

罗文莎叶挥发油的化学成分及抑菌与酶抑制作用

Chemical composition, bacteriostasis and enzyme inhibition of
Cinnamomum camphora ct. cineole volatile oil

李佳楠 陈小华 郝 毫 刘 祥 张小莺 陈 琛

LI Jia-nan CHEN Xiao-hua HAO Hao LIU Xiang ZHANG Xiao-ying CHEN Chen

(1. 陕西理工大学中德天然产物研究所, 陕西 汉中 723000;

2. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000)

(1. Chinese-German Joint Institute for Natural Product Research, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 2. College of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

摘要:利用气相色谱—质谱(GC-MS)联用仪测定罗文莎叶挥发油的化学组成;采用纸片扩散法和微量肉汤稀释法进行体外抑菌试验,并测定罗文莎叶挥发油对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶活性的抑制效果。结果表明,罗文莎叶挥发油中共检出 17 种化学成分,占挥发油总量的 98.5%,主要组分为桉叶油醇(30.89%)、樟脑(21.67%)、香树烯(12.38%)、对伞花烃(10.14%)、 β -蒎烯(6.01%),挥发油对 18 种供试菌株的最小抑菌浓度为 1.25~40.00 mg/mL。当质量浓度为 100 mg/mL 时,对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率分别为 84.50%, 93.67%,半数抑制浓度分别为 37.20, 6.81 mg/mL。罗文莎叶挥发油的主要化学成分为萜类、醇类及芳香烃等,对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌和真菌均具有显著抑制效果,对胰脂肪酶活性抑制作用稍差,对 α -葡萄糖苷酶抑制活性较强。

关键词:罗文莎叶;挥发油;GC-MS;抑菌活性;脂肪酶; α -葡萄糖苷酶

Abstract: Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to determine the chemical composition of Ravansaravolatile oil. The *in vitro* bacteriostasis experiment was carried out by the paper diffusion method and the microdilution broth method. And its inhibitory effect on pancreatic lipase and α -glucosidase activity was determined. The results characterized 17 chemical components, accounting for 98.5% of the total volatile oils. The main

components were 1,8-cineole (30.89%), camphor (21.67%), (-)-allo-aromadendrene (12.38%), p-cymene (10.14%), β -pinene (6.01%). The minimum inhibitory concentration range of volatile oils for 18 tested bacteria was 1.25~40.00 mg/mL. At the concentration of 100 mg/mL, the inhibition rates of pancreatic lipase and α -glucosidase activity were 84.50% and 93.67%, respectively and the half-inhibitory concentration (IC_{50}) was 37.20 mg/mL and 6.81 mg/mL. Experiments showed that the main chemical components of Ravansaravolatile oil were terpenes, alcohols, aromatic hydrocarbons, etc., which had a significant inhibitory effect on Gram-positive bacteria, Gram-negative bacteria and fungi, and had a slightly poorer inhibitory effect on pancreatic lipase activity, but a strong inhibitory activity on α -glucosidase.

Keywords: Ravansaravolatile; volatile oil; GC-MS; antibacterial activity; lipase; α -glucosidase

桉油醇樟(*Cinnamomum camphora* ct. cineole)为樟科樟属植物,原产于中国,大量产于马达加斯加。樟属植物挥发油可从叶、皮、果实中获取,具有抗菌、抗炎和抗氧化作用^[1-3],可应用于香料香精、食品保鲜和医药卫生等领域。目前,对樟属植物挥发油化学成分和活性的分析研究主要集中于芳樟醇为主要成分的芳樟型和樟脑为主要成分的脑樟型方面,而有关 1,8-桉叶油素为主要成分的油樟型的研究较少,主要集中在化学成分、抗氧化、抑菌、抗炎镇痛和抗癌等活性方面,而酶抑制作用尚未见报道。

罗文莎叶挥发油是由桉油醇樟叶片经水蒸气蒸馏而得,被认为是樟属植物中最安全的精油品种,具有良好的抗菌、抗病毒和刺激免疫系统的作用^[4],适用于感冒、类感冒病毒感染症,对病毒性肝炎和病毒性肠炎也有一定

基金项目:国家高端外国专家项目(编号:GDT20186100426);陕西省重点研发项目(编号:2020NY-139);陕西省创新能力支撑计划项目(编号:2019XY-04)

作者简介:李佳楠,女,陕西理工大学在读硕士研究生。

通信作者:陈琛(1978—),男,陕西理工大学教授,硕士。

E-mail: cchen2008@yahoo.com

收稿日期:2020-06-17

的治疗效果^[5],也可用于改善呼吸道感染,如鼻窦炎和鼻喉黏膜炎及其并发症^[6-7],还具有良好的祛痰效果。目前,罗文莎叶挥发油因其抗菌功效常被用作熏香来改善呼吸道不适,但有关罗文莎叶挥发油成分分析和生物活性的研究尚未见报道。

试验拟采用气相色谱—质谱(GC-MS)联用法测定罗文莎叶挥发油的化学组成,通过纸片扩散法和微量肉汤稀释法测定其抗菌活性,并测定其对胰脂肪酶 α -葡萄糖苷酶两种酶的抑制活性,旨在为罗文莎叶挥发油的开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗文莎叶挥发油:产自云南昆明,广州乐颜生物科技有限公司;

菌株(见表1):大连理工大学生命科学院于海宁副教授提供;

α -葡萄糖苷酶:酶活 ≥ 100 U/mg,上海鼓臣生物技术有限公司;

奥利司他(纯度 $>98\%$)、阿卡波糖(纯度 $>97\%$):大连美伦生物技术有限公司;

表1 菌株列表
Table 1 List of strains

编号	类别	菌株	学名
1	G ⁺ 菌	金黄色葡萄球菌 ATCC27853	<i>Staphylococcus aureus</i>
2	G ⁺ 菌	金黄色葡萄球菌 ATCC25923	<i>Staphylococcus aureus</i>
3	G ⁺ 菌	表皮葡萄球菌	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
4	G ⁺ 菌	粪肠球菌	<i>Enterococcus faecalis</i>
5	G ⁺ 菌	屎肠球菌	<i>Enterococcus faecium</i>
6	G ⁻ 菌	痢疾杆菌	<i>Shigellacastellani</i>
7	G ⁻ 菌	铜绿假单胞菌 ATCC27853	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
8	G ⁻ 菌	嗜麦芽假单胞菌	<i>Pseudomonas maltophilia</i>
9	G ⁻ 菌	大肠杆菌 ATCC25922	<i>Escherichia coli</i>
10	G ⁻ 菌	肺炎克雷伯菌 08031012	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
11	G ⁻ 菌	变形杆菌	<i>Proteus</i>
12	真菌	光滑念珠菌 08A802	<i>Candida parapsilokis</i>
13	真菌	白色念珠菌 08022710	<i>Candida albicans</i>
14	真菌	白色念珠菌 ATCC10231	<i>Candida albicans</i>
15	真菌	白色念珠菌临床分离株	<i>Candida albicans</i>
16	真菌	白色念珠菌 08030401	<i>Candida albicans</i>
17	真菌	光滑念珠菌	<i>Candida parapsilokis</i>
18	真菌	灰团网黏菌	<i>Arcyriacinerea</i>

4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(pNPG,纯度 $\geq 99\%$)、4-甲基伞形酮油酸酯(纯度 $\geq 95\%$):美国 Sigma 公司;
酵母浸粉、蛋白胨:英国 OXOID 公司;
琼脂、胰脂肪酶:北京索来宝科技有限公司;
其他化学试剂均为国产分析级。

1.2 仪器与设备

气相色谱—质谱联用仪:7890B-7000D 型,安捷伦科技有限公司;

全波长酶标仪:Epoch2 型,美国伯腾仪器有限公司;
多功能酶标仪:M200 型,瑞士帝肯公司;

可见分光光度计:722G 型,上海仪电分析仪器有限公司;

恒温培养箱:LXDL 18-20 型,上海实验仪器厂有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-50FBS 型,上海申安医疗器械厂。

1.3 试验方法

1.3.1 罗文莎叶挥发油的提取 采用水蒸气蒸馏法,其提取率为 0.61 mL/100 g。

1.3.2 GC-MS 分析

(1) 色谱条件:根据文献[8]进行修改。色谱柱为 Agilent DB-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m);升温程序为起始温度 60 $^{\circ}$ C,以 4 $^{\circ}$ C/min 升温至 140 $^{\circ}$ C,再以 1 $^{\circ}$ C/min 升温至 160 $^{\circ}$ C,再以 5 $^{\circ}$ C/min 升温至 210 $^{\circ}$ C,保持 30 min。载气(高纯氮)流速 1.2 mL/min,压力 93.1 kPa,进样量 2 μ L 无水乙醇溶液 1 μ L。

(2) 质谱条件:电子轰击(EI)离子源;离子源温度 230 $^{\circ}$ C;电子能量 70 eV;传输线温度 250 $^{\circ}$ C;电子倍增电压 EMV 1 739.4 V;质量扫描范围 m/z 45~500。

(3) 定性及定量分析:挥发性成分定性分析采用 NIST 17 质谱库匹配分析鉴定,定量分析采用面积归一化法计算相对百分含量。

1.3.3 抑菌活性测定

(1) 抑菌活性:采用纸片扩散法。直径 6 mm 的滤纸片灭菌后备用;将 100 μ L 10⁶ CFU/mL 待测菌悬液均匀涂布于固体培养基;将滤纸片浸于挥发油后贴于含菌平板表面,用无菌水浸泡的滤纸片作空白对照,37 $^{\circ}$ C 培养 12 h,测量抑菌圈直径,进行 3 个平行试验,取均值。

(2) 最小抑菌浓度:采用微量肉汤稀释法。取罗文莎叶挥发油 1 mL 精密称量后得其密度为 0.814 2 g/mL。在无菌 96 孔板的第 1 孔中加入 118 μ L 罗文莎叶挥发油与 182 μ L 10⁶ CFU/mL 菌液,使第 1 孔中的挥发油浓度为 320 mg/mL,向第 2~12 孔中分别加入 150 μ L 菌液,将第 1 孔充分混匀后吸取 150 μ L 加入第 2 孔,依次倍比稀释至第 11 孔,第 12 孔作为空白对照。将 96 孔板于 37 $^{\circ}$ C 培养 8~10 h,观察孔内细菌生长情况,没有细菌生

长(孔内液体呈清亮状态)的孔的最小浓度即为最小抑菌浓度,每组试验重复 3 次。

1.3.4 酶抑制活性测定

(1) 胰脂肪酶抑制活性:根据文献[9]进行修改。用无水乙醇配制浓度为 100,120,140,160,180 mg/mL 的挥发油溶液;奥利司他用二甲亚砜(DMSO)溶解,用 Tris-HCl 缓冲液稀释至相同浓度梯度作为阳性对照;用 Tris-HCl 缓冲液配制 0.5 mg/mL 胰脂肪酶溶液。吸取 25 μ L 挥发油溶液与 25 μ L 胰脂肪酶溶液于 96 孔板中混匀,37 $^{\circ}$ C 孵育 10 min,加入 50 μ L 0.5 mg/mL 4-甲基伞形酮油酸酯底物,37 $^{\circ}$ C 反应 30 min,采用多功能酶标仪($E_m/E_x=465/360$)37 $^{\circ}$ C 下测定产物 4-甲基伞形酮的荧光。按式(1)计算胰脂肪酶活性抑制率。

$$I = \left(1 - \frac{A_x - A_{x0}}{A_{100} - A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

I ——酶活抑制率,%;

A_{100} ——空白对照的值;

A_x ——加入抑制剂的值;

A_0 ——酶溶液的背景值;

A_{x0} ——样品的背景值。

(2) α -葡萄糖苷酶抑制活性:根据文献[10]进行修改。用无水乙醇配制浓度为 10,20,30,40,50 mg/mL 的挥发油溶液;阿卡波糖用去离子水配制为相同浓度梯度作为阳性对照。所有试剂于 37 $^{\circ}$ C 预热 15 min,取 50 μ L 挥发油溶液于 96 孔板中,再加入 50 μ L 1 U/mL α -葡萄糖苷酶溶液(溶解于 PBS),混匀,37 $^{\circ}$ C 孵育 15 min,加入 50 μ L 5 mmol/L α -pNPG 溶液,37 $^{\circ}$ C 反应 30 min,测定 405 nm 处各孔的吸光度值。用 PBS 替代样品为空白对照,用阿卡波糖作阳性对照。按式(1)计算 α -葡萄糖苷酶活性抑制率。

1.4 数据处理

各组成成分在 NIST 17 质谱库中匹配与分析,确定化合物种类,采用峰面积归一法计算各组分相对含量。使用 OriginPro 8.5、GraphPad Prism 8.0 和 Excel 2016 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 GC-MS 分析挥发油成分

由图 1、表 2 可知,罗文莎叶挥发油中共检出 17 种成分,主要由醇类和萜烯类化合物组成,分别占挥发油总量的 31.49%,31.35%。其次为含氧萜类和芳香烃类化合物,分别占挥发油总量的 21.67%,10.14%。烯烃类和醚类化合物较少,分别占挥发油总量的 2.41%,0.43%。其中,相对含量>10%的成分为桉叶油醇、樟脑、香树烯和对伞花烃,其相对百分含量分别为 30.89%,21.67%,12.38%,10.14%。相对含量>5%的成分为 β -蒎烯和双

戊烯,分别为 6.01%,5.15%。其余化合物含量相对较低,约为 0.31%~2.65%。王进等^[11]研究发现,樟树叶挥发油中含量较高的为芳樟醇(32.40%)、对伞花烃(24.41%)、樟脑(19.60%)和桉叶油醇(18.75%),与试验结果相比,罗文莎叶挥发油中无芳樟醇、桉叶油醇含量较高,樟脑含量相当,对伞花烃含量较低,安全性较高。

2.2 抑菌作用

2.2.1 挥发油的抑菌活性 由表 3 可知,罗文莎叶挥发油对 6 种供试菌均有抑制作用,对 G^+ 菌(金黄色葡萄球菌 ATCC25923、粪肠球菌)的抑菌圈大小分别为 11.8,

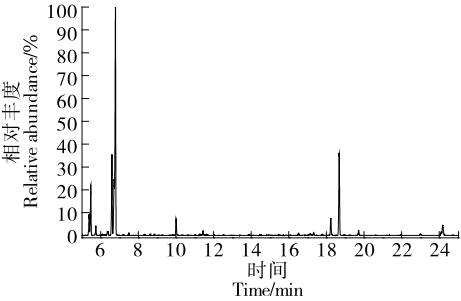


图 1 罗文莎叶挥发油成分总离子流图

Figure 1 GC-MS total ion current chromatogram of Ravansaravolatile oil

表 2 罗文莎叶挥发油的化学成分和相对含量

Table 2 Composition and relative content of Ravansaravolatile oil

类别	保留时间/min	化学成分	分子式	相对分子质量	相对含量/%
萜烯类	5.38	桉烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	2.41
	5.47	β -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	6.01
	5.74	月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	1.04
	6.39	松油烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	0.40
	6.70	双戊烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	5.15
	7.49	γ -松油烯	C ₁₀ H ₁₆	136.23	0.32
	17.32	(-)- α -蒎烯	C ₁₅ H ₂₄	204.34	0.31
	18.23	长叶烯	C ₁₅ H ₂₄	204.34	2.65
	18.67	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	204.34	12.38
	19.70	反- α -红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	204.34	0.68
醇类	6.77	桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154.24	30.89
	11.43	α -松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154.24	0.60
含氧萜类	10.00	樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	152.23	21.67
芳香烃类	6.59	对伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	134.21	10.14
烯烃类	6.71	2-甲基-2-降冰片烯	C ₈ H ₁₂	108.18	2.41
醚类	6.34	1,4-桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	154.25	0.43
其他	24.18	石竹素	C ₁₅ H ₂₄ O	220.34	1.02
合计					98.50

表 3 罗文莎叶挥发油对各种菌株的抑菌圈直径

Table 3 The diameter of the zone of inhibition of Ravansaravolatile oil on various strains mm

类别	菌株	挥发油	空白对照
G ⁺ 菌	金黄色葡萄球菌 ATCC25923	11.8±1.0	0
G ⁺ 菌	粪肠球菌	10.6±0.5	0
G ⁻ 菌	铜绿假单胞菌 ATCC27853	10.5±1.0	0
G ⁻ 菌	大肠杆菌 ATCC25922	10.5±1.0	0
真菌	白色念珠菌 ATCC10231	9.8±0.5	0
真菌	白色念珠菌临床分离株	11.7±1.0	0

10.6 mm;对 G⁻ 菌(大肠杆菌 ATCC25922、铜绿假单胞菌 ATCC27853)的抑菌圈大小分别为 10.5,10.5 mm;对真菌(白色念珠菌 ATCC10231、白色念珠菌临床分离株)的抑菌圈大小分别为 9.8,11.7 mm;说明罗文莎叶挥发油对 G⁺ 菌、G⁻ 菌及真菌表现出良好的抑制效果,且对 G⁺ 菌的抑制效果稍强于 G⁻ 菌。

2.2.2 最小抑菌浓度 由表 4 可知,罗文莎叶挥发油对 G⁻ 菌的 MIC 范围为 10~40 mg/mL,对痢疾杆菌的抑制效果最差,为 40 mg/mL,对大肠杆菌 ATCC25922、肺炎克雷伯菌 08031012、变形杆菌抑制效果较好,为 10 mg/mL。罗文莎叶挥发油对 G⁺ 菌的抑菌效果较 G⁻ 菌稍强,MIC 范围为 10~20 mg/mL,除对金黄色葡萄球菌 ATCC27853抑制效果稍差(20 mg/mL)外,其余均为

表 4 罗文莎叶挥发油对各菌株的最小抑菌浓度

Table 4 The MIC of Ravansaravolatile oil on various strains

类别	菌株	MIC/(mg · mL ⁻¹)
G ⁺ 菌	金黄色葡萄球菌 ATCC27853	20.00
G ⁺ 菌	金黄色葡萄球菌 ATCC25923	10.00
G ⁺ 菌	表皮葡萄球菌	10.00
G ⁺ 菌	粪肠球菌	10.00
G ⁺ 菌	尿肠球菌	10.00
G ⁻ 菌	痢疾杆菌	40.00
G ⁻ 菌	铜绿假单胞菌 ATCC27853	20.00
G ⁻ 菌	嗜麦芽假单胞菌	20.00
G ⁻ 菌	大肠杆菌 ATCC25922	10.00
G ⁻ 菌	肺炎克雷伯菌 08031012	10.00
G ⁻ 菌	变形杆菌	10.00
真菌	光滑念珠菌 08A802	20.00
真菌	白色念珠菌 08022710	20.00
真菌	白色念珠菌 ATCC10231	10.00
真菌	白色念珠菌临床分离株	10.00
真菌	白色念珠菌 08030401	10.00
真菌	光滑念珠菌	5.00
真菌	灰团网黏菌	1.25

10 mg/mL。罗文莎叶挥发油对真菌的抑制效果最好,MIC 范围为 1.25~20.00 mg/mL,抑菌效果最好的为灰团网黏菌,MIC 为 1.25 mg/mL,对光滑念珠菌 08A802、白色念珠菌 08022710 抑制效果稍差,为 20 mg/mL。

Bautista-Silva 等^[12]研究发现,姚金娘科白千层挥发油对 11 种细菌的 MIC 值范围为 7.8~62.5 mg/mL,因此罗文莎叶挥发油显示出较强的抑菌效果。研究^[13-14]表明,植物挥发油对 G⁺ 菌的抑制效果强于 G⁻ 菌,与试验结果一致,可能是 G⁺ 菌细胞壁所含大量的肽聚糖被活性成分破坏导致的。此外,抑菌结果显示罗文莎叶挥发油对真菌的抑制效果表现良好。罗文莎叶挥发油具有显著的抑菌效果,可能是因为其中含有的萜类、醇类等化合物(如樟脑、蒎烯、桉叶油醇等)的分子结构特征与生物膜分子结构特征相似,容易通过细胞膜进入菌体而发挥抑菌作用^[15-18]。抑菌活性测定结果显示罗文莎叶挥发油具有重要的药学研究价值和作为天然食品抗菌剂和防腐剂的潜能^[19]。

2.3 酶抑制活性

2.3.1 胰脂肪酶 目前被用作抗肥胖的药物主要有奥利司他、氯卡色林、芬特明—托吡酯、纳曲酮—安非他酮和利拉鲁肽^[20],这些药物可通过抑制胰脂肪酶活性、抑制食欲和促进脂质代谢发挥作用^[21],但会造成胃肠疾病、肝损伤、失眠心悸、口干、头痛和高血压等副作用^[22]。由图 2 可知,当浓度为 100 mg/mL 时,罗文莎叶挥发油对胰脂肪酶的抑制率为 84.50%,其抑制胰脂肪酶活性的 IC₅₀ 值为 37.2 mg/mL。这种抑制作用可能是挥发油中含有大量的萜烯类成分尤其是单萜和倍半萜^[23-25]。

2.3.2 α-葡萄糖苷酶 α-葡萄糖苷酶是糖类水解过程中重要的酶,阿卡波糖、伏格列波糖等 α-葡萄糖苷酶抑制剂类降糖药可通过抑制其活性降低餐后血糖,使胰岛素敏感性提高^[26],达到一定的治疗效果,但具有较严重的副作用^[27]。研究^[28-30]表明,许多植物中的化学成分可以治疗 II 型糖尿病。由图 3 可知,当浓度为 100 mg/mL 时,罗文莎叶挥发油对 α-葡萄糖苷酶的抑制率为 93.67%,IC₅₀

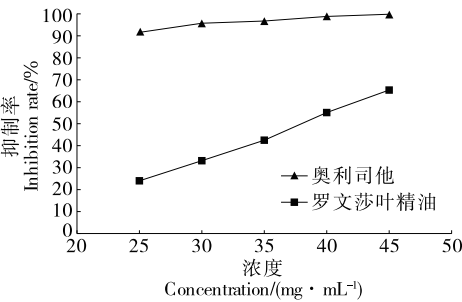


图 2 罗文莎叶挥发油对胰脂肪酶活性抑制作用

Figure 2 Inhibitory effect of Ravansaravolatile oil on pancreatic lipase activity

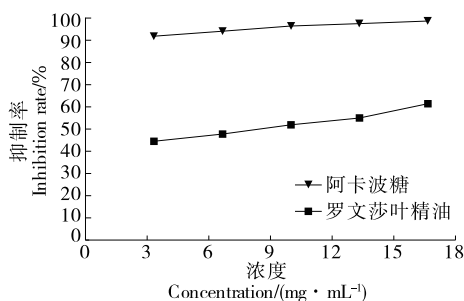


图 3 罗文莎叶挥发油对 α -葡萄糖苷酶活性抑制作用

Figure 3 Inhibitory effect of Ravansaravolatile oil on α -glucosidase activity

为 6.81 mg/mL。这种抑制作用可能是由于罗文莎叶挥发油中存在大量倍半萜类^[31]。Sriramavaratharajan 等^[32]研究发现,樟属植物肉桂叶挥发油的脂肪酶抑制活性的 IC_{50} 值为 838.46~923.17 μ g/mL, α -葡萄糖苷酶抑制活性的 IC_{50} 值为 56.65~536.70 μ g/mL,较罗文莎叶挥发油的 37.20,6.81 mg/mL 高 39,11 倍以上,罗文莎叶挥发油对脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶有一定的抑制活性但较弱,可能是因为樟属植物成分及测定方法的差异性。

3 结论

通过气相色谱—质谱法确定了罗文莎叶挥发油的 17 种化学成分,其主要成分为萜类、醇类、烷烃类等物质。罗文莎叶挥发油对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌及真菌的抑制效果良好,对革兰氏阳性菌的抑制效果稍强于革兰氏阴性菌;对真菌的抑制作用较好,但作用机理有待进一步研究;该挥发油具有良好的抑菌防腐作用,在天然防腐剂领域有一定的应用价值。该挥发油对脂肪酶、 α -葡萄糖苷酶活性有一定的抑制效果,具备作为天然来源减肥药和降糖药的潜在价值,但效果不如常用药物奥利司他和阿卡波糖。后续可进一步筛选活性相关物质,考虑其结构修饰增强活性,并对作用机理进行研究。

参考文献

- [1] 张宗燧,张萍,许又凯. 西双版纳 12 种食用香料植物精油抑制炎症因子 NO 活性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 43-50.
- [2] HUANG Bo, YUAN Hai-dan, KIM D Y, et al. Cinnamaldehyde prevents adipocyte differentiation and adipogenesis via regulation of peroxisome proliferator-activated receptor- γ (PPAR γ) and AMP-activated protein kinase (AMPK) pathway[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(8): 3 666-3 673.
- [3] 张峰,毕良武,赵振东. 樟树植物资源分布及化学成分研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(3): 517-531.
- [4] ASHOK K D, VIJAY V P, SOBIA B, et al. Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: A review[J]. Journal of the Science of Food and

Agriculture, 2018, 98(3): 833-848.

- [5] HUDSON J B, LEE M K, RASOANAIVO P. Antiviral activities in plants endemic to Madagascar[J]. Pharmaceutical Biology, 2000, 38(1): 36-39.
- [6] CHOI S Y, PARK K. Effect of inhalation of aromatherapy oil on patients with perennial allergic rhinitis: A randomized controlled trial[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2016, 2 016: 7896081.
- [7] FERRARA L, NAVIGLIO D, ARMONE C A. Cytological aspects on the effects of a nasal spray consisting of standardized extract of citrus lemon and essential oils in allergic rhinopathy[J]. ISRN Pharmaceutics, 2012, 2 012: 404606.
- [8] CHEN Xiao-hua, CHEN De-jing, JIANG Hai, et al. Aroma characterization of Hanzhong black tea (*Camellia sinensis*) using solid phase extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry and olfactometry and sensory analysis[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 130-136.
- [9] 李鑫鑫,王一棠,陈琛,等. 12 种植物粗多糖的体外抗肥胖及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 222-227.
- [10] SAHIN B S, CANDAN F. Chemical composition and *in vitro* antioxidant and antidiabetic activities of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. essential oil [J]. Journal of the Iranian Chemical Society, 2010, 7(1): 216-223.
- [11] 王进,曹先爽,宋丽,等. 吹扫捕集—热脱附—气相色谱—质谱联用法分析不同产地香樟叶精油成分及抑菌活性比较[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 131-136.
- [12] BAUTISTA-SILVA J P, SEIBERT J B, AMPARO T R, et al. *Melaleuca leucadendron* essential oil promotes loss of cell membrane and wall integrity and inhibits bacterial growth: An *in silico* and *in vitro* approach[J]. Current Microbiology, 2020, 77(9): 2 181-2 191.
- [13] BOUYAHYA A, ZENGING G, BELMEHDI O, et al. *Origanum compactum* Benth., from traditional use to biotechnological applications [J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, DOI: 10.1111/jfbc.13251.
- [14] REBÍCKOVÁ K, BAJER T, ŠILHA D, et al. Chemical composition and determination of the antibacterial activity of essential oils in liquid and vapor phases extracted from two different southeast Asian herbs-*Houttuynia cordata* (Saururaceae) and *Persicaria odorata* (Polygonaceae)[J]. Molecules, 2020, 25(10): E2432.
- [15] 赵秀红,曾洁,高海燕,等. 玉竹挥发油超临界 CO₂ 萃取条件及抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 155-158.
- [16] PRAGADHEESH V S, SAROJ A, YADAV A, et al. Chemical characterization and antifungal activity of *Cinnamomum camphora* essential oil[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 49(4): 628-633.
- [17] CHANG Hui-ting, CHENG Ying-huang, WU Chi-lin, et al. Antifungal activity of essential oil and its constituents from *Calocedrus macrolepis* var. *formosana* Florin leaf against plant pathogenic fungi[J]. Bioresource Technology,

- 2008, 99(14): 6 266-6 270.
- [18] HERMAN A, TAMBOR K, HERMAN A. Linalool affects the antimicrobial efficacy of essential oils[J]. *Current Microbiology*, 2016, 72(2): 165-172.
- [19] ANGIONI A, BARRA A, CERETI E, et al. Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(11): 3 530-3 535.
- [20] YANOVSKI S Z, YANOVSKI J A. Long-term drug treatment for obesity: A systematic and clinical review[J]. *JAMA*, 2014, 311(1): 74-86.
- [21] YANG Chuang-s, ZHANG Jin-song, ZHANG Le, et al. Mechanisms of body weight reduction and metabolic syndrome alleviation by tea[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2016, 60(1): 160-174.
- [22] VINER R M, HSIA Y, TOMSIC T, et al. Efficacy and safety of anti-obesity drugs in children and adolescents: Systematic review and meta-analysis[J]. *Obesity Reviews*, 2010, 11(8): 593-602.
- [23] SARKAR S J, DIOUNDI D, GUPTA M. Endophytic pestalotiopsis species from Andaman Islands: A potential pancreatic lipase inhibitor[J]. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2017, 10(10): 82-83.
- [24] SINGH G, SURESH S, KRISHNA B V, et al. Lipase inhibitors from plants and their medical applications[J]. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2015, 7(1): 1-5.
- [25] WANG Miao, GU Dong-yu, LI Hao-quan, et al. Rapid prediction and identification of lipase inhibitors in volatile oil from *Pinus massoniana* L. needles [J]. *Phytochemistry*, 2017, 141: 114-120.
- [26] ROCHA S, SOUSA A, RIBEIRO D, et al. A study towards drug discovery for the management of type 2 diabetes mellitus through inhibition of the carbohydrate-hydrolyzing enzymes α -amylase and α -glucosidase by chalcone derivatives[J]. *Food & Function*, 2019, 10(9): 6 203.
- [27] ŞÖHRETOĞLU D, SARI S. Flavonoids as α -glucosidase inhibitors: Mechanistic approaches merged with enzyme kinetics and molecular modelling [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2019, DOI: 10.1007/s11101-019-09610-6.
- [28] LOIZZO M R, TUNDIS R, MENICHINI F, et al. Antirancidity effect of essential oils, application in the lipid stability of cooked turkey meat patties and potential implications for health[J]. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2015, 66(1): 50-57.
- [29] 茹月蓉, 杨金梅, 沈文杰, 等. 青冈栎果壳提取物体外抗氧化及 α -葡萄糖苷酶、乙酰胆碱酯酶抑制能力研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 157-161.
- [30] 李姣, 张晓峰, 王霄凯, 等. 高良姜醇提物的抗氧化、酶抑制活性及其与活性成分的相关性[J]. *食品与机械*, 2019, 35(2): 140-144, 184.
- [31] ADEFEGBA S A, OLASEHINDE T A, OBOH G. Essential oil composition, antioxidant, antidiabetic and antihypertensive properties of two *afromomum* species[J]. *Journal of Oleo Science*, 2017, 66(1): 51-63.
- [32] SRIRAMAVARATHARAJAN V, MURUGAN R. Cumin scented leaf essential oil of *Cinnamomum chemungianum*: Compositions and their in vitro antioxidant, α -amylase, α -glucosidase and lipase inhibitory activities [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(17): 2 081-2 084.
-
- (上接第 24 页)
- [20] CARLSTEDT J, WOJTASZ J, FYHR P, et al. Understanding starch gelatinization: The phase diagram approach[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 129: 62-69.
- [21] LUND D, LORENZ K J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1984, 20(4): 249-273.
- [22] GUO Peng, YU Jing-lin, COPELAND L, et al. Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82: 370-378.
- [23] WANG Shu-jun, ZHANG Xiu, WANG Shuo, et al. Changes of multi-scale structure during mimicked DSC heating reveal the nature of starch gelatinization [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 28271.
- [24] BILIADERIS C G. Chapter 8: Structural transitions and related physical properties of starch[M]// BEMILLER J, WHISTLER R. *Starch*. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2009: 293-372.
- [25] XIE Feng-wei, LIU Hong-shen, CHEN Pei, et al. Starch gelatinization under shearless and shear conditions[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2006, 2(5): 1-29.
- [26] PUKKAHUTA C, SUWANNAWAT B, SHOBSNGOB S, et al. Comparative study of pasting and thermal transition characteristics of osmotic pressure and heat-moisture treated corn starch[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 72(3): 527-536.
- [27] JENKINS P J, DONALD A M. Gelatinisation of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study[J]. *Carbohydrate Research*, 1998, 308: 133-147.
- [28] GRYSZKIN A, ZIEBA T, KAPELKO-ZEBERSKA M. Properties of corn starch subjected hydrothermal modification[J]. *International Agrophysics*, 2017, 31(1): 53-60.
- [29] TANANUWONG K, REID D. DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2004, 58(3): 345-358.