

中图分类号: R94 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2025)22-0034-05
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2025.22.008



基于熵权法与响应面法优化鹅辛散挥发油提取工艺*

金顺琪¹, 翟雨琦², 李敏¹, 侯青雯¹, 王鑫¹, 范玲^{1△}

(1. 江苏省苏州市中西医结合医院, 江苏 苏州 215101; 2. 江苏省昆山市第五人民医院, 江苏 苏州 215300)

摘要:目的 优化鹅辛散挥发油的提取工艺。方法 以液料比、浸泡时间及提取时间为考察因素, 采用熵权法确定丁香酚甲醚含量、香芹酚含量及挥发油得率的权重, 并以此构建综合评分作为评价指标, 采用 Design-Expert 13 软件进行 Box-Behnken 试验设计, 优化挥发油提取工艺, 并验证。结果 挥发油最佳提取工艺为液料比 14:1 (mL/g), 浸泡 1 h, 提取 4 h。验证试验中, 3 批样品综合评分分别为 0.941, 0.951, 0.957 分, 平均 0.950 分, RSD 为 0.85% ($n=3$), 实测值与预测值的相对误差为 0.32%。结论 该优选工艺稳定可行, 可提高鹅辛散挥发油得率及有效成分含量。

关键词: 鹅辛散; 挥发油; 丁香酚甲醚; 香芹酚; 提取工艺; 熵权法; 响应面法

Optimization of Extraction Process of Volatile Oil from Exin Powder Based on Entropy Weight Method and Response Surface Method

JIN Shunqi¹, ZHAI Yuqi², LI Min¹, HOU Qingwen¹, WANG Xin¹, FAN Ling¹

(1. Suzhou Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Suzhou, Jiangsu, China 215101; 2. The Fifth People's Hospital of Kunshan, Suzhou, Jiangsu, China 215300)

Abstract: **Objective** To optimize the extraction process of volatile oil from Exin powders. **Methods** The liquid-to-solid ratio, soak time and extraction time were taken as investigation factors. The weights of methyl eugenol content, carvacrol content and volatile oil yield were determined by entropy weight method, and the comprehensive score was constructed as the evaluation index. Box-Behnken test design was performed using Design-Expert 13 software to optimize the volatile oil extraction process and verify it. **Results** The optimal extraction process of volatile oil was as follows, liquid-to-solid ratio was 14:1 (mL/g), soak time was 1 h, and extraction time was 4 h. In the verification test, the comprehensive scores of three batches of samples were 0.941, 0.951, 0.957 points, respectively, with an average of 0.950 points, RSD was 0.85% ($n=3$), and the relative error between the measured value and the predicted value was 0.32%. **Conclusion** The optimized process is stable and feasible, which can improve the volatile oil yield and the content of effective components from Exin powder.

Key words: Exin Powder; volatile oil; methyl eugenol; carvacrol; extraction process; entropy weight method; response surface method

苏州市中西医结合医院名老中医金庆江将鹅辛散用于慢性鼻-鼻窦炎的辨证论治, 取得显著疗效。鹅辛散由鹅不食草、细辛组方, 鹅不食草味辛, 性温、热, 可发散风寒之邪, 畅通鼻窍^{[1],[2]361}, 缓解咳嗽, 并具解毒之功效。提取方法及工艺对挥发油质量有关键影响, 熵权法是为基于信息熵原理的多指标权重确定方法, 其应用于多指标评价科学合理, 能较好地展现中药提取的整体效果和质量^[3-4], 避免单一指标可能带来的结果偏差, 使数据分析更稳定可靠^[5]。基于此, 本研究中采用2020年版《中国药典(四部)》挥发油提取方法中的水蒸气蒸馏法提取鹅辛散中的挥发性成分, 以液料比、浸泡时间和提取时间为考察因素, 以主要成分含量和挥发油得率为评价指标, 基于 Box-Behnken 响应面法和熵权法优选提取工艺, 以提高鹅辛散中挥发油的含量。

现报道如下。

1 仪器与试药

1.1 仪器

Agilent 7890B 型气相色谱仪(美国 Agilent 公司); 1781 型挥发油提取器(安徽省宏腾实验设备有限公司); FA2004B 型电子天平(上海越平科学仪器有限公司, 精度为 0.1 mg), FA2004 型分析天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司, 精度为 0.01 mg); DW-2 型调温电热碗(通州市张芝山镇决心化工电器厂); KQ5200 型超声波清洗机(昆山超声仪器有限公司)。

1.2 试剂

丁香酚甲醚(批号为 C15207577)、香芹酚(批号为 C15433045), 均购自上海麦克林生化科技股份有限公司; 甲醇(批号为 20220624)、无水乙醇(批号为

*基金项目: 江苏省苏州市科技计划项目[SKY2023104、SKYXD2022012]; 江苏省苏州市基础研究科技创新项目[SYWD2024268]。

第一作者: 金顺琪, 女, 硕士研究生, 中药师, 研究方向中药制剂开发与质量控制, (电子信箱)jsq_chris@163.com。

△通信作者: 范玲, 女, 硕士研究生, 副主任药师, 研究方向中药制剂开发与质量控制, (电子信箱)ll861031@126.com。

20220715),均购自国药集团化学试剂有限公司;无水硫酸钠(天津市登峰化学试剂厂,批号为20230214);水为蒸馏水。

1.3 饮片

饮片鹅不食草(批号为230406)、细辛(批号为221218),均购自苏州市天灵中药饮片有限公司,经苏州市中西医结合医院顾琴华主任中药师鉴定为正品。

2 方法与结果

2.1 鹅辛散挥发油提取

按2020年版《中国药典(四部)》通则2024甲法测定鹅辛散挥发油含量,按处方比例取鹅不食草50 g、细辛50 g,置3 000 mL圆底烧瓶中提取挥发油,Na₂SO₄干燥(下同),称定质量并计算挥发油得率。挥发油得率=鹅辛散挥发油质量(g)/鹅辛散饮片质量(g)×100%。

2.2 单因素试验

2.2.1 液料比

取鹅不食草50 g、细辛50 g,分别按液料比10:1、12:1、14:1、16:1、18:1(mL/g)加水浸泡1 h,加热回流提取4 h,得挥发油,称定质量,干燥,计算挥发油得率。可见,在液料比为12~18 mL/g时出油量较多(见图1),故选择液料比为12~16 mL/g。

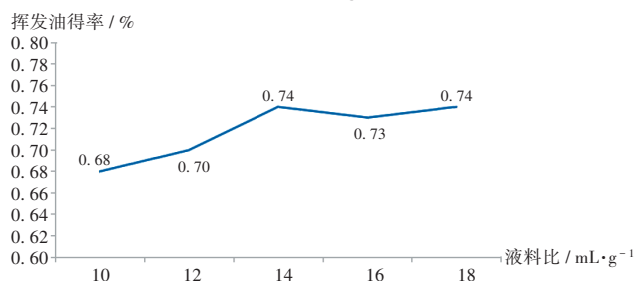


图1 液料比对挥发油提取效果的影响

Fig. 1 Effect of liquid - to - solid ratio on volatile oil extraction efficiency

2.2.2 浸泡时间

取鹅不食草50 g、细辛50 g,分别浸泡0, 0.5, 1, 1.5, 2 h,加入液料比为14:1(mL/g)的水,加热回流4 h,得挥发油,称定质量,干燥,计算挥发油得率。可见,前1 h挥发油得率上升较明显,1 h后挥发油得率降低(见图2),故选择浸泡时间为0.5~1.5 h。

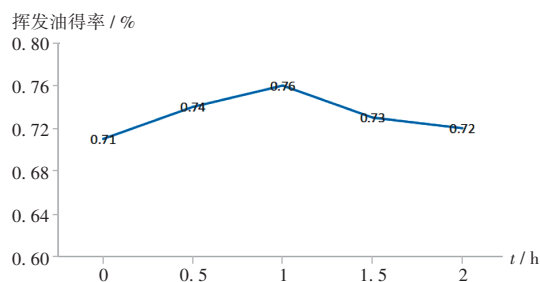


图2 浸泡时间对挥发油提取效果的影响

Fig. 2 Effect of soak time on volatile oil extraction efficiency

2.2.3 提取时间

取鹅不食草50 g、细辛50 g,分别提取2, 3, 4, 5, 6 h,加入液料比为14:1(mL/g)的水,浸泡1 h,加热回流,得挥发油,称定质量,干燥,计算挥发油得率。可见,提取2~4 h时出挥发油得率明显升高,4 h后缓慢降低(见图3),故选择提取时间为3~5 h。

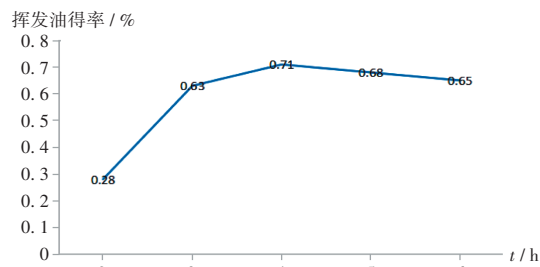


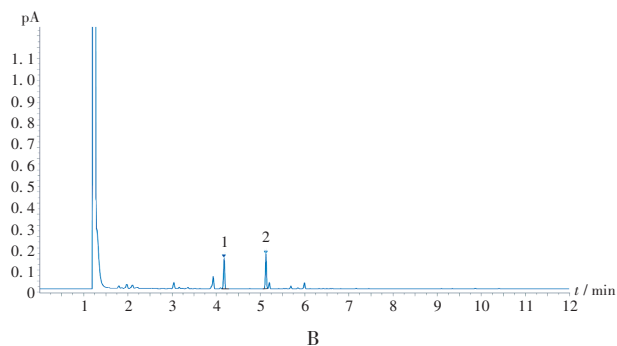
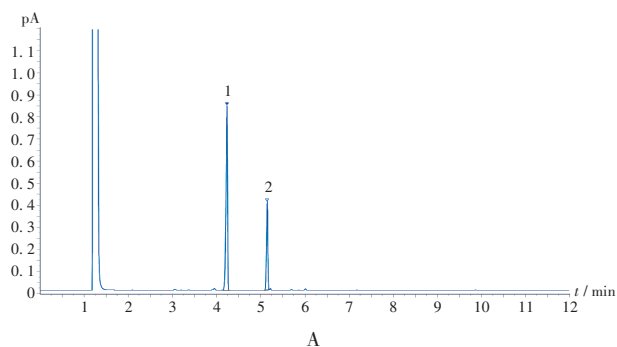
图3 提取时间对挥发油提取效果的影响

Fig. 3 Effect of extraction time on volatile oil extraction efficiency

2.3 挥发油有效成分含量测定

2.3.1 色谱条件

色谱柱: Agilent 19091s - 433HP - 5MS柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度: 200 °C;起始温度为120 °C,以6 °C/min的速率升至180 °C(维持1 min),再以180 °C/min的速率升至250 °C(维持12 min);载气: 氢气;流速: 30 mL/min,分流比: 20:1,进样量: 1 μL;载气节约模式关闭。高效气相色谱图见图4。



1. 丁香酚甲醚 2. 香芹酚

A. 对照品溶液 B. 供试品溶液

图4 高效气相色谱图

1. Methyl eugenol 2. Carvacrol

A. Reference solution B. Test solution

Fig. 4 HPGC chromatograms

2.3.2 溶液制备

精密量取丁香酚甲醚对照品 10 μL,置 10 mL 容量瓶中,加入甲醇溶解并定容,摇匀,即得每 1 mL 含丁香酚甲醚 1.036 mg 的对照品溶液。精密量取香芹酚对照品 10 μL,置 10 mL 容量瓶中,加甲醇溶解并定容,摇匀,即得每 1 mL 含香芹酚 0.976 mg 的对照品溶液。取样品适量,置 10 mL 容量瓶中,用甲醇定容,再取 20 μL 所得挥发油,置 10 mL 容量瓶中,用甲醇定容,混匀,即得供试品溶液。

2.3.3 方法学考察

线性关系考察:精密量取丁香酚甲醚对照品 6, 10, 14, 18, 40 μL 和香芹酚对照品 4, 10, 20, 40, 60 μL,置同一 10 mL 容量瓶中,加甲醇定容,按 2.3.1 项下色谱条件进样测定,记录峰面积。以峰面积(Y)为纵坐标、待测成分质量浓度(X , μg / mL)为横坐标进行线性回归,得到丁香酚甲醚和丁香酚回归方程分别为 $Y_1 = 766.39 X_1 + 2471.8 (R^2 = 0.9995)$ 和 $Y_2 = 1504.7 X_2 + 140.59 (R^2 = 0.9994)$ 。结果表明,丁香酚甲醚和丁香酚质量浓度分别在 0.6216~4.144 μg / mL 和 0.3904~5.856 μg / mL 范围内与峰面积线性关系良好。

精密度试验:取 2.3.2 项下对照品溶液各适量,按 2.3.1 项下色谱条件连续进样测定 6 次,记录峰面积。结果丁香酚甲醚和香芹酚峰面积的 RSD 分别为 0.20% 和 0.48% ($n = 6$),表明仪器精密度良好。

稳定性试验:取 2.3.2 项下供试品溶液适量,分别于室温放置 0, 3, 6, 9, 12, 24 h 时按 2.3.1 项下色谱条件进样测定,记录峰面积。结果丁香酚甲醚和香芹酚峰面积的 RSD 分别为 0.42% 和 1.29% ($n = 6$),表明供试品溶液室温放置 24 h 内基本稳定。

重复性试验:取同一批样品适量,精密称定,各 6 份,按 2.3.2 项下方法制备供试品溶液,再按 2.3.1 项下色谱条件进样测定,记录峰面积。结果丁香酚甲醚和香芹酚峰面积的 RSD 分别为 0.78% 和 2.25% ($n = 6$),表明方法重复性良好。

加样回收试验:取已知含量样品适量,共 6 份,分别加入一定质量浓度的丁香酚甲醚和香芹酚对照品溶液,按 2.3.2 项下方法制备供试品溶液,再按 2.3.1 项下色谱条件进样测定,记录峰面积并计算回收率。结果平均回收率分别为 98.42%、100.99%, RSD 分别为 3.20% 和 2.12% ($n = 6$)。

2.3.4 含量测定

取各批样品适量,平行 2 份,分别按 2.3.2 项下方法制备供试品溶液,再按 2.3.1 项下色谱条件进样,平行测定 3 次,记录峰面积并计算样品含量。结果见表 1。

表 1 样品含量测定结果(μg / g, $n = 6$)

Tab.1 Results of the content determination of samples (μg / g, $n = 6$)

待测成分	1	2	3	4	5	6	$\bar{X}$
丁香酚甲醚	106.04	105.72	105.97	103.93	105.03	104.82	105.25
香芹酚	76.84	75.17	73.32	73.05	74.82	74.92	74.63

2.4 提取工艺优选

2.4.1 试验设计与结果

以液料比、浸泡时间、提取时间为考察因素,使用 Design - Expert 13 软件,将丁香酚甲醚含量、香芹酚含量、挥发油得率的综合评分作为响应值,运用 Box - Behnken 法设计 3 因素 3 水平 17 个试验点的响应面分析试验^[6](12 个析因试验,5 个中心试验)。因素与水平见表 2,试验设计与结果见表 3。

表 2 因素与水平

Tab.2 Factors and levels

水平	因素 A(mL:g)	因素 B(h)	因素 C(h)
-1	12	0.5	3
0	14	1	4
1	16	1.5	5

表 3 试验设计与结果

Tab.3 Test design and results

序号	因素			含量(μg / mL)		挥发油得率(%)	综合评分
	A	B	C	丁香酚甲醚	香芹酚		
1	0	-1	-1	0.873	0.625	0.71	0.771
2	-1	1	0	1.014	0.725	0.86	0.909
3	-1	0	-1	0.945	0.710	0.77	0.845
4	0	0	0	1.175	0.749	0.86	0.962
5	0	1	-1	0.990	0.633	0.74	0.819
6	0	-1	1	0.965	0.647	0.73	0.813
7	1	-1	0	0.966	0.726	0.86	0.896
8	-1	-1	0	0.945	0.721	0.85	0.884
9	0	0	0	1.039	0.731	0.92	0.942
10	0	0	0	1.060	0.733	0.88	0.933
11	1	0	-1	0.947	0.725	0.78	0.856
12	1	1	0	0.990	0.746	0.87	0.915
13	1	0	1	0.965	0.760	0.81	0.887
14	0	1	1	0.959	0.705	0.85	0.883
15	-1	0	1	0.983	0.759	0.82	0.894
16	0	0	0	1.060	0.785	0.86	0.945
17	0	0	0	1.057	0.752	0.87	0.935

2.4.2 熵权法计算各指标权重系数及综合评分

利用熵权法^[3]将成分含量和挥发油得率作为权重指标,计算得到丁香酚甲醚含量、香芹酚含量和挥发油得率的权重。根据公式(1)对 2.4.1 项下的挥发油得率及有效成分含量进行处理,建立原始矩阵(X_{ij})_{nm}和概率

$$X = \begin{pmatrix} 0.873 & 1.104 & 0.945 & 1.175 & 0.990 & 0.965 & 0.966 & 0.945 & 1.039 & 1.060 & 0.947 & 0.990 & 0.965 & 0.959 & 0.983 & 1.060 & 1.057 \\ 0.625 & 0.725 & 0.710 & 0.749 & 0.633 & 0.647 & 0.726 & 0.721 & 0.731 & 0.733 & 0.725 & 0.746 & 0.760 & 0.705 & 0.759 & 0.785 & 0.752 \\ 0.71 & 0.86 & 0.77 & 0.86 & 0.74 & 0.73 & 0.86 & 0.85 & 0.92 & 0.88 & 0.78 & 0.87 & 0.81 & 0.85 & 0.82 & 0.86 & 0.87 \end{pmatrix}$$
$$Y = \begin{pmatrix} 0.051 & 0.061 & 0.055 & 0.061 & 0.053 & 0.052 & 0.061 & 0.061 & 0.065 & 0.063 & 0.055 & 0.062 & 0.058 & 0.061 & 0.058 & 0.062 & 0.062 \\ 0.052 & 0.060 & 0.056 & 0.069 & 0.058 & 0.057 & 0.057 & 0.056 & 0.061 & 0.063 & 0.056 & 0.058 & 0.057 & 0.057 & 0.058 & 0.063 & 0.062 \\ 0.051 & 0.059 & 0.058 & 0.061 & 0.052 & 0.053 & 0.059 & 0.059 & 0.060 & 0.060 & 0.059 & 0.061 & 0.062 & 0.058 & 0.062 & 0.064 & 0.061 \end{pmatrix}$$

图 5 原始评价指标矩阵 $(X_{ij})_{mn}$ 和概率矩阵 $(P_{ij})_{mn}$

Fig. 5 Original evaluation index matrix $(X_{ij})_{mn}$ and probability matrix $(P_{ij})_{mn}$

矩阵 $(P_{ij})_{mn}$ ^[7], 见图 5。根据公式(2)和公式(3), 计算各指标的信息熵(H_i)和相对权重(W_i)。结果 3 个评价指标的 $H_i = [0.999\ 1, 0.999\ 2, 0.999\ 3]$, $W_i = [0.380\ 8, 0.328\ 6, 0.290\ 6]$ 。

$$P_{ij} = X_{ij} / (\sum_{j=1}^n X_{ij}) \tag{1}$$

$$H_i = -1 / \ln \eta \times \sum_{j=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \tag{2}$$

$$W_i = (1 - H_i) / \sum_{i=1}^m (1 - H_i) \tag{3}$$

应用公式综合评分(M) = 丁香酚甲醚含量 / 其最大值 $\times W_1$ + 香芹酚含量 / 其最大值 $\times W_2$ + 挥发油得率 / 其最大值 $\times W_3$ 计算, 结果带入 Design - Expert 13 软件, 进行响应面法的数据分析, 通过对 M 值数据的回归拟合和响应面的绘制, 预测出最佳的提取工艺及相应的 M 值。

2.4.3 响应面分析

模型的建立和显著性分析: 利用响应面分析系统软件 Design - Expert 13 分析表 3 中的 17 组试验数据, 得到的回归方程 $Y = 0.943\ 4 + 0.002\ 8A + 0.020\ 3B + 0.023\ 3C - 0.001\ 5AB - 0.004\ 5AC + 0.005\ 5BC + 0.003\ 3A^2 - 0.045\ 7B^2 - 0.076\ 2C^2$, 具有极大值点, 可进行优化分析, 得各因子对挥发油组分的影响程度。由表 3 可见, 此项显著性不明显, 模型真实可靠。方程的决定系数 $R^2 = 0.970\ 0$, 模型的 $R^2_{Adj} = 0.931\ 5$, 表明该方程对试验的拟合程度较好, 误差较小, 该模型可用于分

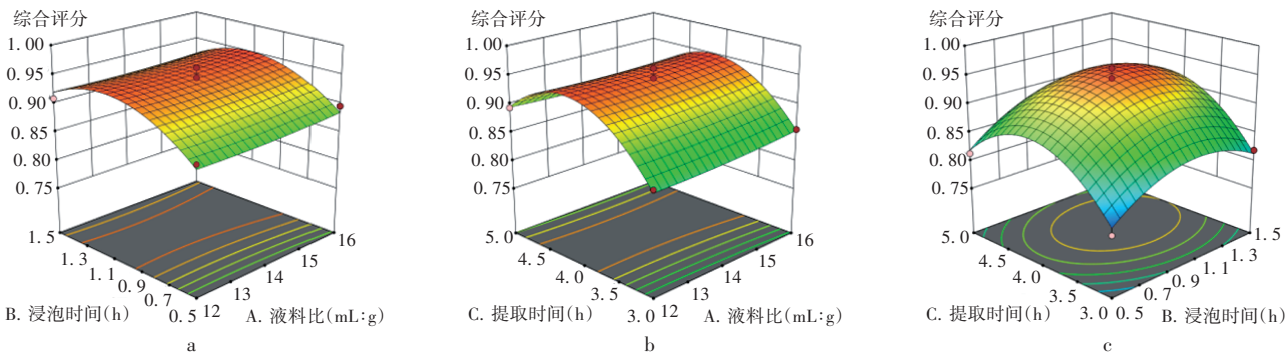
析鹅辛散挥发油的提取工艺。方差分析可得出对于鹅辛散挥发油提取影响大小顺序为提取时间 > 浸泡时间 > 料液比(见表 4)。

表 4 模型分析及方差分析结果

Tab. 4 Results of model analysis and variance analysis

项目	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	0.042 8	9	0.004 8	25.17	0.000 2
A	0.000 1	1	0.000 1	0.320 2	0.589 2
B	0.003 3	1	0.003 3	17.36	0.004 2
C	0.004 3	1	0.004 3	22.89	0.002 0
AB	9×10^{-6}	1	9×10^{-6}	0.047 6	0.833 5
AC	0.000 1	1	0.000 1	0.428 7	0.533 6
BC	0.000 1	1	0.000 1	0.640 4	0.449 9
A ²	0.000 0	1	0.000 0	0.242 7	0.637 4
B ²	0.008 8	1	0.008 8	46.54	0.000 2
C ²	0.024 4	1	0.024 4	129.38	<0.000 1
残差	0.001 3	7	0.000 2		
失拟项	0.000 8	3	0.000 3	2.00	0.256 5
纯误差	0.000 5	4	0.000 1		
总离差	0.044 1	16			

响应面交互作用分析: 选取 3 个影响因素中的任何 2 个, 分别作为 X 轴和 Y 轴, 以综合得分作为 Z 轴, 运用 Design - Expert 13 软件, 构建出对应的响应面 3D 图(见图 6)。可见, 各因素间的交互作用对鹅辛散挥发油的综合评分有一定影响。浸泡时间和提取时间对鹅辛散挥发油的综合评分的影响较强, 液料比对其影响较弱^[8]。



a. 液料比与浸泡时间 b. 液料比与提取时间 c. 浸泡时间与提取时间

图 6 两因素交互作用对鹅辛散挥发油综合评分的三维图

a. Liquid - to - solid ratio and soak time b. Liquid - to - solid ratio and extraction time c. Soak time and extraction time

Fig. 6 3D graph of the interaction of two factors on the comprehensive score of volatile oil from Exin Powder

最佳条件确定及验证:通过 Design - Expert 13 的预测的最佳提取条件为液料比 16:1(mL/g),浸泡 1.11 h,提取 4.13 h,在此条件下,综合评分预测值为 0.953 分。结合实际工业生产条件,对预测的工艺参数进行微调,最终确定挥发油最佳提取工艺为料液比 14:1(mL:g),浸泡 1 h,提取 4 h。根据上述最佳提取工艺进行验证试验,平行 3 次。结果综合评分分别为 0.941,0.951,0.957 分,平均 0.950 分, RSD 为 0.85%($n=3$),实测值与预测值的相对误差为 0.32%。提示方程与真实试验拟合较好,优选的工艺稳定可行。

3 讨论

鹅辛散对鼻窦炎的疗效是多种成分之间相互作用的结果。故选择多成分作为含量测定指标具有一定科学性。鹅不食草水蒸气蒸馏提取物中共有 26 种化合物,以香芹酚(4.99%)含量^[9-11]较高,该挥发油成分^[12]中有明显的抗炎作用。刘志刚等^[13]以豚草花粉诱导豚鼠复制过敏性鼻炎动物模型,发现鹅不食草挥发油,可减轻局部鼻黏膜病变程度。细辛味辛、性温,能有效缓解体表寒气、疏通鼻窍等症状^{[2]240,[14]},且具有抗炎、抗变态反应的作用^[15-18]。其挥发油主要成分为甲基丁香酚(即丁香酚甲醚),能通过上调 AQP5 表达,减轻鼻黏膜腺体水肿、抑制分泌物增多,从而缓解变应性鼻炎引起的鼻痒、喷嚏和流涕等症状^[19-20]。综合上述结论,选择挥发油提取率、细辛中丁香酚甲醚和鹅不食草中香芹酚作为评价指标对提取工艺进行优化,既可兼顾指标间的协同作用,又符合中医用药的整体观念。

对于某个指标,熵值用于判断指标的分散程度。信息熵越小,分散程度越大,该指标对综合评价的影响越大,即权重越大^[3]。应用熵权法多指标评价可使分析更全面、科学。高效气相色谱图中可见,在香芹酚保留时间相近处有其他成分的存在,查阅文献可知是百里酚,且两者为同分异构体^[12]。

本研究中首先进行单因素试验,确定对结果产生主要影响的因素及水平,为响应面试验设计提供参考;响应面试验设计充分考虑各因素的交互作用,所得结果客观,且预测值与真实值较接近,可信度较好,试验精确度较高^[21]。

综上所述,该优选工艺稳定可行,可提高鹅辛散挥发油的得率及有效成分含量。

参考文献

[1] 杨艳芳,吴和珍,刘宇,等.超临界 CO_2 萃取法与水蒸气蒸馏法提取鹅不食草油的化学成分研究[J].中药材,2007,27(7):808-811.
[2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:中国医药科技出版社,2020:361.

[3] 张秀芳,张静宜,刘明松,等.基于熵权法与响应面法优化香连和胃汤挥发油提取工艺[J].中国现代应用药学,2022,39(14):1848-1855.
[4] 赵雪莲,兰建龙,杨正明,等.基于响应面和 G1-熵权法优选彝药痛风颗粒提取工艺及其药效评价[J].中草药,2022,53(12):3653-3661.
[5] 王星栋,李娟,方建国,等.基于响应面和熵权法优选黄银颗粒的提取工艺[J].医药导报,2024,43(5):778-785.
[6] LIU W, SUN WF, WU XR. Application of response surface methodology in optimization of extraction technology of Chinese medicinal material [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2014, 32(8):1960-1962.
[7] GUO ZZ, WEI B, SUN JJ, et al. Syndrome element summary and pathogenesis analysis of hepatitis B caused cirrhosis based on the information entropy[J]. World Chin Med, 2016, 11(10):2172-2175.
[8] 李华妮,郑连营,葛文静,等.正交试验、响应面法优化加味三根汤的提取工艺比较[J].中国现代中药,2019,21(8):1089-1093.
[9] 刘杰,侯惠鸣,屠万倩.鹅不食草挥发油成分的 GC-MS 分析[J].中草药,2002,33(9):20-21.
[10] 冉茂莲,何文生,梁天娇,等.鹅不食草的研究进展[J].中南药学,2019,17(11):1874-1879.
[11] 赵荣芳.鹅不食草的化学成分及药理活性研究的最新进展[J].药物资讯,2021,10(1):14.
[12] 贾晓顺,张颖颖.鹅不食草挥发油研究进展[J].山东化工,2018,47(16):66-68.
[13] 刘志刚,余洪猛,文三立,等.鹅不食草挥发油治疗过敏性鼻炎作用机理的研究[J].中国中药杂志,2005(4):53-55.
[14] 刘美婷,王连娟,孟晶,等.细辛的化学成分、药理及毒理研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(10):224-234.
[15] 刘杰,刘广学,尚明英,等.华细辛和北细辛 HPLC 特征图谱识别与抗炎靶点及抗炎成分分析[J].中国中药杂志,2020,45(6):1374-1383.
[16] 杨华,徐风,万丹,等.甲基丁香酚镇痛抗炎作用及机制研究[J].中药新药与临床,2017,28(3):292-297.
[17] 武楠,张秀丽,侯赞,等.甲基丁香酚对变应性鼻炎大鼠鼻黏膜水通道蛋白 5 的影响[J].北京大学学报(医学版),2019,51(6):1036-1041.
[18] 黄瑶,师大智,谭晓梅,等.麻黄附子细辛汤抗过敏性鼻炎有效组分的组方研究[J].中国药房,2017,28(19):2635-2638.
[19] 赵静,倪美萍,景绍君,等.离子液体顶空微萃取-气相色谱/质谱法研究细辛挥发油中的化学成分[J].时珍国医国药,2015,26(2):296-298.
[20] 邵利洁,唐方.麻黄、细辛对过敏性鼻炎大鼠作用机制的研究[J].中医药信息,2019,36(5):47-49.
[21] 郑文丽,魏艳婷,李佳佳,等.Box-Behnken 响应面法结合信息熵法优化葛根汤提取工艺[J].中国药业,2023,32(11):57-62.

(收稿日期:2024-12-27;修回日期:2025-04-26)