

郭江涛,张永萍,刘杰,等.大果木姜子不同部位挥发油成分及其抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2023,44(17):306-315. doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022110005

GUO Jiangtao, ZHANG Yongping, LIU Jie, et al. Comparison of Volatile Oil Composition and Antioxidant Activity in Different Parts of *Cinnamomum migao*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(17): 306-315. (in Chinese with English abstract). doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022110005

· 分析检测 ·

大果木姜子不同部位挥发油成分及其抗氧化活性分析

郭江涛¹,张永萍^{1,2,3},刘杰^{1,2,3,*},徐剑^{1,2,3,*},程纯^{1,2,3},刘耀^{1,2,3}

(1.贵州中医药大学药学院,贵州贵阳 550025;

2.国家苗药工程技术研究中心,贵州贵阳 550025;

3.贵州中药炮制与制剂工程技术研究中心,贵州贵阳 550025)

摘要:目的:比较大果木姜子熟果、青果、果柄、叶挥发油化学成分,同时进行抗氧化能力研究。方法:采用水蒸气蒸馏法分别提取大果木姜子熟果、青果、果柄、叶的挥发油,通过气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析其各自成分,分析结果与 Nist 17 和 Wiley 275 标准质谱图进行检索和匹配,并采用峰面积归一化法测定其相对含量,同时采用 DPPH·、ABTS⁺及总还原力抗氧化体系考察其抗氧化作用。结果:从大果木姜子熟果挥发油中共检测 66 种成分,相对含量为 89.365%,主要成分为正癸酸(28.563%)、1,8-桉叶素(13.461%)、月桂酸(13.279%)等;从大果木姜子青果挥发油中共检测 60 种成分,相对含量为 86.2%,主要成分为 1,8-桉叶素(11.845%)、 β -水芹烯(10.831%)和 α -水芹烯(9.178%)等;从果柄挥发油中共检测出 67 种成分,相对含量为 55.047%,主要成分为 β -桉叶醇(13.683%)、1-(1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcyclopentyl) ethanone(3.426%)、 δ -杜松萜烯(3.188%)等。从叶挥发油中共检测出 50 种成分,相对含量为 64.389%,主要成分为 1-(1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcyclopentyl) ethanone(11.259%)、石榴酚(8.473%)、3,5-二叔丁基水杨醛(7.79%)等。抗氧化结果表明熟果挥发油抗氧化作用最好,果柄挥发油抗氧化作用最差。相关性分析表明烃类及酸类成分与抗氧化能力呈正相关,聚类分析将青果和熟果分为一类,果柄和叶分为一类。结论:大果木姜子不同部位挥发油中各成分及含量差异较大,但都具有较好的抗氧化能力,可为后续研究奠定基础。

关键词:大果木姜子,挥发油,青果,熟果,果柄,叶

中图分类号:TS224

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)17-0306-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110005



本文网刊:

Comparison of Volatile Oil Composition and Antioxidant Activity in Different Parts of *Cinnamomum migao*

GUO Jiangtao¹, ZHANG Yongping^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2,3,*}, XU Jian^{1,2,3,*}, CHENG Chun^{1,2,3}, LIU Yao^{1,2,3}

(1.College of Pharmaceutical Sciences, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China;

2.National Engineering Technology Research Center for Miao Medicine, Guiyang 550025, China;

3.Guizhou Engineering Technology Research Center for Processing and Preparation of Traditional Chinese Medicine and Ethnic Medicine, Guiyang 550025, China)

Abstract: Objective: To compare the chemical composition of mature fruit, immature fruit, stalk and leaf of *Cinnamomum migao* (*C. migao*), and also to investigate the antioxidant capacity. Methods: The volatile oils of mature fruit, immature

收稿日期: 2022-11-02

基金项目: 黔科合基础-ZK[2022]一般 463;国家自然科学基金委员会-贵州省人民政府联合基金(U1812403-2);黔教合 YJSKYJJ [2021] 164;黔教技[2022]022 号;2022 年研究生教育改革发展与质量提升。

作者简介: 郭江涛(1987-),男,博士,副教授,研究方向:中药民族药药效物质基础及质量标准研究,E-mail:295614500@qq.com。

* 通信作者: 刘杰(1985-),女,博士,副教授,研究方向:中药民族药药效物质基础及新药研究,E-mail:271247239@qq.com。

徐剑(1977-),男,硕士,教授,研究方向:中药新剂型新制剂,E-mail:10423108@qq.com。

fruit, stalk and leaf of *C. migao* were extracted by hydrodistillation, and their respective components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), the analytical results were searched and matched with Nist 17 and Wiley 275 standard mass spectra, and their relative contents were determined by peak area normalization method, the DPPH· and ABTS⁺ and total reducing capacity antioxidant system was also used to investigate their antioxidant effects. Results: 66 components were detected from the mature fruit volatile oil of *C. migao*, with a relative content of 89.365%, and the main components were n-decanoic acid (28.563%), 1,8-cineole (13.461%) and dodecanoic acid (13.279%), etc. 60 components were detected from the immature fruit volatile oil of *C. migao*, with a relative content of 86.2%, and the main components were 1,8-cineole (11.845%), β -phellandrene (10.831%) and α -phellandrene (9.178%), etc. 67 components were detected from the stalk volatile oil with a relative content of 55.047%, the main components were β -eudesmol (13.683%), 1-((1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcyclopentyl)ethanone (3.426%) and δ -cadinene (3.188%), etc. 50 components were detected from the leaf volatile oil with a relative content of 64.389%, the main components were 1-((1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcyclopentyl)ethanone (11.259%), spathulenol (8.473%) and 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-2-hydroxy-benzaldehyde (7.79%), etc. The antioxidant results indicating that the mature fruit volatile oil had the best antioxidant effect and the stalk volatile oil had the worst antioxidant effect. Correlation analysis showed that hydrocarbon and acid components were positively correlated with antioxidant capacity. Cluster analysis classified the mature and immature fruit into one category, and the stalk and leaf into one category. Conclusion: The components and contents of the volatile oil from different parts of *C. migao* varied greatly, but all of them had good antioxidant ability, which could lay the foundation for the subsequent study.

Key words: *Cinnamomum migao*; volatile oil; immature fruit; mature fruit; stalk; leaf

大果木姜子 (*Cinnamomum migao* H.W.Li) 为贵州省十大苗药之一^[1], 为米槁的成熟果实, 民间直接将其腌制做泡菜食用, 也可与绿茶、罗汉果等共同制备成植物饮料, 还可作为腌制具有健脾消食功能盐皮蛋的调料, 并且大果木姜子油可以用于调味、去腥, 起到健脾开胃的作用, 可开发为具有健脾功效的功能性食品。目前大果木姜子的精油的研究多集中于 GC-MS 分析熟果中挥发油组成成分, 发现 1,8-桉叶素、 α -蒎烯、 β -蒎烯、蒎品油烯等^[2-4] 是其主要化学成分。现代药理研究表明, 大果木姜子精油具有保护心肌缺血^[5]、治疗冠心病^[6]、房颤^[7] 等作用, 笔者前期研究发现大果木姜子挥发油类成分具有极好的抗氧化作用, 可作为潜在的天然抗氧化剂使用^[8]。

大果木姜子野生资源较少, 9~11 月为采摘期, 9 月的果为成熟初期的青果, 11 月为熟果。现代研究为大果木姜子熟果的挥发油成分及功效研究提供了充实的数据, 但忽略了大果木姜子青果、果柄及叶中挥发油成分的研究, 未全面分析大果木姜子不同部位挥发油成分组成及含量差异。通过研究除熟果之外的其它部位, 如青果、叶及果柄等的化学成分及抗氧化性能, 可寻找到更多具有较好抗氧化活性的部位。基于此, 本实验采用 GC-MS 法对大果木姜子青果、熟果及其果柄、叶的化学成分进行分析, 结合 Nist 17 和 Wiley 275 标准质谱图进行检索和匹配,

并采用峰面积归一化法测定其相对含量, 同时进行对比分析, 并对各部位的抗氧化能力进行考察, 采用 Origin 软件进行相关性及聚类热图分析, 以期找到更多具有抗氧化潜力的药用部位, 为后续研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大果木姜子青果、熟果、果柄、叶 经贵州中医药大学孙庆文教授鉴定为樟科樟属植物米槁 *Cinnamomum migao* H.W.Li 的果实、柄、叶, 详细信息见表 1; 维生素 C(纯度 $\geq 99.0\%$) 成都第一制药有限公司; DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼, 纯度 $\geq 97.0\%$) 梯希布(上海)化成工业发展有限公司; 2-联氮-二-(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 (ABTS) 合肥博美生物科技有限责任公司; 无水乙醇(乙醇质量分数 $\geq 99.7\%$) 天津市富宇精细化工有限公司; 自制蒸馏水。

HP6890 型 GC-MS 仪 美国 Agilent 公司; 98-1-B 电热套 天津市泰斯特仪器有限公司; N-1001 旋转蒸发器 昆明信捷科技有限公司; HAD-1785 挥发油检测器 安徽美星实验设备有限公司; TG18G 离心机 盐城市凯特实验仪器有限公司; HH-4 恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司。

表 1 大果木姜子青果、熟果、果柄、叶来源信息

Table 1 Information on the source of immature fruit, mature fruit, stalk, leaf of *C. migao*

成熟状态	采集地	采集时期	加工方式	储存方式
青果	贵州省遵义市	果实成熟初期	洗净, 阳光下晒干	密封后置冰箱 4 °C 储存
熟果	贵州省遵义市	果实成熟末期	洗净, 阳光下晒干	密封后置冰箱 4 °C 储存
果柄	贵州省遵义市	果实成熟末期的柄	洗净, 阳光下晒干	密封后置冰箱 4 °C 储存
叶	贵州省遵义市	果实成熟末期的叶	洗净, 阳光下晒干	密封后置冰箱 4 °C 储存

1.2 实验方法

1.2.1 挥发油的制备 采用水蒸气蒸馏法^[2]提取挥发油,称量粉碎至35目的大果木姜子熟果、青果、叶各200 g,果柄200 g。以水为提取溶剂按料液比(g/mL)为1:3,静态浸泡3 h以增加有效成分的溶出,之后置于挥发油提取器中提取8 h,于挥发油测定器下端缓慢放掉水层,于水油交界处开始收集挥发油,收集上层挥发油后,高速离心(转速为13000 r/min,时间为10 min,温度为4 ℃),用移液枪吸取上层液体,即得大果木姜子熟果、青果、果柄、叶的挥发油。

1.2.2 GC-MS分析 色谱条件:色谱柱为HP-5MS(60 m×0.25 mm×0.25 μm)弹性石英毛细管柱,初始温度70 ℃,以3 ℃/min升温至190 ℃,再以10 ℃/min升温至310 ℃,运行时间:57 min;汽化室温度230 ℃;载气为高纯氦气(99.999%);柱前压18.49 psi,载气流量1.0 mL/min,进样1 μL(已高速离心除去水分),分流50:1,溶剂延迟时间:6 min。

质谱条件:离子源为EI源,离子源温度230 ℃;四极杆温度150 ℃;电子能量70 eV;发射电流34.6 μA;倍增器电压1847 V;接口温度240 ℃;质量范围29~500 amu。

1.2.3 抗氧化能力测定

1.2.3.1 DPPH·清除能力的测定 参照参考文献[9],制备0.1 mmol/L的DPPH工作液。取用无水乙醇稀释得到的不同浓度(0.5、1、2、4、6、8 mg/mL)大果木姜子不同部位挥发油样品1 mL于具塞试管中,加DPPH溶液3 mL,摇匀置黑暗处反应30 min,在517 nm处测定吸光度值为 A_1 ;空白组用无水乙醇代替样品溶液为 A_0 ;样品对照组用无水乙醇代替DPPH溶液为 A_2 ,以 V_C 作为阳性对照(质量浓度分别为2、4、6、8、10 μg·mL⁻¹),以上实验均重复3次。公式如下:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

1.2.3.2 ABTS⁺·清除能力的测定 参照参考文献[9],制备ABTS工作液。取用无水乙醇稀释得到的不同浓度(0.5、1、2、4、6、8 mg/mL)大果木姜子不同部位挥发油样品0.5 mL于具塞试管中,加ABTS⁺·工作液3.5 mL,振摇,避光6 min,于734 nm波长处测定吸光度为 A_1 ;空白组用无水乙醇替换样品溶液为 A_0 ;样品对照组用无水乙醇替换ABTS⁺·工作液为 A_2 ,以 V_C 作为阳性对照(质量浓度分别为2、4、6、8、10 μg·mL⁻¹),以上实验均重复3次。公式如下:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

1.2.3.3 总还原能力的测定 参照参考文献[10]稍作改动,取用无水乙醇稀释得到的不同浓度(0.5、1、2、4、6、8 mg/mL)大果木姜子不同部位挥发油样品

2 mL于具塞试管中,加入0.2 mol/L pH为6.6磷酸盐缓冲溶液、1%铁氰化钾溶液各2.5 mL,50 ℃水浴20 min,冷却,加10%三氯乙酸2.5 mL,离心(3000 r/min,10 min)后取上清液5 mL,加5 mL蒸馏水和0.1%三氯化铁1 mL,混匀,静置10 min于700 nm处测吸光值A,以 V_C 作为阳性对照(质量浓度分别为2、4、6、8、10 μg·mL⁻¹),以上实验均重复3次。

1.3 数据处理

根据GC-MS所获得的质谱信息,在NIST 17和WILEY 275数据库进行查询,然后与计算机数据库系统进行综合检索和匹配,并采用峰面积归一化法测定其相对百分含量。采用Prism 8.0进行数据统计分析,Origin 21.0进行相关性分析(Pearson相关性分析),TBtools进行聚类分析。 P 值取0.05,0.01两个不同水平,所有数据均表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 大果木姜子不同部位挥发油成分分析及比较

2.1.1 不同部位挥发油成分组成 经GC-MS分析,大果木姜子熟果、青果、柄、叶挥发油的总离子流图见图1,成分及其相对含量详见表2。从图1可看出不同部位挥发油成分具有显著的差异。由表2可知,从大果木姜子不同部位挥发油中共鉴定出119种成分,包括酮类16种、烃类50种、醇类34种、醛类8种、酚类3种、酸类3种、其他5种。大果木姜子青果、熟果、果柄、叶中分别鉴定出60、66、67和50种成分,相对含量分别占其总挥发油的86.2%、89.365%、55.047%、64.389%。

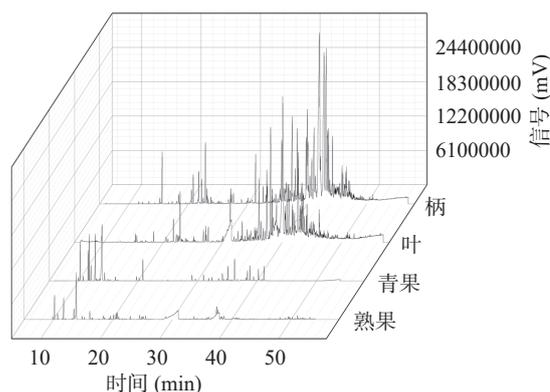


图1 大果木姜子青果、熟果、果柄及叶挥发油的GC-MS总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion current of the volatile oil from immature fruit, mature fruit, stalk and leaf of *C. migao*

2.1.2 不同部位挥发油成分类别 各类成分所占百分比及数量详见表3。可见除未知成分外,熟果、青果、果柄、叶挥发油中所含的主要化合物有烃类(29.431%、70.75%、13.694%、15.303%)和醇类(10.066%、14.683%、27.791%、9.57%),熟果和青果挥发油中烃类成分以1,8-桉叶素为主,而果柄和叶中则以 δ -杜松萜烯为主。其中,果柄中醇类成分含量

表 2 大果木姜子青果、熟果及其果柄、叶挥发油化学成分及其相对含量

Table 2 Chemical constituents and relative contents of the volatile oil of immature and mature fruit, stalk and leaf of *C. migao*

分类	编号	化学成分	分子式	青果	熟果	果柄	叶
				相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)
酮类	1	2-甲基-环戊酮	C ₆ H ₁₀ O	-	-	-	0.011
	2	3-甲基-环戊酮	C ₆ H ₁₀ O	-	-	0.004	0.034
	3	2-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	-	1.813	-	-
	4	侧柏酮	C ₁₀ H ₁₆ O	-	0.013	-	-
	5	桉酮	C ₉ H ₁₄ O	-	0.178	-	-
	6	2-茨酮	C ₁₀ H ₁₆ O	-	-	0.818	0.124
	7	松香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	0.028	0.218	0.083	0.011
	8	隐酮	C ₉ H ₁₄ O	0.023	1.465	0.059	0.267
	9	马苜烯酮	C ₁₀ H ₁₄ O	-	0.222	-	-
	10	D-香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	-	0.1	0.035	0.1
	11	薄荷酮	C ₁₀ H ₁₆ O	0.053	0.029	0.024	0.041
	12	2-十一烷酮	C ₁₁ H ₂₂ O	-	0.546	-	-
	13	4-异丙基-6-甲基-1-四酮	C ₁₄ H ₁₈ O	-	-	1.627	1.168
	14	六氢法呢基丙酮	C ₁₈ H ₃₆ O	-	-	-	0.152
	15	(-)-樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	0.016	0.092	-	-
16	1-((1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcylopentyl)ethanone	C ₁₅ H ₂₂ O ₂	-	-	3.426	11.259	
烃类	17	三环烯	C ₁₀ H ₁₆	0.015	0.022	-	-
	18	α -侧柏烯	C ₁₀ H ₁₆	0.525	0.49	-	-
	19	α -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	5.773	3.263	0.048	-
	20	α -葑烯	C ₁₀ H ₁₆	0.039	0.021	-	-
	21	茨烯	C ₁₀ H ₁₆	0.674	0.806	0.036	0.016
	22	侧柏-2,4(10)-二烯	C ₁₀ H ₁₄	-	0.059	-	-
	23	香桉烯	C ₁₀ H ₁₆	5.138	0.166	-	-
	24	β -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	8.394	3.447	0.059	-
	25	β -月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	2.269	0.105	-	-
	26	2,3-脱氢-1,8-桉叶油素	C ₁₀ H ₁₆ O	0.067	0.073	-	-
	27	2-萜烯	C ₁₀ H ₁₆	0.039	0.014	-	-
	28	α -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	9.178	0.051	0.024	-
	29	3-萜烯	C ₁₀ H ₁₆	0.444	0.045	-	-
	30	α -蒎品烯	C ₁₀ H ₁₆	0.299	0.217	-	-
	31	o-伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	-	0.029	-	-
	32	对伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	0.572	2.874	0.133	0.051
	33	柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	2.721	0.978	-	-
	34	β -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	10.831	-	-	-
	35	1,8-桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	11.845	13.461	1.27	0.231
	36	β -罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	1.36	-	-	-
	37	γ -蒎品烯	C ₁₀ H ₁₆	0.336	0.487	0.036	-
	38	反式水合沙宾烯	C ₁₀ H ₁₈ O	0.287	0.364	-	-
	39	1-乙酰环乙烯	C ₈ H ₁₂ O	-	-	0.022	0.293
	40	右旋柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	-	-	0.022	-
	41	α -蒎品油烯	C ₁₀ H ₁₆	0.775	-	0.015	-
	42	α -葑澄茄烯	C ₁₅ H ₂₄	0.051	0.061	0.155	0.232
	43	α -古巴烯	C ₁₀ H ₁₄ O	1.104	0.337	1.386	0.978
	44	2,4-二甲基苯乙烯	C ₁₀ H ₁₂	-	-	0.048	-
	45	β -葑澄茄烯	C ₁₅ H ₂₄	0.322	-	-	-
	46	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	0.175	-	-	-
	47	白菖烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.108	-
	48	檀香烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.201	0.071
	49	丁子香烯	C ₁₅ H ₂₄	1.117	-	0.424	-
	50	6,9-愈创木二烯	C ₁₅ H ₂₄	0.526	-	0.457	0.617
	51	顺式-摩勒-3,5二烯	C ₁₅ H ₂₄	0.063	-	-	-

续表 2

分类	编号	化学成分	分子式	青果	熟果	果柄	叶
				相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)
	52	α -葎草烯	C ₁₅ H ₂₄	0.695	0.084	0.226	0.523
	53	别香橙烯	C ₁₅ H ₂₄	0.037	—	0.143	0.103
	54	大根香叶烯D	C ₁₅ H ₂₄	0.48	—	—	—
	55	β -蛇床烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.533	—	3.274
	56	双环大牻牛儿烯	C ₁₅ H ₂₄	1.48	—	—	—
	57	δ -杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	3.003	0.094	—	—
	58	γ -摩勒烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	0.209	0.427
	59	佛术烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	0.38	—
	60	α -白菖考烯	C ₁₅ H ₂₀	—	0.442	2.263	1.967
	61	γ -杜松萜烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	0.379
	62	δ -杜松萜烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	3.188	3.671
	63	反式菖蒲烯	C ₁₅ H ₂₂	—	—	0.276	0.698
	64	氧化石竹烯	C ₁₅ H ₂₄ O	0.116	0.908	—	—
	65	α -二去氢葎澄茄烯	C ₁₅ H ₂₀	—	—	1.177	—
	66	卡达烯	C ₁₅ H ₁₈	—	—	1.388	1.772
	67	苯三醇	C ₆ H ₆ O	—	—	0.003	—
	68	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.201	0.109	0.21	0.385
	69	氧化芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	—	0.076	—
	70	反式-4-(异丙基)-1-甲基环己-2-烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.071	0.118	—	—
	71	松香芹醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.062	0.66	—	—
	72	脱氢芳樟醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	0.018	—
	73	马鞭草烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.023	0.319	—	—
	74	顺式-4-(异丙基)-1-甲基环己-2-烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	0.026	—
	75	反式松香芹醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	0.475	—
	76	内-冰片烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.86	0.695	1.418	1.129
	77	4-萜品醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.626	0.874	0.65	0.295
	78	对伞花烃-8-醇	C ₁₀ H ₁₄ O	0.03	0.241	0.218	0.319
	79	α -松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	5.178	1.554	2.628	2.783
	80	桃金娘萜醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.042	0.592	0.367	0.107
	81	橙花醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.066	—	—	—
	82	反式费蒿醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.139	0.075	0.106
醇类	83	对枯烯醇	C ₉ H ₁₂ O	—	0.199	—	—
	84	香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.079	0.027	—	—
	85	橙花醇	C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	0.065	0.086
	86	4-异丙基苯甲醇	C ₁₀ H ₁₄ O	—	0.52	0.231	0.297
	87	紫苏醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	0.049	—
	88	(4-异丙基-1,4-环己二烯-1-基)甲醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.123	0.112	—
	89	榄香醇	C ₁₅ H ₂₆ O	4.967	0.608	1.754	1.362
	90	内-1-伯邦醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.214	—	1.88	—
	91	(-)-匙叶桉油烯醇	C ₁₅ H ₂₄ O	0.069	2.164	—	—
	92	愈创醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.574	0.728	1.031	1.097
	93	γ -桉叶油醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.892	—	—	—
	94	α -桉叶油醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.32	—	—	—
	95	罗西叶醇	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	1.481	—
	96	(+)-异愈创木醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.409	0.274	—	—
97	沉香螺醇	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	1.269	—	
98	β -桉叶醇	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	13.683	—	
99	叶绿醇	C ₂₀ H ₄₀ O	—	—	0.072	0.134	
醛类	100	匙叶桉油烯醇	C ₂₂ H ₄₀ O ₂	—	0.122	—	1.47
	101	龙脑烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.029	0.104	—	—
	102	桃金娘醛	C ₁₀ H ₁₄ O	0.042	—	0.182	0.104
	103	桔醛	C ₁₀ H ₁₂ O	—	0.595	—	—
	104	桔萜醛	C ₁₀ H ₁₂ O	—	—	0.068	0.22

续表 2

分类	编号	化学成分	分子式	青果	熟果	果柄	叶
				相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)	相对含量(%)
	105	水芹醛	C ₁₀ H ₁₆ O	-	0.761	-	-
	106	水茴香醛	C ₁₀ H ₁₆ O	-	-	0.109	-
	107	依兰醛	C ₁₅ H ₂₂ O	-	-	1.792	-
	108	3,5-二叔丁基水杨醛	C ₁₅ H ₂₂ O ₂	-	-	0.87	7.79
酚类	109	3-异丙基苯酚	C ₉ H ₁₂ O	-	-	-	0.056
	110	香芹酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	0.722	0.286	0.686
	111	石榴酚	C ₁₅ H ₂₄ O	-	-	2.695	8.473
	112	正癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	-	28.563	0.162	6.7
酸类	113	月桂酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	-	13.279	-	-
	114	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	-	-	-	0.077
	115	癸酸甲酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	-	0.055	-	-
	116	二氢沉香呋喃	C ₁₅ H ₂₆ O	0.383	0.218	0.58	0.56
其他	117	阔叶缬草醚	C ₁₅ H ₂₆ O	0.193	0.119	-	-
	118	4-异丙基-6-甲基-1-亚甲基-1,2,3,4-四氢萘	C ₁₅ H ₂₀	-	-	0.742	1.683
	119	(-)-葎草烯环氧化物 II	C ₁₅ H ₂₄ O	-	0.776	-	-

注: -表示未检出。

表 3 大果木姜子熟果、青果、果柄、叶挥发油成分占比及数量

Table 3 Volatile oil components and quantities of mature fruit, immature fruit, stalk, leaf of *C. migao*

挥发油	烃类		醇类		酮类		醛类		酚类		酸类		其他	
	占比(%)	数量	占比(%)	数量	占比(%)	数量	占比(%)	数量	占比(%)	数量	占比(%)	数量	占比(%)	数量
熟果	29.431	27	10.066	19	4.676	10	2.182	4	0	0	41.842	2	1.168	4
青果	70.75	34	14.683	18	0.12	4	0.071	2	0	0	0	0	0.576	2
叶	15.303	17	9.57	13	13.167	10	8.114	3	9.215	3	6.777	2	2.243	2
果柄	13.694	26	27.791	23	6.076	8	3.021	5	2.981	2	0.162	1	1.322	2

最高,青果挥发油中烃类成分含量最高,熟果中酸类成分含量最高(41.842%),而青果中未鉴定出酸类成分,可能是在逐渐成熟的过程中青果中的某些烃类成分逐渐转化为酸类。不同部位大果木姜子挥发油所含烃类、醇类、酮类及醛类的总体数目差异不大,但各成分类别和含量占比差异较大。

2.1.3 不同部位挥发油共有成分 共有成分及其相对含量详见图 2。大果木姜子熟果、青果、果柄、叶挥发油共有 17 个共有成分,但相对含量占比相差较大。1,8-桉叶素在熟果挥发油(13.461%)中的含量要高于青果(11.845%)和果柄(1.27%)、叶(0.231%),而青果挥发油中 α -松油醇(5.178%)的含量明显高于熟果和果柄、叶,可能是由于在逐渐成熟的过程青果中的 α -松油醇异构化为 1,8-桉叶素,研究表明 1,8-桉叶素^[11]具有抑菌、抗炎抗氧化^[12]、驱蚊^[13]等作用,同时还可以抑制血小板聚集,防止血栓形成^[14],抑制 A549 细胞的增殖^[15];榄香醇具有很好的抑菌作用^[16],其含量青果(4.967%)>果柄(1.754%)>叶(1.362%)>熟果(0.608%);愈创醇在叶、果柄中的含量均大于 1%,高于青果和熟果,可以抑制 M2 巨噬细胞而达到抗肺癌的作用^[17];榄香醇与愈创醇为同分异构成分,各来源挥发油中还含有多种二者的同分异构成分,随着环境温度的改变,各成分之间可能会出

现相互转化,这可能是其含量存在差异的主要原因。对伞花烃在熟果中的含量最高为 2.874%,在青果及果柄、叶中均低于 1%,它具有抑菌^[18]、抗糖尿病^[19]、舒张主动脉^[20]、通过调节氧化应激反应缓解动脉粥样硬化^[21]等作用;4-萜品醇在青果、熟果、果柄、叶中的含量均小于 1%,但其具有很好的抑菌^[22]、抗炎作用^[23]; α -葎草烯具有止痒活性,并能够改善精神分裂症^[24-25]。莰烯可作为有机合成原料,在合成香料、农业及药物等领域应用广泛。综上,大多数共有成分具有一定的药理活性,但又不尽相同。

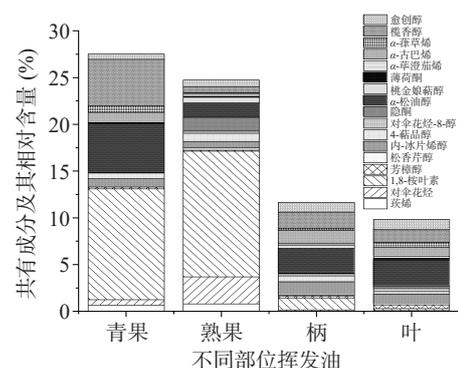


图 2 不同部位挥发油共有成分堆积图

Fig.2 Stacked plot of common chemical constituents of the volatile oil from different parts

青果和熟果挥发油成分共有成分为 44 个,其中对伞花烃、(-)匙叶桉油烯醇、正癸酸、月桂酸的百分含量随着果实的发育呈现上升趋势; α -蒎烯、香桉烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯、 α -松油醇、 β -水芹烯呈现下降趋势。由此可发现:随着果实的发育,烯烴类成分的百分含量逐渐降低,酸类化学成分的百分含量逐渐升高,表明酸类化合物的种类和含量随着果实的成熟而发生明显变化。果柄与熟果挥发油共有 29 个共有成分,其中仅 α -松油醇的含量均高于 1%。在叶挥发油中,与熟果挥发油共有 26 个共有成分,其中叶挥发油中正癸酸含量为 6.7%,匙叶桉油烯醇含量为 1.47%,熟果挥发油中正癸酸含量为 28.563%,匙叶桉油烯醇含量为 0.122%,只有熟果和叶挥发油中均含有以上两种化学成分。有文献报道正癸酸和匙叶桉油烯醇可能是大果木姜子抗房颤的潜在活性成分^[26],因此,后续可继续对叶中化学成分及相关抗氧化活性进行进一步的研究,以期可以扩大大果木姜子抗氧化部位。

2.1.4 不同部位挥发油特有成分 从不同部位挥发油成分的组成差异分析,熟果中含有 13 个特有成分,占其挥发油成分总量的 18.525%,包括酮类 5 种(2.772%),烴类 2 种(0.088%),醛类 2 种(1.356%),醇类(0.199%)及酸类(13.279%)各 1 种,其他 2 种(0.831%),主要特有成分为 2-壬酮(1.813%)和月桂酸(13.279%)。青果中含有 10 个特有成分,占其挥发油成分总量的 15.989%,包括烴类 7 种(14.711%)和醇类 3 种(1.278%),主要特有成分为 β -水芹烯(10.831%)和双环大牻牛儿烴(1.48%)。果柄中含有 16 个特有成分,占其挥发油成分总量的 20.716%,包括烴类 5 种(1.735%),醇类 9 种(17.08%)和醛类 2 种(1.901%),主要特有成分为 β -桉叶醇(13.683%)、罗西叶醇(1.481%)、沉香螺醇(1.269%)、依兰醛(1.792%)及 α -二去氢萜澄茄烴(1.177%)。叶中含有 5 个特有成分,仅占其挥发油成分总量的 0.675%,且含量均小于 1%。

2.2 抗氧化能力测定结果

2.2.1 DPPH·清除能力的测定结果 由图 3 可见:在挥发油的质量浓度为 0.5~8.0 mg/mL 的范围内,随着质量浓度的升高,清除率也在升高,呈现出一定的量-效关系。其中,在质量浓度为 8.0 mg/mL 时,熟果挥发油对 DPPH·的清除率最高,为 90.05%,与 6 μ g/mL 维生素 C 的清除率(92.81%)相接近;青果次之,为 79.79%;果柄和叶的清除率分别为 75.02% 和 72.73%, IC_{50} 值依次为 2.391、1.727、3.182、3.092 mg/mL。熟果、青果、果柄、叶挥发油对 DPPH·均有较好的清除作用,可能是因为四个部位的挥发油中均含有大量的醛、酮等还原性物质,且 DPPH·是脂溶性的,恰好适用于挥发性成分抗氧化能力的测定。有文献报道 1,8-桉叶素具有抗炎抗氧化的作用,且中链脂肪酸正癸酸能够降低氧化应激水平^[27],熟果挥发油中酸类成

分含量高达 41.842%,这也可能是其抗氧化能力较高的原因之一。质量浓度分别为 2、4、6、8、10 μ g·mL⁻¹ 的 V_C 对 DPPH·的清除率依次为 32.63%、60.18%、92.81%、94.91%、98.72%。

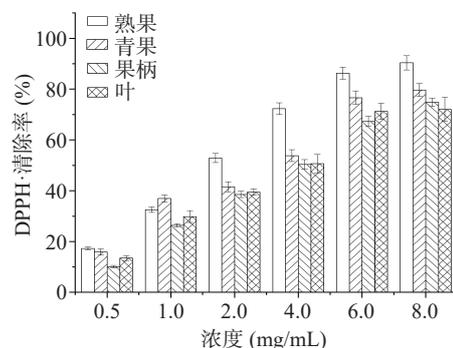


图 3 不同浓度挥发油对 DPPH·的清除率

Fig.3 Scavenging rate of DPPH· of volatile oils at different concentrations

2.2.2 ABTS⁺清除能力的测定结果 如图 4 所示,不同浓度挥发油对 ABTS⁺的清除率随着质量浓度的上升而增强,在质量浓度为 8.0 mg/mL 时,熟果挥发油对 ABTS⁺清除率最高,为 84.46%,果柄挥发油的清除率最差,为 56.34%;结果表明熟果、青果、果柄、叶挥发油对 ABTS⁺均有一定的清除作用, IC_{50} 值依次为 0.9423、2.616、5.344、3.651 mg/mL。由清除率可发现不同部位的挥发油对 ABTS⁺的清除率明显低于 DPPH·。质量浓度分别为 2、4、6、8、10 μ g·mL⁻¹ 的 V_C 对 ABTS⁺的清除率依次为 68.35%、84.44%、87.83%、95.44%、98.54%。

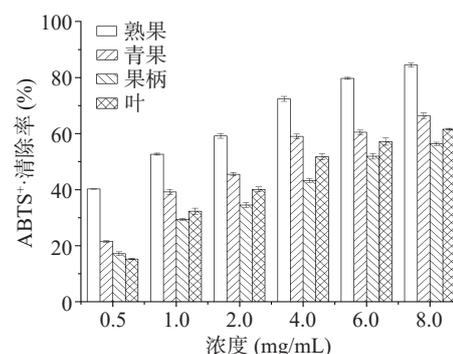


图 4 不同浓度挥发油对 ABTS⁺的清除率

Fig.4 Scavenging rate of ABTS⁺ of volatile oils at different concentrations

2.2.3 总还原能力测定结果 一般来说物质的还原能力与抗氧化能力呈正相关,即还原力越强,抗氧化活性越高。因此可通过测定吸光度值来评价不同部位挥发油的总还原能力,详见图 5。不同浓度挥发油的总还原能力随着质量浓度的上升而增强,在质量浓度为 8.0 mg/mL 时,熟果挥发油的总还原能力最强,为 1.385,果柄挥发油最差;结果表明熟果、青果、果柄、叶挥发油均具有一定的还原力,但明显小于 V_C 对照组。质量浓度分别为 2、4、6、8、10 μ g·mL⁻¹ 的 V_C 的总还原能力依次为 0.93、1.4、1.52、1.75、1.97。

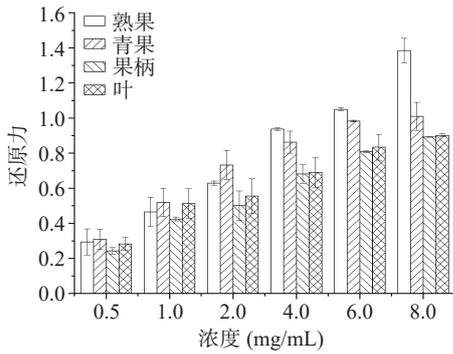


图 5 不同浓度挥发油的总还原能力

Fig.5 Total reducing capacity of volatile oils at different concentrations

2.3 相关性及聚类分析结果

为了直观地展示不同部位挥发油对 3 个抗氧化体系的清除效果差异, 将测得清除率和还原力结果经归一化后为评价指标, 利用 Origin 21.0 统计分析软件进行相关性分析。图 6 为相关性分析结果, 图中颜色由浅灰到深灰, 表明不同部位挥发油中各类成分与 DPPH·、ABTS· 及总还原能力抗氧化体系的相关性越大。对比各类成分与抗氧化能力的相关性: 可得烃类及酸类成分与清除 DPPH·、ABTS· 能力及总还原能力呈正相关, 其中酸类成分的相关性最高, 分别为 0.90、0.88, 且具有显著性 ($P \leq 0.05$)。正相关表明这两类成分在抗氧化作用中可能起到重要作用, 后续实验考虑对这两类成分进行单独的抗氧化能力研究。对比各类成分之间的相关性: 可以发现醛类与酚类 ($P \leq 0.05$)、酮类与醛类 ($P \leq 0.01$)、其它成分与醛类及酮类 ($P \leq 0.01$) 呈正相关并具有显著性, 结合表 3 中各类成分含量, 发现其可能存在相互促进作用。

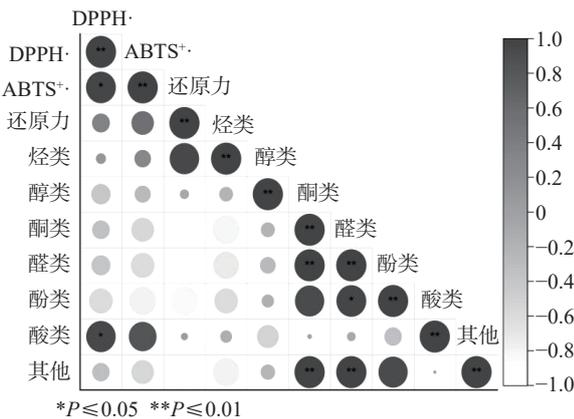


图 6 相关性分析结果
Fig.6 Result of correlation analysis

图 7 为聚类热图分析图, 同组样本相关性较高, 不同组样本相关性较小, 聚类图可以更加直观地分析各样本间的相关性。对全部成分及不同部位挥发油进行聚类, 不同部位聚类结果显示: 熟果、青果、果柄、叶四个部位挥发油可聚为两类, 其中青果和熟果挥发油为第 I 类, 这一类中 1,8-桉叶素、 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -罗勒烯的含量明显较高; 果柄和叶可以聚为

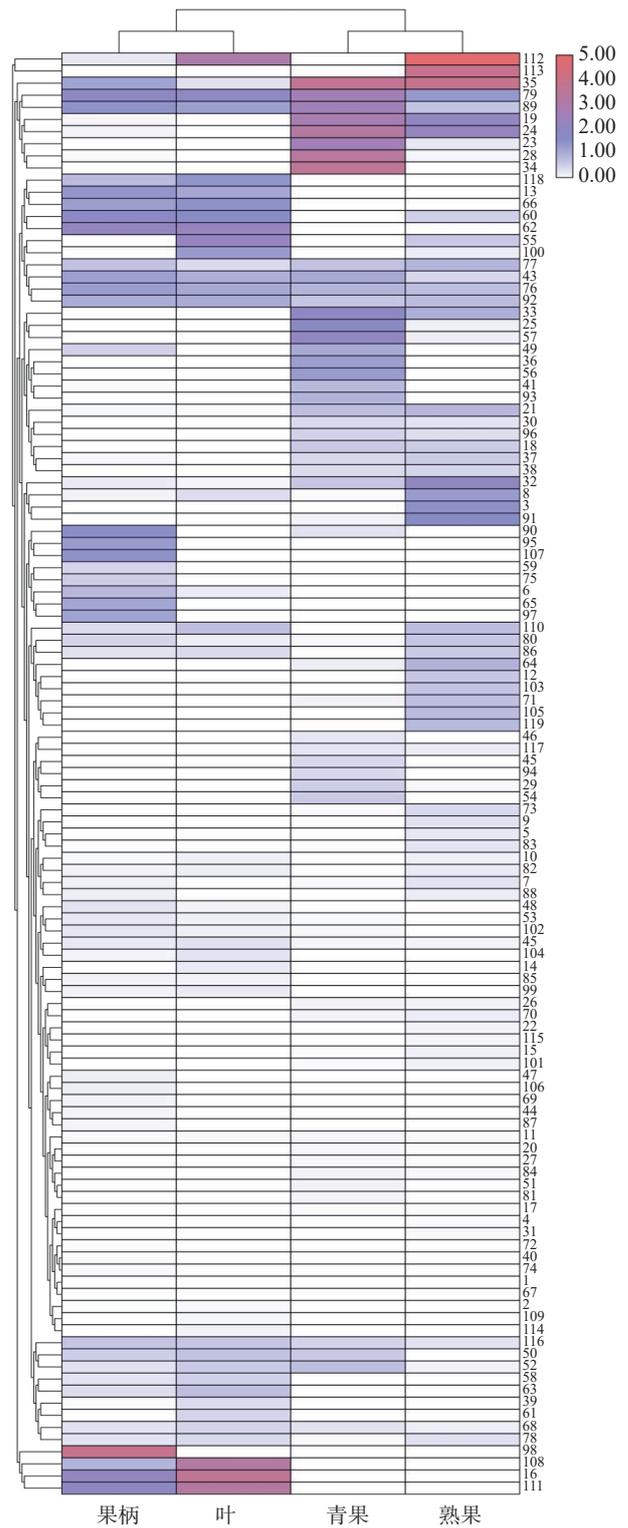


图 7 聚类分析结果

Fig.7 Result of clustering analysis

注: 纵坐标为挥发性成分, 序号代表的成分分别与表 2 中成分相对应。

第 II 类, 这一类中 1-((1R,2R,3R)-2-(3-Isopropylfuran-2-yl)-3-methylcyclopentyl)ethanone、 α -松油醇、4-异丙基-6-甲基-1-四酮、石榴酚、 α -白菖考烯、 δ -杜松萜烯、卡达烯的含量明显较高。青果和熟果中含量明显较高的成分均为烃类, 结合相关性分析中烃类成分与抗氧化能力呈现正相关的结果, 说明这是青果和熟

果抗氧化能力较强的原因之一。聚类结果表明青果在成分上与熟果差距不大,因此青果在一定程度上可以直接使用,而果柄和叶中挥发油的化学成分则与熟果和青果相差较大。

3 结论

挥发油类成分是大果木姜子的主要活性成分,本研究通过研究大果木姜子熟果、青果、果柄、叶挥发油的组成和相对含量,对比分析表明不同部位挥发油的成分组成及含量存在一定的差异。可能是由于在晒干过程中一些挥发性和易氧化或易分解的成分有损失,也可能是不同部位中成分种类及组成本身就存在差异,从而导致其抗氧化的药效物质基础发生改变。从不同部位挥发油中共检测出 119 种化学成分,共有成分 17 种。熟果挥发油含有 66 种成分,以酸类成分为主;青果挥发油含有 60 种成分,以烃类成分为主;果柄挥发油含有 67 种成分,以醇类成分为主;叶挥发油含有 50 种成分,以烃类成分为主,可见不同部位挥发油主要组成成分差别较大。抗氧化结果表明不同部位挥发油对 DPPH· 及 ABTS⁺ 均具有较好的清除作用,通过对各类成分进行抗氧化相关性分析发现共有酸类及烃类成分与抗氧化能力呈现正性相关,但相关性分析只能作为预测,因此后续实验将继续对它们的抗氧化能力进行考察,有望发现潜在的抗氧化化合物。聚类分析将青果、熟果、果柄、叶分为两类,青果和熟果为第 I 类,因此青果在一定程度上也可以使用,避免了大果木姜子药材资源的浪费。果柄和叶可以聚为第 II 类,其中也含有大量的挥发性成分,但与果实类相差较大,不过二者都具有较好的抗氧化活性,可以进一步的探讨其抗氧化性能,为获得天然绿色的抗氧化产品提供依据。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 31 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 176. [Editorial Committee of the Flora of Chinese Academy of Sciences. Flora of China: 31 [M]. Beijing: Science Press, 1982: 176.]
- [2] 黄凯, 刘杰, 黄彩河, 等. 不同来源大果木姜子挥发油及脂肪油成分的比较分析 [J]. 中国药房, 2020, 31(16): 1961-1966. [HUANG K, LIU J, HUANG C H, et al. Comparative analysis of volatile oil and fatty oil constituents from *Cinnamomum migao* in different sources [J]. China Pharmacy, 2020, 31(16): 1961-1966.]
- [3] 李天祥, 王静康. 超临界 CO₂ 萃取大果木姜子精油的研究 [J]. 中药材, 2003, 26(3): 178-180. [LI T X, WANG J K. Supercritical carbon dioxide extraction of essential oil from *Cinnamomum migao* H. W. Li [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2003, 26(3): 178-180.]
- [4] 周杨, 晏婷, 郑林, 等. GC-MS 同时测定大果木姜子油中 11 种挥发性成分的含量 [J/OL]. 中国中药杂志, 2022, 1-13. DOI:10.19540/j.cnki.cjcm.20221208.103. [ZHOU Y, YAN T, ZHENG L, et al. Simultaneous determination of eleven volatile components in *Cinnamomi Oleum* by GC-MS [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 1-13. DOI:10.19540/j.cnki.cjcm.20221208.103.]
- [5] 李亚辉, 杨欣. 贵州大果木姜子对急性心肌缺血损伤的保护作用 [J]. 中医药信息, 2020, 37(3): 4-8. [LI Y H, YANG X. Protective effect of *Cinnamomum migao* in Guizhou on acute myocardial ischemia injury [J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2020, 37(3): 4-8.]
- [6] 韩轶, 吴宗贵, 张雪娟, 等. 理气活血滴丸治疗老年慢性稳定性心绞痛有效性及安全性的随机对照多中心临床研究 [J]. 中国循证心血管医学杂志, 2021, 13(2): 186-189, 193. [HAN Y, WU Z G, ZHANG X J, et al. A prospective, one-arm, multi-center, phase IV clinical study of the efficacy and safety of Regulating Qi and Activating Blood Dripping Pill in the treatment of chronic stable angina pectoris: patients over 65 years old subgroup analysis [J]. Chin J Evid Based Cardiovasc Med, 2021, 13(2): 186-189, 193.]
- [7] 伍柏灵, 王飞清, 唐璞, 等. 大果木姜子油对心房颤动大鼠的治疗作用 [J]. 时珍国医国药, 2019, 30(9): 2128-2130. [WU B L, WANG Q F, TANG Y. Study on the mechanism of the treatment of atrial fibrillation rats with *Cinnamomum migao* [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2019, 30(9): 2128-2130.]
- [8] 刘杰, 郭江涛, 刘耀, 等. 大果木姜子挥发油的提取工艺优化、成分分析及抗氧化活性 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 211-219. [LIU J, GUO J T, LIU Y, et al. Extraction optimization, composition analysis of volatile oil from *Litsea lancilimba* Merr. and its antioxidant activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(19): 211-219.]
- [9] RAFAL W, BEATA D, DOROTA D, et al. Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays—a practical approach [J]. Molecules, 2022, 27(1): 50.
- [10] 毛跟年, 刘艺秀, 胡家欢. 野艾蒿挥发油的提取工艺及抗氧化活性研究 [J]. 食品科技, 2018, 43(10): 294-299. [MAO G N, LIU Y X, HU J H. Extraction process and antioxidant activity of volatile oil from *Artemisia vulgaris* [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(10): 294-299.]
- [11] NICOLAS M V, FLORENCIA M, PABLO S T, et al. Cell death and biomass reduction in biofilms of multidrug resistant extended spectrum β -lactamase-producing uropathogenic *Escherichia coli* isolates by 1, 8-cineole [J]. PLoS One, 2020, 15(11): e0241978.
- [12] BROWN S K, GARVER W S, ORLANDO R A. 1, 8-Cineole: An underappreciated anti-inflammatory therapeutic [J]. J Biomol Res Ther, 2017, 6: 1-6.
- [13] 陈凡, 姚雷, 王文翠. 1, 8-桉叶素驱蚊止痒功效的研究 [J]. 日用化学工业, 2021, 51(7): 620-625. [CHEN F, YAO L, WANG W C. Study on the mosquito-repelling and antipruritic effects of 1, 8-cineole [J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2021, 51(7): 620-625.]
- [14] KAHDR A A, DIVYASHREE R, PABITRA H P, et al. 1, 8-Cineole affects agonists-induced platelet activation, thrombus formation and haemostasis [J]. Cells, 2021, 10(10): 2616.
- [15] BORIS R K, MARÍA A C, ROSANA C, et al. Anti-cancer mechanisms of linalol and 1, 8-cineole in non-small cell lung cancer A549 cells [J]. Heliyon, 2020, 6(12): e05639.
- [16] 常子惠, 何文佳, 多杰仁青, 等. 基于网络药理学和分子对接探讨藏麻黄挥发性成分对支气管炎的作用机制 [J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(1): 133-143. [CHANG Z H, HE W J, DUO J R Q, et al. Study on therapeutic mechanism of volatile components from *Ephedra saxatilis* in treating bronchitis based on network pharmacology and molecular docking [J]. Nat Prod Res Dev, 2022, 34(1): 133-143.]
- [17] 曹亚娟. 扶正祛邪方及其有效组分愈创醇通过抑制 M2 型巨噬细胞抑制肺癌上皮间质转化的分子机制研究 [D]. 上海: 上海

- 中医药大学, 2019. [CAO Y J. The inhibitory effects of fuzheng quxie formula and its component (-)-guaiol in lung cancer epithelial-mesenchymal transition[D]. Shanghai: Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, 2019.]
- [18] GABRIELLA K, SIBEL R. Carvacrol and p-cymene inactivate *Escherichia coli* O157: H7 in apple juice[J]. *BMC Microbiol*, 2005, 5: 36.
- [19] MARYAM A S, PARICHEHREH Y, ZAHRA H, et al. Therapeutic effect of p-cymene on lipid profile, liver enzyme, and akt/mTOR pathway in streptozotocin-induced diabetes mellitus in wistar rats[J]. *J Obes*, 2022, 2022: 1015669.
- [20] MARTAPOLYANA T M S, FERNANDA P R A R, MARIA A M B M, et al. The vasorelaxant effect of p-cymene in rat aorta involves potassium channels[J]. *ScientificWorld Journal*, 2015, 2015: 458080.
- [21] WU T, ZAHRA M, DHUHA A, et al. P-Cymene modulate oxidative stress and inflammation in murine macrophages: Potential implication in atherosclerosis[J]. *Cardiovasc Hematol Agents Med Chem*, 2020, 18(2): 151–157.
- [22] MA Y Z, WANG Y X, ZHOU X, et al. The influence of the chemical composition of essential oils of *Clausea lansium* seeds on the growth of *Candida* strains[J]. *Sci Rep*, 2021, 11: 19666.
- [23] 刘罕. 茶树油提取物 4-萜品醇对仔猪肠道炎症损伤的调节作用[D]. 扬州: 扬州大学, 2022. [LIU J. Modulatory effect of tea tree oil extract 4-terpinol on intestinal inflammatory damage in piglets[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022.]
- [24] 陈杰, 陈策, 刘立滢, 等. α -葑草烯调控 NRG1/ErbB4 信号通路改善精神分裂症研究[J]. *中草药*, 2019, 50(23): 5790–5794. [CHEN J, CHEN C, LIU L Y, et al. α -Humulene improves schizophrenia via NRG1/ErbB4 signaling pathway[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2019, 50(23): 5790–5794.]
- [25] 张志强. 薇甘菊中 α -葑草烯止痒活性研究及 β -石竹烯纳米制剂研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2019. [ZHANG Z Q. Study on antipruritic activity of α -caryophyllene in *Mikania micrantha* and β -caryophyllene nano-preparation[D]. Guangzhou: Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2019.]
- [26] WANG Z D, ZENG Z, HU Y S, et al. Network pharmacology and pharmacological mechanism of cv-3 in atrial fibrillation[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2022, 2022: 5496299.
- [27] JANINE M, ULI M. The medium-chain fatty acid decanoic acid reduces oxidative stress levels in neuroblastoma cells[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11: 6135.