

玫瑰红景天挥发性成分分析 及其抗氧化和抗菌活性

刘存芳,史娟,刘军海,张强,杜全超,王伟,田光辉*

(陕西理工大学陕西省催化基础与应用重点实验室,陕西汉中 723000)

摘要:目的:提取玫瑰红景天根茎中的挥发性物质,测试抗氧化和抗菌活性,为玫瑰红景天的综合利用提供科学依据。方法:采用水蒸气蒸馏法提取玫瑰红景天根茎中的挥发性物质,经 GC-MS 分离和鉴定,借助 GC 用系列正构烷烃对各组分进行定性,面积归一化法确定各组分的相对含量;通过 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ 体系考察对羟基自由基的清除作用;用微量肉汤稀释法测定最小抑菌浓度(MIC)和平板转种法测定最小杀菌浓度(MBC)确定抗菌活性。结果:从玫瑰红景天挥发性物质中鉴定出 53 种化合物,主要组分有 1-辛醇(42.72%)、香叶醇(29.85%)、苯乙醇(9.67%)、桃金娘烯醇(2.69%)、芳樟醇(1.89%)等,玫瑰红景天挥发性物质对羟基自由基有清除作用,其半抑制浓度 IC_{50} 为 0.0073 mg/mL,对抗菌试验所选的 7 个菌株均有抑制作用,对金黄色葡萄球菌 ATCC25925 的 MIC 值是 0.12 mg/mL、MBC 值是 0.36 mg/mL,对大肠杆菌 ATCC25922 的 MIC 值是 0.58 mg/mL、MBC 值是 1.90 mg/mL。结论:通过水蒸气蒸馏法提取得到的玫瑰红景天根茎挥发性物质的组分丰富多样,是一种天然的抗氧化、抗菌活性物质。

关键词:玫瑰红景天,挥发性物质,气相色谱-质谱法,抗氧化活性,抗菌活性

Analysis of the Volatile Composition from the *Rhodiola rosea* and Anti-oxidation Activities and Antimicrobial Effectiveness

LIU Cun-fang, SHI Juan, LIU Jun-hai, ZHANG Qiang, DU Quan-chao, WANG Wei, TIAN Guang-hui*

(Shaanxi Key Laboratory for Catalysis, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: Objective: The volatile compound from the rhizome of *Rhodiola rosea* was investigated by anti-oxidation activities and antimicrobial activities to provide scientific basis for the comprehensive utilization of this natural resource. Methods: The volatile compound from the rhizome of *Rhodiola rosea* was extracted by steam distillation method, these components in the volatile compound were separated and structurally identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), moreover, the relative contents of these components by the peak-area normalization method adopted in gas chromatography (GC), and all components of the volatile compound was calibrated with a standard mixture of homologous n-alkane series. The scavenging effect of the volatile compounds on $\cdot\text{OH}$ produced by $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ system was investigated, the antimicrobial activities were evaluated with the minimum inhibitory concentration (MIC) by broth microdilution method and the minimum bactericidal concentration (MBC) by flat plate conversion method. Results: A total of 53 compounds were identified, the components with higher contents in the volatile compound were 1-octanol (42.72%), (Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol (29.85%), phenylethyl alcohol (9.67%), (-)-myrtenol (2.69%), linalool (1.89%). The volatile compound had obvious action to anti-oxidation activities of scavenging effect for $\cdot\text{OH}$, its half maximal inhibitory concentration value (IC_{50}) was 0.0073 mg/mL. The volatile compound showed inhibitory effect on the 7 strains tested, especially showed the best antimicrobial activities against *S. aureus* ATCC 25925 with MIC = 0.12 mg·mL⁻¹ and MBC = 0.36 mg·mL⁻¹, and against *E. coli* ATCC 25922 with MIC = 0.58 mg·mL⁻¹ and MBC = 1.90 mg·mL⁻¹. Conclusion: These volatile compounds from the rhizome of *Rhodiola rosea* by steam distillation method were various, which was a kind of natural anti-oxidant and antimicrobial substance.

Key words: *Rhodiola rosea* L.; volatile component; gas chromatography-mass spectrometry; anti-oxidation activity; antimicrobial activity

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)01-0032-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.006

引文格式: 刘存芳,史娟,刘军海,等.玫瑰红景天挥发性成分分析及其抗氧化和抗菌活性[J].食品工业科技,2020,41(1):32-37.

收稿日期: 2019-03-28

作者简介: 刘存芳(1971-),女,硕士,教授,研究方向:天然产物开发, E-mail: 987253106@qq.com。

* 通讯作者: 田光辉(1970-),男,硕士,教授,研究方向:药用活性分子筛选研究, E-mail: tiangh@snut.edu.cn。

基金项目: 陕西省科技厅社会发展科技攻关项目(2018SF-307);陕西省教育厅重点实验室项目(18JS024)。

玫瑰红景天 (*Rhodiola rosea* L.) 是景天科 (Crassulaceae) 红景天属 (*Rhodiola* L.) 的一种多年生草本植物, 又称为蔷薇红景天^[1], 多野生于林地、山坡、干燥的石缝隙、陡岩间等地方^[2], 分布于我国东北、华北、西北等山区。明代李时珍在《本草纲目》中记载玫瑰红景天为“本经上品, 祛邪恶气”, 被称为“仙赐草”, 有玫瑰香味, 新鲜时更浓郁, 全草均可药食两用, 常用根茎, 性“甘、苦, 平, 归肺、心经”^[3], 味微苦、酸涩, 其功能主要为活血止血、化瘀消肿、抗炎、抗缺氧、抗疲劳、抗抑郁、抗过敏、抗辐射、抗癌等^[4-5], 常用于治疗呕血、咳血、高血压、冠心病等病症^[6], 有“扶正固本”的作用^[7]。人们对玫瑰红景天的生物活性以及其活性成分不断地进行着研究^[8-9], 红景天中的活性成分丰富多样, 含有红景天苷 (salidroside) 及其苷元酪醇 (ptyrosol)、酪萨维 (rosavin)、络塞琳 (rosarin)、络塞 (rosin) 等^[10-11], 还含有 6'-O-没食子酰-红景天苷、对-O-β-吡喃葡萄糖基-苯丙烯酸、7-甲氧基香豆素等多种化合物^[12], 另有文献报道采用微波技术从玫瑰红景天中提取总黄酮和多糖, 并对其含量进行测定^[13-14]。玫瑰红景天中挥发性物质的研究尚少^[15-16], 对其挥发性物质的活性研究更少, 对红景天同属植物如大花红景天^[17]、高山红景天^[18]、小丛红景天^[19]、狭叶红景天^[20]等的挥发性物质研究较多^[21], 也有对红景天属植物挥发性物质活性的研究报道^[18,20]。红景天挥发性物质有诸多特殊的活性如抗菌、抗炎、抗氧化等, 可用于医药、化妆品、食品工业等领域, 开发红景天挥发性物质前景广阔。

本研究以玫瑰红景天为原料, 采用水蒸气蒸馏法提取挥发性物质, 用 GC-MS 和 GC 分离定性, 进行体外抗氧化和抗菌活性试验, 旨在为综合利用玫瑰红景天这一珍稀野生药食兼用植物资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

玫瑰红景天 (*Rhodiola rosea* L.) 2017 年 11 月上旬收集于西藏林芝山区, 全草经陕西理工大学省级植物学科负责人赵桦教授鉴定和确认, 实验用其新鲜的根茎; 系列正构烷烃物质 ($C_6 \sim C_{23}$) 为色谱纯, 购自北京化学试剂公司 (进口分装); 实验所用其他试剂 均为国产分析纯, 西安化学试剂厂; 肉汤培养基、水解酪蛋白胨 (MH) 肉汤、普通琼脂平板培养基等 北京索莱宝科技有限公司; 试验标准菌株冻干品 中国食品药品检定研究院中国医学细菌保藏管理中心; pH7.4 的 150 mmol/L PBS 缓冲溶液、浓度为 1.5 mmol/L 邻二氮菲溶液、1.5 mmol/L 硫酸亚铁溶液、0.02% 双氧水溶液 现用现配; 水 为二次蒸馏水。

Finnigan-Trace DSQ 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 美国热电公司, 配有 DB-5 型色谱柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$); Agilent 6890N 气相色谱仪 (GC) 美国安捷伦利科技有限公司, 配有 HP-5 型 色谱柱 (5% Phenyl Methyl Siloxane,

capillary: $30.0\text{ m} \times 320\text{ }\mu\text{m} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$); 96 孔培养板 美国康宁公司; UV-6300PC 紫外可见光光度计 上海美谱达仪器有限公司; 普通培养箱 上海风棱实验设备有限公司; HH-2 型电热恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司; BSA224S-CW 电子天平 赛多利斯科学仪器有限公司; 中药材粉碎机 广州赛豪机械有限公司; 水蒸气蒸馏装置、玻璃器皿 天津化玻科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 玫瑰红景天挥发性物质的提取 将玫瑰红景天的根茎阴干, 用粉碎机粉碎, 过 50 目筛, 粉末密封保存。称取 100.0 g 粉末于蒸馏瓶中加入等质量的水浸泡过夜后安装水蒸气蒸馏装置, 提取挥发性物质 8 h, 馏出液加入氯化钠形成饱和溶液再用乙醚萃取三次, 合并萃取液加入无水硫酸钠干燥过夜, 在 40 °C 水浴中蒸馏回收乙醚^[22], 得到淡黄色油状有香味的挥发性物质 1.98 g, 得率为 1.98 g/100 g。重复提取三次, 密封 0~5 °C 下保存备用。

1.2.2 气相色谱-质谱联用仪工作条件 色谱条件: 载气 He 气, 柱温 50~280 °C, 初始温度设定 50 °C, 保持 3 min 后, 用程序升温 10 °C/min, 温度至 180 °C 保持 4 min, 再以 10 °C/min 升温至 250 °C, 保持 3 min; 色质界面温度 250 °C, 衡流模式, 进样量 0.5 μL , 流量 1 mL/min, 分流比 50:1。质谱条件: 离子源温度设定 250 °C, 电离能量为 70 eV, 倍增器电压为 978 V, 离子源为 EI, 扫描范围 45~500 m/z。

1.2.3 保留指数的确定 通过 GC 用系列正构烷烃物质的混合物 ($C_6 \sim C_{23}$) 来确定挥发性物质中各个组分的 Kovats 保留指数 RI 值^[23], GC 工作条件同 1.2.2 中的色谱条件。

1.2.4 对羟基自由基清除率的测定 通过 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ 体系测定清除羟基自由基 $\cdot\text{OH}$ 的效果^[24], 将玫瑰红景天挥发性物质配制成 0.1 mg/mL 的溶液, 取 8 支 10 mL 规格的具塞比色管, 逐个移入 1 mL 邻二氮菲溶液、3.0 mL PBS 溶液, 振荡混匀, 再分别加入 2 mL 硫酸亚铁溶液, 振荡混匀, 在 6 支比色管中分别加入 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 不同梯度的玫瑰红景天挥发性物质溶液, 振荡混匀, 编号为 1~6 号; 另外 2 支比色管标识为损伤管和未损伤管, 不加玫瑰红景天挥发性物质溶液, 1~6 号管和损伤管中再分别加入 1 mL 双氧水溶液, 未损伤管不加双氧水溶液。在 8 支比色管中用水定容至 10 mL, 振荡混匀, 此时 1~6 号管中玫瑰红景天挥发性物质的浓度分别为 0.002、0.004、0.006、0.008、0.010、0.012 mg/mL, 放置于普通培养箱中设定温度为 37 °C 保温反应 60 min, 取出冷却至室温, 用分光光度计在 510 nm 波长下测定 8 支比色管中溶液的吸光度 A 。以相同浓度的维生素 C 作为参照。重复测量三次, 取平均值。

$$\cdot\text{OH} \text{ 的清除率 } (\%) = (A_2 - A_1) / (A_0 - A_1) \times 100$$

式中: A_0 为未损伤溶液的吸光度; A_1 为损伤溶液的吸光度; A_2 为加玫瑰红景天挥发性物质溶液的吸光度。

1.2.5 抗菌活性试验 体外抗菌活性的试验菌株为金黄色葡萄球菌 ATCC25925 株、大肠杆菌 ATCC25922 株、肠炎沙门氏菌 50040 株、鼠伤寒沙门菌 50013 株、痢疾志贺氏菌 CMCC51105 株、福氏志贺氏菌 CMCC51572 和白色念珠菌 ATCC10231 株,7 个标准菌株。菌液制备:将试验菌株在 MH 肉汤中接种后放置于普通培养箱内,控温 37 ℃ 培养 24 h,光电比浊计数法确定细菌的数量。用 MH 肉汤培养液调制成 10⁶ CFU/mL,将玫瑰红景天挥发性物质溶于含 5% Tween-80 的肉汤中,连续二倍梯度稀释后在 96 孔培养板以 0.2 mL/孔注入不同浓度的玫瑰红景天挥发性物质溶液,分别注入浓度为 10⁶ CFU/mL 的实验菌液 50 μL/孔,设置空白对照,在湿盒内放置水平再放进微生物培养箱中控温 37 ℃ 下培养 24 h,观测,没有细菌生长孔的最小玫瑰红景天挥发性物质溶液的浓度为最小抑菌浓度 MIC;在普通琼脂平板培养基上采用平板转种法确定最小杀菌浓度 (MBC)^[25]。

1.3 数据处理

色谱峰的质谱图经计算机与 NIST 谱库和 WILEY 谱库中入库谱图进行对比,相似度大于 85% 予以认定,Kovats 保留指数 RI 值以系列正构烷烃为对照用色谱图中两边相近的正构烷烃进行标定^[26],结合文献数据进行分析来定性确定。将总离子流图谱经计算机用峰面积归一化法确定玫瑰红景天挥发性物质中各个组分的相对含量。

数据处理和图形绘制用 OriginLab Origin V 8.0 软件。

2 结果与讨论

2.1 玫瑰红景天挥发性物质中的组分分析

用 GC-MS 对玫瑰红景天挥发性物质分离的总离子流图如图 1,检出 55 个组分,各组分经质谱扫描所得的质谱图谱通过计算机自动检索谱库,人工解析图谱将各组分的质谱碎片和文献对比,结合相对

丰度、质荷比和基峰等,对各组分逐一进行确认,从玫瑰红景天挥发性物质中鉴定出 53 种化合物,鉴定出化合物的相对含量占到总峰的 98.35%,各组分结构确定的结果如表 1。表 1 中保留指数 RI 值是以系列正构烷烃 (C₆~C₂₃) 作为对照品,玫瑰红景天挥发性物质中的各个组分的出峰时间可用色谱图上两边相近的两个正构烷烃进行标定,保留值接近,测定的保留指数精确度较高相对偏差在 0.1%~0.2% 内,采用保留指数 RI 值能减少外部因素的影响,提高重现性和鉴定的效率。玫瑰红景天挥发性物质的组分丰富多样,以醇、醛、酚、酯和烷烃类为主,还有烯烃、酸、酮、炔、酰胺和黄酮类,其中醇类 19 种、醛 8 种、酚、酯和烷烃各 5 种,烯烃和羧酸各 3 种、酮 2 种、炔、酰胺和黄酮类各 1 种。

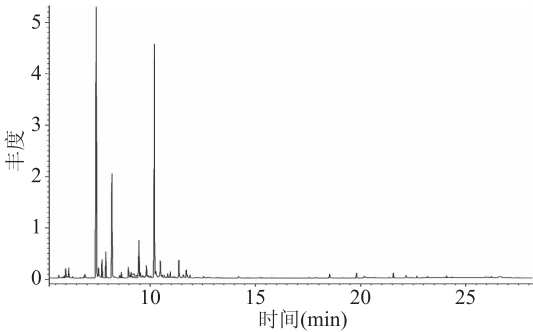


图 1 玫瑰红景天挥发性物质的 GC-MS 总离子流图
Fig.1 TIC chromatograms of the volatile compound from *Rhodiola rosea* L.

玫瑰红景天挥发性物质中的主要组分是 1-辛醇 (1-Octanol,42.72%)、香叶醇((Z)-3,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol,29.85%)、苯乙醇(Phenylethyl alcohol,9.67%)、桃金娘烯醇((-)-Myrtenol,2.69%)、芳樟醇(Linalool,1.89%),这 5 种化合物在玫瑰红景天挥发性物质中的含量占到了总量的 86.82%,其中 1-辛醇和香叶醇的含量就占到了

表 1 玫瑰红景天挥发性物质的化学组分

Table 1 Chemical components of the volatile compound form *Rhodiola rosea* L.

峰号	RT (min)	化合物名称	分子式	分子量	相对含量 (%)	RI
1	5.65	5-甲基-2-糠醛(5-methyl-2-Furancarboxaldehyde)	C ₆ H ₆ O ₂	110	0.18	683
2	5.83	2,3-二甲基-2,3-丁二醇(2,3-dimethyl-2,3-Butanediol)	C ₆ H ₁₄ O ₂	118	0.03	704
3	5.91	1-壬烯-3-醇(1-Nonen-3-ol)	C ₉ H ₁₈ O	142	0.06	714
4	5.99	苯酚(Phenol)	C ₆ H ₆ O	94	0.58	724
5	6.13	2-甲基-6-庚烯-1-醇(2-methyl-6-Hepten-1-ol)	C ₈ H ₁₆ O	128	0.55	740
6	6.30	辛醛(Octanal)	C ₈ H ₁₆ O	128	0.02	761
7	6.89	4-羟基-丁内酯(dihydro-4-hydroxy-2(3H)-Furanone)	C ₄ H ₆ O ₃	102	0.09	832
8	7.44	1-辛醇(1-Octanol)	C ₈ H ₁₈ O	130	42.72	900
9	7.54	对甲苯酚(p-Cresol)	C ₇ H ₈ O	108	0.53	911
10	7.70	反-氧化芳樟醇(trans-Linalool oxide(furanoid))	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	1.01	930
11	7.88	芳樟醇(Linalool)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1.89	952
12	8.18	苯乙醇(Phenylethyl alcohol)	C ₈ H ₁₀ O	122	9.67	988
13	8.31	反式-1-丁基-2-甲基环丙烷 (trans-1-Butyl-2-methyl cyclopropane)	C ₈ H ₁₆	112	0.04	1004

续表

峰号	RT (min)	化合物名称	分子式	分子量	相对含量 (%)	RI
14	8.55	3,3-二甲基庚烯(3,3-dimethyl-Heptane)	C ₉ H ₂₀	128	0.11	1033
15	8.62	6,6-二甲基-2-亚甲基-二环[3.1.1]庚烷-3-醇 (6,6-dimethyl-2-methylene-Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.25	1042
16	8.96	4-己基苯酚(4-ethyl-Phenol)	C ₈ H ₁₀ O	122	0.64	1083
17	9.09	辛酸(Octanoic acid)	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.37	1098
18	9.18	2-壬烯-4-酮(2-Nonen-4-one)	C ₉ H ₁₆ O	140	0.18	1109
19	9.32	关环柠檬醛(photocitral A)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.05	1126
20	9.45	桃金娘烯醇((-)-Myrtenol)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	2.69	1142
21	9.53	乙酸辛酯(Acetic acid octyl ester)	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.21	1151
22	9.65	(Z)-2,6-二甲基-2,7-辛二烯-1,6-二醇 ((Z)-2,6-dimethyl-2,7-Octadiene-1,6-diol)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	0.03	1166
23	9.81	香茅醇(Citronellol)	C ₁₀ H ₂₀ O	156	0.72	1185
24	9.89	2,6-二甲基-7-辛烯-2,6-二醇 (2,6-dimethyl-7-Octene-2,6-diol)	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.12	1195
25	9.96	3-苯丙醇(3-Phenylpropanol)	C ₉ H ₁₂ O	136	0.05	1203
26	10.02	2,7,7-三甲基-3-环氧基[4.1.1.0(2,4)]辛烷 (2,7,7-trimethyl-3-Oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.03	1211
27	10.18	香叶醇((Z)-3,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol)	C ₁₀ H ₁₈ O	154	29.85	1230
28	10.26	2,6-二甲基苯甲醛(2,6-Dimethylbenzaldehyde)	C ₉ H ₁₀ O	134	0.43	1240
29	10.47	1-癸醇(1-Decanol)	C ₁₀ H ₂₂ O	158	0.97	1265
30	10.56	2-乙酰基间苯二酚(2-acetyl-Resorcinol)	C ₈ H ₈ O ₃	152	0.28	1276
31	10.66	6,6-二甲基二环[3.1.1]庚-2-烯-2-甲醇 (6,6-dimethyl-Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-methanol)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.16	1288
32	10.83	对伞花-7-醇(p-Cymen-7-ol)	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.25	1309
33	10.95	紫苏醇(p-Mentha-1,8-dien-7-ol)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.42	1323
34	11.09	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚(2-Methoxy-4-vinylphenol)	C ₉ H ₁₀ O ₂	150	0.03	1340
35	11.17	(E,E)-2,4-癸二烯醛((E,E)-2,4-Decadienal)	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.02	1350
36	11.35	3-甲基-3-(4-甲基-3-戊烯)-环氧丙醛(3-methyl-3-(4-methyl-3-pentenyl)-Oxiranecarboxaldehyde)	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	1.27	1371
37	11.58	3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸(Neric acid)	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	0.20	1399
38	11.72	结构未定(Unidentified)	-	-	0.49	-
39	11.89	乙酸香叶醇酯(3,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol, acetate)	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.09	1437
40	12.54	2-己基环己酮(2-ethyl-Cyclohexanone)	C ₈ H ₁₄ O	126	0.06	1515
41	14.20	(E)-4-庚烯醛((E)-4-Heptenal)	C ₇ H ₁₂ O	112	0.03	1603
42	17.88	十七烷(Heptadecane)	C ₁₇ H ₃₆	240	0.01	1700
43	18.52	n-十六酸(n-Hexadecanoic acid)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	0.21	1870
44	19.81	二十烷(Eicosane)	C ₂₀ H ₄₂	282	0.34	2000
45	20.15	1-十七烯(1-heptadecene)	C ₁₇ H ₃₄	236	0.02	1916
46	20.20	1-十七炔(1-Heptadecyne)	C ₁₇ H ₃₂	236	0.01	2040
47	21.56	二十四烷(Tetracosane)	C ₂₄ H ₅₀	338	0.32	2400
48	22.16	(Z)-9-十八烯酸酰胺((Z)-9-Octadecenamide)	C ₁₈ H ₃₅ NO	281	0.11	2466
49	22.67	二十四醛(Tetracosanal)	C ₂₄ H ₄₈ O	352	0.08	2523
50	23.17	碳酸乙烯醇酯二十醇酯 (Carbonic acid,eicosyl vinyl ester)	C ₂₃ H ₄₄ O ₃	368	0.10	2579
51	24.08	醋酸二十一醇酯(Heneicosyl acetate)	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354	0.12	2680
52	24.33	植醇(Phytol)	C ₂₀ H ₄₀ O	296	0.04	2708
53	25.81	结构未定(Unidentified)	-	-	0.01	-
54	26.21	3',4',5,6,7,8-六甲氧基黄酮 (3',4',5,6,7,8-Hexamethoxyflavone)	C ₂₁ H ₂₂ O ₈	402	0.03	2918
55	26.61	(Z)-17-三十五烯((Z)-17-Pentatriacontene)	C ₃₅ H ₇₀	490	0.08	2962

72.57%。1-辛醇有微甜的草香味是 GB2760-86 中允许使用的食用香料,也是重要的香料中间体,能被氧化成另一种天然产物辛酸^[27];香叶醇有玫瑰香味,有抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、平喘等广泛的药理活性^[28];苯乙醇有清甜的玫瑰花香,也是允许使用的一种天然食用香料,有抗菌、防腐、抑制心房肌肉收缩、抑制平滑肌收缩、缓和高血压、支气管平滑肌松弛等作用;桃金娘烯醇有清凉的檀木薄荷香气,有抗炎、抗氧化作用,能治疗急、慢性鼻炎、鼻窦炎以及急、慢性气管炎和支气管炎等;芳樟醇呈铃兰香味,有抗病毒、抗菌、抗炎、抗氧化、防止龋齿以及镇静等作用,广泛应用于食品工业、药物合成中间体、精细化工等领域,这些较高含量的化合物均含有羟基,含羟基活性基团的化合物往往是极性分子会表现出特殊的生理活性,预示着玫瑰红景天挥发性物质有潜在的生物活性。玫瑰红景天挥发性物质中的主要组分和大花红景天挥发油主要化学成分为 1-辛醇、香叶醇等相似^[17],和西藏红景天挥发油主要成分为香叶醇、1-辛醇、芳樟醇、甲酸辛酯、桃金娘醇等基本一致^[21],和文献报道的 5 个种属 12 个西藏红景天样品分析的结果基本相同^[19],但主要化学成分及其含量也都存在着差异,这与品种、采样季节和产地有关。

2.2 清除羟基自由基的效果

由图 2 可知,玫瑰红景天挥发性物质在相同浓度下和维生素 C 相比,对 H_2O_2/Fe^{2+} 体系中的羟基自由基清除率均要高,说明对羟基自由基表现出明显的清除效果。玫瑰红景天挥发性物质的浓度和清除率存在着量效关系,随着玫瑰红景天挥发性物质浓度的增加对羟基自由基的清除率不断增强,均高于相同浓度维生素 C 对羟基自由基的清除率,玫瑰红景天挥发性物质及维生素 C 的半抑制浓度 IC_{50} 分别为 0.0073 mg/mL 和 0.0092 mg/mL,说明玫瑰红景天挥发性物质有明显的抗氧化活性,是一种天然的抗氧化物质。

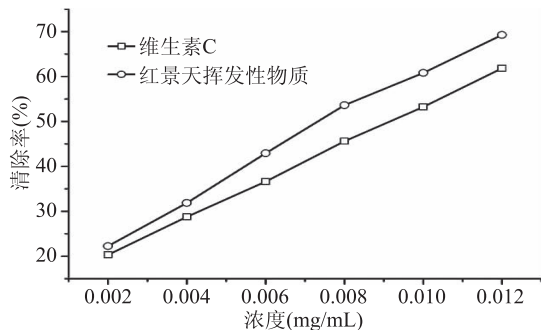


图 2 玫瑰红景天挥发性物质对羟基自由基的清除作用

Fig.2 Scavenging activity of the volatile compound form *Rhodiola rosea* L. on $\cdot OH$

2.3 抗菌活性

玫瑰红景天挥发性物质对 7 个标准菌株的 MIC 和 MBC 如表 2,从表 2 中结果可以看出,玫瑰红景天挥发性物质对试验所选的 7 个菌株均有明显的抑制效果,能抵抗这 7 个致病细菌的侵染。玫瑰红景天挥发性物质对金黄色葡萄球菌 ATCC25925 和大肠杆菌 ATCC25922 的 MIC 值分别是 0.12 和 0.58 mg/mL,

说明对这两个细菌有强烈的抑制作用;玫瑰红景天挥发性物质对肠炎沙门氏菌 50040、痢疾志贺氏菌 CMCC51105、福氏志贺氏菌 CMCC51572 和白色念珠菌 ATCC10231 的 MIC 值在 2.02~9.02 mg/mL 之间,表明玫瑰红景天挥发性物质对这些细菌也有明显的抑制作用。玫瑰红景天挥发性物质对金黄色葡萄球菌 ATCC25925 的 MBC 值是 0.36 mg/mL,表明玫瑰红景天挥发性物质对该细菌有强烈的杀灭作用;对其他 6 个细菌的 MBC 值在 1.90~11.34 mg/mL 之间,说明对这 6 个细菌也有明显的杀灭作用。玫瑰红景天挥发性物质对金黄色葡萄球菌 ATCC25925 和大肠杆菌 ATCC25922 的抑制作用表现得更为强烈。

表 2 玫瑰红景天挥发性物质

对试验菌株的 MIC 值和 MBC 值 (mg/mL)

Table 2 MIC (mg/mL) and MBC (mg/mL) of the volatile compound form *Rhodiola rosea* L. on tested strains

试验菌株	玫瑰红景天挥发性物质	
	MIC	MBC
金黄色葡萄球菌 ATCC25925	0.12	0.36
大肠杆菌 ATCC25922	0.58	1.90
肠炎沙门氏菌 50040	2.02	3.46
鼠伤寒沙门菌 50013	5.16	7.38
痢疾志贺氏菌 CMCC51105	6.44	8.26
福氏志贺氏菌 CMCC51572	8.58	10.12
白色念珠菌 ATCC10231	9.02	11.34

3 结论

玫瑰红景天挥发性物质的主要组分有 1-辛醇、香叶醇、苯乙醇、桃金娘烯醇、芳樟醇等,醇类 19 种、醛 8 种、酚、酯和烷烃各 5 种,烯炔和羧酸各 3 种、酮 2 种,炔、酰胺和黄酮类各 1 种,组分丰富多样,与文献报道的红景天同属其他植物挥发性物质的组分有相似性,一些主要组分是一致的,这说明物种与其化合物组成有相关性,但由于品种、采样季节和产地的不同挥发性物质的组分会存在差异,这意味着挥发性物质的活性以及活性效果也会不同^[22]。通过 H_2O_2/Fe^{2+} 体系以维生素 C 为参照品来考察玫瑰红景天挥发性物质对羟基自由基的清除作用,与维生素 C 比较对羟基自由基的清除率要高,玫瑰红景天挥发性物质及维生素 C 的半抑制浓度 IC_{50} 分别为 0.0073 和 0.0092 mg/mL,表现出明显的清除作用,对玫瑰红景天挥发性物质的抗氧化活性也进行了初步试验。体外抗菌测试的最小抑菌浓度 (MIC) 和最小杀菌浓度 (MBC) 结果表明,玫瑰红景天挥发性物质对试验所选的 7 个菌株均有明显的抑制效果,能有效地抵抗这 7 个致病细菌,对金黄色葡萄球菌 ATCC25925 和大肠杆菌 ATCC25922 的抑制作用更为强烈,说明玫瑰红景天挥发性物质是一种有待开发具有抗菌和抗氧化的天然活性物质,由于玫瑰红景天挥发性物质的组分种类丰富多样,其他抗氧化活性和抗菌活性的试验仍有研究的价值和意义,玫瑰红景天挥发性物质的抗氧化抗菌的机理以及其他活性试验还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 韩雪, 孟彩霞, 马蕾, 等. 蔷薇红景天低聚体原花青素的稳定性和抗衰老研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 120-123.
- [2] Andrey S Marchev, Ina Y Aneva, Ivanka K Koycheva, et al. Phytochemical variations of *Rhodiola rosea* L. wild - grown in Bulgaria[J]. Phytochemistry Letters, 2017, 20: 386-390.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 2015 年版一部. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 154.
- [4] Andrey S Marchev, Petya Dimitrova, Ivanka K Koycheva, et al. Altered expression of TRAIL on mouse T cells via ERK phosphorylation by *Rhodiola rosea* L. and its marker compounds[J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 108: 419-428.
- [5] Amsterdam J D, Panossian A G. *Rhodiola rosea* L. as a putative botanical antidepressant[J]. Phytomedicine, 2016, 23(7): 770-783.
- [6] Wieland Peschel, José M Prieto, Caroline Karkour, et al. Effect of provenance, plant part and processing on extract profiles from cultivated European *Rhodiola rosea* L. for medicinal use[J]. Phytochemistry, 2013, 86: 92-102.
- [7] Titomanlio F, Perfumi M, Mattioli L. *Rhodiola rosea* L. extract and its active compound salidroside antagonized both induction and reinstatement of nicotine place preference in mice[J]. Psychopharmacology (Berl), 2014, 231(10): 2077-2086.
- [8] 张慧云, 马朝阳, 王洪新. 玫瑰红景天提取物 rosavin 抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 357-359.
- [9] Wieland Peschel, Alfred Kump, Zoltán Péter Zomborszki, et al. Phenylpropanoid content in high-altitude cultivated *Rhodiola rosea* L. provenances according to plant part, harvest season and age[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 111: 446-456.
- [10] 卢义德, 姚欣, 张园, 等. HPLC 法测定玫瑰红景天中 3 种有效成分的含量[J]. 西北药学杂志, 2009, 24(6): 452-453.
- [11] 杨青林, 葛静秋. 大孔吸附树脂法分离纯化红景天中洛塞维[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 357-359.
- [12] 马朝阳, 姜在祥, 吕文平, 等. 玫瑰红景天化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24: 1549-1553.
- [13] 兰卫, 赵文彬, 秦冬梅, 等. 微波法提取玫瑰红景天总黄酮和多糖[J]. 中成药, 2004, 26(6): 502-503.
- [14] 邱远金, 丁旭, 谭勇, 等. 正交试验法优化蔷薇红景天多糖的提取工艺[J]. 中国药业, 2012, 21(16): 55-57.
- [15] Evstatieva L, Todorova M, Antonova D, et al. Chemical composition of the essential oils of *Rhodiola rosea* L. of three different origins[J]. Pharmacognosy Magazine, 2010, 6(24): 256-258.
- [16] Éva B Héthelyi, Kornél Korány, Bertalan Galambosi, et al. Chemical composition of the essential oil from rhizomes of *Rhodiola rosea* L. grown in Finland[J]. Journal of Essential Oil Research, 2005, 17(6): 628-629.
- [17] 韩永平, 陈胡兰, 宋学伟, 等. 藏药大花红景天挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 华西药学杂志, 2005, 20(2): 104-106.
- [18] 付文艳, 杨维旭, 翁高雅, 等. 高山红景天挥发油对盐酸小檗碱体外透皮吸收的影响[J]. 中成药, 2013, 35(5): 1101-1104.
- [19] 谢惜媚, 陈彬, 刘岚, 等. HS-GC-MS 法分析比较十二种西藏红景天样品的挥发性成分[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2013, 52(5): 97-102.
- [20] 栗孟飞, 姚园园, 杨林贵, 等. 狭叶红景天引种驯化后抗氧化能力、主要活性物质含量及挥发性组分的变化[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2947-2954.
- [21] 黄荣清, 吴德雨, 骆传环, 等. 气相色谱-质谱法分析西藏红景天挥发油成分[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(8): 693-694.
- [22] 赖普辉, 刘存芳, 李星彩, 等. 不同季节厚朴树叶挥发性物质分析及其抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 101-104.
- [23] Kovats E. Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system[J]. Adv Chromatogr, 1965, 1: 229-247.
- [24] 金鸣, 蔡亚欣, 李金荣. 邻二氮菲- Fe^{2+} 氧化法检测 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ 产生的羟自由基的新方法[J]. 生物化学与生物物理进展, 1996, 23(6): 553-555.
- [25] Alberto A, Andrea B, Elisabetta C, et al. Chemical composition plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L[J]. J Agric Food Chem, 2004, 52: 3530-3535.
- [26] 林杰, 陈莹, 施元旭, 等. 保留指数在茶叶挥发物鉴定中的应用及保留指数库的建立[J]. 茶叶科学, 2014, 34(3): 216-270.
- [27] 纪红兵, 钱宇, 何笃贵, 等. 一步法催化氧化正辛醇生成正辛酸[J]. 化工学报, 2005, 56(9): 1673-1678.
- [28] 孙立宏, 孙立明. 香叶醇的研究进展[J]. 西北药学杂志, 2009, 24(5): 428-430.
- [41] Fan L, Zhang Y, Li X, et al. Removal of alizarin red from water environment using magnetic chitosan with alizarin red as imprinted molecules[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2012, 91: 250-257.
- [42] 察冬梅, 刘明军, 孙小梅, 等. 壳聚糖磁性微球对偶氮品红的吸附[J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2011, 30(4): 36-40.

(上接第 31 页)

权威 · 高效 · 核心 · 领先 · 精湛 · 实用