

桂花果实精油化学成分及体外抗氧化活性

毕淑峰^{1,2}, 张铃杰¹, 高慧¹, 程重雁¹, 陈崇美¹, 邵亚南¹

(1. 黄山学院生命与环境科学学院, 安徽黄山 245041)

(2. 南京大学医药生物技术国家重点实验室, 江苏南京 210093)

摘要: 采用水蒸气蒸馏法提取桂花果实精油, 利用气相色谱-质谱联用技术分析其化学成分, 并以面积归一化法测定各成分的相对含量; 以维生素 C 或 EDTA 为阳性对照, 以总还原力、金属离子的螯合作用、ABTS 自由基和 DPPH 自由基的清除作用为指标评价桂花果实精油的体外抗氧化活性。研究表明, 从桂花果实精油中共鉴定出 44 个化合物, 占精油总量的 89.12%, 以酯类和酸类为主, 分别占挥发油总量的 47.28% 和 15.67%; 挥发油主要成分有 5-乙烯基-3-吡啶羧酸甲酯、对甲酰基苯甲酸甲酯、棕榈酸、1, 21-二十二碳二烯、1, 2-环氧十八烷。桂花果实精油具有良好的体外抗氧化活性, 其总还原力、金属离子的螯合作用、ABTS 自由基和 DPPH 自由基清除作用的 ED₅₀ 分别为 147.63、41.25、33.51、50.94 μL, 且精油样品量与各项抗氧化活性指标呈量效关系。

关键词: 桂花果实; 精油; 气相色谱-质谱联用; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2014)6-238-243

Chemical Constituents and Antioxidant Activities *in vitro* of Essential Oils from *Osmanthus fragrans* Fruits

BI Shu-feng^{1,2}, ZHANG Ling-jie¹, GAO Hui¹, CHENG Chong-yan¹, CHEN Chong-mei¹, SHAO Ya-nan¹

(1. College of Life and Environment Science, Huangshan University, Huangshan 245041, China)

(2. State Key Laboratory of Pharmaceutical Biotechnology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The essential oils from *Osmanthus fragrans* fruits were extracted by water-steam distillation. Their chemical components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry, and the relative contents of the chemical components were determined with peak area normalization method. The antioxidant activities of essential oils *in vitro* were evaluated by total reducing power, metal chelating ability, and scavenging capacity against ABTS· and DPPH· with Vc or EDTA as the positive control. The results showed that 44 compounds, which occupied 89.12% of total constituents, were identified from the essential oils. The esters and acids were the dominant components in the essential oils, which occupied 47.28% and 15.67% of total constituents, respectively. The major compounds in the essential oils were 5-vinyl-3-pyridinecarboxylic acid methyl ester, methyl-4-formylbenzoate, palmitic acid, 1, 21-docosadiene and 1, 2-epoxyoctadecane. The essential oils exhibited significant antioxidant activities *in vitro* in a concentration-dependent fashion. The ED₅₀ values of total reducing power, metal chelating ability, and scavenging capacity against ABTS· and DPPH· were 147.63, 41.25, 33.51, and 50.94 μL, respectively.

Key words: *Osmanthus fragrans* fruits; essential oils; gas chromatography-mass spectrometry; antioxidant activities

桂花 (*Osmanthus fragrans*) 系木犀科 (*Oleaceae*) 木犀属 (*Osmanthus*) 常绿植物, 又名木犀、岩桂、九里香、金粟等, 是我国人民最喜爱的花卉之一, 属于我国传统十大名花之一。桂花原产于我国西南部, 我国的西南部和南部是其分布中心, 具有观赏、食用、药用、材用、生态等多种价值, 在我国广泛栽培。桂花果实为椭圆形核果, 未成熟时为青绿色, 成熟时为紫黑色^[1], 含有黄酮、多酚、萜类等生物活性成分^[1-4], 具

收稿日期: 2014-01-04

基金项目: 国家自然科学基金 (21302004); 中国博士后科学基金面上项目 (2011M500898); 黄山学院自然科学基金项目 (2012xkjq002)

作者简介: 毕淑峰 (1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物化学

有抗氧化、抑制皮肤角化细胞生长功能, 还可入药, 民间用作止痛剂, 治疗肝胃气痛等^[3-6]。桂花具有浓郁、独特的香气而闻名, 精油是其主要活性成分, 人们已对不同产地、不同品种桂花精油化学成分进行研究^[7-11], 但对桂花果实精油化学成分及其生物活性研究极少。

我国桂花资源丰富, 人们主要利用桂花的花, 桂花果实未得到合理利用, 不仅造成资源浪费, 而且给城市环境卫生带来不利影响。本文采用气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 分析桂花果实精油的化学成分, 并以总还原力、金属离子螯合作用、ABTS 自由基和 DPPH 自由基清除作用为指标综合评价桂花果实精油的体外抗氧化活性, 对桂花果实的开发利用及探讨桂花不同

部位精油化学成分具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

新鲜桂花(银桂)果实于2013年4月采自安徽省黄山学院南校区。

菲咯嗪(Ferrozine), 东京化成工业株式会社; 2,2-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二氨盐(ABTS), Regal Biotechnology Company; C₆~C₂₀正构烷烃, 美国Sigma公司; 乙二胺四乙酸(EDTA)、铁氰化钾、三氯乙酸等均为国产分析纯。

Agilent HP7890-5975C气相色谱-质谱联用仪, 美国Agilent公司; UV754N紫外可见分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司; 精油提取器, 郑州中天实验仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 桂花果实精油的提取

称取90 g新鲜桂花果实, 粉碎后置于500 mL圆底烧瓶中, 加300 mL蒸馏水, 用精油提取器按水蒸气蒸馏法煮沸提取6 h, 收集无水乙醚层, 挥去乙醚溶剂, 用无水硫酸钠干燥, 得到浅黄色的透明油状液体, 共提取12次。取部分精油用无水乙醚稀释进行GC-MS测试, 另取部分精油用丙酮稀释成体积分数20%, 用于抗氧化活性测试。

1.2.2 GC-MS分析条件

色谱条件: 选用HP-5 MS弹性石英毛细管柱(0.25 μm, 30 m×0.25 mm)。升温程序: 40 °C保持5 min, 以5 °C/min升到60 °C, 保持2 min, 再以5 °C/min升到285 °C, 保持5 min; 高纯氮气为载气, 体积流量为1.0 mL/min, 分流比为10:1; 进样口温度为280 °C; 进样量为0.5 μL。

质谱条件: 电子轰击(EI)离子源, 电子能量70 eV; 溶剂延迟2.2 min; 扫描质量数范围m/z 35~450。

1.2.3 KI值测定

取正构烷烃混合对照品在“1.2.2”条件下进行GC-MS分析, 记录各正构烷烃的保留时间。采用线性升温公式计算精油各组分的保留指数(KI), $KI = 100 \times (t - t_n) / (t_{n+1} - t_n)$, 其中t_x、t_n、t_{n+1}分别为被分析组分、碳原子数处于n和n+1之间的正烷烃(t_n<t_x<t_{n+1})的流出峰的保留时间^[12]。

1.2.4 桂花果实精油抗氧化活性的测定

1.2.4.1 总还原力的测定^[13]

取20%桂花果实精油20~100 μL置于5支试管, 样品

体积少于100 μL的试管, 用丙酮补至100 μL, 形成不同浓度梯度样品; 加pH 6.6磷酸缓冲液(0.2 mol/L) 1 mL及10 mg/mL铁氰化钾1 mL, 50 °C水浴20 min, 加入100 mg/mL三氯乙酸1 mL, 4000 r/min离心10 min, 取上清液2.5 mL, 加2.5 mL蒸馏水和1 mg/mL三氯化铁0.5 mL, 10 min后于700 nm处测吸光度。吸光度值越大, 表示总还原力越强。以0.50 mg/mL的Vc作为阳性对照。

1.2.4.2 金属离子螯合作用的测定^[14]

取20~100 μL精油置于5支试管中, 样品体积少于100 μL的试管, 用丙酮将样品体积补至100 μL, 形成不同浓度梯度样品。分别加入2.8 mL蒸馏水、50 μL 2 mmol/L的FeCl₂·4H₂O和150 μL 5 mmol/L的菲咯嗪, 10 min后在562 nm处测吸光度(A_i), 以100 μL丙酮代替精油作为空白对照, 测其吸光度(A₀)。以0.50 mg/mL的EDTA作为阳性对照。

$$\text{螯合率}/\% = (1 - A_i / A_0) \times 100\%$$

1.2.4.3 ABTS·的清除作用的测定^[14]

将等量的7 mmol/L ABTS溶液与2.45 mmol/L过硫酸钾混合后置于暗处12 h。用甲醇将ABTS溶液稀释至其在734 nm处吸光度0.70±0.02。将不同体积(20~100 μL)样品加入2 mL ABTS自由基溶液中, 6 min后测其吸光度(A_i)。测定2 mL ABTS自由基溶液与样品体积相同甲醇混合后的吸光度(A₀); 测定2 mL甲醇溶液与不同体积样品液的吸光度(A_j)。以1.00 mg/mL的Vc作为阳性对照。

$$\text{清除率}/\% = [(A_0 - A_i + A_j) / A_0] \times 100\%$$

1.2.4.4 DPPH·的清除作用的测定^[15-16]

取20~100 μL样品置于5支试管, 样品体积少于100 μL的试管, 以丙酮补至100 μL。分别加4 mL 24 mg/L的DPPH乙醇(95%)溶液混合, 避光2 h, 在波长517 nm处测吸光度(A_i), 以不加样品的DPPH乙醇液为对照, 测定对照组吸光度(A₀)。以1.00 mg/mL的Vc作为阳性对照。

$$\text{清除率}/\% = (1 - A_i / A_0) \times 100\%$$

1.2.5 数据分析

各组分的质谱图进行NIST08图谱库检索, 选取匹配度高的可能物质, 计算其KI值, 并检索其文献报道的KI值^[17-22], 以质谱匹配度和KI值匹配度最高的化学结构为最佳鉴定结果; 用面积归一化法计算各组分的相对百分含量。抗氧化活性实验数据采用SPSS 10.0统计软件进行回归方程分析, 计算其ED₅₀。

2 结果与分析

2.1 桂花果实精油 GC-MS 分析结果

利用气相色谱-质谱联用仪分析桂花果实精油，并按峰面积归一化法计算各组分的相对含量，总离子流图见图1，具体分析结果见表1。从桂花果实精油中共分离出66个色谱峰，鉴定出44个化合物，占精油总量的89.12%。已鉴定出44个化合物包括酯类8种(47.28%)、酸类4种(15.67%)、醛类7种(5.78%)、酮类1种(1.05%)、醇类1种(0.83%)、萜类及其含氧衍生物13种(6.26%)、烷烃类5种(7.45%)、含苯环的酚、醌、萜类5种(4.80%)，主要含有酯类、酸类，酮类、醇类成分种类少、含量低。精油中萜类及其含氧衍生物种类较多，但含量较低，以微量成分为主，包括单萜及其含氧衍生物8种(4.01%)、倍半萜及其含氧衍生物4种(2.03%)、三萜1种(0.22%)。此外，精油中烟酸甲酯、6-甲基烟酸甲酯、5-乙炔基-3-吡啶羧酸甲酯含有氮，共占精油总量的31.64%。

桂花果实精油已鉴定出成分中含量高于2.00%的成分有5-乙炔基-3-吡啶羧酸甲酯(31.04%)、对甲酰基苯甲酸甲酯(13.54%)、棕榈酸(13.05%)、1,21-二十二碳二烯(3.73%)、1,2-环氧十八烷(3.03%)，这5中主要成分占精油总量的64.39%)，包括2种酯类、2种烷烃、1种酸类。

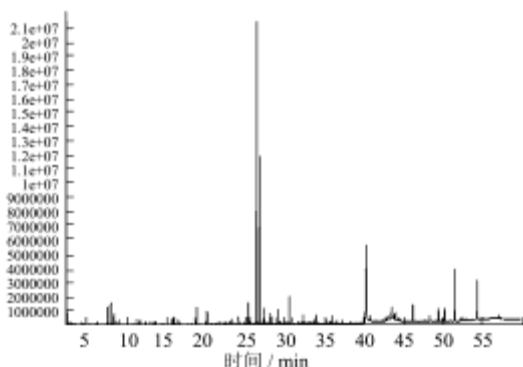


图1 桂花果实精油总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of essential oils from osmanthus fragrans fruits

表1 桂花果实精油的化学成分

Table 1 Chemical constituents of essential oils from osmanthus fragrans fruits

化合物名称	保留时间/min	分子式	KI 值 (测量值)	KI 值 (文献值)	相对含量/%
乙酸乙酯	2.411	C ₄ H ₈ O ₂	611	-	0.48
巴豆醛	2.779	C ₄ H ₆ O	643	-	0.05
糠醛	7.472	C ₅ H ₄ O ₂	832	835	1.47
2-乙炔基-2-丁烯醛	7.948	C ₆ H ₈ O	844	-	1.82
2-己烯醛	8.265	C ₆ H ₁₀ O	852	854	0.61
叶醇	8.389	C ₆ H ₁₂ O	856	851	0.83

3-呋喃甲酸甲酯	11.202	C ₆ H ₆ O ₃	930	-	0.45
右旋- α -蒎烯	11.660	C ₁₀ H ₁₆	933	939	0.41
苯甲醛	12.949	C ₇ H ₆ O	960	959	0.26
对甲基异丙基苯	15.732	C ₁₀ H ₁₄	1024	1023	0.52
右旋-柠檬烯	15.891	C ₁₀ H ₁₆	1028	1027	0.47
桉叶油醇	15.981	C ₁₀ H ₁₈ O	1031	1028	0.61
苯乙醛	16.512	C ₈ H ₈ O	1043	1044	0.39
芳樟醇	18.640	C ₁₀ H ₁₈ O	1095	1094	0.42
壬醛	18.802	C ₉ H ₁₈ O	1104	1103	1.18
烟酸甲酯	19.963	C ₇ H ₇ NO ₂	1139	-	0.31
樟脑	20.121	C ₁₀ H ₁₆ O	1144	1146	1.00
α -松油醇	21.663	C ₁₀ H ₁₈ O	1191	1190	0.19
6-甲基烟酸甲酯	23.033	C ₈ H ₉ NO ₂	1236	-	0.29
顺式-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	23.217	C ₁₀ H ₁₆ O	1242	-	0.36
柠檬醛	24.086	C ₁₀ H ₁₆ O	1272	1270	0.55
壬酸	24.185	C ₉ H ₁₈ O ₂	1277	1281	0.27
对乙炔基愈疮木酚	25.324	C ₉ H ₁₀ O ₂	1315	1315	1.82
5-乙炔基-3-吡啶羧酸甲酯	26.429	C ₉ H ₉ NO ₂	1356	-	31.04
对甲酰基苯甲酸甲酯	26.793	C ₉ H ₈ O ₃	1369	-	13.54
甲酸甲酯	27.281	C ₁₃ H ₁₈ O	1387	1382	1.05
β -大马烯酮	28.236	C ₁₅ H ₂₄	1424	1420	0.53
顺式-肉桂酸乙酯	29.332	C ₁₁ H ₁₂ O ₂	1467	-	0.20
2,6-二叔丁基-1,4-苯醌	29.392	C ₁₄ H ₂₀ O ₂	1470	-	0.24
2,6-二叔丁基对甲酚	30.522	C ₁₅ H ₂₄ O	1517	-	1.95
d-杜松烯	30.813	C ₁₅ H ₂₄	1528	1523	0.43
石竹烯氧化物	32.291	C ₁₅ H ₂₄ O	1590	1593	0.73
T-依兰油醇	33.605	C ₁₅ H ₂₆ O	1647	1646	0.34
蒽	36.534	C ₁₄ H ₁₀	1712	-	0.27
棕榈酸	40.264	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1885	1887	13.05
二十一烷	42.704	C ₂₁ H ₄₄	-	-	0.27
亚油酸	43.407	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	-	-	0.54
油酸	43.475	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-	-	1.81
二十二烷	44.477	C ₂₂ H ₄₆	-	-	0.20
邻苯二甲酸单(2-乙基己基)酯	50.181	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	-	0.97
1,21-二十二碳二烯	51.410	C ₂₂ H ₄₂	-	-	3.73
1-二十二烯	52.296	C ₂₂ H ₄₄	-	-	0.22
角鲨烯	54.219	C ₃₀ H ₅₀	-	-	0.22
1,2-环氧十八烷	54.300	C ₁₈ H ₃₆ O	-	-	3.03

前人主要对不同产地、不同品种桂花精油化学成分进行研究,江西新余的桂花精油化学成分主要为氧化芳香醇、紫罗兰酮、香叶醇、邻苯二甲酸二丁酯等^[7],湖北咸宁桂花精油化学成分主要为1,2-环氧芳樟醇、(E)-呋喃芳樟醇氧化物、β-芳樟醇、壬醛、棕榈酸等^[8],湖北武汉桂花精油化学成分主要为(E)-呋喃芳樟醇氧化物、顺式-吡喃芳樟醇氧化物、β-紫罗兰酮、4-羟基-β-紫罗兰酮、棕榈酸、9,12,15-十八碳三烯酸等^[9],广西桂林桂花精油化学成分主要为α-甲基-α-[4-甲基-3-戊烯基]环氧丙醇、芳香醇、邻苯二甲酸二异丁酯等^[10],安徽六安桂花精油化学成分主要为棕榈酸、β-紫罗兰酮、亚麻酸甲酯、亚麻酸、二氢-β-紫罗兰酮、油酸乙酯、芳樟醇等^[11]。因此,桂花精油化学成分主要为萜类及其衍生物、棕榈酸、邻苯二甲酸酯类。桂花果实精油含有13种萜类及其衍生物,但均为含量较低的微量成分,且只鉴定出一种含量较低的邻苯二甲酸酯类。桂花叶精油化学成分主要为苯甲醇、苯乙醇、叶醇、乙酸叶醇酯、长叶烯^[23-24],桂花果实精油中只鉴定出叶醇,但含量较低。桂花果实精油化学成分与已报道的花和叶的精油化学成分存在较大差异,5-乙炔基-3-吡啶羧酸甲酯、对甲酰基苯甲酸甲酯、烟酸甲酯、6-甲基烟酸甲酯等成分均为首次在该植物中报道。

桂花果实精油中含有多种有应用价值的化学成分,是其进一步开发利用的基础。叶醇具有强烈的新鲜叶草香气,属清香型名贵香料;苯甲醇、壬酸、α-松油醇可用作食用香料,壬酸可配制椰子和浆果类香精;α-松油醇可以配制柠檬、白柠檬等柑橘类水果香精;柠檬醛用作樱桃、李子等食品的香精,还可用于制造维生素A、E;亚油酸是人体必需脂肪酸,有“血管清道夫”的美誉,具有降低胆固醇和血脂的作用,可预防或减轻动脉粥样硬化及心血管疾病;油酸能降低人体内低密度脂蛋白胆固醇的含量,同时不会降低高密度脂蛋白胆固醇;对甲酰基苯甲酸甲酯可用作医药的中间体。因此,桂花果实精油在食品、香精香料、医药等行业具有应用前景。

2.2 桂花果实精油的抗氧化活性

2.2.1 桂花果实精油的总还原力

生物样品的总还原力与其抗氧化活性呈显著的正相关,总还原力的高低可以反映抗氧化能力的强弱^[25]。由图2可知,20%桂花果实精油具有较好的总还原力,在样品体积为20~100 μL时,精油的总还原力明显优于0.50 mg/mL的维生素C,且精油的总还原力随着样品体积的增加而逐渐增大,两者呈剂量依赖关系。精油的体积(X)与总还原力(Y)的回归方程为:

$Y=0.0024X+0.1457(R^2=0.8619)$,精油和维生素C的ED₅₀(总还原力吸光度为0.50时的样品体积)分别为147.63、276.29 μL,维生素C的体积是精油体积的5.80倍。

2.2.2 桂花果实精油对金属离子的螯合作用

金属离子在自由基氧化过程中起催化剂作用,螯合金属离子可以降低自由基的危害。由图3可知,20%桂花果实精油对金属离子有显著的螯合作用,在测试的体积范围内,螯合效果略优于0.50 mg/mL的EDTA。精油对金属离子的螯合率随着样品体积的增大而增加,两者呈正相关;但随着样品体积的增加,螯合率的增幅逐渐减少,说明精油对金属离子的螯合作用有饱和效应。随着样品体积的增加,精油和EDTA对金属离子螯合率的差异有减少趋势。精油的体积(X)与螯合率(Y)的回归方程为:

$$Y=0.7349X+19.6850(R^2=0.9642)$$

精油、EDTA的ED₅₀(螯合率为50%的样品体积)分别为41.25、51.74 μL。

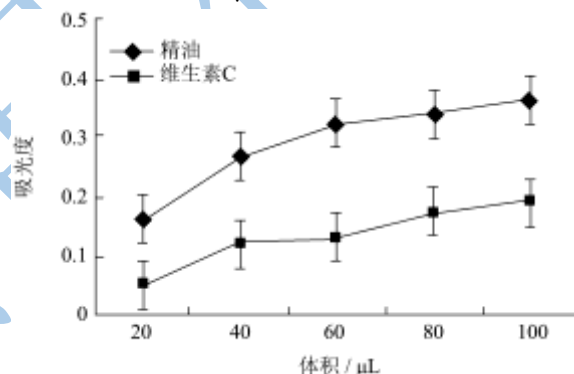


图2 精油的总还原力

Fig.2 Total reducing power of essential oils

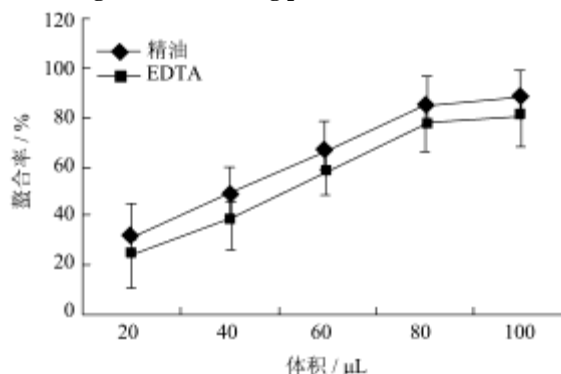


图3 精油对金属离子的螯合作用

Fig.3 Metal chelating ability of essential oils

2.2.3 桂花果实精油对ABTS·的清除作用

ABTS·清除法是一种广泛应用于生物样品总抗氧化能力测定方法,具有操作简单、快速等优点。由图4可知,桂花果实精油对ABTS·有较好的清除能力,清除效果略低于1.00 mg/mL维生素C。随着精油体积的增

加,对ABTS·的清除效果逐渐增强,但增幅逐渐减少,说明样品体积与清除作用间不仅存在剂量依赖关系,而且存在饱和效应。精油体积(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y=0.7991X+23.2201(R^2=0.8700)$,精油与维生素C的ED₅₀(清除率为50%时的样品体积)分别为33.51、21.46 μL。

2.2.4 桂花果实精油对DPPH·的清除作用

DPPH·在有机溶剂中是一种稳定的、以氮为中心的质子自由基,被广泛用于抗氧化剂的研究^[26]。由图5可知,桂花果实精油对DPPH·有明显的清除作用,体积为100 μL时,清除率为76.80±1.43%;在测试体积范围内,精油对DPPH·的清除效果低于1.00 mg/mL的维生素C。精油体积与清除率间呈剂量效应,随着体积的增加,清除率逐渐增大,两者的相关系数为0.9871,呈极显著正相关。精油体积(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y=0.6384X+17.4791(R^2=0.9567)$,精油与维生素C的ED₅₀分别为50.94、35.26 μL。

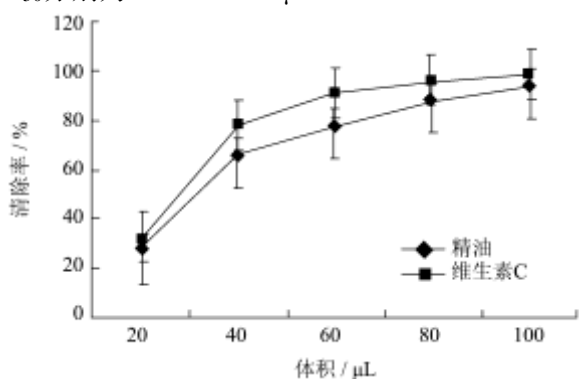


图4 精油对ABTS·的清除作用

Fig.4 Scavenging capacity against ABTS· of essential oils

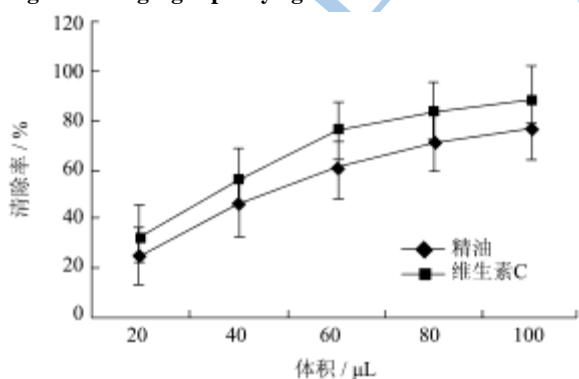


图5 精油对DPPH·的清除作用

Fig.5 Scavenging capacity against DPPH· of essential

3 结论

精油是桂花的主要生物活性成分,对桂花果实精油化学成分和生物活性的研究具有重要意义。GC-MS分析结果表明,桂花果实精油含有醇、酮、醛、酸、酯、烷烃、萜类及其含氧衍生物等成分,以酯类和酸

类成分为主,含有多种有应用价值的生物活性成分,5-乙烯基-3-吡啶羧酸甲酯、对甲酰基苯甲酸甲酯、棕榈酸、1,21-二十二碳二烯、1,2-环氧十八烷含量较高,桂花果实精油与花和叶精油化学成分存在较大差异。桂花果实精油有良好的体外抗氧化活性,总还原力和对金属离子的螯合作用优于0.50 mg/mL的维生素C和EDTA,对ABTS·和DPPH·的清除能力略低于1.00 mg/mL的维生素C。因此,桂花果实精油在食品、医药等行业及天然抗氧化剂研发有应用前景。

参考文献

- [1] 雷明.桂花果实黄酮分离纯化工艺及其抗氧化研究[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(4):77-82
LEI Ming. Purification techniques of flavonoids from the fruit of osmanthus fragrans and evaluation of their antioxidant effects [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, 33(4): 77-82
- [2] 李异政.桂花种子和酸浆全草的化学成分研究[D].桂林:广西师范大学,2007
LI Yi-zheng. Study on the chemical constituents of the seeds of o. fragrans and the whole plants of p. alkekengi var. francheti [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2007
- [3] 田成.桂花果实多酚的超声波提取及抗氧化活性研究[J].食品科学,2011,32(24):106-110
TIAN Cheng. Ultrasonic extraction and antioxidant activity of polyphenols from osmanthus fragrans fruits [J]. Food Science, 2011, 32(24): 106-110
- [4] 朱志仁,王凯,潘英明,等.桂花种子皮黑色素还原性、金属螯合性及其金属含量的研究[J].食品工业科技,2007,28(1):179-180
ZHU Zhi-ren, WANG Kai, PAN Ying-ming, et al. Study on Reducing Power, Metal Chelating Ability and Metal Contents of the Pure Natural Melanin from *Osmanthus fragrans*' Seeds [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(1): 179-180
- [5] 潘英明,李海云,王恒山,等.桂花种子皮黑色素总酚含量的测定及其脂质抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2005,26(5):145-148
PAN Ying-ming, LI Hai-yun, WANG Hen-shan, et al. Study on total phenolic content and lipid peroxidation inhibition activities of l melanin from *Osmanthus fragrans*' seeds [J]. Food Research and Development, 2005, 26(5): 145-148
- [6] 张晓璞.虎杖根茎和桂花果肉的抗氧化活性初探[D].桂林:广西师范大学,2008
ZHANG Xiao-pu. Study on the antioxidant activity of

- Polygonum cuspidatum* rhizoma and *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour pulp [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2008
- [7] 陈虹霞,王成章,孙燕.不同品种桂花挥发油成分的 GC-MS 分析[J].生物质化学工程,2012,46(4):37-40
CHEN Hong-xia, WANG Cheng-zhang, SUN Yan. Analysis of essential oil compounds from different species *Osmanthus fragrans* Lour by Gas Chromatography-Mass Spectrometry [J]. Biomass Chemical Engineering, 2012, 46(4): 37-40
- [8] HU Chun-di, LIANG Y zeng i-, LI Xiao-ru, et al. Essential oil composition of *Osmanthus fragrans* varieties by GC-MS and heuristic evolving latent projections [J]. Chromatographia, 2009, 70(7-8): 1163-1169
- [9] WANG Li-mei, LI Mao-teng, JIN Wen-wen, et al. Variations in the components of *Osmanthus fragrans* Lour. essential oil at different stages of flowering [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 233-236
- [10] 康文艺,王金梅.四个桂花品种挥发油成分研究[J].天然产物研究与开发,2010,22:807-811
KANG Wen-yi, WANG Jin-mei. Composition of the essential oil in four species *Osmanthus fragrans* [J]. Natural Product Research and Development, 2010, 22: 807-811
- [11] 麦秋君.桂花净油化学成分分析[J].广东工业大学学报, 2000,17(1):73-75
MAI Qiu-jun. Analysis of chemical constituents of *Osmanthus absolute* oil [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2000, 17(1): 73-75
- [12] Isidorov V A, Krajewska U, Vinogorova V T, et al. Gas chromatographic analysis of essential oil from buds of different birch species with preliminary partition of components [J]. Biochemical Systematics Ecology, 2004, 32(1): 1-13
- [13] 莫开菊,柳圣,程超.生姜黄酮的抗氧化活性研究[J].食品科学,2006,27(9):111-113
MO Kai-ju, LIU Sheng, CHENG Chao. Study on antioxidant activity of the ginger flavonoid [J]. Food Science, 2006, 27(9): 111-113
- [14] 杨少辉,宋英今,王洁华,等.雪莲果体外抗氧化和自由基清除能力[J].食品科学,2010,31(17):166-169
YANG Shao-hui, SONG Ying-jin, WANG Jie-hua, et al. In vitro antioxidant and free radical scavenging activities of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers [J]. Food Science, 2010, 31(17): 166-169
- [15] 贾红丽,张丕鸿,计巧灵,等.新疆阿勒泰百里香挥发油化学成分 GC-MS 分析及抗氧化活性测定[J].食品科学,2009, 30(4):224-229
JIA Hong-li, ZHANG Pi-hong, JI Qiao-ling, et al. Analysis of chemical constituents of volatile oil from thymus altaicus klok. in xinjiang using GC-MS and its antioxidant activity [J]. Food Science, 2009, 30(4): 224-229
- [16] 赵金伟,李范洙,张先.苹果梨酚类物质抗氧化活性研究[J].食品科学,2010,31(17):170-172
ZHAO Jin-wei, LI Fan-zhu, ZHANG Xian. Antioxidant activity study of phenolic compounds from pingguoli pear peels [J]. Food Science, 2010, 31(17): 170-172
- [17] Smain C, Ratiba C, Brahim Y M, et al. Composition and microbial activity of thyme (*Thymus Algeriensis* Genuinus) essential oil [J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(1): 5-11
- [18] Brada M, Tabti N, Boutoumi H, et al. Composition of the essential oil of leaves and berries of algerian myrtle (*Myrtus communis* L.) [J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(1): 1-3
- [19] Maria C M, Claudio S, Gildas N O M, et al. Chemistry, antioxidant, antibacterial and antifungal activities of volatile oils and their components [J]. Natural Product Communications, 2009, 12(4): 1751-1754
- [20] Laura D M, Vincenzo D F, Florinda F, et al. Chemical composition of the essential oil of commiphora erythraea [J]. Natural Product Communications, 2009, 12(4): 1741-1750
- [21] Chang K M, Kim G H. Volatile aroma constituents of gukhwaa (*Chrysanthemum morifolium* R.) [J]. Food Science Biotechnology, 2013, 22(3): 659-663
- [22] Zheng Jia, Wu Chong-De, Huang Jun. Analysis of volatile compounds in chinese soy sauces moromi cultured by different fermentation processes [J]. Food Science Biotechnology, 2013, 22(3): 605-612
- [23] 何冬宁,姜自见,张文慧,等.桂花叶挥发油分析及其生物活性[J].江苏林业科技,2008,35(4):1-3
HE Dong-ning, JIANG Zi-jian, ZHANG Wen-hui, et al. Study on chemical constituent and biological activity of volatile oil from leaves of *Osmanthus fragrans* Lour [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology, 2008, 35(4): 1-3
- [24] 王呈仲,苏越,郭寅龙.顶空-气相色谱-质谱联用分析桂花和叶中挥发性成分[J].有机化学,2009,29(6):948-955
WANG Cheng-zhong, SU Yue, GUO Yin-long. Analysis of the volatile components from flowers and leaves of *Osmanthus fragrans* Lour. by headspace-GC-MS [J]. Chinese Journal of Organic Chemistry, 2009, 29(6): 948-955

- [25] Youdim K A, Shukitt B, Mackimmon S, et al. Polyphenolics enhance red blood cell resistance to oxidative stress: in vitro and in vivo[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, 1523(1): 117-122
- [26] Awika J M, Rooney L W, Wu X L, et al. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(23): 6657-6662

现代食品科技