

杜香叶挥发油化学成分及抑菌活性分析

王庭杰^{1,2}, 马丽^{1,2,①}, 王松凤²

[1. 南京中医药大学, 江苏 南京 210023;

2. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省植物资源研究与利用重点实验室, 江苏 南京 210014]

摘要: 采用水蒸气蒸馏法制备杜香 (*Rhododendron tomentosum* Harmaja) 叶挥发油, 通过气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术对叶挥发油化学成分进行分离和鉴定, 初步探索了叶挥发油对 8 种致病细菌和 1 种致病真菌以及 4 种植物病原菌的抑菌效果。结果显示: 宽叶杜香叶挥发油中共鉴定到 46 个化学成分, 其中, octahydro-2,5-methano-1H-indene 和 7-ethyl-1,3,5-cycloheptatriene 相对含量较高 (分别为 21.15% 和 18.92%)。不同质量浓度宽叶杜香叶挥发油对 8 种细菌和白色念珠菌 (*Candida albicans*) 均有一定程度的抑制作用, 其中, 对金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 的最小抑菌浓度 (MIC) 最低 ($2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), 对白色念珠菌的 MIC 值为 $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; 宽叶杜香叶挥发油对 4 种植物病原菌具有显著抑制作用, 其中, 对水稻纹枯病菌 (*Rhizoctonia solani*) 的半数效应浓度 (EC_{50}) 最低 ($0.19 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)。综合研究结果显示: 宽叶杜香叶挥发油具有广谱抗菌作用, 枯茗醛、4-萜烯醇和 α -蒎烯可能是其发挥抑菌活性的主要成分。

关键词: 宽叶杜香; 叶挥发油; 气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术; 化学成分; 抑菌活性

中图分类号: Q946; Q949.772.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)01-0110-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.01.12

Analysis on chemical components and antimicrobial activity of volatile oil from the leaves of *Ledum palustre* var. *dilatatum* WANG Tingjie^{1,2}, MA Li^{1,2,①}, WANG Songfeng² [1. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Key Laboratory for the Research and Utilization of Plant Resources, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(1): 110-113

Abstract: The leaf volatile oil of *Rhododendron tomentosum* Harmaja was prepared by using steam distillation, the chemical components of the leaf volatile oil were separated and identified by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technology, and the inhibitory effects of the leaf volatile oil against eight pathogenic bacteria, one pathogenic fungus, and four plant pathogens was preliminarily explored. The results show that a total of 46 chemical components are identified in leaf volatile oil of *L. palustre* var. *dilatatum*, among which, the relative contents of octahydro-2,5-methano-1H-indene and 7-ethyl-1,3,5-cycloheptatriene are relatively high (which are 21.15% and 18.92%, respectively). The leaf volatile oil of *L. palustre* var. *dilatatum* exhibits a certain degree of inhibitory effect on eight bacteria and *Candida albicans* at different mass concentrations, among which, the minimum inhibitory concentration (MIC) against *Staphylococcus aureus* is the lowest ($2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), and the MIC value against *C. albicans* is $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; the leaf volatile oil of *L. palustre* var. *dilatatum* has significant inhibitory effects on four plant pathogens, among which, the median effective concentration (EC_{50}) against *Rhizoctonia solani* is the lowest ($0.19 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$). It is suggested that the leaf volatile oil of *L. palustre* var. *dilatatum* possesses a broad-spectrum antimicrobial effect, and cuminal, terpinen-4-ol, and α -pinene may be the main components responsible for its antimicrobial activity.

Key words: *Rhododendron tomentosum* Harmaja; leaf volatile oil; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technology; chemical component; antimicrobial activity

杜香 (*Rhododendron tomentosum* Harmaja) 为杜鹃花科 (Ericaceae) 杜鹃花属 (*Rhododendron* Linn.) 常绿小灌木, 也称宽叶杜香、细叶杜香、狭叶杜香、绊脚丝, 具有抗炎、镇痛、镇咳、止痰、平喘、抑菌的功效^{[1]36-37, [2], [3]42}。张敏^{[1]25}利用水蒸气蒸馏法得到的杜香主要挥发性成分有对-伞花烃、4-萜品

醇、1-乙烷基环己醇、 β -萜品烯、(+)-4-萜烯、桉酮和 α -崖柏醛等。李奕凝^[4]利用自发热气液微萃取法得到的宽叶杜香含量较高的挥发性成分有 2,2'-亚甲基双(6-叔丁基-4-甲基苯酚)、罗勒烯、阿斯利多、反式-松香芹醇、2,3,6,7-四甲基辛烷。植物提取物作为新型抑菌剂的潜在来源, 可抵消微生物

收稿日期: 2024-05-11

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目 (苏[2024]TG06)

作者简介: 王庭杰 (1998—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事药用植物开发与利用研究。

①通信作者 E-mail: mariecurie@126.com

引用格式: 王庭杰, 马丽, 王松凤. 杜香叶挥发油化学成分及抑菌活性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(1): 110-113.

对传统药物产生的抗药性^[5]。姜玮^{[3]42}通过滤纸片法测试了杜香挥发油对大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、沙门氏杆菌(*Salmonella enterica*)、志贺氏菌(*Shigella sp.*)和蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)的抑菌效果,结果表明其具有广谱抗菌作用,对革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌均有抑制作用。

由于采集月份或提取方法的不同,杜香叶挥发油化学成分存在差异,且已有研究尚不系统。鉴于此,本研究采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对杜香叶挥发油中的化学成分进行了分离和鉴定,并对其抑菌活性进行了初步探索,以期对杜香叶挥发油进一步开发、利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试杜香叶于 2021 年 9 月采自吉林省长白山地区(北纬 42°51'00"~42°52'00"、东经 128°25'30"~128°27'15"),在室温下自然风干。材料由马丽副研究员鉴定为杜香叶。

主要仪器和试剂:Agilent 8860GC-5977BMSD 型气质联用仪(美国 Agilent 公司)、十万分之一电子天平(瑞士 Mettler-Toledo 公司)、丙酮(分析纯,南京化学试剂股份有限公司)、无水硫酸钠(西陇科学股份有限公司)、马铃薯葡萄糖琼脂培养基(上海博微生物科技有限公司)。

革兰氏阳性菌:肺炎链球菌(*Streptococcus pneumoniae*)、表皮葡萄球菌(*Staphylococcus epidermidis*)、金黄色葡萄球菌;革兰氏阴性菌:大肠杆菌、鲍曼不动杆菌(*Acinetobacter baumannii*)、沙门氏杆菌、绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、肺炎克雷伯菌(*Klebsiella pneumoniae*);真菌:白色念珠菌(*Candida albicans*);植物病原菌:水稻纹枯病菌(*Rhizoctonia solani*)、小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)、油菜菌核病菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、黄瓜灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)。以上菌种均由中国药科大学生化实验室提供。

1.2 方法

1.2.1 挥发油提取 取 400 g 杜香叶粉碎后过 40 目筛,加入 2 L 蒸馏水振荡混合并在避光条件下浸泡 15 h。使用水蒸气蒸馏法^[6]提取挥发油,获得的样品放于 4 °C 冰箱中保存、待测。

1.2.2 GC-MS 分析 色谱条件:HP-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm),载气为氦气(纯度 99.99%),流速 1 mL·min⁻¹;进样量 1 μL,分流比 40:1。升温程序:起始温度 50 °C,以 7 °C·min⁻¹升温至 200 °C;以 15 °C·min⁻¹升温至 280 °C。质谱条件:EI 电离源,温度 250 °C,电离电压 70 eV,质量扫描范围 20~550 amu。

1.2.3 最小抑菌浓度(MIC)测定 采用琼脂稀释法^[7],取 0.32 g 挥发油,用体积分数 0.5%二甲基亚砜(DMSO)溶解并超声(800 W,10 min)助溶。根据预实验结果,将挥发油分别

与自配的营养肉汤固体培养基(NB)和沙保罗固体培养基(SDB)混合均匀得到 8 mg·mL⁻¹母液,采用二倍稀释法对母液进行稀释,得到挥发油终质量浓度分别为 8.00、4.00、2.00、1.00、0.50、0.25 mg·mL⁻¹的含样培养基。以空白 NB 和 SDB 培养基作为空白对照,以仅含体积分数 0.5% DMSO 的 NB 和 SDB 培养基作为阴性对照。取 8 种稀释至 1×10⁵ CFU·mL⁻¹的细菌菌液各 1 μL,接种于同一含样 NB 培养基上,采用同样的操作将白色念珠菌接种于含样 SDB 培养基。置于 37 °C 下恒温培养,细菌培养 24 h,真菌培养 48 h,以无菌落生成的最低浓度为最小抑菌浓度。每个质量浓度挥发油处理设置 3 个重复。

1.2.4 半数效应浓度(EC₅₀)测定 按照上述“1.2.3”中的方法配制母液,并稀释成终质量浓度为 0.5、0.4、0.3、0.2、0.1 mg·mL⁻¹的含样马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)。以空白 PDA 培养基作为空白对照,以仅含体积分数 0.5% DMSO 的 PDA 培养基作为阴性对照。将 4 种植物病原菌接种于空白 PDA 培养基上 27 °C 恒温培养至菌落直径约为培养皿直径(9 mm)的 3/4 时确定生长终点,使用打孔器将 4 种植物病原菌沿边缘打成直径 5 mm 的菌饼,菌饼朝下接种于含样 PDA 培养基上,27 °C 恒温培养至生长终点。每个质量浓度挥发油处理设置 3 个重复。

采用十字交叉法测量不同处理的菌落直径并计算抑菌率,计算公式为抑菌率=[(阴性对照菌落直径-处理菌落直径)/(阴性对照菌落直径-菌饼直径)]×100%。以挥发油质量浓度的对数值作为横坐标 x 、抑菌率为纵坐标 y ,获得回归方程和相关系数,并进一步计算半数效应浓度。

1.3 数据处理和分析

使用 NIST08 数据库对挥发油中化学成分进行比对,并采用峰面积归一化法^[8]计算各成分的相对含量。使用 Graphpad Prism 8.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)。

2 结果和分析

2.1 GC-MS 分析结果

结果(表 1)显示:从杜香叶挥发油中共鉴定出 46 个化学成分,主要化学成分类型为烯类、醇类、醛酮和酯类。其中,主要化学成分为 octahydro-2,5-methano-1*H*-indene-7-ethyl-1,3,5-cycloheptatriene、4-萜烯醇、 α -松油烯、isoascaridol、(1*S*,3*S*,5*S*)-1-isopropyl-4-methylenebicyclo[3.1.0]hexan-3-yl acetate、枯茗醛、 α -蒎烯、乙酸龙脑酯、 γ -松油烯和 5-isopropylbicyclo[3.1.0]hex-3-en-2-one,相对含量分别为 21.15%、18.92%、6.29%、6.25%、5.05%、3.76%、2.71%、2.62%、2.39%、2.24%和 2.13%,其余成分相对含量均在 2% 以下。

2.2 抑菌实验结果

杜香叶挥发油对 8 种致病细菌和 1 种致病真菌的最小抑菌浓度(MIC)见表 2,对 4 种植物病原菌的抑菌效果见表 3。

结果显示:不同质量浓度宽叶杜香叶挥发油对8种供试细菌均有一定程度的抑制作用,其中,对金黄色葡萄球菌的MIC值最低($2\text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$),对大肠杆菌的MIC值为 $4\text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,说

明杜香叶挥发油对这2种细菌具有较好的抑制效果;对肺炎链球菌和肺炎克雷伯菌的抑菌效果稍弱, MIC值均高于 $8\text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$;对表皮葡萄球菌、鲍曼不动杆菌、沙门氏杆菌和

表1 宽叶杜香叶挥发油主要化学成分¹⁾

Table 1 Main chemical components of the leaf volatile oil of *Rhododendron tomentosum* Harmaja¹⁾

化合物 Compound	t/min	MF	RC/%	化合物 Compound	t/min	MF	RC/%
α -thujene	5.17	C ₁₀ H ₁₆	0.95	cuminal	11.42	C ₁₀ H ₁₂ O	2.71
α -pinene	5.31	C ₁₀ H ₁₆	2.62	5,9-undecadien-1-yne, 6,10-dimethyl-	11.63	C ₁₃ H ₂₀	0.26
camphene	5.59	C ₁₀ H ₁₆	1.33	piperitone oxide	11.70	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	0.51
octahydro-2,5-methano-1H-indene	6.08	C ₁₀ H ₁₆	21.15	carvenone oxide	11.75	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	0.26
β -pinene	6.14	C ₁₀ H ₁₆	1.71	trans-ascaridol glycol	12.05	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.87
α -phellandrene	6.62	C ₁₀ H ₁₆	0.29	bornyl acetate	12.30	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	2.39
α -terpinene	6.88	C ₁₀ H ₁₆	6.25	(1S,3S,5S)-1-isopropyl-4-methylenebicyclo [3.1.0]hexan-3-yl acetate	12.40	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	3.76
7-ethyl-1,3,5-cycloheptatriene	7.08	C ₉ H ₁₂	18.92	trans-ascaridol glycol	12.47	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	1.57
D-limonene	7.13	C ₁₀ H ₁₆	1.18	carvacrol	12.63	C ₁₀ H ₁₄ O	0.63
β -ocimene	7.45	C ₁₀ H ₁₆	0.24	isascaridol	12.76	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	5.05
γ -terpinene	7.71	C ₁₀ H ₁₆	2.24	1-acetyl-1,2-epoxy-2-methylcyclohexane	13.01	C ₉ H ₁₄ O ₂	0.97
4-thujanol	7.90	C ₁₀ H ₁₈ O	0.28	citronellol acetate	13.49	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	0.60
terpinolene	8.30	C ₁₀ H ₁₆	0.74	geranyl acetate	14.06	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	1.23
5-isopropylbicyclo[3.1.0]hex-3-en-2-one	9.00	C ₉ H ₁₂ O	2.13	3-methyl-4,7-dioxo-oct-2-enal	14.48	C ₉ H ₁₂ O ₃	0.33
1-ethenyl-cyclohexanol	9.14	C ₈ H ₁₄ O	1.72	β -maaliene	14.68	C ₁₅ H ₂₄	1.24
sabinol	9.39	C ₁₀ H ₁₆ O	0.70	caryophyllene	14.87	C ₁₅ H ₂₄	0.36
sabina ketone	9.77	C ₉ H ₁₄ O	0.63	humulene	15.49	C ₁₅ H ₂₄	1.02
borneol	9.95	C ₁₀ H ₁₈ O	0.35	aromadendrene	15.62	C ₁₅ H ₂₄	0.84
terpinine-4-ol	10.19	C ₁₀ H ₁₈ O	6.29	D-cadinene	16.66	C ₁₅ H ₂₄	0.29
α -thujenal	10.30	C ₁₀ H ₁₄ O	0.69	palustrol	17.50	C ₁₅ H ₂₆ O	0.46
α -terpineol	10.44	C ₁₀ H ₁₈ O	0.25	humulene epoxide II	18.19	C ₁₅ H ₂₄ O	0.31
(1R)-(-)-myrtenal	10.55	C ₁₀ H ₁₄ O	0.88	cyperenone	20.58	C ₁₅ H ₂₂ O	1.54
citronellol	11.10	C ₁₀ H ₂₀ O	0.30				
p-cumenol	11.17	C ₉ H ₁₂ O	0.23				

¹⁾ t: 保留时间 Retention time; MF: 分子式 Molecular formula; RC: 相对含量 Relative content.

表2 杜香叶挥发油对8种致病细菌和1种致病真菌的最小抑菌浓度(MIC)

Table 2 Minimum inhibitory concentrations (MIC) of the leaf volatile oil of *Rhododendron tomentosum* Harmaja against eight pathogenic bacteria and one pathogenic fungus

细菌(真菌) Bacterium (fungus)	MIC/($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	细菌(真菌) Bacterium (fungus)	MIC/($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)
肺炎链球菌 <i>Streptococcus pneumoniae</i>	>8	沙门氏杆菌 <i>Salmonella enterica</i>	8
表皮葡萄球菌 <i>Staphylococcus epidermidis</i>	8	绿脓杆菌 <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	2	肺炎克雷伯菌 <i>Klebsiella Pneumoniae</i>	>8
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	4	白色念珠菌 <i>Candida albicans</i>	2
鲍曼不动杆菌 <i>Acinetobacter baumannii</i>	8		

表3 杜香叶挥发油对4种植物病原菌的抑制效果

Table 3 Inhibitory effects of the leaf volatile oil of *Rhododendron tomentosum* Harmaja against four plant pathogens

植物病原菌 Plant pathogen	毒力回归方程 ¹⁾ Toxicity regression equation ¹⁾	相关系数 Correlation coefficient	半数效应浓度/($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) Median effective concentration	95%置信区 95% confidence interval
小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	$y = 4.654 - 6 + 1.374 - 8x$	0.988 7	1.78	1.26-2.52
水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	$y = 6.335 - 7 + 1.843 - 8x$	0.970 8	0.19	0.16-0.23
油菜菌核病菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	$y = 1.018 - 5 + 1.631 - 3x$	0.990 4	0.28	0.25-0.30
黄瓜灰霉病菌 <i>Botrytis cinerea</i>	$y = 5.518 - 6 + 1.193 - 2x$	0.955 8	0.37	0.29-0.46

¹⁾ y: 抑菌率 Bacteriostasis rate; x: 挥发油质量浓度的对数值 Logarithmic value of mass concentration of volatile oil.

绿脓杆菌的 MIC 值均为 $8 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,说明杜香叶挥发油对这 4 种菌也具有抑制作用。杜香叶挥发油对白色念珠菌也有较好的抑制作用, MIC 值为 $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。在最小抑菌浓度范围内, 8 种供试细菌和白色念珠菌的菌圈直径随着杜香叶挥发油质量浓度的增加而减小。

杜香叶挥发油抑制 4 种植物病原菌的回归方程分别为 $y = 4.654 6 + 1.374 8x$ 、 $y = 6.335 7 + 1.843 8x$ 、 $y = 1.018 5 + 1.631 3x$ 和 $y = 5.518 6 + 1.193 2x$, 相关系数分别为 0.988 7、0.970 8、0.990 4 和 0.955 8。从半数效应浓度 (EC_{50}) 看, 对水稻纹枯病菌的 EC_{50} 值最低 ($0.19 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), 对小麦赤霉病菌的 EC_{50} 值最高 ($1.78 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), 对油菜菌核病菌和黄瓜灰霉病菌的 EC_{50} 值分别为 0.28 和 $0.37 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。统计分析结果表明: 这 4 种植物病原菌的菌落直径均显著小于空白对照和阴性对照, 说明杜香叶挥发油对 4 种植物病原菌具有显著抑制作用。此外, 4 种植物病原菌菌落直径均随着杜香叶挥发油质量浓度的增加而减小。

3 讨论和结论

天然植物中含有的醇类、萜类、精油等物质会影响细胞的稳定性, 引起细胞膜的渗透性、通透性发生改变, 进而导致微生物死亡^{[3]7,61}。胡林峰等^[9]采用离体与活体相结合的方法证明枯茗醛对多种病原菌具有一定的抑制效果; 姜玮^{[3]61}发现 4-松油醇会导致细菌细胞膜蛋白结构发生改变, 使细菌通透性发生变化; 张潇等^[10]的研究结果显示: α -蒎烯是抑制真菌红色毛癣菌 (*Trichophyton rubrum*) 的主要活性成分, 能够通过降低麦角甾醇合成路径相关基因 *ERG3* 表达, 引起红色毛癣菌细胞膜破坏, 从而发挥抑菌作用。本研究从杜香叶挥发油中鉴定的主要成分也有枯茗醛、4-萜烯醇 (又称 4-松油醇) 和 α -蒎烯, 这可能是杜香叶挥发油发挥抑菌作用的主要化学成分, 其他化学成分可能对挥发油的整体生物活性也有贡献, 但具体作用机制还有待进一步研究。此外, 本研究通过水蒸气蒸馏法获得的主要化学成分与已有文献^{[1]25}中的主要化学成分组成存在较大差异, 这可能是由于植物生长条件、采集时间或地理位置的差异导致^[11]。

抑菌实验结果表明: 不同质量浓度杜香叶挥发油对 8 种供试细菌均有不同程度的抑制作用, 其中, 对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌的抑制效果存在一定差异, 这可能与革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌细胞壁结构存在差异有关^[12]。白色念珠菌对不同质量浓度杜香叶挥发油也较为敏感, 最小抑菌浓

度为 $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 推测杜香叶挥发油可在由该菌引起的假丝菌酵母病感染中提供新的方案。此外, 杜香叶挥发油对供试的 4 种植物病原菌均有显著的抑制作用, 其中对水稻纹枯病菌的抑制作用最强, 半数效应浓度仅为 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 杜香叶挥发油有望应用于植物病害防治。本实验仅对杜香叶挥发油的抑菌活性进行了初步研究, 由于其化学成分的复杂性, 有关挥发油的活性机制、组分间互作以及其他生物活性还有待进一步研究。

综上所述, 杜香叶挥发油具有广谱抗菌作用, 枯茗醛、4-萜烯醇和 α -蒎烯可能是宽叶杜香叶挥发油发挥抑菌活性的主要成分。

参考文献:

- [1] 张敏. 杜香化学成分及抗炎镇痛作用研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [2] 何晓燕, 魏志娇, 梁立文. 长白山区野生宽叶杜香镇咳祛痰作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 527-528.
- [3] 姜玮. 长白山杜香挥发油抑菌活性成分提取及抑菌机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [4] 李奕凝. 自发热气液微萃取技术的建立及其在植物成分分析中的应用[D]. 延边: 延边大学, 2022: 51-54.
- [5] ROCHA L G, ALMEIDA J R G S, MACÊDO R O, et al. A review of natural products with antileishmanial activity[J]. Phytomedicine, 2005, 12: 514-535.
- [6] 海雪雪, 李洪明, 陈宏阳, 等. 大籽蒿果实挥发油的化学成分分析[J]. 林业科技通讯, 2022(10): 83-85.
- [7] 杨鹏飞, 卢慧, 王新峰, 等. 龙脑樟挥发油化学成分、抗烟草花叶病毒及抑菌活性研究[J]. 化学试剂, 2021, 43(8): 1090-1094.
- [8] 郭向阳. 香樟花挥发性成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(6): 69-71.
- [9] 胡林峰, 陈从珍, 易晓华, 等. 孜然种子提取物枯茗醛和枯茗酸抑菌作用研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2349-2354.
- [10] 张潇, 李丹丹, 田红利, 等. 侧柏叶抗红色毛癣菌主要活性成分 α -蒎烯以 *ERG-3* 为靶点发挥抗真菌作用[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54(4): 1690-1702.
- [11] BUTKIENĖ R, ŠAKOČIŪTĖ V, LATVĖNAITĖ D, et al. Composition of young and aged shoot essential oils of the wild *Ledum palustre* L.[J]. Chemija, 2008, 19(2): 19-24.
- [12] 段江莲, 刁文睿, 李为琴, 等. 高粱籽粒乙醇提取物的体外抗氧化及抑菌活性[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(11): 13-17.

(责任编辑: 郭严冬)