

# 红豆树叶挥发油化学成分及其抗氧化和抑菌活性研究

翟大才<sup>1</sup>, 姚建林<sup>2</sup>, 王文娟<sup>1</sup>, 尹 霞<sup>1</sup>, 李 继<sup>1</sup>, 奚晓飞<sup>1</sup>, 任梦强<sup>1</sup>, 柏晓辉<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 黄山学院生命与环境科学学院, 黄山 245041; <sup>2</sup> 安徽省林业厅科技处, 合肥 230001

**摘要:** 为探究红豆树叶挥发油的化学组成及其生物活性, 本研究首次采用水蒸气蒸馏法提取红豆树叶挥发油, 并通过气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析其化学成分, 结合DPPH和ABTS法及抑菌圈法, 评价其体外抗氧化和抑菌活性。结果表明, 从红豆树叶挥发油中共检测出化合物36个, 占挥发油总量的90.50%; 挥发油主要成分为1,4-二十烷二烯(25.72%)、1,19-二十烷二烯(10.85%)、2,6-二叔丁基对甲酚(10.14%)、邻苯二甲酸正丁基异丁基酯(9.75%)、(Z,Z)-6,9-二十烷二烯(7.60%)、(E,E)- $\alpha$ -金合欢烯(7.51%)、叶醇(4.74%)和2-异丙烯基-5-甲基-6-庚烯-1-醇(4.04%)。红豆树叶挥发油对DPPH自由基和ABTS自由基清除作用的半数有效量( $ED_{50}$ )分别为0.27、0.14 mg/mL, 且抗氧化活性与挥发油浓度呈量效相关。红豆树叶挥发油浓度为7.1 mg/mL时, 其对枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)的抑菌圈分别为11.29、9.88、10.85和11.03 mm。本研究为红豆树叶资源的综合开发利用提供了理论基础。

**关键词:** 红豆树叶; 挥发油; 化学成分; 抗氧化活性; 抑菌活性

中图分类号: R284.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2019)5-0814-06

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.5.012

## Chemical constituents of the volatile oil from *Ormosia hosiei* leaves and its antioxidant and antimicrobial activity

ZHAI Da-cai<sup>1</sup>, YAO Jian-lin<sup>2</sup>, WANG Wen-juan<sup>1</sup>, YIN Xia<sup>1</sup>, LI Ji<sup>1</sup>, XI Xiao-fei<sup>1</sup>, REN Meng-qiang<sup>1</sup>, BAI Xiao-hui<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> College of Life and Environment Science, Huangshan University, Huangshan 245041, China;

<sup>2</sup> Department of Forestry Science and Technology of Anhui province, Hefei 230001, China

**Abstract:** In this study, we firstly reported that the volatile oil from *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves was extracted by water-steam distillation and then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The antioxidant activity of the volatile oil was determined by free radical scavenging assays against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) and 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS). And its antimicrobial activity was also examined by inhibition zone. The results showed that thirty-six compounds, which represented 90.50% of the total constituents, were identified from the volatile oil. The major compounds of the volatile oil were 1,4-eicosadiene (25.72%), 1,19-eicosadiene (10.85%), 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol (10.14%), butyl isobutyl phthalate (9.75%), (Z,Z)-6,9-eicosadiene (7.60%), (E,E)- $\alpha$ -farnesene (7.51%), leaf alcohol (4.74%) and 2-isopropenyl-5-methyl-6-hepten-1-ol (4.04%). The volatile oil exhibited significant antioxidant activities against DPPH and ABTS free radicals in a concentration-dependent fashion, with the median effective dose  $ED_{50}$  values of the antioxidant activities against DPPH and ABTS free radicals were 0.27 mg/mL and 0.14 mg/mL, respectively. When the concentration of the volatile oil was 7.1 mg/mL, the inhibition zone of *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa* was 11.29, 9.88, 10.85, and 11.03 mm, respectively. These results provide theoretical basis for the comprehensive development and utilization of the natural resources of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils..

**Key words:** *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils.; volatile oil; chemical constituents; antioxidant activity; antibacterial activity

收稿日期: 2018-08-03 接受日期: 2019-04-23

基金项目: 安徽省林业科技创新研究项目(AHYCX-2018-10, AHYCX-2018-29); 国家林业公益行业科研专项(201304407); 国家林木种质资源共享服务平台(2005DKA21003); 黄山学院自然科学研究项目(2016xkjq005); 黄山学院生态学重点学科(zdkx201801); 重点科研平台(kypt201801)

\* 通信作者 Tel: 86-559-2546552; E-mail: bxh@hsu.edu.cn

红豆树(*Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils.)为豆科红豆树属半常绿或落叶乔木,中国特有树种<sup>[1]</sup>,国家II级重点保护植物;红豆树的根、茎、叶等皆可入药,具有理气、治疗风湿关节炎等功效<sup>[1]</sup>。红豆树自然分布于浙江、福建、江苏、湖北及四川等地,安徽有零星栽培<sup>[2]</sup>。红豆树有隔年结果现象,一般3~5年才开花结果一次,且种子产量较低;同时由于其种子坚硬,种皮透水性差,造成红豆树种子发芽困难,导致其自然更新较难<sup>[1]</sup>。另外,该树木材质地坚硬、纹理美观、耐腐蚀,是目前中国红木家具中最主要的木材原料,因常被砍伐用于制作各种高档家具、装饰品等,造成其资源稀少。近些年来,在人们的大力保护和研究下,其资源虽得到了有效保护,但天然种群依然很少<sup>[3]</sup>。

目前,红豆树的研究主要集中在红豆树的育苗与造林、生长特性及天然红豆树林调查等<sup>[1]</sup>,而红豆树叶的成分及其抗氧化和抗菌性能等的研究还处于空白阶段。因此,课题组以红豆树叶为材料,通过水蒸气蒸馏法提取其挥发油,采用GC-MS对挥发油成分进行分析,并测定其对DPPH和ABTS自由基的清除能力及抑菌活性,以期为红豆树叶资源的合理开发利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 实验材料

实验中所用红豆树叶于2018年5月采自安徽省黄山市歙县,经黄山学院潘健博士鉴定为红豆树(*Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils.)的叶子(凭证标本采集号-03;采集人:翟大才;采集地:安徽歙县;采集时间:2018年5月)。

实验所用菌株购于中国典型培养物保藏中心,分别为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*),以上菌种保存于黄山学院微生物学实验中心。抑菌活性实验使用LB(Luria-Bertani)平板培养基,制备方法参见文献<sup>[4]</sup>的方法。

#### 1.1.2 仪器与试剂

气相色谱-质谱联用仪(Agilent 7890A-5975C型,美国Agilent公司)、超净工作台(ZHJH-C1106B型,上海智城分析仪器公司)、高压蒸汽灭菌锅(SQ510C,重庆雅马拓科技有限公司)、电子天平(AE224,上海恒平科学仪器有限公司)、恒温培养箱

(ZGP-2050,上海智城分析仪器有限公司)、紫外可见分光光度计(UV754N型,上海精密科学仪器有限公司)。

2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS,东京化成工业株式会社)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH,东京化成工业株式会社);无水乙醚、无水硫酸钠、乙醇(95%)、过硫酸钾、丙酮等为分析纯,购于上海国药集团;酵母提取物、蛋白胨、维生素C(Vc)、琼脂等生化试剂购自上海生工生物工程有限公司。对羟基苯甲酸丙酯(propylparaben, PP),购于Sigma-Aldrich公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 挥发油提取

称取粉碎后的新鲜红豆树叶60.0 g置于圆底烧瓶中,加入300 mL经两次蒸馏的双蒸水,按水蒸气蒸馏法提取6 h并收集乙醚层,挥发乙醚溶剂,加入无水硫酸钠干燥,得到香味浓郁的淡黄色透明油状物;按照此法分别提取12组样品,得率为0.16%。取1.0 μL干燥后的挥发油用无水乙醚稀释后进行GC-MS分析,同时取部分挥发油稀释至不同浓度后测定其抗氧化和抑菌活性,并将余下的挥发油密封后4 °C保存。

#### 1.2.2 挥发油GC-MS分析

GC分析条件:色谱柱为HP-5 MS石英毛细管柱(30 m × 250 μm × 0.25 μm);高纯氦气(99.999%)为载气,载气流速为1.0 mL/min,进样量为0.5 μL,进样口温度为290 °C;柱箱采用程序升温,起始温度50 °C,以2.5 °C/min升至170 °C保持3 min,再以6 °C/min升至285 °C保持10 min,运行时间为83 min。

MS分析条件:电子轰击(EI)离子源,离子源温度为230 °C,四极杆温度为150 °C,电子能量为70 eV;溶剂延迟3.0 min,质量数扫描范围m/z为50.0~500.0,选择谱库NIST08为质谱数据库。

#### 1.2.3 挥发油对DPPH自由基清除能力的测定

对DPPH自由基清除能力的测定,参照文献<sup>[5]</sup>并适当进行了修改。取经丙酮稀释至不同浓度的红豆树叶挥发油100 μL,分别加到4 mL 0.06 mmol/L DPPH-乙醇(95%)溶液的溶液中,配制成浓度分别为0.00、0.07、0.14、0.21、0.28、0.35 mg/mL,混匀并避光反应20 min,于波长517 nm处测定吸光值(A<sub>x</sub>)。以加入100 μL丙酮的DPPH乙醇溶液为对照组,测定对照组吸光值(A<sub>0</sub>)。以Vc为阳性对照,每样重复3次,取平均值,并按公式(1)计算DPPH

自由的清除率。

$$\text{清除率}(\%) = (1 - A_x/A_0) \times 100\% \quad (1)$$

#### 1.2.4 挥发油对 ABTS 自由基清除能力的测定

对 ABTS 自由基清除能力的测定, 参照文献<sup>[6]</sup>方法并适当进行了修改。按体积比 1:1 取 2.45 mmol/L 过硫酸钾与 7 mmol/L ABTS 溶液混合均匀并于暗处反应 12 h。用甲醇将反应后的 ABTS 溶液稀释为 734 nm 处吸光值 0.68~0.72。分别取不同浓度的红豆树叶挥发油 200 μL 加入 2 mL ABTS 溶液, 配制成浓度分别为 0.00、0.13、0.26、0.39、0.52、0.65 mg/mL 的溶液, 混匀后反应 6 min, 并测量其吸光值( $A_x$ )。测量 200 μL 甲醇与 2 mL ABTS 溶液混合后的吸光值( $A_0$ )。测量 200 μL 不同浓度挥发油样品与 2 mL 甲醇溶液的吸光值( $A_y$ )。按公式(2)计算清除率。

$$\text{清除率}(\%) = [(A_0 - A_x + A_y) / A_0] \times 100\% \quad (2)$$

#### 1.2.5 挥发油抑菌活性的测定

抑菌活性的测定, 参考文献<sup>[4]</sup>的方法, 并适当修改。用新制备的 LB(Luria-Bertani)液体培养基分别将活化后的大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌和枯草芽孢杆菌培养至 600 nm 处吸光值( $OD_{600}$ )为 0.2~0.3, 分别吸取 100 μL 菌液涂布于新制备的 LB 平板培养基上, 并贴上无菌滤纸片(直径 6 mm)。移取 10 μL 挥发油分别滴加于无菌滤纸片中央, 并以丙酮为空白对照、对羟基苯甲酸丙酯(propylparaben, PP)为阳性对照。将此 LB 平板培养基于 37 °C 培养 12~14 h, 测量抑菌圈直径的大小并记录, 实验结果重复 3 次, 取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 红豆树叶挥发油化学成分的分析

#### 2.1.1 红豆树叶挥发油的化学成分分析

利用 GC-MS 对红豆树叶挥发油成分进行分析, 通过对谱库 NIST08 检索、质谱分析确定挥发油的化学成分, 并采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量, 其总离子流结果如图 1, 离子流结果具体分析结果见表 1。由图 1 和表 1 结果知, 从红豆树叶挥发油中共分离出 77 个色谱峰, 鉴定出 36 个化合物, 占挥发油总量的 90.50%。已鉴定出的 36 个化合物包含烯、醇、烷、醛、酮、酯等, 其中含量高于 2.00% 的化合物有 1,4-二十烷二烯(25.72%)、1,19-二十烷二烯(10.85%)、2,6-二叔丁基对甲酚(10.14%)、邻苯二甲酸正丁基异丁基酯(9.75%)、(Z,Z)-6,9-二十烷二烯(7.60%)、(E,E)- $\alpha$ -金合欢烯(7.51%)、叶醇(4.74%)和 2-异丙烯基-5-甲基-6-庚烯-1-醇(4.04%), 这 8 种成分占挥发油总量的 80.35%。

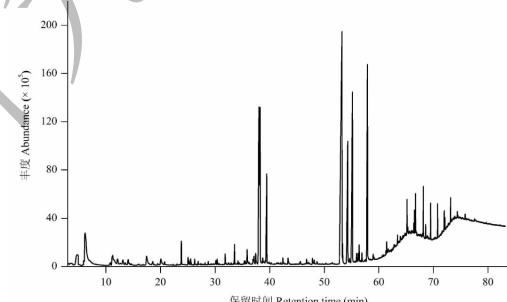


图 1 红豆树叶挥发油总离子流图

Fig. 1 The total ion chromatogram of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves

表 1 红豆树叶挥发油的化学成分分析

Table 1 The chemical constituents of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves

编号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)
1	5.951	反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-Hexenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.21
2	6.166	叶醇 Leaf alcohol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	4.74
3	11.168	月桂烯 Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.75
4	14.075	(Z)- $\beta$ -罗勒烯 (Z)- $\beta$ -Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.30
5	17.452	芳樟醇 Linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.01
6	20.074	正癸醛 Decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.55
7	20.752	1,3,5-三甲基-2-(2-丁烯基)苯 2-But-2-enyl-1,3,5-trimethylbenzene	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub>	0.11
8	25.053	1,1,6-三甲基四琳 1,1,6-Trimethyltetralin	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub>	0.26
9	25.221	$\beta$ -紫罗兰酮 $\beta$ -Ionone	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	0.12
10	26.259	2,6,11-三甲基十二烷 2,6,11-Trimethyldodecane	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	0.19

续表1(Continued Tab. 1)

编号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)
11	26.906	4-亚硝基苯甲酸乙酯 Ethyl 4-nitrosobenzoate	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>3</sub>	0.09
12	30.140	1,5,8-三甲基四唑 1,5,8-Trimethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub>	0.18
13	30.374	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘 1,1,6-Trimethyl-2H-naphthalene	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub>	0.26
14	31.837	β-大马士酮 β-Damascenone	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O	0.37
15	33.568	β-石竹烯 β-Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.62
16	35.355	(Z,Z,Z)-1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一碳三烯 (Z,Z,Z)-1,5,9,9-Tetramethyl-1,4,7-cycloundecatriene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.14
17	35.527	反式-β-金合欢烯 trans-β-Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.13
18	35.868	2,6-二叔丁基-1,4-苯醌 2,6-Di-tert-butyl-1,4-benzoquinone	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.47
19	37.119	7,9-二甲基十六烷 Hexadecane,7,9-dimethyl-	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	0.33
20	37.441	(3Z,6E)-α-金合欢烯 (3Z,6E)-α-Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.58
21	38.048	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	10.14
22	38.240	(3E,6E)-α-金合欢烯 (3E,6E)-α-Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	7.51
23	38.712	(Z,E)-9,12-十四二烯-1-醇 (Z,E)-9,12-Tetradecadien-1-ol	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O	0.18
24	39.459	2-异丙烯基-5-甲基-6-庚烯-1-醇 2-Isopropenyl-5-methyl-6-hepten-1-ol	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	4.04
25	47.825	肉豆蔻醛 Tetradeanal	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O	0.20
26	48.675	正二十烷 Icosane	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	0.09
27	53.267	1,4-二十烷二烯 1,4-Eicosadiene	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub>	25.72
28	53.359	植酮 Phytone	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	0.61
29	54.318	(Z,Z)-6,9-二十烷二烯 (Z,Z)-6,9-Eicosadiene	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub>	7.60
30	55.189	1,19-二十烷二烯 1,19-Eicosadiene	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub>	10.85
31	56.228	6(E),10(E)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-1,6,10,14-十六碳四烯 7,11,15-Trimethyl-3-methylenehexadeca-1,6(E),10(E),14-tetraene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	0.26
32	56.908	棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.30
33	57.933	邻苯二甲酸正丁基异丁基酯 Butyl isobutyl phthalate	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	9.75
34	61.438	亚麻酸甲酯 Methyl linolenate	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.41
35	66.727	正二十四烷 Tetracosane	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>	0.63
36	68.164	正二十五烷 Pentacosane	C <sub>25</sub> H <sub>52</sub>	0.80

### 2.1.2 红豆树叶挥发油化学成分的类型

红豆树叶挥发油提取物所鉴定出的7类化合物的数目和相对含量见图2。从图2结果可知,红豆树叶挥发油中烯烃类,共13种,其相对含量高达58.68%;其次为醌、酚、萘类等(6种,11.42%)、酯类(4种,10.55%)、醇类(2种,5.75%)、烷烃类(5种,2.04%)、酮类(3种,1.10%)以及醛类(3种,0.96%)。

### 2.2 红豆树叶挥发油的抗氧化作用

#### 2.2.1 红豆树叶挥发油对DPPH自由基的清除作用

测定红豆树叶挥发油对DPPH自由基的清除作用,结果见图3。从图3结果可知,红豆树叶挥发油

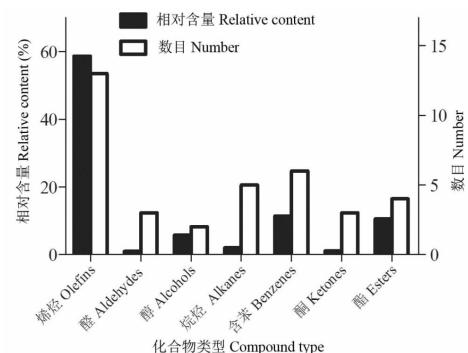


图2 红豆树叶挥发油化学成分的类型

Fig. 2 Compounds type of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves

对 DPPH 自由基有清除作用;当挥发油浓度为 0.35 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基清除率为 55.78% ± 0.35%;挥发油浓度与清除率间呈正相关,随着挥发油浓度的逐步增大,DPPH 清除率逐渐增大。挥发油浓度( $X$ )与清除率( $Y$ )的回归方程为: $Y = 171.71X + 3.611$  ( $R^2 = 0.9285$ )。 $V_c$  浓度( $X$ )与清除率( $Y$ )的回归方程为: $Y = 93.848X + 3.3034$  ( $R^2 = 0.9886$ )。红豆树叶挥发油和  $V_c$  对 DPPH 自由基清除作用的  $ED_{50}$  值分别为 0.27 mg/mL 和 0.0005 mg/mL。

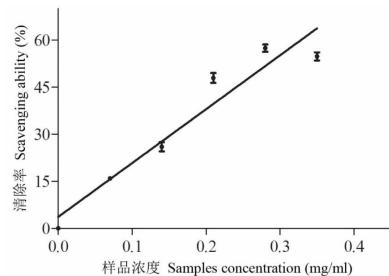


图 3 红豆树叶挥发油对 DPPH 自由基的清除作用

Fig. 3 Free radical scavenging assays of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves against DPPH

## 2.2.2 红豆树叶挥发油对 ABTS 自由基的清除作用

测定红豆树叶挥发油对 ABTS 自由基的清除率,结果如图 4。从图 4 结果可知,红豆树叶挥发油对 ABTS 自由基有清除能力;随着红豆树叶挥发油浓度的增加,其对 ABTS 自由基的清除能力逐步增强,但是增幅逐渐减弱。这说明红豆树叶挥发油浓度与清除作用间不仅存在剂量关系,且存在浓度饱和效应。鉴于挥发油浓度与 ABTS 自由基清除率间非线性关系,故采用 GraphPad Prism 5.0 软件进行量-效曲线<sup>[7]</sup>拟合,并计算  $ED_{50}$ 。而  $V_c$  浓度( $X$ )与 ABTS 自由基清除率( $Y$ )间呈线性关系,其回归方程

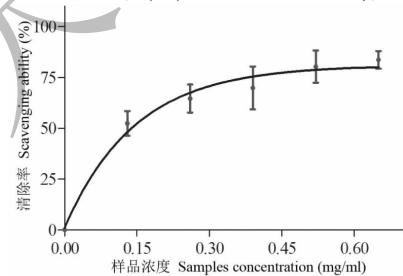


图 4 红豆树叶挥发油对 ABTS 自由基的清除作用

Fig. 4 Free radical scavenging assays of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. leaves against ABTS

为: $Y = 20712X + 1.8924$  ( $R^2 = 0.9647$ )。红豆树叶挥发油和  $V_c$  对 ABTS 自由基清除作用的  $ED_{50}$  值分别为 0.14 mg/mL 和 0.002 mg/mL。

## 2.3 红豆树叶挥发油的抑菌作用

本文检测了红豆树叶挥发油对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌及绿脓杆菌的抑菌活性,结果见图 5。从图 5 结果可以发现,红豆树叶挥发油(the volatile oil)对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌及绿脓杆菌均具有一定的抑菌效果。当红豆树叶挥发油浓度为 7.1 mg/mL 时,其对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌及绿脓杆菌的抑菌圈分别为 11.29、9.88、10.85、11.03 mm。而作为阳性对照的对羟基苯甲酸丙酯(PP, 浓度为 1.0 mg/mL)的抑菌圈分别为 8.18、10.85、9.78、11.58 mm。红豆树叶挥发油对革兰氏阳性和革兰氏阴性菌均具有一定的抑制效果,且在相同浓度下抑制强度为:金黄色葡萄球菌 > 绿脓杆菌 > 大肠杆菌 > 枯草芽孢杆菌。

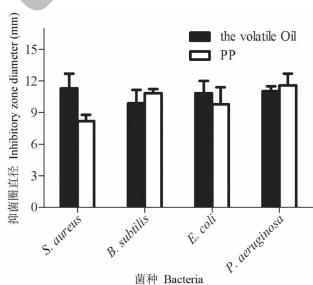


图 5 红豆树叶挥发油对不同受试菌的抑菌活性

Fig. 5 Antibacterial activity of the volatile oil from *O. hosiei* Hemsl. et Wils. leaves against the tested bacteria

注:抑菌实验菌株为金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌和绿脓杆菌。

Note: The tested bacteria contain *S. aureus*, *B. subtilis*, *E. coli* and *P. aeruginosa*.

## 3 结论

文章首次报道红豆树挥发油化学成分,并对其抗氧化和抑菌活性进行分析。本研究采用水蒸气蒸馏法提取红豆树叶叶片的挥发油,通过 GC-MS 共鉴定出 36 个化合物,占挥发油总量的 90.50%。红豆树叶挥发油化学成分以烯、酯、醇以及含苯环类化合物为主,醛、酮和烷烃类化合物含量相对较少。

红豆树叶挥发油具有较强的 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力,且其抗氧化能力与挥发油浓度呈量效相关,这可能与挥发油中含有较高的抗氧化物质如 2,6-二叔丁基对甲酚等相关。此外,红豆树叶挥

发油对革兰氏阳性(如金黄色葡萄球菌)和阴性菌(如大肠杆菌)均具有明显的抑菌效果,但具体是哪种或哪些化合物发挥主要作用则需要进一步的研究,以便筛选更加有效的活性分子。因此,本研究结果可为红豆树资源的综合开发利用提供数据支持。

## 参考文献

- 1 Liu P, Que SQ, Liu LT, et al. Research status and endangered conservation strategy of *Ormosia hosiei*[J]. Subtrop Plant Sci (亚热带植物科学), 2017, 46(1): 96-100.
- 2 Zhao Y, He YF, Zhou ZC, et al. Genetic diversity of five naturally reserved *Ormosia hosiei* populations in Zhejiang and Fujian province[J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2008, 27: 1279-1283.
- 3 Fan HH, Li CH, Zhang R, et al. *Ormosia hosiei* tissue culture technique[J]. J Fujian Forest Sci & Tech(福建林业科技),

(上接第 807 页)

- 6 Li TM, Den MZ. Hypoglycemic effect of *Dendrobium* mixture on type 2 diabetes model rats and its effect on islet cell apoptosis[J]. Chin Med Mat(中药材), 2012, 35: 765-769.
- 7 Huang MQ, Cai TY, Liu QL. Effect of *Dendrobium candidum* polysaccharide on white blood cell count and lymphocyte migration inhibitory factor in mice[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 1996, 3(3): 39-41.
- 8 He TG, Yang LT, Li YR, et al. Physicochemical properties and antitumor activity of protocorm-like polysaccharide DCPP1a-1 from *Dendrobium candidum* [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2007, 19: 578-583.
- 9 Yoo SR, Jeong SJ, Lee NR, et al. Simultaneous determination and anti-inflammatory effects of four phenolic compounds in *Dendrobii Herba*[J]. Nat Prod Res, 2017, 31: 2923-2926.
- 10 Ng TB, Liu J, Wong JH, et al. Review of research on *Dendrobium*, a prized folk medicine[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2012, 93: 1795-1803.
- 11 Zhang GN, Bi ZM, Wang ZT, et al . Advances in studies on chemical constituents from plants of *Dendrobium Sw*[J] . Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2003, 34(6): 5-8 .
- 12 Liu YY, Yu H, Yuan F, et al. Distribution of scoparone and zealand lactone in *Dendrobium* species in Yunnan[J]. Chin J Chin Mate Med(中国中药杂志), 2013, 38: 3691-3695.
- 13 Zhou J, Zhou XL, Liang CQ, et al. Study on chemical constituents of *Dendrobium candidum* [ J ]. Chin Tradit Herbal Drugs(中草药), 2015, 46: 1292-1295.
- 14 Li XH. Study on chemical constituents of Patchouli and *Hedysporium*[ D ]. Chengdu: Chengdu University of Tradition-

2011, 38: 100-102.

- 4 Bai XH, Liu XL, Liu D, et al. Isolation and identification of an endophytic bacterium from *Polygonatum cyrtonema* and its antibacterial activity[ J ]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2018, 30: 777-782.
- 5 Jia HL, Zhang PH, Ji QL, et al. Analysis of chemical constituents of volatile oil from *Thymus altaicus klok.* in Xinjiang using GC-MS and its antioxidant activity[ J ]. Food Sci(食品科学), 2009, 30: 224-229.
- 6 Yang SH, Song YJ, Wang JH, et al. In vitro antioxidant and free radical scavenging activities of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers[J]. Food Sci(食品科学), 2010, 31: 166-169.
- 7 Yu T, Bai XY, Xie XJ, et al. Calculation of *in vitro* EC<sub>50</sub> of a drug by graphpad prism 5.0(R) software[J]. Pro in Pharm Sci(药学进展), 2012, 36: 180-183.

tional Chinese Medicine(成都中医药大学), 2015.

- 15 Li Y, Chen DQ, Ye ZB. Determination of the content and content of phenolic acids in *Dendrobium candidum* by HPLC [J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2018 (39) : 174-179.
- 16 Guan HJ, Zhang X, Tu FJ, et al. Study on chemical constituents of *Dendrobium candidum*[J]. Chin Tradit Herbal Drugs (中草药), 2009, 12: 1837-1876.
- 17 Ho SN, Feng LH, I ML. Role of sympathetic tone in the loss of syringin-induced plasma glucose lowering action in conscious Wistar rats [ J ] . Neurosci Letters, 2008, 445: 113-116.
- 18 Zhang Y. Determination of syringin and its blood lipid lowering immunity[D]. Changchun: Jilin University(吉林大学), 2004.
- 19 Zhang D. Protective effect of acanthopanax senticosus monomer B on acute myocardial ischemia in rats[D]. Changchun: Northeast Normal University(东北师范大学), 2006.
- 20 Nour ES, Albert K, Samira K, et al. Antioxidative effect of compounds isolated from *Globularia alypum* L. structure-activity relationship[J]. 2007, 40: 1246.
- 21 Takahiro N, Takaaki Y, Keisuke O. Metabolites of orally administered *Magnolia officinalis* extract in rats and man and its antidepressant-like effects in mice[J]. J Pharm and Pharmacol, 2003, 55: 1583.
- 22 Wang H, Zhang HQ, Wu HY, et al. Antioxidant effects of extracts from the sheath of *Balanophora involucrata* and trans-coniferin[J]. J Chin Three Gorges Univ(三峡大学学报), 2009, 31(3): 99-101.