

引用本文: 陶娟娟, 宗绚丽, 余文华, 樊少静, 杜曼. 响应面分析法优化 AB-8 大孔树脂桑叶提取物总黄酮解吸率再生工艺研究 [J]. 离子交换与吸附, 2025, 41(3): 258-265.

Citation: TAO Juan-juan, ZONG Xuan-li, YU Wen-hua, FAN Shao-jing, DU Man. Response Surface Analysis Was Used to Optimize the Mulberry Leaf Extract of AB-8 Macroporous Resin Study on the Regeneration Process of Total Flavonoid Desorption Rate [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2025, 41(3): 258-265.

· 技术与应用 ·

文章编号: 1001-5493(2025)03-0258-08

DOI: 10.16026/j.cnki.iea.2025030258

响应面分析法优化 AB-8 大孔树脂桑叶提取物总黄酮解吸率再生工艺研究*

陶娟娟[#], 宗绚丽[#], 余文华, 樊少静, 杜曼^{**}

(劲牌研究院中药保健食品质量与安全湖北省重点实验室, 大冶 435100)

摘要: 以桑叶提取物总黄酮树脂解吸率为指标, 通过单因素试验和响应面分析法对 AB-8 大孔树脂不同再生工艺解吸桑叶提取物的工艺条件进行对比研究。考察了 AB-8 大孔树脂在不同再生清洗试剂浓度、树脂再生清洗水流速、树脂再生清洗水温等再生工艺下, 对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响, 采用 Box-Behnken 试验设计方法, 对影响桑叶提取物总黄酮解吸率的各因素进行显著性及交互作用分析, 最终确认 AB-8 大孔树脂解吸桑叶提取物总黄酮的最适宜工艺条件。AB-8 大孔树脂解吸桑叶提取物总黄酮的最佳再生工艺条件为: 树脂再生清洗试剂质量分数为 9%、树脂再生清洗水流速为 2 BV/h、树脂再生清洗水温度为 50 °C。经实验探索和中试验证, 该工艺具有较好的重现性。因此, 优化 AB-8 大孔树脂的再生工艺可提升解吸桑叶提取物总黄酮的稳定性。研究表明, AB-8 大孔树脂的不同再生工艺对桑叶提取物总黄酮解吸率影响显著。

关键词: 大孔树脂, 再生工艺, 桑叶提取物总黄酮, 解吸率, 响应面分析法

中图分类号: R284.2 **文献标志码:** A

1 前言

桑叶是桑科植物 *Morus alba* L. 的叶子, 广泛分布于中国、韩国和日本等国家^[1]。在中国, 桑叶主要分布在湖北、江西、广西、安徽等地^[2-4]。桑叶又称为“桑葚树叶”, 是中国农桑文明的象征, 具有极高的物用价值和食用价值。在历史的发展过程中, 桑叶积淀了丰富的文化内涵。传统中医理论认为, 桑叶具有疏散风热、清肺润燥、清肝明目的功效^[5-6]; 现代药理研究表明, 桑叶具有降血糖、降血脂等多种药理活性, 是我国主要的药食同源药材之一^[7-9]。目前已有关于桑叶提取物总黄酮提取与纯化工艺的研究, 但对 AB-8 大孔树脂不同再生工艺对桑叶

提取物总黄酮解吸率的影响的研究相对缺乏。此外, 现行国家药典质量标准对桑叶提取物中不同功能成分的质量规定也较少。

大孔树脂的来源主要有手工合成和自然形成 2 种方式^[10]。在工业化大生产中, 通常使用人工合成的树脂, 因为它在吸附中药材有效成分和稳定性方面具有优势^[11-13]。此外, 人工合成的大孔树脂在再生和综合利用方面的成本较低, 适用于生物及化学合成药物的提取和精制^[14-15]。近年来, 国内对大孔树脂性能的研究日益普遍, 主要集中在树脂吸附效率、分离纯化工艺优化以及最终产品中树脂溶剂残留等方面^[16-18]。然而, 在工业化大生产过程中, 大孔树脂的解吸方式及再生工艺对生产成本和环保

* 收稿日期: 2024-08-08

作者简介: 陶娟娟 (1987—), 女, 本科, 研究方向为植物科学与技术; 宗绚丽 (1978—), 女, 本科, 研究方向为食品工程。# 以上两人有共同贡献。

**通信作者: 杜曼, E-mail: 270406621@qq.com.

的影响显著^[19-20]。因此,本课题组以优化AB-8型大孔树脂解吸桑叶提取物总黄酮的再生工艺为目标,进一步研究AB-8型大孔树脂解吸桑叶提取物总黄酮的效率以及再生工艺,从而为AB-8型大孔树脂吸附桑叶提取物总黄酮的工业化生产试验提供数据支持。

2 实验部分

2.1 材料与仪器

主要材料与试剂:桑叶,购于湖北省药材公司(批号:20220915),由湖北省中药配方颗粒工程技术研究中心鉴定,为桑科植物的干燥叶;大孔吸附树脂(AB-8型食品级),天津市海光化工有限公司;乙醇、亚硝酸铝、硝酸钠、氢氧化钠均为分析纯。

主要仪器:T9型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;JA2003B电子天平,梅特勒托利多十万分之一天平;纯水/超纯水一体系统,默克密理博公司;R-1001VN型旋转蒸发仪,郑州长城科工贸有限公司。

2.2 实验方法

称取切碎后的桑叶药材1.0 kg,使用30倍(m/v)30%(v/v)乙醇回流提取3次,每次提取1 h,合并3次提取液,400目单联滤袋过滤后浓缩至膏状,加入2倍药材体积的纯水稀释后过AB-8型大孔树脂柱,纯水洗柱后,分别用30%和60%乙醇溶液进行梯度洗脱,回收60%乙醇洗脱液,减压浓缩至膏状,采用板式真空干燥,得到桑叶提取物总黄酮。

2.3 溶液配制

2.3.1 对照品溶液的配制及标准曲线的绘制

参考朱涵彬等^[21]的 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 显色法,稍作修改。精确量取芦丁对照品20 mg,加约40 mL甲醇至50 mL容量瓶中,超声处理30 min,使其充分溶解,放至室温,添加适量的甲醇定容至容量瓶刻度,即得对照品溶液。

精确量取对照品溶液1、2、3、4、5、6 mL,分别置于50 mL容量瓶中,各加水至12 mL,然后加10%硝酸钠溶液2 mL,摇匀后加入20%硝酸铝溶液2 mL,再次摇匀,最后添加2%氢氧化钠溶液20 mL,加纯化水定容至刻度,常温静置20 min。以相应试剂为空白,采用紫外-可见分光光度法,在500 nm波长处测定

吸光度。以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线。曲线方程为 $y=0.01387x-0.00459$, $R^2=0.9999$ ^[22]。结果表明,总黄酮(以芦丁含量计,批号:100080-202012,纯度:91.6%,中国食品药品检定研究院)的浓度与吸光度呈良好的线性关系。

2.3.2 样品制备

称取桑叶提取物样品约120 mg,置于100 mL容量瓶中,加入30% 0#原酒,摇匀后超声处理30 min,使其完全溶解,放至室温,用30% 0#原酒定容至刻度,即得样品。

2.3.3 含量测定

将2.3.2中得到的桑叶提取物总黄酮的吸光度带入相应的标准曲线即可计算出桑叶提取物总黄酮的浓度。

2.4 大孔树脂不同再生工艺影响桑叶提取物总黄酮解吸率的单因素试验

AB-8大孔树脂再生工艺:桑叶提取物溶液上柱吸附结束后,使用2~3倍树脂体积的纯化水冲洗树脂柱,对AB-8大孔树脂进行再生时,分别考察清洗试剂浓度(3%柠檬酸+3%氢氧化钠+3%盐酸、5%柠檬酸+5%氢氧化钠+5%盐酸、7%柠檬酸+7%氢氧化钠+7%盐酸、9%柠檬酸+9%氢氧化钠+9%盐酸、11%柠檬酸+11%氢氧化钠+11%盐酸)对树脂的再生效果,纯化水清洗流速(1、2、3、4、5 BV/h)对树脂的再生效果,清洗水温度(30、40、50、60、70 °C)对树脂的再生效果。

2.5 响应面分析法优化大孔树脂吸附桑叶提取物总黄酮的再生工艺

根据单因素试验结果,选取AB-8大孔树脂再生工艺对桑叶提取物总黄酮解吸含量影响最大的3个因素进行考察,在Box-Behnken试验中,采用大孔树脂再生清洗试剂浓度(A)、大孔树脂再生清洗水流速(B)、大孔树脂再生清洗水温度(C)为自变量,设定桑叶提取物总黄酮含量为响应值,进行综合对比,利用Design-Expert V8.0.6软件获取树脂最佳再生工艺条件,实验设计如表1所示。

2.6 桑叶提取物总黄酮解吸率计算

经 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 显色法测出桑叶提取物总黄酮解吸率,并在不同再生工艺条件下,计算桑叶提取物总黄酮的最佳解吸率,表

表1 响应面分析法设计因素与水平.

Table 1 Orthogonal experimental design factors and levels.

水平	再生清洗试剂浓度 (%)	再生清洗水流速 (BV·h ⁻¹)	再生清洗水温度 (°C)
-1	7% 柠檬酸+7% 氢氧化钠+7% 盐酸	2	40
0	9% 柠檬酸+9% 氢氧化钠+9% 盐酸	3	50
1	11% 柠檬酸+11% 氢氧化钠+11% 盐酸	4	60

达式为式(1)。

$$W_1 = \frac{C_1 \times V_1}{F_1} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中: C_1 为样品桑叶提取物总黄酮的浓度, mg/L; V_1 为样品提取液的体积; F_1 为样品质量, g; W_1 为桑叶提取物的总黄酮解吸率, %。

3 结果与讨论

3.1 单因素试验

3.1.1 AB-8大孔树脂再生清洗试剂浓度对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响

当AB-8大孔树脂进行再生时, 将清洗试剂固定为柠檬酸+氢氧化钠+盐酸, 设置清洗水流速为3 BV/h, 清洗水温度为50 °C, 考察在树脂再生清洗试剂质量分数分别为3%、5%、7%、9%和11%的条件下, 桑叶提取物总黄酮解吸率的变化情况。如图1所示, 当再生清洗试剂质量分数为3%、5%和7%时, AB-8大孔树脂再生后桑叶提取物总黄酮的解吸率较低, 且较首次生产使用的树脂解吸率稍低, 说明树脂内部污染物未被完全清洗干净, 此时需提高再生清洗试剂的浓度以保证树脂吸附性能。当再生清洗试剂质量分数为9%和11%时, AB-8大孔树脂解吸效果一致, 但质量分数为11%的再生清洗试剂延长了大孔树脂的再生清洗时间, 不利于工

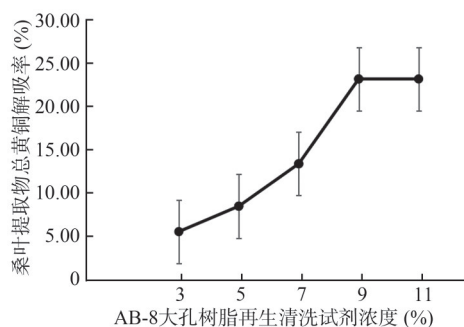


图1 大孔树脂再生清洗试剂浓度对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响.

Figure 1 Effects of the concentration of the regeneration reagent for macroporous resin on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

业化的树脂再生降本增效。故当大孔树脂再生清洗试剂质量分数为9%时, 桑叶提取物总黄酮解吸率最佳。

3.1.2 AB-8大孔树脂再生清洗水流速对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响

当AB-8大孔树脂进行再生时, 将清洗试剂固定为柠檬酸+氢氧化钠+盐酸, 考察在树脂再生清洗水流速分别为1、2、3、4、5 BV/h的条件下, 桑叶提取物总黄酮解吸率的变化情况。如图2所示, 当清洗水流速为1 BV/h时, AB-8大孔树脂桑叶提取物总黄酮解吸率较低且清洗耗时较长; 当清洗水流速为2、3 BV/h时, AB-8大孔树脂总黄酮解吸率一致; 当清洗水流速为4、5 BV/h时, 清洗水流速和压力瞬间增大造成树脂柱内部大面积挤压并形成板结, 需借助外力打散树脂使其恢复正常状态。生产中一般使用压缩空气反吹, 将树脂板结部位吹散, 但该过程操作不当易造成树脂破碎, 从而延长工业化生产中树脂的再生时间。因此, 当AB-8大孔树脂再生清洗水流速为2 B/h时, 桑叶提取物总黄酮解吸率最佳。

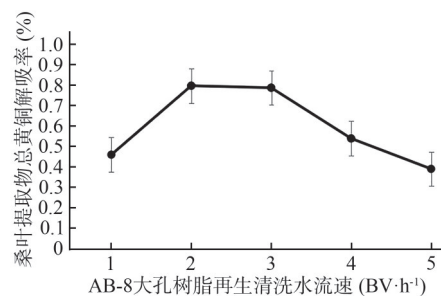


图2 大孔树脂再生清洗水流速对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响.

Figure 2 Effects of the flow rate of the regeneration cleaning water of macroporous resin on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

3.1.3 AB-8大孔树脂再生清洗水温度对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响

当AB-8大孔树脂进行再生时, 将清洗试

剂固定为柠檬酸+氢氧化钠+盐酸, 考察树脂在再生清洗水温度分别为30、40、50、60、70 °C的条件下, 桑叶提取物总黄酮解吸率的变化情况。如图3所示, 当大孔树脂再生清洗水温度为30 °C和40 °C, 大孔树脂桑叶提取物总黄酮解吸率较低且树脂后端清洗效果不显著; 当大孔树脂再生清洗水温度达到60 °C和70 °C时, 易造成树脂柱内部破损。因此, 从大孔树脂清洗效果和树脂再生质量、经济效益上考虑, 当清洗水温度为50 °C时, 桑叶提取物总黄酮解吸率最佳。

3.2 Box-Behnken 试验

3.2.1 响应面分析法结果

依据单因素试验的结果, 使用 Box-

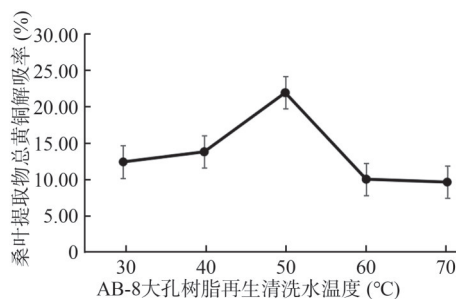


图3 大孔树脂再生清洗水温度对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响。

Figure 3 Effects of the temperature of the regeneration cleaning water for macroporous resin on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

Behnken 法进行三因素三水平响应面试验, 具体试验及结果如表2所示。

表2 大孔树脂解吸桑叶提取物总黄酮再生工艺的优化方案和结果。

Table 2 Optimization scheme and results of the regeneration process for desorbing total flavonoids from mulberry leaf extracts using macroporous resins.

试验号	树脂再生清洗试剂浓度 (%)	树脂再生清洗水流速 (BV·h ⁻¹)	树脂再生清洗水温度 (°C)	桑叶提取物总黄酮解吸率 (%)
1	-1	-1	0	15.28
2	-1	1	0	15.72
3	1	0	1	15.68
4	1	1	0	15.57
5	0	0	0	15.61
6	-1	0	-1	15.58
7	0	0	0	15.52
8	-1	0	0	15.78
9	1	-1	0	15.69
10	0	1	-1	15.67
11	1	0	-1	15.03
12	0	-1	1	15.83
13	0	0	0	15.57
14	0	0	0	15.81
15	0	-1	-1	15.54
16	0	0	0	15.59
17	0	1	1	15.64

3.2.2 响应面分析法分析方差

使用多元回归方程拟合响应面试验结果, 得到以桑叶提取物总黄酮解吸率为目标的函数公式, 回归方程模型为: $F=15.75+0.06625A+0.02375B+0.040C-0.0225AB-0.244C+0.020BC-0.17775A^2+0.02725B^2-0.17525C^2$, 对该模型进行方差分析和显著性检验, 结果如表3所示。

由表3可知, 该回归方程模型 $P<0.01$, 说明该回归方程模型效果极显著, 失拟项 $P=0.6488>0.05$, 说明失拟检验不显著, 回归方程模型契合度高, 试验误差对实验结果直接影响较低^[21]; $R^2=0.9331$, 说明响应面的理论值和实际值均具有显著相关性, 回归方程模型调整系数 $R_{Adj}^2=0.8471$, 表明该回归方程模型可

表3 响应面回归方程模型方差分析.

Table 3 ANOVA of response surface regression equation model.

来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.56	9	0.063	10.85	0.0024	显著
<i>A</i>	0.035	1	0.035	6.08	0.0431	
<i>B</i>	4.513×10^{-3}	1	4.513×10^{-3}	0.78	0.4059	
<i>C</i>	0.013	1	0.013	2.22	0.1801	
<i>AB</i>	2.025×10^{-3}	1	2.025×10^{-3}	0.35	0.5723	
<i>AC</i>	0.23	1	0.23	39.92	0.0004	
<i>BC</i>	1.600×10^{-3}	1	1.600×10^{-3}	0.28	0.6148	
A^2	0.13	1	0.13	23.05	0.0020	
B^2	3.127×10^{-3}	1	3.127×10^{-3}	0.54	0.4857	
C^2	0.13	1	0.13	22.40	0.0021	
残差	0.040	7	5.772×10^{-3}			
失拟项	0.013	3	4.175×10^{-3}	0.60	0.6488	不显著
纯误差	0.028	4	6.970×10^{-3}			
总和	0.60	16				
R^2	0.9331					
R_{Adj}^2	0.8471					

分析为84.71%的响应值变化,通过拟用方程得到的实验结果重现性较强。另外,模型*A*、*B*对桑叶提取物总黄酮解吸率影响较为显著($P < 0.05$)。从*F*值的大小可以看出,各因素对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响大小顺序为树脂再生清洗试剂浓度(*A*) > 树脂再生清洗水温度(*B*) > 树脂再生清洗水流速(*C*),因此可使用

该回归方程模型分析及预测桑叶提取物总黄酮解吸率^[22]。

3.2.3 响应面立体分析图

图4、图5和图6分别反映了树脂再生清洗试剂浓度、树脂再生清洗水流速和树脂再生清洗水温度3个因素之间两两交互作用对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响。

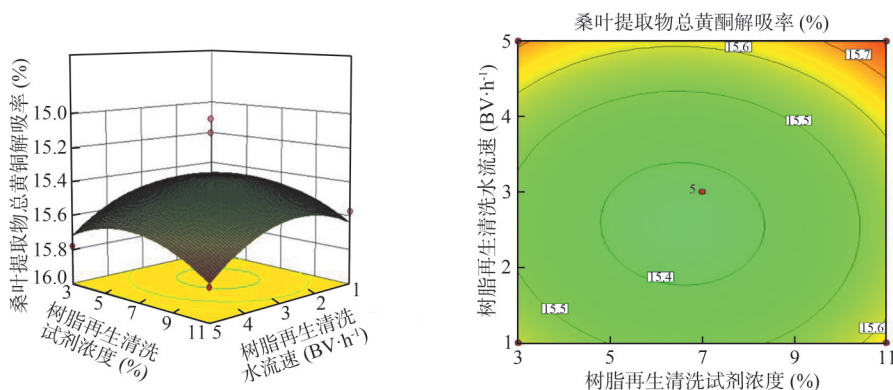


图4 树脂再生清洗试剂浓度与树脂再生清洗水流速交互作用对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响.

Figure 4 Effects of the interaction between the resin cleaning concentration and the flow rate of the resin cleaning water on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

由响应面立体分析图得出,各因素在各自设定的参数范围内都存在最高点,这说明参数范围设置合理;从各等高线图形中可以看出,

AB、*AC*的等高线为近圆形,*BC*近椭圆形,结合表3中*AC*的*P*值为 $0.1559 > 0.05$,说明三者之间的交互作用对桑叶提取物总黄酮解吸率的影

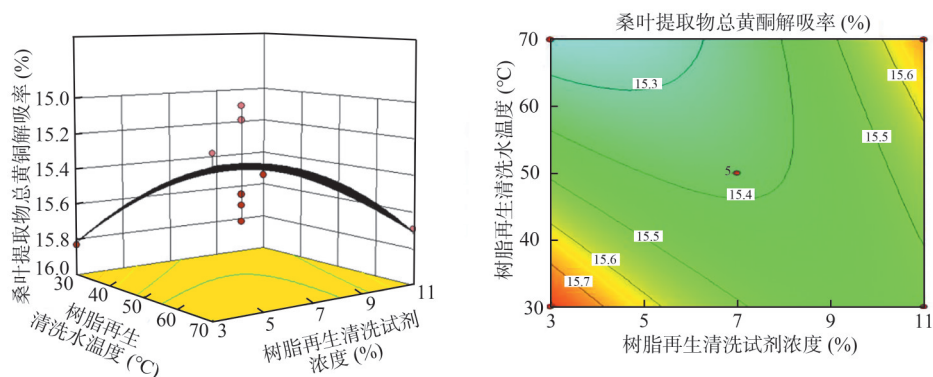


图5 树脂清洗试剂浓度与树脂清洗水温度交互作用对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响。

Figure 5 Effects of the interaction between the resin cleaning concentration and the temperature of the resin cleaning water on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

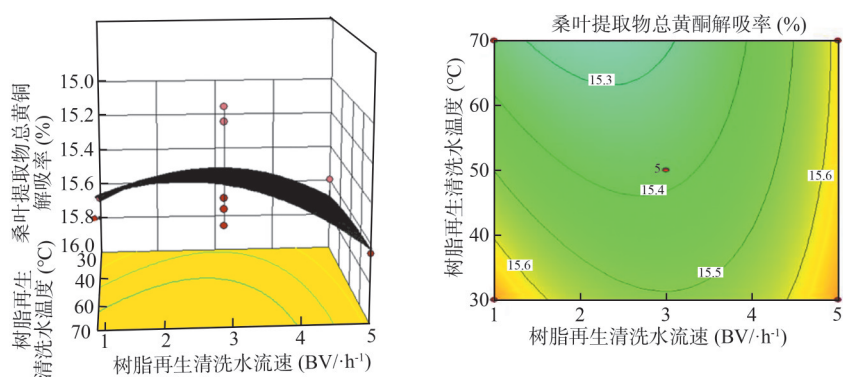


图6 树脂清洗水流速与树脂清洗水温交互作用对桑叶提取物总黄酮解吸率的影响。

Figure 6 Effects of the interaction between the flow rate of the resin cleaning water and the temperature of the resin cleaning water on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

响不显著 ($P>0.05$)。

3.2.4 大孔树脂最佳再生工艺条件及验证实验

使用 Design-Expert V8.0.6 对试验结果进行分析, 由建立的模型预测出大孔树脂最佳再生工艺条件: 树脂再生清洗试剂质量分数为 8.935%, 树脂再生清洗水流速为 2.273 BV/h, 树脂再生清洗水温度为 47.105 °C, 在该参数条件下, 桑叶提取物总黄酮解吸率为 15.592%。考虑到工业化大生产工人操作的便捷性, 对最佳大孔树脂再生工艺条件进行调整: 树脂再生清洗试剂质量分数为 9%, 树脂再生清洗水流速为 2 BV/h, 树脂再生清洗水温度为 50 °C, 进行 3 次中试验验证试验, 得到大孔树脂桑叶提取物总黄酮解吸率为 $(15.592 \pm 0.003)\%$, 与得到的预测值基本相符, 因此该响应面模型优化的桑叶提取物总黄酮解吸率可靠性极高, 对实际大孔树脂再生应用有较好的指导性。

4 结论

本文通过单因素试验和响应面分析法对大孔树脂不同再生工艺进行研究与比较, 内容涵盖大孔树脂再生清洗试剂浓度、大孔树脂再生清洗水流速和大孔树脂再生清洗水温度的实验验证, 结果揭示了最佳的大孔树脂再生工艺路线。根据实验室工艺参数, 最佳的大孔树脂再生工艺条件: AB-8 大孔树脂再生清洗试剂质量分数为 9%、AB-8 大孔树脂再生清洗水流速为 2 BV/h、AB-8 大孔树脂再生清洗水温度为 50 °C。该工艺已成功应用至中试试产中, 重现性较好; 同时对于生产中产生的树脂再生污水, 可通过桑叶提取物生产过程中的清洗水进行稀释和定量排放, 降低再生清洗试剂的浓度, 从而进一步降低大孔树脂再生产品高浓度污水造成的环境影响, 因此该大孔树脂再生工艺具有较高的可靠性。

参考文献

- 1 Hassan F, Arshad M A, Li M, et al. Potential of mulberry leaf biomass and its flavonoids to improve production and health in ruminants: Mechanistic insights and prospects [J]. *Animals*, **2020**, 10(11): 2076.
- 2 刘永, 董莉莉, 梁倩. 响应面优化桑叶无花果功能饮料的制备[J]. 肇庆学院学报, **2024**, 45(2): 22-28.
- 3 何际婵, 董志超, 陈振夏, 等. 桑叶发酵浓缩液喷雾干燥工艺优化[J]. 食品与药品, **2024**, 26(2): 157-161.
- 4 李孟伟, 彭丽娟, 郭艳霞, 等. 桑叶黄酮对水牛泌乳性能、氨基酸代谢和血清生化指标的影响[J]. 饲料研究, **2024**, 47(8): 8-13.
- 5 江素娟, 李万军, 张明军, 等. 桑叶水提工艺优化及水提物的体外抑菌试验[J]. 湖南畜牧兽医, **2023** (5): 36-40.
- 6 Thabti I, Elfalleh W, Hannachi H, et al. Identification and quantification of phenolic acids and flavonol glycosides in Tunisian *Morus* species by HPLC-DAD and HPLC-MS[J]. *Journal of Functional Foods*, **2012**, 4(1): 367-374.
- 7 谭凤翔, 余元善, 邹宇晓, 等. 酶法水解桑叶多糖制备低聚糖及其抑菌活性研究[J]. 蚕业科学, **2024**, 50(2): 127-138.
- 8 邓巧玲, 刘梦文, 沈静, 等. 不同产地桑叶总黄酮总多酚含量及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品添加剂, **2024**, 35(3): 130-137.
- 9 周香辉, 莫晓宁, 凌楠, 等. 广西产“桂桑优”桑叶不同溶剂提取物的抗氧化及降糖活性分析[J]. 食品科技, **2022**, 47(12): 193-199.
- 10 范博, 舒泉湧, 李宗霖, 等. 大孔吸附树脂分离纯化甘草废渣中总黄酮的工艺研究[J]. 安徽农业科学, **2024**, 52(8): 159-162.
- 11 徐祥浩, 王莹, 庞青云, 等. 大孔树脂富集大花红景天总黄酮及抗氧化活性研究[J]. 特产研究, **2024**, 46(2): 103-109, 114.
- 12 萧月兴, 李丹涛. AB-8型大孔树脂法纯化金樱子黄酮化合物的工艺研究[J]. 广东药科大学学报, **2019**, 35(3): 364-368.
- 13 吕凯波, 龚乃超. 大孔树脂分离红花籽粕酶解产物制备抗氧化肽的工艺研究[J]. 食品研究与开发, **2021**, 42(6): 90-95.
- 14 姚林娜, 张瑞华, 张爱莲, 等. AB-8树脂纯化竹叶黄酮工艺及其抗氧化活性研究[J]. 浙江林业科技, **2022**, 42(2): 1-7.
- 15 李鹤, 龚来颀, 曾作财. AB-8型大孔吸附树脂纯化左金丸有效部位的工艺优选[J]. 中医药临床杂志, **2019**, 31(2): 391-394.
- 16 李自豪, 张洪星. 大孔树脂吸附化工废水能力的影响因素研究[J]. 山西化工, **2024**, 44(3): 201-203.
- 17 彭纯, 张敏, 郑建东. 吸附树脂处理工业废水研究进展[J]. 山东化工, **2024**, 53(12): 61-64.
- 18 张淑珍, 毕见霖, 马斌. 大孔树脂对含苯系物污水吸附处理的工程应用[J]. 齐鲁石油化工, **2024**, 52(1): 41-46.
- 19 吕丹, 王海波, 邸学, 等. 桑叶药材中总黄酮含量的测定[J]. 中国药房, **2016**, 27(6): 844-845.
- 20 Venkatesh K R, Samuel S S, Desai A, et al. Anti-oxidant activity of various leaf extracts of mulberry species in rotenone induced oxidative stress model of rat [J]. *J Chem PharmSci*, **2016**, 9: 2732-2736.
- 21 朱涵彬, 李靓, 赵泽洋. 基于响应面分析法优化冷榨花生油酸法脱胶工艺[J]. 粮食与食品工业, **2021**, 28(1): 1-6.
- 22 朱和权, 冯进, 李春阳, 等. 响应面法优化白首乌多糖超声辅助提取工艺及其结构表征[J]. 食品工业科技, **2021**, 42(10): 153-159.

Technology and Application

Response Surface Analysis Was Used to Optimize the Mulberry Leaf Extract of AB-8 Macroporous Resin Study on the Regeneration Process of Total Flavonoid Desorption Rate

TAO Juan-juan , ZONG Xuan-li , YU Wen-hua , FAN Shao-jing , DU Man *

(Hubei Key Laboratory of Quality and Safety of Chinese Medicinal Health Food, Jingpai Research Institute, Daye 435100, China)

Abstract The desorption rate of total flavonoid resin of mulberry leaf extract was indicated, the process

conditions of mulberry leaf extract applied in different regeneration processes of AB-8 macroporous resin were compared by single factor test and response surface analysis. The regeneration processes of AB-8 macroporous resin under different regeneration processes, such as the concentration of regeneration cleaning reagent, the flow rate of resin regeneration cleaning water, and the water temperature of resin regeneration cleaning, were investigated, effect on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract, the Box-Behnken experimental design method was used, the significance and interaction of the factors affecting the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract were analyzed, finally, it was confirmed that the AB-8 macroporous resin regeneration process had the most suitable process conditions for the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract. The optimal process conditions for AB-8 macroporous resin regeneration were as follows: resin regeneration cleaning reagent concentration of 9%, resin regeneration cleaning water flow rate of 2 BV/h, and resin regeneration cleaning water temperature of 50 °C. After experimental exploration and pilot verification, the related process has good reproducibility. Therefore, The regeneration process conditions of AB-8 macroporous resin could improve the stability of the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract. The results of the study showed that different regeneration processes of AB-8 macroporous resin had significant effects on the desorption rate of total flavonoids in mulberry leaf extract.

Keywords Macroporous resin, Regeneration process, Mulberry leaf extract total flavonoids, Desorption rate, Response surface analysis

* Corresponding author: DU Man, E-mail: 270406621@qq.com.