, 略作改进。将 DPPH 溶解于无水乙醇, 配制为 0.1 mmol·L<sup>-1</sup> 的 DPPH 乙醇工作液, 贮藏在棕色瓶中, 存放于暗处备用。分别称取 2 mL 不同浓度梯度的樟树精油, 在同一时间滴入 2 mL DPPH 工作液, 充分震荡后避光反应 30 min, 反应结束后取出。将充分反应后的溶液滴定在酶标板上, 并测定其波长为 517 nm 时的吸光度 (A<sub>1</sub>)。以 2 mL 无水乙醇作为对照, 测定波长 517 nm 处的吸光度 (A<sub>0</sub>)。每组试验重复若干次, 去除误差较大的数值, 其余数值取平均值。DPPH 自由基清除率的计算见公式 (2):

$$\text{DPPH 自由基清除率} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中, A<sub>0</sub> 为无水乙醇在波长 517 nm 处的吸光度; A<sub>1</sub> 为樟树精油在波长 517 nm 处的吸光度。

ABTS 自由基含有单电子, 在波长 734 nm 处有最大吸收峰。向 ABTS 溶液中加入抗氧化剂后, 抗氧化剂可与 ABTS 自由基的单电子配对, 使其在波长 734 nm 处的吸光度降低。根据李嘉欣等<sup>[19]</sup>关于 ABTS 自由基清除的方法, 略作改进。称取 11.529 g ABTS 原料, 溶解于 30 mL 蒸馏水, 配制为 7 mmol·L<sup>-1</sup> 的 ABTS 溶液。称取 1.759 g 过硫酸钾粉末置于烧杯中, 充分溶解于 30 mL 蒸馏水, 配制为 2.45 mmol·L<sup>-1</sup> 的过硫酸钾溶液。等量混合过硫酸钾溶液和 ABTS 溶液, 震荡摇匀后存放于暗处 12~16 h, 配制成 ABTS<sup>+</sup> 溶液。用无水乙醇稀释 ABTS<sup>+</sup> 溶液, 使其在波长 734 nm 处的吸光度为 0.70。取 0.2 mL 樟树精油置于 5 mL 离心管, 加入 3.8 mL ABTS<sup>+</sup> 溶液, 在常温下充分摇晃震荡后反应 10 min, 测定波长 734 nm 处的吸光度 (A'<sub>1</sub>)。以 0.2 mL 无水乙醇为对照, 测定波长 734 nm 处的吸光度 (A'<sub>0</sub>)。每组试验重复若干次, 去除误差较大的数值, 其余数值取平均值。ABTS 自由基清除率的计算见公式 (3):

$$\text{ABTS 自由基清除率} = (A'_0 - A'_1) / A'_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中, A'<sub>0</sub> 为无水乙醇在波长 734 nm 处的吸光度; A'<sub>1</sub> 为樟树精油在波长 734 nm 处的吸光度。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2007 对原始数据进行统计处理, 用 SPSS 20.0 进行相关性分析。

## 2 结果与分析

## 2.1 桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油化学成分

使用气相色谱质谱联用分析仪分析桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油的化学成分，得到两种化学型樟树精油 GC-MS 总离子流图（图 1-6）。

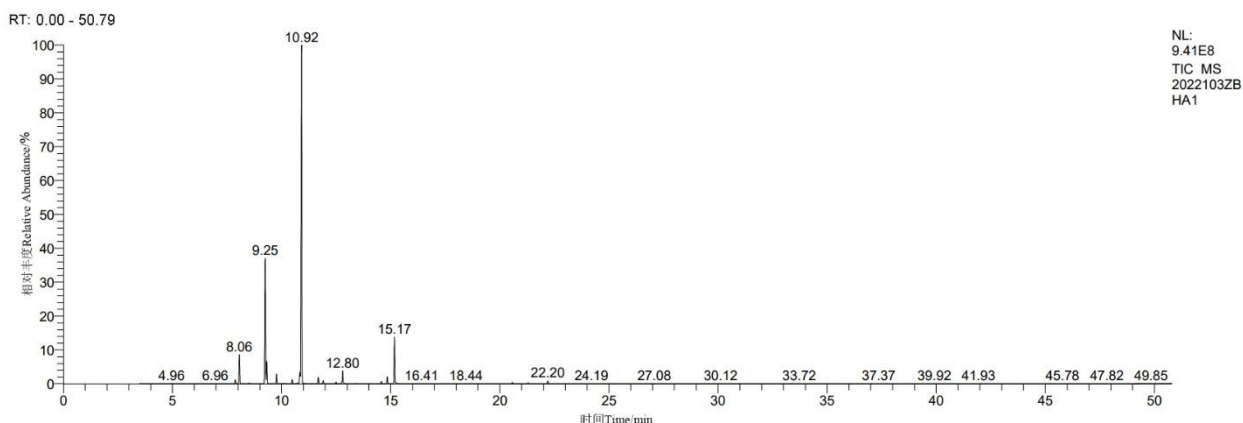


图 1 桉叶油素 34（A1）樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.1 Eucalyptus 34(A1) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

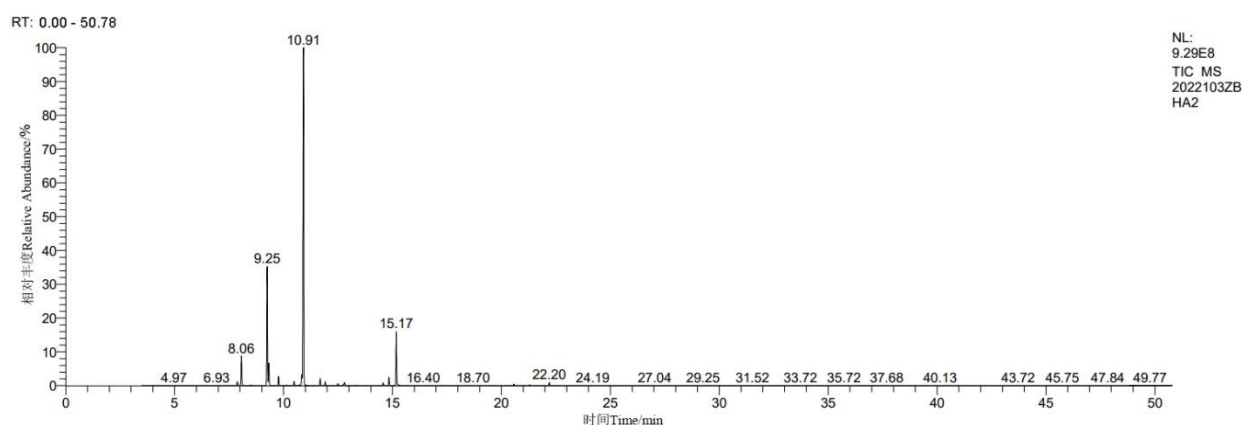


图 2 桉叶油素 114（A2）樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.2 Eucalyptus 114 (A2) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

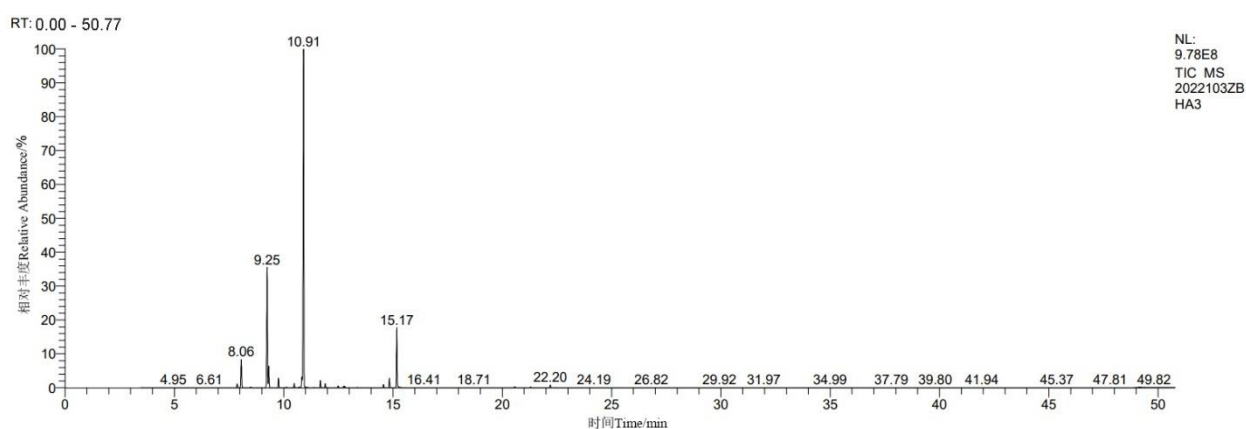


图 3 桉叶油素 122（A3）樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.3 Eucalyptus 122 (A3) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

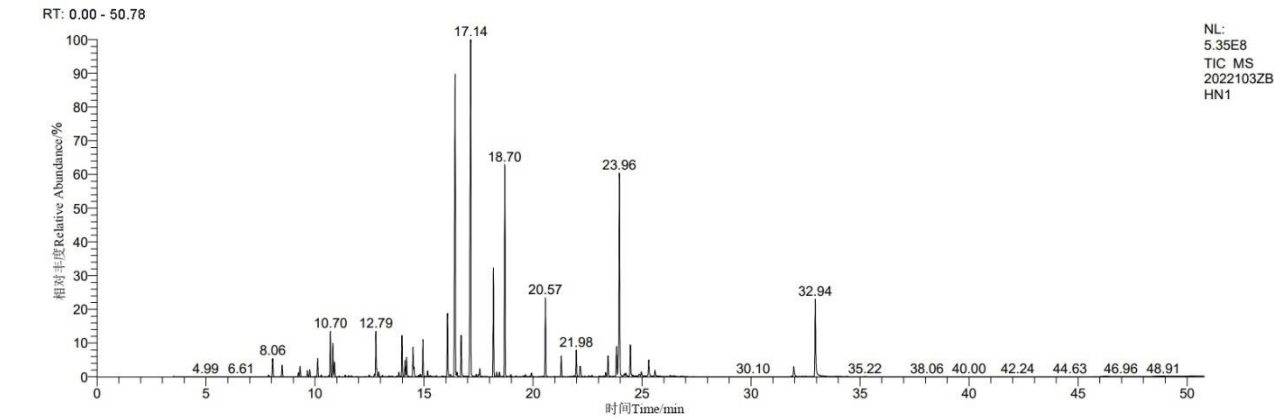


图 4 柠檬醛 NGN-1 (N1) 樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.4 Citral NGN-1 (N1) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

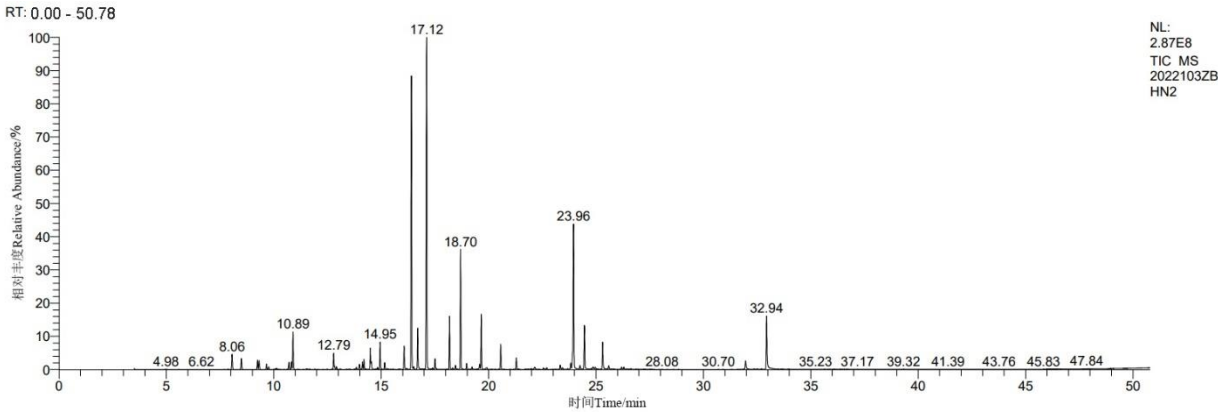


图 5 柠檬醛 ZS-W3 (N2) 樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.5 Citral ZS-W3 (N2) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

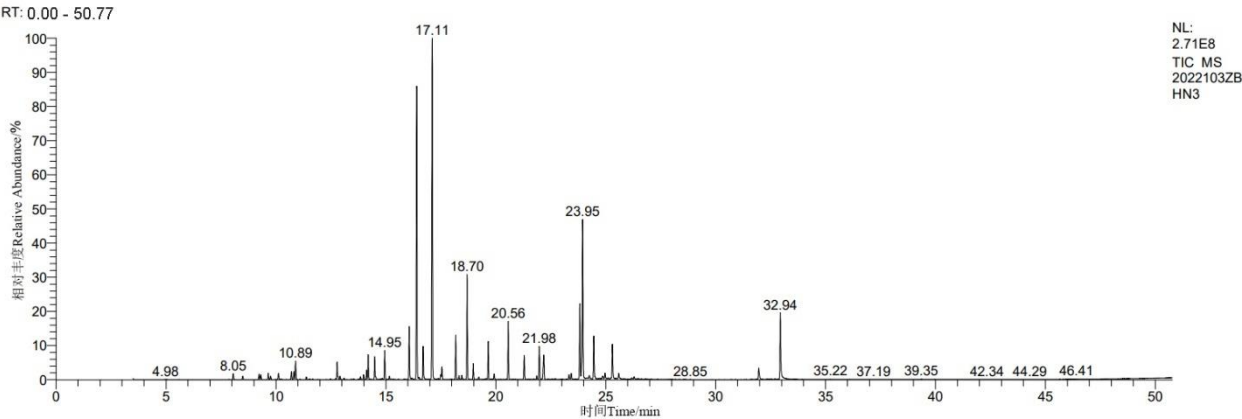


图 6 柠檬醛 ZS-W5 (N3) 樟树精油 GC-MS 总离子流图

Fig.6 Citral ZS-W5 (N3) camphor essential oil GC-MS total ion flow diagram

处理气相色谱质谱联用分析仪的结果，分析桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油的化学成分，取 0.1% 以上的成分作为主要成分。登录 NIST 数据库，结合相关文献比对文献保留指数与试验保留指数，进而确定两种樟树精油的化学成分。

表 1 桉叶油素型和柠檬醛型樟树化学成分分析

Table 1 Chemical composition analysis of eucalyptus and citral camphor trees

| 序号<br>No. | 相对保留指数<br>RI<br>(lit) | 试验保留指数<br>RI<br>(exp) | 化合物名称<br>Compounds name                 | 分子式<br>Molecular                               | 相对含量 Relative content/% |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |                       |                       |                                         |                                                | A1                      | A2    | A3    | N1    | N2    | N3    |
| 1         | 934                   | 937                   | $\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 4.72                    | 4.78  | 4.47  | 0.95  | 1.11  | 0.38  |
| 2         | 949                   | 951                   | 茨烯 Camphene                             | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 0.13                    | 0.13  | 0.13  | 0.60  | 0.81  | 0.23  |
| 3         | 973                   | 973                   | 桉烯 Sabinene                             | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 19.36                   | 18.9  | 18.67 | 0.20  | 0.62  | 0.31  |
| 4         | 973                   | 978                   | $\beta$ -蒎烯 $\beta$ -Pinene             | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 3.16                    | 3.10  | 3.08  | 0.51  | 0.63  | 0.30  |
| 5         | 988                   | 986                   | 月桂烯 $\beta$ -Myrcene                    | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 1.35                    | 1.30  | 1.29  | 0.33  | 0.21  | 0.20  |
| 6         | 998                   | 996                   | 水芹烯 $\alpha$ -Phellandrene              | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | -                       | -     | -     | 0.85  | -     | 0.37  |
| 7         | 1 012                 | 1 011                 | 2-萜烯 2-Carene                           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 0.56                    | 0.65  | 0.60  | -     | -     | -     |
| 8         | 1 024                 | 1 025                 | D-柠檬烯 D-Limonene                        | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 0.11                    | -     | -     | 1.44  | 0.45  | 0.44  |
| 9         | 1 039                 | 1 038                 | 桉叶油素 Eucalyptol                         | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 56.86                   | 56.94 | 57.28 | 0.63  | 2.37  | 1.01  |
| 10        | 1 055                 | 1 052                 | 萜品烯 Terpinolene                         | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 0.92                    | 1.02  | 0.95  | -     | -     | -     |
| 11        | 1 091                 | 1 092                 | 芳樟醇 Linalool                            | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 1.90                    | 0.67  | -     | 2.21  | 1.13  | 1.08  |
| 12        | 1 135                 | 1 139                 | 樟脑 Camphor                              | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 1.81  | 0.36  | 0.29  |
| 13        | 1 143                 | 1 148                 | 香茅醛 Citronellal                         | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 0.80  | 0.60  | 1.28  |
| 14        | 1 153                 | 1 152                 | (S)-顺式马鞭草醇(S)-cis-Verbenol              | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | -                       | -     | -     | 3.15  | 3.25  | 2.80  |
| 15        | 1 166                 | 1 170                 | 4-萜烯醇 Terpinen-4-ol                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 0.96                    | 1.20  | 1.28  | -     | -     | -     |
| 16        | 1 177                 | 1 173                 | L- $\alpha$ -松油醇 L- $\alpha$ -Terpineol | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 6.48                    | 7.67  | 8.92  | 0.26  | 0.42  | -     |
| 17        | 1 210                 | 1 227                 | 橙花醇 Nerol                               | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 2.81  | 1.55  | 2.92  |
| 18        | 1 231                 | 1 242                 | 橙花醛 Neral                               | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 16.51 | 19.25 | 17.31 |
| 19        | 1 244                 | 1 254                 | 香叶醇 Geraniol                            | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 1.80  | 2.55  | 1.83  |
| 20        | 1 277                 | 1 273                 | 香叶醛 Geranial                            | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 19.20 | 23.07 | 20.65 |
| 21        | 1 267                 | 1 266                 | 乙酸龙脑酯 Bornyl acetate                    | C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | -                       | -     | -     | -     | 0.71  | 0.93  |
| 22        | 1 293                 | 1 276                 | 柑橘酮 3,8-Nonadien-2-one, 4,8-dimethyl-   | C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O              | -                       | -     | -     | 13.93 | 10.12 | 7.58  |
| 23        | 1 327                 | 1 326                 | 乙酸香茅酯 Citronellol acetate               | C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | -                       | -     | -     | -     | 0.37  | 0.80  |
| 24        | 1 356                 | 1 359                 | 乙酸橙花酯 Nerol acetate                     | C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | -                       | -     | -     | -     | 3.14  | 1.90  |
| 25        | 1 392                 | 1 390                 | $\beta$ -石竹烯 $\beta$ -Caryophyllene     | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 0.21                    | 0.23  | 0.17  | 3.43  | 1.57  | 3.12  |
| 26        | 1 425                 | 1 428                 | 丁香烯 Humulene                            | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 0.14                    | 0.14  | 0.12  | 0.94  | 0.74  | 1.34  |
| 27        | 1 456                 | 1 464                 | $\beta$ -瑟林烯 $\beta$ -Selinene          | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | -                       | -     | -     | 1.23  | -     | 1.86  |
| 28        | 1465                  | 1465                  | $\gamma$ -榄香烯 $\gamma$ -Elemene         | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 0.44                    | 0.49  | 0.41  | 0.69  | -     | 1.93  |
| 29        | 1522                  | 1544                  | 反式-橙花醇 E-Nerolidol                      | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | -                       | -     | -     | 0.93  | -     | 0.36  |
| 30        | 1541                  | 1545                  | 油烯醇(-)Spathulenol                       | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | -                       | -     | -     | 1.36  | 0.28  | 4.14  |
| 31        | 1547                  | 1551                  | 二表雪松烯-1-氧化物 Diepicedrene-1-oxide        | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | -                       | -     | -     | 10.51 | 10.48 | 9.89  |
| 32        | 1571                  | 1576                  | 氧化石竹烯 Caryophyllene oxide               | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | -                       | -     | -     | 1.51  | 2.98  | 2.69  |
| 33        | 1611                  | 1612                  | 异香橙烯环氧化物 Isoaromadendrene epoxide       | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | -                       | -     | -     | 0.90  | 1.92  | 2.21  |

|                                                   |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 成分占比 Ingredients account for the total percentage | 98.15 | 96.18 | 96.67 | 89.49 | 90.69 | 90.15 |
| 单萜烯烃类 Hydrocarbon monoterpene                     | 30.20 | 28.86 | 28.24 | 4.88  | 3.83  | 2.23  |
| 含氧单萜类 Oxygenated monoterpenes                     | 67.58 | 67.50 | 68.43 | 63.11 | 65.38 | 57.68 |
| 单萜 Monoterpenes                                   | 97.78 | 96.36 | 96.67 | 67.99 | 69.21 | 59.91 |
| 倍半萜烯烃类 Sesquiterpenes olefins                     | 0.79  | 0     | 0     | 5.60  | 2.31  | 6.32  |
| 含氧倍半萜类 Oxygenated sesquiterpenes                  | 0     | 0.86  | 0.70  | 13.49 | 10.76 | 16.32 |
| 倍半萜 Sesquiterpenes                                | 0.79  | 0.86  | 0.70  | 19.09 | 13.07 | 22.64 |

注：“-”：未 RI (lit)：试验中测得的“保留指数”（相对于饱和烷烃标准）；RI (exp)：在 Wiley7n.I/NIST17.L 图书馆中根据相应的数据库寻找的“保留指数”。Note：“-”：The component is not detected. RI (lit): The "retention index" measured experimentally relative to the saturated alkane standard; RI(exp): The "retention index" in the Wiley7n.I/NIST17 library looking for according to the corresponding database.

由表 1 可知，含量高于 0.1% 的化合物共计 33 种，主要为烯烃类、醇类、醛类、酯类。桉叶油素型樟树精油中大于 1% 的化学成分有 15 种，其中桉叶油的相对含量最高（57.28%）；桉叶油素型樟树精油中含氧单萜类化合物的含量最高（68.43%），其次为单萜烯烃化合物（30.2%）和倍半萜烯烃化合物（0.86%），含氧倍半萜化合物含量较少（0.86%）。柠檬醛型樟树精油的主要化学成分较复杂，大于 1% 的主要成分有 30 种，含量最高的是柠檬醛（橙花醛和香叶醛），占比为 42.32%；柠檬醛型樟树精油中含氧单萜类化合物的含量最高（65.38%），其次为含氧倍半萜类化合物（16.32%）和倍半萜化合物（6.32%），单萜烯烃类化合物（4.88%）的含量最低。

2.2 桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油抗氧化分析

2.2.1 不同浓度樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力

由表 2 可知，两种化学型樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力均随樟树精油浓度的增加而增加，且樟树精油对 ABTS 自由基的清除能力相比 DPPH 自由基较弱，桉叶油素型樟树精油对 DPPH 自由基的清除能力高于柠檬醛型樟树精油。桉叶油素 122（A3）对 DPPH 自由基清除能力最强为 82.60%（浓度 128 g·L<sup>-1</sup>），超过阳性对照 BHA 清除率（77.85%）。当浓度为 128 g·L<sup>-1</sup> 时，样株对 ABTS 自由基的清除能力最强；桉叶油素 114（A2）对 ABTS 自由基的清除率最高为 62.88%（浓度 128 g·L<sup>-1</sup>），低于阳性对照 BHA 清除率（93.57%）。

表 2 樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力

Table 2 DPPH and ABTS free radical scavenging abilities of different camphor tree essential oils

| 样株编号                | 质量浓度                                     | DPPH 清除率               | ABTS 清除率               |
|---------------------|------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Sample No.          | Mass concentration/ (g·L <sup>-1</sup> ) | DPPH scavenging rate/% | ABTS scavenging rate/% |
| 桉叶油素 34             | 128                                      | 82.19±0.45a            | 60.32±0.42a            |
|                     | 64                                       | 75.77±0.28b            | 35.52±1.34b            |
|                     | 32                                       | 69.51±0.19c            | 20.56±0.27c            |
| Eucalyptus 34 (A1)  | 16                                       | 43.32±1.01d            | 16.07±0.44a            |
| 桉叶油素 114            | 128                                      | 82.19±0.56a            | 62.88±1.54a            |
|                     | 64                                       | 80.24±0.17b            | 37.67±0.37b            |
|                     | 32                                       | 79.29±0.25c            | 19.30±0.62c            |
| Eucalyptus 114 (A2) | 16                                       | 49.58±0.19d            | 11.73±0.55d            |
| 桉叶油素 122            | 128                                      | 82.60±0.15a            | 62.46±0.27a            |
|                     | 64                                       | 79.77±1.21b            | 35.07±0.39c            |
|                     | 32                                       | 58.89±0.35c            | 15.87±0.52b            |
| Eucalyptus 122 (A3) | 16                                       | 53.85±1.22d            | 11.30±0.17a            |
| 柠檬醛 NGN-1           | 128                                      | 75.55±0.72a            | 60.39±0.03a            |
|                     | 64                                       | 66.52±0.13b            | 39.62±0.26b            |
|                     | 32                                       | 30.97±0.52c            | 21.26±0.17c            |

|                                   |     |             |             |
|-----------------------------------|-----|-------------|-------------|
| Citral NGN-1 (N1)                 | 16  | 23.89±0.33d | 13.06±0.11d |
|                                   | 128 | 76.03±0.57a | 54.32±1.02a |
| 柠檬醛 ZS-W3                         | 64  | 32.93±0.23b | 35.26±0.13c |
| Citral ZS-W3 (N2)                 | 32  | 27.15±0.28c | 26.45±0.75b |
|                                   | 16  | 8.57±0.73d  | 18.12±0.24a |
|                                   | 128 | 73.29±0.14a | 58.49±0.19a |
| 柠檬醛 ZS-W5                         | 64  | 57.02±0.13b | 32.94±0.03b |
| Citral ZS-W5 (N3)                 | 32  | 47.98±0.21c | 16.19±0.05c |
|                                   | 16  | 5.64±0.25d  | 6.72±0.12d  |
|                                   | 128 | 77.85±0.32a | 93.57±0.11a |
| 丁基羟基茴香醚 Butyl hydroxanisole (BHA) | 64  | 76.34±0.12b | 93.36±0.24a |
|                                   | 32  | 75.52±0.41c | 93.49±0.03a |
|                                   | 16  | 73.35±0.13d | 93.47±0.52a |

注：表中数据为平均数±标准差；不同小写字母表示同一无性系不同浓度处理下的清除率差异显著(P <0.05)。下同。Note: The data in the table are the mean±standard deviation. Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level among different concentration treatments of the same clone. The same follow.

2.2.2 樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力的 IC50 值

由表 3 可知，桉叶油素型樟树精油的 DPPH IC<sub>50</sub> 值较低，表现出较好的抗氧化性活性。Pearson 相关性分析表明（表 4），DPPH IC<sub>50</sub> 值与单萜烯烴类化合物的含量显著负相关（ $P\leq0.05$ ），与柠檬醛含量极显著正相关（ $P\leq0.01$ ）。ABTS IC<sub>50</sub> 值与含氧单萜类化合物的含量显著负相关（ $P\leq0.05$ ），与含氧倍半萜类化合物的含量显著正相关（ $P\leq0.05$ ）。

表 3 樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力的 IC<sub>50</sub> 值

Table 3 IC<sub>50</sub> values for DPPH and ABTS radical scavenging capacity of different camphor essential oils

| 样株编号<br>Sample Number        | DPPH 清除率 IC <sub>50</sub> 值<br>IC <sub>50</sub> of DPPH scavenging rate/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | ABTS 清除率 IC <sub>50</sub> 值<br>IC <sub>50</sub> of ABTS scavenging rate/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 桉叶油素 34 Eucalyptus 34 (A1)   | 22.88±1.29a                                                                                      | 45.54±15.34a                                                                                     |
| 桉叶油素 114 Eucalyptus 114 (A2) | 14.25±0.48c                                                                                      | 31.91±0.82a                                                                                      |
| 桉叶油素 122 Eucalyptus 122 (A3) | 18.38±0.52b                                                                                      | 31.65±0.37a                                                                                      |
| 柠檬醛 NGN-1 Citral NGN-1 (N1)  | 59.99±0.94b                                                                                      | 93.28±2.11b                                                                                      |
| 柠檬醛 ZS-W3 Citral ZS-W3 (N2)  | 77.17±1.65a                                                                                      | 34.46±3.93c                                                                                      |
| 柠檬醛 ZS-W5 Citral ZS-W5 (N3)  | 44.45±0.54c                                                                                      | 108.38±1.39a                                                                                     |

表 4 IC<sub>50</sub> 值与樟树精油对 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力的相关矩阵

Table 4 IC<sub>50</sub> values correlate matrix with DPPH and ABTS radical scavenging capacity of camphor essential oil

| 项目<br>Items                        | 单萜<br>Hydrocarbon<br>monoterpene | 含氧单萜<br>Oxygenated<br>monoterpenes | 单萜<br>Monoterpenes | 倍半萜<br>Sesquiterpenes | 含氧倍半萜<br>Oxygenated<br>sesquiterpenes | 倍半萜<br>Sesquiterpenes | 桉叶油素<br>Eucalyptus | 柠檬醛<br>Citral | DPPH 清除率<br>DPPH scavenging rate | ABTS 清除率<br>ABTS scavenging rate |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 单萜烯<br>Hydrocarbon monoterpene     | 1                                |                                    |                    |                       |                                       |                       |                    |               |                                  |                                  |
| 含氧单萜<br>Oxygenated monoterpenes    | 0.750                            | 1                                  |                    |                       |                                       |                       |                    |               |                                  |                                  |
| 单萜<br>Monoterpenes                 | 0.989**                          | 0.840*                             | 1                  |                       |                                       |                       |                    |               |                                  |                                  |
| 倍半萜<br>Sesquiterpenes              | -0.893*                          | -0.896*                            | -0.934**           | 1                     |                                       |                       |                    |               |                                  |                                  |
| 含氧倍半萜<br>Oxygenated sesquiterpenes | -0.979**                         | -0.856*                            | -0.995**           | 0.963**               | 1                                     |                       |                    |               |                                  |                                  |
| 倍半萜<br>Sesquiterpenes              | -0.962**                         | -0.873*                            | -0.985**           | 0.981**               | 0.997**                               | 1                     |                    |               |                                  |                                  |
| 桉叶油素<br>Eucalyptus                 | 0.997**                          | 0.789                              | 0.984**            | -0.880*               | -0.973**                              | 0.957**               | 1                  |               |                                  |                                  |
| 柠檬醛<br>Citral                      | -0.993**                         | -0.750                             | -0.972**           | 0.825*                | 0.950**                               | 0.925**               | -0.993**           | 1             |                                  |                                  |
| DPPH 清除率<br>DPPH scavenging rate   | -0.889*                          | -0.406                             | -0.821*            | 0.626                 | 0.784                                 | 0.745                 | -0.901*            | 0.930**       | 1                                |                                  |
| ABTS 清除率<br>ABTS scavenging rate   | -0.686                           | -0.915*                            | -0.769             | 0.933**               | 0.815*                                | 0.855*                | -0.690             | 0.612         | 0.347                            | 1                                |

2.3 纯露对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力

由表 5 可知，纯露对 DPPH 和 ABTS 的清除率分别为 2.35%~53.24%、3.24%~10.50%。桉叶油素型樟树精油纯露对 DPPH 自由基清除能力高于柠檬醛型，桉叶油素 114（A2）纯露对 DPPH 自由基的清除率最大为 53.24%。纯露对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力低于精油。

表 5 不同樟树精油纯露对 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力

Table 5 DPPH and ABTS free radical scavenging abilities of different camphor tree oils hydrosols

| 样株编号<br>Sample No. | DPPH 清除率<br>DPPH scavenging rate/% | ABTS 清除率<br>ABTS scavenging rate/% |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|

|                              |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|
| 桉叶油素 34 Eucalyptus 34 (A1)   | 36.43±0.16c | 10.50±0.25a |
| 桉叶油素 114 Eucalyptus 114 (A2) | 53.24±0.03a | 3.63±0.86c  |
| 桉叶油素 122 Eucalyptus 122 (A3) | 51.15±0.12b | 4.86±0.13b  |
| 柠檬醛 NGN-1 Citral NGN-1 (N1)  | 2.35±0.05c  | 9.06±0.14a  |
| 柠檬醛 ZS-W3 Citral ZS-W3 (N2)  | 7.26±0.17b  | 3.24±0.26c  |
| 柠檬醛 ZS-W5 Citral ZS-W5 (N3)  | 10.58±0.17a | 7.68±0.11b  |

### 3 讨论

在桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油成分中, 柠檬醛、桉叶油、D-柠檬烯、芳樟醇等都具有一定的抗氧化能力<sup>[20]</sup>。桉叶油素型樟树精油在 128 g·L<sup>-1</sup> 时对 DPPH 自由基的清除率达 82.60%, 具有较大的开发潜力, 这与冯悦等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。本研究中, 桉叶油素型樟树精油的桉叶油素相对含量为 57.28%, 明显高于已有研究中的桉叶油素含量(37.77%)<sup>[19-21]</sup>, 柠檬醛相对含量(42.32%)高于迷迭香、连翘等植物精油<sup>[15, 22]</sup>, 使得本研究结果更具参考和开发价值。

不同化学型樟树精油抗氧化性不同, 这主要由于精油化学成分及其相对含量不同。樟树精油的化学成分众多, 有萜类、醛类、醇类、烯炔类等, 这些化学成分在樟树精油抗氧化中发挥着重要作用<sup>[23]</sup>。桉叶油素型和柠檬醛型樟树精油都富含大量的萜类物质, 而萜类中共轭双键的含量对植物精油的抗氧化性具有重要影响, 这是由于共轭双键容易与自由基发生抗氧化反应, 可达到清除自由基的效果<sup>[24]</sup>。桉叶油素型樟树精油中的单萜含量高于柠檬醛型樟树精油, 倍半萜含量低于柠檬醛型樟树精油; 一些单萜类物质的抗氧化性强于倍半萜<sup>[25]</sup>, 这也是导致桉叶油素型樟树精油的抗氧化性强于柠檬醛型樟树精油的潜在原因。此外, 由于樟树精油化学成分复杂, 一些微量化学成分间相互影响, 对抗氧化性有促进或抑制作用<sup>[26]</sup>。

相同化学型不同无性系樟树精油的抗氧化性存在差异, 可能是由于樟树精油的主要化学成分含量受自身因素及外界环境因素的双重影响<sup>[27]</sup>。3 个无性系栽培和养护管理条件相同, 其化学成分间的差异可能是由于基因型不同, 染色体水平上的基因组序列影响樟树精油化学成分的含量<sup>[28]</sup>。

不同浓度梯度的樟树精油存在抗氧化能力差异, 且樟树精油浓度越高, 自由基清除能力越强, 这与陶士杰等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。

相比樟树精油, 樟树纯露所含的化学成分较少, 其萜类物质含量较低、抗氧化性较弱, 这与杨素华等<sup>[30]</sup>的研究结果相似。在精油提取过程中, 部分化学成分挥发或分解, 且纯露中的大量蒸馏水稀释了活性成分, 导致纯露虽有一定的自由基清除能力但清除率远远低于精油。两种樟树精油及纯露对 DPPH 自由基的清除能力都低于对 ABTS 自由基清除能力, 而阳性对照 BHA 对 ABTS 自由基清除能力高于 DPPH, 可能是由于 BHA、樟树精油和纯露对自由基清除的机制不同, 该机制有待进一步研究。

### 4 结论

桉叶油素型樟树精油中的主要化学成分是 1, 8-桉叶油素, 柠檬醛型樟树精油中的主要化学成分是柠檬醛(香叶醛和橙花醛)。在一定浓度范围内, 两种化学型樟树精油的抗氧化性随着浓度的增加而增加, 在 128 g·L<sup>-1</sup> 浓度下精油的抗氧化性最强。桉叶油素型樟树精油的抗氧化性高于柠檬醛型樟树精油的抗氧化性。精油纯露因具有自由基清除能力, 具有较大的开发价值和研究意义。

## 参 考 文 献

- [1] 金志农, 张北红, 艾卿, 等. 2020. 香料樟树研究的必要性与可行性分析[J]. 南昌工程学院学报, 39(6): 1-13.  
(Jin Z N, Zhang B H, Ai Q, *et al.* 2020. Necessity and Feasibility Analysis of Spice Camphor Tree Research[J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 39(6): 1-13. [in Chinese])
- [2] Zhang H X, Huang T, Liao X N, *et al.* 2022. Extraction of camphor tree essential oil by steam distillation and supercritical CO<sub>2</sub> extraction[J]. Molecules, 27(17): 5385.

- [3] 马青, 马蕊, 苏平, 等. 2023. 樟树化学型形成关键萜类合酶的系统鉴定[J]. 中国中药杂志, 48(9): 2307-2315.  
(Ma Q, Ma R, Su P, et al. 2023. Systematic Identification of Terpenoid Synthases Key to the Chemotype Formation of *Cinnamomum camphora*[J]. China Journal of Traditional Chinese Materia Medica, 48(9): 2307-2315. [in Chinese] )
- [4] Luís Â, Duarte A, Gominho J, et al. 2016. Chemical composition, antioxidant, antibacterial and anti-quorum sensing activities of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus radiata* essential oils[J]. Industrial Crops and Products, 79: 274-282.
- [5] Ling Q Y, Zhang B H, Wang Y B, et al. 2022. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oils of citral-rich chemotype *Cinnamomum camphora* and *Cinnamomum bodinieri*[J]. Molecules, 27(21): 7356.
- [6] Zhou F, Liu H C, Wen Z H, et al. 2018. Toward the efficient synthesis of Pseudoionone from citral in a continuous-flow microreactor[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 57(33): 11288-11298.
- [7] Li H, Yan G, Guo Y K, et al. 2023. Study on antioxidant activity of spearmint essential oil and pure dew[J]. Studies in Health Technology and Informatics, 308: 55-61.
- [8] 刘梦洁, 林丽静, 姜永超. 2021. 高良姜精油和纯露的体外抗氧化活性及酪氨酸酶抑制活性研究[J]. 食品研究与开发, 42(7): 56-61.  
(Liu M J, Lin L J, Jiang Y C. 2021. Antioxidant Activity and Tyrosinase Inhibition Activity of Galangal Essential Oil and Hydrosol in Vitro[J]. Food Research and Development, 42(7): 56-61. [in Chinese] )
- [9] Sabo V A, Knezevic P. 2019. Antimicrobial activity of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. plant extracts and essential oils: A review[J]. Industrial Crops and Products, 132: 413-429.
- [10] Rui Y, Han X J, Jiang A B, et al. 2022. Eucalyptol prevents bleomycin-induced pulmonary fibrosis and M2 macrophage polarization[J]. European Journal of Pharmacology, 931: 175184.
- [11] 张毅, 魏子辰, 庞磊, 等. 2023. 柠檬醛通过 MDM2/p53 信号通路对小鼠 B 细胞淋巴瘤 38B9 细胞增殖、细胞周期及凋亡的影响[J]. 中国病理生理杂志, 39(6): 1053-1060.  
(Zhang Y, Wei Z C, Pang L, et al. 2023. Effect of Citral on Proliferation, Cell Cycle and Apoptosis of B-cell Lymphoma 38B9 Cells in Mice through MDM2/p53 Signaling Pathway[J]. Chinese Journal of Pathophysiology, 39(6): 1053-1060. [in Chinese] )
- [12] 唐新, 孙少忆, 周泽江, 等. 2023. 枸杞油果的活性成分及抗氧化性研究[J]. 中国调味品, 48(7): 49-55.  
(Tang X, Sun S Y, Zhou Z J, et al. 2023. Study on Active Components and Antioxidant Activity of Lycium Berry Augerocarp[J]. China Condiment, 48(7): 49-55. [in Chinese] )
- [13] Milenković A N, Stanojević J S, Troter D Z, et al. 2023. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oils isolated from black (*Piper nigrum* L.) and cubeb pepper (*Piper cubeba* L.) fruits from the Serbian market[J]. Journal of Essential Oil Research, 35(3): 262-273.
- [14] Mamattah K M, Adomako A K, Mensah C N, et al. 2023. Chemical characterization, antioxidant, antimicrobial, and antibiofilm activities of essential oils of *Plumeria alba* (Forget-Me-Not)[J]. Biochemistry Research International, 2023: 1-10.
- [15] 郭冬云, 万娜, 吴意, 等. 2022. 江西迷迭香精油的成分分析及抗氧化、抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 34(2): 263-271.  
(Guo D Y, Wan N, Wu Y, et al. 2022. Component Analysis and Antioxidant and Antibacterial Activities of Jiangxi Rosemary Essential Oil[J]. Natural Product Research and Development, 34(2): 263-271. [in Chinese] )
- [16] Pottier M, Bezerra-Silva P C, Bezerra Filhos C M, et al. 2017. Chemical composition of the essential oil of *buchenavia tetrphylla* leaves[J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 20(1): 240-246.
- [17] Bajalan I, Rouzbahani R, Pirbalouti A G, et al. 2017. Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils obtained from seven Iranian populations of *Rosmarinus officinalis*[J]. Industrial Crops and Products, 107: 305-311.
- [18] Ćavar S, Maksimović M, Vidic D et al. 2012. Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of essential oil of *Artemisia annua* L. from Bosnia[J]. Industrial Crops and Products, 37(1): 479-485.
- [19] 李嘉欣, 孟斌斌, 朱凯. 2020. 樟树叶精油组成分析及抗氧化活性研究[J]. 林产化学与工业, 40(1): 84-90.  
(Li J X, Meng B B, Zhu K. 2020. Composition analysis and antioxidant activity of essential oil of camphor leaves[J]. Chemistry

and Industry of Forest Products, 40(1): 84-90. [in Chinese] )

[20] 肖新生, 宋子龙, 谢永燕, 等. 2024. 不同品种柚子皮精油成分及抗氧化与抑菌能力对比研究[J]. 天然产物研究与开发, 36(2):218-226.

(Xiao X S, Song Z L, Xie Y Y, et al. 2024. Comparative Study on Essential Oil Composition and Antioxidant and Antibacterial Abilities of Different Varieties of Grapefruit Peel[J]. Natural Product Research and Development, 36(2):218-226. [in Chinese] )

[21] 冯悦, 毕静, 罗茂, 等. 2023. 油樟叶精油的抑菌及抗氧化作用的研究[J]. 四川轻化工大学学报(自然科学版), 36(3): 36-41.

(Feng Y, Bi J, Luo M, et al. 2023. Study on Antibacterial and Antioxidant Effects of Cinnamomum Cinnamomum Cinnamomum Leaf Essential Oil[J]. Journal of Sichuan University of Light Chemical Technology (Natural Science Edition), 36(3): 36-41. [in Chinese] )

[22] 邱智军, 原江锋, 龚明贵. 2023. 中国不同地区连翘精油成分比较分析[J]. 天然产物研究与开发, 35(10):1739-1746.

(Qiu Z J, Yuan J F, Gong M G. 2023. Comparative analysis of essential oil components of Forsythia suspensa in different regions of China[J]. Natural Product Research and Development, 35(10):1739-1746. [in Chinese] )

[23] Kadri A, Zarai Z, Chobba I B, et al. 2011. Chemical constituents and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil cultivated from the south-western of Tunisia[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 5(29):5999-6004.

[24] Ruberto G, Baratta M T. 2000. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems[J]. Food Chemistry, 69(2): 167-174.

[25] Silva R C E, Costa J S D, Figueiredo R O D, et al. 2021. Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from *Psidium* species and their biological properties[J]. Molecules, 26(4):965.

[26] 谭樁新, 叶涛, 刘湘新, 等. 2010. 植物提取物抗氧化成分及机理研究进展[J]. 食品科学, 31(15): 288-292.

(Tan Y X, Ye T, Liu H X, et al. 2010. Research Progress on Antioxidant Components and Mechanism of Plant Extracts[J]. Food Science, 31(15): 288-292. [in Chinese] )

[27] Zhang T, Zheng Y J, Fu C, et al. 2023. Chemical variation and environmental influence on essential oil of *Cinnamomum camphora*[J]. Molecules, 28(3):973.

[28] Shen T F, Qi H R, Luan X Y, et al. 2021. The chromosome - level genome sequence of the camphor tree provides insights into Lauraceae evolution and terpene biosynthesis[J]. Plant Biotechnology Journal, 20(2): 244-246.

[29] 陶士杰, 宋艳冬, 吴沁娇, 等. 2023. 不同海拔高度和竹龄对黄甜竹叶精油成分及其生物活性的影响[J]. 核农学报, 37(2): 321-328

(Tao S J, Song Y D, Wu Q J, et al. 2023. Effects of Different Altitude and Bamboo Age on Essential Oil Composition and Biological Activity of Yellow Sweet Bamboo Leaves[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 37(2): 321-328. [in Chinese] )

[30] 杨素华, 黎贵卿, 陆顺忠, 等. 2022. 不同化学型樟树叶挥发油及纯露对微生物的抑菌活性[J]. 广西林业科学, 51(2): 271-279.

(Yang S H, Li G Q, Lu S Z, et al. 2022. Antimicrobial Activity of Volatile Oil and Hydrosol of Different Chemical Types of *Cinnamomum camphora* Leaves on Microorganisms[J]. Guangxi Forestry Sciences, 51(2): 271-279. [in Chinese] )