

竹叶花椒挥发油化学成分及其抗氧化活性研究

周孟焦^{1,2,3} 陈 凯³ 孙李娜³ 易 凤³ 梁晓峰^{1,2,3}

- (1. 四川中医药高等专科学校绵阳市中药资源开发利用重点实验室, 四川 绵阳 621010;
2. 四川中医药高等专科学校川西北中药材资源研究与开发利用实验室, 四川 绵阳 621010;
3. 四川中医药高等专科学校药学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: [目的] 研究竹叶花椒挥发油成分、抗氧化活性和抗氧化稳定性。[方法] 采用超临界 CO₂ 萃取法 (SFE-CO₂) 和水蒸气蒸馏法 (HD) 提取挥发油, 利用气相色谱—质谱联用 (GC-MS) 法分析其化学成分; 采用 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除法评价竹叶花椒挥发油的抗氧化活性, 并研究 pH、温度、防腐剂和甜味剂等对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响。[结果] GC-MS 分析显示, 竹叶花椒挥发油主要含有醇类、烯类物质; 两种方法得到的挥发油均具有较强的抗氧化活性, SFE-CO₂ 和 HD 所得挥发油对 ABTS 自由基的半抑制质量浓度分别为 0.248, 0.580 mg/mL, 对 DPPH 自由基的半抑制质量浓度分别为 4.620, 8.920 mg/mL; pH、温度、防腐剂和甜味剂能够影响挥发油的抗氧化活性。[结论] 两种提取方法所得挥发油的化学成分存在差异, 但均具有较强的抗氧化活性, 且在一定质量浓度范围内稳定, 可作为天然抗氧化剂的潜在来源。

关键词: 竹叶花椒; 挥发油; 化学成分; 抗氧化活性

Study on chemical components of the essential oil from *Zanthoxylum armatum* DC and its antioxidant activity

ZHOU Mengjiao^{1,2,3} CHEN Kai³ SUN Lina³ YI Feng³ LIANG Xiaofeng^{1,2,3}

- (1. Mianyang Key Laboratory for the Development and Utilization of Traditional Chinese Medicine Resources, Sichuan College of Traditional Chinese Medicine, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Laboratory of Research Development and Utilization on Traditional Chinese Medicine Resources in Northwest Sichuan, Sichuan College of Traditional Chinese Medicine, Mianyang, Sichuan 621010, China; 3. College of Pharmacy of Sichuan College of Traditional Chinese Medicine, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to investigate the composition, antioxidant properties, and stability of the essential oil extracts from *Zanthoxylum armatum* DC. [Methods] Essential oil was extracted using supercritical CO₂ extraction (SFE-CO₂) and steam distillation (HD). Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to analyze the chemical composition of the oils. Antioxidant activity was evaluated using DPPH and ABTS free radical scavenging assays. Additionally, the effects of pH, temperature, preservatives, and sweeteners on the antioxidant activity of the essential oil were assessed. [Results] GC-MS analysis revealed that alcohols and olefins were the primary components of the essential oils. Both extraction methods yielded oils with strong antioxidant properties. The half-maximal inhibition concentration (IC₅₀) for ABTS radicals was 0.248 mg/mL for SFE-CO₂ and 0.580 mg/mL for HD, while for DPPH radicals, the IC₅₀ values were 4.620 mg/mL and 8.920 mg/mL. Variations in pH values, temperature, preservatives and sweeteners influenced the antioxidant activity of the oils. [Conclusion] The chemical composition of essential oils differs based on the extraction method, but both demonstrate strong antioxidant activity and stability under certain conditions. These findings suggest that *Z. armatum* essential oils could serve as a promising natural source of antioxidants.

Keywords: *Zanthoxylum armatum* DC; essential oil; chemical components; antioxidant activity

基金项目: 四川省中医药管理局科学技术研究专项课题 (编号: 2023MS334); 绵阳市中药资源开发利用实验室开放基金课题 (编号: 24ZYKF03)

通信作者: 梁晓峰 (1975—), 男, 四川中医药高等专科学校教授, 博士。E-mail: 454192439@qq.com

收稿日期: 2024-02-28 **改回日期:** 2024-11-28

挥发油是植物中重要的次生代谢产物,是一种含有复杂挥发性活性成分的混合物,具有抗氧化、抗抑郁、排毒、镇静、抗菌等作用^[1-2]。作为食物来源的抗氧化物质,挥发油具有高效、安全、毒副作用小的特点,但其理化性质不稳定,容易受到 pH、温度、添加剂等因素的影响,降低其生物活性^[3-6]。竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum* DC)是一种药食同源植物,因其适生能力强、投产早、见效快而被大量发展,但目前有关竹叶花椒的研究主要停留在竹叶花椒果皮和榨油等初级产品,大多仅作为调味品进行产业化发展,故而迫切需要拓宽竹叶花椒在其他行业的应用^[7-9]。研究^[10]表明,竹叶花椒果皮含有丰富的挥发油,具有抗氧化、抗肿瘤、美白、抗惊厥活性、降胆固醇、抗炎等多种药理活性。

植物源抗氧化剂的成分、抗氧化活性,在各种环境条件下的稳定性直接决定该物质能否作为绿色、安全、高效的抗氧化剂,一直是天然抗氧化剂应用中所关注的问题。研究拟利用气相色谱—质谱联用(GC-MS)对超临界 CO₂ 萃取法(SFE-CO₂)和水蒸气蒸馏法(HD)所得的竹叶花椒挥发油进行成分分析,利用 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除法测定其抗氧化活性,在此基础上探究 pH、温度、防腐剂和甜味剂等因素对挥发油抗氧化活性的影响,以期为其植物资源的高值化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

竹叶花椒样品:经四川中医药专科学校药学院王化东副教授鉴定为 *Z. armatum* 的干燥成熟果皮,四川洪雅某竹叶花椒种植基地;

2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(98%)、2,2-联苯基-1-苦基肼基(97%):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

CO₂ 气体(纯度 99.99%):食品级,绵阳市昌俊气体有限公司;

维生素 C、过硫酸钾、山梨酸钾、蔗糖、无水乙醇等:分析纯,成都科隆化学品有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

超临界萃取装置:HA120-50-05 型,南通市华安超临界萃取有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:QP2020 型,日本 Shimadzu 公司;

紫外可见分光光度计:UV-3100 型,上海美谱达仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 竹叶花椒挥发油提取

(1) HD 提取竹叶花椒挥发油:取 20 g 干燥竹叶花椒粉末,按《中国药典》2022 版第四部提取竹叶花椒挥发油样品,备用。

(2) SFE-CO₂ 提取竹叶花椒挥发油:根据文献[12]的方法略修改,取 20 g 干燥竹叶花椒粉末于超临界萃取装置中,设置萃取温度 50.5 °C,萃取时间 80 min,萃取压力 25.5 MPa,分离釜 I 温度 45 °C,分离釜 I 压力 60 MPa,得到挥发油平均得率为 11.5%,备用。

1.2.2 GC-MS 成分分析 根据文献[11]。

1.2.3 竹叶花椒抗氧化活性分析

(1) DPPH 自由基清除能力:取两种挥发油样品,加入适量无水乙醇得到质量浓度分别为 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 mg/mL 的样品,以维生素 C 为阳性对照,根据文献[12]测定挥发油样品对 DPPH 自由基的清除能力,按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$R = (A_0 - A_1 + A_2) / A_0 \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R ——自由基清除率,%;

A_2 ——竹叶花椒挥发油+无水乙醇的吸光度值;

A_1 ——竹叶花椒挥发油+自由基溶液的吸光度值;

A_0 ——无水乙醇+自由基溶液的吸光度值。

(2) ABTS 自由基清除能力:取两种方法得到的挥发油样品,加入适量无水乙醇得到质量浓度分别为 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.4, 1.8 mg/mL 的样品,以维生素 C 为阳性对照,根据文献[12]测定挥发油样品对 ABTS 自由基的清除能力,按式(1)计算 ABTS 自由基清除率。

1.2.4 竹叶花椒挥发油抗氧化作用的稳定性试验

(1) pH 对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响:考察样品溶液 pH 值分别为 3, 5, 7, 9, 11 时,挥发油样品对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除作用。

(2) 温度对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响:考察样品溶液温度分别为 0, 20, 40, 60, 80 °C 时,挥发油样品对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除作用。

(3) 防腐剂对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响:分别向挥发油样品中添加 0, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% 的山梨酸钾,测定不同山梨酸钾添加量下挥发油样品对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除作用。

(4) 甜味剂对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响:分别向挥发油样品中添加 0, 1%, 2%, 3%, 4% 的蔗糖,测定不同蔗糖添加量下挥发油样品对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除作用。

1.3 数据处理

各试验重复3次,结果以平均值±标准差表示,采用Origin 2018软件作图,SPSS statistics 24 计算半清除浓度IC₅₀值。

2 结果与分析

2.1 GC-MS分析

由表1和图1可知,两种挥发油中共鉴定出52种活性成分,主要有醇类和烯类,分别占挥发油总量的91.53%(HD)和93.41%(SFE-CO₂),其中醇类物质以芳樟醇为主,

烯类以柠檬烯为主,还有一些酯类、醛类、酮类和烷烃类物质。HD提取的烯类物质更多,而SFE-CO₂提取的醇类和烷烃类物质更多,可能是因为HD提取的挥发油中一些水溶性分子因溶于水而失去,某些挥发油成分气化过程中产生的酸会形成酯类物质,且热蒸气会造成部分热敏物质和强挥发性物质损耗;SFE-CO₂萃取条件温和,其溶剂是液体和气体之间的中间体,在超临界状态下一些物质会有特殊的溶解性,避免了部分具有植物特征的香味成分被破坏,有效地防止油脂氧化酸败,从而改变了挥发油的化学特征^[13-14]。

表1 竹叶花椒挥发油 GC-MS 分析结果
Table 1 The analysis results of of *Z. armatum* essential oils by GC-MS

峰号	化合物	相对分子质量	质量分数/%		峰号	化合物	相对分子质量	质量分数/%	
			HD	SFE-CO ₂				HD	SFE-CO ₂
1	桉烯	136.23	8.57	7.70	27	α-石竹烯	204.35	1.06	0.93
2	β-蒎烯	136.23	0.86	1.23	28	棕榈油酸	254.40	—	0.10
3	β-月桂烯	136.23	3.17	1.47	29	香芹醇	152.23	0.61	0.15
4	萹烯	136.23	0.74	0.69	30	α-蒎烯	204.35	1.31	4.73
5	柠檬烯	136.23	13.39	9.64	31	十八烷	254.49	—	0.16
6	p-伞花烃	134.20	1.89	0.83	32	A-杜松烯	204.35	0.71	0.64
7	罗勒烯	136.23	0.53	0.13	33	榄香醇	222.37	0.25	0.44
8	γ-松油烯	136.23	1.50	0.14	34	香橙烯	204.35	0.16	—
9	β-侧柏酮	152.23	0.57	1.91	35	桉油烯醇	220.35	1.95	0.69
10	芳樟醇	136.23	40.01	49.09	36	石竹素	220.35	0.12	0.29
11	橙花醇	154.23	0.15	1.62	37	二十一烷	296.57	—	0.11
12	β-苯乙醇	122.16	—	0.11	38	γ-桉叶醇	222.37	0.21	0.21
13	4-萜品醇	154.23	2.14	0.62	39	β-水芹烯	136.23	0.81	0.63
14	香茅醛	154.23	0.10	0.18	40	α-衣兰油烯	204.35	0.63	0.13
15	1,2-环氧十六烷	240.42	0.55	0.24	41	十五烷醇	228.41	—	0.36
16	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	170.25	—	0.98	42	假虎刺酮	236.35	0.13	0.32
17	α-松油醇	154.23	1.50	1.68	43	α-布黎烯	204.35	0.61	—
18	癸醛	156.23	0.17	0.17	44	十九烷醇	284.52	—	0.15
19	乙酸松油酯	196.29	0.24	0.22	45	二十二碳六烯酸	328.49	—	0.28
20	乙酸芳樟酯	196.29	0.90	2.03	46	棕榈油酸甲酯	268.43	—	0.11
21	乙酸苯乙酯	164.20	0.16	0.14	47	隐酮	138.23	0.18	—
22	2,6-二甲基辛-2,7-二烯-1,6-二醇	170.25	—	0.41	48	乙酸桃金娘烯酯	194.27	0.10	—
23	异植物醇	296.53	—	0.14	49	乙酸香叶酯	196.29	0.11	—
24	十四烷	198.23	—	0.25	50	β-榄香烯	204.35	0.68	—
25	β-石竹烯	204.35	0.71	1.18	51	大牛儿烯D	204.35	0.81	—
26	反式-橙花叔醇	222.37	0.97	0.29	52	β-瑟林烯	204.35	0.23	—

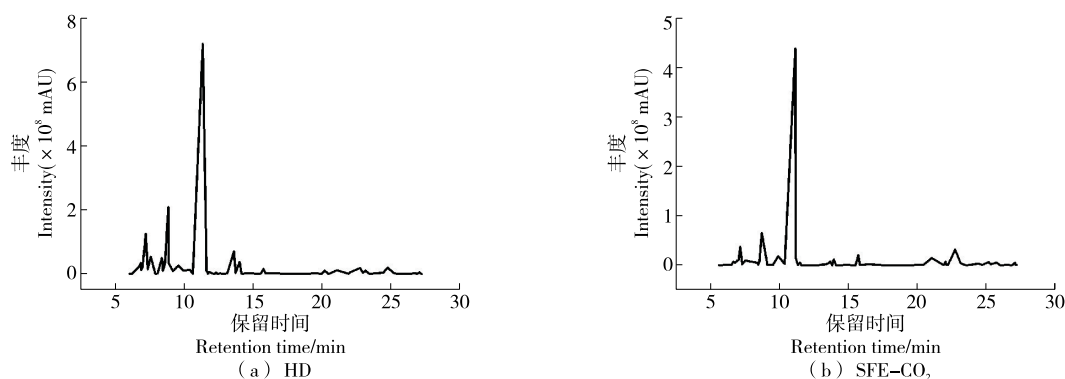


图1 两种方法提取的竹叶花椒挥发油总离子色谱图

Figure 1 Total ion chromatograms of the essential oil extracted from *Z. armatum* by two methods

2.2 竹叶花椒挥发油抗氧化性分析

由图2可知,在试验浓度范围内,3种测试物抗氧化活性与其质量浓度呈正相关,SFE- CO_2 、HD所得挥发油和维生素C对ABTS自由基的半抑制质量浓度(IC_{50} 值)分别为0.248, 0.580, 0.141 mg/mL;对DPPH自由基的 IC_{50} 值分别为4.620, 8.920, 0.326 mg/mL。竹叶花椒挥发油中含有芳樟醇、柠檬烯、蒎烯、石竹烯等萜类化合

物成分,而柠檬烯、芳樟醇等主要成分可以作为抗氧化剂或促氧化剂,其抗氧化行为可能是通过与底物的共氧化发生的,且活性可能受到其他次要分子的调节^[15-18]。SFE- CO_2 挥发油中芳樟醇、柠檬烯、乙酸芳樟酯整体含量高于HD的,故经SFE- CO_2 挥发油的抗氧化活性较HD的更强。综上,两种竹叶花椒挥发油均具有抗氧化活性。

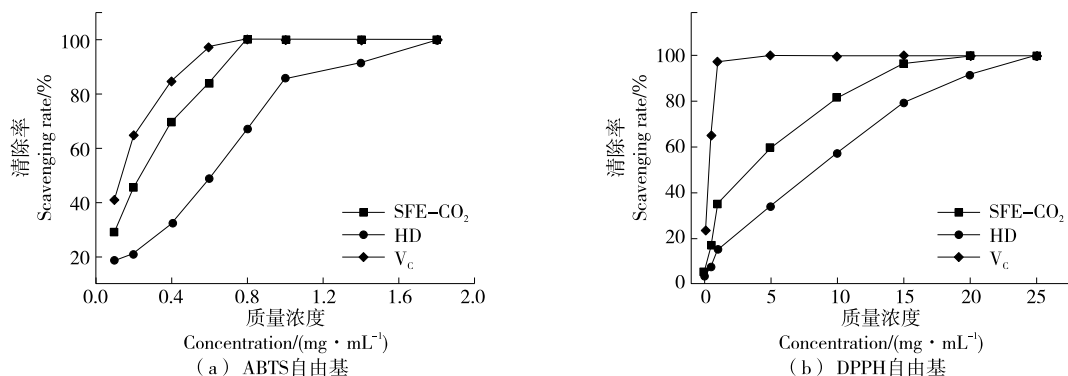


图2 竹叶花椒挥发油对ABTS自由基和DPPH自由基的清除能力

Figure 2 Scavenging ability of essential oil from *Z. armatum* evaluated by ABTS• and DPPH• assay

2.3 抗氧化作用稳定性试验

2.3.1 pH对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响 由图3可知,在试验pH范围内,两种挥发油对ABTS自由基和DPPH自由基的抗氧化活性均随着pH值的升高呈下降趋势,当 $\text{pH} < 7$ 时,两种挥发油的抗氧化活性下降幅度较为平缓、相对稳定,当 $\text{pH} \geq 7$ 时,抗氧化活性下降迅速,可能是随着pH值的提高,能提供与自由基孤对电子配对的粒子随之减少,或抑制自由基的成分受到影响而导致清除能力下降。综上,pH能够影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性,且酸性环境下的抗氧化活性更强。

2.3.2 温度对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响 由图4可知,在试验温度范围内,当温度为20℃时,两种挥

发油对ABTS自由基和DPPH自由基的抗氧化活性最高;当温度 $< 20^\circ\text{C}$ 时,挥发油抗氧化能力随温度下降而降低,但降低速率平缓;当温度为20~80℃时,抗氧化活性随着温度的升高而降低,且下降速度较快,可能是温度升高,挥发油中对热有明显不耐受性的成分被破坏或发生转变,改变了挥发油有效成分的含量和组成,影响挥发油本身稳定性而导致清除能力下降。综上,温度能够影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性,且常温下的抗氧化活性更强。

2.3.3 防腐剂对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响 由图5可知,在试验添加量范围内,山梨酸钾添加量与竹叶花椒挥发油的自由基清除率呈负相关,但降低速度较慢。

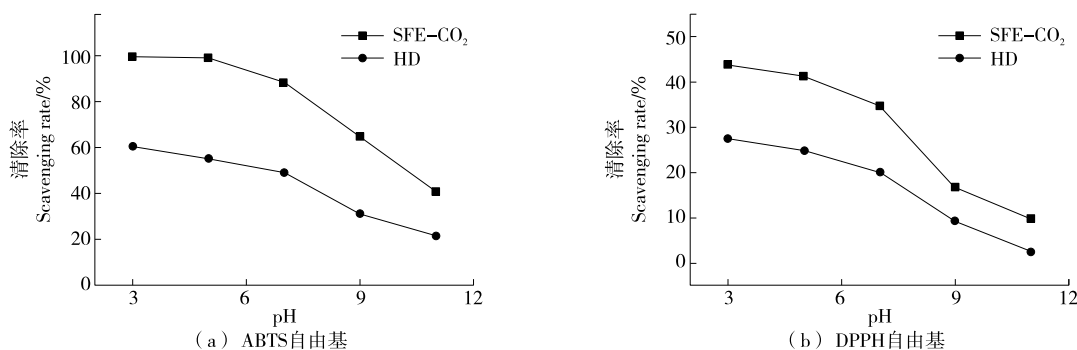


图3 pH对竹叶花椒挥发油清除ABTS自由基和DPPH自由基能力的影响

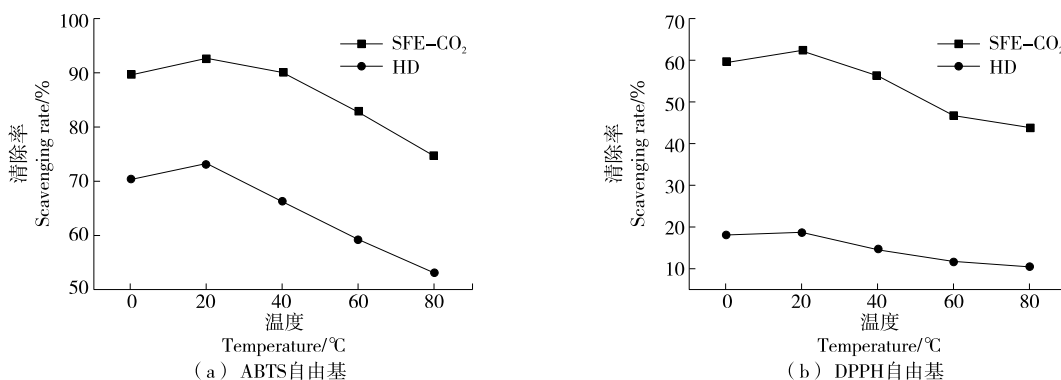
Figure 3 The effect of pH on scavenging ability of essential oil from *Z. armatum* evaluated by ABTS• and DPPH• assay

图4 温度对竹叶花椒挥发油清除ABTS自由基和DPPH自由基能力的影响

Figure 4 The effect of temperature on scavenging ability of essential oil from *Z. armatum* evaluated by ABTS• and DPPH• assay

山梨酸钾对DPPH自由基的清除作用较ABTS自由基的强。山梨酸钾具有一定的自由基清除能力,在中性和碱性条件下其抗氧化活性不稳定,在具有抗氧化性的竹叶花椒挥发油中加入山梨酸钾,抗氧化活性反而低于未添加的,可能是试验添加量范围内,挥发油与山梨酸钾之间具有拮抗作用^[19]。综上,防腐剂能够影响竹叶花椒挥发

油的抗氧化稳定性,但影响效果较小。

2.3.4 甜味剂对竹叶花椒挥发油抗氧化活性的影响 蔗糖是一种甜味剂,也是作为评估其他甜味剂相对甜度的标准。由图6可知,不加蔗糖时,挥发油的抗氧化活性最强;在试验添加量范围内,随着蔗糖浓度的增加,挥发油的抗氧化活性呈下降趋势,但下降速度缓慢,可能是因为

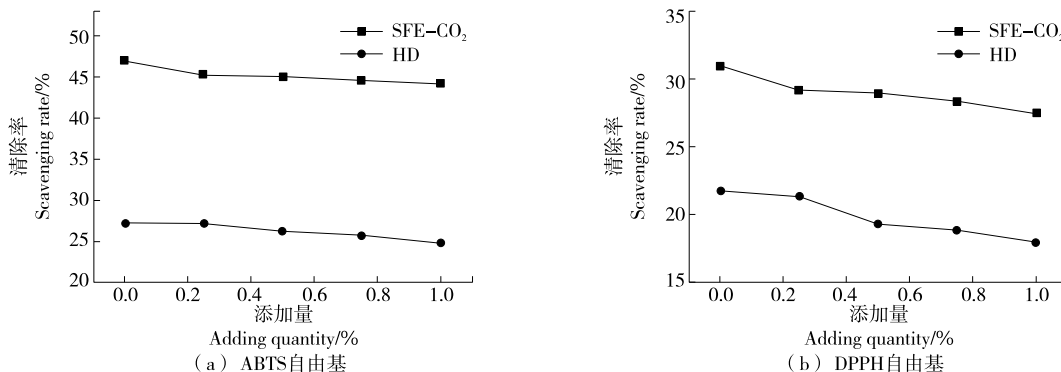


图5 防腐剂对竹叶花椒挥发油清除ABTS自由基和DPPH自由基能力的影响

Figure 5 The effect of preservative on scavenging ability of essential oil from *Z. armatum* evaluated by ABTS• and DPPH• assay

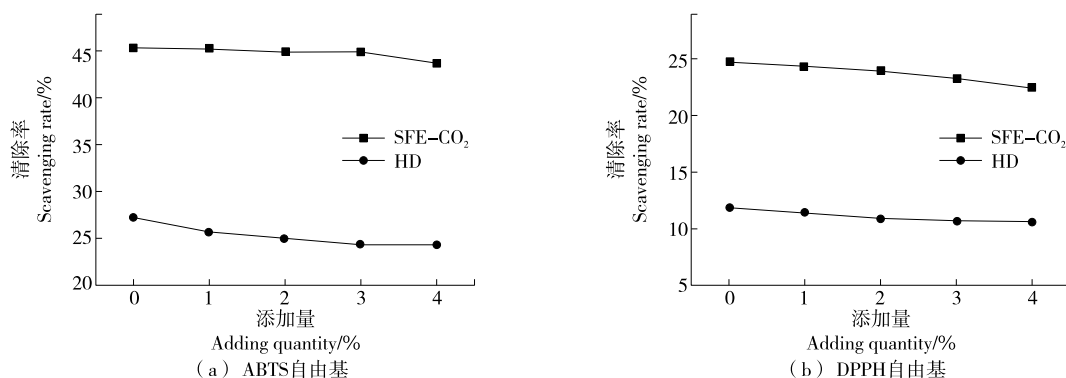


图6 甜味剂对竹叶花椒挥发油清除ABTS自由基和DPPH自由基能力的影响

Figure 6 The effect of sweetener on scavenging ability of essential oil from *Z. armatum* evaluated by ABTS• and DPPH• assay

竹叶花椒挥发油中某些成分中的羟基与蔗糖分子中的羟基发生反应,形成糖苷,使抗氧化活性降低^[20]。综上,甜味剂能够影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性,但影响效果较小。

3 结论

超临界CO₂萃取法和水蒸气蒸馏法两种方法提取的挥发油中共鉴定出52种活性成分,主要为醇类和烯类,且超临界CO₂萃取法提取的醇类和烷烃类物质更多,而水蒸气蒸馏法提取的烯类物质更多;两种方法得到的挥发油均具有较强的抗氧化活性;pH、温度均能显著影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性,且在酸性、常温环境下其抗氧化活性更强;防腐剂和甜味剂能够影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性,但影响效果较小。后续可通过脂质体、微囊、纳米聚合物胶束、超分子凝胶、挥发油缓控释制剂、靶向制剂等新型制剂的研究,探索更优良的竹叶花椒挥发油的化学稳定性方法;也可通过代谢组学、基因组学等方法探究挥发油药理作用的具体物质基础和作用机制。

参考文献

- [1] DEV A S, RAVINDRESH C, PUNEET J, et al. Nanoemulsions (O/W) prepared from essential oil extracted from *Melaleuca alternifolia*: synthesis, characterization, stability and evaluation of anti-cancerous, anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities[J]. Journal of Biomaterials Science Polymer Edition, 2023, 34(17): 2 438-2 461.
- [2] GANOSI E, BARDA C, GRAFAKOU M E, et al. An in-depth stability study of the essential oils from *Mentha×piperita*, *Mentha spicata*, *Origanum vulgare*, and *Thymus vulgaris*: the impact of thermal and storage conditions[J]. Separations, 2023, 10(9): 488.
- [3] 吴意, 万娜, 刘阳, 等. 中药挥发油稳定性影响因素、变化机制

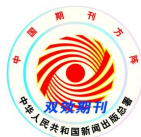
及保护策略[J]. 中草药, 2022, 53(21): 6 900-6 908.

WU Y, WAN N, LIU Y, et al. Influencing factors, changing mechanisms and protection strategies of volatile oil from traditional Chinese medicine[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(21): 6 900-6 908.

- [4] SUVARNA V, CHIPPA S. Current overview of cyclodextrin inclusion complexes of volatile oils and their constituents[J]. Current Drug Delivery, 2023, 20(6): 770-791.
- [5] PENG L, ZHANG X F, GUO D Y, et al. Pickering emulsion technology based on the concept of "the combination of medicine and adjuvant" to enhance the oxidation stability of volatile oils in solid preparations-taking Lingzhu Pulvis as an example[J]. RSC Advances, 2022, 12(42): 27 453-27 462.
- [6] WANG D Y, MENG Y D, ZHAO X M, et al. Sunflower oil flavored by essential oil from *Punica granatum* cv. *Heyinshiliu* peels improved its oxidative stability and sensory properties[J]. LWT, 2019, 111: 55-61.
- [7] 周孟鑫, 何鑫柱, 李朝俊, 等. 竹叶花椒黄酮抗氧化性及协同效应研究[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 139-143.
- ZHOU M J, HE X Z, LI C J, et al. Study on antioxidant activity and synergistic effect of flavonoids from *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Food & Machinery, 2023, 39(5): 139-143.
- [8] 刘先知. 竹叶花椒花芽分化、果实形成及其发育特性研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2022: 1-2.
- LIU X Z. Study on flower bud differentiation, fruit formation and developmental characteristics of *Zanthoxylum armatum*[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2022: 1-2.
- [9] 申显当, 蒙进芳, 石卓功. 山地竹叶花椒不同海拔不同类型枝条花芽分化差异[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(8): 92-98.
- SHEN X D, MENG J F, SHI Z G. Differences in flower bud differentiation of different types of branches at different elevations of mountain *Zanthoxylum armatum* DC[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(8): 92-98.

- [10] MA J, NING L P, WANG J Y, et al. GC-MS analysis and bioactivity screening of leaves and fruits of *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Separations, 2023, 10(8): 420.
- [11] 李潮俊. 超临界 CO₂ 萃取竹叶花椒精油及其抗氧化性研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2023: 19.
- LI C J. Study on supercritical CO₂ extraction and antioxidation of essential oil of *Zanthoxylum armatum* DC[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2023: 19.
- [12] 何君强, 熊雯宇, 黄莹, 等. 灰树花醇提物化学成分及其生物活性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(5): 54-63.
- HE J Q, XIONG W Y, HUANG Y, et al. Chemical constituents and bioactivity of alcohol extracts from *Grifola frondosa*[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(5): 54-63.
- [13] AYUB M A, CHOEBKAR N, HANIF M A, et al. Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities of *P. roxburghii* oleoresin essential oils extracted by steam distillation, superheated steam, and supercritical fluid CO₂ extraction[J]. Journal of food science, 2023, 88(6): 2 425-2 438.
- [14] AL BAYATI M H M, CENGIZ M F, KITIS Y E, et al. Comparison of antimicrobial activities of oregano, lavender, sage, anise and clove extracts obtained by supercritical fluid carbon dioxide extraction and essential oils obtained by hydrodistillation[J]. Journal of Essential Oil Research, 2024, 36 (3): 258-270.
- [15] 肖新生, 宋子龙, 谢永燕, 等. 不同品种柚子皮精油成分及抗氧化与抑菌能力对比研究[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(2): 218-226, 267.
- XIAO X S, SONG Z L, XIE Y Y, et al. Comparison of components, antioxidant and bacteriostatic ability of different varieties of pomelo peel essential oil[J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(2): 218-226, 267.
- [16] LING Q Y, ZHANG B H, WANG Y B, et al. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oils of citral-rich chemotype *Cinnamomum camphora* and *Cinnamomum bodinieri*[J]. Molecules, 2022, 27(21): 7 356.
- [17] BASCHIERI A, AJVAZI M D, TONFACK J L F, et al. Explaining the antioxidant activity of some common non-phenolic components of essential oils[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 656-663.
- [18] ERDOGAN A, OZKAN A. Investigation of antioxidative, cytotoxic, membrane-damaging and membrane-protective effects of the essential oil of *Origanum majorana* and its oxygenated monoterpene component linalool in human-derived Hep G2 cell line[J]. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2017, 16(Suppl): 24-34.
- [19] 于倩男. 山梨酸的抑菌性、抗氧化性及其在烘焙产品中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 40-41.
- YU Q N. Antimicrobial and antioxidant properties of sorbic acid and its application in bakery products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022: 40-41.
- [20] SHALABY E A, MAHMOUD G I, SHANAB S M M. Suggested mechanism for the effect of sweeteners on radical scavenging activity of phenolic compounds in black and green tea[J]. Frontiers in Life Science, 2016, 9(4): 241-251.

教育部主管



江南大学主办

食品与生物技术学报

CSCD来源期刊 中文核心期刊 Scopus收录期刊

《食品与生物技术学报》创刊于1982年,报道方向专注于食品生物技术、生物技术与发酵工程、食品资源开发与利用、食品组分与物性、食品营养与功能因子、食品安全与质量控制、食品加工与配料、谷物与淀粉工程、油脂与植物蛋白工程、农(水)产品加工与贮藏工程等领域中前沿研究热点,以及食品与生物技术相关领域高水平的研究综述等。

《食品与生物技术学报》为月刊,大16开本,每期172页,单期定价80.00元,全年订阅费960.00元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号28-79。

全球食品与生物技术领域前沿观察哨

地址:江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号

电话:0510-85913526

E-mail:xbbjb@jiangnan.edu.cn

网址: <http://spyswjs.cnjournals.com/spyswjs/home>