

丁香不同部位挥发油的 GC-MS 成分分析和抗氧化活性比较

左遨勋,刘积光,高玉梅,刘平怀*

(海南大学,海南 海口 570228)

摘要:通过水蒸气蒸馏法提取丁香不同部位(花蕾、果实、叶、枝)的挥发油,并采用气相色谱-质谱法鉴定其化学成分组成,并研究其抗氧化活性。结果表明,丁香酚、乙酰丁香酚和 β -石竹烯等是丁香4个部位的主要成分;丁香花蕾、果实、叶、枝部位挥发油对 DPPH $\cdot$ 的 IC_{50} 值分别为 (37.35 ± 0.82) 、 (98.18 ± 0.50) 、 (21.37 ± 0.32) 、 (28.14 ± 0.46) $\mu\text{g/mL}$;对 ABTS $^{+\cdot}$ 的 IC_{50} 值为 (139.48 ± 0.76) 、 (244.99 ± 1.21) 、 (117.32 ± 0.63) 、 (141.61 ± 0.84) $\mu\text{g/mL}$;还原力和铁离子还原/抗氧化能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)测定结果:丁香叶最大,花蕾与枝数值近似,丁香果实最小。

关键词:丁香;挥发油;化学成分;丁香酚;抗氧化活性

GC-MS Analysis and Comparison of Antioxidant Activities of Volatile Oils from Different Parts of *Eugenia caryophyllata* Thunb.

ZUO Ao-xun, LIU Ji-guang, GAO Yu-mei, LIU Ping-huai*

(Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China)

Abstract: The volatile oils of *Eugenia caryophyllata* Thunb. were extracted from buds, fruits, leaves, and branches by steam distillation. Their chemical compositions were identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and antioxidant activities were investigated. The results showed that eugenol, acetyleugenol, and β -caryophyllene served as the main components of the four parts of *E. caryophyllata*. The IC_{50} values of volatile oils from buds, fruits, leaves, and branches on DPPH $\cdot$ were (37.35 ± 0.82) , (98.18 ± 0.50) , (21.37 ± 0.32) $\mu\text{g/mL}$, and (28.14 ± 0.46) $\mu\text{g/mL}$, respectively, while the IC_{50} values on ABTS $^{+\cdot}$ were (139.48 ± 0.76) , (244.99 ± 1.21) , (117.32 ± 0.63) $\mu\text{g/mL}$, and (141.61 ± 0.84) $\mu\text{g/mL}$, respectively. Additionally, as revealed by reducing power and ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assays, the value in the leaves was the highest, followed by those in the buds and branches, and that in the fruits was the lowest.

Key words: *Eugenia caryophyllata* Thunb.; volatile oils; chemical composition; eugenol; antioxidant activity

引文格式:

左遨勋,刘积光,高玉梅,等. 丁香不同部位挥发油的 GC-MS 成分分析和抗氧化活性比较[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 146-151.

ZUO Aoxun, LIU Jiguang, GAO Yumei, et al. GC-MS Analysis and Comparison of Antioxidant Activities of Volatile Oils from Different Parts of *Eugenia caryophyllata* Thunb.[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 146-151.

丁香(*Eugenia caryophyllata* Thunb.)属桃金娘科植物,是原产于印度尼西亚的一种香料^[1]。现已在世界各地广泛种植,主要有印度尼西亚、桑给巴尔和马达加

斯加岛^[2]。丁香是中国的传统进口“南药”之一,我国从20世纪50年代开始引种,目前在海南、广东、云南等地均有栽培^[3]。植物挥发油,也叫植物精油,是一种次

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD14B01);国家科技型中小企业技术创新基金项目(13C26244604892);海南省产学研一体化项目(CXY20150034);海南省中药现代化科技专项(ZY201327);两种药食同源南药资源的综合利用价值研究(ZDYF2020169)

作者简介:左遨勋(1994—),男(汉),硕士研究生,研究方向:药食同源植物研究开发。

*通信作者:刘平怀(1967—),男(汉),教授,研究方向:药食同源植物/微藻及其代谢产物研究开发。

生代谢物质,通常从芳香植物中提取^[4]。在我国传统中医实践中,医食同源的理念一直贯穿于其中,现在研究表明,丁香花蕾含有挥发油,油中主要含丁香酚、丁香油酸、乙酰丁香油酸及丁香烯、甲基正戊酮、甲基正庚酮、香茅兰醛等成分。

目前国内外对丁香挥发油的研究多集中于丁香花蕾,缺乏对丁香其他部位的挥发油的研究。为了全面开发丁香全植株,本文通过水蒸气蒸馏法提取丁香4个不同部位的挥发油,并通过气相色谱-质谱(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)法鉴定丁香花蕾、丁香果实、丁香叶和丁香枝挥发油的化学成分,并研究丁香4个不同部位挥发油的抗氧化活性,填补了丁香全株挥发油抗氧化活性研究方面的空白,为后续综合利用丁香全植株挥发油提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

丁香花蕾:中国广西省药材市场;丁香果实:中国海南省三亚市药材市场;丁香枝、丁香叶:采自海南省兴隆热带植物园,采集的样品为带叶小枝,随后枝叶分离,自然风干。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]、过硫酸钾、三氯乙酸:上海麦克林生化科技有限公司;无水乙醇、三氯化铁:西陇化工股份有限公司;磷酸缓冲盐溶液(phosphate buffer saline, PBS)、铁氰化钾:上海源叶生物科技有限公司;2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪[2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ]:上海阿拉丁生化科技有限公司。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

气相色谱质谱联用仪(Thermo Trace 1300):美国赛默飞世尔公司;紫外可见分光光度计(TU-1810PC):北京普析通用仪器有限责任公司;实验室超纯水机(Smart S-15):上海和泰仪器有限公司;酶标仪(xMark):BIO-RAD公司;旋转蒸发仪(RV10plus):艾卡仪器设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发油的制备

丁香4个部位挥发油采用重挥发油提取装置^[5-6],经水蒸汽蒸馏法提取,料液比为1:8(g/mL),各部位提取的挥发油具有浓郁的香气,由花蕾部位得到占样品总质量12%的淡黄色透明挥发油,由果实部位得到占

样品总质量2%的黄色透明挥发油,由枝部位得到占样品总质量0.9%的黄色透明挥发油,由叶部位得到占样品总质量2.8%的黄色透明挥发油。

1.3.2 化学分析

1.3.2.1 气相色谱条件

气相色谱检测条件:色谱柱 Agilent 122-5532UI, DB-5ms Ultra Inert, 30 m×250 μm×0.25 μm;进样口温度 250 ℃,柱前压 48.27 kPa,进样量 1 μL,载气(He)流量 1 mL/min,分流 15 mL/min。程序升温:起始温度 40 ℃,保持 1 min,以 40 ℃/min 升温至 120 ℃,以 5 ℃/min 升温至 240 ℃,最后以 12 ℃/min 升温至 300 ℃,保持 6 min。

1.3.2.2 质谱条件

质谱检测条件:电子轰击离子源电离方式,电子能量 70 eV,接口温度 280 ℃,离子源温度 250 ℃,质量扫描范围 m/z 35~350。

1.3.3 体外抗氧化活性的测定

1.3.3.1 DPPH·清除能力测定

根据文献[7],稍作修改。配制质量浓度为 60 μmol/L DPPH-乙醇溶液,加入 0.5 mL 丁香不同部位挥发油,置于阴暗处反应 30 min,乙醇调零后在波长 517 nm 处测量吸光度,阳性对照为 V_c , DPPH·清除率计算公式如下。

$$\text{DPPH}\cdot\text{清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0}\right) \times 100$$

式中: A_0 为0.5 mL乙醇+4.5 mL DPPH的吸光度; A_1 为0.5 mL供试品+4.5 mL乙醇的吸光度; A_2 为0.5 mL供试品+4.5 mL DPPH的吸光度。

1.3.3.2 ABTS⁺清除能力测定

参照文献[8-9],取质量浓度为 7 mmol/L 的 ABTS 溶液和质量浓度为 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液,按相同体积混合,避置于阴暗处反应 24 h,稀释后使 ABTS 混合液吸光值为 0.700 ± 0.050 ;取 1.9 mL ABTS 混合液加入 50 μL 乙醇稀释的不同浓度的丁香挥发油,置于暗处反应 6 min,在波长 734 nm 处测量吸光度,阳性对照为 V_c , ABTS⁺清除率计算公式如下。

$$\text{ABTS}^+\cdot\text{清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times 100$$

式中: A_1 为样品组吸光度; A_2 为对照组吸光度。

1.3.3.3 还原力测定

参照文献[10-11],取 0.5 mL 样品,依次加入 2.5 mL 0.2 mol/L PBS 溶液(pH6.6)、2.5 mL 1%铁氰化钾溶液,充分混合。将混合后的溶液放置在 50 ℃水浴锅中反应 25 min,再向离心管中加入 2.5 mL 三氯乙酸溶液,充分混合后离心;吸取上层澄清液体 2.5 mL 加入 2.5 mL 蒸

馏水、0.5 mL 0.1%三氯化铁溶液,摇匀后反应 10 min;最后在 700 nm 波长处测定其吸光度,以此表征还原力。

1.3.3.4 铁离子还原/抗氧化能力 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)测定

参照文献[12],取 2.5 mL 20 mmol/L 的 FeCl_3 溶液、10 mmol/L TPTZ 溶液与 300 mmol/L 醋酸-醋酸钠缓冲液(pH3.6)按照体积比 1:1:10 混合;吸取各浓度混合液于 593 nm 下测定吸光度 A_1 ;加入 20 μL 稀释到适宜浓度的提取液,反应 10 min,测定吸光度 A_2 。计算反应后吸光度减去反应前的吸光度的数值 A_0 ,在标准曲线上找到该提取液吸光值 A_0 对应的 FeSO_4 浓度,此浓度即

FRAP 值。标准曲线回归方程为 $y=0.0006x+0.0998$,线性范围 0~3 000 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2=0.9998$)。

1.4 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 22.0 和 Origin 9.64 软件进行数据处理,结果表示为平均值 $\pm$ 标准差,所有数据均重复试验 3 次。

2 结果与分析

2.1 挥发油 GC-MS 分析

表 1 比较了经 GC-MS 测定的丁香不同部位挥发油的成分及含量。

表 1 丁香不同部位挥发油成分 GC-MS 分析

Table 1 GC-MS analysis of volatile oil of different parts of clove

编号	名称	保留时间/min	匹配度/%	分子式	相对含量/%			
					丁香花蕾	丁香果实	丁香叶	丁香枝
1	4-烯丙基苯酚	11.85	89.7	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}$	0.73	0.16	0.18	
2	12,15-octadecadiynoic acid, methyl ester	15.45	76.8	$\text{C}_{19}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.02	0.10	0.09	
3	4,7,10,13-十六烯酸甲酯	15.58	78.2	$\text{C}_{17}\text{H}_{26}\text{O}_2$	0.02	0.08	0.10	
4	丁香酚	15.94	93.1	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	69.34	54.76	73.67	52.47
5	α -依兰烯	16.62	80.9	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.16	0.15	0.20	
6	2-烯丙基-1,4-二甲氧基苯	17.59	75.0	$\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_2$			0.10	
7	β -石竹烯	18.30	94.3	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	9.52	4.33	6.38	1.14
8	2-甲氧基-5-(1-丙烯-1-基)苯酚	18.97	79.7	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	0.07			
9	10-heptadecen-8-ynoic acid, methyl ester, (E)-	19.44	75.8	$\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.01	0.03	0.09	0.12
10	(Z,Z,Z)-1,1,4,8-四甲基-4,7,10-环十烯丙烯	19.59	89.0	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	1.28			
11	葑草烯	19.60	87.4	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$		0.75	1.02	
12	β -胡椒烯	20.34	79.8	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.05	0.14	0.02	
13	β -依兰烯	20.34	76.8	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.07	0.10	0.08	
14	α -蒎烯	20.45	81.4	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$		0.10		
15	菖蒲醇	21.09	78.6	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$	0.10	0.26		
16	8,10-十八碳二炔酸甲酯	21.36	76.8	$\text{C}_{19}\text{H}_{30}\text{O}_2$			0.04	
17	顺-8,11,14,17-二十碳四烯酸甲酯	21.60	76.3	$\text{C}_{21}\text{H}_{34}\text{O}_2$	0.07			
18	乙酰丁香酚	22.31	91.5	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_3$	15.36	7.31	6.25	2.45
19	5,7-十六烯酸甲酯	22.55	76.2	$\text{C}_{17}\text{H}_{26}\text{O}_2$	0.06	0.19	0.01	
20	1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)萘	22.55	79.8	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$		0.13		
21	1H-Indene, 1-ethylideneoctahydro-7a-methyl-, cis-	23.30	80.4	$\text{C}_{12}\text{H}_{20}$	0.16			
22	2,5-十八碳二炔酸甲酯	24.36	75.9	$\text{C}_{19}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.02	0.16	0.19	0.20
23	反-Z- α -环氧化红没药烯	24.37	76.7	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$			0.03	
24	石竹素	24.46	82.7	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.19	0.34	1.88	
25	葑草烯环氧化物 II	25.43	83.0	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$			0.26	
26	库贝醇	26.12	84.7	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$		0.31		
27	视黄醛	26.15	81.8	$\text{C}_{20}\text{H}_{28}\text{O}$	0.05	0.08	0.14	
28	9,11-十八碳二炔酸甲酯	26.26	78.3	$\text{C}_{19}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.03	0.05	0.03	0.05
29	caryophylla-4(12),8(13)-dien-5 α -ol	26.41	88.4	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$			0.36	
30	4,6-十四碳二炔酸甲酯	26.62	77.6	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_2$			0.10	
31	tau.-cadinol	27.06	82.5	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$		0.14		
32	(1R,7S,E)-7-isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol	27.17	82.6	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$			0.40	
33	顺-Z- α -环氧化红没药烯	27.64	78.7	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.09	0.13	0.17	
34	异香橙烯环氧化物	27.65	82.5	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$			0.51	
35	2',3',4'-三甲氧基苯乙酮	28.34	80.7	$\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_4$		24.48	5.38	
36	2,4,6-三甲氧基苯乙酮	31.25	79.7	$\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_4$		0.18		
37	棕榈油酸	41.95	77.2	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$	0.18			
38	异柠檬酸乙酯	48.99	77.5	$\text{C}_{26}\text{H}_{44}\text{O}_5$	0.09		0.07	0.05
39	司骨化醇	50.96	78.0	$\text{C}_{27}\text{H}_{44}\text{O}_3$	0.07	0.15	0.01	0.04
40	13-十七炔-1-醇	52.47	77.7	$\text{C}_{17}\text{H}_{32}\text{O}$	0.11			
41	tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-	53.90	79.6	$\text{C}_{30}\text{H}_{52}\text{O}_2$	0.02			
42	正三十七烷醇	54.62	78.3	$\text{C}_{37}\text{H}_{76}\text{O}$	0.06	0.15		0.04
43	2-(4-甲基-6-(2,6,6-三甲基环己-1-烯)己烷-1,3,5-三烯基)环己-1-烯-1-甲酯	61.62	77.4	$\text{C}_{23}\text{H}_{32}\text{O}$			0.01	

从丁香花蕾、果实、叶、枝中得到含量为12%、2%、2.8%、0.9%的浅黄色透明挥发油,皆具有浓香味。由表1可知,丁香4个不同部位挥发油共鉴定出43种化学成分,其中倍半萜类为 α -依兰烯、 β -石竹烯、(Z,Z,Z)-1,1,4,8-四甲基-4,7,10-环十烯丙烯、葎草烯、 β -胡椒烯、 β -依兰烯、菖蒲醇、1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)萘、反-Z- α -环氧化红没药烯、石竹素、葎草烯环氧化物II、库贝醇、顺-Z- α -环氧化红没药烯、caryophylla-4(12),8(13)-dien-5 α -ol、 α -蒎烯、tau.-cadinol、(1R,7S,E)-7-isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol、异香橙烯环氧化物;炔酯类有12,15-octadecadiynoic acid, methyl ester、10-heptadecen-8-ynoic acid, methyl ester、(E)-、8,10-十八碳二炔酸甲酯、5,7-十六烯酸甲酯、2,5-十八碳二炔酸甲酯、9,11-十八碳二炔酸甲酯、4,6-十四碳二炔酸甲酯;烯酯类为4,7,10,13-十六烯酸甲酯、顺-8,11,14,17-二十碳四烯酸甲酯;酚类有4-烯丙基苯酚、丁香酚、2-甲氧基-5-(1-丙烯-1-基)苯酚;醚类为2-烯丙基-1,4-二甲氧基苯、tricyclo [20.8.0.0(7,16)] triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-;此外还有少量的酚酯、烯烃、二萜、芳香酮、脂肪酸、醇类等物质。其中丁香酚、 β -石竹烯、乙酰丁香酚、2,5-十八碳二炔酸甲酯、9,11-十八碳二炔酸甲酯、司骨化醇、10-heptadecen-8-ynoic acid, methyl ester、(E)-为丁香不同部位挥发油的7个共有成分。

丁香酚、 β -石竹烯、乙酰丁香酚作为丁香不同挥发油的共有成分,这3种成分在丁香花蕾中的总比例为94.22%,在丁香果实中的总比例为66.40%,在丁香叶中的总比例为86.30%,在丁香枝中的总比例为56.06%,相对含量均达到50%以上,且在丁香叶中的含量与丁香花蕾中的含量比较接近。但丁香叶和丁香果实的主要成分种类更接近,都含有较高比例的2',3',4'-三甲氧基苯乙酮,而丁香花蕾和丁香枝中则没有此成分。丁香枝挥发油检出的成分种类最少,但其中的异柠檬酸乙酯是丁香果实不具有的,正三十七烷醇是丁香叶挥发油不具有的。

2.2 抗氧化活性评价

2.2.1 DPPH·清除能力

图1比较了丁香不同部位挥发油与V_C的DPPH·清除能力。

由图1可知,在一定范围内,DPPH·的清除率与浓度有良好的量效关系。随着丁香挥发油浓度的增加,DPPH·清除率也随之增加。根据拟合曲线,V_C、丁香叶、丁香花蕾、丁香果实和丁香枝的DPPH·自由基清除

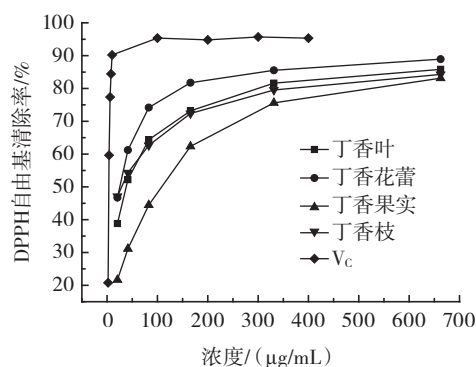


图1 丁香不同部位挥发油与V_C的DPPH·清除能力

Fig.1 DPPH· scavenging ability of volatile oil of different parts of clove and V_C

能力的IC₅₀值分别为(2.51±0.12)、(21.37±0.32)、(37.35±0.82)、(98.18±0.50)、(28.14±0.46) μg/mL。在0~64.23 μg/mL,丁香枝的DPPH·清除率高于丁香花蕾;在64.23 μg/mL~700 μg/mL,丁香花蕾的DPPH·清除率高于丁香枝。丁香叶的DPPH·清除率最高但低于V_C,丁香果实的DPPH·清除率最低。

2.2.2 ABTS⁺清除活性

丁香不同部位挥发油与V_C的ABTS⁺清除能力见图2。

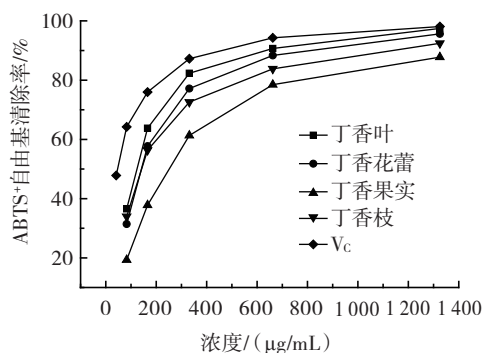


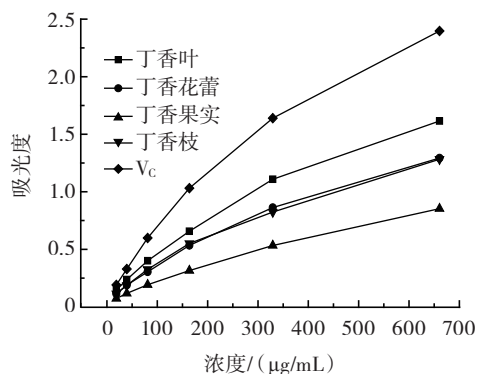
图2 丁香不同部位挥发油与V_C的ABTS⁺清除能力

Fig.2 ABTS⁺ scavenging ability of volatile oil of different parts of clove and V_C

由图2可知,ABTS⁺清除率随着丁香挥发油浓度的增加而增加。V_C、丁香叶、丁香花蕾、丁香果实和丁香枝ABTS⁺清除率的IC₅₀值分别为(47.77±0.87)、(117.32±0.63)、(139.48±0.76)、(244.99±1.21)、(141.61±0.84) μg/mL。在较低的浓度下,丁香花蕾和丁香枝ABTS⁺清除率接近。整体上,ABTS⁺清除率大小顺序依次为V_C>丁香叶>丁香花蕾>丁香枝>丁香果实,说明丁香不同部位挥发油均具有良好的ABTS⁺清除活性。

2.2.3 还原力

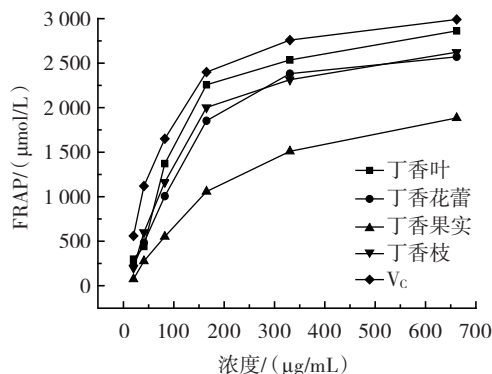
图3比较了丁香不同部位挥发油与V_C的还原力。

图3 丁香不同部位挥发油与V_c的还原力Fig.3 Reducing power of volatile oil of different parts of clove and V_c

还原力常被用作供电子活性的标准,这是测试酚类化合物抗氧化作用的重要机制^[13]。还原力也被用作检测中药材抗氧化活性的重要指标^[14-15]。由图3可知,丁香叶、丁香花蕾、丁香果实、丁香枝和V_c的还原力都随着浓度的增加而增大,大小顺序依次为V_c>丁香叶>丁香花蕾≈丁香枝>丁香果实,表明丁香的这些部位都有较好的还原力。

2.2.4 FRAP值

丁香不同部位挥发油与V_c的FRAP值见图4。

图4 丁香不同部位挥发油与V_c的FRAP值Fig.4 FRAP values of volatile oil of different parts of clove and V_c

研究发现,生物活性化合物的供电子与抗氧化活性有关^[16-17]。化合物的还原力可以作为其潜在抗氧化活性的一个重要指标。在有还原剂(如抗氧化剂)存在的情况下,Fe³⁺/铁氰化物复合物会被还原成亚铁形式的抗氧化剂^[18]。图4显示,FRAP值随着浓度的增加而增大。V_c的FRAP值最大,其次是丁香叶,而丁香花蕾和丁香枝表现出近似的FRAP值,丁香果实最低。在测量的浓度范围内,FRAP值与质量浓度有良好的量效关系,表明丁香不同部位挥发油具有较强的铁离子还原能力。

3 结论

总的来说,丁香不同部位挥发油含有多种相同的成分,丁香酚、β-石竹烯、乙酰丁香酚3种主要成分的总含量都在50%以上,表明了丁香各部位挥发油均具有较高的研究价值,而丁香枝挥发油成分种类与其他3个部位有较大的差异。

抗氧化试验结果表明,丁香挥发油具有显著的抗氧化活性,这可能与丁香酚和乙酰丁香酚等酚类化合物的含量较高有关。通过与对照组V_c的比较可以得出,丁香叶、丁香花蕾、丁香果实和丁香枝的挥发油均具有良好的抗氧化性能。因此,从丁香不同部位中提取的挥发油可以作为一种天然抗氧化剂,在食品、药品的长期储存等方面具有潜在应用价值。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2015.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.
- [2] 但春,付铁军,刘忠荣,等.公丁香挥发油化学成分的GC-MS分析[J].分析测试学报,2004,23(S1): 87-88.
DAN Chun, FU Tiejun, LIU Zhongrong, et al. GC-MS analysis of chemical components of essential oil from the flowers of *Eugenia caryophyllata*[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2004, 23(S1): 87-88.
- [3] 张锐.不同产地丁香中总黄酮和挥发性物质的比较研究[D].武汉:湖北中医药大学,2014.
ZHANG Rui. Analysis of total flavonoids and volatile substances of *Eugenia caryophyllata* Thunb. from different origins[D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2014.
- [4] SAHEBKAR A, IRANSHAH M. Biological activities of essential oils from the genus *Ferula* (Apiaceae)[J]. Asian Biomedicine, 2010, 4(6): 835-847.
- [5] ÖZCAN M M, ARSLAN D. Antioxidant effect of essential oils of rosemary, clove and cinnamon on hazelnut and poppy oils[J]. Food Chemistry, 2011, 129(1): 171-174.
- [6] IBRAHIM M I, EL-GHANY M E A, AMMAR M S. Effect of clove essential oil as antioxidant and antimicrobial agent on cake shelf life[J]. World Journal of Dairy & Food Sciences, 2013, 8(2): 140-146.
- [7] OZCELIK B, LEE J H, MIN D B. Effects of light, oxygen, and pH on the absorbance of 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(2): 487-490.
- [8] AO C W, LI A P, ELZAAWELY A A, et al. Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of *Ficus microcarpa* L. fil. extract[J]. Food Control, 2008, 19(10): 940-948.
- [9] TIAN C L, ZHANG P, YANG C X, et al. Extraction process, component analysis, and *in vitro* antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory activities of total flavonoid extracts from *Abutilon theophrasti* medic. leaves[J]. Mediators of Inflammation, 2018, 2018: 1-10.

- 3508506.
- [10] GÜLÇİNİ, GÜNGÖR ŞATİ, BEYDEMİR Ş, et al. Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lawandula stoechas* L.)[J]. Food Chemistry, 2004, 87(3): 393–400.
- [11] WANG H Y, ZHAO M M, YANG B, et al. Identification of polyphenols in tobacco leaf and their antioxidant and antimicrobial activities[J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1399–1406.
- [12] XIE M H, HU B, WANG Y, et al. Grafting of Gallic acid onto chitosan enhances antioxidant activities and alters rheological properties of the copolymer[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(37): 9128–9136.
- [13] YILDIRIM A, MAVI A, KARA A A. Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(8): 4083–4089.
- [14] DUH P D, YEN G C. Antioxidative activity of three herbal water extracts[J]. Food Chemistry, 1997, 60(4): 639–645.
- [15] DUH P D, TU Y Y, YEN G C. Antioxidant activity of water extract of harnng jyr (*Chrysanthemum morifolium* Ramat)[J]. Lebensmittel–Wissenschaft Und–Technologie, 1999, 32(5): 269–277.
- [16] SIDDHURAJU P, MOHAN P S, BECKER K. Studies on the antioxidant activity of Indian *Laburnum* (*Cassia fistula* L.): A preliminary assessment of crude extracts from stem bark, leaves, flowers and fruit pulp[J]. Food Chemistry, 2002, 79(1): 61–67.
- [17] ARABSHAHI–DELOUEE S, UROOJ A. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves[J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1233–1240.
- [18] CHUNG Y C, CHANG C T, CHAO W W, et al. Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by *Bacillus subtilis* IMR–NK₁[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(8): 2454–2458.

加工编辑:王艳

收稿日期:2021–10–24