

东风菜挥发油化学成分及抗氧化活性

张彬, 张蕾, 谭芬, 张洪权, 吴田*

(湖北第二师范学院 化学与生命科学学院, 植物抗癌活性物质提纯与应用
湖北省重点实验室, 武汉 430205)

[摘要] **目的:**对产于大别山高海拔地区的野生东风菜挥发油进行化学成分鉴定及相对含量分析,并研究其抗氧化能力。**方法:**采用同时蒸馏萃取法(SDE)提取东风菜全草挥发油,通过气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术鉴定其中化学成分,采用峰面积归一化法确定各组分的相对百分含量。采用铁离子还原法,1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)法, β -胡萝卜素漂白法测定东风菜挥发油体外抗氧化活性,**结果:**东风菜挥发油共鉴定出 50 种化学成分,占总相对含量的 86.91%,主要化学成分为反式- β -金合欢烯(20.21%),吉马烯 D(9.94%),棕榈酸(8.66%), β -萜品烯(7.82%),石竹烯(6.9%)和对伞花烃-8-醇(4.48%),其中烯类 56.57%,醇类 12.24%,脂肪酸类 11.24%,环氧化物 2.93%,酯类 1.82%,醛酮类 1.60%和芳香烃类 0.51%。挥发油对铁离子的还原能力随浓度增加而增大,但还原能力远弱于维生素 C,对 DPPH 自由基和在 β -胡萝卜素/亚油酸脂质体系中的半抑制浓度(IC₅₀)分别为 0.72 g·L⁻¹和 0.10 g·L⁻¹,表明挥发油对 DPPH 自由基有一定清除能力,且具有较好的脂质过氧化抑制能力。**结论:**通过 GC-MS 鉴别了东风菜挥发油化学成分,体外抗氧化实验表明其具有一定的抗氧化能力,为东风菜的开发利用提供实验依据。

[关键词] 东风菜; 挥发油; 气相色谱-质谱; 抗氧化活性

[中图分类号] R284.1;R289;R22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)04-0187-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20190316

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20181115.0926.004.html>

[网络出版时间] 2018-11-18 12:02

Chemical Compositions and Antioxidant Activity of Volatile Oils from *Doellingeria scaber*

ZHANG Bin, ZHANG Lei, TAN Fen, ZHANG Hong-quan, WU Tian*

(College of Chemistry and Life Science, Hubei University of Education, Hubei Key Laboratory of
Purification and Application of Plant Anti-Cancer Active Ingredients, Wuhan 430205, China)

[Abstract] **Objective:** To identify the chemical compositions and conduct relative content analysis of the essential oil from wild *Doellingeria scaber* in high altitude area of Dabie mountains, and investigate its antioxidant capacity. **Method:** The volatile oil of *D. scaber* was extracted by simultaneous distillation extraction (SDE) method. Its chemical compositions were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and the relative percentage content of each composition was determined by peak area normalization method. The antioxidant activities of the oil were evaluated by reducing ability method, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) method and β -carotene bleaching assay. **Result:** A total of 50 components representing 86.91% in this plant were identified. The main chemical compositions were (*E*)- β -farnesene (20.21%), germacrene D (9.94%), hexadecanoic acid (8.66%), β -terpinene (7.82%), caryophyllene (6.9%) and *p*-cymen-8-ol (4.48%). The main components of volatile oils include alkenes (56.57%), alcohols (12.24%), fatty acids (11.24%),

[收稿日期] 20180330(003)

[基金项目] 湖北省教育厅科学技术研究项目(B2018201)

[第一作者] 张彬, 硕士, 讲师, 从事天然产物化学研究, Tel:027-87943931, E-mail: jaina96@163.com

[通信作者] * 吴田, 博士, 教授, 从事天然产物化学研究, Tel:027-87943931, E-mail: twu@whu.edu.cn

epoxides (2.93%), esters (1.82%), aldehydes and ketones (1.60%), and aromatics (0.51%). The reduction ability of volatile oil to iron ions increases with the increase of concentration, but the reduction ability is far weaker than that of vitamin C. The 50% inhibiting concentration (IC_{50}) of volatile oil on DPPH free radicals and in β -carotene/linoleic acid lipid system was $0.72 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, indicating that the volatile oil had a certain scavenging capacity on DPPH free radicals and a good inhibition effect on lipid peroxidation. **Conclusion:** GC-MS was used to identify the chemical compositions of the volatile oil from *D. scaber*, and antioxidant test in vitro showed that *D. scaber* had certain antioxidant capacity, providing experimental basis for its development and utilization.

[**Key words**] *Doellingeria scaber*; volatile oil; gas chromatography-mass spectrometry; antioxidant activity

东风菜别名山蛤芦、钻山狗、白云草、疙瘩药、草三七、大耳毛、小叶青,属菊科东风菜属植物,广泛分布于我国东北部、北部、中部至南部各省^[1]。《中国药用植物志》《湖南药物志》和《浙江民间常用草药》等中记载,其以全草或根部入药,具有增强人体免疫功能,清热解毒、祛风止痛、行血活血的功效,民间将其作为抗炎、抗癌药物使用,并用于治疗慢性支气管炎和毒蛇咬伤^[2-3]。东风菜富含粗纤维、胡萝卜素和维生素 C,其嫩茎叶采摘后可炒食、汤菜,或晒干后食用,全草也可作为食草动物春、冬季节饲料的有益补充,是一种营养丰富的天然食用植物^[4]。

关于东风菜的研究大多是对其根部化学成分和生物活性的研究报道。白素平等^[5]对东风菜根部化学成分进行了研究,分离鉴定 5 个甾醇类化合物,其中 α -菠甾醇-3-氧- β -D-葡萄糖甙具有利尿作用。匡海学等^[6]从东风菜根中鉴定出 7 个皂苷化合物,总皂苷和两种皂苷单体具有提高细胞免疫及体液免疫的作用。Kwon 等^[7]研究表明东风菜中 4 个咖啡酰基奎尼酸衍生物对人体免疫缺陷病毒-1 (HIV-1) 整合酶有抑制活性,其中 (-) 3,5-dicafeoyl-mucoquinic acid 显示了强抗病毒活性。另外有研究发现,东风菜具有抗肿瘤、抗氧化、神经保护作用^[8-10]。目前尚未见东风菜全草挥发油的研究报道,本文拟对产于大别山高海拔地区的野生东风菜挥发油进行化学成分鉴定及相对含量分析,并研究其抗氧化能力,为东风菜的深层次开发利用提供一定的实验依据。

1 材料

东风菜全株于 2016 年 8 月盛花期采于湖北省大别山主峰,海拔 1 700 m 坡地,由湖北第二师范学院化学与生命科学学院植物组戴月教授鉴定为菊科植物东风菜 *Doellingeria scaber*。阴干、粉碎后备用。

正构烷烃 $C_7 \sim C_{30}$ 对照品,2,6-二叔丁基-4-甲基

苯酚 (BHT) (美国 Sigma 公司,批号分别为 XA17133V,BCBP4244V,纯度均 > 99%); 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH),聚山梨酯-40 (上海麦克林试剂公司,批号分别为 C10089988, C10069368); β -胡萝卜素 (上海源叶生物科技有限公司,批号 X16D5C1,纯度 97%); 亚油酸 (上海阿拉丁试剂公司,批号 K1610060,纯度 95%); 其他所用试剂均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

7890A/5975C 型气相色谱-质谱联用仪,7890A 型气相色谱仪 (美国 Agilent 公司); SpectraMax Plus384 型酶标仪 (美国 Molecular Devices 公司); Rotavapor R-210 型旋转蒸发仪 (瑞士 BUCHI 公司); 同时蒸馏萃取仪 (上海玻璃仪器厂); BSA224S-CW 型 1/1 万电子天平 (德国塞多利斯科学仪器); LFP-2500A 型高速多功能粉碎机 (南京东迈科技有限公司); SW-CJ-1FD 型超净工作台 (苏州净化设备有限公司)。

2 方法

2.1 东风菜挥发油的提取 称取东风菜药材粉末 (100 目) 200 g,置于 5 L 圆底烧瓶中,加入超纯水 2.5 L,浸泡 8 h。量取二氯甲烷 150 mL,加入至 500 mL 圆底烧瓶中,同时蒸馏萃取仪萃取 8 h。分出二氯甲烷层,加入无水硫酸钠,放置冰箱 -20 °C 干燥过夜。过滤,旋蒸除去二氯甲烷,得东风菜挥发油,密封, -20 °C 冷藏保存。

2.2 东风菜挥发油的成分分析 Agilent HP-5MS 石英毛细管柱 (250 $\mu\text{m} \times 30 \text{ m}$, 0.25 μm), 初始温度 60 °C,保持 3 min,以 4 °C \cdot min⁻¹ 升温至 230 °C 并保持 3 min。分流比 30:1,进样量 1 μL 。

质谱条件:离子源 FID;离子源温度 30 °C;接口温度 150 °C;电子能量 69.922 eV;电子倍增电压 2 164.7 V;溶剂延迟 3 min;扫描范围 m/z 30 ~ 500;载气 He;峰面积归一化法确定相对含量, NIST11.0

谱库检索数据结合各组分保留指数,确定成分。

保留指数(RI)的测定^[11]: $C_7 \sim C_{30}$ 正构烷烃对照品,在上述相同条件下进行气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析,测定其保留时间,根据线性公式计算出挥发油各组分的 RI, $RI = 100n + 100 [t_{R(x)} - t_{R(n)}] / [t_{R(n+1)} - t_{R(n)}]$, $t_{R(x)}$ 为被分析的组分的保留时间, $t_{R(n)}$ 和 $t_{R(n+1)}$ 分别为有 n 个和 $n + 1$ 个碳原子的正构烷烃的保留时间,且 $t_{R(n)} < t_{R(x)} < t_{R(n+1)}$ 。

2.3 铁离子还原法^[12] 分别取不同浓度的挥发油甲醇溶液 1 mL,磷酸盐缓冲液(0.2 mol·mL⁻¹, pH 6.6)2.5 mL 和 1% 铁氰化钾溶液 2.5 mL,加入试管中,放入 50 °C 水浴中静置 20 min。冷却后,加入 10% 三氯乙酸溶液 2.5 mL,混合均匀后离心 10 min。取上清液 5 mL,再加入蒸馏水 7.5 mL 和 0.1% 氯化铁溶液 1.5 mL。静置 10 min 后,在波长 700 nm 处测吸光度 A ,用甲醇组作为空白。以维生素 C 作对照,按上述方法进行实验,记录其吸光度。

2.4 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除法 DPPH 抗氧化活性测试采用 WANG 等^[13]的方法,稍作调整。分别配制 0.1 mmol·L⁻¹ 的 DPPH 甲醇溶液,5 g·L⁻¹ 的维生素 C 和 5 g·L⁻¹ 挥发油的甲醇溶液作为母液,96 孔板中加样,甲醇做空白对照,37 °C 避光孵化 30 min 后,用酶标仪在 517 nm 波长测定其吸光度,运用如下公式计算样品对 DPPH 自由基的清除能力,清除率 = $[1 - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / A_{\text{control}}] \times 100\%$ 。 A_{sample} 为不同浓度的挥发油加 DPPH 后的吸光度, A_{blank} 为不同浓度的挥发油不加 DPPH 的吸光度, A_{control} 为不加挥发油的 DPPH 溶液的吸光度。

2.5 β -胡萝卜素漂白法 参考文献 Taga 等^[14]的方法进行测定。取 β -胡萝卜素 10 mg,加入三氯甲烷 10 mL 溶解。取上述溶液 0.2 mL,加入亚油酸 20 mg 和聚山梨酯-40 200 mg,混合均匀后旋蒸除去三氯甲烷,加入蒸馏水(通氧气 3~5 min)50 mL,缓慢的剧烈振荡,即配成反应介质溶液。于具塞试管中,加入反应介质溶液 5 mL,和东风菜挥发油溶液 0.2 mL,同时设置空白调零管、对照管和 BHT 管,其中,空白调零管中不含 β -胡萝卜素,对照管中不含挥发油,以 0.2 mL 溶剂替代东风菜挥发油。上述溶液混合均匀后,置于 50 °C 水浴上恒温,在 470 nm 波长下测定 $t = 0$ 时的吸光度,此后间隔 60 min 测定吸光度。平行测定 3 次。抗氧化活性计算公式 $AA = 100(DR_c - DR_s) / DR_c$ 。 AA 为抗氧化活性; DR_c 为对照的降解速率, $DR_c = [\ln(a/b)/60]$; DR_s 为样品

的降解速率, $DR_s = [\ln(a/b)/60]$; $a = A_{t=0}$, $b = A_{t=60 \text{ min}}$ 。

3 结果与分析

3.1 东风菜挥发油化学成分分析 东风菜挥发油总离子流见图 1。通过 GC-MS 分析鉴定出 50 种化学成分,占总相对质量分数的 86.91%,主要化学成分为反式- β -金合欢烯(20.21%),吉马烯 D(9.94%),棕榈酸(8.66%), β -蒎品烯(7.82%),石竹烯(6.9%),对伞花烃-8-醇(4.48%)等,其中烯类 56.57%,醇类 12.24%,脂肪酸类 11.24%,环氧化物 2.93%,酯类 1.82%,醛酮类 1.60% 和芳香烃类 0.51%。东风菜挥发油组成成分及相对含量见表 1。

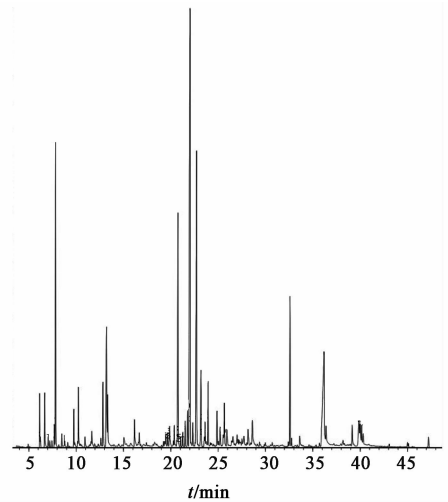


图 1 同时蒸馏萃取法提取东风菜挥发油总离子流
Fig.1 GC-MS total ion current chromatogram of volatile oil from *Doellingeria scaber* by SDE

3.2 东风菜挥发油铁还原能力 东风菜挥发油的铁离子还原能力可以表征其抗氧化能力的强弱。东风菜挥发油及维生素 C 铁离子还原能力见图 2。由图 2 可知,东风菜挥发油的质量浓度与其吸光度(即还原能力)间呈一定的线性关系。当质量浓度为 0.25 g·L⁻¹ 时,挥发油在 700 nm 波长处吸光度为 0.415,维生素 C 为 1.402。随着挥发油浓度的增大,其吸光度均有不同程度增大,但与维生素 C 相比其斜率较小,说明东风菜挥发油还原能力较弱。

3.3 东风菜挥发油 DPPH 抗氧化活性 东风菜挥发油对 DPPH 自由基清除能力见图 3。由图 3 可知,东风菜挥发油对 DPPH 自由基具有一定的清除能力,并随着挥发油浓度的增加,对 DPPH 自由基清除能力逐渐增强,东风菜挥发油的半抑制浓度(IC₅₀)为 0.72 g·L⁻¹,远低于维生素 C 的 IC₅₀

表 1 东风菜挥发油化学成分分析

Table 1 Chemical components of volatile oil from *Doellingeria scaber*

No.	化合物	分子式	匹配度	相对质量分数 /%	RI	
					RI _{Exp}	RI _{Ref}
1	侧柏烯 β -thujene	C ₁₀ H ₁₆	91	1.11	972	966
2	β -蒎烯 β -pinene	C ₁₀ H ₁₆	97	0.24	974	974
3	β -月桂烯 β -myrcene	C ₁₀ H ₁₆	91	1.33	991	992
4	α -水芹烯 α -phellandre	C ₁₀ H ₁₆	91	0.24	1 005	1 005
5	3-蒎烯 3-carene	C ₁₀ H ₁₆	97	0.15	1 010	1 010
6	α -蒎品烯 α -terpinene	C ₁₀ H ₁₆	97	0.17	1 016	1 017
7	邻异丙基甲苯 <i>o</i> -cymene	C ₁₀ H ₁₄	95	0.51	1 024	1 024
8	β -蒎品烯 β -terpinene	C ₁₀ H ₁₆	87	7.82	1 028	-
9	顺式- β -罗勒烯 <i>cis</i> - β -ocimene	C ₁₀ H ₁₆	96	0.35	1 048	1 049
10	γ -蒎品烯 γ -terpinene	C ₁₀ H ₁₆	97	0.35	1 058	1 060
11	蒎烯 4-carene	C ₁₀ H ₁₆	98	0.81	1 087	1 088
12	顺式- β -蒎品醇 <i>cis</i> - β -terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	93	0.10	1 100	1 098
13	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	97	1.55	1 102	1 101
14	反式-4-异丙基-1-甲基环己基-2-烯-1-醇 <i>trans-p</i> -menth-2-en-1-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	95	0.30	1 123	1 120
15	蒎品烯-4-醇 terpinen-4-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	80	1.93	1 178	1 178
16	对伞花烃-8-醇 <i>p</i> -cymen-8-ol	C ₁₀ H ₁₄ O	95	4.48	1 189	1 189
17	α -蒎品醇 α -terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	80	1.58	1 193	1 191
18	对异丙基苯甲醛 cuminaldehy	C ₁₀ H ₁₂ O	98	0.32	1 244	1 242
19	水芹醛 phellandral	C ₁₀ H ₁₆ O	93	1.04	1 276	1 273
20	dihydroedulan II	C ₁₃ H ₂₂ O	60	0.52	1 292	1 318
21	2,5-二甲基-3-亚甲基-1,5-庚二烯 2,5-dimethyl-3-methylene-hepta-1,5-diene	C ₁₀ H ₁₆	84	0.16	1 370	-
22	β -古芸烯 β -gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	98	0.47	1 378	1 407
23	berkheyaradulene	C ₁₅ H ₂₄	74	0.43	1 384	-
24	β -葑澄茄油蒎 β -cubebene	C ₁₅ H ₂₄	98	0.19	1 389	1 388
25	顺式- α -佛手柑油烯 <i>cis</i> - α -bergamotene	C ₁₅ H ₂₄	96	0.09	1 415	1 415
26	石竹烯 caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	99	6.90	1 419	1 418
27	依兰烯 β -copaene	C ₁₅ H ₂₄	95	0.23	1 428	1 430
28	反式- α -佛手柑油烯 <i>trans</i> - α -bergamotene	C ₁₅ H ₂₄	91	0.41	1 435	1 436
29	顺式- β -金合欢烯 (<i>Z</i>)- β -farnesene	C ₁₅ H ₂₄	90	0.66	1 443	1 442
30	蛇麻烯 α -humulene	C ₁₅ H ₂₄	97	0.92	1 452	1 452
31	反式- β -金合欢烯 (<i>E</i>)- β -farnesene	C ₁₅ H ₂₄	91	20.21	1 460	1 460
32	(+)-epi-bicyclossequiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	90	0.67	1 470	-
33	吉马烯 D germacrene D	C ₁₅ H ₂₄	97	9.94	1 482	1 480
34	α -金合欢烯 α -farnesene	C ₁₅ H ₂₄	94	0.23	1 509	1 507
35	β -姜黄烯 β -curcumene	C ₁₅ H ₂₄	98	0.77	1 512	1 509
36	δ -杜松蒎烯 δ -cadinene	C ₁₅ H ₂₄	97	1.72	1 523	1 523
37	斯巴醇 spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	95	0.38	1 578	1 577
38	石竹烯氧化物 caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	94	1.41	1 582	1 582

续表 1

No.	化合物	分子式	匹配度	相对质量分数 /%	RI	
					RI _{Exp}	RI _{Ref}
39	7-epi-trans-sesquisabinene hydrate	C ₁₅ H ₂₆ O	70	0.62	1 592	-
40	别香橙烯氧化物 alloaromadendrene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	56	0.38	1 614	1 595
41	α-萜澄茄醇 α-cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	78	0.49	1 656	1 656
42	α-甜没药萜醇 α-bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	46	0.67	1 672	1 673
43	六氢法尼基丙酮 hexahydrofanesyl acetone	C ₁₈ H ₃₆ O	96	0.24	1 846	1 847
44	棕榈酸 hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	99	8.66	1 987	1 984
45	棕榈酸乙酯 ethyl hexadecanoate	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	95	0.79	1 996	1 996
46	叶绿醇 phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	99	0.76	2 117	2 116
47	亚油酸 linoleic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	99	1.56	2 150	2 147
48	亚麻酸 linolenic acid	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	98	1.02	2 156	2 154
49	亚油酸乙酯 ethyl linoleate	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	99	0.66	2 163	2 163
50	亚麻酸乙酯 ethyl linolenate	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	99	0.37	2 170	2 169

注:RI_{Exp}为在 HP-5MS 色谱柱上测定出来的相对于正构烷烃(C₇~C₃₀)的保留指数;RI_{Ref}为各化合物保留指数的文献值。

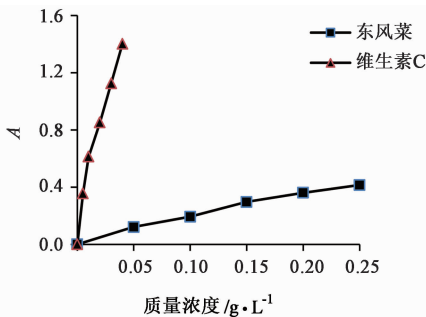


图 2 东风菜挥发油的还原能力
Fig. 2 Reducing ability of volatile oil from *Doellingeria scaber*

0.002 g·L⁻¹,可见东风菜挥发油对 DPPH 自由基的清除能力较弱。

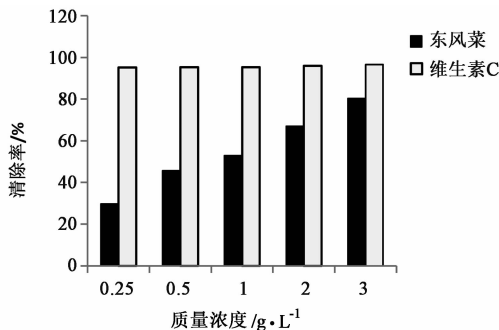


图 3 东风菜挥发油对 DPPH 自由基的清除能力
Fig. 3 DPPH radical scavenging activity of volatile oil from *Doellingeria scaber*

3.4 东风菜挥发油 β-胡萝卜素漂白法抗氧化活性
β-胡萝卜素漂白实验表明了东风菜挥发油的脂质过氧化抑制能力,实验结果见图 4。由图 4 可知,

东风菜挥发油具有较好的脂质过氧化抑制活性,并随着挥发油浓度的增加,抗氧化能力显著增加,其 IC₅₀ 为 0.10 g·L⁻¹,而 BHT 的 IC₅₀ 为 0.016 g·L⁻¹,东风菜挥发油的脂质过氧化抑制能力略低于 BHT。东风菜挥发油表现出较好的抗氧化活性,可能与其更易溶于脂质体系有关。

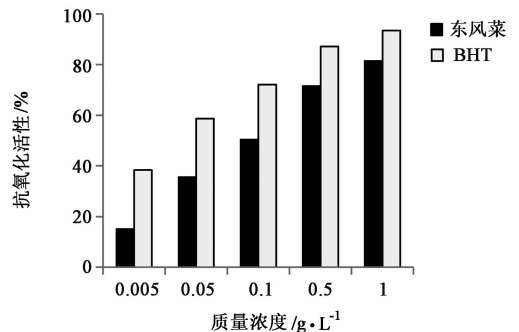


图 4 东风菜挥发油对 β-胡萝卜素/亚油酸的抗氧化活性
Fig. 4 Antioxidant activity of volatile oil from *Doellingeria scaber* in β-carotene/linoleic acid system

4 结论

本文对大别山地区野生东风菜的挥发油化学成分进行鉴定分析,挥发油主要成分为烯类、醇类、酸类及环氧化物等,含量较高的成分依次为反式-β-金合欢烯,吉马烯 D,棕榈酸,β-萜品烯,石竹烯和对伞花烃-8-醇。金合欢烯作为一种香料,用于皂用、日化香精中,棕榈酸是人体血液中含量最高的饱和脂肪酸,对人体具有重要的平衡调节作用^[15],石竹烯具有抗炎、驱虫、镇咳镇痛、抗菌^[16-17]等作用。

东风菜挥发油具有一定的铁离子还原能力,对

DPPH 自由基有一定清除作用,且在 β -胡萝卜素/亚油酸脂质体系中具有较好的过氧化抑制能力。东风菜挥发油中大量不饱和双键的烯烴类、烯醇类成分可能是其抗氧化活性的内在原因。东风菜挥发油的化学成分及抗氧化活性研究结果表明,东风菜作为一种野生资源丰富的药食两用植物,具有一定的抗氧化活性,在药用和食用开发中具有应用前景。

[参考文献]

[1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1985:128.

[2] 南京中医药大学. 中药大词典[M]. 2版. 上海:上海科学技术出版社,2006:891-892.

[3] 刘淑兰. 东风菜的药用研究概况[J]. 中医药信息, 2007,24(3):18-20.

[4] 刘祝安,杜一新. 东风菜资源的保护和开发利用思考[J]. 中国园艺文摘,2014,30(5):66,208.

[5] 白素平,范秉琳,闫福林. 东风菜中甾体成分研究[J]. 新乡医学院学报,2005,22(3):185-187.

[6] 匡海学,张鹏,杨炳友,等. 东风菜根生物活性成分的研究[J]. 中医药学报,1999(2):54-55.

[7] Kwon H C, Jung C M, Shin C G, et al. A new caffeoyl quinic acid from Aster Scaber and its inhibitory activity against human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) integrase [J]. Chem Pharm Bull, 2000, 48 (11): 1796-1798.

[8] 蒋金和,邓雪琳,王利勤,等. 东风菜化学成分及药理活性研究进展[J]. 中成药,2008,30(10):1517-1520.

[9] Cho Y O. Antioxidative activity of the Korean wild leafy

vegetables; Aster Scaber and Ligularia Fischeri [J]. J Food Sci Nutr,2002,7(2):146-150.

[10] Sok D E, Oh S H, Kim A T, et al. Neuroprotective effect of rough aster butanol fraction against oxidative stress in the brain of mice challenged with kainic acid [J]. J Agric Food Chem,2004,51(16):4570-4575.

[11] Mcreynolds W O. Gas Chromatographic Retention Data [M]. New York: Technical Abstracts Co, Evanston III, 1966.

[12] 张婷婷,罗丽萍,黄学勇,等. 辛夷挥发油 GC-MS 分析及其抗氧化、抗菌活性[J]. 食品科学,2016,37(10):144-150.

[13] WANG D C, SUN S H, SHI L N, et al. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of the essential oils of Metaplexis Japonica and their antibacterial components [J]. Int J Food Sci Technol, 2015,50(2):449-457.

[14] Taga M S, Miller E E, Pratt D E. Chia seeds as a source of natural lipids antioxidants [J]. J Am Oil Chem Soc, 1984,61(5):928-931.

[15] 逢楠楠,于勇,毕开顺,等. GC 法同时测定芫花中棕榈酸与亚油酸的含量[J]. 沈阳药科大学学报,2011,28(1):47-50.

[16] 陶冉,王成章,孔振武. 银杏叶类脂成分与聚戊烯醇的协同抑菌作用[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(17):203-210.

[17] 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.

[责任编辑 顾雪竹]