

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.02.031

玳玳花精油的成分及其抗氧化活性研究

Study on the composition and the antioxidant activity of essential oil from flowers of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl

苏 瑾^{1,2} 潘兆平² 肖 媛^{1,2} 梁曾恩妮^{2,3} 付复华^{1,2,3}

SU Jin^{1,2} PAN Zhao-ping² XIAO Yuan^{1,2} LIANG Zeng-en-ni^{2,3} FU Fu-hua^{1,2,3}

(1. 湖南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省农业科学院农产品加工研究所, 湖南 长沙 410125; 3. 果蔬贮藏加工与质量安全湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410125)

(1. Longping Branch, Graduate School of Hunan University, Changsha, Hunan 410125, China;

2. Agricultural Products Processing Institute of Hunan Agricultural Sciences Academy,

Changsha, Hunan 410125, China; 3. Hunan Key Laboratory of Fruit & Vegetables Storage, Processing, Quality and Safety, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:以玳玳花精油为试验材料,利用气相色谱—质谱联用技术对其进行组分分析,测定了其理化特征,采用 DPPH、ABTS、羟基自由基的清除率及总抗氧化能力来评价其抗氧化活性。结果表明,玳玳花精油是一种具有玳玳花特征香气的琥珀色澄清液体,共分离出 41 种成分,占总成分 95.80%,其中包括 13 种醇类化合物(59.34%), 16 种萜烯类化合物(22.82%), 4 种烷烃类化合物、3 种酸、3 种酯类、1 种吡啶和 1 种酚类化合物。玳玳花精油的总抗氧化能力在 4 mg/mL 时超过 V_C ;对 DPPH 自由基清除能力较弱,精油浓度为 50 mg/mL 时清除率为 73.51%;对 ABTS 和羟基自由基清除能力较好,10 mg/mL 时清除率分别达到 85.63% 和 94.87%;综合,玳玳花精油具有显著的抗氧化作用且与浓度呈正相关。

关键词:玳玳花;精油;化学成分;理化性质;抗氧化活性

Abstract: The composition of the flower essential oil from *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and its physicochemical characteristics was determined. The DPPH, ABTS, hydroxyl radical scavenging rate and total antioxidant capacity were determined to evaluate the antioxidant activity of this kind of essential oil. The results showed that this essential oil was an amber clarification

liquid with the characteristic aroma of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl flower. Forty-one kinds of components were isolated from the essential oil, accounting for 95.80% of the total, including 13 kinds of alcohols (59.34%) and 16 kinds of terpenes (22.82%), 4 kinds of alkane, three kinds of acids and ester, one kind of indole and one kind of phenol. The essential oil has a good antioxidant activity, and its total antioxidant capacity exceeded V_C at high concentrations. Its scavenging ability of DPPH free radical was weak, and the scavenging rate of 50 mg/mL essential oil was 73.51%. However, Its scavenging abilities of ABTS and hydroxyl radical were better, and the scavenging ability of 10 mg/mL essential oil was 85.63% and 94.87%, respectively. It was found that the antioxidant capacity of this essential oil was positively correlated with its concentration.

Keywords: *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl; essential oil; chemical components; physical and chemical properties; antioxidant

玳玳是芸香科柑橘属酸橙的一个变种,广泛种植于中国长江以南地区。玳玳花是一种药食兼用资源,具有理气宽胸、开胃止呕、活血调经、缓解抑郁、焦虑等精神系统疾病的功效^[1-3]。研究^[4]表明,玳玳花中含有精油、黄酮和生物碱等活性物质,此外还含有多种苷类化合物及丰富的维生素类、人体必需氨基酸、纤维类、香豆素类以及矿物质类等。但玳玳花花期很短,不利保存,因此可将玳玳花加工成精油,高效利用资源,增加其经济价值。

研究^[5-6]发现,癌症、炎症及衰老等备受关注的健康问题均与机体的氧化损伤相关。由于当前合成类抗氧化

基金项目:湖南省农业科技创新资金项目(编号:2018ZD04, 2019JG01, 2018QZ27)

作者简介:苏瑾,女,湖南大学在读硕士研究生。

通信作者:付复华(1978—),男,湖南省农业科学院研究员,硕士。
E-mail: fhfu686@163.com

梁曾恩妮(1983—),女,湖南省农业科学院助理研究员,博士。
E-mail: 335210903@qq.com

收稿日期:2019-11-16

药物的高毒副作用和耐受性等安全问题,寻找新型高效、低毒且耐受性好的抗氧化剂对于临床研究具有重要意义。玳玳花精油作为玳玳花主要的香气、活性成分,资源丰富、天然安全,具有很好的抗氧化潜力,日益受到人们的关注与欢迎,然而其理化性质及抗氧化活性鲜见报道。试验拟对玳玳花精油的成分、理化性质和抗氧化能力进行研究分析,以期对玳玳花精油在天然抗氧化剂及食品保鲜、护肤等方面的开发应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

玳玳花:涟源康橙生物科技有限公司;

无水乙醇、浓硫酸、磷酸钠、钼酸铵、过硫酸钾、七水硫酸亚铁、水杨酸、30%过氧化氢等:分析纯,国药集团化学试剂公司;

V_c标准品、DPPH、ABTS:分析纯,上海瑞永生物科技有限公司。

1.1.2 仪器

气相色谱—质谱联用仪:7890A-5975C型,美国Agilent公司;

紫外—可见分光光度计:UV-1800型,岛津仪器(苏州)有限公司;

折光仪:Abbemat 200型,奥地利安东帕(中国)有限公司;

旋光仪:MCP 500型,奥地利安东帕(中国)有限公司;

水浴恒温振荡器:SHA-B型,常州澳华仪器有限公司;

多功能粉碎机:RS-FS1401型,合肥荣事达小家电有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 玳玳花精油的提取 将新鲜玳玳花去除杂质后用粉碎机粉碎,放入挥发油提取器中隔水蒸馏提取,2 h后精油馏出量不再增加,收集精油用无水硫酸钠干燥过夜后,-20℃密封保存。

1.2.2 GC-MC 分析条件 参考吕品等^[7]的方法略有改动。

(1) 色谱条件:色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为高纯度氦气,分流比为 10:1,流速 1 mL/min;进样量 1 μL,进样口温度 250℃,检测器温度 280℃;升温程序:起始温度 70℃,保持 1 min,3℃/min 升温至 150℃保留 2 min,然后以 2℃/min 升温至 220℃,然后 1℃/min 升温至 236℃,再以 2℃/min 升温至 240℃,保留 13 min;溶剂延迟 4 min。

(2) 质谱条件:EI 源,电离电压 70 eV,离子温度 230℃,扫描范围 50~500(m/z)。

1.2.3 精油理化指标分析 对玳玳花精油的色状、香气、相对密度、折光指数、旋光度、溶混度、酸值、酯值等理化指标进行测定,分析方法参照 QB/T 4232—2011。

1.2.4 总抗氧化能力测定 采用磷钼络合法^[8-10]。用无水乙醇稀释精油得到质量浓度分别为 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,2.0,4.0,6.0,8.0,10.0 mg/mL 的精油—乙醇溶液。取 0.4 mL 样品液和 4 mL 磷钼试剂(含 0.6 mol/mL 硫酸、28 mol/mL 磷酸钠和 4 mmol/mL 钼酸铵)于干净试管,摇匀后在 95℃恒温加热 90 min,冷却至室温后,在 695 nm 下测定吸光值。相同浓度的 V_c溶液为阳性对照,用 0.4 mL 无水乙醇代替样品液作空白。相关操作重复 3 次。

1.2.5 DPPH 自由基清除率测定 根据文献^[11-12]修改如下:取 19.716 mg DPPH 于 500 mL 容量瓶中,加乙醇定容,得到 0.1 mmol/L DPPH 乙醇溶液。2 mL 不同浓度样品液与 2 mL DPPH 溶液混合后,避光反应 30 min,517 nm 下测定吸光值 A_i,2 mL 乙醇代替样品液测得吸光值 A₀,V_c作为阳性对照。平行操作重复 3 次,清除率按式(1)计算:

$$R = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R——清除率,%;

A₀——乙醇代替样品液测得吸光值;

A_i——样品组吸光值。

1.2.6 ABTS 自由基清除率测定 将等体积的 7 mmol/L ABTS 与 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液混合,避光 12~16 h,无水乙醇调节 734 nm 下吸光度为 0.68~0.72,得到 ABTS 储备液。将 1 mL 不同浓度的样品液与 2 mL 上述储备液混合后暗处反应 30 min,734 nm 处测定吸光值 A_i,无水乙醇代替样品液测得 A₀,相同浓度 V_c为阳性对照。每组测定重复 3 次,按式(1)计算清除率^[13-14]。

1.2.7 羟基自由基清除率测定 用无水乙醇将精油稀释成系列浓度梯度,取 2 mL 不同浓度精油样品液加入 1 mL 9 mmol/L FeSO₄溶液,1 mL 水杨酸—乙醇溶液和 0.2 mL H₂O₂溶液,充分混匀,37℃水浴 30 min 后,510 nm 下测定吸光值为 A_i,无水乙醇代替样品液相同方法测得 A₀,蒸馏水代替 H₂O₂测得 A_j。等浓度 V_c为阳性对照。每组测定重复 3 次,清除率按式(2)计算^[15]:

$$R_1 = \frac{1 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R₁——清除率,%;

A_i——样品组吸光值;

A_j ——蒸馏水代替 H_2O_2 测得吸光值;
 A_0 ——乙醇代替样品测得吸光值。

2 结果与分析

2.1 玳玳花精油的 GC-MS 分析

GC-MS 分析玳玳花精油的总离子流图见图 1, 通过计算机检索与 NIST 08 图谱库标准图谱对比, 判定精油中各化学成分, 运用面积归一化法进行相对定量, 结果如表 1 所示, 共鉴定出 41 种成分, 占总成分 95.80%, 其中包括 13 种醇类化合物, 占总成分 59.34%, 16 种萜烯类化合物, 占 22.82%, 4 种烷烃类化合物、3 种酸、3 种酯类、1 种吡啶和 1 种酚类化合物(详见表 1)。这些化合物是玳玳花精油特征香气和生物活性的主要贡献者。

含量超过 1% 的共 13 种, 含量最高的为 3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇(34.27%), 是一种无环单萜芳樟醇; 其次是柠檬烯, 占总成分的 13.02%, 具有柠檬香气, 与刘廷礼

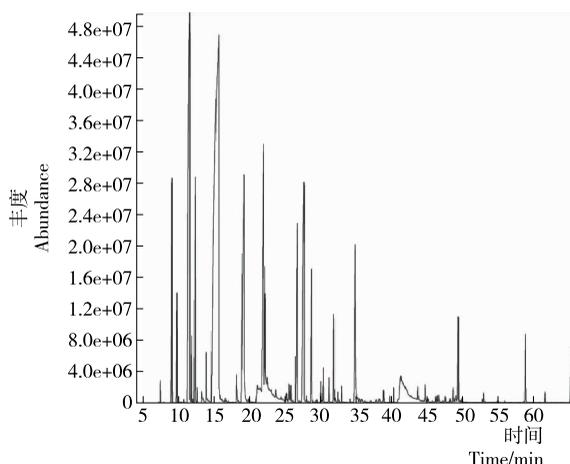


图 1 玳玳花精油成分总离子图

Figure 1 Total ion chromatograms of essential oil extracted from *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl

表 1 玳玳花精油化学成分

Table 1 Components (relative concentration) of essential oil extracted from *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl

化合物	保留时间/min	相对含量/%	化合物	保留时间/min	相对含量/%
(+/-)-2,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯	7.477 0	0.161 6	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇乙酸酯	26.720 3	3.389 8
(1S)-6,6-二甲基-2-亚甲基-双环[3.1.1]	9.140 3	2.348 4	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇乙酸酯	27.684 8	6.042 3
庚烷			(E)-7,11-二甲基-3-亚甲基-1,6,10-十二	28.262 3	0.354 0
β -月桂烯	9.844 9	0.987 5	碳三烯		
柠檬烯	11.629 5	13.023 6	石竹烯	28.730 1	1.627 0
(E)-3,7-二甲基-1,3,6-辛二烯	11.895 1	0.463 2	γ -榄香烯	29.296 1	0.966 9
(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛二烯	12.414 9	2.942 2	α -石竹烯	30.052 7	0.195 9
1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,4-环己二烯	12.697 9	0.103 7	α -金合欢烯	32.443 6	0.101 5
顺式-5-乙烯基四氢- α , α ,5-三甲基-2-吡喃	13.321 6	0.280 3	(1S-顺式)-1,2,3,5,6,8 α -六氢-4,7-二甲	32.934 6	0.188 7
甲醇			基-1-(1-甲基乙基)-萘		
(+)-4-萹烯	13.968 5	0.674 1	(E)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二碳三烯-	34.857 7	3.085 3
3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	15.741 5	34.265 7	3-醇		
(R)-4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇	18.230 6	0.342 2	α -杜松醇	38.224 7	0.104 4
α , α -4-甲基-3-环己烯-1-甲醇	19.247 1	7.484 0	8-十七烯	38.831 1	0.139 0
(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	21.095 2	1.249 2	十四烷	40.228 8	0.154 6
2-氨基苯甲酸酯 3,7-二甲基-1,6-辛二烯-	22.042 3	6.577 5	3,7,11-三甲基-2,6,10-十二碳三烯-1-醇	41.251 0	2.137 4
3-醇			4-亚甲基-1-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯-1-	43.659 3	0.191 4
(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	22.192 5	2.022 1	基)-1-乙烯基-环庚烷		
(R)-5-甲基-2-(1-甲基乙基)-4-己烯-1-醇	22.544 8	0.990 2	醋酸纤维素法尼醇	44.664 2	0.173 2
甲酸盐-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	23.058 8	0.623 5	邻苯二甲酸二丁酯	48.620 3	0.176 1
吡啶	23.711 4	0.454 6	正十六烷酸	48.995 7	0.119 8
2-甲氧基-4-乙烯基苯酚	24.456 4	0.156 4	(Z,Z,Z)-甲酯-9,12,15-十八碳三烯酸	52.899 8	0.114 2
(3R-反式)-4-乙烯基-4-甲基-3-(1-甲基乙	25.195 7	0.134 5	二十二烯	58.744 4	0.796 6
烯基)-1-(1-甲基乙基)-环己烯			二十四烯	61.516 5	0.144 4
甲酯-2-氨基-苯甲酸	25.565 3	0.308 1			

等^[16]测得的结果相似; α , α -4-甲基-3-环己烯-1-甲醇(7.48%) 又称 α -松油醇, 有丁香味, 是调配丁香型香精的主要原料; 2-氨基苯甲酸酯-3, 7-二甲基-1, 6-辛二烯-3-醇占 6.58%; (*E*)-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇乙酸酯(6.04%) 和 (*Z*)-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇乙酸酯(3.39%) 属于橙花乙酸酯, 是国家允许的食用香精, 常用以配制苹果、桃子及柑橘类等水果型香精; (*E*)-3, 7, 11-三甲基-1, 6, 10-十二碳三烯-3-醇(3.09%); (*Z*)-3, 7-二甲基-1, 3, 6-辛二烯(2.94%); (1*S*)-6, 6-二甲基-2-亚甲基-双环[3.1.1]庚烷(2.35%); 3, 7, 11-三甲基-2, 6, 10-十二碳三烯-1-醇(2.14%); (*E*)-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇(2.02%) 又称香叶醇, 是玫瑰香精的主剂, 也可作增甜剂添加于食品中; 石竹烯(1.63%); (*Z*)-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇(1.25%) 别名橙花醇, 有令人愉悦的香气, 是国标允许的食用香精, 可用于食品和化妆品香精的调制。

柠檬烯是柑橘属精油最常见的主要成分, 已被广泛报导有良好的抗氧化抑菌作用^[17-18], 常用于食品的防腐保鲜。松油醇可抗菌、抑制肿瘤细胞生长, Gouveia 等^[19]

最近还发现 α -松油醇可以通过调节氧化应激和抑制 iNOS 来减轻癌症疼痛。孙丰慧等^[20]通过抑菌试验发现香叶醇有明显的体外抗耐甲氧西林金黄色葡萄球菌活性, 且能够增强 β -内酰胺类抗生素的活性, 降低其用量。香叶醇还可以通过抑制癌细胞增殖, 诱导其凋亡来抑制癌细胞的转移与浸润。石竹烯在许多神经系统相关疾病中起到保护作用, 包括疼痛、焦虑、痉挛、惊厥、抑郁、酗酒和阿尔茨海默症等, 此外还具有局部麻醉剂样活性, 可以保护神经系统免受氧化应激和炎症, 并可作为免疫调节剂。

2.2 玳玳花精油的理化性质

水蒸气蒸馏法提取的玳玳花精油为琥珀色澄清液体, 保留了玳玳花的特征香气。由表 2 可知, 在 20 °C 条件下测得相对密度为 0.872, 折光指数 1.463, 旋光度为 11.230, 精油在溶于 3.5 倍体积 80% 乙醇时仍然澄清透明, 测得酸值为 0.59 mg KOH/g, 酯值为 52 mg KOH/g, 以上指标均达到玳玳花(精)油中国轻工行业标准 QB/T 4232—2011 要求。

表 2 玳玳花精油的理化性质

Table 2 Physicochemical parameters of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

项目	色状	香气	相对密度 (20/20 °C)	折光指数 (20 °C)	旋光度 (20 °C)/(°)	溶混度 (20 °C)	酸值/ (mg KOH · g ⁻¹)	酯值/ (mg KOH · g ⁻¹)
标准要求 (QB/T 4232—2011)	浅黄色至 琥珀色澄 清液体	具有玳玳花 特征香气	0.863~0.876	1.461~1.467	+5.00~ +15.00	1 体积试样溶于 3.5 体积 80%(体积分数) 乙醇中, 呈澄清溶液	≤ 1.20	40~65
结果	琥珀色澄 清液体	具有玳玳花 特征香气	0.872	1.463	+11.23	澄清透明	0.59	52

2.3 玳玳花精油的抗氧化能力

2.3.1 总抗氧化能力 磷钼络合法测定精油的总抗氧化能力, 吸光值越高, 总抗氧化能力越强。由图 2 可知, 在 0.2~10.0 mg/mL 浓度范围内, 玳玳花精油的总抗氧化能力随着浓度的增加而增强。低浓度时 V_C 与精油的总

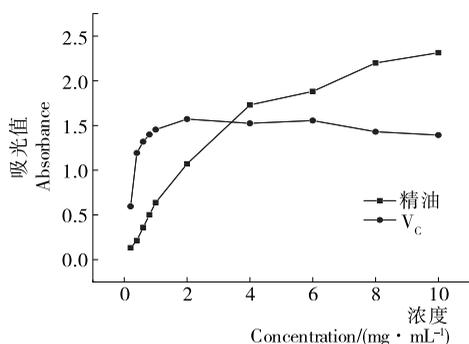


图 2 玳玳花精油总抗氧化能力

Figure 2 Total antioxidant capacity of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

抗氧化能力均随浓度的升高显著上升, 但精油低于 V_C, V_C 在浓度 2 mg/mL 以后抗氧化活性不再随浓度变化而明显改变, 4 mg/mL 时精油的抗氧化活性超过 V_C, 并且有继续增强的趋势, 可能是由于 V_C 成分单一, 达到作用上限后 V_C 的总抗氧化能力不再增加, 而精油中活性成分复杂, 随着精油浓度升高, 更多活性成分累积, 总抗氧化能力更强。

2.3.2 DPPH 自由基清除能力 由图 3 可知, 在 10~50 mg/mL 浓度范围内, 玳玳花精油清除 DPPH 自由基的能力呈剂量依赖性增强, 浓度为 50 mg/mL 时清除能力达到 73.51%, 且有继续增长的趋势, IC₅₀ 值为 32.3 mg/mL, 但与 V_C 相比, 玳玳花精油清除 DPPH 自由基能力较弱。Choi 等^[21]测得尤力克柠檬、里斯本柠檬等 34 种柑橘类精油对 DPPH 自由基的清除率为 17.7%~64.0%, 低于同浓度的 γ -萜品烯, 高于 *d*-柠檬烯和 α -松油醇, 且 γ -萜品烯含量越高的精油有越强的 DPPH 自由基清除能力。说明柑橘属精油中清除 DPPH 自由基的主要

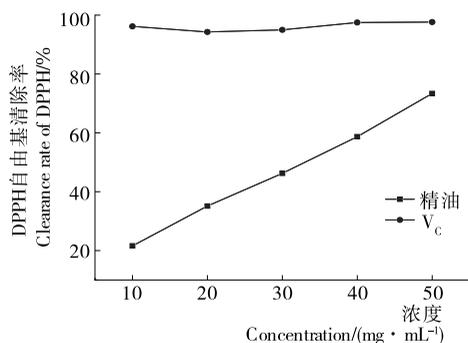


图3 DPPH 自由基清除能力

Figure 3 The DPPH scavenging activity of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

作用成分是 γ -萜品烯,而玳玳花精油中未检测出 γ -萜品烯可能是其对 DPPH 自由基清除能力较弱的原因。

2.3.3 ABTS 自由基清除能力 由图 4 可知,在 2~10 mg/mL 浓度范围内,玳玳花精油对 ABTS 自由基清除能力随精油浓度增加而增强,浓度为 2 mg/mL 时清除率为 42.94%,浓度为 10 mg/mL 时清除率达到 85.63%,并且有继续增长的趋势, IC_{50} 值为 2.78 mg/mL。结果表明玳玳花精油具有良好的清除 ABTS 自由基能力。

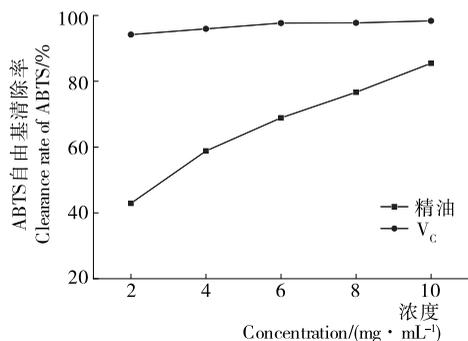


图4 ABTS 自由基清除能力

Figure 4 The ABTS scavenging activity of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

2.3.4 羟基自由基清除能力 由图 5 可知,各浓度 V_c 对羟基自由基的清除率均超过 90% 以上。2 mg/mL 的玳玳花精油对羟基自由基的清除能力较弱,清除率仅为 20%;在 2~10 mg/mL 浓度范围内,玳玳花精油对羟基自由基的清除能力随浓度升高而增强,当浓度增加到 10 mg/mL 时,玳玳花精油对羟基自由基的清除率达到 94.87%,接近于同浓度 V_c 的清除活性。玳玳花精油的清除羟基自由基的 IC_{50} 值为 4.96 mg/mL。章斌等^[22] 研究柠檬果皮精油不同组分的抗氧化活性时发现柠檬烯和 α -松油醇等成分对羟基自由基的清除作用均随浓度增大而增强,它们协同增加精油的自由基清除作用,与试验结果相似,且在高浓度时 α -松油醇相比其他成分对羟基自

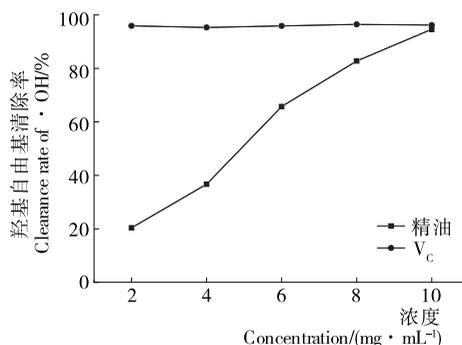


图5 羟基自由基清除能力

Figure 5 The Hydroxyl scavenging activity of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

由基有更好的清除效果,试验中高浓度时玳玳花精油的清除效果更佳,可能与 α -松油醇含量较高而 α -松油醇在高浓度时贡献权重更大有关。

2.3.5 玳玳花精油的抗氧化能力对比 玳玳花精油清除自由基能力的回归方程和 IC_{50} 值如表 3 所示,对 3 种自由基都有一定清除能力,对 DPPH 自由基清除能力较弱, IC_{50} 值为 32.30 mg/mL,清除 ABTS 和羟基自由基的 IC_{50} 值分别为 2.78 mg/mL 和 4.96 mg/mL,清除自由基能力的排序为:ABTS 自由基 > 羟基自由基 > DPPH 自由基。

表3 玳玳花精油的抗氧化能力对比

Table 3 Comparison of the antioxidant of *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl essential oil

抗氧化能力	回归方程	R^2	IC_{50} 值
清除 DPPH 自由基	$Y=1.274 7x+8.833$	0.998 0	32.30
清除 ABTS 自由基	$Y=5.163 5x+35.671$	0.977 7	2.78
清除羟基自由基	$Y=9.757 5x+1.629$	0.979 9	4.96

3 结论

试验采用水蒸气蒸馏法提取出的玳玳花精油呈琥珀色澄清液体,具有玳玳花特征香气,通过 GC-MS 检测分析出 41 种化合物,含有大量醇类、萜烯类和烷烃等芳香化合物,成分多样。

玳玳花精油具有良好的总抗氧化能力,在 4 mg/mL 时超过 V_c 的作用效果;对 DPPH 自由基清除能力较弱,50 mg/mL 时清除率为 73.51%;在精油浓度为 10 mg/mL 时 ABTS 和羟基自由基的清除率分别达到 85.63% 和 94.87%,清除自由基能力的排序为:ABTS 自由基 > 羟基自由基 > DPPH 自由基。综上所述,玳玳花精油是一种成分丰富,应用价值较高的天然产物,有良好的抗氧化活性,在天然抗氧化剂和抗氧化、抗衰老的药品、护肤品中有着广阔的应用前景与价值。

参考文献

- [1] 商国懋, 邓玉娟. 福寿草代代花[J]. 首都食品与医药, 2016, 23(11): 60.
- [2] 郭晓虹, 尤昭玲. 尤昭玲教授运用花类药物治疗妇科疾病经验[J]. 湖南中医杂志, 2013, 29(6): 24-25.
- [3] 宁侠, 毛丽军, 周绍华. 花类药在精神疾病治疗中的应用[J]. 北京中医药, 2012, 31(6): 461-463.
- [4] 王天星, 姜建国. 代代花化学成份的分离鉴定和抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2018, 34(7): 76-80, 67.
- [5] HARMAN D. Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry[J]. J Gerontol, 1956, 11(3): 298-300.
- [6] 夏世金, 孙涛, 吴俊珍. 自由基、炎症与衰老[J]. 实用老年医学, 2014, 28(2): 100-103.
- [7] 吕品, 钟琳, 蒋楠, 等. 不同辅助提取方式对玳玳花精油挥发性成分的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(5): 52-54.
- [8] 卢彩会, 牟德华. 姜黄油的抗炎镇痛及体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 243-249.
- [9] 李小燕. 瑄溪蜜柚精油抗氧化特性及其基于 B16 黑色素瘤细胞评价体系的美白功效研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 29.
- [10] 秦艳, 康林芝, 王娜, 等. 姜精油的香气成分及其生物活性研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(18): 104-106, 128.
- [11] TIAN Jin-hu, CHEN Jian-le, LV Fei-yan, et al. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes [J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1 264-1 270.
- [12] 李海亮, 高星, 徐福利, 等. 芍药花精油化学成分及其抗氧化活性[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(5): 204-210.
- [13] 曹汝鸽, 马建飞, 周中凯. 芸香柚皮苷与 EGCG 协同抗氧化作用及其机理研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(1): 42-48.
- [14] 余修亮, 朱志平, 李佳桥, 等. 莲子壳原花青素超声提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12): 99-109.
- [15] 刘艳灿, 袁杨, 翁艾慧, 等. 红葱头精油体外抗氧化及抑菌效果研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 246-252.
- [16] 刘廷礼, 邱琴, 赵怡. 代代花挥发油化学成分的 GC-MS 研究[J]. 中国药物化学杂志, 2000(4): 38-40.
- [17] 冯堃, 秦昭, 王文蜀, 等. 5 种柚皮精油成分及油脂抗氧化和抑菌活性[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 255-261.
- [18] ZAH I M R, HATTAB M E, LIANG Hao, et al. Enhancing the antimicrobial activity of *d*-limonene nanoemulsion with the inclusion of ϵ -polylysine[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 18-23.
- [19] GOUVEIA D N, COSTA J S, OLIVEIRA M A, et al. α -Terpineol reduces cancer pain via modulation of oxidative stress and inhibition of iNOS[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 105: 652-661.
- [20] 孙丰慧, 龙娜娜, 王雪梅, 等. 香叶醇体外抗 MRSA 活性研究[J]. 中国抗生素杂志, 2018, 43(7): 921-926.
- [21] CHOI H S, SONG H S, UKEDA H, et al. Radical-scavenging activities of citrus essential oils and their components: Detection using 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(9): 4 156-4 161.
- [22] 章斌, 侯小桢, 秦轶, 等. 柠檬果皮精油主要组分抑菌及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 138-142.
- [23] temperatures[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 194-200.
- [19] AZIZI R, CAPUANO E, NASIRPOUR A, et al. Varietal differences in the effect of rice ageing on starch digestion[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 95: 358-366.
- [20] 李星, 王海寰, 沈群. 不同品种小米品质特性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 248-254.
- [21] LOCKWOOD S, KING J M, LABONTE D R. Altering pasting characteristics of sweet potato starches through amino acid additives[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): C373-C377.
- [22] 周慧颖, 彭小松, 欧阳林娟, 等. 支链淀粉结构对稻米淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(8): 25-30, 36.
- [23] 胡强, 孟岳成. 淀粉糊化和回生的研究[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 63-66.
- [24] 缪铭, 江波, 张涛. 淀粉的消化性能与 RVA 曲线特征值的相关性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 16-19.
- [25] HUANG Yu-chan, LAI Hsi-mei. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 432-439.

(上接第 133 页)

- [13] TRAN T U, SUZUKI K, OKADOME H, et al. Detection of changes in taste of japonica and indica brown and milled rice (*Oryza sativa* L.) during storage using physicochemical analyses and a taste sensing system[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(4): 1 108-1 118.
- [14] 谢宏. 稻米储藏陈化作用机理及调控的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007: 29.
- [15] 刘敏, 赵欣, 阚建全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 45-50.
- [16] 潘治利, 张垚, 艾志录, 等. 马铃薯淀粉糊化和凝胶特性与马铃薯粉品质的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 197-201.
- [17] ZHANG Yan-jun, ZHU Ke-xue, HE Shu-zhen, et al. Characterizations of high purity starches isolated from five different jackfruit cultivars[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 785-794.
- [18] VALMOR Z, CRISTIANO D F, JORGE T S G, et al. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different

- temperatures[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 194-200.
- [19] AZIZI R, CAPUANO E, NASIRPOUR A, et al. Varietal differences in the effect of rice ageing on starch digestion[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 95: 358-366.
- [20] 李星, 王海寰, 沈群. 不同品种小米品质特性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 248-254.
- [21] LOCKWOOD S, KING J M, LABONTE D R. Altering pasting characteristics of sweet potato starches through amino acid additives[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): C373-C377.
- [22] 周慧颖, 彭小松, 欧阳林娟, 等. 支链淀粉结构对稻米淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(8): 25-30, 36.
- [23] 胡强, 孟岳成. 淀粉糊化和回生的研究[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 63-66.
- [24] 缪铭, 江波, 张涛. 淀粉的消化性能与 RVA 曲线特征值的相关性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 16-19.
- [25] HUANG Yu-chan, LAI Hsi-mei. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 432-439.