

# 食叶草多酚类物质的提取、精制工艺研究

左梦微,任顺成\*,王凤成

河南工业大学 河南省天然色素制备重点实验室,河南 郑州 450001

**摘要:**为探究食叶草多酚类物质的潜在价值,通过单因素和响应面试验,对食叶草多酚类物质的提取工艺进行优化,并依次采用大孔吸附树脂、聚酰胺对其进行富集和精制。结果表明:当提取温度 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、料液比 $1:33\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、提取液乙醇体积分数为 $78\%$ 时,食叶草多酚类物质得率最高,达到 $(22.73\pm 0.13)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,提取液冻干后测得粗提物的多酚类物质纯度为 $7.20\%\pm 0.51\%$ ;通过对不同极性的大孔树脂进行筛选,发现AB-8型树脂吸附、解吸效果最好,采用该树脂对食叶草多酚类物质富集后,多酚类物质纯度达到 $34.28\%\pm 2.86\%$ ;进一步经过聚酰胺精制,用体积分数 $40\%$ 乙醇为洗脱液对其进行洗脱,多酚类物质纯度最高达到 $53.57\%\pm 4.31\%$ ,与粗提物相比,食叶草多酚类物质纯度提高了 $7.3$ 倍。高效液相色谱分析表明大孔吸附树脂和聚酰胺对食叶草多酚具有较好的富集、精制和粗分效果。本研究优化了食叶草多酚类物质提取工艺,有效实现多酚类物质的精制,为拓展食叶草的应用提供了参考依据。

**关键词:**食叶草;植物多酚;大孔树脂;聚酰胺树脂

中图分类号:TS201.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2023)06-0036-08

DOI:10.16433/j.1673-2383.2023.06.005

## Extraction and refining technology of polyphenols from edible dock

ZUO Mengwei, REN Shuncheng\*, WANG Fengcheng

Henan Provincial Key Laboratory of Natural Pigment Preparation, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

**Abstract:** To explore the potential value of polyphenols in edible dock, in this study, single-factor and response surface experiments were carried out to optimize the extraction of polyphenols from edible dock, and macroporous adsorption resin and polyamide were used to enrich and refine them. The results showed that when the extraction temperature was  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the ratio of solid to liquid was  $1:33\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , and the volume fraction of ethanol was  $78\%$ , the content of polyphenols was the highest, which could reach  $(22.73\pm 2.73)\text{ mg/g}$ . After freeze-drying, the polyphenol purity of the crude extract was  $7.20\%\pm 0.51\%$ . By screening of macroporous resins of different polarity, it was found that AB-8 resin had the best adsorption and desorption effect. After the enrichment of polyphenols by this resin, the purity of polyphenols reached  $34.28\%\pm 2.86\%$ , the polyphenols was further refined and eluted with  $40\%$  ethanol. The highest purity of polyphenols was  $53.57\%\pm 4.31\%$ . Compared with the crude extract, the purity of polyphenols was  $7.3$  times higher. Further analysis by high performance liquid chromatography (HPLC) showed that the macroporous adsorbent resin and polyamide had good enrichment, refining and crude separation effects on the polyphenols of the edible dock. In this study, the extraction process of polyphenols was optimized, and the refining

收稿日期:2023-07-14

基金项目:河南省重点研发专项(221111112000);河南工业大学自科创新基金支持计划(2022ZKCJ16)

作者简介:左梦微(1998—),女,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为食品营养与健康。

\*通信作者:任顺成,博士,教授,E-mail:sren@163.com。

of polyphenols was realized effectively, which provided a reference for expanding the application of the edible dock.

**Key words:** edible dock; plant polyphenol; macroporous adsorbent resin; polyamide

食叶草 (*Rumex patientia* L. × *Rumex tian-schanicus* A. LOS) 为蓼科酸模属多年生草本植物,又名蛋白草,是我国科研人员将酸模鲁梅克斯 *Rumex* K-1 和巴天酸模杂交,多次选育而得的新植物品种<sup>[1-2]</sup>,且对人体健康造成的潜在风险较低<sup>[3]</sup>,2021 年被国家卫生健康委员会认定为新食品原料<sup>[4]</sup>,市场应用前景广阔。

研究表明,食叶草蛋白质含量达到 36.8%,同时含有丰富的氨基酸、矿物质等营养成分以及酚类、黄酮类、超氧化歧化酶等活性成分<sup>[5]</sup>,随着对食叶草活性成分的进一步研究,其食用和营养价值得到了广泛关注。其中食叶草多酚类物质是重要的功能性成分之一,多酚类物质是具有苯环并结合多羟基结构的化合物<sup>[6]</sup>,具有抗菌<sup>[7]</sup>、抗氧化<sup>[8]</sup>、抗癌<sup>[9]</sup>和抗心血管疾病<sup>[10]</sup>等功效,广泛应用于食品、药品、化妆品等领域。李宪秀等<sup>[11]</sup>研究发现,食叶草水提物中总酚含量为  $11.35 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且总酚含量与对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用成正比,具有良好的抗氧化能力和降血糖潜能。

目前对食叶草的研究主要在种植、饲料<sup>[12]</sup>以及营养成分分析<sup>[13]</sup>等方面,鲜有研究多酚类物质的提取工艺优化及精制方法的报道,食叶草多酚类物质存在提取效率低,含有多糖、蛋白等杂质的问题,限制了其开发和利用。多酚类物质常用的提取方法是有机溶剂萃取法,优化提取条件可有效提高其得率<sup>[14]</sup>,大孔树脂和聚酰胺树脂可对活性物质进行精制,除去粗提物中的杂质<sup>[15]</sup>,使极性不同的物质得到分离,达到理想的粗分效果<sup>[16]</sup>,进一步提高多酚纯度<sup>[17-18]</sup>。

为探究食叶草多酚类物质的营养价值,开发食叶草功能性食品,本研究设计单因素和 Box-Behnken 响应面试验,对食叶草多酚类物质提取工艺进行优化,依次通过大孔树脂、聚酰胺对多酚类物质富集、精制,除去多糖、蛋白等杂质,进一步提高多酚类物质纯度,同时利用 HPLC 对精制后的多酚类物质进行分析,为后续食叶草多酚类物质的定性定量分析及生物活性的相关研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

食叶草粉:河南君道食叶草园区运营管理有限公司;福林酚(>99.5%):上海麦克林生化科技有限公司;聚酰胺树脂(100~200目):台州市路桥四甲生化塑料厂;没食子酸(>95%):上海源叶生物科技有限公司;甲醇、乙酸、乙腈(色谱纯),大孔树脂(X-5、AB-8、NKA-9):新丰化验器材有限公司;其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

FA1004 电子分析天平:上海上平仪器公司;PHS-3C 雷磁酸度计:上海仪电科学仪器股份有限公司;MVS-1 旋涡混合器:北京金北德工贸有限公司;TDL-5A 台式低速离心机:江苏省金坛市医疗仪器厂;V-1600-B 紫外可见分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;SHZ-82 数显水浴恒温振荡器:金坛华峰仪器有限公司;Waters E2695 高效液相色谱仪:沃特世科技(上海)有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 原材料预处理

食叶草粉(过 60 目筛)→石油醚脱脂预处理→干燥→粉末备用。

#### 1.3.2 食叶草乙醇粗提物紫外全波长扫描

称取 1 g 食叶草粉,料液比  $1:10 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,乙醇体积分数 60%,提取 1 h,3 500 r/min 离心 15 min,加蒸馏水适量稀释上清液,进行紫外全波长扫描。

#### 1.3.3 没食子酸标准曲线的绘制

参考 Chen 等<sup>[19]</sup>的试验方法并做修改,采用福林酚显色法测定食叶草中的多酚类物质含量,以吸光度为纵坐标、没食子酸标准溶液浓度为横坐标,绘制标准曲线,从而得到线性回归方程  $Y=0.0758X+0.0238$ ,  $R^2=0.9996$ 。

#### 1.3.4 单因素试验

本试验采用溶剂萃取法,通过对时间(30、50、70、90、110 min)、温度(30、40、50、60、70 °C)、料液比( $1:10$ 、 $1:20$ 、 $1:30$ 、 $1:40$ 、 $1:50 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )和乙醇体积分数(50%、60%、70%、80%、90%)进行梯度控制,除控制影响因素外,其他一律选取最

低水平。然后将提取液以 3 500 r/min 离心 15 min, 适量稀释, 取稀释液按照上述试验方法 1.3.3 进行滴定, 根据公式(1)计算食叶草多酚类物质得率, 每组试验重复 3 次, 从而选取合适的提取条件。

$$Y = \frac{C_1 \times V_1}{m_1}, \quad (1)$$

式中:  $Y$  为食叶草多酚类物质得率,  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $C_1$  为提取液多酚含量,  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $V_1$  为提取液体积, mL;  $m_1$  为食叶草干基质量, g。

### 1.3.5 响应面试验设计

在单因素的基础上, 采用 Design-Expert 8.0 试验设计软件中的 Box-Behnken 模型, 以食叶草多酚类物质得率为响应值, 优化提取工艺条件, 并将提取液旋蒸、冻干、按照试验方法 1.3.3 测定总酚含量, 并计算粗提物的多酚类物质纯度。

$$S = \frac{C_2 \times V_2}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:  $S$  为食叶草多酚类物质纯度, %;  $C_2$  为溶液总酚含量,  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $V_2$  为溶液体积, mL;  $m_2$  为食叶草多酚类物质干基质量, mg。

### 1.3.6 食叶草多酚类物质精制

#### 1.3.6.1 大孔树脂富集

选用极性不同的 3 种大孔树脂 (NKA-9、X-5、AB-8), 参考朱怡霖等<sup>[20]</sup>使用的方法对大孔树脂进行醇洗、碱洗、酸洗预处理后备用。

参考 Shen 等<sup>[21]</sup>使用的方法并稍做修改, 计算大孔树脂的吸附率和解吸率: 按照 1.3.3 的方法对粗提物溶液 (A)、吸附后滤液 (B)、解吸旋蒸液 (C) 进行滴定, 计算多酚含量, 利用下列公式计算不同树脂的吸附率和解吸率, 筛选出合适树脂对粗提物进行富集。

$$A = \frac{C_A - C_B}{C_A} \times 100\%, \quad (3)$$

$$D = \frac{C_C}{C_A - C_B} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:  $A$  为吸附率, %;  $C_A$  为粗提物中多酚类物质含量,  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $C_B$  为吸附后滤液中多酚类物质含量,  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $D$  为解吸率, %;  $C_C$  为解吸旋蒸液中多酚类物质含量,  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

通过静态吸附筛选出效果最好的大孔树脂, 参考 Ruan 等<sup>[22]</sup>使用的方法并稍做修改, 对食叶草粗提物进行富集, 选用体积分数 70% 乙醇为洗脱液, 用 2 BV 上样体积、3 BV 洗脱体积进行洗

脱, 并将洗脱液旋蒸、冻干、按照试验方法 1.3.3 测定总酚含量, 并根据公式(2)计算大孔树脂富集后的多酚类物质纯度。

#### 1.3.6.2 聚酰胺树脂精制

将大孔树脂富集后的样品进一步选用聚酰胺树脂精制。洗脱条件: 上样质量浓度为  $6 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、上样体积 1 BV、洗脱体积 6 BV、洗脱液为体积分数 40% 乙醇, 当食叶草多酚类物质充分吸附于树脂后, 先经去离子水洗去未能完全吸附的酚类物质以及一些水溶性杂质后进行洗脱, 将洗脱液按照洗脱体积 1、1.5、1.5、2 BV 分开收集得到大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制组分 I、II、III、IV, 精制工艺流程见图 1, 并将其旋蒸、冻干, 按照试验方法 1.3.3 测定总酚含量, 并根据公式(2)计算大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制后的多酚类物质纯度。

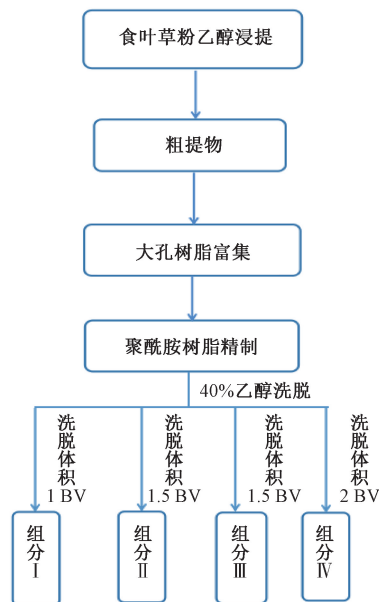


图 1 食叶草多酚类物质精制工艺流程

Fig. 1 Flow chart of refining process of polyphenols from edible dock

#### 1.3.7 高效液相色谱测定

##### 1.3.7.1 样品溶液制备

取经粗提、大孔树脂富集、大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制的组分 I、II、III、IV, 配制  $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  的食叶草多酚类物质溶液, 经  $0.22 \mu\text{m}$  滤膜过滤后进行测定。

##### 1.3.7.2 色谱条件

采用 Inertsil ODS-3 C18 色谱柱 ( $4.6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}, 5 \mu\text{m}$ ), 进样量  $20 \mu\text{L}$ , 柱温  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , 检测波长  $280 \text{ nm}$ <sup>[23]</sup>。流动相 A、B 分别为色谱纯的

2%乙酸水溶液和 1%乙酸乙腈溶液,洗脱流速为  $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,梯度洗脱:0~5 min,95% A; >5~15 min,65% A; >15~20 min,55% A; >20~30 min,45% A; >30~40 min,0% A。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫外全波长扫描

由图 2 可知,食叶草多酚类物质粗提物在 200~400 nm 范围内有特征吸收峰,研究表明,酚酸一般在 260~330 nm 范围内有特征吸收峰,不同类型的黄酮类化合物在 I 带(300~400 nm)和 II 带(240~280 nm)会出现不同的紫外吸收峰<sup>[24]</sup>,初步推测食叶草粗提物中含有多酚类活性物质。

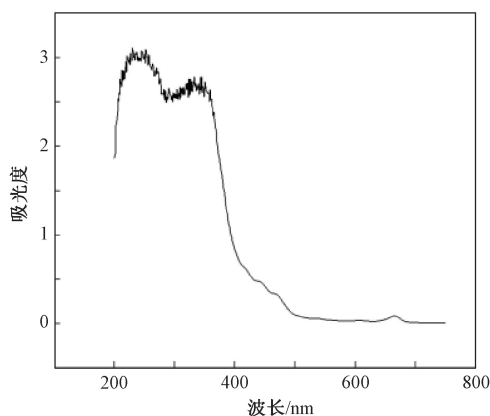


图 2 食叶草粗提物紫外全波长扫描

Fig. 2 UV full wavelength scanning of crude extracts from edible dock

### 2.2 单因素试验

#### 2.2.1 提取时间对食叶草多酚类物质得率的影响

提取时间对食叶草多酚类物质得率的影响见图 3(a),其得率随着提取时间的延长先提高,在 50 min 时达到最大值,而后随着时间的延长,出现下降的趋势。这可能是随着提取时间的增加,多酚的分子结构被破坏,稳定性降低,发生降解<sup>[25]</sup>,从而一定程度上影响了多酚类物质得率。另外提取时间对食叶草多酚类物质得率影响并无显著性差异,因此选用时间 50 min 为提取条件。

#### 2.2.2 提取温度对食叶草多酚类物质得率的影响

温度对食叶草多酚类物质得率的影响见图 3(b),其得率先随温度的升高而升高,在温度为

40 °C 时达到最大值,而后呈下降的趋势。推测是由于温度升高,多酚的稳定性降低,热敏性成分被破坏或者氧化<sup>[26]</sup>,导致多酚类物质得率下降。因此选用 30~50 °C 为响应面优化区间。

#### 2.2.3 乙醇体积分数对食叶草多酚类物质得率的影响

乙醇体积分数对食叶草多酚类物质得率的影响见图 3(c)。随着提取剂乙醇体积分数的增大,其得率呈现先升高后下降的趋势,在提取液乙醇体积分数为 80% 时达到最高。推测是乙醇体积分数 80% 时与多酚类物质极性相似,更利于其溶解,而乙醇体积分数的进一步增大,导致脂溶性杂质含量升高<sup>[26]</sup>,多酚类物质得率相应下降。因此,选用乙醇体积分数 60%~80% 为响应面优化区间。

#### 2.2.4 料液比对食叶草多酚类物质得率的影响

料液比对食叶草多酚类物质得率的影响见图 3(d)。随着料液比的减小,其得率呈现出先升高逐步平稳的趋势,随着溶剂比例的加大,提取的活性物质逐渐增加,在料液比  $1:40 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时基本浸提完全。随后料液比继续减小,多酚增加不明显,其他杂质可能继续溶出,使多酚的比例在两相中相对减少<sup>[25]</sup>,同时料液比的减小也会造成试验材料的浪费,因此,选用  $1:20 \sim 1:40 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  为响应面优化区间。

### 2.3 响应面试验

根据单因素试验结果,设定存在显著性差异的影响因素提取温度(A)、料液比(B)、乙醇体积分数(C)为试验因素,食叶草多酚类物质得率为响应值,进行三因素三水平响应面试验,进一步优化提取工艺。试验因素及水平编码见表 1。

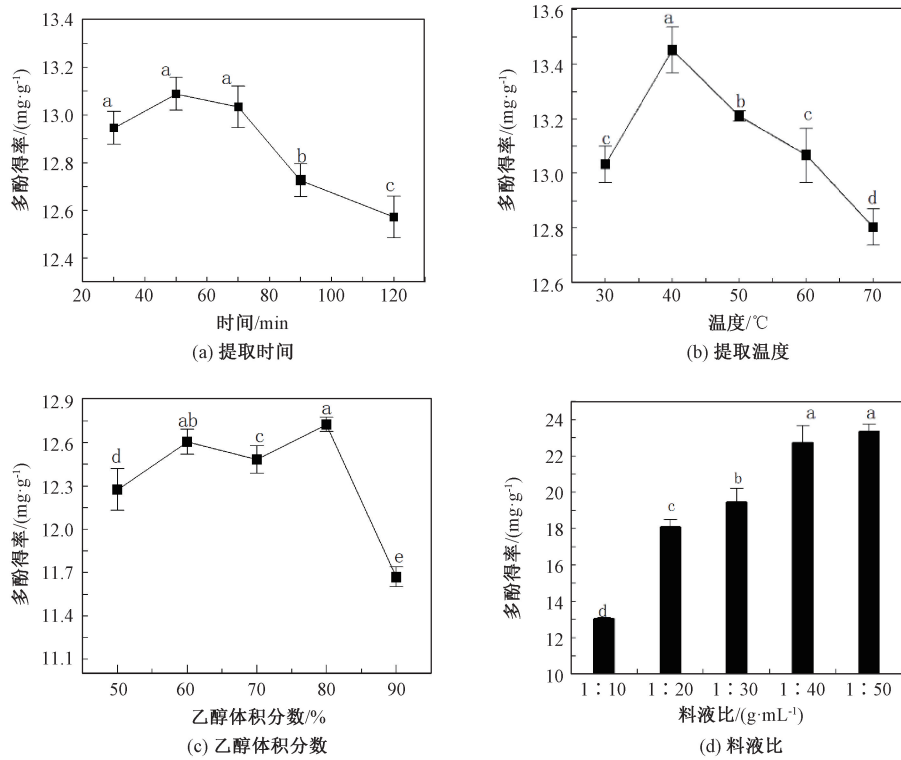
表 1 响应面试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of the response surface test

因素	编码水平		
	-1	0	1
A 提取温度/°C	30	40	50
B 料液比/( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	20	30	40
C 乙醇体积分数/%	70	80	90

响应面试验设计及结果见表 2,对数据进行方差分析,得到各因素回归拟合方程。

$$Y = 22.50 - 0.24A + 1.11B + 0.69C + 0.49AB + 0.025AC + 1.45BC - 0.40A^2 - 2.55B^2 - 1.23C^2$$



注:不同字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

图3 各因素对食叶草多酚类物质得率的影响

Fig. 3 Effects of various factors on the yield of polyphenols in edible dock

表2 响应面试验结果

Table 2 Experimental results of response surface test

序号	A	B	C	多酚类物质得率/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
1	-1	-1	0	19.47
2	1	-1	0	17.76
3	-1	1	0	20.34
4	1	1	0	20.61
5	-1	0	-1	20.50
6	1	0	-1	20.20
7	-1	0	1	21.49
8	1	0	1	21.29
9	0	-1	-1	18.02
10	0	1	-1	17.70
11	0	-1	1	16.83
12	0	1	1	22.32
13	0	0	0	21.69
14	0	0	0	23.07
15	0	0	0	21.99
16	0	0	0	23.07
17	0	0	0	22.68

回归方差分析见表3,由 $F$ 可知,料液比对多酚类物质得率影响最大,其次是乙醇体积分数,提取温度对提取率的影响最小。该模型误差 $P < 0.001$ ,失拟项 $P = 0.7017 > 0.05$ ,说明可以采用该回归方程模型对提取工艺进行优化。失拟项

的 $P > 0.05$ ,也说明该三元二次回归方程与试验数据具有很好的一致性,其结果与试验值的偏差也很小,可以应用于实际试验。 $R^2 = 0.9646$ , $R^2_{\text{Adj}} = 0.9190$ ,说明该模型可以良好评估和合理预测试验结果。变异系数为2.74%,说明此方法的重复性较好。因素 $C$ 对响应值影响显著, $BC$ 、 $C^2$ 对响应值影响极显著, $B$ 、 $B^2$ 对响应值影响高度显著。结果表明,所建立的响应面模型可以对食叶草多酚类物质的提取工艺进行优化,参考响应面模型,获得最佳的食叶草多酚类物质提取的工艺参数:提取温度 $39.28\text{ }^\circ\text{C}$ ,料液比 $1:33.03\text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,乙醇体积分数为 $77.85\%$ 。根据实际情况调整为可执行的工艺参数:提取时间 $50\text{ min}$ ,提取温度 $39\text{ }^\circ\text{C}$ ,料液比 $1:33\text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,乙醇体积分数 $78\%$ ,此时的多酚类物质得率为 $(22.73 \pm 0.13)\text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,提取液冻干后测得粗提物的多酚类物质纯度为 $7.20\% \pm 0.51\%$ 。

## 2.4 多酚类物质精制

### 2.4.1 大孔树脂富集

由表4可知,树脂的吸附效果为 $\text{AB-8} > \text{NKA-9} > \text{X-5}$ ,树脂的解吸效果为 $\text{AB-8} > \text{X-5} > \text{NKA-9}$ ,弱极性 $\text{AB-8}$ 型树脂吸附和解吸效果均优于其他两种,因此,选择 $\text{AB-8}$ 树脂对食叶草中多酚

表 3 响应面试验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of response surface test

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	60.41	9	6.71	21.17	0.000 3	***
A	0.47	1	0.47	1.49	0.261 3	
B	9.88	1	9.88	31.17	0.000 8	***
C	3.79	1	3.79	11.96	0.010 6	*
AB	0.98	1	0.98	3.09	0.122 3	
AC	0.20	1	0.20	0.54	0.485 4	
BC	8.42	1	8.42	26.57	0.001 3	**
A <sup>2</sup>	0.68	1	0.68	2.14	0.186 8	
B <sup>2</sup>	27.46	1	27.45	86.59	<0.000 1	***
C <sup>2</sup>	6.33	1	6.33	19.96	0.002 9	**
残差	2.22	7	0.32			
失拟项	0.61	3	0.20	0.50	0.701 7	
R <sup>2</sup>	0.964 6					
R <sub>Adj</sub> <sup>2</sup>	0.919 0					
变异系数/%	2.74					

注: \* 表示显著 ( $P < 0.05$ ); \*\* 表示极显著 ( $P < 0.01$ ); \*\*\* 表示高度显著 ( $P < 0.001$ )。

表 4 大孔树脂静态吸附与解吸效果

Table 4 Static adsorption and desorption effect

of macroporous resin			%
树脂型号	树脂极性	吸附率	解吸率
X-5	非极性	77.81	85.30
AB-8	弱极性	80.42	86.15
NKA-9	极性	79.52	79.92

类物质进行富集。通过测定可知,粗提物经过 AB-8 大孔树脂富集后,食叶草多酚类物质纯度达到  $34.28\% \pm 2.86\%$ 。

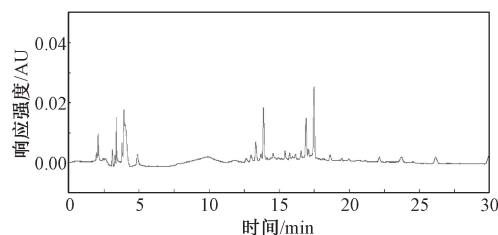
#### 2.4.2 聚酰胺树脂精制

大孔树脂富集后进一步经聚酰胺树脂精制,得到的大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制组分 I、II、III、IV,其中组分 III 多酚类物质纯度最高,为  $53.57\% \pm 4.31\%$ ,与粗提物相比,多酚类物质纯度提高了 7.3 倍。

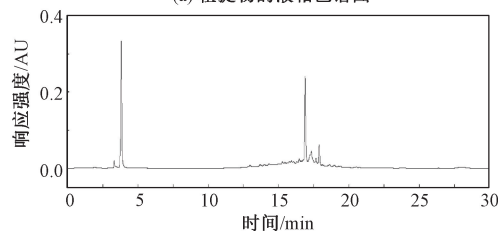
#### 2.5 高效液相色谱分析

由图 4(a) 可知,粗提物色谱图中出峰较多且各化合物响应强度较低,无法确定有效成分进行下一步的定性分析。由图 4(b) 可知:与粗提物相比,大孔树脂富集后样品色谱图中杂峰明显减少;样品在保留时间 15~20 min 内出峰较多,但仅通过大孔树脂富集样品,特征峰分离度较差。由图 4(c) 可知,通过大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制后的样品,峰形尖锐、分离良好且响应强度高,说明大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制的样品达到了良好的效果,同时组分 III 中的多酚类物质纯度最高,观察色谱图发现在组分 III 中,保留时间 3~5 min 的组分含量减少,保留时间 15~

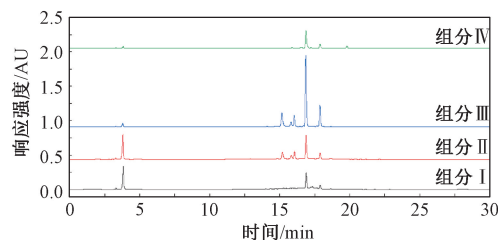
18 min 的组分含量增加,且保留时间 15.856 min 的组分含量最多,推测其为主要多酚类成分。



(a) 粗提物的液相色谱图



(b) 大孔树脂富集样品的液相色谱图



(c) 大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制样品的液相色谱图

图 4 食叶草多酚类物质的液相色谱图

Fig. 4 HPLC spectra of polyphenols from edible dock

### 3 结论

通过紫外全波长扫描,初步推断食叶草粗提物中含有多酚类物质,单因素和响应面试验得到

食叶草多酚类物质的最佳提取条件:提取温度 39 ℃、料液比 1:33 g·mL<sup>-1</sup>、乙醇体积分数 78%,此条件下的多酚类物质得率为 (22.73±0.13) mg·g<sup>-1</sup>。粗提物经过大孔树脂-聚酰胺树脂联合精制后,食叶草多酚类物质纯度达到 53.57%±4.31%。高效液相色谱分析表明,聚酰胺树脂精制效果良好,后续试验中可采用高效液相色谱-质谱联用法,对食叶草多酚类物质进行定量定性分析,研究其生物活性,为开发食叶草功能性食品奠定基础。

#### 参考文献:

- [1] 柏绿山,杨秀丽. 食叶草的研究与开发 [J]. 中国果菜, 2018, 38(9): 37-40.
- [2] 柏绿山,杨秀丽. 食叶草(蛋白草)拓展粮食新资源战略意义 [J]. 农业开发与装备, 2018(9): 53, 55.
- [3] 楼敏涵,曲雪峰,张丽婧,等. 新食品原料食叶草的安全性评估 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 3919-3926.
- [4] 国家卫生健康委,食品安全标准与监测评估司. 关于食叶草等 15 种“三新食品”的公告 [J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(6): 802.
- [5] 陈伟. 食叶草的营养价值及产品开发生研究进展 [J]. 农产品加工, 2018(14): 63-64, 67.
- [6] 梁进欣,白卫东,杨娟,等. 植物多酚的研究进展 [J]. 农产品加工, 2020(11): 85-91.
- [7] 刘婷,刘平平,胡深德,等. 广金钱草乙醇提取物不同极性部位抗氧化抗菌活性研究 [J]. 农产品加工, 2023(15): 19-23, 28.
- [8] VARGA E, BECSEK E, BARTHA S G, et al. Determination of polyphenols and *in vitro* antimicrobial and antioxidant activity of *Calluna vulgaris* (L.) hull [J]. *Biologia futura*, 2021, 72(2): 251-256.
- [9] LY H T, TRUONG T M, NGUYEN T T H, et al. Phytochemical screening and anticancer activity of the aerial parts extract of *Xanthium strumarium* L. on HepG2 cancer cell line [J]. *Clinical phytoscience*, 2021, 7(1): 14.
- [10] 郭琳娜,孙静,崔传珏,等. 茶多酚 EGCG 通过 SREBP2/LDLR 通路调节 HepG2 细胞中的 LDL 摄取 [J]. 中国分子心脏病学杂志, 2018, 18(4): 2581-2584.
- [11] 李宪秀,何涛,杨帆,等. 食叶草的营养活性成分含量及生物活性分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 307-315.
- [12] 岳莉. 响应面法优化食叶草饲料添加剂处方与工艺 [J]. 中国饲料, 2022(18): 18-21.
- [13] 刘昕桐,郭海云,赵鑫燕,等. 食叶草营养成分分析及对 SD 大鼠尿酸的影响 [J]. 食品研究与开发, 2023, 44(13): 47-52.
- [14] IGLESIAS-CARRES L, MAS-CAPDEVILA A, BRAVO F I, et al. Optimization of a polyphenol extraction method for sweet orange pulp (*Citrus sinensis* L.) to identify phenolic compounds consumed from sweet oranges [J]. *PLoS one*, 2019, 14(1): e0211267.
- [15] JIN X, LIU M Y, CHEN Z X, et al. Separation and purification of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) from green tea using combined macroporous resin and polyamide column chromatography [J]. *Journal of chromatography B*, 2015, 1002: 113-122.
- [16] LI A F, SUN A L, LIU R M, et al. An efficient preparative procedure for main flavonoids from the peel of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. using polyamide resin followed by semi-preparative high performance liquid chromatography [J]. *Journal of chromatography B*, 2014, 965: 150-157.
- [17] 董心宜,陈慧慧,张宇薇,等. 大孔树脂纯化黑果腺肋花楸多酚的工艺研究 [J]. 天津农学院学报, 2022, 29(1): 19-23.
- [18] FU R M, WANG Y Y, YU F, et al. Optimization of the macroporous resin-based adsorption of apple polyphenol through response surface methodology [J]. *Toxicological & environmental chemistry*, 2016, 98(3/4): 479-491.
- [19] CHEN L Y, CHENG C W, LIANG J Y. Effect of esterification condensation on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols [J]. *Food*

- chemistry, 2015, 170: 10-15.
- [20] 朱怡霖, 张海生, 赵鑫帅, 等. 大孔树脂分离纯化横山老黑豆酚类物质 [J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(9): 103-110.
- [21] SHEN D B, LABRECHE F, WU C E, et al. Ultrasound-assisted adsorption/desorption of jujube peel flavonoids using macroporous resins [J]. Food chemistry, 2022, 368: 130800.
- [22] RUAN X, ZHAN L M, GAO X X, et al. Separation and purification of flavonoid from *Taxus* remainder extracts free of taxoids using polystyrene and polyamide resin [J]. Journal of separation science, 2013, 36(12): 1925-1934.
- [23] BEI Q, CHEN G, LIU Y, et al. Improving phenolic compositions and bioactivity of oats by enzymatic hydrolysis and microbial fermentation [J]. Journal of functional foods, 2018, 47: 512-520.
- [24] 姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 等. 植物多酚类物质研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(2): 439-444.
- [25] 许晨新, 杨海东, 张思访, 等. 响应面法优化雨花茶茶多酚提取工艺及其化学模式识别研究 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(3): 33-41.
- [26] 张波, 杨若琦, 孙红艳. 西柚皮多酚提取工艺优化及其抗氧化活性 [J]. 食品研究与开发, 2023, 44(9): 106-111.
- (责任编辑 金铁成)

(上接第8页)

- [19] WANG X, GAO A, CHEN Y, et al. Preparation of cucumber seed peptide-calcium chelate by liquid state fermentation and its characterization [J]. Food chemistry, 2017, 229: 487-494.
- [20] SUN N, WANG Y X, BAO Z J, et al. Calcium binding to herring egg phosphopeptides: binding characteristics, conformational structure and intermolecular forces [J]. Food chemistry, 2020, 310: 125867.
- [21] 宋丽, 朱临娴, 宋璐杉, 等. 钙结合卵黄高磷蛋白磷酸肽的制备及其肽钙整合物的结构表征 [J]. 食品科学, 2023, 44(6): 125-133.
- [22] QI L W, ZHANG H R, GUO Y J, et al. A novel calcium-binding peptide from bovine bone collagen hydrolysate and chelation mechanism and calcium absorption activity of peptide-calcium chelate [J]. Food chemistry, 2023, 410: 135387.
- (责任编辑 金铁成)