

北豆根脂肪油提取工艺优化及其抗氧化活性研究

任文静¹, 董梅月¹, 冯俊杰¹, 丁洁¹, 马艳¹, 刘玉红^{1*}, 张岱州^{2*} (1. 山东中医药大学药学院, 济南 250355; 2. 山东省药学院, 济南 250101)

摘要: 目的 采用 Box-Behnken 响应面法优化北豆根脂肪油的提取工艺, 分析其成分组成, 并研究北豆根脂肪油的体外抗氧化活性。方法 以北豆根脂肪油提取率为指标, 在单因素试验基础上, 采用 Box-Behnken 响应面法考察提取温度、提取时间、料液比对提取工艺的影响; 采用气相色谱-质谱联用法(GC-MS)分析脂肪油的组成; 运用清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基试验评价北豆根脂肪油的体外抗氧化活性。结果 经响应面优化, 确定最佳提取工艺为提取温度 90 ℃, 回流提取 3 次, 每次 2.3 h, 料液比为 1:21。在上述条件下, 提取率为 1.820%; 采用 GC-MS 从北豆根脂肪油中鉴定出 32 个成分; 北豆根脂肪油总抗氧化活性随着浓度的增加而逐渐升高, 在浓度达到 0.833 mg·mL⁻¹ 后对 DPPH 自由基清除率的增幅变缓, 当浓度为 1.333 mg·mL⁻¹ 时, 清除率为 70.1%。结论 优化的工艺方便、稳定、可行, 可为后续研究提供参考, 北豆根脂肪油中含有多种重要脂肪油成分, 并具有一定的体外抗氧化能力。**关键词:** 北豆根脂肪油; Box-Behnken 响应面法; 气相色谱-质谱联用法; 体外抗氧化; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基
中图分类号: R284.2 文献标志码: B 文章编号: 1007-7693(2021)04-0420-06
DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2021.04.007
引用本文: 任文静, 董梅月, 冯俊杰, 等. 北豆根脂肪油提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(4): 420-425.

Study on Extraction Process and Antioxidant Activity of Menisperm Rhizoma Fatty Oil

REN Wenjing¹, DONG Meiyue¹, FENG Junjie¹, DING Jie¹, MA Yan¹, LIU Yuhong^{1*}, ZHANG Daizhou^{2*}
(1. College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China; 2. Shandong Academy of Pharmaceutical Sciences, Jinan 250101, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To optimize the extraction process of Menisperm Rhizoma fatty oil by Box-Behnken response surface methodology and analyze its composition and study the antioxidant activity of Menisperm Rhizoma fatty oil *in vitro*. **METHODS** The extraction rate of Menisperm Rhizoma fatty oil as an index and based on the single-factor tests, Box-Behnken response surface methodology was used to investigate the effects of extraction temperature, extraction time and material-liquid ratio on extraction process; the composition of fatty oil was analyzed by GC-MS; the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) free radical experiment was used to evaluate the *in vitro* antioxidant activity of Menisperm Rhizoma fatty oil. **RESULTS** After optimization with the response surface methodology, it was determined that the optimal extraction process was extraction temperature of 90 ℃ and reflux extraction of 3 times for 2.3 h each time, the ratio of solid to liquid was 1:21. Under these conditions, the extraction rate was 1.820%; there were 32 components identified from Menisperm Rhizoma fatty oil by GC-MS. The total antioxidant activity of Menisperm Rhizoma fatty oil increased gradually with the increase of the concentration, after the concentration reached 0.833 mg·mL⁻¹, the DPPH free radical scavenging rate increased slowly, at the concentration of 1.333 mg·mL⁻¹, the scavenging rate was 70.1%. **CONCLUSION** The optimized process is convenient, stable and feasible, which can provide references for subsequent research. Menisperm Rhizoma fatty oil contains many important fatty oil components and has certain antioxidation activity *in vitro*.

KEYWORDS: Menisperm Rhizoma fatty oil; Box-Behnken response surface methodology; GC-MS; antioxidant activity *in vitro*; DPPH free radical

北豆根为防己科植物蝙蝠葛(*Menispermum dauricum* DC.)的干燥根茎, 具有清热解暑、祛风止痛之功效, 传统用于治疗咽喉肿痛、肠炎痢疾、风湿痹病等症^[1-2]。关于北豆根化学成分的报道,

生物碱成分研究颇多^[3-6], 而对其油脂类成分研究较少。随着人们食品安全意识的提高, 化学合成防腐剂逐步被高效、无毒的天然食品防腐剂取代。脂肪酸酯类成分具有较好的防腐作用, 已经广泛应用

基金项目: 山东省中医药科技发展计划项目(2019-0024); 山东中医药大学优秀青年科学基金(2018zk15)

作者简介: 任文静, 女, 硕士生 Tel: (0531)89628197 E-mail: 1362402241@qq.com *通信作者: 刘玉红, 女, 博士, 教授 Tel: (0531)89628197 E-mail: yhliu@sducm.edu.cn 张岱州, 女, 硕士, 主任药师 Tel: (0531)89628197 E-mail: zhangdaizhou@163.com

于食品工业中^[7]。因此,本实验采用 Box-Behnken 响应面法优化了北豆根脂肪油的提取工艺,采用 GC-MS 对其中的成分进行分析,并探讨了北豆根脂肪油清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基的活性,为北豆根化学成分及其活性的进一步研究及开发利用提供一定的参考,为寻找天然食品防腐剂和抗氧化剂奠定基础。

1 仪器与试剂

1.1 药材与试剂

北豆根(产地山东,百味堂中药饮片科技有限公司,批号:180506),经山东中医药大学李佳教授鉴定为防己科植物蝙蝠葛(*Menispermum dauricum* DC.)的干燥根茎。DPPH(麦克林);二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)(北京索莱宝);石油醚(沸点:60~90 °C)(国药集团);其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器

CP225D 分析天平(德国赛多利斯);GC6890 气相色谱仪、MS5975 质谱仪,7683B 自动进样器,色谱处理系统(MSD Chemstation D.03.00.611)均购自美国 Agilent 公司;质谱检索数据库:NIST MS search 08;UV-2500 紫外分光光度计(日本岛津)。

2 方法

2.1 北豆根脂肪油的提取^[8-9]

称取北豆根 30 g,粉碎,过 4 号筛,加入相应料液比石油醚,浸泡过夜,在一定温度下加热回流提取 3 次,合并提取液,抽滤,浓缩,得到北豆根脂肪油提取物,称重,计算提取率:

$$\text{提取率}(\%) = \frac{\text{脂肪油质量}(\text{g})}{\text{北豆根药材质量}(\text{g})} \times 100\%。$$

2.2 单因素试验设计

在预试验基础上,以北豆根脂肪油提取率为评价指标,分别考察浸泡提取温度(60, 70, 80, 90 和 100 °C)、提取时间(1, 2, 3, 4 和 5 h)、料液比(g·mL⁻¹)(1:10, 1:15, 1:20, 1:25 和 1:30)对脂肪油提取率的影响。

2.3 响应面优化试验

在单因素试验结果的基础上,根据 Design-Expert 8.06 软件 Box-Behnken 中心组合设计原理,以提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)的 3 个因素为自变量,以北豆根脂肪油提取率 Y 为响应值设计三因素三水平响应面分析试验,因素水平设计见表 1。

表 1 Box-Behnken 响应面法分析因素及水平表

Tab. 1 Factors and levels of Box-Behnken response surface experiment

水平	因素		
	提取温度/°C	提取时间/h	料液比(g·mL ⁻¹)
-1	80	1	1:15
0	90	2	1:20
1	100	3	1:25

2.4 GC-MS 分析

2.4.1 脂肪油的甲酯化^[9-11] 精密称定北豆根脂肪油 0.15 g,加入乙醚-正己烷(2:1)1 mL 溶解,精密加入 0.5 mol·L⁻¹ KOH 甲醇溶液 10 mL,充分振摇 1 min,60 °C 水浴 30 min,冷却至室温,加入正己烷 3 mL,萃取 2 次,取上层,加入无水硫酸钠干燥脱水,静置过夜,过 0.22 μm 微孔滤膜得供试品溶液。

2.4.2 GC-MS 分析条件 色谱条件:色谱柱 Agilent HP-5MS(25 μm×250 μm, 30 m);进样口:250 °C,接管口温度 220 °C,柱流量:1.5 mL·min⁻¹;载气为氦气;柱程序升温:初温 29 °C,停 10 min 后以 6 °C·min⁻¹ 的速率升至 80 °C,不停留,再以 10 °C 的速率升至 240 °C,停 10 min,进样量 2 μL,不分流进样。

质谱条件:电子轰击离子源(EI),电子能量 70 eV;离子源温度:230 °C;数据采集扫描模式:全扫描;溶剂延迟时间:2 min。质谱扫描质量范围 m/z 40~600。

2.5 DPPH 自由基清除试验^[12]

将北豆根脂肪油用 DMSO 配置成浓度为 0.5, 1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 mg·L⁻¹ 的系列溶液,各取 1 mL,分别加入 0.1 mmol·L⁻¹ 的 DPPH 乙醇溶液 2 mL 作为样品组;分别加入 2 mL 乙醇溶液作为样品对照组;分别加入 1 mL DMSO 和 2 mL 0.1 mmol·L⁻¹ 的 DPPH 乙醇溶液作为空白组。以上各试验组溶液混匀后,置黑暗处,室温放置 30 min。于 517 nm 处,用 1 mL DMSO 和 2 mL 乙醇溶液调零。依次测量各吸光度值,用维生素 C(vitamin C, Vc)作为阳性对照。按如下公式计算样品对 DPPH 自由基百分清除率:

$$\text{DPPH清除率}(\%) = [1 - (A_{\text{样}} - A_{\text{样对}}) / A_{\text{空}}] \times 100\%。$$

3 结果

3.1 单因素试验结果

设定提取时间为 2 h,料液比为 1:20,研究 60, 70, 80, 90 和 100 °C 5 个梯度的温度对提取率的影响,结果见图 1。结果表明提取温度控制在

90℃左右比较适宜,故选择90℃左右进行后续试验。设定提取温度为90℃,料液比为1:20,研究1,2,3,4和5h 5个梯度的时间对提取率的影响,结果见图2。结果表明提取时间控制在2h左右较为适宜。设定提取温度为90℃,提取时间为2h,研究1:10,1:15,1:20,1:25和1:30 5个梯度的料液比(g·mL⁻¹)对提取率的影响,结果见图3。1:20时达到最高的1.85%,料液比控制在1:20左右进行后续试验较为适宜。

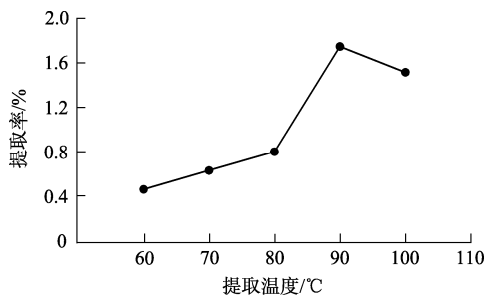


图1 提取温度对北豆根脂肪油提取率的影响
Fig. 1 Effect of extraction temperature on extraction rate of Menisperm Rhizoma fatty oil

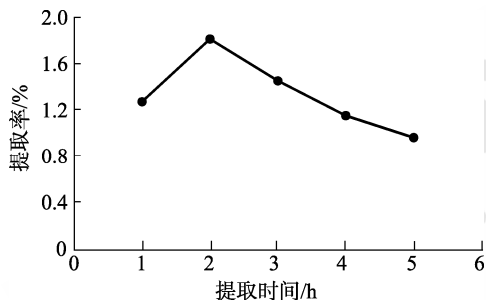


图2 提取时间对北豆根脂肪油提取率的影响
Fig. 2 Effect of extraction time on extraction rate of Menisperm Rhizoma fatty oil

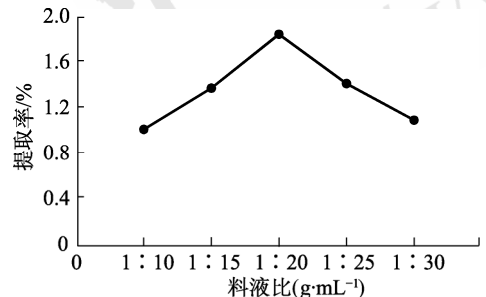


图3 料液比对北豆根脂肪油提取率的影响
Fig. 3 Effect of material-liquid ratio on extraction rate of Menisperm Rhizoma fatty oil

3.2 响应面优化试验

3.2.1 响应面优化结果及分析 利用 Design Expert 8.06 软件对实验进行回归分析,以确定北豆根脂肪油的最佳提取工艺,结果见表2。

3.2.2 响应面方差结果分析 模型 $P < 0.01$, 表明

回归模型极显著,失拟项 $P > 0.05$,表明失拟项不显著。从 F 值可以看出,在所选的各因素水平范围内,提取时间对脂肪油提取率的影响最大,料液比的影响次之,提取温度的影响最小。在此模型中,一次项 B ,二次项 A^2 、 B^2 对试验结果影响极显著($P < 0.01$),交互项 AB 对试验结果影响显著($P < 0.05$),其他各项均对试验影响不显著,提示各试验因子与响应值不是简单的线性关系。由分析可知,浸泡时间是影响提取率最显著因子,其次是提取时间和加水量。浸泡时间和提取时间的组合与浸泡时间和加水量的组合比提取时间和加水量的组合影响显著,拟合得到二次方程为 $Y = 1.78 + 0.043A + 0.19B + 0.058C - 0.16AB - 0.015AC - 0.27A^2 - 0.29B^2 - 0.12C^2$, 相关系数 $R^2 = 0.9299$,结果表明北豆根脂肪油提取率的试验值与预测值之间有较好的拟合度,该二次方程模型较显著,试验设计可靠,结果见表3。

表2 试验设计与结果

Tab. 2 Design and results of experiment

序号	水平			提取率/%
	A	B	C	
1	90	2	1:20	1.73
2	80	1	1:20	0.73
3	90	2	1:20	1.80
4	90	2	1:20	1.70
5	100	2	1:25	1.47
6	100	3	1:20	1.37
7	90	3	1:25	1.53
8	80	2	1:25	1.40
9	80	2	1:15	1.27
10	90	1	1:25	1.33
11	80	3	1:20	1.63
12	100	1	1:20	1.13
13	90	2	1:20	1.90
14	100	2	1:15	1.40
15	90	2	1:20	1.75
16	90	1	1:15	1.20
17	90	3	1:15	1.40

表3 回归模型方差分析

Tab. 3 Analysis of variance in regression model

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1.240	9	0.140	10.310	0.0028
A	0.014	1	0.014	1.080	0.3338
B	0.300	1	0.300	22.110	0.0022
C	0.026	1	0.026	1.970	0.2030
AB	0.110	1	0.110	8.120	0.0247
AC	8.208	1	8.208	0.067	0.8030
BC	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
A^2	0.310	1	0.310	22.970	0.0020
B^2	0.360	1	0.360	26.500	0.0013
C^2	0.061	1	0.061	4.560	0.0701
残差	0.094	7	0.013		
失拟度	0.069	3	0.023	3.770	0.1162
绝对误差	0.025	4	5.721		
总离差	0.340	16			

3.2.3 因素间的交互作用 通过响应面来观察 3 因素交互作用对提取率的影响。响应面图曲线越陡,显示提取率受该因素影响越大;反之,曲线越缓,表明提取率受该因素影响越小。影响北豆根脂肪油提取率的各因子交互效应的强弱则能通过等高线形状体现出来。圆形等高线表示交互作用不显著,而椭圆形等高线表示交互作用显著^[13]。响应面优化具体结果见图 4。提取时间对脂肪油得率的影响最大,料液比的影响次之,提取温度的影响最小,提取温度和提取时间的交

互作用对提取率的影响比较明显。通过回归方程求解,可得北豆根油脂的最佳提取条件为提取温度 89.7 °C、提取时间 2.34 h、料液比 1 : 21.2,此条件下提取率的理论值为 1.815%。

3.2.4 验证试验 为了验证试验模型的可靠性,兼顾在实际操作中实验的可行性,采用提取温度 90 °C、提取时间 2.3 h、料液比 1 : 21 进行验证试验($n=3$)。结果为:北豆根油脂的提取率为 1.820% (RSD=0.275%),与理论预测值 1.815%相比,无显著性差异,提示用响应面法优化后的最佳工艺参

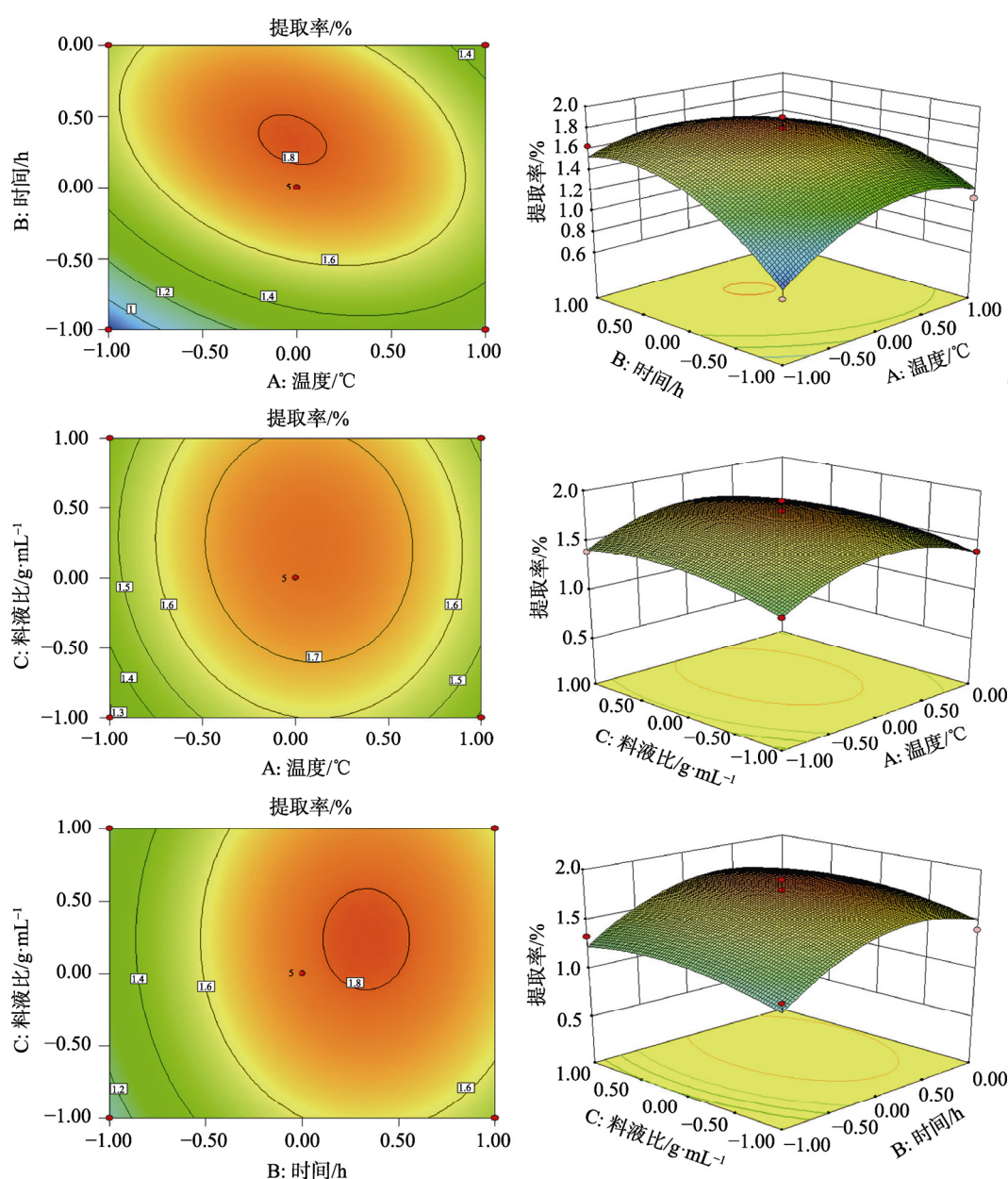


图 4 Box-Behnken 响应面法优化北豆根脂肪油提取率的响应面图和等高线图

Fig. 4 Response surface and contour plots of Menispermis Rhizoma fatty oil by Box-Behnken response surface method

数进行提取具有可行性及实用性。

3.3 GC-MS 分析

对北豆根脂肪油甲酯化后的总离子流质谱图进行质谱库检索和人工谱图分析, 确认各化合物。总离子流图见图 5。其脂肪油最终鉴定出 32 种化合物, 分析结果见表 4。

表 4 北豆根脂肪油化学成分

Tab. 4 Chemical constituents of Menisperm Rhizoma fatty oil

序号	保留时间/ min	化合物	分子式
1	5.179	六乙基环三硅氧烷	C ₁₂ H ₃₀ O ₃ Si ₃
2	6.278	3-甲基苯醇,叔丁基二甲基硅烷基醚	C ₁₄ H ₃₀ OSi
3	7.141	2-氨基-N-(3,4,4a,5,6,7-六氢-5,6,8-三羧基-3-甲基-1-氧代-1H-2-苯并吡喃-4-基)-丙酰胺	C ₁₃ H ₂₀ N ₂ O ₆
4	9.762	八甲基环三硅氧烷	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄
5	11.162	6,6,8,8,10,10-六甲基-2,5,7,9,11,14-六氧杂-6,8,10-三硅十五碳烷	C ₁₂ H ₃₂ O ₆ Si ₃
6	13.181	十甲基环三硅氧烷	C ₁₀ H ₃₀ O ₅ Si ₅
7	16.054	十二甲基环三硅氧烷	C ₁₂ H ₃₆ O ₆ Si ₆
8	17.268	十四烷	C ₁₄ H ₃₀
9	18.496	十四甲基环三硅氧烷	C ₁₄ H ₄₂ O ₇ Si ₇
10	18.659	乙基五甲基苯	C ₁₃ H ₂₆
11	19.151	2,4-双(1,1-二甲乙基)-苯酚	C ₁₄ H ₂₈ O
12	19.961	十八烷	C ₁₈ H ₃₈
13	20.639	十六甲基环三硅氧烷	C ₁₆ H ₄₈ O ₈ Si ₈
14	21.187	2,6,10-三甲基十六烷	C ₁₇ H ₃₆
15	21.531	12-甲基十三烷酸甲酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂
16	22.355	7-甲基-十四烯(Z)-1-醇乙酸酯	C ₁₇ H ₂₉ O ₂
17	22.512	油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
18	22.927	2-十二烯-1-基(-1)琥珀酸酐	C ₁₆ H ₂₅ O ₃
19	23.355	2,2,2-三氟乙基, 9-十八碳烯酸	C ₂₀ H ₃₃ O ₂ F ₃
20	23.577	9-十六碳烯酸	C ₁₆ H ₃₀ O ₂
21	23.799	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
22	24.012	异丙基-5,6,19-二十八碳三烯酸酯	C ₃₁ H ₅₆ O ₂
23	24.514	2-甲基-1-十六碳醇	C ₁₇ H ₃₆ O
24	24.830	14-甲基十六烷酸甲酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
25	25.681	8,11-十八碳二烯酸甲酯	C ₁₉ H ₃₂ O ₂
26	25.846	16-甲基十七烷酸甲酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
27	25.857	亚油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₄ O ₂
28	26.582	癸酸甲酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂
29	27.832	硬脂酸甲酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
30	28.323	二十烷酸甲酯	C ₂₁ H ₄₂ O ₂
31	31.378	二十七烷	C ₂₇ H ₅₆
32	32.209	20-甲基二十二烷酸甲酯	C ₂₂ H ₄₄ O ₂

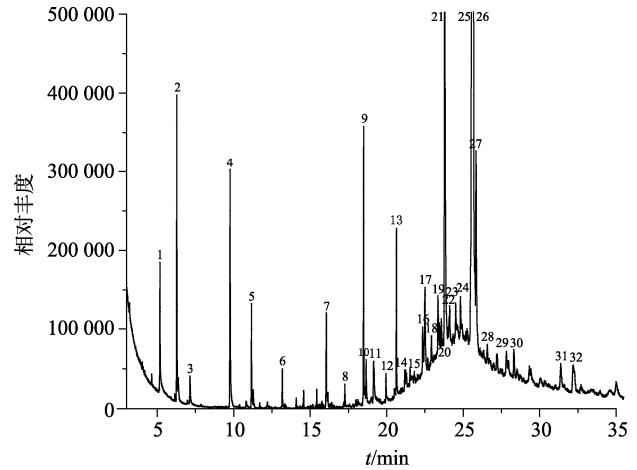


图 5 北豆根脂肪油 GC-MS 总离子流图

Fig. 5 GC-MS total ion current chromatogram of Menisperm Rhizoma fatty oil

3.4 DPPH 自由基清除试验

不同浓度的北豆根脂肪油对 DPPH 自由基的清除率见表 5。结果表明北豆根油脂抗氧化活性随着浓度的增加而逐渐升高, 在浓度达到 0.833 mg·mL⁻¹ 后对 DPPH 自由基清除率的增幅变缓, 当浓度为 1.333 mg·mL⁻¹ 时, 样品清除率为 70.1%。

表 5 DPPH 自由基清除试验结果表

Tab. 5 Results of DPPH free radical scavenging experiment

浓度/mg·mL ⁻¹	样品清除率/%	Vc 清除率/%
0.167	19.5	95.2
0.333	38.3	95.5
0.500	48.7	96.8
0.833	64.4	97.2
1.000	66.5	97.5
1.167	67.1	97.6
1.333	70.1	97.7

4 讨论

本实验就北豆根脂肪油提取工艺的影响因素, 以北豆根脂肪油提取率为考察指标, 采用 Box-Behnken 响应面法优化提取工艺, 本实验所建立的工艺稳定可行, 响应模型拟合度较好, 可以应用于实际生产^[14-15]。经 Box-Behnken 响应面优化, 确定了北豆根脂肪油最佳的提取工艺, 提取率可达 1.820%。

由于脂肪酸极性较强且在高温下容易发生聚合、脱羧、裂解等副反应, 不能直接进行 GC-MS 分析, 需先将脂肪油衍生生成易挥发的甲酯^[16], 最终鉴定得到多数为脂肪酸甲酯, 表明其主要成分实为饱和脂肪酸类和不饱和脂肪酸类, 此外还有

烃类、醇类等。其中存在部分棕榈酸甲酯、硬脂酸甲酯等饱和脂肪酸甲酯, 可以作为安全的食品防腐剂来替代工业添加剂的天然来源^[17]。

DPPH 自由基清除试验是一种测定活性成分体外抗氧化活性的方法, 抗氧化剂对 DPPH 自由基的清除能力越大, 抗氧化能力越强^[18], 具有操作简单、灵敏度高、重复性好等优点。结果表明, 北豆根脂肪油对 DPPH 自由基具有较好的清除能力, 经过测定, 其清除率可以达到 70.1%, 提示具有一定的体外抗氧化活性。经文献报道, 长链不饱和脂肪酸具有一定的抗氧化活性^[17], GC-MS 鉴定出较多的亚油酸甲酯、油酸甲酯等长链不饱和脂肪酸甲酯, 推测这些成分可能与北豆根脂肪油的抗氧化活性有一定关系。本实验为日后北豆根脂肪油药效物质基础的研究提供了参考。

REFERENCES

- [1] SHAO J, SHI C F, WEI J X, et al. Chemical constituents from rhizome of *Menispermum dauricum* and their anti-hypoxic activities[J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志), 2019, 44(4): 723-729.
- [2] LI S S, SONG X, CHAI X, et al. Chemical constituents from the rhizome of *Menispermum dauricum* DC. [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2013, 25(1): 60-63.
- [3] LI X Z, ZHAO H L, HUANG W P, et al. Rapid identification of alkaloids in *Menispermum Rhizoma* by UPLC-Q-TOF-MS/MS[J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志), 2017, 23(15): 97-102.
- [4] CHEN J Y, XIE Y F, ZHOU T X, et al. Chemical constituents of *Menispermum dauricum*[J]. Chin J Nat Med, 2012, 10(4): 292-294.
- [5] ZHENG Y C, CUI Y H, QIN T, et al. The study on the alkaloids composition of Asiatic Moonseed Rhizome[J]. China Mod Med(中国当代医药), 2011, 18(13): 17-19.
- [6] WANG F, QU L, LV Q, et al. Effect of phenolic alkaloids from *Menispermum dauricum* on myocardial-cerebral ischemia-reperfusion injury in rabbits[J]. Acta Pharmacol Sin, 2001, 22(12): 1130-1134.
- [7] LUO C Y. Study on Preparation and properties of food additives of medium chain fatty acid esters[D]. Nanchang: Nanchang University, 2011.
- [8] LU S J, YANG Y Y, XU L, et al. GC-MS analysis of constituents in fatty oils of China arctium[J]. Chin Arch Trad Chin Med(中华中医药学刊), 2012, 30(5): 988-990.
- [9] LI H F, CHENG S H, YU J. Research on fatty oil and amino acid components difference of aspongopus extracted by two different technologies[J]. Chin Arch Trad Chin Med(中华中医药学刊), 2015, 33(7): 1656-1658.
- [10] ZHANG Y Y, LI H, HE C H, et al. GC-MS Analysis on liposoluble components of Zhuangyao medicinal materials Radix Cycleae[J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2019, 36(3): 341-342.
- [11] WANG Y, WANG M, HE F, et al. Analysis of fatty oil in roots and leaves of *Leibnitzia anadria* by GC-MS method[J]. J Shenyang Pharm Univ(沈阳药科大学学报), 2013, 30(12): 940-943.
- [12] HOU J Z, PEI S C, WANG Y, et al. Study on antioxidant activity of different solvent extracts of perfoliate knotweed[J]. Smart Health(智慧健康), 2018, 4(12): 36-39.
- [13] YANG P, ZHANG R, ZHAI Y, et al. Optimization of deproteinization process by response surface method and the neuroprotective activity study of Rhizoma Menispermici crude polysaccharide[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2019, 31(4): 579-586.
- [14] LI L, ZHANG S, HE Q, et al. Application of response surface methodology in experiment design and optimization[J]. Res Exp Lab(实验室研究与探索), 2015, 34(8): 41-45.
- [15] ZHANG X J, CAI Y A, LI X Y, et al. The optimization of anthocyanin extraction in red cabbage by response surface and their antioxidant activity[J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2019, 40(1): 85-91.
- [16] WU X L, WANG F L, GUAN W Q. Methods of methyl esterification and gas chromatography analysis of fatty acids in edible vegetable oil[J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2015, 36(7): 84-87.
- [17] DONG Q, HUERXIDAN Y M M, GAO Y H. Study on fatty acid composition and biological activity of different varieties of chickpea oil[J]. Food Indus(食品工业), 2018, 39(11): 176-179.
- [18] DUAN M H, RUAN P J, FANG T, et al. Analysis of nutritional components and antioxidant activity of *Rosa mairei* lev[J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2019, 40(7): 23-28.

收稿日期: 2020-01-08
(本文责编: 蔡珊珊)