

白苏叶挥发油超临界 CO₂ 萃取工艺优化、成分分析及抗氧化活性研究

Extraction process optimization, composition analysis of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf and its antioxidant activity

齐富友 蹇顺华 刘 吟 段丽萍 吴 昭

QI Fu-you JIAN Shun-hua LIU Yin DUAN Li-ping WU Zhao

(1. 武汉黄鹤楼香精香料有限公司, 湖北 武汉 430040; 2. 武汉黄鹤楼新材料科技开发有限公司, 湖北 武汉 430040)

(1. Wuhan Huanghelou Essence and Flavor Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430050, China; 2. Wuhan

Huanghelou New Materials Science and Technology Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430050, China)

摘要:目的:优化超临界 CO₂ 萃取白苏叶挥发油的提取工艺,提升白苏叶的实用价值。方法:通过单因素试验(萃取压力、萃取温度、萃取时间和 CO₂ 流量)和响应面分析预测白苏叶挥发油提取的最优参数,并通过气相色谱—质谱(GC-MS)分析白苏叶挥发油的化学成分,同时利用清除 DPPH· 和 ·OH 能力评价其抗氧化活性。结果:在萃取压力 27 MPa、萃取温度 40 °C 下,连续萃取 2.0 h,挥发油提取率可达(2.71±1.19)%,较水蒸气蒸馏法提取率高 67%,能一定程度降低过氧化值和酸值。从白苏叶挥发油中鉴定出 51 种化学物质,占全油的 98.49%,主要成分为酯类、醇类和烯类化合物。抗氧化试验表明白苏叶挥发油对 DPPH· 和 ·OH 具有较强的清除能力,且存在明显的量效关系。结论:超临界 CO₂ 萃取的白苏叶挥发油,主要成分为酯类、醇类和烯类化合物,具有较强的抗氧化能力。

关键词:超临界 CO₂; 白苏叶; 挥发油; 成分分析; 气相色谱—质谱法(GC-MS); 抗氧化

Abstract: Objective: The research aimed to optimize the supercritical CO₂ extraction process of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf and enhance the practical value of *Perilla frutescens*.

Methods: The optimal parameters for extraction of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf was predicted by single factor experiments (extraction pressure, extraction temperature, extraction time and CO₂ flow) and response surface methodology. Then the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was applied to

determine the chemical components of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf. In addition, its antioxidant activity was explored with the scavenging capacity on DPPH· and ·OH radicals. **Results:** The optimal process parameters of supercritical CO₂ extraction for volatile oil from *Perilla frutescens* leaf were founded to be at 27 MPa, 40 °C and 2 h, the actual yield was (2.71±1.19)%, which was 67% higher than the vapor distillation under the same extraction time and reduce the peroxide value and acid value. The 51 chemical compounds were identified in the volatile oil from *Perilla frutescens* leaf and accounted for 98.49% of all the peak area, which contained lipids, alcohols and olefins. The volatile oil of *Perilla frutescens* leaf had strong scavenging effect on DPPH· and ·OH radicals, and the scavenging capacity had a significant positive correlation with oil concentration. **Conclusion:** In this study, the supercritical CO₂ extraction of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf were mainly composed of lipids, alcohols and olefins, which has strong antioxidant capacity.

Keywords: supercritical CO₂; *Perilla frutescens* leaf; volatile oil; composition analysis; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); antioxidant activity

白苏(*Perilla frutescens* L. Britt.), 唇形科紫苏属植物。现有研究证明,白苏叶具有抑菌、升血糖、保护肠胃、镇静、抗衰老等作用^[1-3],且对动物油脂、肉类和调味品等具有较强的抗氧化活性^[4]。植物挥发油一般是植物不同部位(种子、根、花、叶、果实、树皮等)加工获得的挥发性物质,也是天然香料的重要组成部分^[5]。但挥发油稳定性较差,提取效果易受原料来源、品种、加工方法等影响。传统的提取方法有压榨法、水蒸气蒸馏、溶剂萃取等^[6-7],但存在纯度低、提取效能差、溶剂残留的缺点,现在常用超声、微波、超临界流体萃取等方法^[8-9],其中

基金项目:湖北中烟工业有限责任公司项目(编号: CX31-JL4)

作者简介:齐富友,男,武汉黄鹤楼香精香料有限公司工程师。

通信作者:段丽萍(1994—),女,武汉黄鹤楼香精香料有限公司工程师,硕士。E-mail: 2540914808@qq.com

收稿日期:2021-08-04

超临界与超声、微波相比,香气更天然^[10],还可添加夹带剂,萃取的挥发油成分较完整,无残留,无毒、无污染,符合国家大力倡导的绿色发展理念,因此仍是天然植物提取应用的主流方向,尤以食品、挥发油及天然香料的提取分离最为热门^[11-12]。

目前,关于白苏叶挥发油的提取多采用水蒸气蒸馏和超声提取,但提取时间长和得率不理想^[13]。试验拟以白苏叶为研究原料,通过响应面试验优化超临界 CO₂ 萃取白苏叶挥发油提取工艺条件,通过气相色谱—质谱(GC-MS)分析白苏叶挥发油的化学成分,并以 DPPH·和·OH 的清除能力来评价白苏叶挥发油的抗氧化力,旨在提升白苏叶的实用价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

白苏叶:恩施自治州农科院;

硫酸亚铁、水杨酸、30%过氧化氢:AR 级,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

高速粉碎机:FW-200 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

超临界 CO₂ 萃取装置:HA221-50-06 型,江苏南通华安超临界萃取有限公司;

旋转薄膜蒸发器:HD-205 型,瑞士 BUCH 公司;

气相色谱—质谱联用仪:Agilent GC 6890-MS5973N 型,美国 Agilent 公司。

1.2 方法

1.2.1 白苏叶处理 将白苏叶洗净放入烘箱内,80~90℃下干燥 24 h,用刀切成段后粉碎,过 50 目筛得到粒度分布均匀的粉末,备用。

1.2.2 超临界 CO₂ 萃取 取处理后的白苏叶 250 g,装入萃取罐内,设定萃取压力 20 MPa,温度 45℃,CO₂ 流量 30 L/h;其他条件参照文献^[14],按式(1)计算提取率。

$$R = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R ——白苏叶挥发油的提取率,%;

m_1 ——白苏叶挥发油的质量,g;

m_2 ——白苏叶原料的质量,g。

1.2.3 水蒸气蒸馏提取 参照文献^[15],称取白苏叶粉末 250 g 装入烧瓶,倒入 1/3 体积的蒸馏水和 10 mL 的萃取剂乙酸乙酯,加热 2 h,按式(1)计算提取率。

1.2.4 理化指标测定

(1) 色泽:按 GB/T 22460—2008 执行。

(2) 透明度、气滋味:按 GB/T 5525—2008 执行。

(3) 过氧化值:按 GB/T 5538—2005 执行。

(4) 酸值:按 GB/T 5530—2005 执行。

1.2.5 因素选择 设定萃取压力(25 MPa)、温度(40℃)、时间(1.5 h)、CO₂ 流量(25 L/h)为固定值,依次改变萃取压力(15~35 MPa,每个水平增加 5 MPa,共 5 个水平)、萃取温度(30~50℃,每个水平增加 5℃,共 5 个水平)、萃取时间(0.5~2.5 h,每个水平增加 0.5 h,共 5 个水平)和 CO₂ 流量(15~35 L/h,每个水平增加 5 L/h,共 5 个水平),探讨提取率受各因素的影响程度。

1.2.6 响应面 Box-Behnken 设计 根据单因素试验结果选定影响较显著的 3 个因素,设置响应值为白苏叶挥发油提取率,借助 Box-Behnken 工具进行数据分析,并对模型预测的工艺设置进行重复试验。

1.2.7 白苏叶挥发油的 GC-MS 分析

(1) 色谱条件:色谱柱为 DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度 230℃;载气为高纯 He;流速 1 mL/min(恒流);柱头压 83 kPa;进样量 1.5 μL;分流比 20:1;程序升温起始温度 60℃,停留 1 min,以 5℃/min 的升温速率升至 260℃保持 5 min。

(2) 质谱条件:EI 离子源;电离能量 70 eV;离子源温度 190℃;传输线温度 250℃;扫描范围 50~550;检索谱库为 NIST 谱库。

1.2.8 抗氧化活性测定 参照文献^[16]。

1.2.9 数据分析 所有试验样品重复 3 次。运用 Excel、Origin 2019b 和 Design Expert 8.0.6 软件处理数据。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

如图 1 所示,压力上升至 25 MPa 时提取率显著增加,继续加压提取率反而有所下降,最终压力选择 20~30 MPa;温度为 40℃时提取能力稳定,持续升温不能提高提取率,可能是较高温度会降低挥发油的稳定性,故萃取温度初步定为 35~45℃;萃取时间在 0.5~1.5 h 时,挥发油提取率迅速增加,1.5 h 后溶液与溶质充分接触达到平衡,继续延长提取率也难以提高,所以选用 1.5 h 左右为提取时间较合适;当 CO₂ 流量由 25 L/h 变为 30 L/h 时,挥发油提取率显著增加,继续增加挥发油提取率反而下降,在白苏叶挥发油萃取试验中,CO₂ 流量为 30 L/h 左右最佳。

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面试验设计及结果 比较单因素试验结果,最终设置 CO₂ 流量 30 L/h,选择萃取压力、萃取温度和萃取时间为响应变量(表 1),设定响应值为白苏叶挥发油提取率进行响应面分析(表 2)。

对响应面试验数据进行回归分析得各影响因素与响应值的模型回归方程:

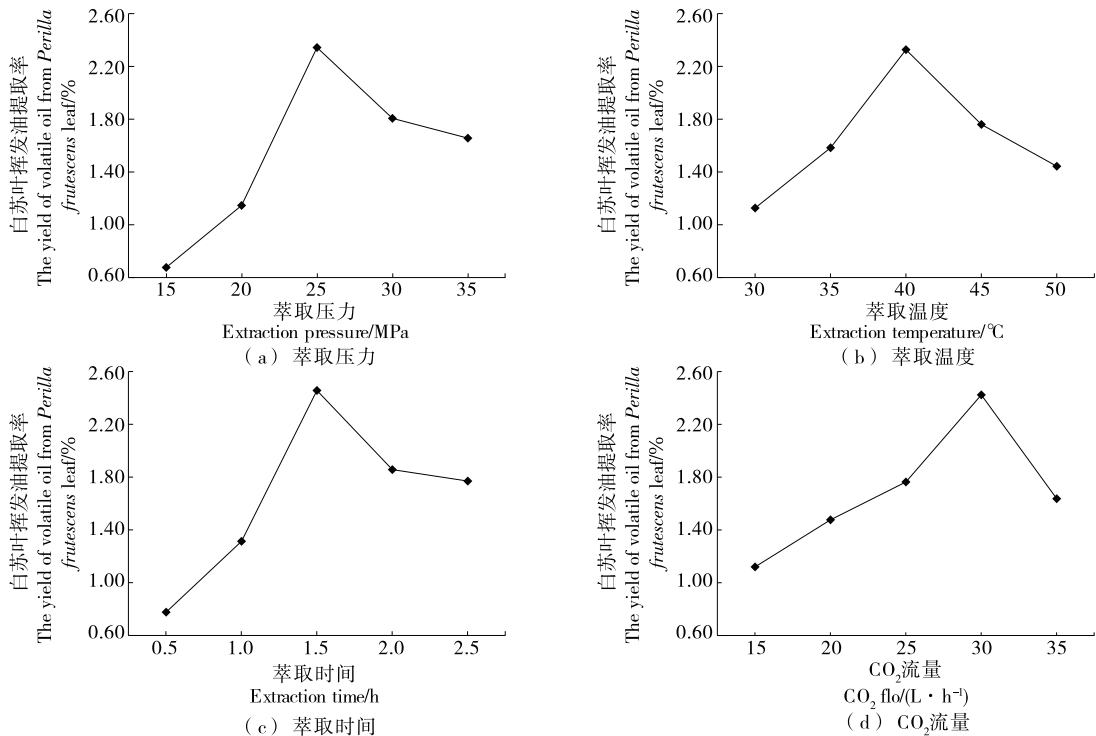


图 1 萃取压力、萃取温度、萃取时间和 CO₂ 流量对白苏叶挥发油提取率的影响

Figure 1 Effects of extraction pressure, extraction temperature, extraction time and CO₂ flow on the yield of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf

$$Y = 2.45 + 0.31A - 0.26B + 0.56C - 0.13AB + 0.29AC + 0.25BC - 0.96A^2 - 0.49B^2 - 0.27C^2. \quad (2)$$

2.2.2 回归模型方差分析 由表 3 可知,回归模型 $P < 0.01$,多元线性回归模型差异极显著,同时失拟项的 P 值为 0.053 8,不显著,说明数据无异常点^[17];决定系数 $R^2 = 0.996\ 5$,调整系数 $R^2_{Adj} = 0.992\ 1$,回归方程能解释各因素与响应值之间的关系。模型 $CV = 0.89\%$,表明试验操作的可信度高,具有实际指导意义。根据模型中各因素 P 值与 F 值可知,一次项 A、B、C,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 和交互项 AB、AC、BC 的 $P < 0.01$,影响均极显著;各因素影响的先后顺序为萃取时间(C) > 萃取压力(A) > 萃取温度(B)。

由图 2 可知,萃取时间一定时,随着萃取压力和萃取温度的升高,响应值 Y (白苏叶挥发油提取率)先升高后下降,当萃取压力提升至 25 MPa、萃取温度至 40 °C 附近时,白苏叶挥发油提取率存在最大值。萃取温度和萃取

压力一定时,响应值同样随着其他因素水平的提升先增加后降低。其中萃取压力和萃取时间的影响最显著,响应曲面较陡,与回归模型方差分析结果一致。

表 2 响应面试验设计方案和结果

Table 2 The RSM design and results

试验号	A	B	C	白苏叶挥发油提取率/%
1	-1	-1	0	0.89
2	1	-1	0	1.71
3	-1	1	0	0.55
4	1	1	0	0.84
5	0	0	-1	0.64
6	0	0	1	0.73
7	0	0	-1	1.12
8	0	0	1	2.37
9	-1	0	0	1.57
10	1	0	0	0.65
11	-1	0	0	2.23
12	1	0	0	2.31
13	0	-1	-1	2.41
14	0	1	-1	2.45
15	0	-1	1	2.50
16	0	1	1	2.47
17	0	0	0	2.41

表 1 响应面试验因素及水平表

Table 1 Experiment design of response surface factor

水平	A 萃取压力/MPa	B 萃取温度/°C	C 萃取时间/h
-1	20	35	1.0
0	25	40	1.5
1	30	45	2.0

表 3 回归模型方差分析[†]

Table 3 Regression coefficient and variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	10.040	9	1.120	224.46	<0.000 1	* *
A	0.750	1	0.750	150.90	<0.000 1	* *
B	0.530	1	0.530	105.65	<0.000 1	* *
C	2.460	1	2.460	495.60	<0.000 1	* *
AB	0.070	1	0.070	14.12	0.007 1	* *
AC	0.340	1	0.340	67.66	<0.000 1	* *
BC	0.250	1	0.250	50.28	0.000 2	* *
A ²	3.900	1	3.900	784.91	<0.000 1	* *
B ²	1.000	1	1.000	201.46	<0.000 1	* *
C ²	0.310	1	0.310	61.85	0.000 1	* *
残差	0.035	7	4.972×10 ⁻³			
失拟项	0.029	3	9.575×10 ⁻³	6.30	0.053 8	
纯误差	6.080×10 ⁻³	4	1.520×10 ⁻³			
总和	10.080	16				

[†] * * 为极显著; * 为显著; $R^2=0.996\ 5$, $R_{Adj}^2=0.992\ 1$, $CV=4.30\%$ 。

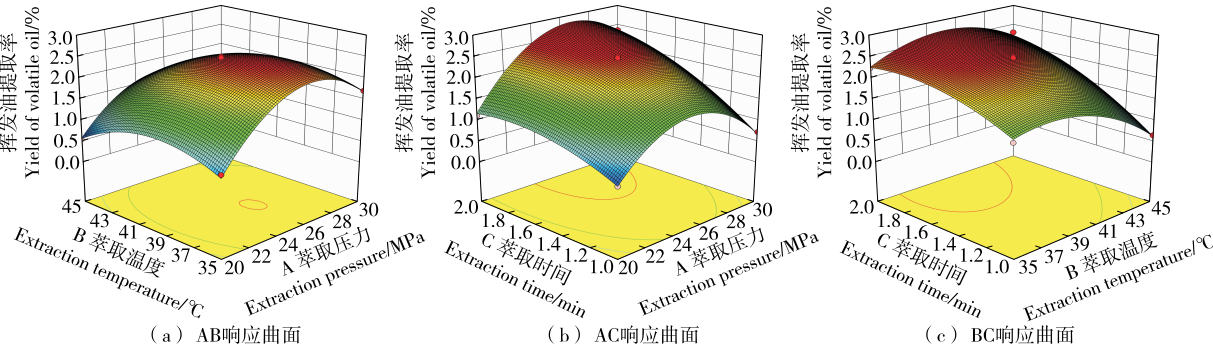


图 2 各参数交互作用的影响

Figure 2 Effects of interaction with different factors

2.2.3 工艺验证 模型预测的最佳工艺组合为:萃取压力 26.56 MPa、萃取温度 39.76 ℃,萃取时间 2.0 h,其预测挥发油提取率约为 2.83%。考虑生产应用的可行性,以萃取压力 27 MPa、萃取温度 40 ℃、萃取时间 2.0 h 进行验证实验($n=5$)。结果表明,白苏叶挥发油提取率为 $(2.71\pm1.19)\%$,与预测值(2.83%)非常接近。相同提取时间下,提取率比水蒸气蒸馏高 67%。

2.3 白苏叶挥发油品质分析

2.3.1 萃取工艺对白苏叶挥发油品质的影响 由表 4 可知,超临界 CO₂萃取与水蒸气蒸馏相比,挥发油各指标均有一定程度改善,香气更接近天然香味,可能是因为超临界 CO₂萃取工艺温度低,较好地保留了热敏性物质的天然活性。夹带剂乙醇的加入能一定程度降低过氧化值和酸值,但其机理尚不清楚。

表 4 白苏叶挥发油的主要质量指标

Table 4 The main quality index of *Perilla* leaf oil

工艺	色泽 (25.4 mm 比色皿)	透明度	气滋味	过氧化值/ (mmol · kg ⁻¹)	酸值(KOH)/ (mg · g ⁻¹)
水蒸气蒸馏	黄 18,红 0.1	油状液体	无异味	5.500±0.020	3.430±0.053
超临界 CO ₂	黄 14,红 0.2	清亮透明液体	无异味	4.907±0.045	2.927±0.040
60%乙醇—超临界 CO ₂	黄 14,红 0.2	清亮透明液体	无异味	4.510±0.050	2.617±0.040

2.3.2 白苏叶挥发油 GC-MS 分析 对白苏叶挥发油进行 GC-MS 分析,其总离子流图如图 3 所示,共分离出

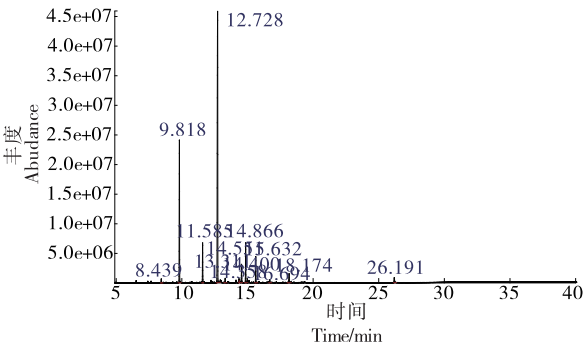


图 3 白苏叶挥发油的总离子流色谱图
Figure 3 Total ion flow chromatography of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf

55 个峰,并采用面积归一化法计算白苏叶挥发油各组分相对含量,结果见表 5。共 51 种成分被鉴定出,鉴定出的物质成分占总峰的 98.49%,其主要成分是酯类、醇类和烯类化合物。在鉴定出的化合物中,相对含量在 1% 以上的有 7 种,占被检测物质总量的 90.83%,其中乙酸芳樟酯的相对含量达到 54.22%,其次是芳樟醇(19.59%)、松油烯(5.06%)、丙酸叶醇酯(4.94%)、 β -石竹烯(3.37%)、橙花醇乙酸酯(2.34%)、石竹素(1.31%)等。

2.4 白苏叶挥发油的抗氧化活性

2.4.1 清除 DPPH·能力 由图 4 可知,白苏叶挥发油对 DPPH·具有很好的清除作用,清除率随浓度的增加而变强,呈明显的量效关系。白苏叶挥发油浓度为 60~80 $\mu\text{L/mL}$ 时,对 DPPH·的清除率变化平缓。相同浓度下白苏叶挥发油对 DPPH·清除率低于维生素 C。浓度为 80 $\mu\text{L/mL}$ 时,对 DPPH·的清除率为 89.21%。

表 5 白苏叶挥发油成分的 GC-MS 分析结果

Table 5 GC-MS analysis of volatile oil from *Perilla frutescens* leaf

保留时间/min	化合物名称	相对含量/%	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%
4.977	反式-3-己烯-1-醇	0.11	13.509	2-羟基-5-甲基苯乙酮	0.19
6.529	α -蒎烯	0.32	14.132	二氢芳樟醇	0.33
7.405	β -蒎烯	0.21	14.358	2-萜烯	0.54
7.654	庚烷- β -蒎烯	0.19	14.459	3-甲基-1,3-戊二烯	0.10
8.439	柠檬烯	0.50	14.551	橙花醇乙酸酯	2.34
8.589	罗勒烯	0.07	14.866	丙酸叶醇酯	4.94
8.801	罗勒烯	0.07	15.053	β -波旁烯	0.04
	α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	0.10	15.124	β -榄香烯	0.29
9.313			15.308	4-氟-甲基苯乙胺盐酸盐	0.04
	α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	0.11	15.460	酚醛树脂	0.10
9.621			15.632	β -石竹烯	3.37
	芳樟醇	19.59	15.880	香豆素	0.18
10.271	二氢邻二甲苯	0.05	16.175	α -律草烯	0.07
10.630	2,4-二脱氢金刚烷	0.09	16.453	异丁酸苯氧基乙酯	0.04
10.760	樟脑	0.19	16.490	γ -木罗烯	0.05
11.145	异龙脑	0.10	16.597	右旋大根香叶烯	0.13
11.349	4-萜烯醇	0.08	16.694	1-甲基环庚烯	0.39
11.491	(<i>E</i>)-己-3-烯基丁酸酯	0.16	17.200	杜松烯	0.15
11.585	松油烯	5.06	17.702	异丁酸苯氧基乙酯	0.08
11.717	龙蒿脑	0.14	17.883	丙位癸内酯	0.03
12.225	橙花醇	0.33	18.134	石竹素	0.22
12.349	α -月桂烯	0.12	18.175	石竹素	1.31
12.474	柠檬醛	0.09	18.322	白菖烯	0.13
12.728	乙酸芳樟酯	54.22	18.543	<i>L</i> -苯肾上腺素	0.09
12.935	2-噻吩基环丙基甲酮	0.35	19.334	佛术烯	0.12
12.987	柠檬醛	0.35	19.395	桃醛	0.08
13.311	乙酸龙脑酯	0.54			

2.4.2 清除 ·OH 能力 由图 5 可知,挥发油浓度为 20~60 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 时,随着浓度的升高其对 ·OH 的清除率显著增强;浓度 $>80 \mu\text{L}/\text{mL}$ 时,白苏叶挥发油对 ·OH 清除率与维生素 C 接近,说明白苏叶挥发油与维生素 C 的抗氧化活性相当。

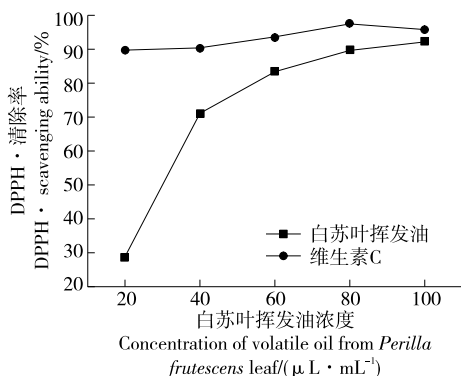


图 4 白苏叶挥发油对 DPPH· 的清除率

Figure 4 Scavenging rate of volatile oil to DPPH· from *Perilla frutescens* leaf

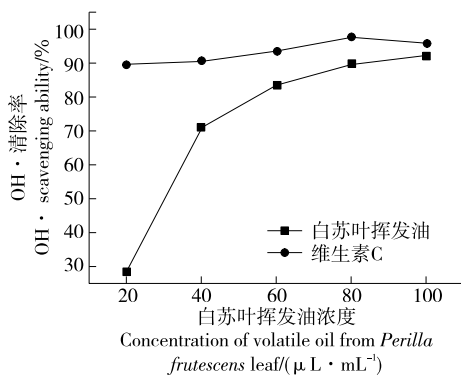


图 5 白苏叶挥发油对 ·OH 的清除率

Figure 5 Scavenging rate of volatile oil to ·OH from *Perilla frutescens* leaf

3 结论

超临界 CO₂ 萃取白苏叶挥发油的最适参数为萃取压力 27 MPa、萃取温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 2.0 h,此条件下白苏叶挥发油实际提取率可达 $(2.71 \pm 1.19)\%$ 。与水蒸气蒸馏法对比提取率高 67%,且白苏叶挥发油各理化指标均有一定程度改善,香气更接近天然香味,加入夹带剂能一定程度降低挥发油过氧化值和酸值。通过 GC-MS 分析,白苏叶挥发油中含有 51 种化学成分,主要是酯类、醇类和烯类化合物。抗氧化试验表明白苏叶挥发油对 DPPH· 自由基和 ·OH 自由基清除能力与白苏叶挥发油浓度呈正相关,具有一定的抗氧化能力,可作为一种天然抗氧化剂原料。

白苏叶作为一种常见中药和日常调味品,在人们的

生活中占据重要地位。但由于白苏叶挥发油的组成成分丰富,其抗氧化机理及清除自由基活性成分分析仍需进一步研究。下一步,拟开展不同夹带剂对挥发油提取率及对品质的影响,并对挥发油中主要的活性成分进一步分离纯化,探讨其体内体外抗氧化机理。

参考文献

- [1] HUANG B, LIN C, CHEN Y, et al. Anti-inflammatory effects of *Perilla frutescens* leaf extract on lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 cells[J]. Molecular Medicine Reports, 2014, 10(2): 1 077-1 083.
- [2] PANDURANGAN M, NAGAJYOTHI P C, KIM D H, et al. Green synthesis and characterization of biologically active silver nanoparticles using *Perilla frutescens* leaf extract[J]. Journal of Cluster Science, 2017, 28(1): 1-10.
- [3] 杜艳. 白苏叶中黄酮类化合物的成分分析及性质研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2016: 48-51.
- [4] DU Y. Studies on identification and properties of the flavonoids in *Perilla frutescens* (L.) Britt. leaves[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2016: 48-51.
- [5] KONG H, ZHOU B, HU X, et al. Protective effect of *Perilla* (*Perilla frutescens*) leaf essential oil on the quality of a surimi-based food[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 42(3): e13540.1-e13540.8.
- [6] 马延红, 李赛男, 刘文华. 西江肉桂挥发油提取工艺优化及抗氧化研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(12): 60-64.
- [7] MA Y H, LI S N, LIU W H. Study on optimization of extraction process and antioxidant activity of volatile oil from Xijiang Cinnamon[J]. China Condiment, 2019, 44(12): 60-64.
- [8] 邹俊波, 张小飞, 史亚军, 等. 川芎挥发油水蒸气蒸馏法提取工艺的关键影响因素考察[J]. 中国药学杂志, 2019, 54(18): 1 468-1 474.
- [9] ZOU J B, ZHANG X F, SHI Y J, et al. The Investigation of key factors influencing the extraction process of Chuanxiong oil by steam distillation[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2019, 54(18): 1 468-1 474.
- [10] 蹇顺华, 陈胜, 齐富友, 等. 响应面优化紫苏厚朴挥发油提取及抑菌性研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(5): 68-71.
- [11] JIAN S H, CHEN S, QI F Y, et al. Optimization of volatile oil extraction from *Magnolia officinalis* Rehd. et Wils. by response surface methodology and its antibacterial activity[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(5): 68-71.
- [12] 叶耀辉, 马亚男, 乔欣. 木香挥发油超声辅助提取工艺优化及其化学成分分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 139-146.
- [13] YE Y H, MA Y N, QIAO X. Optimization of ultrasonic assisted extraction of volatile Oil from *Aucklandia odorifera* and its chemical components analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 139-146.
- [14] 万敏, 姚于飞, 付王威, 等. 黄金茶挥发油提取工艺优化、成分

- 分析及抗氧化研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 150-156.
- WAN M, YAO Y F, FU W W, et al. Extraction process optimization, composition analysis of essential oil from *Chimonanthus nitens* Oliv and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15): 150-156.
- [10] 夏雪娟, 李冠楠, 罗东升, 等. 不同提取方法对丹桂挥发油成分的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 67-73.
- XIA X J, LI G N, LUO D S, et al. Analysis of essential oil extracted by different methods from *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(1): 67-73.
- [11] 王国蕊, 逢锦龙, 张德蒙, 等. 龙须菜挥发油的提取及抗菌杀虫活性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 149-153, 175.
- WANG G R, PANG J L, ZHANG D M, et al. Extract of volatile oil and antibacterial & insecticidal activity of large red alga *Gracilaria lemaneiformis* [J]. Food & Machinery, 2018, 34(2): 149-153, 175.
- [12] 姜红宇, 刘郁峰, 谢国飞, 等. 陆英挥发油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及其成分分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 154-157.
- JIANG H Y, LIU Y F, XIE G F, et al. Extraction optimization of volatile oil from Chinese elder herb by supercritical CO₂ and its composition analysis [J]. Food & Machinery, 2017, 33(10): 154-157.
- [13] 薛山. 不同提取方法下紫苏叶精油成分组成及抗氧化功效研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 67-74.
- XUE S. Research of the composition and antioxidant activity of essential oil from *Folium Perillae* extracted by different methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(19): 67-74.
- [14] 曾虹燕, 蒋丽娟, 唐艳林, 等. 超临界 CO₂ 萃取石香薷挥发油工艺的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2003, 15(1): 51-54.
- ZENG H Y, JIANG L J, TANG Y L, et al. Studies on the volatile oil of *Molise chinensis* by supercritical CO₂ extraction [J]. Natural Product Research and Development, 2003, 15(1): 51-54.
- [15] 陈铁壁, 全沁果, 段丽萍, 等. 超临界 CO₂ 萃取肉桂皮中肉桂油[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(12): 229-234.
- CHEN T B, QUAN Q G, DUAN L P, et al. Extraction of *Cinnamomum cassia* oil from *Cinnamomum cassia* by supercritical carbon dioxide [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(12): 229-234.
- [16] 周昊, 薛兴颖, 叶建中, 等. 响应面法优化漆籽油提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(9): 5-10.
- ZHOU H, XUE X Y, YE J Z, et al. Optimization of extraction technology of lacquer seed oil by response surface method and its antioxidant activity [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(9): 5-10.
- [17] 陆冉冉, 刘慧燕, 潘琳, 等. 响应面法优化乳酸片球菌 TK530 发酵红枣浆工艺[J]. 南方农业学报, 2020, 51(9): 2 245-2 253.
- LU R R, LIU H Y, PAN L, et al. Optimization of fermentation process of jujube pulp by *Pediococcus acidilactici* TK530 using response surface methodology [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(9): 2 245-2 253.
- (上接第 141 页)
- [8] 许海燕, 彭修娟, 王珊, 等. 桦菌芝多糖抗氧化性及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 171-174.
- XU Hai-yan, PENG Xiu-juan, WANG Shan, et al. Study on antioxidant and antibacterial activities of polysaccharides in *Phropolyporus fomentarius* [J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 171-174.
- [9] 孙立卿, 李香梅, 叶菊, 等. 蓝花荆芥多糖提取工艺研究[J]. 上海农业报, 2015, 31(3): 86-88.
- SUN Li-qing, LI Xiang-mei, YE Ju, et al. Extraction process of polysaccharide from *Nepeta coerulea* [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2015, 31(3): 86-88.
- [10] 朱瑜丹, 李仲昆, 梁月琴, 等. 荆芥穗多糖的免疫调节活性[J]. 医药导报, 2021, 40(2): 187-192.
- ZHU Yu-dan, LI Zhong-kun, LIANG Yue-qin, et al. Immunomodulatory activity of polysaccharides from *Herba Schizonepetae* [J]. Herald of Medicine, 2021, 40(2): 187-192.
- [11] 温子帅, 李新蕊, 范忠星, 等. 荆芥多糖提取物抗氧化活性研究[J]. 河北中医药学报, 2019, 34(1): 53-56.
- WEN Zi-shuai, LI Xin-rui, FAN Zhong-xing, et al. Study on antioxidant activity of extract of *Schizonepeta* polysaccharide [J]. Journal of Hebei TCM and Pharmacology, 2019, 34(1): 53-56.
- [12] 彭玲, 赵云, 焦文佳, 等. 红枣雪梨汁复合奶啤的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 67-72.
- PENG Ling, ZHAO Yun, JIAO Wen-jia, et al. Study on development of milk beer with added compound red dates juice and snow pear juice [J]. Food Industry, 2017, 38(4): 67-72.
- [13] 赵锁军, 孙瑞敏. 赵州雪梨的营养价值与食疗法[J]. 河北农业科技, 2008(10): 50.
- ZHAO Suo-jun, SUN Rui-min. Nutritional value and dietary therapy of snow pear in Zhaozhou [J]. Hebei Agricultural Technology, 2008(10): 50.
- [14] 李健, 姚志永, 周振强. 雪花梨果汁防褐变研究[J]. 食品安全导刊, 2015(12): 62.
- LI Jian, YAO Zhi-yong, ZHOU Zhen-qiang. Study on anti-browning of pear juice from xuehua pear [J]. Food Safety Guide, 2015(12): 62.
- [15] 冉晓燕, 梁志远, 李永忠, 等. 百合花挥发油的提取及抗氧化活性的研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(6): 67-70.
- RAN Xiao-yan, LIANG Zhi-yuan, LI Yong-zhong, et al. Extraction and antioxidant activity of volatile oil from the flower of *Lilium brownii* [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences), 2014, 32(6): 67-70.
- [16] 高洁, 董文宾, 王勇, 等. 山皂荚多糖的提取工艺及抑菌活性[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 145-149, 206.
- GAO Jie, DONG Wen-bin, WANG Yong, et al. Extraction of polysaccharide from *Gleditsia japonica* and its antibacterial activities [J]. Food & Machinery, 2017, 33(3): 145-149, 206.