

## AHP-熵权法结合响应面法对艾叶煎方提取工艺研究

★ 杨芳玲<sup>1</sup> 黄诗雨<sup>2</sup> 陈丽华<sup>1</sup> 管咏梅<sup>1</sup> 占海燕<sup>3</sup> (1. 江西中医药大学现代中药制剂教育部重点实验室 南昌 330004; 2. 江西科技师范大学药学院 南昌 330013; 3. 江西省精神病院 南昌 330038)

[摘要] 目的: 通过 Box-Behnken 响应面法, 运用层次分析法 (AHP) 和熵权法 (TOPSIS) 对评价指标进行综合评分, 研究艾叶煎方的最佳提取工艺。方法: 通过单因素实验确定提取次数、提取时间、加水量的最佳水平, 结合 Box-Behnken 响应面法、AHP 和 TOPSIS 对实验数据进行综合评分, 预测艾叶煎方最佳工艺。结果: 通过 AHP 和 TOPSIS 混合加权, 异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率的加权系数分别为 0.218 5、0.218 5、0.226 9、0.336 1, 结合 Box-Behnken 响应面法确定艾叶煎方的最佳提取工艺为加水量 12 倍、提取 2 次、提取 1 h。结论: AHP-TOPSIS 结合响应面分析的综合评分既能反映数据客观性又能弥补主观性, 为艾叶煎方应用于产业化提供参考。

[关键词] AHP; TOPSIS; Box-Behnken 响应面法; 艾叶煎方; 综合评分; 提取工艺

中图分类号: R284.1 文献标志码: A DOI: 10.20141/j.0411-9584.2025.03.17

艾叶煎方载于宋代《圣济总录》卷九十页首, 由艾叶 (炒) 四两, 当归 (切, 焙) 一两, 干姜 (炮) 一两组成, 主要功效为温补肾脾、养血调经、散寒止痛等<sup>[1]</sup>, 其炮制方式右为末, 用米醋 3 升, 入药末一半, 熬成煎, 后入余药末相和为丸, 如梧桐子大。唐《新修本草》首次以药典性质规定辅料用醋需用米醋, 传统饮片醋制过程中均用米醋进行炮制, 有活血行气、调经止痛等功效<sup>[2]</sup>, 艾叶煎方中艾叶经醋制后为醋艾炭。依据艾叶煎方养血、调经止痛这一主要功效, 探究水提后活性成分, 发现其主要成分以异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 含量最多。异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 属于有机酸类天然成分<sup>[3]</sup>, 能够通过抑制环氧合酶-2 的表达来减少炎症反应<sup>[4]</sup>, 抑制炎症因子的产生; 有抑制前列腺素的合成及平滑肌收缩等作用, 通过抑制 COX-2 的活性减少前列腺素的生成, 前列腺素是引起痛经的关键因素之一, 这种抑制作用可以缓解痛经<sup>[5]</sup>; 异绿原酸类的化合物具有缓解神经痛的作用等<sup>[6]</sup>。因此, 提取工艺选择艾叶煎方中异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率为评价指标, 通过主客观相结合的方式确定其权重系数, 主观层面有层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 和专家咨询法<sup>[7-8]</sup>, 筛选最佳提取工艺。本实验选用 AHP 确定各指标的权重系数, 既考虑研究者对各项指标重要性的判断, 又系统地赋予各指标权重值, 避免了片面性; 客观分析法有主成分分析法和熵权

法 (TOPSIS), 基于实验数据选用 TOPSIS 使得评价结果更为客观合理<sup>[9-10]</sup>; 最后采用 Box-Behnken 响应面法设计艾叶煎方提取工艺, 为现代提取工艺研究及开发新制剂提供参考。

## 1 材料

### 1.1 材料与试剂

醋艾炭 (批号 230926, 产地河南)、当归 (批号 316145, 产地甘肃)、炮姜 (批号 315053, 产地云南), 以上饮片均购自江西江中中药饮片有限公司。异绿原酸 A (3, 5-O-二咖啡酰基奎宁酸批号 2450-53-5, 纯度 98%)、异绿原酸 B (3, 4-二咖啡酰基奎宁酸批号 14534-61-3, 纯度 98%)、异绿原酸 C (4, 5-二咖啡酰基奎宁酸 57378-72-0, 纯度 98%) 均购自江西佰草源生物科技有限公司。

### 1.2 实验仪器

KQ-500VDE 型双频数控超声波清洗仪 (昆山市超声仪器有限公司); 1260 Infinity II 型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); 水浴锅 (北京市永光明医疗仪器有限公司); BSA124S 型分析天平 (北京赛多利斯科学仪器有限公司); TGL-20MC 型台式高速冷冻离心机 (湖南湘鑫仪器仪表有限公司)。

## 2 方法与结果

### 2.1 异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 含量测定方法的建立

2.1.1 色谱条件 以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂; 流动相为乙腈 (B) - 0.1% 磷酸水溶液 (A),

基金项目: 江西省重大科技研发专项揭榜挂帅-关键技术类项目 (20223AAF01007); 吉安市科技计划项目 (吉财教指 [2023] 18 号)。

通信作者: 陈丽华, 教授, 博士生导师。E-mail: chly98@16.com。

占海燕, 副主任中药师。E-mail: 1786313351@qq.com。

梯度洗脱 (0~3 min, 15%B; 3~15 min, 15% → 22%B; 15~18 min, 22%B; 18~35 min, 22% → 31%B; 35~45 min, 31% → 45%B; 45~55 min, 45% → 60%B); 流速 0.8 mL/min; 柱温 15 °C; 检测波长 340 nm; 进样量为 10 μL。

2.1.2 供试品溶液制备 按 4:1:1 (g/g) 配比称取醋艾炭、当归、炮姜饮片, 将其粉碎后置圆底烧瓶中, 加 12 倍水煎煮 1 h 提取 2 次, 滤过, 将滤液浓缩至恒定量后, 冻干备用。精密称取冻干粉末 0.5 g, 置具塞锥形瓶中, 精密加入 75% 甲醇 15 mL, 称定质量, 100 Hz 超声提取 30 min, 室温下冷却, 称定补足失重, 8 000 r/min 离心 10 min, 取上清, 用 0.45 μm 微孔滤膜滤过, 即得供试品溶液。

2.1.3 对照品溶液制备 精密称定异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 对照品各 0.5 mg, 加甲醇定容至 25 mL 容量瓶, 得质量浓度分别为 200 μg/mL 的对照品贮备液。

2.1.4 系统适用性考察 取“2.1.2”供试品溶液, “2.1.3”项下对照品贮备液, 按“2.1.1”项下色谱条件进样测定, 记录色谱图, 对照品、供试品 HPLC 色谱图见图 1、图 2。结果显示, 异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 的分离度、灵敏度及理论塔板数均符合要求。

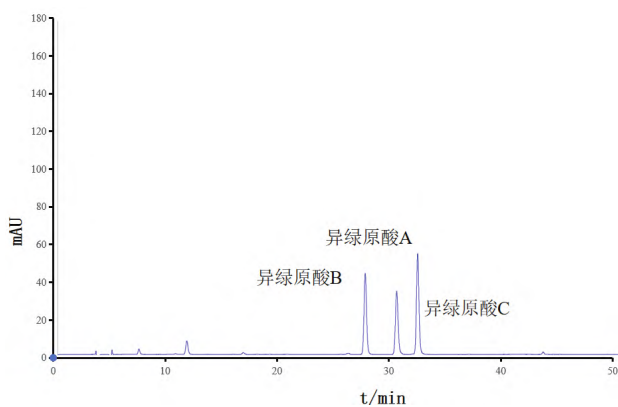


图1 混合对照品的HPLC图

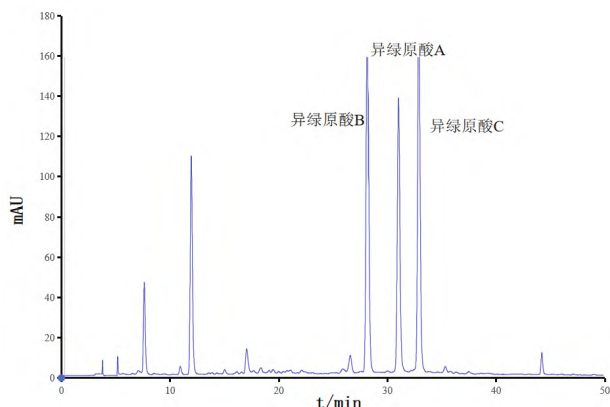


图2 艾叶煎方供试品的HPLC图

2.1.5 线性关系考察 分别精密吸取不同质量浓度的异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 对照品溶液, 按“2.1.1”项下色谱条件进样测定, 以峰面积为纵坐标 Y, 以对照品质量浓度为横坐标 X, 进行线性回归分析。得异绿原酸 A 的线性方程为  $Y=35.873X-456.35$  ( $R^2=0.999$ ), 线性范围为 0.024~0.2 mg/mL; 异绿原酸 B 为  $Y=26.753X-635.74$  ( $R^2=0.999$ ), 线性范围为 0.016~0.2 mg/mL; 异绿原酸 C 的  $Y=30.401X-31.04$  ( $R^2=0.999$ ), 线性范围为 0.032~0.2 mg/mL; 结果表明线性效果良好。

2.1.6 精密度试验 精密吸取对照品贮备液异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C, 按“2.1.1”项下色谱条件连续进样 6 针, 计算峰面积。结果表明其 RSD 分别为 0.03%、0.02%、0.02%, 表明仪器精密度良好。

2.1.7 稳定性试验 取供试品溶液, 按照“2.1.2”条件制备, 分别于 0、2、4、8、12、24、48 h 后进样, 计算供试品的含量。结果显示异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 的 RSD 值分别为 0.07%、0.07%、0.06% ( $n=7$ ), 说明供试品在 48 h 内稳定性良好。

2.1.8 重复性试验 按“2.1.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液, 按“2.1.1”项下色谱条件进样测定, 记录峰面积。以外标法计算对照品异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C 的峰面积, RSD 分别为 1.08%、1.33%、0.99% ( $n=6$ ), 表明重复性较好。

2.1.9 加样回收率试验 取已知含量的艾叶煎方提取液 6 份, 按 1:1 (m/m) 精密加入对照品溶液, 再按“2.1.1”项下色谱条件进样测定, 记录峰面积, 计算加样回收率。结果显示, 异绿原酸 B 的平均加样回收率为 93.13%, RSD 为 0.02% ( $n=6$ ); 异绿原酸 A 的平均加样回收率为 115.93%, RSD 为 0.02% ( $n=6$ ); 异绿原酸 C 的平均加样回收率为 100.70%, RSD 为 0.03% ( $n=6$ ); 表明该方法准确度良好。

## 2.2 干膏率的计算

精密吸取艾叶煎方浓缩液 25 mL, 置干燥至恒重的蒸发皿中 ( $M_1$ ), 水浴蒸干后转移置 105 °C 烘箱中干燥至恒重后取出, 置干燥器中冷却至室温, 迅速精密称定质量 ( $M_2$ )。干膏率 (%) = [恒重后蒸发皿重量 ( $M_1$ ) - 恒重前蒸发皿重量 ( $M_2$ )] / 原药材折算量 (g/mL), 计算干膏率。

## 2.3 提取工艺的优化

2.3.1 AHP 确定权重系数 AHP 是定性与定量相结合的决策分析方法, 依据决策者经验判断各衡量目标能否实现标准之间的相对重要程度, 合理地给

出每个决策方案的各标准的权数,利用权数求出各方案的优劣次序<sup>[11]</sup>。

(1) 构建矩阵 根据君臣佐使原则,兼顾制备工艺稳定性,选择艾叶煎方中君药的有效成分为含量测定指标,异绿原酸 A=异绿原酸 B=异绿原酸 C>干膏率为评价标准,赋予各指标相对评分<sup>[12]</sup>,根据 AHP 理论判断矩阵 1-9 标度法,获取各指标的相对评分<sup>[13]</sup>。参考 AHP 九级标度法判断矩阵表 1,根据公式(1)构建判断矩阵 A,数据如表 2,用公式  $b_{cd}$  表示因素 c 相对于因素 d 的比较结果。

$$\text{公式(1)} A = (b_{cd})_{n \times n} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

表1 AHP构建判断矩阵标度法

标度	含义
1	表示 2 个因素相比,具有相同重要性
3	表示 2 个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示 2 个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示 2 个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示 2 个因素相比,前者比后者极端重要
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 c 与因素 d 的重要性之比为 $b_{cd}$ ,那么因素 d 与因素 c 重要性之比为 $b_{dc} = 1/b_{cd}$

表2 对各指标的判断优先矩阵

评价指标	干膏率	C	B	A
干膏率	1	2	2	2
异绿原酸 C	1/2	1	1	1
异绿原酸 B	1/2	1	1	1
异绿原酸 A	1/2	1	1	1

(2) 计算权重和一致性检验 依据初始权重系数和归一化权重系数,代入相应方程计算指标因素及是否通过一致性检验<sup>[14-15]</sup>。由表 3 可知异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率权重系数分别为 0.2、0.2、0.2、0.4。一致性比例因子 CI 为 0,一致性比率 CR 为 0,即认为判断矩阵具有满意的一致性,表明权重系数合理有效,可用在下一步提取工艺优选的综合评分中,该结果与专家的经验性权数相比较准确性更大。

表3 对评价指标的AHP权重

特征向量	权重值/%	最大特征值	CI 值	RI	CR
干膏	1.6	40.000			
C	0.8	20.000	4	0	0.89
B	0.8	20.000			
A	0.8	20.000			

注:随机一致性指标(radom index, RI)。

2.3.2 TOPSIS 确定权重 熵权 TOPSIS 法是一种融合了熵值法与 TOPSIS 法的综合评价方法,不依赖决策者主观,更具客观性<sup>[16]</sup>。按照数据标准化、原始

数据转换为概率、确认指标熵值等计算方法,反映指标成分对综合评价的影响<sup>[17]</sup>。具体步骤为首先建立原始评价指标,将结果采用 SPASSAU 软件分析,其次将原始数据进行“标准化”处理,标准化值的计算公式为  $X = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,最后用“熵权 TOPSIS”对各指标进行赋值,得出异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率的权重系数,信息熵计算权重结果为 0.260 8、0.260 1、0.276 9、0.202 2。  
2.3.3 混合加权法 为了降低单一方法存在的偏颇,使结果更加客观、全面,选用 AHP-TOPSIS 组合赋权,使其合理涵盖各指标信息,将各自得到的权重系数混合加权。依据公式计算得到异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率的权重系数分别为 0.218 5、0.218 5、0.226 9、0.336 1。

$$M = \frac{\Omega_{AHP} \times \Omega_{\text{熵权 TOPSIS}}}{\sum \Omega_{AHP} \times \Omega_{\text{熵权 TOPSIS}}}$$

注:  $\Omega_{AHP}$  为 AHP 法计算的权重系数;  $\Omega_{\text{熵权 TOPSIS}}$  为 TOPSIS 计算的权重系数。

2.3.4 响应面分析 通过查阅文献资料及单因素实验考察,优选出料液比、提取时间、提取次数三因素的最佳条件;以此设计 Box-Behnken 中心组合 17 次试验,将 HPLC 检测的异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、干膏率为响应值;并将其与“2.3.3”混合加权的权重系数进行数据处理得出综合评分。

综合评分  $(Y) = (\text{异绿原酸 B 质量分数} / \text{异绿原酸 B 质量分数最大值} \times 0.218 5 + \text{异绿原酸 A 质量分数} / \text{异绿原酸 A 质量分数最大值} \times 0.218 5 + \text{异绿原酸 C 质量分数} / \text{异绿原酸 C 质量分数最大值} \times 0.226 9 + \text{干膏率质量} / \text{干膏率质量最大值} \times 0.336 1) \times 100\%$ 。

## 2.4 艾叶煎方的单因素实验考察

2.4.1 料液比对提取工艺影响<sup>[18]</sup> 依据前期查阅文献及预实验,对同一处方量不同加水倍数进行单因素考察,固定提取时间为 90 min,提取 2 次,依次称取 5 批相同处方量药材,考察提取工艺料水比(g/mL)分别为 1:6、1:8、1:10、1:12、1:14 计算出膏率,1:10 时出膏率最大,因而选择料液比 1:8~1:12 进行响应面设计。见图 3。

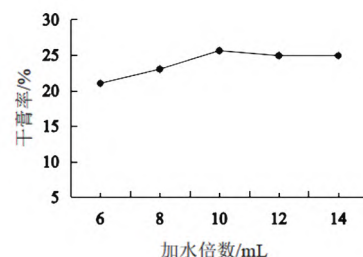


图3 料液比的单因素实验结果

2.4.2 提取时间对艾叶煎方的影响<sup>[19-20]</sup> 固定料水比为 1:10, 提取 2 次, 对同一处方量不同提取时间进行单因素考察。依次称取 5 批一个处方量药材, 加 10 倍量水, 提取 2 次, 经回流提取 60、90、120、150 min, 得提取时间 90 min 出膏率较好, 因此选择提取时间 60~120 min。见图 4。

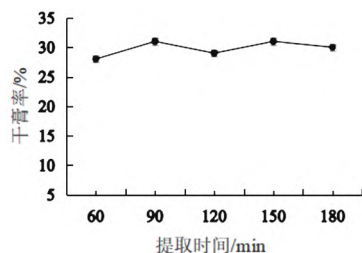


图4 提取时间的单因素实验结果

2.4.3 提取次数对提取工艺出膏率影响<sup>[21-22]</sup> 固定料液比 1:10, 浸提时间为 90 min, 提取次数 0、1、2、3 次; 提取次数影响操作成本, 次数越多, 成本越高, 且工艺用水量。见图 5。

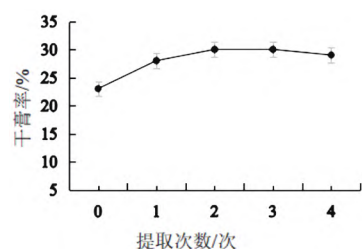


图5 提取次数的单因素实验结果

2.4.4 Box-Behnken 响应面优化提取工艺<sup>[23-24]</sup> 通过单因素实验分析结果, 设计 Box-Behnken 中心组合试验时, 采用三因素三水平设计, 得到二元回归方程, 并找出最佳工艺参数。见表 4。

表4 中心组合试验

因素	水平		
	-1	0	1
A 料液比 / (g · mL <sup>-1</sup> )	8	10	12
B 提取时间 / min	60	90	120
C 提取次数 / 次	1	2	3

2.4.5 响应面实验结果与方差分析 用软件 Design-Expert 8.0.6 进行多元回归拟合, 得到以综合评分为目标函数的二次回归方程, 建立的多元二次回归模型为: 综合评分  $Y=70.40+2.75A-3.00B-5.25C-6.00AB-2.00AC-2.50BC-2.45A^2-2.95B^2+0.050C^2$ ; 结果见表 5、6 所示。分析该模型的  $P<0.01$ , 表明该模型拟合极显著, 在统计学上是有意义的; 模型失拟项  $P>0.05$  不显著,  $R^2=0.9834$ , 表明该模型拟合良好; 校正决定系数 ( $r^2_{adj}$ ) = 0.9620, 预测决定系数 ( $r^2_{Pred}$ ) = 0.8564, 两者差值小于 0.2 该模型具有高度的显著性, 响应面变异系数 (CV) 为 1.94% (<10%), 表明本实验的可信度高; 精密度

表5 响应面试验数据

序号	A 料液比 / (g · mL <sup>-1</sup> )	B 提取时间 / min	C 提取次数 / 次	异绿原酸 A / (μg · mL <sup>-1</sup> )	异绿原酸 B / (μg · mL <sup>-1</sup> )	异绿原酸 C / (μg · mL <sup>-1</sup> )	干膏率 / %	综合评分 / 分
1	8	60	2	0.95	1.67	1.36	0.18	60
2	12	60	2	1.20	2.05	1.60	0.24	76
3	8	120	2	0.98	1.69	1.38	0.24	66
4	12	120	2	0.92	1.47	1.25	0.2	58
5	8	90	1	0.94	1.57	1.27	0.29	68
6	12	90	1	1.60	2.50	2.10	0.13	79
7	8	90	3	0.79	1.39	1.09	0.27	61
8	12	90	3	0.99	0.95	0.98	0.33	64
9	10	60	1	1.28	2.20	1.79	0.18	73
10	10	120	1	0.99	1.76	1.44	0.29	72
11	10	60	3	0.79	1.44	1.03	0.35	68
12	10	120	3	0.66	1.17	0.93	0.29	57
13	10	90	2	0.94	1.56	1.21	0.32	70
14	10	90	2	1.20	1.52	1.25	0.3	72
15	10	90	2	0.91	1.61	1.31	0.32	71
16	10	90	2	0.92	1.52	1.25	0.31	69
17	10	90	2	1.20	1.89	1.70	0.20	70

为 22.953 0 ( $>4$ ), 表明该模型合理。失拟项不显著, 说明该模型成立。

表6 综合评分的方差分析

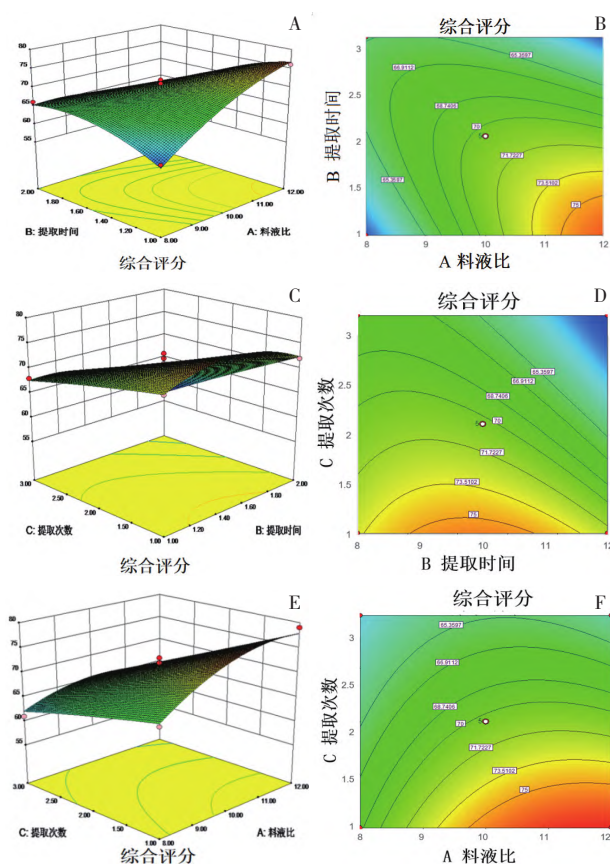
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	60.56	9	6.73	46.02	<0.0001
A 料液比	60.50	1	60.50	41.52	0.0004
B 提取时间	72.00	1	7.000	49.41	0.0002
C 提取次数	220.50	1	220.50	151.32	<0.0001
AB	144.00	1	144.00	98.82	<0.0001
AC	16.00	1	16.00	10.98	0.0276
BC	25.00	1	25.00	17.16	0.0068
A <sup>2</sup>	25.27	1	25.27	17.34	0.0026
B <sup>2</sup>	36.64	1	36.64	25.15	0.0018
C <sup>2</sup>	0.01	1	0.17	$7.22 \times 10^{-3}$	0.9346
残差	10.20	7	1.46		
失拟项	5.00	3	1.67	1.28	0.3943
纯误差	5.20	4	1.30		
总误差	61.76	16			

2.4.6 响应面模型分析与优化 根据拟合方程, 利用 Design-Expert 8.0.6 软件, 绘制不同因素对综合评分的三维响应面图, 见图 6 所示; 在一个三维空间曲面直观显示了各变量间的交互作用, 反映出其中某些因素两两相交时共同对响应值产生的影响。图 A 表明该交互项中 AB 的响应面图更陡, 说明 AB 对综合评分有显著影响, 其中图 B 比图 D、图 F 的等高线更密集, 说明其两因素间交互作用更强; 其结果与表 6 相符合。

## 2.5 优化预测艾叶煎方提取工艺最佳条件

依据响应面可知, Design-Expert 8.0.6 软件得艾叶煎方最佳提取工艺为提取次数 1.16 次、提取时间 66.69 min、加水量 12 倍, 根据实际生产, 最终优化的艾叶煎方提取工艺为提取数 2 次、提取时间 60 min、加水量 12 倍。

2.5.1 验证试验 依据最佳工艺, 按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液, 按“2.1.1”项下条件进行检测, 通过最优工艺参数进行 3 次验证实验得出平均综合评分为 79.40 分, RSD 为 1.25% ( $n=3$ )。综合评分与模型预测值 80.40 分接近, 表明优化后工艺稳定性较好、重复性较高, 所建模型具有良好的预测性。



注: A. 因素A与因素B的交互作用响应面图; B. 因素A与因素B的交互作用等高线; C. 因素C与因素B的交互作用响应面图; D. 因素C与因素B的交互作用等高线; E. 因素C与因素A的交互作用响应面图; F. 因素C与因素A的交互作用等高线。

图6 多因素交互对艾叶煎方提取工艺综合评分的影响

## 3 讨论

通过数据库检索, 将与艾叶配伍的组方进行筛选, 共发掘 226 个组方, 其中 17 个组方与艾叶配伍的是药食同源药材, 配伍频次在 5 以上有 21 味既是食物也是药物的中药, 通过高频次的配伍达到相须相使, 可知其功效主要为散寒止痛、温经等, 主治妇科类疾病。艾叶具有较好的营养和医疗价值<sup>[25-26]</sup>, 加之艾叶本身价廉易得、疗效突出, 深入挖掘能使其疗效充分发挥, 有利于大健康产业可持续发展及多样化<sup>[27]</sup>。本文所选艾叶煎方源于中医药古籍, 主要治疗冷劳、心腹疼痛、或时泄痢, 兼治妇人下经冷, 带下, 临床应用为丸剂。通过单因素考察, 选用多维准则决策的数学方法 TOPSIS 与 AHP, 互补组合进行 Box-Behnken 设计, 以此确定艾叶煎方的最佳提取工艺, 为后续艾叶煎方的制剂研究及工业化生产提供参考<sup>[28]</sup>。

### 参考文献

- [1] 张晓霞, 刘瑞新, 王亚旭, 等. 艾叶的炮制历史沿革及现代研究进展 [J]. 中国药房, 2023, 34(6): 758-762.
- [2] 李昱, 苏联麟, 季德, 等. 炮制辅料醋的历史沿革及现代研究进展 [J].

- 中国中药杂志, 2021, 46(16): 4083-4088.
- [ 3 ] 周凡, 李淑萍, 贺飞, 等. 一测多评法测定藏茴香中异绿原酸 A、异绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、异绿原酸 B、异绿原酸 C[J]. 药物评价研究, 2023, 46(4): 703-710.
- [ 4 ] SILVA N C, ALVAREZ A M, DEOCESANO-PEREIRA C, et al. Catalytically active phospholipase A2 myotoxin from *Crotalus durissus terrificus* induces proliferation and differentiation of myoblasts dependent on prostaglandins produced by both COX-1 and COX-2 pathways[J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 187: 603-613.
- [ 5 ] XU Q, WANG M M, LI X Y, et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities and action mechanisms of exopolysaccharides from *Lactiplantibacillus plantarum* Z-1[J]. *Food Biosci*, 2024, 62: 105247.
- [ 6 ] BAGDAS D, OZBOLUK H Y, CINKILIC N, et al. Antinociceptive effect of chlorogenic acid in rats with painful diabetic neuropathy[J]. *J Med Food*, 2014, 17(6): 730-732.
- [ 7 ] 任爱农, 卢爱玲, 田耀洲, 等. 层次分析法用于中药复方提取工艺的多指标权重研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 372-374.
- [ 8 ] 彭紫薇, 杨艳玲, 李花花, 等. 基于网络药理学结合层次分析法-熵权法和正交实验研究正骨洗药提取工艺 [J]. 中国新药杂志, 2024, 33(17): 1813-1823.
- [ 9 ] 李莉, 杨先启, 陈军, 等. 基于响应面法结合熵权法优化浙贝母(灰贝)加工工艺 [J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(14): 1965-1971.
- [ 10 ] 叶喜德, 施林峰, 胡振宇, 等. 基于层次分析-熵权法结合响应面法优化麸炒芡实炮制工艺 [J]. 中药材, 2024, 47(5): 1141-1146.
- [ 11 ] 张荣华, 靳梓微, 邱智东, 等. 基于基准关联度和 AHP-熵权法优化经典名方达原饮的提取工艺 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(3): 612-615.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] 黄露, 徐顶巧, 乐世俊, 等. 基于层次分析-熵权法和网络药理学的野马追质量标志物研究 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(21): 5545-5554.
- [ 14 ] 冯利梅, 陈艳琰, 乐世俊, 等. 基于层次分析-熵权法的中药质量标志物量化辨识方法研究——以芍药甘草汤为例 [J]. 药学报, 2021, 56(1): 296-305.
- [ 15 ] 许伟明, 胡镜清, 江丽杰, 等. 层次分析法及其改良在确定辨证标准诊断指标权重中的应用 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(10): 2027-2031.
- [ 16 ] 倪嘉挺, 王蕊娇, 董培良, 等. 基于熵权法结合 Box-Behnken 响应面法优化通窍活血汤提取工艺 [J]. 中药材, 2024, 47(9): 2302-2306.
- [ 17 ] 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.
- [ 18 ] 包华音, 刘杨. 单因素考察和正交试验结合优选黄芪药材蛋白质提取工艺 [J]. 辽宁中医杂志, 2014, 41(10): 2190-2193.
- [ 19 ] 管咏梅, 陶颖, 邹成玉, 等. 苦参-黄柏药对的提取工艺研究 [J]. 中国药房, 2024, 35(7): 793-800.
- [ 20 ] 王文通. 艾附暖宫颗粒的制备工艺及质量标准研究 [D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2021.
- [ 21 ] 陈晶, 王炳然, 张森, 等. 基于 Box-Behnken 响应面法结合层次分析法-熵权法优化米炒人参炮制工艺 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(6): 1384-1388.
- [ 22 ] 刁元元, 邱智东, 张宇航, 等. 基于基准关联度和 FAHP-熵权法综合优化经典名方保元汤提取工艺 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(4): 887-891.
- [ 23 ] 罗美美, 朱伟豪, 郑琳玉, 等. Box-Behnken 响应面法优化竹沥半夏炮制工艺 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(2): 352-355.
- [ 24 ] 樊箫雨, 杨凯丽, 李花花, 等. Box-Behnken 响应面结合基准关联度和 AHP-熵权法优化经典名方半夏泻心汤的提取工艺 [J]. 中草药, 2022, 53(21): 6716-6725.
- [ 25 ] 周洁, 李晔, 刘洋, 等. 不同产地艾叶中主要化学成分的研究现状分析 [J]. 中草药, 2022, 53(15): 4882-4894.
- [ 26 ] 王巍, 杨武杰, 韩宇, 等. 正交实验结合 AHP 和 GA-BP 神经网络优化益黄散醇提工艺 [J]. 中国药房, 2024, 35(3): 327-332.
- [ 27 ] 张婉萍, 张志远, 张冬梅, 等. 艾叶提取物的功效性能 [J]. 食品与机械, 2023, 39(4): 37-43.
- [ 28 ] 朱芸芸, 郭璐娟, 陈乐, 等. 艾叶在医药领域的应用概况 [J]. 中国现代中药, 2023, 25(6): 1358-1365.

(收稿日期: 2024-10-09) 编辑: 齐娅汝

(上接第 63 页)

- 3(5): 321-331.
- [ 20 ] NIEBERGALL L J, JACOBS R L, CHABA T, et al. Phosphatidylcholine protects against steatosis in mice but not non-alcoholic steatohepatitis[J]. *Biochim Biophys Acta*, 2011, 1811(12): 1177-1185.
- [ 21 ] PURI P, BAILLIE R A, WIEST M M, et al. A lipidomic analysis of nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Hepatology*, 2007, 46(4): 1081-1090.
- [ 22 ] CAI Z N, MAI K S, AI Q H. Regulation of hepatic lipid deposition by phospholipid in large yellow croaker[J]. *Br J Nutr*, 2017, 118(12): 999-1009.
- [ 23 ] 杨亚莉, 张志强, 魏毅强. 水飞蓟宾联合多烯磷脂酰胆碱治疗非酒精性脂肪肝临床研究 [J]. 新中医, 2020, 52(19): 81-84.
- [ 24 ] 陈杨, 夏磊, 龙华. 参泽舒肝胶囊联合多烯磷脂酰胆碱胶囊治疗非酒精性脂肪肝的临床研究 [J]. 转化医学杂志, 2022, 11(2): 110-113.
- [ 25 ] 陈靓, 黄强, 刘三海, 等. 五苓散联合多烯磷脂酰胆碱对非酒精性脂肪肝病的临床观察 [J]. 中华中医药学刊, 2020, 38(6): 190-193.
- [ 26 ] QIU H, JIN M, LI Y, et al. Dietary lipid sources influence fatty acid composition in tissue of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) by regulating triacylglycerol synthesis and catabolism at the transcriptional level[J]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0169985.

(收稿日期: 2024-09-26) 编辑: 宋楠楠