

doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2020.01.012

樟树叶精油组成分析及抗氧化活性研究



LI Jiaxin

李嘉欣^{1,2}, 孟斌斌^{1,2}, 朱凯^{1,2*}

(1.南京林业大学 化学工程学院,江苏 南京 210037; 2.南京林业大学 江苏省林业
资源高效加工利用协同创新中心,江苏 南京 210037)

摘 要:采用气相色谱-质谱法对不同化学类型樟树叶精油组成进行分析,对比4种樟树叶精油的成分差异;采用DPPH、ABTS、FRAP法对樟树叶精油的体外抗氧化活性进行评价,并使用丁基羟基茴香(BHA)作为阳性对照。研究结果表明:4种类型樟树叶精油共检测出46种主要化学成分,其中,异樟叶精油检测出35种化学成分,主要成分异橙花叔醇为29.48%;芳樟叶精油检测出33种成分,主要成分芳樟醇为71.91%;脑樟叶精油检测出33种化学成分,主要成分樟脑为46.28%;油樟叶精油中共检测出33种化学成分,主要成分1,8-桉叶素为30.31%。4种樟树叶精油均具有一定的抗氧化活性,且随着精油浓度增加抗氧化能力增强,但其抗氧化能力均低于BHA。其中,脑樟叶精油的DPPH自由基清除能力及 Fe^{3+} 还原能力最强,当质量浓度为8 g/L时,脑樟叶精油的DPPH自由基清除率为 $30.34\% \pm 1.25\%$,FRAP值为 $(1.44 \pm 0.13) \text{ mmol/L}$;而异樟叶精油的ABTS自由基清除能力最强,当质量浓度为8 g/L时,异樟叶精油的ABTS自由基清除率为 $14.93\% \pm 2.32\%$ 。

关键词:樟树叶精油;气相色谱-质谱联用;抗氧化活性

中图分类号:TQ35

文献标识码:A

文章编号:0253-2417(2020)01-0084-07

引文格式:李嘉欣,孟斌斌,朱凯.樟树叶精油组成分析及抗氧化活性研究[J].林产化学与工业,2020,40(1):84-90.

Components and Antioxidant Activity of Camphor Leaves Essential Oil

LI Jiaxin^{1,2}, MENG Binbin^{1,2}, ZHU Kai^{1,2}

(1.College of Chemical Engineering,Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2.Co-Innovation Center of Efficient Processing and Utilization of Forest Resources,
Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Four different chemical types of camphor leaves essential oils were extracted by steam distillation and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry to compare their compositional differences. The antioxidant activity of camphora leaves essential oil was evaluated by DPPH, ABTS and FRAP, and butylated hydroxyl anisole (BHA) was used as positive control. The results showed that 46 kinds of main chemical components were detected in four chemical types of camphor oils. Among them, 35 kinds of chemical components were detected in the isonerolidol type oil, and the main component was isonerolidol, which was 29.48%. A total of 33 chemical components were detected in linalool type oil, and the main component was linalool, which was 71.91%. A total of 33 chemical components were detected in camphor type oil, and the main component was camphor, which was 46.28%. A total of 33 chemical components were detected in cineol type oil, and the main components was 1,8-cineole, which was 30.31%. The four chemical types of camphora oils all exhibited a certain scavenging effects on DPPH radical, ABTS radical and reducing power in a concentration-dependent manner. But their antioxidant capacity was lower than BHA. Among them, camphor type oil exhibited the strongest of DPPH and scavenging ability and Fe^{3+} reducing power. When the concentration was 8 g/L, the DPPH radical scavenging rate of camphor type oil was $30.34\% \pm 1.25\%$, FRAP value was $(1.44 \pm 0.13) \text{ mmol/L}$. isonerolidol type oil showed the strongest ABTS radical scavenging ability. When the concentration was 8 g/L, the ABTS radical scavenging rate of isonerolidol type oil was $14.93\% \pm 2.32\%$.

Key word: camphora leaves essential oil; gas chromatography-mass spectrometry; antioxidant activity

樟树是樟科樟属植物中经济价值较高的树种之一,主要分布于中国南方各省的亚热带。从樟树叶中

收稿日期:2019-08-20

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFD0600405);江苏高校优势学科建设工程项目(无编号);

作者简介:李嘉欣(1995—),女,宁夏银川人,硕士生,主要从事香精香料方面的研究;E-mail:568383957@qq.com

*通讯作者:朱凯,硕士生导师,主要从事香精香料领域的研究;E-mail:zhukai53@163.com。

提取的挥发性精油富含芳樟醇、1,8-桉叶油素、樟脑、异-橙花叔醇和龙脑等重要天然成分^[1],且具有芳香、医疗和驱虫等作用而成为医药卫生、化工、食品、香料的重要原料。此外,樟树叶为可再生资源,其应用前景广阔^[2]。根据樟树枝叶精油中所含主成分的不同,可将樟树分为脑樟(主要含有樟脑)、芳樟(芳樟醇)、油樟(桉油素)、异樟(异-橙花叔醇)和龙脑樟(右旋龙脑)等 5 种化学类型^[3-4]。生物体在自然代谢过程中均会产生自由基,自由基及其引发的氧化反应,会加快食品氧化、加速人体衰老^[5],甚至还可能造成一系列疾病,如癌症、糖尿病、神经退行性疾病、心血管疾病和炎症^[6-7]。因此,通过对体内外自由基的清除,能够起到延长食品保质期、延缓人体衰老、减少疾病的作用。目前,在食品、医药等领域大多使用合成的抗氧化剂,如 Vc、丁基羟基茴香醚(BHA)和没食子酸丙酯(PG)等^[8]。这些合成的抗氧化剂都有一定的毒副作用,会造成或多或少的不利影响,长期服用,可能会对身体健康造成危害^[9]。近年来,氧化应激对人体健康的影响已经被越来越多的人关注,人们更希望寻找绿色、天然、健康的抗氧化剂来代替合成的抗氧化剂^[10-11]。迄今为止,很多植物的精油都含有丰富多样的抗氧化活性成分,而精油含量丰富的芳香植物原料则成为目前研究的重点^[12]。目前,对于不同化学类型樟树精油的成分分析及抗氧化活性方面的研究很少,基于此,本研究采用 GC-MS 对异樟、脑樟、油樟和芳樟 4 种樟树叶精油的化学组成进行分析,并研究其成分差异和体外抗氧化活性,以期对樟树资源高效高质的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

新鲜樟树叶片于 2019 年 2 月采自南京林业大学校园内,樟树叶分别摘自 4 种樟树(芳樟、脑樟、异樟和油樟),自然风干,粉碎,备用。

TRACE 1300-ISQ 型气相-质谱联用仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);TU-1900 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

1.2 樟叶精油的提取

分别称取 100 g 经粉碎的 4 种樟树叶片,装入 1 000 mL 四口烧瓶中,蒸馏水的料液比为 1:8 (g:mL),水蒸气蒸馏 5 h,待冷却后用乙醚萃取,并分离后得到精油,置于 4 ℃ 下保存待用。

1.3 GC-MS 分析

色谱条件:色谱柱 DB-5MS;初温 68 ℃,以 15 ℃/min 升温至 150 ℃,然后以 5 ℃/min 升温至 200 ℃,再以 15 ℃/min 升温至 280 ℃,进样口温度为 250 ℃。FID 检测器温度为 280 ℃;0.1 μL 进样量,载气为氦气。采用面积归一法确定各化学组分的相对质量分数。

质谱条件:EI 离子源 250 ℃,四级杆 150 ℃;电子能量 70eV;电子倍增管电压 1 347 V,扫描质量范围 45~450 u。

1.4 樟叶精油抗氧化活性测定

1.4.1 DPPH 自由基清除能力测定 DPPH 自由基(DPPH·)在有机溶剂中较为稳定,溶于乙醇呈紫色,在 517 nm 附近有强吸收。向 DPPH 溶液中加入抗氧化剂时,DPPH 的单电子被配对,在 517 nm 处的吸光度变小,颜色变浅,且颜色越浅说明所加入的抗氧化剂对 DPPH·的清除能力越强^[13]。因此,可通过测定样品在 517 nm 处的吸光度值来判定其抗氧化能力。

称取 3.94 mg(0.01 mmol)DPPH,用无水乙醇溶解,配制成 0.1 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液,贮存于棕色容量瓶中,并置于暗处备用。将 4 种化学类型樟树叶精油样品分别溶于无水乙醇中,配置成质量浓度为 0.5、1.0、2.0、4.0 和 8.0 g/L 的精油溶液。分别取不同质量浓度的精油溶液 2 mL,加入 2 mL 配好的 DPPH 溶液,摇匀后,置于暗处反应 30 min,测定其在波长 517 nm 处的吸光度值,记为 A_1 ;用 2 mL 无水乙醇代替样品液作为对照组,测定其在波长 517 nm 处的吸光度值,记为 A_0 。每组重复 3 次,取平均值,按以下公式计算 DPPH·清除率:

$$y = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$$

式中: y —DPPH 自由基清除率,%; A_1 —加入 DPPH 的精油溶液吸光度值; A_0 —加入 DPPH 的无水乙醇吸光度值。

1.4.2 ABTS 自由基清除能力测定 配好的 ABTS 溶液呈墨绿色,向其中加入抗氧化剂后,ABTS 自由基($\cdot\text{ABTS}^+$)的产生会被抑制,使在最大吸收波长 734 nm 处测得的吸光度值随氧化剂氧化能力的增强而减小^[14],从而计算出样品的抗氧化能力。

分别配置 7 mmol/L 的 ABTS 溶液与 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液,配好后的溶液按物质的量比 1:1 混合,摇匀使之充分反应,并置于暗处 12 ~ 16 h 形成 $\cdot\text{ABTS}^+$ 溶液,随后用无水乙醇稀释至其在波长 734 nm 处的吸光度为 0.70 ± 0.02 。分别取 0.2 mL 质量浓度为 0.5、1.0、2.0、4.0 和 8.0 g/L 的精油溶液于 5 mL 离心管中,加入 3.8 mL $\cdot\text{ABTS}^+$ 溶液,摇匀后于室温下放置 10 min,测定其在波长 734 nm 处的吸光度值,记为 A'_1 ;对照组用 0.2 mL 无水乙醇代替精油溶液,测定其在波长 734 nm 处的吸光度值记为 A'_0 。每组重复 3 次,取平均值,按以下公式计算 ABTS 自由基清除率:

$$y = (A'_0 - A'_1) / A'_0 \times 100\%$$

式中: y —ABTS 自由基清除率,%; A'_1 —加入 $\cdot\text{ABTS}^+$ 的精油溶液吸光光度值; A'_0 —加入 $\cdot\text{ABTS}^+$ 的无水乙醇吸光光度值。

1.4.3 总抗氧化能力测定 FRAP 法是以氧化还原反应为基础,在酸性条件下, Fe^{3+} 与三吡啶基三嗪(TPTZ)形成复合物(Fe^{3+} -TPTZ),当加入抗氧化剂时,形成的复合物被还原为二价铁而变为蓝色,且在其最大吸收波长 593 nm 处的吸光度值减小^[15]。因此,可以将此法作为测定样品总抗氧化能力的一种方法。精油的总抗氧化能力以 FRAP 值表示:1FRAP = 1 mmol/L FeSO_4 ,即样品的抗氧化能力相当于 FeSO_4 的浓度。

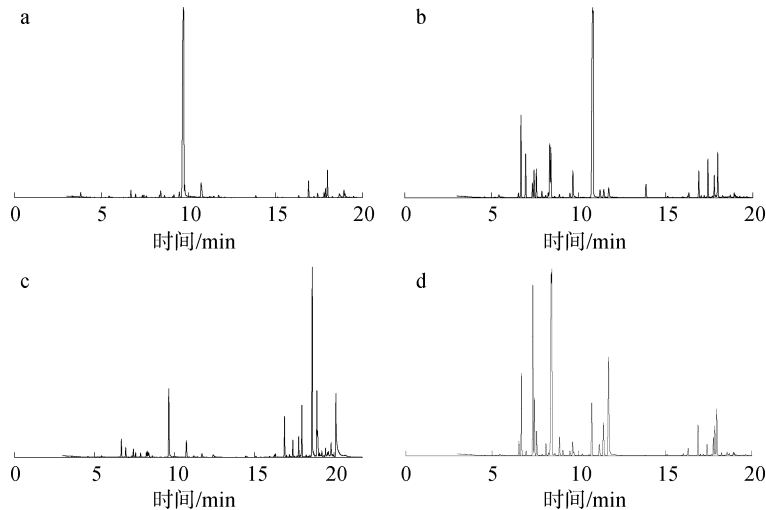
分别取不同质量浓度的 FeSO_4 溶液 0.1 mL,各加入 2.9 mL TPTZ 工作液,37 ℃ 下反应 10 min,测定其在波长为 593 nm 处的吸光度。以吸光度为纵坐标, FeSO_4 质量浓度为横坐标绘制标准曲线,曲线方程为 $Y = 0.3502 + 0.9066X$, $R^2 = 0.9949$ 。

分别取 0.2 mL 质量浓度为 0.5、1.0、2.0、4.0 和 8.0 g/L 的精油溶液于 5 mL 离心管中,加入 3.8 mL TPTZ 工作液(0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液,10 mmol/L TPTZ 溶液,20 mmol/L FeCl_3 溶液以 $V(\text{醋酸盐缓冲液}):V(\text{TPTZ 溶液}):V(\text{FeCl}_3 \text{ 溶液}) = 10:1:1$ 混合,现用现配),37 ℃ 下反应 10 min,测定其在波长为 593 nm 处的吸光度。每组重复 3 次,取平均值。通过 FeSO_4 标准曲线,分别得到 4 种不同化学类型樟树叶精油的 FRAP 值。

2 结果与分析

2.1 樟树叶精油成分分析结果

采用 GC-MS 对不同化学类型樟树叶精油化学组成进行分析,GC-MS 分析总离子流色谱图见图 1。



a. 芳樟 linalool; b. 脑樟 camphor; c. 异樟 isonerolidol; d. 油樟 cineol

图 1 不同樟树叶精油的 GC-MS 总离子流图

Fig 1 Total ion flow diagram of camphor leaves essential oil

按峰面积归一化法计算各组分的质量分数,经计算机标准谱图库检索对比,同时参考有关文献进行人工检索,确定精油中的化合物组成,分析结果见表 1。

表 1 不同化学型樟叶油的化学组分
Table 1 Chemical groups of different camphor leaves essential oil

编号 No.	化合物名称 compounds name	保留时间/min retention time	GC 含量 GC content/%			
			芳樟 linalool	脑樟 camphor	异樟 isonerolidol	油樟 cineol
1	4-甲基-2-戊酮 4-methyl-2-pentanone	3.80	0.70	—	—	—
2	正己醛 hexanal	4.58	0.05	0.05	0.10	0.04
3	二丙酮醇 diacetone alcohol	5.21	0.05	0.05	—	0.03
4	反式-3-己烯-1-醇 cis-3-hexen-1-ol	5.43	0.36	0.36	—	0.14
5	叶醇 leaf alcohol	5.44	—	—	0.23	—
6	α -蒎烯 α -pinene	6.68	1.11	7.19	2.34	6.09
7	莰烯 camphene	6.95	0.59	4.07	1.30	0.36
8	桉烯 sabinene	7.34	0.35	1.29	0.15	15.52
9	β -蒎烯 β -pinene	7.43	0.43	2.26	1.15	4.33
10	月桂烯 myrcene	7.57	0.29	2.59	0.64	1.88
11	水芹烯 α -phellandrene	7.88	—	0.62	0.58	0.08
12	对伞花烃 p-cymene	8.26	—	—	—	0.14
13	(+)-柠檬烯(+)-dipentene	8.33	—	5.18	0.77	—
14	1,8-桉叶油素 1,8-cineole	8.40	1.48	4.61	0.63	30.31
15	罗勒烯 α -ocimene	8.62	0.37	0.10	0.21	0.15
16	松油烯 α -terpinene	8.89	0.08	0.35	—	1.65
17	顺- α , α -5-三甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-甲醇 cis- α , α ,5-trimethyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-methanol	9.16	0.70	—	—	—
18	萜品油烯 terpinolene	9.49	—	0.52	—	1.45
19	芳樟醇 linalool	9.70	71.91	3.04	10.97	1.42
20	3-辛烯-2-醇 3-octen-2-ol	10.72	4.22	—	—	—
21	樟脑 camphor	10.81	—	46.28	2.80	5.57
22	异龙脑 isoborneol	11.21	0.16	0.96	0.23	1.28
23	(-)-4-萜品醇(-)-terpinen-4-ol	11.44	0.22	0.98	0.11	3.43
24	α -松油醇 α -terpineol	11.72	0.60	1.25	0.70	11.27
25	(R)-3,7-二甲基-6-辛烯醇(R)-(+)- β -citronellol	12.44	—	—	0.55	—
26	左旋乙酸冰片酯 L-bornyl acetate	13.86	0.40	1.67	—	0.06
27	(-)- α -萜澄茄油烯(-)- α -cubebene	15.39	0.12	—	—	—
28	β -波旁烯 β -bourbonene	16.26	—	0.14	0.15	—
29	β -榄香烯 β -elemene	16.33	0.38	0.51	0.30	0.81
30	反式石竹烯 caryophyllene	16.90	2.79	2.55	5.48	2.46
31	(+)-香橙烯(+)-aromandendrene	17.21	0.19	0.19	0.44	0.12
32	α -律草烯 α -caryophyllene	17.26	0.69	3.48	2.22	0.82
33	香树烯 aromadendrene	17.53	0.05	0.05	0.11	0.03
34	大根香叶烯 germacrene D	17.79	0.73	1.82	2.32	1.26
35	β -瑟林烯 β -selinene	17.87	1.30	0.18	0.15	2.16
36	牛儿烯 bicyclogermacrene	17.99	4.24	4.07	6.49	3.53
37	杜松烯 cadinene	18.26	0.17	0.22	0.25	0.20
38	水杨酸 salicylic acid	18.49	—	—	0.15	—
39	榄香醇 elemol	18.58	—	—	—	0.28
40	异橙花叔醇 isonerolidol	18.67	1.01	—	29.48	—
41	桉油烯醇 spathulenol	18.93	1.17	0.42	11.42	0.22
42	石竹素 caryophyllene oxide	19.00	0.49	0.20	0.25	0.18
43	环氧化蛇麻烯 humulene epoxide	19.25	0.07	0.08	0.68	0.03
44	蓝桉醇(-)-globulol	19.59	—	—	0.41	—
45	异香橙烯环氧化物 isoaromadendrene epoxide	19.64	—	—	0.73	—
46	蒿酮 3,3,6-trimethylhepta-1,5-dien-4-one	20.11	—	—	9.70	—

表 1 为不同樟树叶精油的 GC-MS 分析结果,4 种樟树叶精油共检测出 46 种主要化学成分,其中,共有的主要化学成分有 24 种,包括萜烯类 15 种、醇类 5 种。另外,有 10 种成分只在 2 种精油中被检测到,有 12 种成分只在 1 种精油中被检测到。

芳樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,占总挥发性物质的 97.47%,其中,萜烯类 17 种(13.88%),醇类 10 种(80.40%),精油主要成分为芳樟醇(71.91%)、牛儿烯(4.24%)、3-辛烯-2-醇(4.22%)等;脑樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,占总挥发性物质的 97.33%,其中,萜烯类 20 种(37.38%),醇类 8 种(53.34%),精油主要成分为樟脑(46.28%)、 α -蒎烯(7.19%)、(+)-柠檬烯(5.18%);异樟叶精油中共鉴定出 35 种化合物,占总挥发性物质的 94.19%,其中,萜烯类 18 种(25.05%),醇类 10 种(56.90%),精油主要成分为异橙花叔醇(29.48%)、桉油烯醇(11.42%)、芳樟醇(10.97%)、蒿酮(9.70%),其中蒿酮为异樟叶精油中独有的成分,且含量较高;油樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,其占总挥发性物质的 97.30%,其中萜烯类 18 种(42.9%),醇类 9 种(23.64%),精油主要成分为:1,8-桉叶油素(30.31%)、桉烯(15.52%)、 α -松油醇(11.27%)、 α -蒎烯(6.09%),其中桉烯和 α -松油醇的含量明显高于其它几种精油。可见,异樟叶精油中所检测到的主要化学成分种类最多,芳樟叶精油中醇类物质含量最高,油樟叶精油中萜烯类物质含量最高。

2.2 樟树叶精油的抗氧化活性

2.2.1 DPPH 自由基清除能力 4 种樟树叶精油的 DPPH 自由基清除能力比较如表 2 所示,4 种精油的 DPPH 自由基清除能力均与浓度呈现出正相关的关系。

表 2 不同樟树叶精油的 DPPH·和·ABTS⁺清除能力
Table 2 Ability of four essential oils on scavenging DPPH and ABTS free radical

种类 kinds	质量浓度/(g·L ⁻¹) concentration	DPPH·清除率/% DPPH·scavenging rate	·ABTS ⁺ 清除率/% ·ABTS ⁺ scavenging rate
芳樟 linalool	0.5	0.27	3.79
	1.0	3.36	4.35
	2.0	4.03	5.44
	4.0	12.48	6.69
	8.0	23.09	9.49
脑樟 camphor	0.5	0.40	3.92
	1.0	2.82	4.67
	2.0	11.68	5.44
	4.0	18.79	7.86
	8.0	30.34	14.15
异樟 isonerolidol	0.5	2.15	3.68
	1.0	2.42	5.29
	2.0	3.36	7.00
	4.0	9.53	9.43
	8.0	16.24	14.93
油樟 cineol	0.5	1.61	3.20
	1.0	3.09	4.04
	2.0	5.23	4.82
	4.0	17.05	5.29
	8.0	19.87	7.15
BHA	0.5	75.34	21.22
	1.0	81.20	31.26
	2.0	83.09	58.95
	4.0	84.29	90.02
	8.0	85.44	96.31

从表中数据可以看出,4 种樟树叶精油都具有一定的 DPPH 自由基清除能力,并且随着精油质量浓度的增加,精油的 DPPH 自由基清除率逐渐增加。4 种精油中,脑樟叶精油的 DPPH 自由基清除能力最强,当质量浓度为 8 g/L 时,脑樟叶精油的 DPPH 自由基清除率达到 $30.34\% \pm 1.25\%$;当精油质量浓度为 0.5~4 g/L 时,4 种精油清除 DPPH 自由基能力大小顺序为:脑樟叶精油>油樟叶精油>芳樟叶精油>异樟叶精油,但当精油质量浓度为 8 g/L 时油樟叶精油清除 DPPH 自由基能力低于芳樟叶精油。BHA 在较低质量浓度(1 g/L)下自由基清除率为 $81.20\% \pm 0.75\%$,明显好于樟树精油。

2.2.2 ABTS 自由基清除能力 4 种樟树叶精油的 ABTS 自由基($\cdot\text{ABTS}^+$)清除能力亦见表 2,由数据可知 4 种精油的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除能力均与浓度呈现出正相关的关系。

从数据可以看出,4 种樟树叶精油都具有一定的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除能力,并且随着精油浓度的增加,精油的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除率逐渐增加。4 种精油中,异樟叶精油的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除能力最强,当质量浓度为 8 g/L 时,异樟叶精油的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除率达到 $14.93\% \pm 2.32\%$ 。4 种樟树叶精油清除 $\cdot\text{ABTS}^+$ 能力顺序为:异樟叶精油>脑樟叶精油>芳樟叶精油>油樟叶精油。此外,随着精油浓度的增加,异樟叶精油和脑樟叶精油的 $\cdot\text{ABTS}^+$ 清除率增长速度明显大于芳樟叶精油和油樟叶精油。对于 $\cdot\text{ABTS}^+$,BHA 在 4 g/L 的浓度下,自由基清除率为 $90.02\% \pm 0.06\%$,相同浓度下,异樟叶油的清除率为 $9.43\% \pm 0.43\%$ 。

2.2.3 总抗氧化能力(FRAP) 根据 FeSO_4 标准曲线(图 1)得到 4 种樟树叶精油抗氧化能力与精油浓度关系如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,4 种樟树叶精油均具有一定的 Fe^{3+} 还原能力,并且,随着精油浓度的增加,对 Fe^{3+} 的还原能力也逐渐增加。4 种精油中,脑樟的 Fe^{3+} 还原能力相对较强,只在浓度为 4 g/L 时, Fe^{3+} 还原能力略低于异樟精油,当精油为 8 g/L 时,FRAP 值达到 (1.44 ± 0.13) mmol/L,表现出较强的抗氧化能力。当精油为 0.5~4 g/L 时,异樟叶精油的 FRAP 值与脑樟叶精油的 FRAP 值相近;当精油为 8 g/L 时,异樟叶精油的 FRAP 值为 (1.18 ± 0.11) mmol/L,也具有较强的抗氧化能力。油樟叶精油与芳樟叶精油的 FRAP 值相近,当精油质量浓度为 8 g/L 时,FRAP 值分别为 (0.51 ± 0.31) mmol/L 和 (0.52 ± 0.24) mmol/L,抗氧化能力相对较弱。因此,4 种精油总抗氧化能力顺序为:脑樟叶精油>异樟叶精油>芳樟叶精油/油樟叶精油。

与 BHA 相比,4 种不同类的樟树精油综合抗氧活性明显不如 BHA,但植物精油为天然物质,具有绿色、清洁环保的优势,所以此研究预计有很好应用前景。

目前,研究人员进行了大量关于抗氧化作用机制的研究发现,植物精油的抗氧化活性多与其丰富的酚类及萜类物质有关^[16-18]。而樟叶精油中虽几乎不含有酚类物质,但其富含萜烯类化合物,因此具有良好的抗氧化活性。由于樟叶精油中化学成分组成复杂,因此其抗氧化作用机理还有待进一步的研究。

3 结论

3.1 采用 GC-MS 分析鉴定樟树叶精油成分,4 种樟树叶精油共检测出 46 种主要化学成分,萜烯类占主要部分。芳樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,占总挥发性物质的 97.47%,其中,主要成分芳樟醇为 71.91%,萜烯类 17 种(13.88%),醇类 10 种(80.40%);脑樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,占总挥发性物质的 97.33%,其中,主要成分樟脑为 46.28%,萜烯类 20 种(37.38%),醇类 8 种(53.34%);异樟叶精油中共鉴定出 35 种化合物,占总挥发性物质的 94.19%,其中,主要成分异橙花叔醇为 29.48%,萜烯类 18 种(25.05%),醇类 10 种(56.90%);油樟叶精油中共鉴定出 33 种化合物,占总挥发性物质

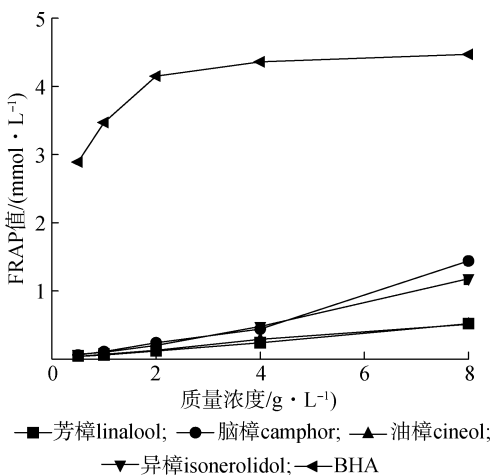


图 2 不同樟树叶精油对 Fe^{3+} 的还原能力
Fig.2 Fe^{3+} reduction ability of four essential oils

的 97.30%,其中,主要成分 1,8-桉叶油素为 30.31%,萜烯类 18 种(42.9%),醇类 9 种(23.64%)。

3.2 4 种樟树叶精油对 DPPH 自由基、ABTS 自由基的清除能力及总抗氧化能力的结果表明:4 种精油均具有一定的抗氧化能力,且随精油浓度的增加,其抗氧化能力增强。其中,脑樟叶精油的 DPPH 自由基清除能力及 Fe^{3+} 还原能力最强,当质量浓度为 8 g/L 时,脑樟叶精油的 DPPH 自由基清除率为 $30.34\% \pm 1.25\%$,FRAP 值为 $(1.44 \pm 0.13) \text{ mmol/L}$;而异樟叶精油的 ABTS 自由基清除能力最强,当质量浓度为 8 g/L 时,异樟叶精油的 ABTS 自由基清除率为 $14.93\% \pm 2.32\%$ 。

参考文献:

- [1]程必强,喻学俭,丁靖垠.中国樟属植物资源及其芳香成分[M].昆明:云南科技出版社,1997.
CHENG B Q, YU X Y, DING J W. *Cinnamomum* Plant Resources and Their Aromatic Constituents in China[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1997.
- [2]王中生.樟科观赏树种资源及园林应用[J].中国野生植物资源,2001,20(4):31-33.
WANG Z S. Ornamental tree species resources and garden application in polygonaceae[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2001, 20(4): 31-33.
- [3]PINO J A, FUENTES V. Leaf oil of *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl. from Cuba. [J]. Journal of Essential Oil Research, 1998, 10(5): 531-532.
- [4]石皖阳,何伟,文光裕.樟精油成分和类型划分[J].植物学报,1989(3):47-52.
SHI Y Y, HE W, WEN G Y. Classification and composition of essential oils[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1989(3): 47-52.
- [5]温朋飞,彭艳.植物精油抗氧化作用机制研究进展[J].饲料工业,2017(2):44-49.
WEN P F, PENG Y. Research progress on antioxidant mechanism of plant essential oils[J]. Feed Industry, 2017(2): 44-49.
- [6]SOSA V, MOLINÉ T, SOMOZA R, et al. Oxidative stress and cancer: An overview[J]. Ageing Research Reviews, 2013, 12(1): 376-390.
- [7]DONG H, ZHANG Q, LI L, et al. Antioxidant activity and chemical compositions of essential oil and ethanol extract of *Chuan minshen violaceum* [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76: 290-297.
- [8]张艳东,程翠林,樊梓鸾,等.植物精油的提取、成分分析以及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2017(3):348-352.
ZHANG Y D, CHENG C L, FAN W, et al. Extraction, component analysis and antioxidant activity of essential oils from plants[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017(3): 348-352.
- [9]黄婷.四种樟属植物精油的成分分析、抗氧化活性及对中华按蚊幼虫的毒杀活性测定[D].重庆:重庆师范大学,2016.
HUANG T. Composition analysis, antioxidant activity and toxicity of *Anopheles sinensis* larvae of four Eucalyptus essential oils [D]. Chongqing: Chongqing Normal University 2016.
- [10]VALKO M, RHODES C J, MONCOL J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer[J]. Chemico-Biological Interactions, 2006, 160(1): 1-40.
- [11]GÜLCIN I. Antioxidant activity of food constituents: An overview[J]. Archives of Toxicology, 2012, 86(3): 345-391.
- [12]REGNAULT-ROGER C, VINCENT C, ARNASON J T. Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world[J]. Annual Review of Entomology, 2012, 57(1): 405-424.
- [13]OMP S, TEJK B. DPPH antioxidant assay revisited[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 1202-1205.
- [14]FLOEGEL A, KIM D O, CHUNG S J, et al. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2011, 24(7): 1043-1048.
- [15]BENZIE I F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [16]何晋涛,沈强.猴头菌菌丝体萜类物质提取优化及抗氧化研究[J].浙江工业大学学报,2016(3):326-333.
HE J Z, SHEN Q. Extraction optimization and antioxidation of aphid from Mycelium of *Hericium erinaceus*[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2016(3): 326-333.
- [17]章佳妮,侯建平,翁新楚.酚类抗氧化机理的进一步探讨[J].粮油加工,2009(4):58-63.
ZHANG J N, HOU J P, WENG X C. Further discussion on antioxidant mechanism of phenols[J]. Cereals and Oils Processing, 2009(4): 58-63.
- [18]周凌云,鲁斌,余小红,等.隐孔菌中倍半萜类化合物及其抗氧化活性研究[J].林产化学与工业,2018,38(1):77-84.
ZHOU L Y, LU B, YU X H, et al. Study on sesquiterpenoids in cryptic bacteria and their antioxidant activity[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2018, 38(1): 77-84.