

不同蒸馏时段提取广藿香精油的 成分及抗氧化活性

李梦丹¹, 周旭凯², 李桂春³, 张 倩¹, 陈房姣⁴, 田玉红^{1*}

(1. 广西科技大学 生物与化学工程学院, 广西 柳州 545006; 2. 柳州职业技术大学 环境与食品工程学院, 广西 柳州 545006; 3. 北京远大九和药业有限公司, 北京 102400; 4. 广西科技大学医学部, 广西 柳州 545006)

摘要: 为探究蒸馏时间对广藿香精油的提取率、成分及抗氧化活性的影响, 以广西产广藿香为原料, 采用水蒸气蒸馏法提取了 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 不同蒸馏时段的广藿香精油。采用 GC-MS 对不同蒸馏时段精油的成分进行了分析。通过 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基 (DPPH•) 和 2,2'-联氮双(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基 (ABTS⁺•) 清除实验, 考察了其抗氧化能力。结果表明, 在 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 4 个蒸馏时段, 广藿香精油的提取率分别为 0.14%±0.01%、0.18%±0.01%、0.20%±0.02% 和 0.57%±0.03%。不同蒸馏时段精油以倍半萜类化合物为主, 其主要成分相同, 均为广藿香醇、广藿香酮、 α -布黎烯、塞舌尔烯。其中, 广藿香醇的相对含量均为最高, 4 个蒸馏时段其相对含量分别为 49.22%、50.82%、50.47% 和 39.07%。4 个蒸馏时段的精油清除 DPPH• 的半数抑制质量浓度 (IC₅₀) 分别为 21.75、12.45、12.03 和 3.54 g/L, 清除 ABTS⁺• 的 IC₅₀ 分别为 13.91、8.62、8.00 和 3.02 g/L。在 4 个蒸馏时段中, 60~360 min 蒸馏时段的广藿香精油的抗氧化能力最强, 0~10 min 蒸馏时段的广藿香精油的抗氧化能力最弱。

关键词: 广藿香; 精油; 蒸馏时间; 成分分析; 气相色谱-质谱法; 抗氧化活性; 香料

中图分类号: TQ654.2; O657.63 文献标识码: A 文章编号: 1003-5214 (2026) 05-1096-07

Composition and antioxidant activity of essential oil from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. collected at different distillation periods

LI Mengdan¹, ZHOU Xukai², LI Guichun³, ZHANG Qian¹, CHEN Fangjiao⁴, TIAN Yuhong^{1*}

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China; 2. School of Environment and Food Engineering, Liuzhou Polytechnic University, Liuzhou 545006, Guangxi, China; 3. Beijing Yuanda Jiuhe Pharmaceutical Co., Ltd., Beijing 102400, China; 4. College of Medicine, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

Abstract: To investigate the influence of distillation time on the extraction yield, chemical composition and antioxidant activity of essential oil from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth., essential oil from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. growing in Guangxi with the 0~10, 10~30, 30~60, and 60~360 min distillation were obtained through hydrodistillation, analyzed by GC-MS for chemical composition, and evaluated via 1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine free radical (DPPH•) and diammonium 2,2'-azino-bis(3-thylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cationic free radical (ABTS⁺•) scavenging assay for the antioxidant capacity. The results showed that the essential oil collected at 0~10, 10~30, 30~60 and 60~360 min distillation periods exhibited an extraction rate of 0.14%±0.01%, 0.18%±0.01%, 0.20%±0.02%, and 0.57%±0.03%, respectively, while displayed same main components belonging to sesquiterpenoids, including patchouli alcohol, patchoulone, α -bulnesene and seychellene. Among them, patchouli alcohol was of the highest relative content, with the relative content in the four distillation periods of 49.22%, 50.82%,

收稿日期: 2025-03-13; 定用日期: 2025-05-19; DOI: 10.13550/j.jxhg.20250169

基金项目: 国家自然科学基金项目 (22268012); 广西自然科学基金项目 (2021GXNSFAA220067)

作者简介: 李梦丹 (2001—), 女, 硕士生, E-mail: 2543681216@qq.com。联系人: 田玉红 (1969—), 女, 教授, E-mail: tyhdf705@163.com。

50.47%, and 39.07%, respectively. The median inhibition concentration (IC_{50}) of essential oils for DPPH• were 21.75, 12.45, 12.03, and 3.54 g/L, while those for ABTS⁺ were 13.91, 8.62, 8.00, and 3.02 g/L, respectively. The essential oil from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth collected at 60~360 min exhibited the strongest DPPH• and ABTS⁺ scavenging capacities among the four distillation periods, while that collected at 0~10 min showed the weakest.

Key words: *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.; essential oil; distillation periods; composition analysis; gas chromatography mass spectrometry; antioxidant activity; perfumes

精油 (EOs) 是一类挥发性化合物的混合物, 是可以从植物的各个部分, 如根、茎、叶、花、果实和种子等提取的次生代谢产物, 其成分包含萜烯、酯类、醇类、酮类、醛类、酚类^[1-2]等多达 10 万种化合物组成。精油具有多种生物活性, 如抗癌、抗氧化、抗炎、抗菌^[3], 及急性和慢性毒性等驱避活性, 可以抑制害虫物种的产卵、生长、摄食和发育^[4]。除了作为传统的抗菌剂之外, 精油还成功地应用于食品和化妆品行业^[5]。

广藿香 [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] 是一种多年生的草本植物, 主要生长在南亚和东南亚的热带和亚热带地区。广藿香可以作为常用的中草药用于治疗恶心、感冒、发烧、腹泻和头痛等疾病^[6-10]。广藿香精油是由广藿香提取的挥发性成分, 具有抗真菌的特性, 可以治疗皮肤感染、头皮屑和湿疹, 还可以用于芳香疗法, 具有抗抑郁、抗炎、修复细胞和除臭等功能。广藿香精油也可以作为香味剂用于化妆品和香水的生产^[11-14]。广藿香精油的得率和质量会受到气候、季节、地理条件、种子的使用、提炼方法、蒸馏技术、蒸馏时间长短等条件的影响^[15-16], 其中, 蒸馏时间是影响其得率及质量的重要因素之一。蒸馏时间过长, 会增加能耗; 时间过短, 原料中的精油不能提取完全, 会影响精油的提取率。目前, 关于不同蒸馏时段对广藿香精油质量参数及抗氧化活性影响的研究还很少。

本文拟采用水蒸气蒸馏法, 通过提取不同蒸馏时段的广藿香精油, 采用气相色谱-质谱联用仪 (GS-MS) 对其成分进行分析, 考察蒸馏时间对广藿香精油产量、成分的影响, 探究不同蒸馏时段广藿香精油抗氧化活性的差异, 以期为广藿香精油的生产及开发利用提供科学依据。

1 实验部分

1.1 材料、试剂与仪器

广藿香, 桂林鼎康中药饮片有限公司, 产地为广西桂林, 经桂林鼎康中药饮片有限公司检验, 样品符合 2015 版《中国药典》一部广藿香标准。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH)、维生素 C (V_C), 分析纯, 美国 SIGMA 公司; 2,2'-联氮双(3-

乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐 (ABTS), 分析纯, 美国 Adamas 公司; 无水乙醇, 分析纯, 台山市粤侨试剂塑料有限公司; 过硫酸钾 ($K_2S_2O_8$), 分析纯, 西陇科学股份有限公司。

TRACE1300-ISQ QD 型气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 美国 Thermo Fisher Scientific 公司; HP-5 石英毛细色谱柱 (30 mm×0.25 mm×0.25 mm), 美国 Agilent 公司; 1788 型挥发油提取器, 湖州申骏仪器有限公司; 722S 型紫外-可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司。

1.2 方法

采用水蒸气蒸馏法提取广藿香精油。准确称取干燥广藿香地上部分 100 g, 记为 m (g), 置于 3000 mL 圆底烧瓶中, 再加入 2000 mL 蒸馏水进行水蒸气蒸馏, 沸腾后开始计时, 保持微沸, 回流速率为 4~5 L/min, 到 10 min 前关火, 利用余温蒸馏至 10 min, 将提前准备好规格相同的提取管代替原提取管, 继续蒸馏, 依此类推, 分别收集 4 个时间段 (0~10、10~30、30~60、60~360 min) 的油相提取物, 经过冷却静置后, 记录各自体积 V_i , 分别记为 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 。

根据式 (1) 计算广藿香精油的提取率 (η , %):

$$\eta/\% = V_i/m \times 100 \quad (1)$$

1.3 结构表征与性能测试

GC 测试: HP-5 毛细管色谱柱 (30 mm×0.25 mm×0.25 μ m), 程序升温, 60 $^{\circ}$ C 保持 5 min, 然后 2 $^{\circ}$ C/min 升至 260 $^{\circ}$ C 保持 5 min。载气为高纯氦气, 流量 1.0 mL/min。进样量 1 μ L。分流比 1:200; 进样口温度和接口温度均为 280 $^{\circ}$ C。

MS 测试: EI 电离源, 电子倍增器电压 1.5 kV, 电子能量 70 eV, 质量扫描范围 35~550 amu, 全扫描方式。

通过 NIST17 质谱数据库对样品各色谱峰进行计算机自动匹配分析, 筛选相似度指数 (SI) 和反向相似度指数 (RSI) 均>900 的化合物作为研究对象。结合标准质谱图特征及分子裂解规律对目标成分进行结构鉴定。各组分含量测定采用色谱峰面积归一法^[17]。

1.4 抗氧化活性研究测试

1.4.1 DPPH 自由基 (DPPH•) 清除能力测试

参照文献[18]实验方法并稍作修改。配制质量

浓度 0.02 g/L 的 DPPH•无水乙醇溶液, 将待测样品 (2 mL) 与 DPPH•无水乙醇溶液 (2 mL) 混合均匀, 使用紫外-可见分光光度计在 517 nm 波长下测定其吸光度 (A_i)。测定间隔为 10 min, 持续观察 180 min。设置两组对照: 一组以无水乙醇替代样品, 测定其吸光度 (A_c), 另一组以无水乙醇替代 DPPH•无水乙醇溶液测定吸光度 (A_j), 每组平行测定 3 次后取均值。同时设置 V_C 作为阳性对照组。根据式 (2) 计算 DPPH•的清除率 (S_A , %) [19]:

$$S_A/\% = [1 - (A_i - A_j)/A_c] \times 100 \quad (2)$$

取反应时间为 1 h 的数据, 以精油质量浓度 (g/L) 为横坐标、 S_A 为纵坐标, 绘制不同蒸馏时段广藿香精油对 DPPH•的清除率随质量浓度变化的曲线, 并拟合方程, 得到 DPPH•去除率为 50% 时所需要的精油质量浓度, 即半数抑制质量浓度 (IC_{50}), 用于评估精油其对 DPPH•的清除作用。

1.4.2 ABTS 阳离子自由基 (ABTS⁺•) 清除能力测试

以蒸馏水为溶剂, 将 7 mmol/L ABTS⁺•溶液与 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液等体积混合。然后, 将混合溶液用无水乙醇调节至 734 nm 波长下吸光度为 0.70 ± 0.002 , 获得 ABTS⁺•工作液。将 2 mL 待测样品与等体积 ABTS⁺•工作液混合, 避光反应 6 min 后使用紫外-可见分光光度计测定溶液在 734 nm 波长下的吸光度 (A_i')。设置对照组, 以 2 mL 无水乙醇替代样品测定吸光度 (A_0), 实验重复 3 次取平均值。同时设置 V_C 为阳性对照物, 根据式 (3) 计算 ABTS⁺•的清除率 (S_B , %) [19]:

$$S_B/\% = [(A_0 - A_i')/A_0] \times 100 \quad (3)$$

以 S_B 为纵坐标, 精油质量浓度为横坐标 (g/L), 绘制不同蒸馏时段广藿香精油对 ABTS⁺•的清除率随精油质量浓度的变化曲线, 并拟合方程, 得到 ABTS⁺•的 IC_{50} , 用于评估精油对 ABTS⁺•的清除作用。

2 结果与讨论

2.1 蒸馏时段对广藿香精油提取率的影响

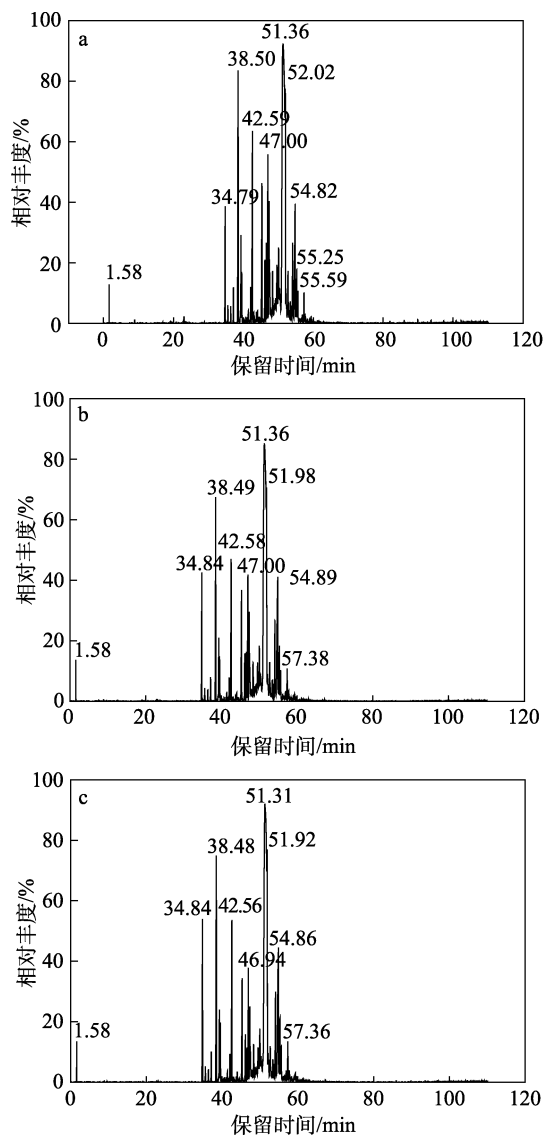
经测定和计算, 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 4 个蒸馏时段广藿香精油的提取率分别为 $0.14\% \pm 0.01\%$ 、 $0.18\% \pm 0.01\%$ 、 $0.20\% \pm 0.02\%$ 和 $0.57\% \pm 0.03\%$ 。其中, 60~360 min 蒸馏时段的精油提取率最高, 占总提取量的 52.29%。0~10、10~30 和 30~60 min 3 个蒸馏时段的精油提取量分别占总提取量的 12.84%、16.51% 和 18.35%。周旭凯等 [20] 对迷迭香精油进行了 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 的提取, 结果表明, 迷迭香精油在 0~10 min 的提取率最高, 达到 48.83%。何玲利等 [21]

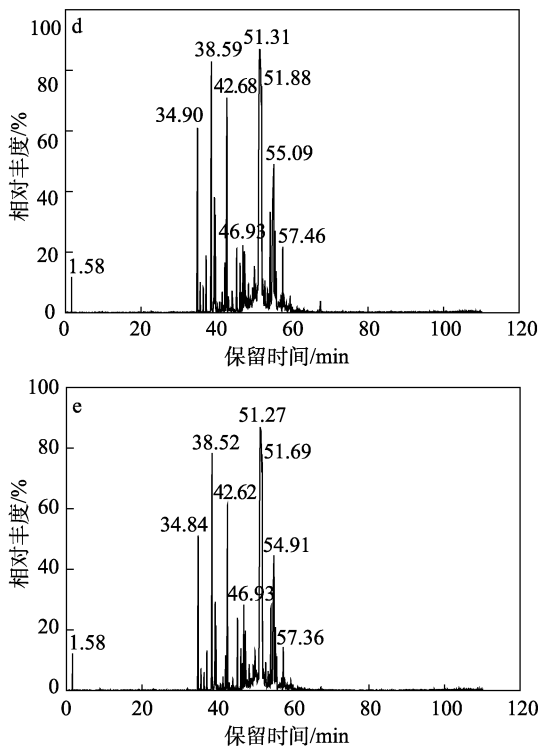
对柠檬香茅草精油进行了提取, 结果表明, 前 10 min 内提取率已达到 43.48%, 均与本文的结果不同。这可能是因为, 迷迭香和柠檬香茅草的主要成分为桉叶油醇和香叶醛, 两者均为单萜类物质, 挥发性较高, 在蒸馏初期会蒸出。而广藿香精油的主要成分为广藿香醇, 是倍半萜类物质, 挥发性较低, 需要较长的蒸馏时间才能蒸出。PETROVIĆ 等 [22] 的研究结果也证实, 在不同蒸馏时段的意大利蜡菊 (*Helichrysum italicum*) 成分中, 单萜类化合物在最初的馏分中含量较高, 而倍半萜类化合物则在蒸馏结束时增加。

2.2 不同蒸馏时段对精油成分的影响

图 1 为不同蒸馏时段的广藿香精油的 GC-MS 离子流图, 成分见表 1 和表 2。

从图 1 和表 1、表 2 可以看出, 0~10、10~30、30~60、60~360 min 4 个蒸馏时段精油和 0~360 min 全馏时段精油分别鉴定出 21、21、20、21 和 21 种成分, 相对含量分别为 85.14%、85.93%、87.71%、87.68% 和 86.60%。





a—0~10 min; b—10~30 min; c—30~60 min; d—60~360 min;
e—0~360 min

图 1 不同蒸馏时段广藿香精油的 GC-MS 离子流图
Fig. 1 GC-MS ion current diagrams of essential oils from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. collected at different distillation periods

从表 1 可以看出, 0~10 和 10~30 min 蒸馏时段精油中主要成分分别为广藿香醇 (49.22% 和 50.82%, 相对含量, 下同)、广藿香酮 (5.21% 和 7.49%)、 α -布黎烯 (5.03% 和 3.97%)、塞舌尔烯 (4.23% 和 3.91%) 和石竹素 (4.21% 和 3.51%)。30~60、60~360 和 0~360 min 蒸馏时段精油中主要成分分别为广藿香醇 (50.47%、39.07% 和 45.35%)、广藿香酮 (8.60%、12.15% 和 9.87%)、 α -布黎烯 (4.40%、7.23% 和 6.06%)、塞舌尔烯 (4.90%、5.75% 和 6.51%) 和 β -广藿香烯 (4.40%、5.24% 和 4.48%)。其中, 广藿香醇的相对含量均为最高, 4 个蒸馏时段其相对含量分别为 49.22%、50.82%、50.47% 和 39.07%。广藿香醇是一种三环倍半萜, 其在免疫调节、抗炎、抗氧化、抗黏膜炎和抗肿瘤等方面具有多种对健康有益的作用^[23]。与已报道文献^[19,24-28]的研究结果中藿香醇的相对含量 (9.97%~43.05%) 对比发现, 广西桂林产广藿香精油中广藿香醇的相对含量较高 (45.35%)。

从表 2 可以看出, 萜类物质是广藿香精油的主要组成, 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 蒸馏时段精油中, 萜类物质的相对含量分别为 85.07%、84.54%、87.60% 和 87.31%。在天然产物中, 萜烯及其衍生物, 即含有不同官能团的萜烯是植物次生代谢物当中数量和种类最多的一类^[29]。

表 1 不同蒸馏时段广藿香精油不同化合物相对含量

Table 1 Relative content of different compounds of essential oils collected from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. at different distillation periods

序号	化合物	分子式	相对含量/%				
			0~10 min	10~30 min	30~60 min	60~360 min	0~360 min
1	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.05	0.03	0.02	0.01	0.03
2	(1R)-(+)-诺蒎酮	C ₉ H ₁₄ O	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
3	α -松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4	(-)-桃金娘烯醛	C ₁₀ H ₁₄ O	0.05	0.02	—	0.01	0.01
5	Z-二氢香芹酮	C ₁₀ H ₁₆ O	0.16	0.07	0.03	0.02	0.05
6	β -广藿香烯	C ₁₅ H ₂₄	2.37	3.38	4.40	5.24	4.48
7	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	0.31	0.28	0.30	0.54	0.46
8	巴豆烷	C ₁₅ H ₂₄	0.31	0.25	0.27	0.46	0.42
9	β -石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.65	0.52	0.61	1.10	0.89
10	塞舌尔烯	C ₁₅ H ₂₄	4.23	3.91	4.90	5.75	6.51
11	α -愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	3.26	2.45	1.85	3.43	2.49
12	α -广藿香烯	C ₁₅ H ₂₄	2.31	1.68	1.83	3.41	2.90
13	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	1.33	1.32	1.55	2.48	1.91
14	愈创木-8,4-二烯	C ₁₅ H ₂₄	0.79	0.62	0.65	1.08	0.86
15	α -布黎烯	C ₁₅ H ₂₄	5.03	3.97	4.40	7.23	6.06
16	广藿香萜醇	C ₁₄ H ₂₂ O	3.79	3.43	2.89	1.50	2.06
17	石竹素	C ₁₅ H ₂₄ O	4.21	3.51	2.69	1.30	2.07
18	广藿香醇	C ₁₅ H ₂₆ O	49.22	50.82	50.47	39.07	45.35
19	莎草奥酮	C ₁₅ H ₂₂ O	1.80	2.10	2.13	2.51	2.00
20	广藿香酮	C ₁₂ H ₁₆ O ₄	5.21	7.49	8.60	12.15	9.87
21	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.02	0.04	0.06	0.39	0.12

注: “—”表示未检测出。下同。

表 2 不同蒸馏时段广藿香精油化合物成分相对含量
Table 2 Relative content of components of essential oils from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. collected at different distillation periods

鉴定确认成分	相对含量/%				
	0~ 10 min	10~ 30 min	30~ 60 min	60~ 360 min	0~ 360 min
醛类	0.10	0.05	0.02	0.02	0.04
醇类	53.03	54.27	53.36	40.59	47.43
酸类	0.02	0.04	0.06	0.39	0.12
酮类	7.19	9.68	10.77	14.69	11.93
环氧	4.21	3.51	2.69	1.30	2.07
碳氢	40.59	18.38	20.76	30.72	26.98
杂环	5.21	7.49	8.6	12.15	9.87
单萜烯类	—	—	—	—	—
含氧单萜类	0.25	0.13	0.06	0.06	0.09
倍半萜烯类	20.59	17.06	20.76	30.72	26.98
含氧倍半萜类	64.23	67.35	66.78	56.53	61.35

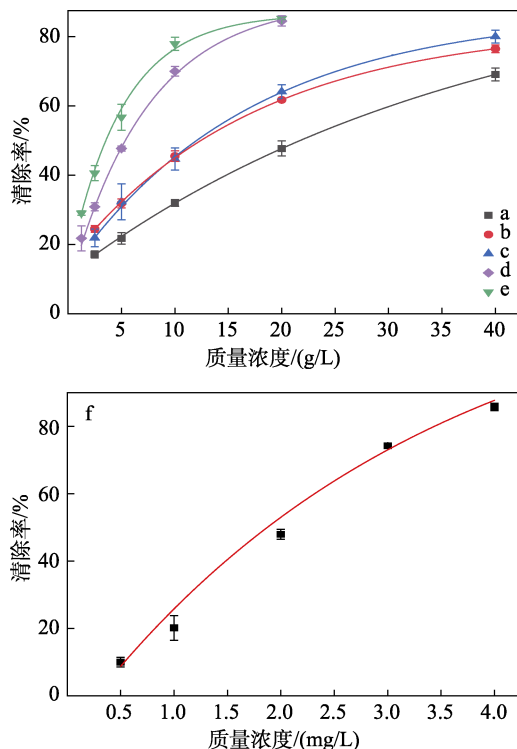
萜类化合物具有多种生物活性,包括抗癌、抗炎、抗氧化、抗菌和抗病毒。近年来,萜类化合物的抗癌活性得到了广泛研究,其可以对抗包括黑色素瘤在内的各种类型的癌症,因此,在黑色素瘤治疗中使用萜烯做辅助疗法引起人们的关注^[30],此外,萜类化合物在色素、香精、香料、药物和聚合物等方面有着广泛的商业应用^[31]。

从表 1 还可以看出,蒸馏时间对精油的成分也有显著的影响,0~10、10~30、30~60 min 蒸馏时段精油中,广藿香醇的相对含量基本一致,分别为 49.22%、50.82%和 50.47%,在 60~360 蒸馏时段精油中,广藿香醇的相对含量明显降至 39.07%。一些含氧单萜类化合物随着蒸馏时间的增长相对含量有所下降,如桃金娘烯醛相对含量从 0.05%降至 0.01%,这可能是因为,单萜类物质的挥发性较高;而一些倍半萜烯及倍半萜氧化物的挥发性较低,其相对含量随着蒸馏时间的增长而升高,如塞舌尔烯和广藿香酮,其相对含量分别由 4.23%和 5.21%升至 5.75%和 12.15%,但是一些成分相对含量随蒸馏时间的变化是不规律的, β -榄香烯、 β -石竹烯等化合物的相对含量随着蒸馏时间的增长先下降后上升,这与文献[32]考察的不同蒸馏时间对牛至精油成分影响的研究结果类似, α -水芹烯、柠檬烯、 α -松油烯、香树烯、1,8-桉叶素、松油醇烯和 α -松油醇等的相对含量随着蒸馏时间的增长先降低后增加,直至蒸馏结束。

2.3 蒸馏时段对广藿香精油的抗氧化活性影响

2.3.1 DPPH·清除能力分析

图 2 为不同蒸馏时段提取的广藿香精油的 DPPH·清除率。其 IC_{50} 见表 3。



a—0~10 min 蒸馏时段广藿香精油; b—10~30 min 蒸馏时段广藿香精油; c—30~60 min 蒸馏时段广藿香精油; d—60~360 min 蒸馏时段广藿香精油; e—0~360 min 蒸馏时段广藿香精油; f—V_C

图 2 不同蒸馏时段广藿香精油对 DPPH·的清除能力
Fig. 2 Scavenging ability of essential oils from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. collected at different distillation periods on DPPH·

表 3 不同蒸馏时段广藿香精油的抗氧化活性
Table 3 Antioxidant activity of essential oils from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. collected at different distillation periods

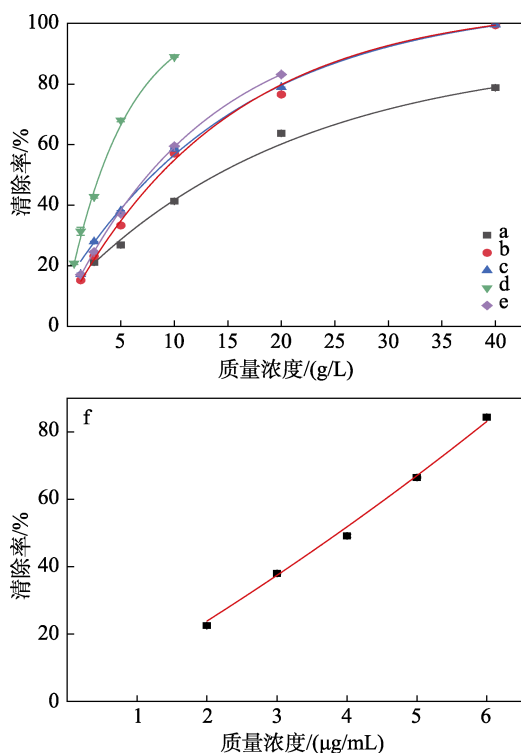
样品	$IC_{50}/(g/L)$	
	DPPH·	ABTS ⁺
0~10 min 蒸馏时段广藿香精油	21.75	13.91
10~30 min 蒸馏时段广藿香精油	12.45	8.62
30~60 min 蒸馏时段广藿香精油	12.03	8.00
60~360 min 蒸馏时段广藿香精油	3.54	3.02
0~360 min 蒸馏时段广藿香精油	5.36	7.56
V _C	1.88×10^{-3}	3.88×10^{-3}

从图 2 可以看出,0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 蒸馏时段的广藿香精油对 DPPH·的清除率随着精油质量浓度的升高而变大,而相同质量浓度的 0~10、10~30、30~60 和 60~360 min 蒸馏时段的广藿香精油对 DPPH·清除率也有明显差异,质量浓度 5 g/L 的对应广藿香精油对 DPPH·清除率分别为 21.74%、31.85%、32.30%和 56.73%。

从表 3 可以看出,0~10、10~30、30~60、60~360 min 蒸馏时段广藿香精油及 0~360 min 全馏时段广藿香精油清除 DPPH·的 IC_{50} 分别为 21.75、12.45、12.03、3.54 和 5.36 g/L。

2.3.2 ABTS⁺清除能力分析

图3为不同蒸馏时段提取的广藿香精油的ABTS⁺清除率。其IC₅₀见表3。



a—0~10 min 蒸馏时段广藿香精油; b—10~30 min 蒸馏时段广藿香精油; c—30~60 min 蒸馏时段广藿香精油; d—60~360 min 蒸馏时段广藿香精油; e—0~360 min 蒸馏时段广藿香精油; f—V_c

图3 不同蒸馏时段广藿香精油对ABTS⁺的清除能力
Fig. 3 Scavenging ability of essential oils from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. on ABTS⁺ collected at different distillation periods

从图3可以看出,0~10、10~30、30~60、60~360 min 蒸馏时段的广藿香精油对ABTS⁺的清除率均随精油质量浓度的升高而增大,而相同质量浓度的0~10、10~30、30~60和60~360 min 馏时段广藿香精油对ABTS⁺清除率也有明显差异,质量浓度为5 g/L的对应香精油对ABTS⁺的清除率分别为26.86%、33.33%、38.10%和68.10%。

从表3可以看出,0~10、10~30、30~60和60~360 min 蒸馏时段广藿香精油及0~360 min全馏时段广藿香精油清除ABTS⁺的IC₅₀分别为13.91、8.62、8.00、3.02和7.56 g/L。

IC₅₀与抗氧化能力呈负相关^[33]。从表3可以看出,相比其他蒸馏时段广藿香精油,60~360 min 蒸馏时段广藿香精油清除DPPH[•]和ABTS⁺的IC₅₀(3.54和3.02 g/L)最小,即抗氧化能力最强。不同蒸馏时段广藿香精油的抗氧化能力的高低顺序为60~360 min>0~360 min>30~60 min>10~30 min>0~10 min。广藿香醇是广藿香精油中分离出的主要

生物活性成分,其具有显著的抗氧化活性^[34],然而,在60~360 min 蒸馏时段,广藿香醇的相对含量(39.07%)低于其他3个馏段。有研究表明^[33,35],精油的抗氧化活性是各成分之间协同或拮抗的结果,没有一种成分甚至一组组分是产生这种结果的原因。因此,需要更多的研究来了解每种复杂精油提取物中可能的增效以及拮抗作用。

3 结论

本文探究了蒸馏时间对广西产广藿香精油的提取率、成分及抗氧化活性的影响,结论如下:

(1)采用水蒸气蒸馏法提取不同蒸馏时段广藿香精油,0~10、10~30、30~60和60~360 min 蒸馏时段精油的提取率分别为0.14%±0.01%、0.18%±0.01%、0.20%±0.02%和0.57%±0.03%,60~360 min 蒸馏时段的提取率最高,占总提取量的52.29%。

(2)通过GC-MS分析,0~10、10~30、30~60和60~360 min 4个蒸馏时段的广藿香精油分别鉴定出了21、21、20和21种成分,不同蒸馏时段精油以倍半萜类化合物为主,所含有的成分基本相同,但各成分的相对含量差别较大,各蒸馏时段精油中广藿香醇的相对含量均为最高,其后依次为广藿香酮、 α -布黎烯、塞舌尔烯。

(3)抗氧化活性评价表明,蒸馏时间对精油的抗氧化能力存在一定影响。不同蒸馏时段精油清除DPPH[•]、ABTS⁺的能力高低顺序为60~360 min>0~360 min>30~60 min>10~30 min>0~10 min。

不同蒸馏时段的广藿香精油的抗氧化能力与其精油成分不同密切相关,具体作用机理还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] WU T L, ZHANG B Q, LUO X F, *et al.* Antifungal efficacy of sixty essential oils and mechanism of oregano essential oil against *Rhizoctonia solani*[J]. *Industrial Crops and Products*, 2023, 191: 115975-115985.
- [2] GALOVIČOVÁ L, ČMIKOVÁ N, SCHWARZOVÁ M, *et al.* Biological activity of *Cupressus sempervirens* essential oil[J]. *Plants*, 2023, 12(5): 1097-1119.
- [3] OUAKOUAK H, BENARFA A, MESSAOUDI M, *et al.* Biological properties of essential oils from *Thymus algeriensis* Boiss[J]. *Plants*, 2021, 10(4): 786-807.
- [4] YANG Y, ISMAN M B, TAK J H. Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *Cinnamomum cassia* bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky[J]. *Insects*, 2020, 11(8): 474-489.
- [5] ELSHAFIE H S, CAMELE I. Plant essential oil with biological activity (II)[J]. *Plants*, 2023, 12(20): 3616-3620.
- [6] SINGH S, AGRAWAL N. Exploring the pharmacological potential and bioactive components of *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. traditional Chinese medicine[J]. *Pharmacological Research-Modern*

- Chinese Medicine, 2024, 10: 100382-100386.
- [7] SRIVASTAVA S, LAL R K, SINGH V R, *et al.* Chemical investigation and biological activities of *Patchouli* [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] essential oil[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 188: 115504-115551.
- [8] PENG X J, ANG S, ZHANG Y Z, *et al.* Chemical constituents with antiproliferative activity from *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.[J]. Frontiers in Chemistry, 2022, 10: 938851.
- [9] LIANG P, PENG X, HU G E, *et al.* Four new sesquiterpenoids from the aerial parts of *Pogostemon cablin* (Blanco.) Benth. and their hypoglycemic activity[J]. Fitoterapia, 2024, 177: 106054-106055.
- [10] LAL R K, CHANOTIYA C S, SINGH V R, *et al.* Genotype-environment interaction and genotype selection for yield stability in the commercially important patchouli [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] crop[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 205: 117400.
- [11] VERMA R S, PADALIA R C, CHAUHAN A. Assessment of similarities and dissimilarities in the essential oils of patchouli and Indian valerian[J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(5): 487-491.
- [12] SUNDARESAN V, SINGH S P, MISHRA A N, *et al.* Composition and comparison of essential oils of *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. (Patchouli) and *Pogostemon travancoricus* Bedd. var. *travancoricus*[J]. Journal of Essential Oil Research, 2009, 21(3): 220-222.
- [13] CHEN H, YANG M R, SHANG X L, *et al.* *Pogostemon cablin* essential oil as feed additive promotes the repair of the rumen epithelial barrier in heat-stressed beef cattle[J]. Animal Nutrition, 2024, 18: 433-440.
- [14] KUMAR A, SHARMA N, CHANOTIYA C S, *et al.* The pharmacological potential and the agricultural significance of the aromatic crop Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth.): A review[J]. Ecological Frontiers, 2024, 44(6): 1109-1118.
- [15] BAYDAR H, SAĞDIC Ö, ÖZKAN G, *et al.* Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey[J]. Food Control, 2004, 15(3): 169-172.
- [16] ERMAYA D, HIDAYAT F, PATRIA A, *et al.* The influence of raw materials area, methods and distillation time of aceh patchouli oil[J]. Journal of Physics Conference Series, 2019, 1232(1): 012001-012006.
- [17] HAO W F (郝文凤), TIAN Y H (田玉红), DONG F (董菲), *et al.* Chemical composition and antioxidant activities of the essential oil from *Ocimum basilicum* L. var. *majus* Benth. and *Citrus maxima*[J]. The Food Industry (食品工业), 2021, 42(1): 206-211.
- [18] YUAN M Y (原梦瑶), KANG S H (康淑荷), CUI L J (崔璐娟), *et al.* Optimization of ultrasonic extraction process for polysaccharides from *Radix Hedysari* and their antioxidant, whitening, moisture absorption and moisturizing activities[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2025, 42(3): 577-586.
- [19] ZHOU X K (周旭凯), TIAN Y H (田玉红), DONG F (董菲), *et al.* Volatile components and antioxidant properties of *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.[J]. Natural Product Research and Development (天然产物研究与开发), 2020, 32(10): 1709-1716.
- [20] ZHOU X K (周旭凯), ZHANG Q (张倩), TIAN Y H (田玉红), *et al.* Chemical constituents and antioxidant activity of essential oil in *Rosmarinus officinalis* at different distillation periods[J]. Chinese Traditional Patent Medicine (中成药), 2022, 44(10): 3200-3206.
- [21] HE L L (何玲利), ZHANG Q (张倩), LING Y Z (凌玉钊), *et al.* Chemical composition and antioxidant activity of essential oil collected at different distillation periods from *Cymbopogon citratus* (DC) stapf in Guangxi[J]. Food Research & Development (食品研究与开发), 2024, 45(21): 10-17.
- [22] PETROVIĆ M, PETROVIĆ V, MLINAR Z, *et al.* Duration of steam distillation affects essential oil fractions in immortelle (*Helichrysum italicum*)[J]. Horticulturae, 2024, 10(2): 183-197.
- [23] JAIN P L B, PATEL S R, DESAI M A. Enrichment of patchouli alcohol in patchouli oil by aiding sonication in hydrotropic extraction[J]. Industrial Crops and Products, 2020, 158: 113011.
- [24] CABALLERO-GALLARDO K, FUENTES-LOPEZ K, STASHENKO E E, *et al.* Chemical composition, repellent action, and toxicity of essential oils from *Lippia origanoides*, *Lippia. alba* Chemotypes, and *Pogostemon cablin* on adults of *Ulomoides dermestoides* (Coleoptera: Tenebrionidae)[J]. Insects, 2022, 14(1): 41-54.
- [25] LI Q Q, HUO Y Y, CHEN C J, *et al.* Biological activities of two essential oils from *Pogostemon cablin* and *Eupatorium fortunei* and their major components against fungi isolated from *Panax notoginseng* [J]. Chemistry & Biodiversity, 2020, 17(12): e2000520.
- [26] TEMPERINI M B D S, FORTUNATO A B R, CAMPOS D R, *et al.* Insecticidal activity *in vitro* of the essential oil of *Pogostemon cablin* against *Ctenocephalides felis felis*[J]. Brazilian Journal of Veterinary Medicine, 2022, 44: e003422.
- [27] GAO J (高静), ZHAO Z L (赵智龙), TANG S S (唐莎莎), *et al.* Principal component analysis of volatile oil and RAPD analysis of genetic polymorphism of *Pogostemon cablin* from different habitats[J]. Chemistry & Bioengineering (化学与生物工程), 2020, 37(10): 58-63.
- [28] SSANTOS A A, FARDER-GOMES C F, RIBEIRO A V, *et al.* Lethal and sublethal effects of an emulsion based on *Pogostemon cablin* (*Lamiaceae*) essential oil on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(30): 45763-45773.
- [29] LIMA E, MEDEIROS J. Terpenes as potential anti-Alzheimer's disease agents[J]. Applied Sciences, 2024, 14(9): 3898.
- [30] WRÓBLEWSKA-LUCZKA P, CABAJ J, BARGIEL J, *et al.* Anticancer effect of terpenes: Focus on malignant melanoma[J]. Pharmacological Reports, 2023, 75(5): 1115-1125.
- [31] POLITO J T. Terpene biosynthesis in plant glandular trichomes[M]. Pullman: Washington State University, 2023.
- [32] TOKER R, GÖLÜKCÜ M, TOKGÖZ H. Effects of distillation times on essential oil compositions of *Origanum minutiflorum* O. Schwarz Et. and P.H. Davis[J]. Journal of Essential Oil Research, 2017, 29(4): 330-335.
- [33] KERBOUCHE L, HAZZIT M, BAALIOUAMER A, *et al.* Distillation time effecting on the composition of *Origanum floribundum* essential oils and their antioxidant and antimicrobial activities[J]. Zeitschrift Für Naturforschung C, 2021, 76(3/4): 153-160.
- [34] DANTAS T N C, CABRAL T J O, NETO A A D, *et al.* Enrichment of patchouli extracted from patchouli (*Pogostemon cablin*) oil by molecular distillation using response surface and artificial neural network models[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020, 81: 219-227.
- [35] ZHELJAZKOV V D, ASTATKIE T, HORGAN T, *et al.* Distillation time effect on essential oil yield, composition, and antioxidant capacity of sweet sagewort (*Artemisia annua* L.) oil[J]. HortScience, 2013, 48(10): 1288-1292.