

辣木籽多酚的分离纯化研究

曹新志, 肖梦月, 张超, 杨建刚

(四川理工学院生物工程学院, 四川自贡 643000)

摘要: 辣木籽多酚已经被证明有极好的抗氧化功能, 为了更好的研究辣木籽多酚的生物活性及理化性质, 对提取出的粗提物进一步的分离和去除杂质非常有必要。本研究对超声辅助提取的辣木籽多酚经一步纯化, 测定了五种不同类型的大孔树脂中辣木籽多酚的吸附率、解吸率, 筛选出分离纯化辣木籽多酚的最佳大孔树脂, 采用静态、动态吸附解吸实验研究辣木籽多酚分离纯化的适宜条件。结果表明: D-101 大孔树脂效果最好并确定最优的吸附, 解吸条件为: 样品液 pH 为 5, 上样液浓度为 3 mg/mL, 洗脱液为 80% 的乙醇溶液, 上柱流速为 2 mL/min, 洗脱流速为 2 mL/min, 在此条件下得到的辣木籽多酚的纯度由 10.37% 提高到 32.29%。纯化效果明显, 对辣木籽多酚的分离纯化提供了指导意义。

关键词: 辣木籽; 多酚; 大孔树脂; 分离纯化

文章编号: 1673-9078(2019)01-221-226

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.031

Separation and Purification of Polyphenols in *Moringa* Seeds

CAO Xin-zhi, XIAO Meng-yue, ZHANG Chao, YANG Jian-gang

(Department of Bioengineering, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: *Moringa* seed polyphenols have been proven to possess excellent antioxidant properties. In order to study the bioactivity and physicochemical properties of *Moringa* seed polyphenols, it is necessary to further separate and remove impurities from the crude extract of *Moringa* seeds. In this study, the crude extract obtained via ultrasonic-assisted extraction was subjected to further purification. The adsorption rate and desorption rate of the polyphenols from *Moringa* seeds on different types of macroporous resins were determined, to screen the most suitable macroporous resin for separating and purifying polyphenols. The optimal conditions for the separation and purification of *Moringa* seed polyphenols were studied by static and dynamic adsorption and desorption experiments. The results showed that D-101 macroporous resin performed the best (which was used to determine the optimal adsorption and desorption conditions). The optimal conditions were: pH and concentration of the sample solution, 5 and 3 mg/mL; Eluent, 80% ethanol solution; column flow rate, 2 mL/min; Elution flow rate, 2 mL/min. The purity of the *Moringa* seed polyphenol extract increased from 10.37% to 32.29%, after the extract was treated under such conditions. The purification effect was significant, thus the findings of this study provided guidance for the separation and purification of *Moringa* seed polyphenols.

Key words: *Moringa* seed; polyphenol; macroporous resin; separation and purification

辣木(*Moringa oleifera*)又称鼓槌树,因其有辛辣味的根而得名,为辣木科辣木属植物,是一种有独特经济价值的热带植物^[1,2]。辣木的根、茎、叶、花、种子均含有丰富的营养和药用成分,是优质的保健食品原料^[3,4]。更有研究表明,辣木具有抗菌^[5]、抗炎^[6,7]、抗氧化^[8]、抗肿瘤^[9]等作用。A1-Malki, A. L.等^[10]发现,辣木籽提取物具有降血糖的功效。Hamza, A. A.等^[11]研究表明,辣木籽提取物具有较强的 DPPH 自由基清除能力和还原力。辣木的不同器官中都含有一定量的多酚类化合物,其中以花柄中含量最多,根中最少,含量变化范围为 0.53%~4.47%^[12]。辣木籽是辣木的种

子部分,目前已经有研究将辣木籽中的多酚以不同的方式提取出来^[13,14],但提取出的辣木籽多酚粗提液中含很多蛋白质、糖类杂质,这些杂质会对多酚的进一步深入研究产生很大的影响,因此,为了更好的研究辣木籽多酚的生物活性,对提取出的粗提物进一步的分离和去除杂质非常有必要。大孔树脂分离纯化具有选择性强、理化性质稳定、吸附速度快、吸附容量大、解吸条件温和、可再生处理简单等诸多优点^[15],同时多酚的纯化过程中有效成分不会失活,产品得率高,纯度好,特别适用于多酚的纯化^[16]。

本文将辣木籽经超声波辅助提取后^[14],用 HPD-100、D-101、X-5(非极性),HPD-600(极性),AB-8(弱极性)五种不同类型的大孔树脂,通过对辣木籽多酚的吸附率、解吸率的测定,筛选出分离纯化

收稿日期: 2018-07-10

作者简介: 曹新志(1965-),男,博士,教授,研究方向: 生物技术在食品中的应用

辣木籽多酚的最佳大孔树脂, 然后采用静态、动态吸附解吸实验研究辣木籽多酚分离纯化的适宜条件, 旨在为辣木籽的进一步研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

HWS-12 电热恒温水浴锅, 上海齐欣科学仪器有限公司; KQ5200V 超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; TG-16 台式高速离心机, 四川蜀科仪器有限公司; SHB-III 循环水式多用真空泵, 郑州长城科贸有限公司; RE-52AA 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; UV-1000 紫外可见分光光度计, 上海翊艺仪器有限公司; NSKY-恒温培养振荡器, 上海苏坤实业有限公司; SCIENTZ-10N 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技有限公司; HL-1 恒流泵, 上海沪西分析仪器厂; 辣木籽, 产自云南昆明, 购买自云南昆明辣木生物科技有限公司, 经过去壳后, 60℃烘干至恒重, 粉碎过 80 目筛后保存待用; 无水乙醇、没食子酸、无水碳酸钠均为国产分析纯; 生化试剂(1 mol/L) 福林酚试剂, 南京奥多福尼生物科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 辣木籽多酚粗提液的制备

利用超声波辅助提取, 用体积分数 74% 的乙醇、液料比控制为 19:1(mL/g)、提取温度 67℃、超声时间 25 min, 得到辣木籽多酚粗提液^[14], 并将提取得到的粗提液在旋转蒸发器中浓缩到适当浓度, 放于 4℃冰箱中备用。

1.2.2 辣木籽多酚的测定方法-福林酚试剂法

用移液枪准确吸取待测提取液(适当稀释)1.0 mL 于 10 mL 刻度试管中, 分别加入 0.4 mL 的福林酚试剂和 1 mL 20% Na₂CO₃ 溶液, 在 60℃水浴中反应 30 min, 冷却至室温后用蒸馏水定容至 10 mL^[14]。以蒸馏水作为空白对照, 在波长 760 nm 处测吸光度。

1.2.3 大孔树脂预处理

为去除树脂中未聚合单体与致孔剂、分散剂、防腐剂等有机残留物, 提高树脂洁净度, 需对树脂进行预处理。将大孔树脂放于烧杯中, 加入高于树脂层 10~20 cm 的无水乙醇中浸泡 24 h, 适时的搅拌使树脂颗粒充分溶胀, 用无水乙醇反复清洗至流出液无白色浑浊, 再用蒸馏水水洗至流出液基本无乙醇味。最后将处理好的大孔树脂放入锥形瓶中, 加入蒸馏水浸泡, 留存备用。

1.2.4 大孔树脂的筛选

本试验以 5 种不同类型的大孔树脂 HPD-100、D-101、X-5(非极性), HPD-600(极性), AB-8(弱极性)对辣木籽多酚的吸附率、解吸率为评价指标进行综合对比, 筛选适合吸附辣木籽多酚的大孔树脂^[17]。

1.2.4.1 大孔树脂吸附试验

准确称取预处理后的五种大孔树脂各 2.00 g, 置于 250 mL 具塞锥形瓶中, 加入辣木籽多酚粗提液 40 mL, 放入恒温摇床中, 温度 30℃, 转速 120 r/min 避光震荡吸附 24 h, 吸取上清液用福林酚法测定多酚浓度。按公式(1)、(2)分别计算出大孔树脂的吸附率和吸附量。试验中每个处理重复 3 次, 取平均值。

$$\text{吸附率}(\%) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{吸附量}(\text{mg/g}) = \frac{C_0 - C_1}{M} \times V \quad (2)$$

式中: C_0 -辣木籽粗多酚初始浓度(mg/mL); C_1 -吸附平衡后多酚的浓度(mg/mL); M -湿树脂质量(g); V -辣木籽粗多酚溶液体积(mL)。

1.2.4.2 大孔树脂解吸试验

将充分吸附 24 h 后的 5 种大孔树脂取出过滤, 然后置于 250 mL 具塞锥形瓶中, 分别加入 50 mL 的体积分数为 50% 的乙醇溶液, 放入恒温摇床中, 温度 30℃, 转速 120 r/min 避光震荡解吸 24 h。取液体用福林酚法测其多酚浓度, 由解吸率的计算公式, 计算各种大孔树脂的解吸率。

$$\text{解吸率}(\%) = \frac{C}{C_0 - C_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_0 -辣木籽粗多酚初始浓度(mg/mL); C_1 -吸附试验时锥形瓶中辣木籽多酚的浓度(mg/mL); C -解吸液中多酚的浓度(mg/mL)。

1.2.4.3 静态吸附动力学测定

准确称取已预处理后的 5.000 g 初步筛选出的大孔树脂置于 250 mL 具塞三角烧瓶中, 加入 50 mL 的辣木籽多酚提取液, 瓶口密封, 置于恒温摇床中, 在 30℃下避光振荡吸附, 在吸附时间为 6 h 内, 每 30 min 测定一次。吸取三角瓶中溶液, 用福林酚法测定其多酚含量, 计算其吸附量, 以吸附时间作横坐标, 大孔树脂对辣木籽多酚的吸附量作纵坐标, 绘制静态吸附动力学曲线。

1.2.5 大孔树脂静态性能的确定

1.2.5.1 pH 值对树脂吸附的影响

用磷酸氢二钠-磷酸二氢钠缓冲液配制 pH 值为 3、4、5、6、7、8 辣木籽多酚提取液各 20 mL 于 250 mL 具塞锥形瓶中, 分别加入经优选并预处理好的大孔树脂 1.00 g, 瓶口密封, 置于转速 120 r/min, 温度

30 ℃摇床中避光振荡吸附 6 h, 取液体样品测定多酚含量, 计算吸附量。考察不同 pH 对大孔树脂吸附辣木籽多酚的影响。

1.2.5.2 浓度对树脂吸附的影响

用蒸馏水配制成浓度为 1 mg/mL、2 mg/mL、3 mg/mL、4 mg/mL、5 mg/mL 的溶液各 20 mL 置于 250 mL 具塞锥形瓶中, 分别加入经预处理好的大孔树脂各 1.00 g, 瓶口密封, 置于转速 120 r/min, 温度 30 ℃摇床中避光振荡吸附 6 h, 取液体样品测定多酚含量, 计算各浓度吸附量, 考察不同溶液浓度对大孔树脂吸附辣木籽多酚的影响。

1.2.5.3 洗脱液浓度对解吸效果的影响

准确称取预处理好的大孔树脂 5 份, 每份各 1 g, 置于 100 mL 锥形瓶中, 精密加入 20 mL 样品溶液, 静置 24 h, 使其达到饱和吸附, 分别加入体积分数为 40%、50%、60%、70%、80%、90% 的乙醇溶液 20 mL, 间隔振荡放置 24 h 后滤过, 测定解吸液中多酚浓度并计算解吸率。

1.2.6 大孔树脂动态性能的确

1.2.6.1 上样流速对吸附效果的影响

准确量取大孔树脂 20.00 g 按湿法装柱的方法装入 20 mm×300 mm 的玻璃层析柱中, 加入相同体积由 1.2.5.1 确定的 pH 及 1.2.5.2 确定的浓度的辣木籽粗多酚溶液。分别以 1 mL/min、2 mL/min、3 mL/min 的流速进行上样。每 10 mL 收集一次流出液, 并测定其吸光值。以流出液体积为横坐标, 吸光值为纵坐标绘制不同流速动态吸附曲线。

1.2.6.2 洗脱速度对洗脱效果的影响

以 1.2.6.1 确定的流速进行上柱吸附, 吸附饱和后用 1.2.5.3 确定的乙醇浓度, 分别以流速为 1 mL/min、2 mL/min、3 mL/min 进行动态洗脱, 收集流出液, 待解吸完后, 测定吸光值并计算解吸率。

1.2.6.3 动态洗脱曲线

准确量取大孔树脂 20.000 g 按湿法装柱的方法装入 20 mm×300 mm 的玻璃层析柱中, 取适量的辣木籽多酚粗提液以 1.2.6.1 确定上样流速上样, 待吸附饱和后, 先用蒸馏水洗脱至 Molish 反应为阴性, 除去杂质, 再用 1.2.5.3 确定的乙醇浓度洗脱, 洗脱速度为 2 mL/min, 洗脱液每 10 mL 收集一次, 计算各体积洗脱液中的多酚浓度, 以流出液体积为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 绘制动态洗脱曲线。

1.2.7 辣木籽多酚纯度的计算

将辣木籽多酚粗提液用静态吸附、解吸优选出的树脂采用湿法装柱的方法进行纯化, 然后将纯化后的溶液浓缩处理, 之后放入冷冻干燥箱中干燥至恒重,

称取一定质量的干燥样品, 质量由分析天平测定并根据下面公式计算辣木籽多酚纯度。

$$\text{辣木籽多酚纯度 (\%)} = \frac{C \times V}{M} \times 100\% \quad (4)$$

式中: C-辣木籽多酚提取液的初始浓度 (mg/mL); V-待测液体积 (mL); M-冷冻干燥后质量 (g)。

1.2.8 数据统计分析

采用 SPSS19 统计学软件分析数据, 采用单因素方差分析, 应用 LSD 法进行多重比较, $p < 0.05$ 表示具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 大孔树脂的筛选

2.1.1 静态吸附解吸的效果分析

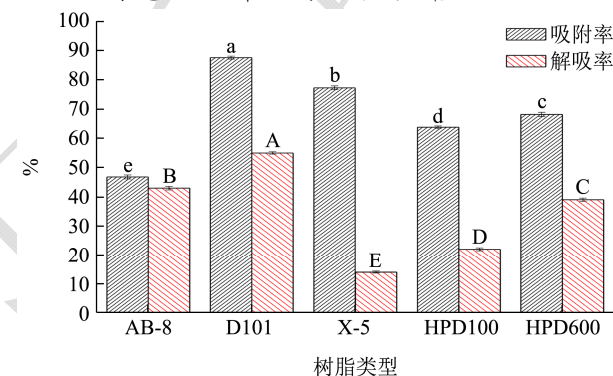


图1 五种树脂的吸附解吸效果图

Fig.1 The adsorption and desorption effect of five resin

注: 误差线代表标准偏差(n=3); 不同小写字母表示吸附率差异显著($p < 0.05$); 不同大写字母表示解吸率差异显著($p < 0.05$)。

从图 1 可知, 各种型号大孔树脂对辣木籽多酚都具有吸附作用, 但每种树脂的吸附率和解吸率具有一定差异。通过测定吸附前后的溶液中的多酚质量浓度并计算吸附率、解吸率, 结果显示, 在静态吸附条件下, 大孔树脂 D-101 的吸附率最大($p < 0.01$), 达到 87%, 其次是 X-5、HPD-600、HPD-100、AB-8。从解吸率来看, 乙醇溶液对各种大孔树脂均有很好的解吸能力, 其中 D-101 解吸率也是最大, 可以达到 55%, 其次是 AB-8、HPD-600、HPD-100、X-5。由于各种大孔树脂的极性、比表面积和平均孔径不同, 因此各树脂对辣木籽多酚的吸附和解吸能力有明显的差异。

2.1.2 静态吸附动力学曲线

由图 2 可知, D-101 型大孔树脂对辣木籽多酚的吸附量在初始阶段时, 吸附量变化较大, 且随着时间的增加而增大, 随着时间的推移, 吸附量变化逐步缓慢, 在吸附约 150 min 时 D-101 树脂慢慢趋向饱和, 180

min 后基本达到平衡。在筛选适宜吸附树脂时, 一般要求吸附量大、解吸率高, 吸附速率快的树脂。

通过对上述吸附率、解吸率、静态吸附动力学曲线三个指标综合考虑, D-101 是辣木籽多酚吸附、解吸的适宜树脂。

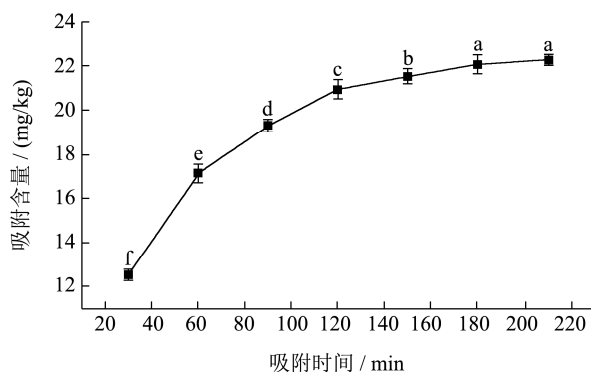


图2 D-101 静态吸附动力学曲线

Fig.2 D-101 static adsorption kinetic curve

注: 误差线代表标准偏差(n=3); 不同小写字母表示吸附量差异显著($p<0.05$)。图3同。

2.2 大孔树脂静态吸附条件分析

2.2.1 pH 对辣木籽多酚吸附效果的影响

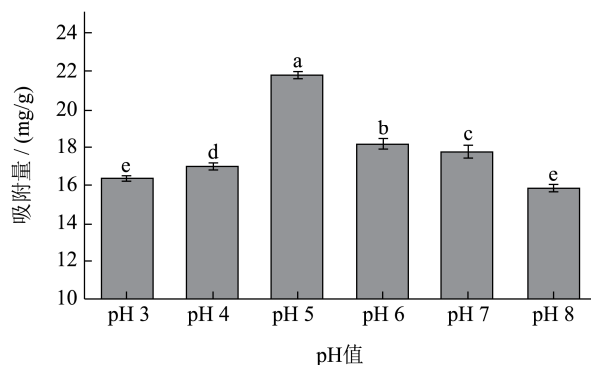


图3 pH 值对大孔树脂吸附效果的影响

Fig.3 The effect of pH on the adsorption of macroporous resin

由图3可知, 在 pH 值小于5时, D-101 树脂对辣木籽多酚的吸附量随 pH 值的增大而增加; pH 值为5时, 吸附量达到最大值, 吸附量为 21.9 mg/g; pH 值大于5以后, 随着 pH 值的增加, D-101 树脂对辣木籽多酚的吸附能力逐渐下降。pH 是影响树脂吸附的一个重要因素, 因为 pH 的改变会影响样品溶液的溶解度, 在酸性条件下, 酸性化合物容易被树脂吸附, 而在碱性条件下, 碱性化合物容易被树脂吸附。综上所述, pH 值为5时, 适合 D-101 大孔树脂对辣木籽中的多酚成分进行吸附。

2.2.2 浓度对辣木籽多酚吸附效果的影响

从图4可知, 样品浓度小于3 mg/mL 时, 随着样品浓度的增大, 树脂的吸附率也增大。样品浓度为3

mg/mL 时, 树脂的吸附率达到最大, 样品浓度大于3 mg/mL 时, 树脂的吸附率反而减小。一般情况下, 样品的浓度越高, 树脂的使用效率就越高。但是, 当样品浓度过高时, 在吸附过程中上样液会出现絮凝和沉淀的现象, 从而造成树脂污染和树脂柱被堵塞, 降低树脂吸附能力^[18], 综合分析, 辣木籽多酚的浓度以3 mg/mL 为适宜的上样浓度。

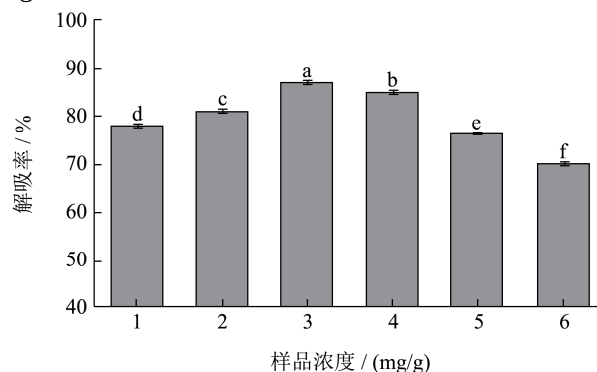


图4 样品浓度对大孔树脂吸附效果的影响

Fig.4 The effect of sample concentration on the adsorption of macroporous resin

注: 误差线代表标准偏差(n=3); 不同小写字母表示吸附率差异显著($p<0.05$)。

2.2.3 乙醇体积分数对 D-101 静态解吸率的影响

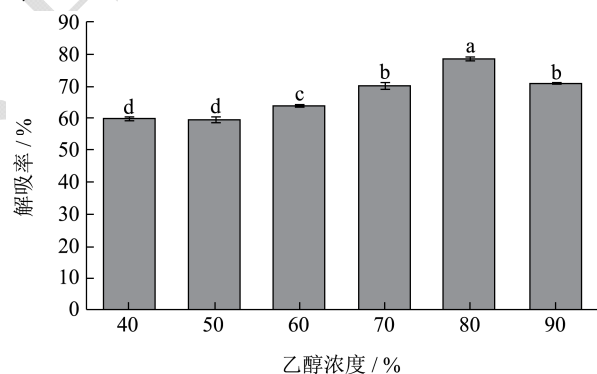


图5 乙醇体积分数对大孔树脂解吸的影响

Fig.5 effect of ethanol concentration on the desorption of macroporous resin

注: 误差线代表标准偏差(n=3); 不同小写字母表示解吸率差异显著($p<0.05$)。图7同。

由图5可知, 乙醇体积分数在40%~80%范围内, 随着乙醇体积分数的增大, 辣木籽多酚解吸率也增大, 当乙醇体积分数为80%时, 解吸率达到最大值78.74%。可能是由于乙醇体积分数较低时, 极性溶剂含量较低, 影响树脂的解吸。随着乙醇体积分数的提高, 极性逐渐与树脂的极性接近, 从而解吸效果提高。乙醇体积分数为90%时, 解吸率反而明显下降, 这可能是由于辣木籽多酚均为水溶性物质, 其解吸需要一

定的含水环境,含水量较少,辣木籽多酚同样难以溶出,所以解吸率也较低。综合分析,静态解吸时,以80%乙醇对辣木籽多酚解吸。

2.3 大孔树脂动态吸附条件分析

2.3.1 上样流速对吸附效果的影响

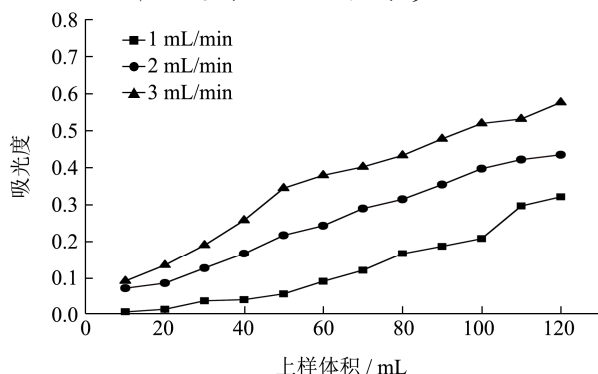


图6 上样流速对吸附的影响

Fig.6 The effect of sample flow velocity on adsorption

由图6可知,随着辣木籽多酚样品流出液的增加,流出液的吸光度也逐渐增大,树脂柱逐渐达到饱和状态。不同的流速上柱吸附时,流出液的吸光值表现出较大的差异。当上柱的流速增加后,样品吸附时间减少,这时,样品中的多酚类物质还没有扩散到大孔树脂内表面就被流出树脂柱,导致树脂的吸附率降低。而较小的流速能使样品中的多酚类物质有足够长的时间与大孔树脂的内表面接触,从而有利于大孔树脂对辣木籽多酚的吸附,提高大孔树脂的吸附率。尽管低流速有利于大孔树脂的吸附,但是过慢的流速会影响生产效率,并使样品的纯化周期延长,提高生产成本^[19]。综上所述,选择2 mL/min为最佳上样流速。

2.3.2 解吸流速对解吸效果的影响

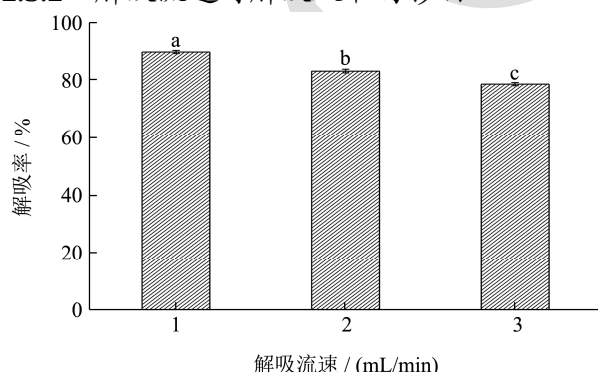


图7 不同解吸流速对解吸效果的影响

Fig.7 the influence of different desorption velocity on the desorption effect

从图7可知,在相同条件下,解吸剂流速对解吸率影响明显,解吸速度越快,解吸率反而减小,1 mL/min的解吸速度解吸率最好,2 mL/min次之,但

考虑到实际应用中,解吸速度越小会增加生产周期,综合分析本实验选择解吸流速为2 mL/min。

2.3.3 动态洗脱曲线

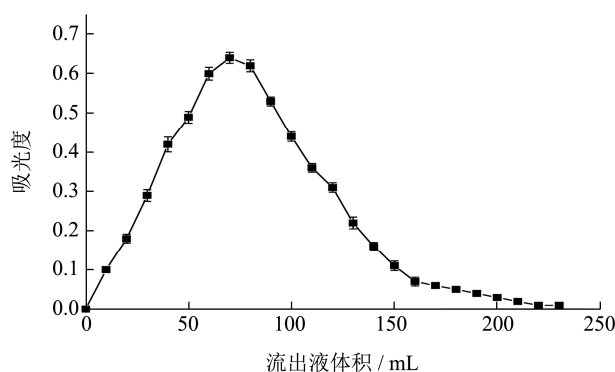


图8 动态洗脱曲线

Fig.8 Dynamic elution curve

从图8可知,动态洗脱时,吸附饱和的D-101型大孔树脂上吸附的辣木籽多酚是极易被洗脱的,只需少量洗脱液就能将辣木籽多酚洗脱下来,洗脱峰也相对集中,当流出液体积达到60~80 mL时,流出液中辣木籽多酚含量最高,当流出液体积为160 mL时,辣木籽多酚基本完全洗脱。

3 小结

本文以静态吸附率、解吸率为评价指标,对AB-8、D-101、HPD-100、HPD-600、X-5 5种不同类型的大孔吸附树脂吸附、解吸性能进行了比较分析,从中筛选出D-101大孔树脂对辣木籽多酚进行纯化。确定了D-101型大孔树脂纯化辣木籽多酚粗提物的最佳条件为:样品溶液pH为5,上样液浓度为3 mg/mL,解吸液为80%的乙醇溶液,上样流速为2 mL/min,洗脱流速为2 mL/min,在此条件下,辣木籽纯化物的纯度由10.37%提高到32.29%。结果表明,D-101大孔树脂在吸附、解吸辣木籽多酚操作简单,吸附速度快,解吸容易、稳定性高。

参考文献

- [1] 杜同同,孙朋,鄢庆祥,等.辣木籽的综合研究[J].大众科技,2017,19(12):46-48
DU Tong-tong, SUN Peng, YAN Qing-xiang, et al. Comprehensive research on *Moringa* seeds [J]. Volkswagen Technology, 2017, 19(12): 46-48
- [2] 刘昌芬,李国华.辣木的研究现状及其开发前景[J].云南热作科技,2002,25(3):20-24
LIU Chang-fen, LI Guo-hua. Research status and development prospect of *Moringa* [J]. Yunnan Rehabilitation Technology, 2002, 25(3): 20-24

- [3] 刘凤霞,王苗苗,赵有为,等.辣木中功能性成分提取及产品开 展的研究进展[J].食品科学,2015,36(19):282-286
LIU Feng-xia, WANG Miao-miao, ZHAO You-wei, et al. Research progress on functional ingredient extraction and product development in *Moringa* [J]. Food Science, 2015, 36(19): 282-286
- [4] 杨东顺,樊建麟,邵金良,等.辣木不同部位主要营养成分及氨基酸含量比较分析[J].山西农业科学,2015,43(9):1110-1115
YANG Dong-shun, FAN Jian-lin, SHAO Jin-liang, et al. Comparative analysis of main nutrients and amino acids in different parts of *Moringa* [J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(9): 1110-1115
- [5] Kumbhare M R, Guleha V, Sivakumar T. Estimation of total phenolic content, cytotoxicity and *in vitro* antioxidant activity of stem bark of *Moringa oleifera* [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2012, 2(2): 144-150
- [6] Mahajan S G, Mali R G, Mehta A A. Protective effect of ethanolic extract of seeds of *Moringa ole m* Lain against inflammation associated with development of arthritis in rats [J]. Journal of Immunotoxicology, 2007, 4(1): 39-47
- [7] Waterman C, Cheng D M, Rojas-Silva P, et a1. Stable, water extractable isothiocyanates from *Moringa oleifera* leaves attenuate inflammation *in vitro* [J]. Phytochemistry, 2014, 103: 114-122
- [8] Govardhan Singh R S, Negi P S, Radha C. Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extracts of *Moringa oleifera* seed flour [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1883-1891
- [9] Sreelatha S, Jeyachitra A, Padma P R. Antiproliferation and induction of apoptosis by *Moringa oleifera* leaf extract on human cancer cells [J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(6): 1270-1275
- [10] Al-Malki A L, El Rabey H A. The antidiabetic effect of low doses of *Moringa oleifera* Lam seeds on streptozotocin induced diabetes and diabetic nephropathy in male rats [J]. Biomed Res Int, 2015: 1-13
- [11] Hamza A A. Ameliorative effects of *Moringa oleifera* Lam seed extract on liver fibrosis in rats [J]. Food Chem Toxicol, 2010, 48(1): 345-355
- [12] Matshediso P G, Cukrowska E, Chimuka L. Development of pressurised hot water extraction (PHWE) for essential compounds from *Moringa oleifera* leaf extracts [J]. Food Chem, 2015, 172: 423-427
- [13] 杨迎,谢凡,龚胜祥,等.响应面法优化辣木籽多酚提取工艺及其抗氧化活性[J].食品工业科技,2018,39(3):172-178
YANG Ying, XIE Fan, GONG Sheng-xiang, et al. Optimization of extraction process and antioxidant activity of *Moringa* seed polyphenols by response surface methodology [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(3): 172-178
- [14] 张超,曹新志,冯泉,等.超声辅助提取辣木籽多酚工艺研究[J].化学研究与应用,2017,29(6):865-872
ZHANG Chao, CAO Xin-zhi, FENG Quan, et al. Study on ultrasonic assisted extraction of polyphenols from *Moringa* seed [J]. Chemical Research and Application, 2017, 29(6): 865-872
- [15] 旭彤.蓝莓加工废弃物中花青素提取纯化及抗氧化活性研究[D].长春:吉林大学,2015
XU Tong. Extraction, purification and antioxidant activity of anthocyanins from blueberry processing wastes [D]. Changchun: Jilin University, 2015
- [16] 贾荣.山葡萄籽多酚提取物及抗氧化活性的研究[D].长春:吉林大学,2010
JIA Rong. Study on polyphenol extract and antioxidant activity of grape seeds [D]. Changchun: Jilin University, 2010
- [17] 张玉洁.番杏多酚的提取纯化及抗氧化活性研究[D].长春:吉林大学,2016
ZHANG Yu-jie. Extraction, purification and antioxidant activity of polyphenols from apricot [D]. Changchun: Jilin University, 2016
- [18] 唐丽丽,刘邻渭,孙丽芳,等.大孔树脂对石榴皮中多酚物质的吸附研究[J].食品研究与开发,2011,32(5):48-51
TANG Li-li, LIU Lin-wei, SUN Li-fang, et al. Adsorption of polyphenols in pomegranate peel by macroporous resin [J]. Food Research and Development, 2011, 32(5): 48-51
- [19] 贺金娜.苹果多酚的制备、成分鉴定及其抗氧化性研究[D].无锡:江南大学,2014
HE Jin-na. Apple polyphenol preparation, composition identification and antioxidant activity [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014