

研究报告

紫苏精油和毛地黄鼠尾草精油的挥发性成分及生物活性

王光慧^{1,2}, 余帅^{1,2}, 王梓懿³, 周红静^{1,2}, 韩科展^{1,2}, 李奕^{*1,2}

1 贵州医科大学 省部共建药用植物功效与利用国家重点实验室, 贵州 贵阳 550014

2 贵州省天然产物研究中心 贵州省天然药物工程研究中心, 贵州 贵阳 550014

3 贵州中医药大学 药学院, 贵州 贵阳 550025

王光慧, 余帅, 王梓懿, 周红静, 韩科展, 李奕. 紫苏精油和毛地黄鼠尾草精油的挥发性成分及生物活性[J]. 微生物学通报, 2024, 51(9): 3409-3421.

WANG Guanghui, YU Shuai, WANG Ziyi, ZHOU Hongjing, HAN Kezhan, LI Yan. Volatile components and biological activities of essential oils from *Perilla frutescens* (L.) Britt and *Salvia digitaloides* Diels[J]. Microbiology China, 2024, 51(9): 3409-3421.

摘要: 【背景】植物精油是一种具有挥发性气味的次生代谢产物, 具有环保、天然及无残留等特性, 广泛应用于食品、农业及医药等行业, 在人们生活中发挥着重要作用。【目的】研究紫苏 [*Perilla frutescens* (L.) Britt] 和毛地黄鼠尾草 (*Salvia digitaloides* Diels) 植物精油挥发性成分、抗真菌和细胞毒作用。【方法】采用水蒸汽蒸馏法提取精油, 用气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用仪检测挥发性成分; 通过菌丝生长速率法评定抗真菌作用; 使用噻唑蓝 (methyl thiazolyl tetrazolium, MTT) 比色法评估精油的细胞毒活性。【结果】紫苏精油中主要成分为紫苏酮 (67.84%) 和异白烯苏酮 (14.95%), 毛地黄鼠尾草精油中主要成分为石竹素 (9.59%)、 α -萜烯醇 (8.84%) 和棕榈酸 (7.24%)。研究发现植物精油都呈现不同程度的抗菌作用, 其中紫苏精油活性最强, 对细极链格孢菌 (*Alternaria tenuissima*)、油菜菌核菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*) 和人参锈腐菌 (*Cylindrocarpon destructans*) 表现出较高的抑制效果, 其有效中浓度 (median effective concentrations, EC_{50}) 分别为 32.78、43.34 和 45.19 $\mu\text{g/mL}$, 毛地黄鼠尾草精油对腐皮镰刀菌 (*Fusarium solani*) 的 EC_{50} 为 97.68 $\mu\text{g/mL}$; 毛地黄鼠尾草精油和紫苏精油对 K562 细胞的抑制中浓度 (median inhibitory concentration, IC_{50}) 分别为 282.69 $\mu\text{g/mL}$ 和 352.79 $\mu\text{g/mL}$ 。【结论】植物精油具有良好的生物学特性。
关键词: 紫苏精油; 毛地黄鼠尾草精油; 抗真菌; 细胞毒活性

资助项目: 延安市科技计划 (2023-NYGG-008); 贵州省科技计划 (黔科合支撑 [2020]1Y173)

This work was supported by the Yan'an Science and Technology Project (2023-NYGG-008), and the Science and Technology Program of Guizhou Province ([2020]1Y173).

*Corresponding author. E-mail: liyan1612@163.com

Received: 2023-11-23; Accepted: 2024-01-17; Published online: 2024-02-20

Volatile components and biological activities of essential oils from *Perilla frutescens* (L.) Britt and *Salvia digitaloides* Diels

WANG Guanghui^{1,2}, YU Shuai^{1,2}, WANG Ziyi³, ZHOU Hongjing^{1,2}, HAN Kezhan^{1,2}, LI Yan^{*1,2}

1 State Key Laboratory of Functions and Applications of Medicinal Plants, Guizhou Medical University, Guiyang 550014, Guizhou, China

2 Natural Products Research Center of Guizhou Province, Guizhou Provincial Engineering Research Center for Natural Drugs, Guiyang 550014, Guizhou, China

3 College of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, Guizhou, China

Abstract: [Background] Plant essential oils are secondary metabolites with a volatile odor, which are environmentally friendly, natural, and residue-free, and it is widely used in food, gariculture and medicine, play an important role in people's live. [Objective] To study the volatile components in the essential oils from *Perilla frutescens* (L.) Britt and *Salvia digitaloides* Diels and examine the anti-fungal and cytotoxic effects of the essential oils. [Methods] Essential oils were extracted by the steam distillation method, and the chemical components in the essential oils were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The anti-fungal and cytotoxic effects of the essential oils were evaluated by the mycelial growth rate and the methyl thiazolyl tetrazolium (MTT) colorimetric assay. [Results] The main chemical components in the essential oil of *P. frutescens* were perillaketone (67.84%) and isoegomaketone (14.95%), while those of *S. digitaloides* Diels were caryophyllene oxide (9.59%), α -cadinol (8.84%), and palmitic acid (7.24%). The essential oils had varying degrees of antimicrobial effects. Specifically, the essential oil of *P. frutescens* had the strongest activity, with the median effective concentration (EC_{50}) of 32.78, 43.34 and 45.19 $\mu\text{g/mL}$ against *Alternaria tenuissima*, *Sclerotinia sclerotiorum*, and *Cylindrocarpon destructans*, respectively. The EC_{50} of the essential oil of *S. digitaloides* Diels against *Fusarium solani* was 97.68 $\mu\text{g/mL}$. The median inhibitory concentration (IC_{50}) of the essential oils of *S. digitaloides* Diels and *P. frutescens* against K562 cells were 282.69 $\mu\text{g/mL}$ and 352.79 $\mu\text{g/mL}$, respectively. [Conclusion] The essential oils of *S. digitaloides* Diels and *P. frutescens* have strong biological activities.

Keywords: essential oil of *Perilla frutescens* (L.) Britt; essential oil of *Salvia digitaloides* Diels; anti-fungal; cytotoxic activity

唇形科(Lamiaceae)植物自古以来作为药食两用植物广泛用于民间,世界上分布较广,属于最大的一个科,《中国植物志》记载约220属3500余种植物^[1]。紫苏属和鼠尾草属作为民间常用中药,其中紫苏的食用和药用价值记载较多。紫苏具有解表散寒、行气宽中、镇痛、镇静、安胎和解毒等功效^[2]。毛地黄鼠尾草广泛

分布在中国云南西北部,以根入药,功效利用同丹参,又称银紫丹参。植物精油具有天然、环保、无毒和无残留特性^[3-6]。大量研究报道了植物精油的生物活性,如抗菌^[7-10]、细胞毒性^[9-11]、抗氧化^[12-13]等。林硕等^[14]研究表明浙江省江山市的紫苏[*Perilla frutescens* (L.) Britt]精油可抑制枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和大肠杆菌

(*Escherichia coli*)生长。徐健等^[15]报道了购自吉林市沃达食品有限公司的紫苏精油对细菌和真菌有较好的抑制作用。郑哲浩等^[16]研究发现紫苏精油对细菌都有较强的抑菌活性。周晓红等^[17]研究显示安徽省亳州市紫苏精油对产膜璞热带假丝酵母(*Candida tropicalis*) SH1 和克鲁维毕赤酵母(*Pichia kluyveri*) SH2 均有较强的抑制活性。紫苏精油引起黄曲霉菌(*Aspergillus flavus*)细胞内生物大分子泄漏,抑制关键酶及产生活性氧(reactive oxygen species, ROS),进而抑制真菌^[18]。Chen 等^[19]报道了购自河北安国药市场的紫苏挥发油对人胃癌细胞 MGC-803 和非小细胞肺癌细胞 A549 具有更好的细胞毒活性。紫苏醇和紫苏醛阻滞 BroTo 和 A549 细胞周期使细胞生长停滞并死亡^[20]。

黔产紫苏对相关病原菌鲜有报道,滇产毛地黄鼠尾草(*Salvia digitaloides* Diels)精油的化学成分和生物活性研究缺乏报道。因此,寻找安全、无毒和无残留的天然抗菌剂和抑癌剂是当前研究方向之一。本研究使用水蒸汽蒸馏法对紫苏和毛地黄鼠尾草进行精油提取,并应用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用仪分析挥发性成分,同时采用菌丝生长速率法探究抗真菌活性、噻唑蓝(methyl thiazolyl tetrazolium, MTT)比色法评价细胞毒活性,以期发现具有绿色防控病原微生物和抑制细胞增殖特性的植物精油,为开发和利用天然植物资源奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 样品

紫苏叶采自贵州省贵阳市;毛地黄鼠尾草采自云南省大理市;立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、烟草黑胫病菌(*Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*)、人参锈腐菌(*Cylindrocarpon*

destructans)、细极链格孢菌(*Alternaria tenuissima*)、小麦赤霉菌(*Fusarium graminearum*)、油菜菌核菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、根腐病菌(*Phytophthora cinnamomic*)、腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)均由贵州省天然产物研究中心提供。人转移胰腺腺癌细胞 AsPC-1 和人慢性髓系白血病 K562 细胞株购自武汉普诺赛生命科技有限公司,由贵州省天然产物研究中心保存。

1.2 培养基、主要试剂和仪器

马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基,金克隆(北京)生物技术有限公司;RPMI-1640 培养基, GIBCO 公司。二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO), 麦克林(上海)生化科技股份有限公司;三唑酮,源叶(上海)生物科技有限公司;0.25%胰酶,索莱宝(北京)科技有限公司;噻唑蓝,海恒(苏州)生物科技有限公司;胎牛血清,柯依博(上海)科技有限公司。

粉碎机,红太阳(永康市)机电有限公司;挥发油测定仪,韦斯(安徽)实验设备有限公司;GC-MS 联用仪,安捷伦公司;酶标仪,赛默飞世尔科技公司;倒置显微镜,舜宇光学(浙江)科技有限公司;细胞培养箱,力申科学(上海)仪器有限公司;离心机,瑞成(杭州)仪器有限公司。

1.3 植物精油的提取

根据参考文献[21]将植物样品放置阴凉处自然阴干,用粉碎机粉碎过 3 号筛,称取 200 g 于 5 000 mL 圆底烧瓶中,加入 2 000 mL 双蒸水后置于蒸馏加热器中,连接挥发油测定仪并回流 5 h,冷却后收集精油,无水 Na₂SO₄ 干燥,装入棕色玻璃瓶于-20 °C 保存备用。提取率(%)=精油重量(g)/植物重量(g)×100。

1.4 化学成分分析

使用柔性石英毛细管柱(HP-5MS, 60 m×0.25 mm×0.25 μm),氦气作为载气,分流比为 10:1,进样口温度为 250 °C,流速为

1.0 mL/min。使用 EI 源作为离子源, 温度为 230 °C, 70 eV 电子能量, 34.6 μ A 发射电流, 四级杆温度为 150 °C。

程序升温如下: 植物精油用正己烷稀释至 1.00 mg/mL, 紫苏叶精油在 50 °C 保持 2 min, 然后以 4 °C/min 增至 200 °C, 再以 10 °C/min 增加至 300 °C, 保持 10 min。毛地黄鼠尾草精油在 50 °C 持续 2 min, 然后以 3.5 °C/min 的速度升至 183 °C, 再以 10 °C/min 的温度升至 310 °C, 保持 10 min。

1.5 抗真菌作用的测定

无菌环境条件下, 在培养皿中倒入 PDA 培养基, 待凝固, 将受试菌制成 6 mm 菌饼并使用无菌镊子取菌饼放入培养皿, 放置于(28 \pm 2) °C 恒温培养箱培养, 重复此步骤 2-3 次进行实验。

用菌丝生长速率法评估植物精油的抗菌作用^[22], 用少量 DMSO 溶解植物精油, 加入 PDA 培养基中充分混匀, 倾入培养皿制成含精油培养基, 毛地黄鼠尾草精油浓度分别为 31.25、62.5、125、250、500 和 1 000 μ g/mL, 紫苏精油浓度分别为 6.25、12.5、25、50、100 和 200 μ g/mL, 并设置空白对照(精油浓度为 0 μ g/mL)和三唑酮阳性对照组。用无菌镊子取菌饼倒置在含药培养皿的中心位置, 放置于(28 \pm 2) °C 培养箱中培养, 当空白组的菌丝生长接近培养皿边缘时, 用十字交叉法对菌丝直径进行测定, 并对各个菌丝生长的抑制率及有效中浓度(median effective concentrations, EC_{50})进行计算, 实验独立重复 3 次。菌丝抑制率(%)=(空白组菌饼直径-处理组菌饼直径)/(空白组菌饼直径-6 mm) \times 100。

1.6 体外细胞毒活性的测定

K562 和 AsPC-1 细胞用含 10% 胎牛血清的 RPMI-1640 培养基在 37 °C、5% CO₂ 细胞培养箱中培养, 换液传代培养。

取对数生长期细胞, 800 r/min 离心 5 min 收

集 K562 悬浮细胞, AsPC-1 贴壁细胞用 0.25% 胰酶消化 2 min, 加入 RPMI-1640 终止消化, 制备单细胞悬液, 调节 K562 细胞浓度为 5×10^4 个/mL, AsPC-1 细胞浓度为 3×10^4 个/mL, 均匀接种于 96 孔板中, 每孔 100 μ L, 37 °C 培养过夜, 将其分为空白组(0 μ g/mL)和精油处理组(50、100、200、400 和 800 μ g/mL), 设置 3 个复孔, 各浓度根据前期预实验设定, 处理 48 h 后每孔加入 20 μ L MTT 试剂培养 4 h, 取出于 1 200 r/min 常温离心 30 min, 弃上清, 加入 150 μ L DMSO 并振荡充分溶解晶体, 利用酶标仪测波长在 490 nm 处吸收的光度值(A), 独立重复 3 次实验, 计算各处理细胞的抑制率和半数抑制浓度(median inhibition concentration, IC_{50})并且绘制柱形图。抑制率(%)=(对照组 A_{490} -处理组 A_{490})/对照组 $A_{490}\times 100$ 。

1.7 数据分析

采用 Excel 统计数据, 实验结果以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm SD$)表示, 采用 SPSS 26.0 对精油浓度效果进行单因素方差分析, 并计算精油对各受试菌的 EC_{50} 值。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 植物精油提取率及挥发性成分分析

紫苏精油产率为 1.36%, 毛地黄鼠尾草精油产率为 0.82%。通过 GC-MS 技术对精油成分进行分析, 经过 Nist2020 标准数据谱库对比, 鉴定精油的挥发性成分, 各峰相对百分含量用峰面积归一化法计算。GC-MS 检测总离子流程图(图 1), 紫苏精油鉴定出 28 个化合物, 占精油总成分的 96.12%, 其中紫苏酮含量较高, 达到 67.84%, 异白烯苏酮含量为 14.95%。毛地黄鼠尾草精油鉴定出 47 个化合物, 占精油总成分的 81.78%, 其中石竹素含量为 9.59%, α -萜澄茄醇含量为 8.84%, 棕榈酸含量为 7.24%, T-萜澄

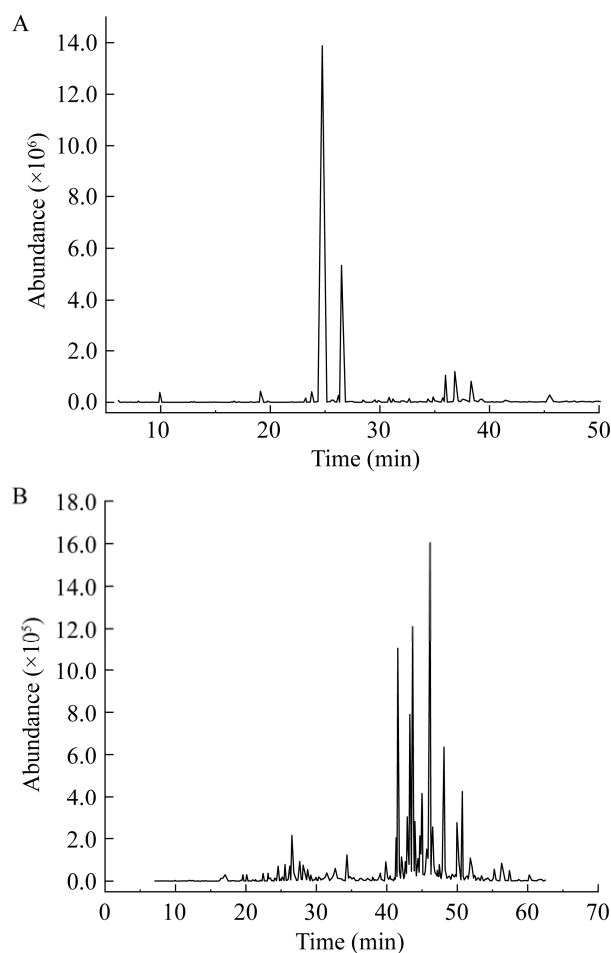


图1 紫苏精油(A)和毛地黄鼠尾草精油(B)的总离子流程图

Figure 1 Total ion flow chart of *Perilla frutescens* essential oil (A) and *Salvia digitaloides* Diels essential oil (B).

茄醇含量为 4.87%，缬草烷酮含量为 3.24% (表 1 和表 2)。

2.2 抗真菌作用

随着精油质量浓度增大，植物精油对 8 种受试真菌的抗菌作用逐渐增强，呈现浓度依赖性活性(图 2)。其中紫苏精油对细极链格孢菌作用较强，200 $\mu\text{g/mL}$ 下，抗菌率达到(86.98 \pm 1.35)%；毛地黄鼠尾草精油对腐皮镰刀菌作用最强，1 000 $\mu\text{g/mL}$ 下，抗菌率达到(91.03 \pm 3.39)%。相较于空白对照组，随着浓度增大，菌丝生长直

径逐渐减小(图 3 和图 4)。除腐皮镰刀菌外，毛地黄鼠尾草精油抗菌作用较紫苏精油弱，对腐皮镰刀菌的 EC_{50} 为 97.68 $\mu\text{g/mL}$ ；紫苏精油对所有供试真菌的 EC_{50} 范围为 32.78–128.22 $\mu\text{g/mL}$ ，对细极链格孢菌最强为 32.78 $\mu\text{g/mL}$ (表 3)。

2.3 细胞毒活性

以胰腺癌细胞 AsPC-1 和白血病细胞 K562 为研究对象，采用 MTT 比色法评价紫苏精油和毛地黄鼠尾草精油的细胞毒作用。发现植物精油作用细胞 48 h 后呈现一定的量效关系，精油质量浓度越大，抑制率作用也逐渐增强。800 $\mu\text{g/mL}$ 毛地黄鼠尾草精油对 K562 细胞和 AsPC-1 细胞的抑制率分别为(63.77 \pm 2.70)%和(68.32 \pm 0.62)%， IC_{50} 分别为 282.69 $\mu\text{g/mL}$ 和 458.97 $\mu\text{g/mL}$ ；紫苏精油对 K562 细胞和 AsPC-1 细胞的抑制率分别为(64.07 \pm 2.86)%和(60.22 \pm 0.79)%， IC_{50} 分别为 352.79 $\mu\text{g/mL}$ 和 480.59 $\mu\text{g/mL}$ (图 5)。

3 讨论与结论

本研究对受试菌进行菌丝生长抑制测定，结果显示紫苏精油对所有受试真菌效果较好，其抗菌活性由强到弱依次为：细极链格孢菌>油菜菌核菌>人参锈腐菌>立枯丝核菌>根腐菌>小麦赤霉菌>烟草黑胫病菌>腐皮镰刀菌；毛地黄鼠尾草精油抗菌活性由强到弱依次为：腐皮镰刀菌>烟草黑胫病菌>人参锈腐菌>细极链格孢菌>根腐菌>油菜菌核菌>小麦赤霉菌>立枯丝核菌。细胞毒性结果显示对癌细胞具有一定抑癌作用，对 K562 细胞抑制增殖作用较好。

由此可知，紫苏精油抗菌性能较好，毛地黄鼠尾草精油的细胞毒活性作用较好，生物活性不同可能与精油化学成分相关。Kwon 等^[23]报道了紫苏中异白烯苏酮通过激活 ROS 介导的半胱天冬酶依赖性和非依赖性途径诱导黑色素瘤细胞凋亡。紫苏中紫苏醛能显著改善多柔比星

表 1 紫苏精油挥发性成分

Table 1 Volatile components of *Perilla frutescens* essential oils

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对百分含量 Relative content (%)
1	7.96	3-甲基环戊醇 3-methylcyclopentanol	C ₆ H ₁₂ O	0.07
2	9.92	二丙酮醇 Diketone alcohol	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.09
3	12.77	异丙基苯 2-phenylpropane	C ₉ H ₁₂	0.49
4	13.03	4-甲基戊酸 Isocaproic acid	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.18
5	16.48	2-羟基异丁酸甲酯 Methyl 2-methyl lactate	C ₅ H ₁₀ O ₃	0.05
6	16.69	苯甲醇 Benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	0.12
7	17.15	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	0.04
8	18.81	反-A,A-5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-呋喃甲醇 <i>trans</i> -linalool oxide	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.04
9	19.10	芳樟醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	0.96
10	19.75	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	C ₈ H ₁₀ O	0.10
11	22.68	α -松油醇 α -terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.05
12	23.27	1-(3-呋喃基)-4-甲基-2-戊酮 1-(3-furanyl)-4-methyl-2-pentanone	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	0.39
13	24.74	紫苏酮 Perilla ketone	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	67.84
14	25.57	反式-肉桂醛(E)-cinnamaldehyde	C ₉ H ₈ O	0.16
15	25.76	紫苏醛 Perilla aldehyde	C ₁₀ H ₁₄ O	0.17
16	26.22	白烯苏酮 Egomaketone	C ₁₀ H ₁₄ O	0.65
17	26.49	异白烯苏酮 Isoegomaketone	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	14.95
18	27.14	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸甲酯 <i>cis</i> -geranic acid methyl ester	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	0.05
19	28.45	丁香酚 Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.24
20	29.54	N-乙基-2-呋喃甲酰胺 N-ethyl-2-furancarboxamide	C ₇ H ₉ N ₂ O	0.23
21	29.85	甲基丁香酚 Methyl eugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	0.18
22	30.85	律草烯 Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	0.45
23	34.37	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	0.37
24	35.75	桉油烯醇 Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	0.45
25	35.99	石竹素 Caryophyllin	C ₁₅ H ₂₄ O	2.37
26	36.83	蒺藜油脑 Dillapiol	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	2.81
27	38.33	广藿香酮 Patchouli alcohol	C ₁₅ H ₂₆ O	2.09
28	45.48	叶绿醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	0.53

表 2 毛地黄鼠尾草精油挥发性成分

Table 2 Volatile components of *Salvia digitaloides* Diels essential oil

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对百分含量 Relative content (%)
1	16.47	苯甲醛 Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	0.15
2	16.70	庚酸 Heptanoic acid	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.21
3	17.06	苯酚 Phenol	C ₆ H ₆ O	0.37
4	19.20	邻-异丙基苯 O-cymene	C ₁₀ H ₁₄	0.05
5	19.59	苯甲醇 Benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	0.41

(待续)

(续表 2)

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对百分含量 Relative content (%)
6	20.10	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	0.32
7	22.43	芳樟醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	0.38
8	23.15	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	C ₈ H ₁₀ O	0.42
9	23.26	葑醇 Fenchol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.14
10	23.48	反式-2,8-戊二烯-1-醇 <i>trans</i> -para-2,8-menthadien-1-ol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.21
11	24.43	顺式对甲基-1(7),8-二烯-2-醇 <i>cis</i> -p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.30
12	24.58	反式马鞭烯醇 <i>trans</i> -verbenol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.75
13	24.87	2,3,3-三甲基-双环[2,2,1]庚烷-2-醇 2,3,3-trimethyl-bicyclo[2,2,1]heptan-2-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.16
14	25.17	辛酸 Octanoic acid	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.27
15	25.55	冰片 Endo-borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.87
16	26.23	(4-甲基苯基)丙-2-醇 2-para-cymen-8-ol	C ₁₀ H ₁₄ O	0.70
17	26.37	马鞭烯醇 Verbenol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.07
18	26.52	α -松油醇 α -terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	2.13
19	26.79	桃金娘烯醇 Myrtenol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.40
20	27.636	香芹醇 Carveol	C ₁₀ H ₁₆ O	1.07
21	28.14	顺-香芹醇 <i>cis</i> -carveol	C ₁₀ H ₁₆ O	0.76
22	28.91	香叶醇 Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.26
23	29.19	壬酸 Nonanoic acid	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.38
24	32.66	垅牛儿酸 3,7-dimethyl-2,6-octadienoic acid	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	1.09
25	34.35	1,2,3-三甲基吲哚 1,2,3-trimethyl indole	C ₁₁ H ₁₃ N	1.44
26	39.84	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	1.00
27	41.33	桉油烯醇 Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	2.09
28	41.55	石竹素 Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	9.59
29	41.78	绿花白千层醇 Viridiflorol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.58
30	42.09	杜香醇 Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	1.19
31	42.25	氧化蛇麻烯 Humulene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	0.67
32	42.91	T-萜澄茄醇 T-cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	4.87
33	43.04	α -派烯 α -copaene	C ₁₅ H ₂₄	1.08
34	43.27	α -萜澄茄醇 α -cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	8.84
35	43.34	β -瑟林烯 β -selinene	C ₁₅ H ₂₄	1.70
36	43.81	缬草烷酮 Valeranone	C ₁₅ H ₂₆ O	3.24
37	44.00	(Z,E)-2,2-呋喃二肟(Z,E)-2,2-furil dioxime	C ₁₀ H ₈ N ₂ O ₄	3.33
38	44.76	α -木香醇 α -costol	C ₁₅ H ₂₄ O	1.21
39	45.05	1-((1S,3aR,4R,7S,7aS)-4-hydroxy-7-isopropyl-4-methyloctahydro-1H-inden-1-yl)ethanone	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	2.63
40	46.14	未鉴定出 Not identified		11.73
41	46.36	异桉油烯醇 Isospathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	1.11
42	46.51	植酮 Hexahydrofarnesyl acetone	C ₁₈ H ₃₆ O	2.41
43	48.11	棕榈酸 Palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	7.24
44	49.96	叶绿醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	2.01
45	55.27	正十九烷 Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	0.42
46	56.31	芥酸酰胺 Docosenamide	C ₂₂ H ₄₃ NO	1.04
47	57.41	二十二烷 Docosane	C ₂₆ H ₅₄	0.49

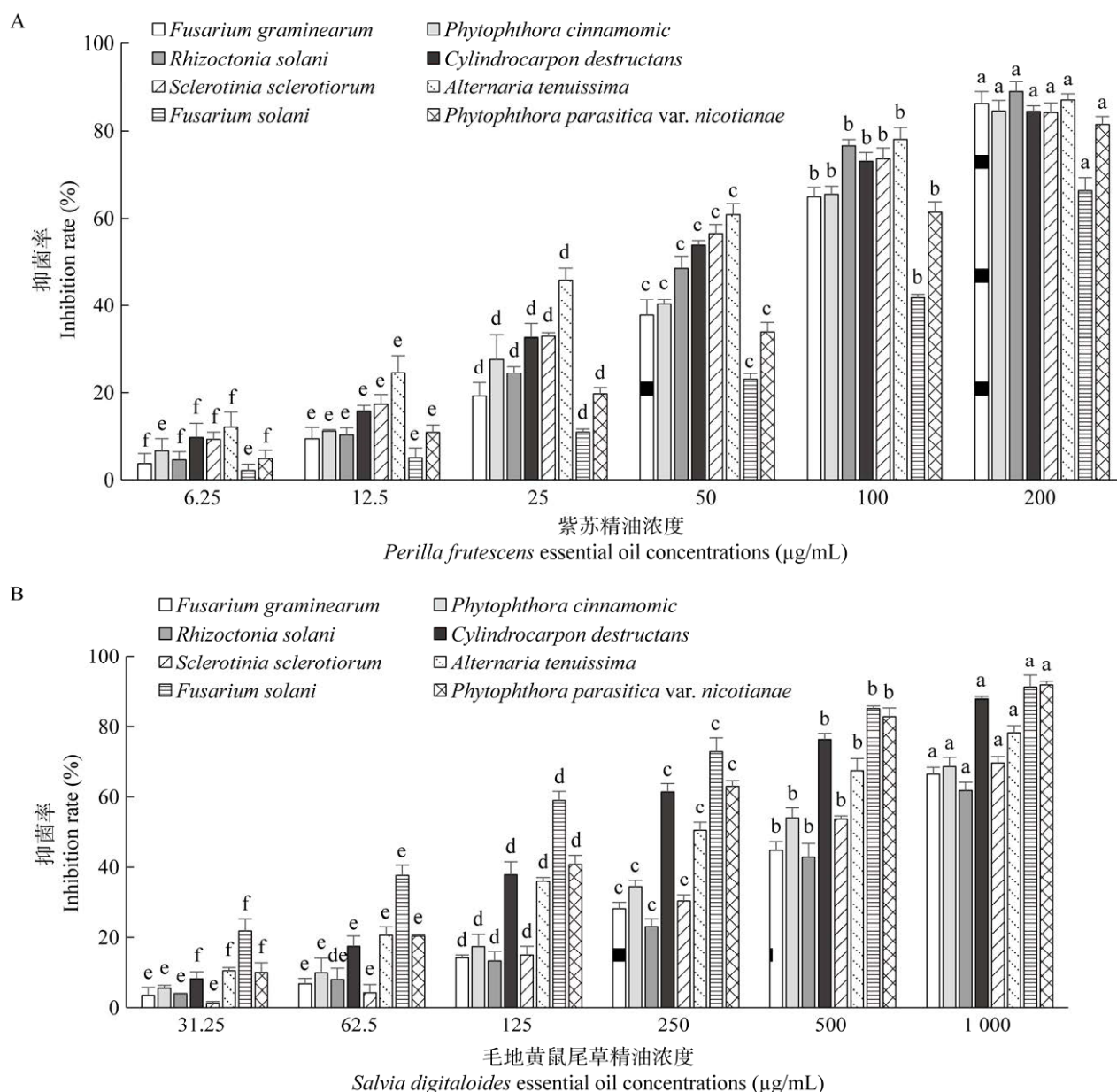


图2 不同浓度紫苏精油(A)和毛地黄鼠尾草精油(B)的抗真菌活性 不同小写字母表示差异显著

Figure 2 Antifungal activity of *Perilla frutescens* essential oil (A) and *Salvia digitaloides* Diels essential oil (B) at different concentrations. Different lowercase letters indicate significant differences.

所致大鼠心脏毒性的的心脏功能,减轻心肌纤维化,以及减轻氧化应激和炎症反应^[24]。Huang等^[25]综述了紫苏中紫苏醛是预防癌症的主要活性成分。GC-MS分析化学成分,紫苏精油鉴定出28个化合物,主要成分为紫苏酮(67.84%)和

异白烯苏酮(14.95%),与文献[23,26]报道相似,但含量不同,文献[27]报道北京市紫苏精油中香芹酮和紫苏醛为主要挥发性成分,从毛地黄鼠尾草精油中鉴定出47个化合物,含量为11.73%的化合物未鉴定出来,其他化学成分含量较高

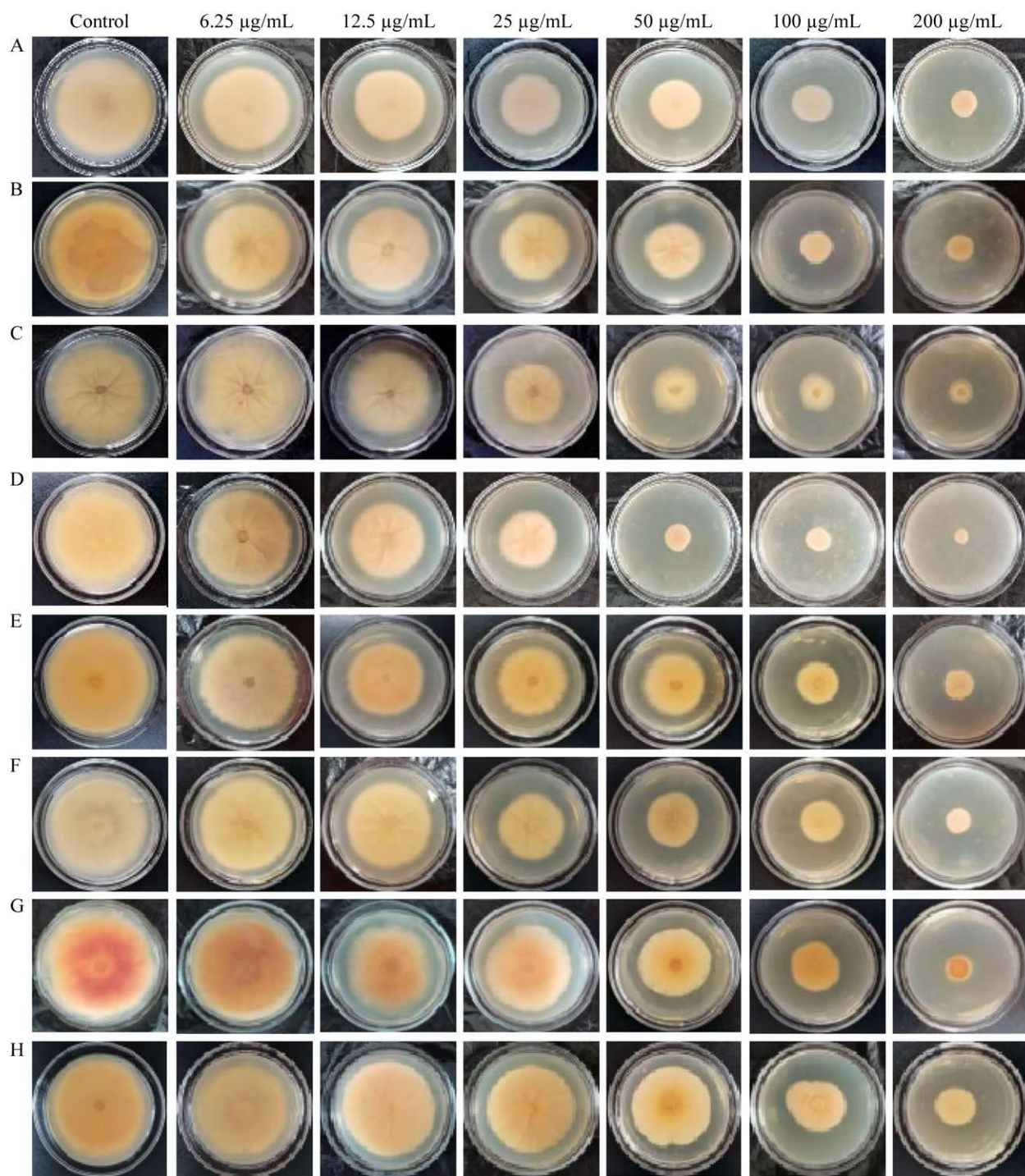


图 3 紫苏精油对 8 种不同真菌的抑制作用 A: 立枯丝核菌. B: 烟草黑胫病菌. C: 油菜菌核菌. D: 细极链格孢菌. E: 根腐病菌. F: 人参锈腐菌. G: 小麦赤霉菌. H: 腐皮镰刀菌

Figure 3 The inhibitory effect of *Perilla frutescens* essential oil on eight different fungi. A: *Rhizoctonia solani*. B: *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*. C: *Sclerotinia sclerotiorum*. D: *Alternaria tenuissima*. E: *Phytophthora cinnamomic*. F: *Cylindrocarpon destructans*. G: *Fusarium graminearum*. H: *Fusarium solani*.

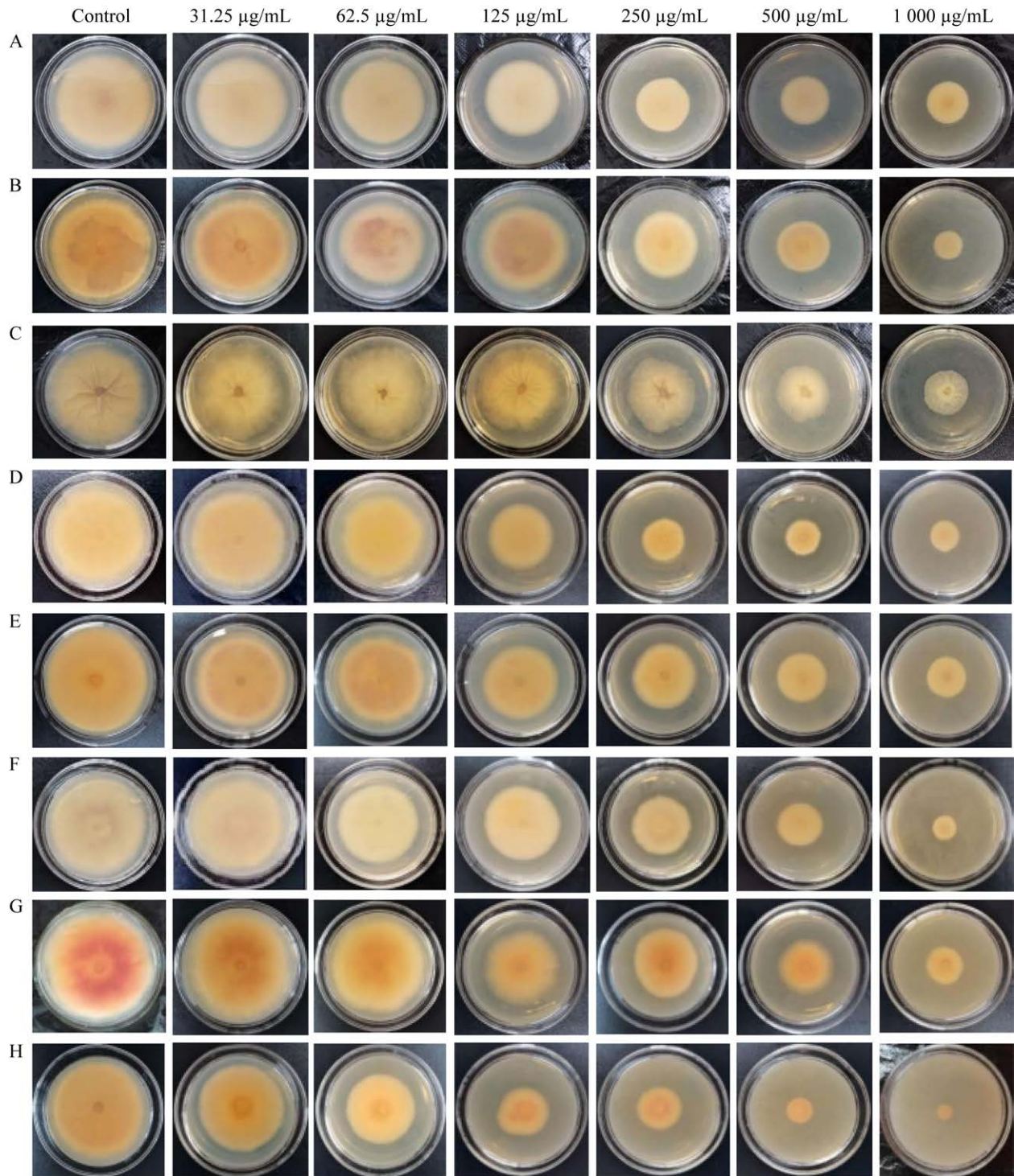


图 4 毛地黄鼠尾草精油对 8 种不同真菌的抑制作用 A: 立枯丝核菌. B: 烟草黑胫病菌. C: 油菜菌核菌. D: 细极链格孢菌. E: 根腐病菌. F: 人参锈腐菌. G: 小麦赤霉菌. H: 腐皮镰刀菌

Figure 4 The inhibitory effect *Salvia digitaloides* Diels essential oil on eight different fungi. A: *Rhizoctonia solani*. B: *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*. C: *Sclerotinia sclerotiorum*. D: *Alternaria tenuissima*. E: *Phytophthora cinnamomic*. F: *Cylindrocarpon destructans*. G: *Fusarium graminearum*. H: *Fusarium solani*.

表 3 植物精油抗真菌的有效中浓度

Table 3 Median effective concentration of plant essential oils against fungi ($\mu\text{g/mL}$)

菌株 Fungi	紫苏精油 <i>Perilla frutescens</i> essential oil	毛地黄鼠尾草精油 <i>Salvia digitaloides</i> Diels essential oil	三唑酮 Triadimefon
根腐病菌 <i>Phytophthora cinnamomic</i>	56.54	462.38	5.82
立枯丝核菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	51.49	671.24	16.34
油菜菌核菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	43.34	485.78	6.63
人参锈腐菌 <i>Cylindrocarpon destructans</i>	45.19	188.26	2.38
腐皮镰刀菌 <i>Fusarium solani</i>	128.22	97.68	8.24
小麦赤霉菌 <i>Fusarium graminearum</i>	59.19	581.37	3.78
烟草黑胫病菌 <i>Phytophthora parasitica</i> var. <i>nicotianae</i>	72.85	168.16	4.76
细极链格孢菌 <i>Alternaria tenuissima</i>	32.78	246.04	3.78

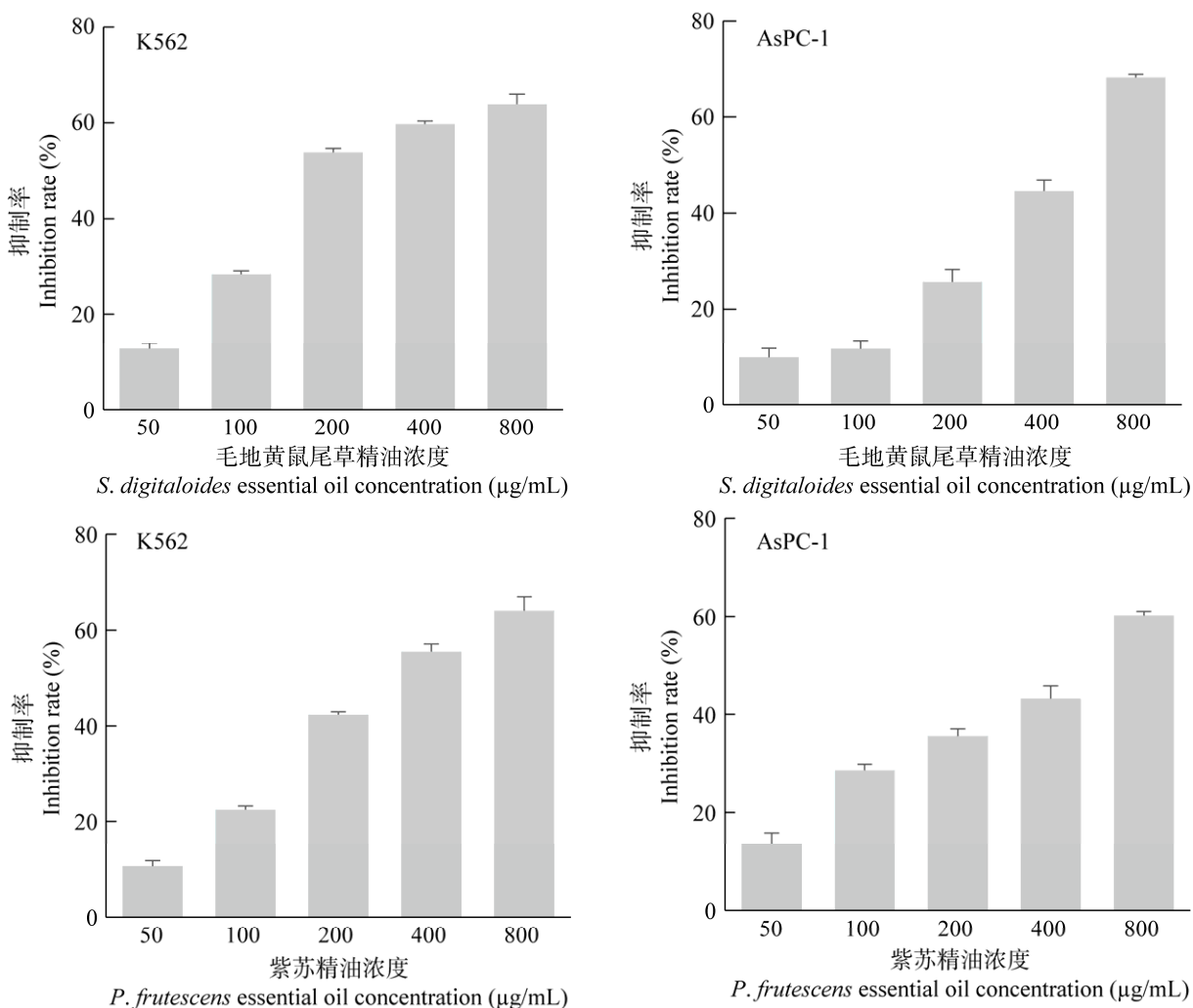


图 5 毛地黄鼠尾草精油和紫苏精油对细胞 K562 和 AsPC-1 的抑制率

Figure 5 Inhibition rate of *Salvia digitaloides* Diels essential oil and *Perilla frutescens* essential oil on K562 cells and AsPC-1 cells.

的是石竹素含量为 9.59%, α -萜澄茄醇含量为 8.84%, 棕榈酸含量为 7.24%, 化学成分的差异性可能受自身品种、采摘地点、种植因素、采摘时节和提取方法等影响。两种唇形科植物精油在生物活性上各有差异, 紫苏精油的抗真菌作用远大于毛地黄鼠尾草精油, 可能受来源、植物特点、化学成分不同等因素影响。

本研究中紫苏精油含有大量酮类, 其抗真菌和细胞毒活性可能与酮类成分有关, 毛地黄鼠尾草精油化学成分复杂, 还有一个未鉴定出的高含量成分(11.73%), 其他成分有萜类、醇类和酸类等, 生物活性可能与未鉴定出的化合物有关, 也可能与其他化合物有关, 或是其他微量化合物具有协同辅助作用, 因精油化学成分较多, 难以确定具体的活性成分。黔产紫苏精油具有较好的抗真菌活性, 对紫苏精油抗真菌机制展开研究, 是其运用于食品和农业方面的关键点, 后续可进一步深入探究分子层面的机理, 了解作用靶点及分析紫苏酮和异白烯苏酮是否为主要抗菌成分。此外, 本研究探究了毛地黄鼠尾草精油化学成分、抗真菌和细胞毒活性, 但有关生物活性机制尚待进一步探究。

REFERENCES

- [1] 中国科学院. 中国植物志[M]. 第 66 卷. 北京: 科学出版社, 1977.
Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Volume 66. Beijing: Science Press, 1977 (in Chinese).
- [2] 李沛琼. 深圳植物志[M]. 第 3 卷. 北京: 中国林业出版社, 2012.
LI PQ. Flora of Shenzhen[M]. Volume 3. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012 (in Chinese).
- [3] FALLEH H, BEN JEMAA M, SAADA M, KSOURI R. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127268.
- [4] TIAN GH. Chemical constituents in essential oils from *Elsholtzia ciliata* and their antimicrobial activities[J]. Chinese Herbal Medicines, 2013, 5(2): 104-108.
- [5] MEI J, MA X, XIE J. Review on natural preservatives for extending fish shelf life[J]. Foods, 2019, 8(10): 490.
- [6] 汪天龙, 董丽, 喻礼怀. 复合植物精油在畜禽生产中应用的研究进展[J]. 中国饲料, 2020(7): 65-69.
WANG TL, DONG L, YU LH. Advances in the application of compound plant essential oils in livestock and poultry production[J]. China Feed, 2020(7): 65-69 (in Chinese).
- [7] AKARCA G. Composition and antibacterial effect on food borne pathogens of *Hibiscus sarrattensis* L. calyces essential oil[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 137: 285-289.
- [8] CUI HY, ZHANG CH, LI CZ, LIN L. Antibacterial mechanism of oregano essential oil[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 139: 111498.
- [9] 郝婧玮, 索莲宜, 杨斯棋, 陈思宇, 梅念念, 季宇彬. 橘皮与橙皮精油抑菌、抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. 中医药学报, 2019, 47(4): 37-41.
HAO JW, SUO LH, YANG SQ, CHEN SY, MEI NN, JI YB. Effects of mandarin orange peel oil and orange peel oil on bacteriostasis, antioxidant activity and antitumor activity[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2019, 47(4): 37-41 (in Chinese).
- [10] 韩峰, 孙耀文, 马迎梅, 郑丽娜, 刘承昊, 赵博杨. 三种百里香挥发油成分、抑菌活性和对人体肝癌细胞毒性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(10): 1708-1715.
HAN F, SUN YW, MA YM, ZHENG LN, LIU CH, ZHAO BY. Components, bacteriostatic activity and cytotoxicity on human hepatoma cells of three thyme essential oils[J]. Natural Product Research and Development, 2023, 35(10): 1708-1715 (in Chinese).
- [11] 王天嗣, 柳欢欢, 熊耀坤, 许汉林, 刘烨, 黄艺, 韩飞. 唇形科属植物抗肿瘤活性成分的研究进展[J]. 中国药师, 2020, 23(10): 1999-2003.
WANG TS, LIU HH, XIONG YK, XU HL, LIU Y, HUANG Y, HAN F. Research advances in antitumor active ingredients of *Labiaceae* plants[J]. China Pharmacist, 2020, 23(10): 1999-2003 (in Chinese).
- [12] HE F, WANG W, WU MC, FANG YP, WANG SZ, YANG Y, YE C, XIANG F. Antioxidant and antibacterial activities of essential oil from *Atractylodes lancea* rhizomes[J]. Industrial Crops and Products, 2020, 153: 112552.
- [13] 康荷笛, 赵修华, 张晓雪, 张茜, 耿宇婷, 赵文. 杜香精油的酶辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(10): 1678-1689, 1726.
KANG HD, ZHAO XH, ZHANG XX, ZHANG Q, GENG YT, ZHAO W. Study on the enzyme-assisted

- extraction process of essential oil from *Ledum palustre* L. and its antioxidant activity[J]. *Natural Product Research and Development*, 2022, 34(10): 1678-1689, 1726 (in Chinese).
- [14] 林硕, 邵平, 马新, 孙培龙. 紫苏挥发油化学成分 GC/MS 分析及抑菌评价研究[J]. *核农学报*, 2009, 23(3): 477-481.
LIN S, SHAO P, MA X, SUN PL. GC/MS analysis of volatile oil of *Perilla frutescens* L. and evaluation of its inhibiting ability to bacteria[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(3): 477-481 (in Chinese).
- [15] 徐健, 王珊, 宋占俞, 赵南晰, 孙佳慧, 胡晓彤, 孙晶波. 紫苏精油的抑菌活性及其精华滋养乳的制备和质量检测[J]. *时珍国医国药*, 2020, 31(5): 1119-1122.
XU J, WANG S, SONG ZY, ZHAO NX, SUN JH, HU XT, SUN JB. Antibacterial activity of perilla essential oil and preparation and quality inspection of its essence nourishing milk[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, 31(5): 1119-1122 (in Chinese).
- [16] 郑哲浩, 禹宸, 邱林燕, 江苏萱, 吴晓蓉, 毛晓锐, 包陈洁, 韩晓洋, 修丽丽. 微波-超声波协同辅助提取紫苏精油工艺优化及抑菌活性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(1): 115-121, 141.
ZHENG ZH, YU C, QIU LY, JIANG SX, WU XR, MAO XR, BAO CJ, HAN XX, XIU LL. Microwave-ultrasound assisted extraction process optimization of *Perilla* essential oil and its antibacterial activity[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(1): 115-121, 141 (in Chinese).
- [17] 周晓红, 蔡婷, 林籽汐, 张大凤, 张珊, 向文良. 紫苏精油对热带假丝酵母和克鲁维毕赤酵母的抑制及机制研究[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(16): 164-171.
ZHOU XH, CAI T, LIN ZX, ZHANG DF, ZHANG S, XIANG WL. Antifungal and mechanism of *Perilla* essential oil against *Candida tropicalis* and *Pichia kluyveri*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(16): 164-171 (in Chinese).
- [18] HU ZY, YUAN K, ZHOU Q, LU C, DU LH, LIU F. Mechanism of antifungal activity of *Perilla frutescens* essential oil against *Aspergillus flavus* by transcriptomic analysis[J]. *Food Control*, 2021, 123: 107703.
- [19] CHEN FL, LIU SS, ZHAO ZY, GAO WB, MA YB, WANG XX, LUO DQ. Ultrasound pre-treatment combined with microwave-assisted hydrodistillation of essential oils from *Perilla frutescens* (L.) Britt. leaves and its chemical composition and biological activity[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 143: 111908.
- [20] ELEGBEDE JA, FLORES R, WANG RC. Perillyl alcohol and perillaldehyde induced cell cycle arrest and cell death in BroTo and A549 cells cultured *in vitro*[J]. *Life Sciences*, 2003, 73(22): 2831-2840.
- [21] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-四部: 2020 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
National Pharmacopoeia Commission. People's Republic of China (PRC) Pharmacopoeia-part IV: 2020 Edition[M]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2020 (in Chinese).
- [22] TAO NG, JIA L, ZHOU HE. Anti-fungal activity of Citrus reticulata Blanco essential oil against *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum*[J]. *Food Chemistry*, 2014, 153: 265-271.
- [23] KWON SJ, LEE JH, MOON KD, JEONG IY, AHN DUK, LEE MK, SEO KI. Induction of apoptosis by isoeogonaketone from *Perilla frutescens* L. in B16 melanoma cells is mediated through ROS generation and mitochondrial-dependent, -independent pathway[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2014, 65: 97-104.
- [24] YIN YL, NIU QQ, HOU HY, QUE HD, MI S, YANG JF, LI ZT, WANG HH, YU YN, ZHU ML, ZHAN HQ, WANG QQ, LI P. PAE ameliorates doxorubicin-induced cardiotoxicity via suppressing NHE1 phosphorylation and stimulating PI3K/AKT phosphorylation[J]. *International Immunopharmacology*, 2022, 113: 109274.
- [25] HUANG SC, NAN Y, CHEN GQ, NING N, DU YH, LU DD, YANG YT, MENG FD, YUAN L. The role and mechanism of *Perilla frutescens* in cancer treatment[J]. *Molecules*, 2023, 28(15): 5883.
- [26] HUANG BK, LEI YL, TANG YH, ZHANG J, QIN L, LIU J. Comparison of HS-SPME with hydrodistillation and SFE for the analysis of the volatile compounds of Zisu and Baisu, two varietal species of *Perilla frutescens* of Chinese origin[J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(1): 268-275.
- [27] YOU CX, WANG Y, ZHANG WJ, YAMG K, YAN W, GENG ZF, CHEN HP, JIANG HY, DU SS, DENG ZW. Chemical constituents and biological activities of the Purple *Perilla* essential oil against *Lasioderma serricorne*[J]. *Industrial Crops and Products*, 2014, 61: 331-337.