

大孔吸附树脂纯化刺梨多酚工艺的优化

刘祖望， 许梦捷， 黄 真， 程汝滨， 钟晓明*
(浙江中医药大学，浙江 杭州 310053)

摘要：目的 优化大孔吸附树脂纯化刺梨多酚工艺。**方法** 以吸附率、解吸率为评价指标，考察 4 种大孔吸附树脂（ADS-17、HPD-600、AB-8、NKA-9）的吸附、解吸性能。然后，响应面法优化上样液质量浓度、pH、体积流量，以及解吸液（乙醇）体积分数、pH、体积流量。**结果** AB-8 型大孔吸附树脂的吸附、解吸性能最佳，最大静态吸附量、解吸率分别达 8.11 mg/g、94.39%。最佳吸附条件为上样液质量浓度 0.7 mg/mL，pH 5.9，体积流量 2.6 mL/min；最佳解吸条件为解吸液体积分数 69%，pH 6.3，体积流量 2.7 mL/min，多酚回收率 20.37%，含有量 36.33%，是纯化前的 4.9 倍。**结论** 该方法稳定可靠，可用于大孔吸附树脂纯化刺梨多酚工艺，也能为该类成分后续开发利用提供技术保证。

关键词：刺梨；多酚；纯化；大孔吸附树脂；响应面法

中图分类号：R284.2 文献标志码：A 文章编号：1001-1528(2019)01-0016-07
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2019.01.004

Purification process optimization for *Rosa roxburghii* polyphenol with macroporous adsorption resin

LIU Zu-wang, XU Meng-jie, HUANG Zhen, CHENG Ru-bin, ZHONG Xiao-ming*
(Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China)

KEY WORDS: *Rosa roxburghii* Tratt.; polyphenol; purification; macroporous adsorption resin; response surface method

多酚是一类含有羟基和苯环的极性化合物，包括类黄酮、酚酸、单宁（水解和缩合）、二苯乙烯、木质素等，主要分布在植物的叶、花、果实中，对人体健康和营养平衡具有重要作用^[1]，在抗炎、抗肿瘤、护肝、抗氧化、清除自由基、抑菌等方面具有良好的作用，显示了广泛的应用前景^[2-4]。此外，该成分还能有效抑制活性氧及自由基所造成的机体损伤^[5]，吸收日光中大部分 200~300 nm 强紫外线辐射，起到“紫外线过滤器”作用^[6]。因此，在日本有人将植物多酚称为继第六营养素膳食纤维之后的“第七类营养素”^[7]。

刺梨为蔷薇科植物单瓣缫丝花 *Rosa roxburghii* Tratt.、缫丝花 *Rosa roxburghii* Tratt. f. *normalis* Rehd. et Wils. 的果实，又名茨梨、木梨子、文先果，为贵州省少数民族用药^[8]，其果实营养丰富，

具有预防癌症、抗衰老、抗动脉粥样硬化、抗心血管疾病等作用^[9-11]，含有多酚、黄酮、多糖、三萜等成分，其中对黄酮、多糖的研究相对较多^[12-13]，而对多酚的研究尚处于起步阶段，研究表明该成分具有较强的清除自由基等药理作用^[14-15]。为了更好地开发利用刺梨多酚，本实验考察 4 种大孔吸附树脂对该成分的吸附和解吸性能，以期优化纯化工艺，为后续相关研究奠定基础，也有利于刺梨资源和相关产品的深入开发利用，提高当地经济水平。

1 材料

1.1 试药 刺梨购自香如故食品销售有限公司，经浙江中医药大学中药资源研究所陈孔荣副教授鉴定为单瓣缫丝花 *Rosa roxburghii* Tratt. 的干燥果实。乙醇（国药集团化学试剂有限公司，批号

收稿日期：2018-07-26
作者简介：刘祖望（1994—），男，硕士生，从事中药资源化妆品开发。Tel: 15757196248, E-mail: lzwzcmu1994@sina.com
* 通信作者：钟晓明（1962—），男，教授，博士生导师，从事中药资源品质评价与开发利用。Tel: (0571) 61768168, E-mail: k6_zxm@sina.com

20170317); 无水碳酸钠 (宁波市化学试剂有限公司, 批号 20070728); 福林酚试剂 (北京索莱宝科技有限公司, 批号 818H017); 没食子酸对照品 (北京普天同创生物科技有限公司, 批号

17022801)。ADS-17、HPD-600、AB-8、NKA-9 型大孔吸附树脂购自沧州宝恩吸附材料科技有限公司, 具体物理参数见表 1。

表 1 大孔吸附树脂物理参数

Tab. 1 Physical parameters for macroporous adsorption resins

型号	外观	极性	粒径/mm	比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	平均孔径/nm
ADS-17	白色不透明球状	氢键	0.3~1.25	90~150	2.5~3.0
HPD-600	白色不透明球状	极性	0.3~1.2	550~600	8.0
AB-8	白色不透明球状	弱极性	0.3~1.25	480~520	13.0~14.0
NKA-9	微黄色不透明球状	极性	0.315~1.25	250~290	15.5~16.5

1.2 仪器 电子天平 (常州市幸运电子设备有限公司); UV-1800 型紫外可见分光光度计 (日本岛津公司); 恒温水浴锅 (上海宜昌仪器纱筛厂); 超声波清洗机 (宁波新艺超声设备有限公司); 层析柱 (1.0 cm×15.0 cm)。

2 方法及结果

2.1 多酚提取 干燥果实粉碎, 过 50 目筛, 称取适量粉末, 加入 100 倍量 70% 乙醇, 250 W、30 ℃ 下超声提取 40 min。过滤, 浓缩, 得粗多酚浸膏。

2.2 多酚含有量测定

2.2.1 供试品溶液制备 取适量粗多酚转移至 100 mL 量瓶中, 蒸馏水定容, 摇匀, 即得。

2.2.2 对照品溶液制备 精密称取没食子酸对照品 10.0 mg, 置于 5 mL 棕色量瓶中, 蒸馏水定容, 摇匀, 得 2 mg/mL 母液, 蒸馏水稀释至 0.1 mg/mL, 即得。

2.2.3 检测波长选择 采用 Folin-Ciocaltean 法测定多酚含有量^[16]。吸取对照品溶液 120 μL, 置于锡箔纸包裹不透光的 5 mL 离心管中, 加入蒸馏水至 500 μL 后, 再加入 0.5 mL 福林酚试剂, 混匀, 避光反应 2 min, 接着加入 2 mL 10% Na₂CO₃ 溶液, 最后加入 1 mL 蒸馏水, 摇匀, 置于 40 ℃ 恒温水浴锅中暗浴 30 min, 在 200~800 nm 波长处扫描。最终确定, 检测波长为 760 nm。

2.2.4 线性关系考察 精密称取对照品溶液 30、40、60、80、100、120、140、160、180 μL, 置于锡箔纸包裹不透光的 5 mL 离心管中, 按“2.2.3”项下方法处理, 测定 760 nm 波长处的吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标 (X), 吸光度为纵坐标 (A) 进行回归, 得到回归方程为 $A = 151.71X + 0.0096$ ($R^2 = 0.9995$), 在 0.4~21.0 μg/mL 范围内线性关系良好。

2.2.5 精密度试验 精密吸取对照品溶液 120 μL,

按“2.2.3”项下方法于 760 nm 波长处测定吸光度, 连续 6 次, 测得其 RSD 为 0.8%, 表明仪器精密度良好。

2.2.6 重复性试验 取同一份供试品溶液, 按“2.2.3”项下方法于 760 nm 波长处测定吸光度, 连续 6 次, 测得其 RSD 为 1.7%, 表明该方法重复性良好。

2.2.7 稳定性试验 取供试品溶液, 在 0、2、4、8、16、24 h 按“2.2.3”项下方法于 760 nm 波长处测定吸光度, 测得其 RSD 为 2.8%, 表明溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.2.8 加样回收率试验 取质量浓度已知的供试品溶液 60 μL, 加入 60 μL 对照品溶液混合, 同法制备 6 份, 按“2.2.3”项下方法于 760 nm 波长处测定吸光度, 测得其平均加样回收率为 97.6%, RSD 为 2.0%。

2.3 树脂性能评价

2.3.1 预处理 将干净树脂用 2 倍量 95% 乙醇浸泡 24 h 以除杂, 并使其充分溶胀, 然后用 95% 乙醇淋洗至淋出液无白色浑浊, 再用蒸馏水淋洗至无醇味, 保存于蒸馏水中备用。

2.3.2 静态吸附量、解吸率的计算 将树脂滤干, 精密称取 1.0 g 于 250 mL 具塞锥形瓶中。取粗多酚 1 g, 溶于 200 mL 蒸馏水中, 测得其多酚质量浓度 (C₀), 取 50 mL 加到含树脂的锥形瓶中, 于 30 ℃ 恒温水浴锅中水浴 24 h, 定时摇晃, 每隔一段时间吸取上清液测定吸光度, 测得溶液中剩余多酚质量浓度 (C₁), 根据式 (1) 计算静态吸附量^[16] (Q_s 表示吸附量, V 表示粗提液体积, M 表示树脂质量)。

$$Q_s = \frac{(C_0 - C_1) \times V}{M}$$

(1)

然后, 将充分吸附 24 h 的树脂取出, 过滤,

置于 250 mL 具塞锥形瓶中，加入 70% 乙醇 50 mL，于 30 ℃ 恒温水浴锅中水浴 24 h，定时摇晃，每隔一段时间吸取上清液测定吸光度，测得溶液中剩余多酚质量浓度 (C_2)，根据式 (2) 计算解吸率 (D 表示解吸率， V' 表示解吸液体积， Q' 表示吸附多酚量 g)。

$$D = \frac{C_2 \times V'}{Q'} \tag{2}$$

由图 1 可知，4 种大孔吸附树脂均可在短时间吸附大量多酚，并且在吸附时间 8 h 时基本达到平衡，其中 AB-8 型吸附量最大 (8.19 mg/g)，其次是 HPD-600 型 (7.87 mg/g)、NKA-9 型 (6.69 mg/g)，ADS-17 型最小 (4.17 mg/g)；4 种大孔吸附树脂在解吸初期均具有较大的解吸速率，并且在 2 h 时基本达到平衡。其中 AB-8 型解吸率最大 (91.47%)，其次是 ADS-17 型 (87.55%)，NKA-9 型、HPD-600 型较小 (71.78%、63.72%)。综上所述，AB-8 型大孔吸附树脂不仅能在短时间内吸附大量多酚，而且解吸率高，解吸速度快，故选择其作进一步研究。

接着，称取 5 g 树脂装柱，取 0.8 mg/mL 多酚粗提液，以 2 mL/min 体积流量过树脂柱，分段收集流出液，每 10 mL 为 1 份，共收集 30 份，测定各份流出液中多酚质量浓度，以其质量浓度为上样液质量浓度的 10% 作为泄露点，100% 作为饱和点^[17]。再称取 5 g 树脂充分吸附 1 h，70% 乙醇以 2 mL/min 体积流量解吸，分段收集流出液，每 10 mL 为 1 份，共收集 20 份，测定各份流出液中多酚质量浓度。

由表 2 可知，随着上样液体积流量增大，流出液中多酚含有量符合“S”型增长趋势^[18]，流出

表 2 曲线泄露、解吸液体积

Tab. 2 Leakage and desorption solution volumes of curves

吸附曲线									
泄露体积/mL	0	30	60	90	120	150	180	210	240
多酚/(mg·mL ⁻¹)	0	0.02	0.08	0.19	0.34	0.67	0.77	0.79	0.17
解吸曲线									
解吸液体积/mL	0	20	40	60	80	100	120	140	160
多酚/(mg·mL ⁻¹)	0	2.85	5.87	2.17	1.08	0.49	0.14	0.11	0.10

2.4 吸附单因素试验 固定相应因素不变，考察上样液体积流量 (1、2、3、4、5 mL/min)、质量浓度 (0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 mg/mL)、pH (4、5、6、7、8) 对吸附量的影响。

由图 2A 可知，上样液体积流量为 1 mL/min 时吸附量最大，达到 8.17 mg/g；其体积流量逐渐

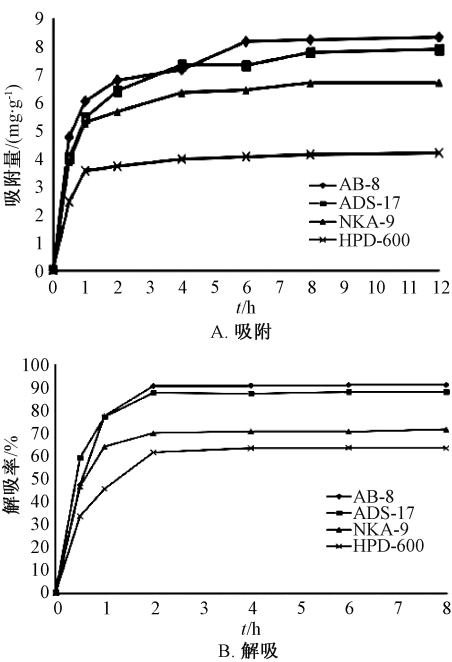


图 1 大孔吸附树脂吸附、解吸曲线

Fig. 1 Absorption and desorption curves for macroporous adsorption resins

60 mL 时，流出液中多酚质量浓度为 0.08 mg/mL，到达泄露点；200 mL 时，其质量浓度为 0.79 mg/mL，与原溶液基本一致，到达饱和点，故确定上样量为 200 mL。在解吸初始阶段，吸附在大孔树脂上的多酚即大量吸出，解吸液体积为 20 mL 时，流出液中多酚质量浓度达到 2.85 mg/mL；40 mL 时，其质量浓度达到最大值 5.87 mg/mL；随着体积进一步增加，其质量浓度开始下降，在 160 mL 时仅为 0.10 mg/mL，可认为解吸基本完成，故确定解吸液体积为 160 mL。

增大时，吸附量随之减小，在大于 3 mL/min 时更显著。上样液体积流量过大时，多酚尚未被树脂吸附即流出，导致吸附量较小；过小时，会导致操作时间过长，增加成本，而且在 3 mL/min 时吸附量仍在 7 mg/g 以上，故选择其作为响应面水平。

由图 2B 可知，上样液质量浓度低于

0.8 mg/mL时, 吸附量随着其增大而显著提高; 大于0.8 mg/mL时, 吸附量趋于平稳, 在1 mg/mL时达到最大值8.16 mg/g, 之后有下降趋势。上样液质量浓度过低时, 溶液中多酚尚未与树脂充分接触即吸出, 从而造成漏液现象; 过高时, 溶液中杂质增多, 与多酚产生竞争关系, 导致吸附量较小, 同时可能会生成沉淀, 故选择0.8 mg/mL作为响应面水平。

由图2C可知, 吸附量随着pH升高而增大, 在6时达到最大值8.17 mg/g, 之后随着pH进一步升高而呈现降低趋势。多酚以酚酸类为主, 故溶液具有一定酸性, 而pH高低会引起多酚存在形式的变化, 即在酸性条件下有利于大孔吸附树脂对该成分的吸附。经测定, 上样液pH为5.9, 与最大吸附效果下pH 6相近, 故选择不作调节的上样液作为响应面水平。

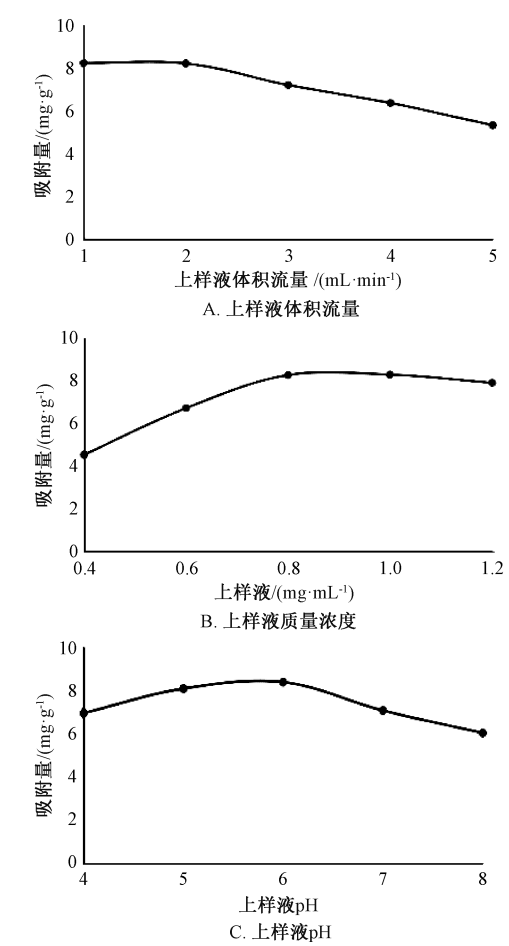


图2 吸附单因素试验结果

Fig. 2 Results of single factor tests for absorption

2.5 解吸单因素试验 固定相应因素不变, 考察解吸液(乙醇)体积流量(1、2、3、4、5 mL/min)、体积分数(50%、60%、70%、80%、

90%)、pH(4、5、6、7、8)对解吸率的影响。

由图3A可知, 随着解吸液体积流量增大, 解吸率逐渐降低, 1 mL/min时为92.14%, 而5 mL/min时仅为80.15%, 这可能是因为解吸液体积流量较大时, 它与大孔吸附树脂的接触时间较短, 导致多酚无法从大孔吸附树脂中充分解吸出来, 最终造成解吸率降低, 但体积流量过低会造成时间、成本大幅上升。由于解吸液体积流量为3 mL/min时, 解吸率仍能达到85%以上, 故选择其作为响应面水平。

由图3B可知, 解吸液体积分数低于70%时, 解吸率随着其增大而提高, 在70%时达到最大值92.51%, 但之后随着其体积分数进一步增大反而减小, 在90%时仅为79.14%, 故选择70%作为响应面水平。

由图3C可知, 解吸液pH小于6时, 随着其增大解吸率提高, 在6时达到最大值93.12%; pH大于6时, 解吸率随着其增大反而降低, 这可能与多酚呈酸性有关, 故选择6作为响应面水平。

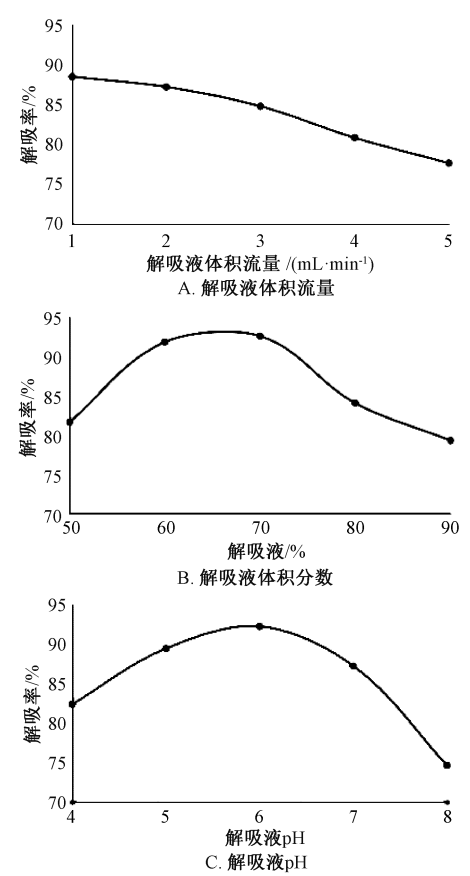


图3 解吸单因素试验结果

Fig. 3 Results of single factor tests for desorption

2.6 响应面法优化 依据中心组合试验设计原理,

通过 Design-Expert 软件，选择上样液体积流量（ A_1 ）、上样液质量浓度（ B_1 ）、上样液 pH（ C_1 ）作为影响因素，吸附量作为评价指标；选择解吸液体积流量（ A_2 ）、解吸液体积分数（ B_2 ）、解吸液 pH（ C_2 ）作为影响因素，解吸率作为评价指标。因素水平见表 3。

表 3 因素水平
Tab.3 Factors and levels

水平	吸附			解吸		
	A_1 上样液体积流量/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	B_1 上样液/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	C_1 上样液 pH	A_2 解吸液体积流量/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	B_2 解吸液/ %	C_2 解吸液 pH
-1	1	0.4	4	1	50	4
0	3	0.8	6	3	70	6
1	5	1.2	8	5	90	8

在单因素试验基础上，通过 Design-Expert 软件设计 3 因素 3 水平共 17 个试验点，结果见表 4，得到吸附量（ Y_1 ）回归方程为 $Y_1 = 8.17 - 0.025A_1 - 0.086B_1 - 0.34C_1 - 0.010A_1B_1 + 0.13A_1C_1 + 0.077B_1C_1 - 0.14A_1^2 - 0.25B_1^2 - 0.93C_1^2$ ，解吸率（ Y_2 ）回归方程为 $Y_2 = 92.95 - 2.66A_2 - 0.81B_2 + 1.10C_2 - 1.51A_2B_2 - 1.19A_2C_2 + 2.18B_2C_2 - 8.95A_2^2 - 4.11B_2^2 - 3.89C_2^2$ ，方差分析见表 5。由表可知，吸附模型显著（ $P <$

0.05），准确性和通用性良好（ $R^2 = 0.937\ 9$ ， $R^2_{\text{adj}} = 0.858\ 0$ ），各因素影响程度依次为上样液 pH（ C_1 ）>上样液质量浓度（ B_1 ）>上样液体积流量（ A_1 ）；解吸模型显著（ $P < 0.05$ ），失拟度不显著（ $P > 0.05$ ），准确性和通用性良好（ $R^2 = 0.995\ 6$ ， $R^2_{\text{adj}} = 0.990\ 0$ ），各因素影响程度依次为解吸液体积流量（ A_2 ）>解吸液 pH（ C_2 ）>解吸液质量浓度（ B_2 ）。

表 4 试验设计及结果
Tab.4 Design and results of tests

试验号	吸附				解吸			
	A_1 上样液体积分数/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	B_1 上样液/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	C_1 上样液 pH	Y_1 吸附量/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	A_2 解吸液体积流量/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	B_2 解吸液/ %	C_2 解吸液 pH	Y_2 解吸率/ %
1	1	0.4	6	7.91	1	50	6	82.14
2	5	0.4	6	7.85	5	50	6	79.33
3	1	1.2	6	7.73	1	90	6	83.48
4	5	1.2	6	7.63	5	90	6	74.64
5	1	0.8	4	7.55	1	70	4	80.41
6	5	0.8	4	7.27	5	70	4	77.97
7	1	0.8	8	6.67	1	70	8	84.62
8	5	0.8	8	6.91	5	70	8	77.44
9	3	0.4	4	7.52	3	50	4	86.65
10	3	1.2	4	7.22	3	90	4	80.7
11	3	0.4	8	6.61	3	50	8	84.84
12	3	1.2	8	6.62	3	90	8	87.63
13	3	0.8	6	8.17	3	70	6	92.75
14	3	0.8	6	8.18	3	70	6	91.89
15	3	0.8	6	8.2	3	70	6	93.76
16	3	0.8	6	8.14	3	70	6	93.06
17	3	0.8	6	8.17	3	70	6	93.31

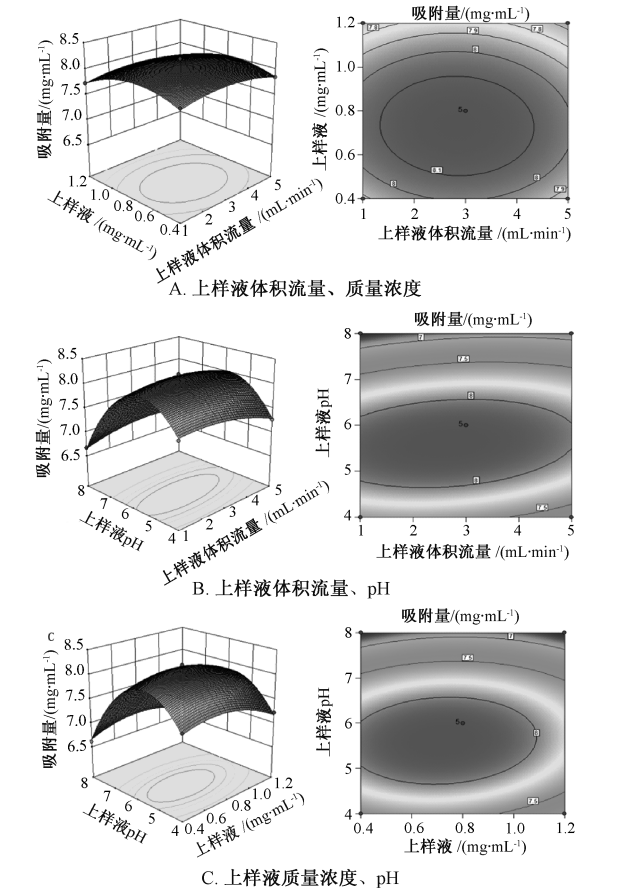
响应面分析见图 4~5，可知最优吸附条件为上样液体积流量 2.65 mL/min，质量浓度 0.72 mg/mL，pH 5.59，吸附量 8.22 mg/g；最优解吸条件为解吸液体积流量 2.69 mL/min，体积分数 69.4%，pH 6.3，解吸率 93.26%。

2.7 验证试验 根据响应面法结果进行修正，最终确定最优吸附条件为上样液体积流量

2.6 mL/min，质量浓度 0.7 mg/mL，pH 5.9；最优解吸条件为解吸液体积流量 2.7 mL/min，体积分数 69%，pH 6.3，再进行 3 批验证试验，结果见表 6，可知模型拟合效果良好，可信度高。同时，多酚回收率为 20.37%，其含有量由原来的 7.40% 提高到 36.33%，是纯化前的 4.9 倍。

表 5 方差分析
Tab. 5 Analysis of variance

吸附						解吸					
来源	离均差平方和	自由度	均方	F 值	P 值	来源	离均差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	5.3	9	0.59	288.23	<0.000 1	模型	621.45	9	69.05	176.4	<0.000 1
A ₁	5.00×10 ⁻³	1	5.00×10 ⁻³	2.45	0.161 7	A ₂	56.55	1	56.55	144.47	<0.000 1
B ₁	0.06	1	0.06	29.12	0.001	B ₂	5.3	1	5.3	13.53	0.007 9
C ₁	0.95	1	0.95	462.58	<0.000 1	C ₂	9.68	1	9.68	24.73	0.001 6
A ₁ B ₁	4.00×10 ⁻⁴	1	4.00×10 ⁻⁴	0.2	0.671 5	A ₂ B ₂	9.09	1	9.09	23.22	0.001 9
A ₁ C ₁	0.068	1	0.068	33.08	0.000 7	A ₂ C ₂	5.62	1	5.62	14.35	0.006 8
B ₁ C ₁	0.024	1	0.024	11.76	0.011	B ₂ C ₂	19.1	1	19.1	48.79	0.000 2
A ₁ ²	0.085	1	0.085	41.69	0.000 3	A ₂ ²	337.33	1	337.33	861.75	<0.000 1
B ₁ ²	0.26	1	0.26	128.52	<0.000 1	B ₂ ²	70.98	1	70.98	181.32	<0.000 1
C ₁ ²	3.64	1	3.64	1 781.06	<0.000 1	C ₂ ²	63.82	1	63.82	163.04	<0.000 1
残差	0.014	7	2.04×10 ⁻³	—	—	残差	2.74	7	0.39	—	—
失拟项	0.012	3	4.14×10 ⁻³	8.81	0.030 9	失拟项	0.78	3	0.26	0.53	0.685 8
纯误差	1.88×10 ⁻³	4	4.70×10 ⁻³	—	—	纯误差	1.96	4	0.49	—	—
总离差	5.32	16	—	—	—	总离差	624.19	16	—	—	—



注：左图均为响应面图，右图均为等高线图
图 4 各因素响应面图（吸附）

Fig. 4 Response surface plots for various factors (absorption)

表 6 验证试验结果 (n=3)

Tab. 6 Results of verification tests (n=3)

指标	预测值	实测值	RSD/%
吸附量/(mg·g ⁻¹)	8.22	8.11	1.3
解吸率/%	93.26	94.39	1.2

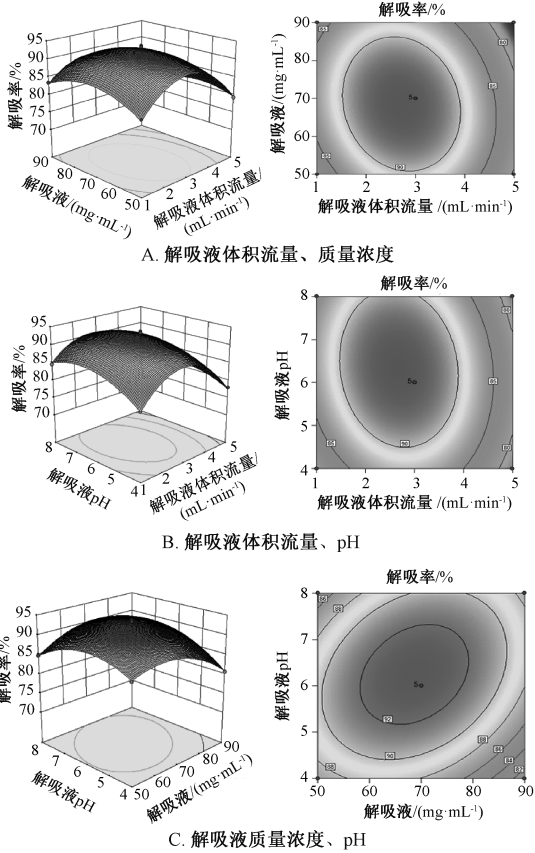


图 5 各因素响应面图（解吸）

Fig. 5 Response surface plots for various factors (desorption)

3 讨论

目前，关于多酚纯化工艺优化的研究主要是通过正交试验结果，但其难以筛选出因素最佳组合；响应面法采用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系，通过分析回归方程来寻找最优

工艺参数,从而解决多变量问题,在提高药用植物提取效率方面具有广阔的应用前景^[19-20],故本实验采用该方法优化大孔吸附树脂纯化刺梨多酚工艺。研究表明,多酚药理活性与其纯度密切相关^[21-22],由于刺梨多酚在刺梨果实中的含有量较低,提取后粗多酚中杂质较多,故为了加快该成分的开发利用进程,针对其纯化研究必不可少。本实验发现,优化后该成分纯度显著提高,进一步验证了响应面法的优势。

刺梨为云贵高原特有的野生植物,其适应性强,易栽种,而且果实中含有大量黄酮、维生素、多糖等成分,具有广阔的应用前景。但目前对刺梨的开发利用仅限于其果脯、果汁,同时刺梨多酚作为其重要有效成分,相关研究尚处于起步阶段,尚无其提取和纯化工艺报道。本实验通过响应面法优化大孔吸附树脂纯化刺梨多酚工艺,确定了最佳吸附、解吸条件,可有效提高提取物中该成分纯度,为其后续药理评价奠定基础,也给以其为原料的化妆品、饮料等相关产品开发提供技术保障。

参考文献:

[1] Meng J F, Fang Y L, Zhang A, *et al.* Phenolic content and antioxidant capacity of Chinese raisins produced in Xinjiang Province[J]. *Food Res Int*, 2011, 44(9): 2830-2836.

[2] 陈淑珍,甄永苏. 茶多酚的分子作用靶点及其在抗肿瘤药物实验治疗中的作用[J]. *药科学报*, 2013, 48(1): 1-7.

[3] 周 宁,戴旖旎,白旭光,等. 姜黄素对肝癌细胞凋亡及 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 炎性因子影响的机制研究[J]. *癌症进展*, 2017, 15(11): 1282-1285.

[4] 李巍巍,李俊发,郭安臣,等. 植物多酚神经保护作用的研究进展[J]. *中国卒中杂志*, 2015, 10(2): 141-146.

[5] Cabello-Hurtado F, Gicquel M, Esnault M A. Evaluation of the antioxidant potential of cauliflower (*Brassica oleracea*) from a glucosinolate content perspective[J]. *Food Chem*, 2012, 132(2): 1003-1009.

[6] Kim Y J, Uyama H. Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future [J]. *Cell Mol Life Sci*, 2005, 62(15): 1707-1723.

[7] 凌关庭. 有“第七类营养素”之称的多酚类物质[J]. 中国

食品添加剂, 2000(1): 28-37.

[8] 贵州省药品监督管理局. 贵州省中药材、民族药材质量标准(2003年版)[S]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2014.

[9] Lu X T, Bao S J. Effect of polysaccharides from *Fructus Rosae Roxburghii* on stress tolerance and immune function [J]. *J Guangzhou Univ Tradit Chin Med*, 2002, 19(2): 141-142.

[10] Yang J T, Yang J, Yang J B, *et al.* Antioxidant effect of polysaccharide from *Rosa roxburghii* in aged mice [J]. *Acta Nutr Sin*, 2008, 30(4): 407-409.

[11] Zhang C, Liu X, Qiang H, *et al.* Inhibitory effects of *Rosa roxburghii* trutt juice on *in vitro* oxidative modification of low density lipoprotein and on the macrophage growth and cellular cholesteryl ester accumulation induced by oxidized low density lipoprotein[J]. *Clin Chim Acta*, 2001, 313(1-2): 37-43.

[12] 孙红艳,胡凯中,郭志龙,等. 超声波法提取刺梨多酚的工艺优化及体外抑菌活性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2016(2): 57-61.

[13] 张汇慧,吴彩娥,范龚健,等. 刺梨黄酮的精制及其抗氧化活性比较[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2015, 39(3): 101-105.

[14] 何伟平,滕建文,朱晓韵,等. 刺梨 Vc 和多酚成分稳定性及抗氧化性研究[J]. *广西轻工业*, 2011, 27(9): 1-3.

[15] Li W B, Sun H Y, Zhou J W, *et al.* Antibacterial activities, antioxidant contents and antioxidant properties of three traditional Chinese medicinal extracts [J]. *Bangladesh J Pharmacol*, 2015, 10: 131-137.

[16] 刘 清,李虎虎,姚惠源,等. 大孔吸附树脂分离富集大麦多酚的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(11): 98-102.

[17] 李春美,徐淑芬,党美珠,等. 芒果多酚的提取纯化工艺研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(5): 214-218.

[18] Chen Q Q, Gan Z L, Zhao J H, *et al.* *In vitro* comparison of antioxidant capacity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) oils and their main components [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2014, 55(2): 632-637.

[19] 马俊鹏,马 迪,安晓晶,等. 响应面法优化天山花椒总黄酮回流提取工艺[J]. *中成药*, 2017, 39(3): 509-512.

[20] 程振玉,杨英杰,成乐琴,等. Box-Behnken 响应面法优化组织破碎提取龙胆苦苷 [J]. *中成药*, 2016, 38(6): 1408-1412.

[21] 卢可可,郑少杰,吴素蕊,等. 响应面试验优化黑脉羊肚菌多酚纯化工艺及其抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2015, 36(18): 13-20.

[22] 樊梓鸾. 红豆越橘多酚对氧化诱导损伤及癌细胞增殖抑制作用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.