

石榴花精油成分分析及清除自由基能力评价

贾秀稳, 张立华*, 李先如, 孟 健, 艾征东, 李欣宇
(枣庄学院生命科学学院, 山东 枣庄 277160)

摘 要: 采用气相色谱-质谱联用技术分析石榴花精油的化学成分, 通过对2,2'-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二氨盐(2,2'-amino-di (2-ethyl -benzothiazoline sulphonic acid-6) ammonium salt, ABTS)及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1 diphenyl-2 picryl-hydrazyl, DPPH)自由基的清除作用评价其抗氧化能力。结果表明, 从石榴花精油中共分离出52个质谱峰, 鉴定出32种成分, 其中有9种烷烃类化合物(其中有5种环烷烃和4种直链烷烃)、7种萜烯类化合物、6种酯类化合物、4种芳香族醇类化合物、酮类和醛类化合物各2种、生物碱类和磺酸盐类化合物各1种。对ABTS⁺·和DPPH自由基清除力分别为0.029 mg/mg VC当量和0.01 mg/mg VC当量。表明石榴花精油中含有多有应用价值的化学成分, 是一种具有开发利用价值的天然资源。

关键词: 石榴花; 精油; 化学成分; 抗氧化

Analysis of the Chemical Constituents of Essential Oil from Pomegranate Flower and Evaluation of Its Free Radical Scavenging Ability

JIA Xiuwen, ZHANG Lihua*, LI Xianru, MENG Jian, AI Zhengdong, LI Xinyu
(College of Life Sciences, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China)

Abstracts: Gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS) was used to analyze the chemical components in essential oil of pomegranate flower. The free radical scavenging ability of the oil was assessed by using 1,1 diphenyl-2 picryl-hydrazyl (DPPH) system and 2,2'-amino-di (2-ethyl -benzothiazoline sulphonic acid-6) ammonium salt (ABTS⁺·) system. The results showed that 52 peaks were detected from the pomegranate flower oil and 32 compounds were identified, including 9 alkanes (5 naphthenic hydrocarbons and 4 straight-chain alkanes), 7 terpenes, 6 esters, 4 alcohols, 2 ketones and aldehydes, 1 alkaloid and sulfonate. The free radical scavenging capacity of the oil against ABTS⁺· and DPPH free radicals were 0.029 and 0.01 mg/mg vitamin C (VC) equivalent, respectively. These results indicate that pomegranate flower essential oil contains a variety of chemical constituents with potential applications as a valuable natural resource.

Key words: pomegranate flower; essential oil; chemical constituents; antioxidant activity

中图分类号: R962

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 24-0152-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201524027

植物精油是植物体内产生的一种具有挥发性的次生代谢物, 由分子质量较小的简单化合物组合而成, 可随水蒸气蒸馏, 是一类有气味的挥发性油状液体物质, 植物精油又称为液体黄金^[1], 商业上称芳香油, 化学和医药学上称挥发油^[2]。主要是从植物的根、茎、叶、花或果实等器官中获得^[3], 经水蒸气蒸馏法、压榨法、吸收法、溶剂萃取法和超临界二氧化碳萃取法等方法制得^[4]。因其较高的生物活性可以广泛应用到医药、食品、化妆品等多个方面, 所以对植物精油的开发利用一直备受关注, 可谓一个经久不息的研究热点。石榴花是石榴科植物石榴(*Punica granatum* L.)的花, 含有多酚类、黄酮类、三

萜类等多种成分^[5], 收载于卫生部《药品标准(维吾尔药分册)》中, 具有止痒、止泻、止血等多种功效, 主要用于治疗中耳炎和糖尿病等症^[6]。现代研究^[7]表明, 石榴花具有降血脂、降血压的作用。由于石榴花花期长, 开花量大, 大部分花不能正常结果而自然脱落, 因此石榴花的资源丰富, 极具开发价值^[8]。然而对石榴活性物质的研究和开发多集中于石榴叶、果皮和籽, 对石榴花的研究才刚刚起步, 相关报道较少, 对石榴花精油的有关研究更是鲜有报道。本实验采用水蒸馏法从石榴花中提取精油并用气相色谱-串联质谱(gas chromatography-mass-mass spectrometer,

收稿日期: 2015-03-31

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2013BL018); 枣庄学院大学生创新训练项目(2014018)

作者简介: 贾秀稳(1991—), 女, 本科生, 研究方向为药用植物资源开发。E-mail: 2455818660@qq.com

*通信作者: 张立华(1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为植物资源开发及采后生理。E-mail: chinazhanglh@163.com

GC-MS/MS) 联用仪分析研究石榴花精油的化学成分, 利用2,2'-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二氨盐(2,2'-amino-di (2-ethyl-benzothiazoline sulphonic acid-6) ammonium salt, ABTS) 和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1 diphenyl-2 picryl-hydrazyl, DPPH) 自由基清除法来评价石榴花精油的抗氧化活性, 为石榴花资源的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

石榴花样品(品种为岗榴)于2014年6月采自枣庄学院校园, 由枣庄学院生命科学院植物学教研室李思健副教授鉴定为石榴科石榴属植物石榴(*Punica granatum* L.)的花, 样品于65℃恒温烘干, 放置于冰箱贮存备用。

ABTS、DPPH 美国Sigma公司; 无水硫酸钠、无水乙醚、甲醇等均为国产分析纯, 实验用水为去离子水。

1.2 仪器与设备

7000B GC-MS联用仪 美国Agilent公司; UV2000紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 石榴花精油的提取

采用水蒸气蒸馏法提取石榴花精油^[9], 并略作调整。具体步骤: 将石榴花用研钵研碎后称量40.00 g置于1 000 mL圆底烧瓶中, 加水400 mL, 用挥发油蒸馏管蒸馏提取6 h。重复上述步骤提取10次, 合并10次的提取产物, 得到具有浓郁香味的淡黄色油状物, 取出一部分用乙醚溶解并加入少量无水硫酸钠脱水处理, 再用于GC-MS/MS测试。

1.3.2 GC-MS/MS分析

参考文献[10]的方法并加以改进, 具体操作条件: 高纯氦气为载气, 体积流量1.0 mL/min, 分流比为20:1; 进样口温度280℃; 进样量0.5 μL, 色谱柱初始温度60℃, 以5℃/min升至270℃, 保持10 min。电子电离源; 电子能量70 eV; 质量扫描范围 m/z 350~450; MS数据库NIST 11。

1.3.3 石榴花精油对ABTS⁺的清除作用测定

采用文献[11]的方法略做改进。7 mmol/L溶液与2.45 mmol/L过硫酸钾混合, 置于暗处12~16 h, 用甲醇将ABTS⁺溶液稀释至在波长732 nm吸光度0.70±0.02。将提取的石榴花精油样品用甲醇配制成质量浓度为1.0 mg/mL的母液, 按一定量与2 mL ABTS⁺溶液混合, 并用水补充反应体系至3 mL, 摇匀后静置6 min后, 在波长732 nm处测吸光度。每份样品平行操作3次。清除率按公式(1)计算。

$$\text{ABTS}^+ \text{清除率}/\% = (A_0 - A_{\text{样}}) / A_0 \times 100 \quad (1)$$

式中: A_0 为2 mL ABTS⁺溶液与1 mL甲醇混合后的吸光度; $A_{\text{样}}$ 为2 mL ABTS⁺溶液与1 mL样品混合后的吸光度。

绘制不同用量条件下清除率曲线, 并求出清除率为50%时的用量, 即半抑制浓度(the half maximal inhibitory concentration, IC_{50})。以质量浓度0.02 mg/mL的VC为参照, 按上述步骤操作并求出 IC_{50} , 通过比较二者的 IC_{50} 值计算出样品相当于VC用量, 即VC当量(mg/mg VC)。

1.3.4 石榴花精油对DPPH自由基的清除作用测定

参照文献[12]的方法并加以改进, 操作方法: 向波长517 nm处吸光度为1.5的DPPH-甲醇溶液中加入一定量的试样(空白对照用等量重蒸水代替), 总体积用蒸馏水补充至3 mL用力摇匀后于室温条件下放置30 min, 再用光径1 cm比色皿中测定DPPH混合溶液在波长517 nm处吸光度($A_{517\text{nm}}$), 用2.5 mL甲醇与0.5 mL试样混合液调仪器零点, 以扣除试样本身颜色的影响。自由基清除率按公式(2)计算:

$$\text{DPPH自由基清除率}/\% = (A'_0 - A'_{\text{样}}) / A'_0 \times 100 \quad (2)$$

式中: A'_0 为2 mL DPPH溶液与1 mL甲醇混合后的吸光度; $A'_{\text{样}}$ 为2 mL DPPH溶液与1 mL样品混合后的吸光度。

绘制不同用量条件下清除率曲线, 并求出 IC_{50} 。以质量浓度0.02 mg/mL的VC为参照, 按上述步骤操作并求出 IC_{50} , 通过比较二者的 IC_{50} 值计算出样品的VC当量(mg/mg VC)。

2 结果与分析

2.1 石榴花精油的化学成分

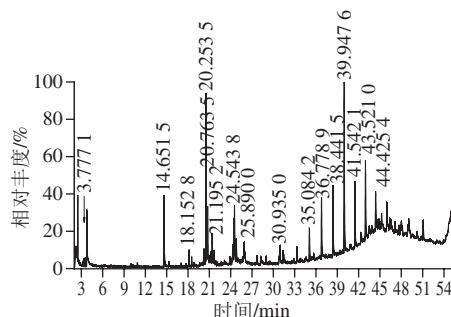


图1 石榴花精油GC-MS/MS总离子流色谱图

Fig.1 GC-MS/MS total ion chromatogram of essential oil from pomegranate flower

如图1所示, 共分离出52个质谱峰, 经从NIST 11数据库检索, 并结合参考相关质谱文献[13-14], 初步判断出其中32种化合物成分, 鉴定结果如表1所示。其中以含C、H及O的化合物为主, 也有少量的物质含有N、S等其他原子。包括9种烷烃类化合物(其中有5种环烷烃和4种直链烷烃)、7种萜烯类化合物、6种酯类化合物、4种芳香族醇类化合物、2种酮类化合物、2种醛类化合物、1种生物碱类化合物及1种磺酸盐类化合物。石榴花精油独特的香味即由上述物质呈现。其中生物活性较高的成分有二十五烷、二十四烷、 α -萜烯茄油烯、榄香

烯、石竹烯、愈创木烯、3-糖醛等^[15]。进一步分析发现,石榴花精油中有C₁₅H₂₄(7种)、C₁₅H₂₂(3种)和C₁₅H₂₆O(3种)3类同分异构体。C₁₅H₂₂的同分异构体有2种是倍半萜烯类化合物,一个是烷烃类;C₁₅H₂₆O的3种同分异构体则全是醇类化合物;C₁₅H₂₄的同分异构体最多,共有7种,且保留时间集中在17.048 0~21.310 8 min范围内,这7种化合物有5种是倍半萜烯类化合物,另外2种是环烷烃类化合物。通过峰面积可以判断倍半萜烯类化合物是石榴花精油香气的主要成分。

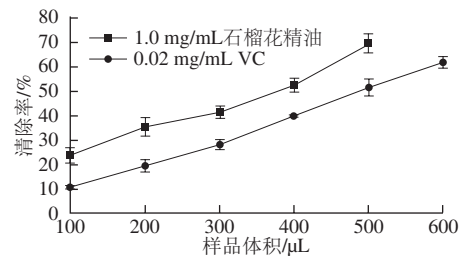
表1 石榴花精油化学成分

Table 1 Chemical constituents of essential oil from pomegranate flower

峰号	化合物	保留时间/min	分子式	相对分子质量
1	3-糖醛 3-furaldehyde	3.777 1	C ₆ H ₄ O ₂	96
2	甲基氨基甲酸邻丁基苯基酯 fenobucarb	9.977 5	C ₁₂ H ₁₇ NO ₂	207
3	双环[3.1.1]庚酮 bicyclo[3.1.1]heptone	10.868 1	C ₉ H ₁₄ O	150
4	2,6,6-三甲基-4-甲基双环[3.1.1]庚酮-2-烯-4-醇 bicyclo[3.1.1]hept-2-en-4-ol,2,6,6-trimethyl-4-methyl	14.651 5	C ₁₅ H ₂₀ O ₂	194
5	乙酸1,7,7-三甲基二环[2.2.1]庚酯 aceticacid1,7,7-trimethyl bicyclo[2.2.1]hept-2-yl ester	15.351 7	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	196
6	α-蒎烯 α-pinene	17.048 0	C ₁₀ H ₁₆	136
7	柠檬烯 cyclohexene,1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)	18.152 8	C ₁₀ H ₁₆	136
8	9,10-脱氢异长叶烯 isolong- ifolene,9,10-dehydro-	18.506 3	C ₁₅ H ₂₂	202
9	石竹烯 caryophyllene	18.883 6	C ₁₅ H ₂₄	204
10	1,2,4a,5,8,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)(1,α,4a,β,8a,α)萘 naphthalene1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1(1-methylethyl)-(1,α,4a,β,8a,α)	20.253 5	C ₁₅ H ₂₄	204
11	B-萜烯 naphthalene decahydro-4a-methyl-1-methyl-ene-7-(1-methylethenyl)-(4aR-4a,7,α,β,8a,α)	20.552 7	C ₁₅ H ₂₄	204
12	2-异丙基-4a,8-二甲基-1,2,3,4a,5,6,8a-八氢萘-2-异丙基-4a,8-dimethyl-1,2,3,4a,5,6,8a-octahydro-naphthalene	20.763 5	C ₁₅ H ₂₄	204
13	4,4-二甲基-2-(3-甲基-3-亚丁基)-2-甲基二环[4.1.0]庚烷 4,4-dimethyl-2(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylene bicyclo(4.1.0)heptane	21.195 2	C ₁₅ H ₂₂	202
14	愈创木烯 beta-guaiene	21.310 8	C ₁₅ H ₂₄	204
15	2-叔丁基-5-(3-甲氧基苯)-6-甲基-(1,3)二氧杂环己烷-4-酮 2-tert-butyl-5-(3-methoxy phenyl)-6-methyl(1,3)dioxan-4-one	21.416 2	C ₁₇ H ₂₀ O ₄	290
16	cubedol	21.637 1	C ₁₅ H ₂₀ O	222
17	cadalal(10)3,8-triene	21.905 7	C ₁₅ H ₂₂	202
18	4-epi-cubedol	23.880 9	C ₁₅ H ₂₀ O	222
19	10,12-二十三联烯酸甲酯 10,12-ricosadiynoic acid,methyl ester	24.285 4	C ₂₃ H ₃₄ O ₂	432
20	芹烯-4-醇 selina-6-en-4-ol	24.506 4	C ₁₅ H ₂₀ O	222
21	长叶烯 longifolien aldehyde	24.543 8	C ₁₅ H ₂₀ O	220
22	9-异丙基-1-甲基-2-亚甲基-5-氧杂三环[5.4.0.0(3,8)]十一烷 9-isopropyl-1-methyl-2-methylene-5-oxatricyclo[5.4.0.0(3,8)]undecane	25.890 0	C ₁₆ H ₂₄ O	220
23	(2,4,6,10,14)四甲基十六烷 hexadecane2,6,10,14-tetramethyl	27.688 4	C ₂₀ H ₄₂	282
24	对甲基苯甲酸-2-乙基己酯 p-toluic acid 2-ethylhexyl ester	28.239 1	C ₁₈ H ₂₆ O ₂	248
25	1,2-苯二甲酸丁基酯 1,2-benzenedicarboxylic acid butyl ester	28.949 6	C ₁₈ H ₂₀ O ₄	334
26	甲基樟冰磺酸盐 methyl camphorsulfonates	30.935 0	C ₁₁ H ₁₈ O ₆ S	246
27	二十五烷 pentacosane	35.084 2	C ₂₅ H ₅₂	352
28	二十四烷 tetracosane	38.441 5	C ₂₄ H ₅₀	338
29	1,5,4-二溴五十四烷 tetrapentacotane1,5,4-dibromo-	39.947 6	C ₅₄ H ₁₀₈ Br ₂	916
30	二十四烷酸(3,3a,4,6a,7,8,9,10,10a,10b-十氢-3a,10a-二氢基2,10-二甲基-3,8-二氧杂萘-5-丁基)酯 [3aR-(3a,α,6a,α,10,β,10a,β,10b,β)tetra-canoic-acid(3,3a,4,6a,7,8,9,10,10a,10b-decahydro-3a,10a-ihydroxy-2,10-dimethyl-3,8-dioxabenz[e]azulen-5-yl) ester][3aR-(3a,α,6a,α,10,β,10a,β,10b,β)-	43.521 0	C ₃₁ H ₄₆ O ₆	516
31	地可美辛(秋水仙碱) demecolcine	47.097 9	C ₂₁ H ₂₅ NO ₃	371
32	17α,21β,28,30-二降萹烷 17α21β,28,30-bisnorhopane	49.035 9	C ₂₈ H ₄₈	384

2.2 石榴花精油对ABTS⁺·的清除作用

ABTS⁺·是一种呈蓝绿色相对稳定的水溶性自由基,抗氧化剂与ABTS⁺·反应后使其溶液褪色,特征吸光度降低。在该反应体系中,溶液褪色越明显则表明所检测物质的总抗氧化能力越强^[16],在波长732 nm处测定其吸光度即可测定并计算出样品的ABTS⁺·清除能力。如图2所示,当清除率为50%时,石榴花精油和VC的用量分别是348.8 μL和487.8 μL,石榴花精油相对于VC的当量数为0.029 mg/mg。表明石榴花精油具有较弱的ABTS⁺·清除能力。

图2 石榴花精油对ABTS⁺·的清除作用Fig.2 ABTS⁺ free radical scavenging-capacity of essential oil of pomegranate flower

2.3 石榴花精油对DPPH自由基的清除作用

DPPH是一种人工合成的有机自由基,其结构中含有3个苯环,1个氮原子上有1个孤对电子,常用来评估抗氧化物的供氢能力,它在有机溶剂中非常稳定,呈紫色,在波长517 nm处有强吸收^[17]。当反应体系中存在抗氧化剂时,抗氧化剂提供氢原子和电子给DPPH自由基,使其生成无色产物,导致溶液的特征吸收峰下降,吸光度变小。在此反应中,体系颜色变得越浅表明所检测物质的抗氧化能力越强^[18]。因此,可通过测定吸光度的变化来评价样品对DPPH自由基的清除效果。如图3所示,当清除率为50%时,石榴花精油和VC的用量分别是480.6 μL和483.1 μL,石榴花精油相对于VC的当量数为0.01 mg/mg。表明石榴花精油具有较弱的清除DPPH自由基能力。

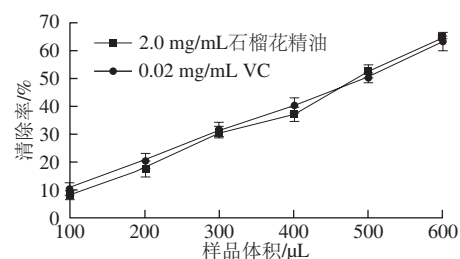


图3 石榴花精油对DPPH自由基的清除作用

Fig.3 DPPH free radical scavenging-capacity of essential oil of pomegranate flower

3 讨论

植物类精油按化学结构可分为脂肪族、芳香族和萜类3大类化合物以及它们的含氧衍生物如醇、醛、酮、酸、醚、酯、内酯等,此外还有含氮和含硫的化合物^[19-20]。本实验用GC-MS/MS法分析了石榴花精油的化学成分,并鉴定了其中32种化合物成分,这些化合物以含C、H和O元素为主,少数还含有N、S等杂原子的。含量较多的化合物为酯类、烷烃类和萜类。本实验鉴定的32种化合物中,相对分子质量最大的化合物是1,54二溴-五十四烷,相对分子质量最小的化合物是3-糖醛。陈志伟等^[10]的研究结果与本实验有些差别,从石榴花挥发油中分离鉴定出23种化合物,主要成分为醛类和脂肪酸,且所有化合物中都不含氮、硫等其他杂原子。鉴定出的23种化合物中,相对分子质量最小化合物为3-甲基-2-丁烯-1-醇、相对分子质量最大化合物为二十五烷。分析其产生较大差别的原因,可能是本实验所用的GC-MS/MS二级质谱测定增强了结构解析和定性能力,提高了特异性离子灵敏度;也可能石榴花的产地和品种的不同导致石榴花精油化学成分有所差异。

在本实验所鉴定的主要成分中,榄香烯是一种易通过血脑屏障的国家二级抗肿瘤新药^[21]。在临床广泛用于恶性浆膜腔积液、肺癌、消化道肿瘤、脑瘤以及其他浅表性肿瘤的治疗^[22]。石竹烯可用于调配丁香、胡椒、肉豆蔻、柑橘、药草等食用香精,也可用于合成其他香料^[23]。因此,石榴花精油中化学成分不仅种类多,而且有些成分应用价值较高。

石榴花精油对ABTS⁺和DPPH自由基清除力分别为0.029 mg/mg VC和0.01 mg/mg VC当量,即其对2种清除力分别是VC的2.9%和1%。有研究^[24-25]表明,植物精油的抗氧化活性主要依赖于其中酚类物质的含量,含量越高抗氧化活性越强,相反,抗氧化活性就弱。本实验检测出石榴花精油的成分主要是烷烃类、萜烯类、酯类、芳香族醇类、酮类、醛类、生物碱类和磺酸盐类化合物。这些物质遇到ABTS⁺、DPPH自由基时,不容易提供氢而发生反应,所以表现比较弱的自由基清除力。而本实验在石榴花精油中未检出酚类物质,这可能就是石榴花精油抗氧化活性弱的原因。陈志伟等^[10]虽然在石榴花挥发油中检测出酚类物质,但其含量仅为1.36%。

综上所述,石榴花精油化学成分较丰富,且具有较高的应用价值,可作为保健药品资源。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中国药典: 1部[S]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 380-386.
- [2] 王巨媛, 翟胜. 植物精油应用进展及开发前景展望[J]. 江苏农业科学, 2010, 38(4): 1-3.
- [3] 刘猛, 李绍钰. 植物精油的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(6): 252-254.
- [4] 赵华, 张金生, 李丽华. 植物精油提取技术的研究进展[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2006, 26(4): 137-138.
- [5] 张续杰. 天然药物化学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1988: 3-16.
- [6] HUANG T H, PENG G, KOTA B P, et al. Pomegranate flower improves cardiac lipid metabolism in a diabetic rat model: role of lowering circulating lipids[J]. British Journal of Pharmacology, 2005, 145(6): 767-774.
- [7] BEKTAS N, OZTURK N. Antioxidant activity of *Punica granatum* (Pomegranate) flowers[J]. Toxicology Letters, 2007, 5: 184.
- [8] 张立华, 孙晓飞, 张艳侠, 等. 石榴花化学成分及生物活性研究进展[J]. 山东农业科学, 2009, 40(3): 33-35.
- [9] 乔宇, 范刚, 谢比钧, 等. 固相微萃取-气质联用分析锦橙果皮香气成分[J]. 精细化工, 2007, 24(8): 800-804.
- [10] 陈志伟, 程鹏, 王如刚, 等. 石榴花挥发油化学成分的GC-MS分析及体外抗氧化活性测定[J]. 中国医院药学杂志, 2013, 33(4): 280-282.
- [11] 杨少辉, 宋英今, 王清华, 等. 雪莲果体外抗氧化和自由基清除能力[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 166-169.
- [12] YOKOZAWA T, DONG E, NATAGAWA T, et al. *In vitro* and *in vivo* studies on the radical scavenging activity of tea[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1998, 46(6): 2143-2150.
- [13] 丛浦珠. 质谱学在天然有机化学中的应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1987: 161.
- [14] 杨俊山. 萜类化合物[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1.
- [15] 王贤亲, 潘晓军, 林丹, 等. 丁香杨梅叶挥发油的GC-MS分析[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 98-99.
- [16] 郑善元, 陈填烽, 郑文杰, 等. 单从茶水提物清除DPPH和ABTS自由基的光谱学研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 9(30): 2417-2423.
- [17] 张逸波, 郑文杰, 黄峙, 等. 蒽杂环化合物SPO清除DPPH和ABTS自由基的光谱学研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1866-1871.
- [18] 陈睿, 霍丽妮, 李培源, 等. 杉木双花鞘花寄生提取物自由基清除能力研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 52(15): 3625-3627.
- [19] 王广要, 周虎, 曾晓峰. 植物精油应用研究进展[J]. 食品科技, 2006, 31(4): 11-13.
- [20] 鲁长海, 白卫东. 植物精油生理功能的研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 36-40.
- [21] 汤秀红, 秦叔逵, 谢恬, 等. 榄香烯注射液抗肿瘤作用基础研究的现状和进展[J]. 临床肿瘤学杂志, 2010, 12(3): 259-262.
- [22] 花文峰, 蔡绍晖. β -榄香烯抗肿瘤作用的基础与临床研究[J]. 中药材, 2006, 29(1): 93-96.
- [23] 刘晓宇, 陈旭冰, 陈光勇. β -石竹烯及其衍生物的生物活性与合成研究进展[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(1): 104-110.
- [24] 张丽娜, 吕金顺, 朱晓研, 等. 淮安产菊花脑花精油化学成分及其抗氧化活性[J]. 常州大学学报, 2011, 23(3): 69-73.
- [25] TEPE B, DIMITRA D, TEPE A S, et al. Antioxidant activity of the essential oil and various extracts of *Nepeta flavida* Hub.-Mor. from Turkey[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1358-1364.