

· 研究报告 ·

大孔吸附树脂纯化紫茶总多酚的工艺优化研究

曾棋平, 吴坤林, 陈锦珊 (中国人民解放军联勤保障部队第九〇九医院/厦门大学附属东南医院药剂科, 福建 漳州 363000)

[摘要] 目的 筛选适合分离和纯化紫茶总多酚的大孔吸附树脂, 确立其纯化工艺参数, 以期制备出高纯度的紫茶总多酚, 为其进一步开发奠定基础。方法 采用静态吸附-洗脱试验筛选纯化紫茶总多酚的大孔吸附树脂, 在单因素实验基础上, 以吸附率等指标, 考察上样液质量浓度、上样液 pH 值、径高比、上样体积、上样体积流量、洗脱液乙醇体积分数、洗脱液体积以及洗脱体积流量对纯化工艺的影响, 并确定最佳纯化工艺参数。结果 AB-8 型大孔吸附树脂纯化紫茶总多酚的最佳工艺参数为上样液质量浓度为 375 $\mu\text{g}/\text{ml}$, 上样体积流量 2 ml/min, 上样体积 3 BV, 上样液 pH 为 2, 径高比为 1 : 6, 洗脱时先用 3 BV 水去除杂质, 再用 50% 乙醇 4 BV 洗脱, 洗脱体积流量 2 ml/min。结论 AB-8 型大孔吸附树脂可纯化紫茶总多酚, 在最佳纯化工艺参数下, 紫茶总多酚的质量分数从 40.20% 升至平均 69.8%, 干膏量由 56.0 mg 减少至 29.9 mg, 建立的工艺稳定、可行, 可作为紫茶总多酚的纯化工艺条件。

[关键词] 紫茶; 总多酚; 大孔吸附树脂; 纯化工艺

[中图分类号] R284.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1006-0111(2021)01-0077-05

[DOI] 10.12206/j.issn.1006-0111.202005041

Optimization of total polyphenol purification from purple tea by macroporous resin

ZENG Qiping, WU Kunlin, CHEN Jinshan (Department of Pharmacy, No. 909 Hospital of Joint Logistic Support Force of PLA/Southeast Hospital Affiliated to Xiamen University, Zhangzhou 363000, China)

[Abstract] **Objective** To screen the macroporous adsorption resin suitable for the separation and purification of total polyphenols from purple tea and establish the purification process parameters to prepare high-purity total polyphenols from purple tea. **Methods** The static adsorption-elution test was used to screen macroporous adsorption resin for the purification of total polyphenols from purple tea. Based on the single factor test, the comprehensive score of adsorption rate was used as the index to investigate the effects of different factors on the purification process and identify the optimal parameters for the purification process. Those factors included sample concentration, the pH value of the sample solution, the ratio of column diameter to height, sample size, ethanol percentage in the eluent, eluent volume and elution flow rate. **Results** The best process parameters for purification of total polyphenols from purple tea by AB-8 macroporous adsorption resin were as following. The sample concentration was 375 $\mu\text{g}/\text{ml}$ with flow rate 2 ml/min. The sample volume was 3 BV. The sample solution pH was 2. The ratio of column diameter to height was 1 : 6. The impurities were removed first by water 3 BV. 50% ethanol 4 BV was used for elution with flow rate 2 ml/min. **Conclusion** AB-8 macroporous resin was selected for the purification of polyphenols from purple tea under the optimized technological conditions. The mass fraction of total polyphenols increased from 40.2% to an average of 69.8%. The solid content decreased from 56.0 mg to 29.9 mg. The established purification process has good stability and feasibility. It can be used as a purification process for total polyphenols from purple tea.

[Key words] purple tea; total polyphenols; macroporous adsorption resin; purification process

紫茶生长于非洲肯尼亚海拔 1 500 ~ 2 000 m 的地区, 主要成分为多酚类物质。现代药理研究表

明, 天然植物中的多酚具有抗肿瘤^[1]、抗氧化^[2]、抗菌^[3]、抗衰老^[4]等功效。课题组前期研究发现, 紫茶提取物中多酚的纯度不高, 直接影响相关制剂的开发。近年来, 大孔吸附树脂的应用越来越广泛, 尤其是在天然药物有效成分分离和纯化方面具有显著优势^[5-8]。本实验以紫茶为研究对象, 探索大孔吸附树脂对紫茶总多酚的纯化工艺, 以期制备出纯

[基金项目] 漳州市自然科学基金(ZZ2020J09)

[作者简介] 曾棋平, 硕士, 主管药师, 研究方向: 医院药学, Email: 850705020@qq.com

[通信作者] 陈锦珊, 副主任药师, 研究方向: 医院药学, Email: cjs18659341758@163.com

度较高的紫茶总多酚,为其进一步开发利用提供理论依据。

1 仪器与试剂

UV-2550型紫外分光光度计(日本岛津);AUX220型电子分析天平(精度:0.1 mg,日本岛津);HH-2数显恒温水浴锅(江苏金坛市友联仪器研究所)。KQ-500B型超声波清洗器(昆山超声仪器有限公司)。

肯尼亚紫茶(批号:20181030,火烈鸟茶叶有限公司);没食子酸对照品(批号:110831-201605,中国食品药品检定研究院);铁氰化钾(温州市化学用料厂);ADS-17、D101、D301、AB-8、X-5型大孔吸附树脂(安徽三星树脂科技有限公司);氯化铁、盐酸、乙醇等试剂(西陇科学股份有限公司),以上试剂均为分析纯,水为纯化水。5种大孔吸附树脂的物理参数详见表1。

表1 5种型号大孔吸附树脂物理参数

型号	外观	极性	粒径 (/nm)	比表面积 (m ² /g)	平均孔径 (/μm)
ADS-17	白色不透明球状颗粒	氢键	0.3~1.25	90~150	25~30
D101	白色半透明球状颗粒	非极性	0.3~1.25	480~520	25~28
D301	浅黄色半透明球状颗粒	中极性	0.3~1.25	550~600	48~58
AB-8	白色不透明球状颗粒	弱极性	0.3~1.25	480~520	130~140
X-5	白色不透明球状颗粒	非极性	0.3~1.25	500~600	290~300

2 方法与结果

2.1 紫茶总多酚的含量测定

2.1.1 对照品溶液的制备

精密称取干燥至恒重的没食子酸对照品 28.4 mg,置于 100 ml 量瓶中,加纯化水溶解并稀释至刻度,摇匀制备成母液。精密吸取 1 ml 母液置 10 ml 量瓶中,加纯化水稀释至刻度,配制成浓度为 28.4 μg/ml 的对照品溶液,置于冰箱中 2~8 °C 避光保存。

2.1.2 供试品溶液的制备

称取紫茶粉末 5.0 g,置于圆底烧瓶中,加入 50% 乙醇 500 ml,加热回流提取 30 min,放冷至室温,将药液滤过除去沉淀,滤液用 50% 乙醇补足减失的重量并稀释至 500 ml。精密吸取 1 ml 稀释液,置于 100 ml 量瓶中,加水稀释至刻度,即得。

2.1.3 线性关系及方法学考察

分别精密吸取浓度为 28.4 μg/ml 的没食子酸

对照品溶液 0.2、0.3、0.5、0.8、1.0 和 1.2 ml 于 25 ml 量瓶中,依次加入 0.1 mol/L FeCl₃ 溶液 1.0 ml、1%K₃[Fe(CN)₆] 溶液 2.0 ml 和 0.1 mol/L HCl 溶液 0.5 ml,用纯化水稀释至刻度,摇匀,于室温下避光放置 60 min。以相应试剂为空白,在 775 nm 处测定吸光度。以没食子酸质量浓度(*X*, μg/ml)为横坐标,以吸光度(*Y*)为纵坐标,绘制标准曲线,得回归方程: $Y=0.7699X+0.0273$ ($r=0.9997$),表明没食子酸浓度在 0.227~1.363 μg/ml 范围内与吸光度呈良好的线性关系。方法学考察结果表明,专属性良好,平均回收率为 100.28%,RSD 为 2.09%;精密度和重复性试验的 RSD 小于 3%。显示本方法准确可靠。

2.2 大孔吸附树脂的预处理

取 5 种不同型号的大孔吸附树脂在 95% 乙醇中浸泡 24 h,使其充分溶胀,将浸泡后的树脂装柱,用 95% 乙醇以 5 ml/min 的体积流量冲洗,直至流出液澄清,之后用 2 倍体积的 4% 盐酸溶液浸泡 3 h,用纯化水以 5 ml/min 的体积流量冲洗至中性,再用 2 倍体积的 5% 氢氧化钠溶液浸泡 3 h,用纯化水以 5 ml/min 的体积流量冲洗至中性,最后用 95% 乙醇浸泡保存,临用时以 5 ml/min 体积分流量的纯化水冲洗至中性。

2.3 静态吸附行为考察

2.3.1 大孔吸附树脂的筛选

取预处理后的 ADS-17、D101、D301、AB-8、X-5 型大孔吸附树脂约 1 g,精密称定,共 5 份,置于 50 ml 具塞磨口锥形瓶中。加入质量浓度为 50 μg/ml (以多酚含量计)的紫茶总多酚提取液 20 ml,在 30 °C 水浴的条件下振荡吸附 24 h。吸附结束后,滤过,取续滤液按照“2.1”项下方法测定总多酚的含量,计算各树脂在 30 °C 下对紫茶总多酚的吸附量和吸附率。然后,将上述吸附饱和的大孔树脂取出,用纯化水清洗后,分别加入 70% 乙醇 20 ml,在 30 °C 水浴的条件下振荡 24 h,进行静态解吸,计算其解吸率,结果见表 2。计算公式如下:

$$\text{吸附量}=(C_0-C_1)V_1/M$$

$$\text{吸附率}=(C_0-C_1)/C_0$$

$$\text{解吸量}=C_2V_2/M$$

$$\text{解吸率}=C_2V_2/[(C_0-C_1)V]$$

其中,*C*₀、*C*₁为吸附前和吸附后吸附液中多酚的质量浓度,*C*₂为解吸附后多酚的质量浓度,*V*₁和 *V*₂分别为吸附液和解吸液体积,*M*为大孔树脂的质量。

由表 2 结果可知,大孔树脂 D301 对紫茶总多酚具有较强的吸附效果,其吸附率达到 100%,其

表2 不同类型大孔树脂对紫茶总多酚的静态吸附率和解吸率

树脂型号	吸附量($\mu\text{g/g}$)	吸附率(%)	解吸量($\mu\text{g/g}$)	解吸率(%)
ADS-17	554.9	68.98	459.0	82.72
D101	621.6	77.74	341.4	54.93
D301	817.4	100.00	107.4	13.14
AB-8	701.8	82.20	598.2	86.73
X-5	727.8	89.90	600.8	81.13

余4种树脂的吸附率从高到低依次是X-5、AB-8、D101、ADS-17。由此可见,不同类型的树脂对紫茶总多酚的吸附性能各不相同。这可能是由于树脂的内部结构、分子极性以及多酚的溶解度等对树脂吸附多酚能力的影响。多酚由于分子中酚羟基的存在,其分子极性较低,因而在与极性较弱或者非极性的树脂进行吸附时效果更好。采用50%的乙醇进行解吸,可以看出5种树脂的解吸率差异较大,AB-8树脂的解吸效果最好,解吸率达86.73%,X-5树脂次之。综合紫茶总多酚提取液的静态吸附和解吸试验,AB-8型树脂和X-5型树脂对紫茶总多酚的吸附效果和解吸效果均较好,而AB-8型树脂价格相对低廉,从节省成本的角度考虑,优先采用AB-8型树脂对其进行纯化。

2.3.2 静态吸附和解吸曲线的绘制

取预处理后的AB-8型大孔吸附树脂约1g,精密称定,共15份,分别置于50ml具塞磨口锥形瓶中,加入质量浓度为50 $\mu\text{g/ml}$ 的紫茶总多酚提取液20ml,在25 $^{\circ}\text{C}$ 水浴的条件下振荡吸附12h,每隔一段时间取出1个磨口锥形瓶,测定其总多酚的质量浓度,计算对应时间的吸附率,绘制静态吸附动力学曲线。然后,采用静态解吸试验的方法处理已吸附结束的树脂,进行静态解吸动力学试验,同样每隔一段时间取出1个磨口锥形瓶,测定其总多酚的质量浓度,计算对应时间的解吸率,绘制静态解吸动力学曲线,结果见图1。

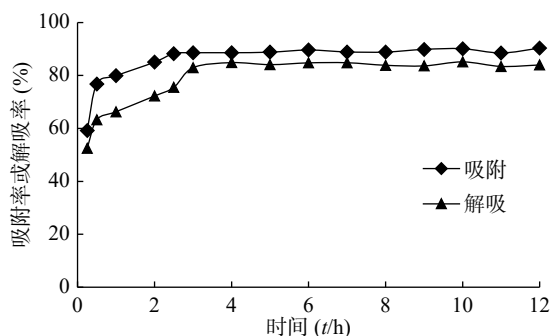


图1 AB-8树脂静态吸附与解吸动力学曲线

由图1可知,在测定的时间点内,AB-8型大孔吸附树脂对紫茶总多酚的吸附量随着时间的延长而逐渐增多,经过2.5h以后,树脂对紫茶总多酚的吸附量趋于平衡,对应的吸附率为88.27%。在0~5h内,树脂的解吸率呈上升趋势,并在4h达到最大值84.86%,在随后的时间里,解吸率随着时间的延长变化不大。

2.3.3 吸附液pH值对吸附率的影响

取预处理好的AB-8型大孔吸附树脂1g,精密称定,共7份,分别置于50ml具塞磨口锥形瓶中,分别加入质量浓度为50 $\mu\text{g/ml}$ 并用0.1mol/L的盐酸和0.1mol/L的氢氧化钠溶液调节pH值为2、3、4、5、6、7、8的紫茶总多酚提取液,在30 $^{\circ}\text{C}$ 水浴的条件下振荡吸附2.5h,测定吸附液中紫茶总多酚的质量浓度,计算吸附率,结果见表3。

表3 pH值对紫茶总多酚吸附率和解吸率的影响

pH值	吸附量($\mu\text{g/g}$)	吸附率(%)
2	702.4	89.79
3	712.4	90.79
4	700.3	87.77
5	706.3	89.07
6	652.5	85.71
7	641.7	83.19
8	558.4	71.54

由表3可知,吸附液pH值对紫茶总多酚的吸附率有较大影响。在pH值为2时,AB-8型大孔吸附树脂对此质量浓度下的紫茶总多酚吸附率达89.79%。因此,确定上样液的pH值为2。

2.4 动态吸附行为考察

2.4.1 泄露曲线的绘制

取预处理后的AB-8型树脂10g,精密称定,室温下将质量浓度为250.0 $\mu\text{g/ml}$ (调至pH为2)的紫茶总多酚提取液(供试品溶液用水稀释)以1.0ml/min体积流量湿法加至树脂柱中,分段收集流出液,流出液每20ml收集1份,测定吸光度,计算对应的总多酚含量,绘制泄露曲线。当流出液中总多酚的质量浓度达到上样液质量浓度的1/10,达到泄露点,认为此时为最佳上柱体积,结果见图2。在第2份流出液时,紫茶总多酚已经开始泄露,在第3份流出液中,总多酚的质量浓度为26.5 $\mu\text{g/ml}$,达到上样液质量浓度的1/10,因此选择上柱体积为60ml,即3BV。

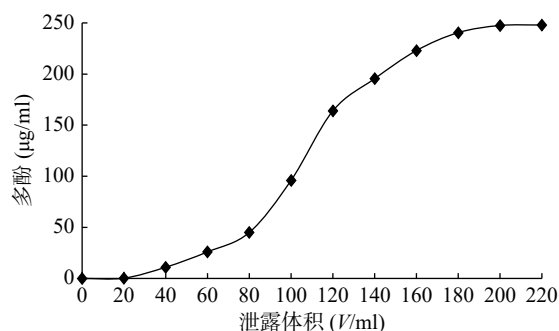


图2 紫茶总多酚在 AB-8 大孔树脂上的泄露曲线

2.4.2 上样液质量浓度的影响

取预处理好的 AB-8 型树脂 10 g, 精密称定, 装入 1.5 cm×20 cm 的层析柱中, 共 5 份, 分别加入质量浓度为 250、375、500、625、750、1 000 μg/ml 的上样液(pH 为 2)各 60 ml(3 BV), 以 1.0 ml/min 的流速上柱, 收集流出液, 按“2.1”项下方法测定总多酚含量, 计算各质量浓度下的吸附率, 确定最佳上样质量浓度。结果显示, 各上样质量浓度下的吸附率分别为 74.50%、77.56%、69.77%、60.59%、56.73%、43.61%。由此可见, 上样液质量浓度对大孔吸附树脂吸附性能有显著影响, 在考察范围内吸附率总体呈现出先上升后下降的趋势。当质量浓度小于 375 μg/ml 时, 随着上样液质量浓度增加, 动态吸附率呈现上升的趋势; 分析原因可能是在此较低的浓度范围内, 紫茶多酚有较大的机会与大孔树脂的内表面接触, 进而加速扩散至树脂孔道内, 形成吸附作用。而当质量浓度大于 375 μg/ml 时, 随着质量浓度继续增加, 位于孔道内的紫茶总多酚分子的扩散运动受到抑制, 导致树脂对多酚的吸附能力降低。因此, 选择上样液质量浓度为 375 μg/ml。

2.4.3 上样液体积流量的影响

取预处理的 AB-8 型大孔吸附树脂 10 g, 精密称定, 以湿法上柱法装入 1.5 cm×20 cm 的层析柱中, 共 4 份, 轻敲柱壁, 使柱内树脂平衡, 打开下端阀门, 控制体积流量使柱内纯化水流出, 在液面距树脂 1 cm 时, 将紫茶总多酚上样液(质量浓度为 375 μg/ml, pH 为 2, 上样量为 3 BV)分别以 1.0、2.0、3.0、4.0 ml/min 的体积流量上柱, 同时收集下端流出液, 测定吸光度, 计算吸附率, 确定最佳上样体积流量。结果显示, 吸附率分别为 79.37%、79.78%、72.73%、64.73%, 当上样体积流量为 2.0 ml/min 时, AB-8 型大孔吸附树脂对紫茶总多酚的吸附率最大, 故选择上样体积流量为 2.0 ml/min。

2.4.4 径高比对动态吸附性能的影响

取预处理的 AB-8 型大孔吸附树脂 10 g, 精密称定, 以湿法上柱法装入 1.5 cm×40 cm 的层析柱

中, 分别设置径高比(柱直径与树脂填充高度比值)为 1:6、1:9、1:12、1:15, 将紫茶总多酚上样液(质量浓度为 375 μg/ml, pH 为 2)分别以 2.0 ml/min 的体积流量上柱, 对应的药液上样量分别为 3、4.5、6、9 BV, 收集下端流出液, 测定吸光度, 计算吸附率, 确定最佳径高比。结果显示, 吸附率分别为 79.81%、78.37%、76.73%、68.54%。径高比 1:6 和 1:9 对吸附率影响不大。此后, 在考察范围内, 随着径高比值的降低, 吸附率也呈现下降的趋势, 可能是由于树脂层过高导致上样液穿透能力差所致。

2.4.5 洗脱剂体积分数的影响

取预处理后的 AB-8 型大孔吸附树脂 10 g, 精密称定, 共 5 份, 以湿法缓慢装入 1.5 cm×20 cm 的层析柱(径高比为 1:6, 下同), 将质量浓度为 375 μg/ml 上样液(调节 pH 为 2)3 BV 以 2.0 ml/min 的体积流量通过树脂柱, 待吸附饱和后, 分别用纯化水及 25%、50%、75%、90% 乙醇溶液各 3 BV 以 1.0 ml/min 的流速进行洗脱, 收集洗脱液, 测定其吸光度, 计算解吸率, 确定最佳洗脱剂体积分数。结果: 解吸率分别为 17.52%、62.96%、91.04%、81.41%、84.67%, 由此可见, 50% 乙醇对紫茶总多酚的解吸作用最强, 故选择洗脱剂的体积分数为 50%。

2.4.6 洗脱剂用量的影响

取预处理后的 AB-8 型大孔吸附树脂 10 g, 精密称定, 以湿法缓慢装入 1.5 cm×20 cm 的层析柱中, 将 375 μg/ml 的上样液(pH 为 2)3 BV 以 2 ml/min 的体积流量通过树脂柱, 待吸附饱和后, 用 50% 乙醇以 1.0 ml/min 的流速进行洗脱, 洗脱溶剂用量分别为 1、2、3、4、5 BV, 收集洗脱液, 测定其吸光度, 计算洗脱率, 确定最佳洗脱剂用量。结果: 解吸率分别为 54.68%、83.37%、90.29%、91.48%、91.45%, 表明当 50% 乙醇用量在 1~3 BV 时, 随着用量的增加, 对紫茶总多酚的解吸率呈上升的趋势, 随后继续增加洗脱剂的用量, 解吸率不再增加, 表明此时树脂上吸附的总多酚已被充分洗脱, 没有必要再增加洗脱剂的用量, 故确定洗脱剂的用量为 4 BV。

2.4.7 洗脱剂体积流量对洗脱效果的影响

取预处理后的 AB-8 型大孔吸附树脂约 10 g, 精密称定, 以湿法缓慢装入 1.5 cm×20 cm 的层析柱中, 将 375 μg/ml 上样液(pH 为 2)3 BV 以 2.0 ml/min 的体积流量通过树脂柱, 待吸附饱和后, 用 50% 乙醇溶液 4 BV 分别以 1.0、2.0、4.0、6.0 ml/min 的体积流量进行洗脱, 计算解吸率, 确定最佳体积流量。结果: 对应的解吸率分别为 92.47%、93.76%、91.97%、85.18%, 表明紫茶总多酚的洗脱率随着洗

脱体流量的加大先升高后减小,故选择最佳洗脱体流量为 2 ml/min。

2.5 最佳工艺的验证

称取 4 份预处理后的大孔吸附树脂约 10 g,精密称定,以湿法缓慢装入 1.5 cm×20 cm 层析柱中(径高比为 1:6),将紫茶提取物预先用石油醚(60~90℃)除去脂溶性色素,参考“2.1.2”项下方法加水稀释以制备浓度为 375 μg/ml(pH 为 2)的紫

茶总多酚溶液 3 BV(总多酚质量为 22.5 mg,质量分数 40.2%,干膏 56.0 mg),并以 2 ml/min 体流量上样,待吸附饱和后,先用 3 BV 水去除杂质,然后用 50% 乙醇溶液 4 BV 以 2 ml/min 的体流量洗脱,分别收集洗脱液,按照紫茶总多酚定量测定方法,计算总多酚洗脱量及洗脱率,再将洗脱液水浴蒸干,低温烘至恒重,计算干膏的量;精密称取干膏适量,测定总多酚的含量。结果见表 4。

表 4 纯化工艺验证结果

编号	加入量 (m/mg)	纯化前		洗脱量 (m/mg)	洗脱率 (%)	纯化后			
		干膏量(m/mg)	质量分数(%)			干膏量(m/mg)	质量分数(%)	平均质量分数(%)	RSD(%)
1	22.5	56.0	40.2	20.8	92.4	29.4	70.7	69.8	1.27
2				21.0	93.3	30.6	68.6		
3				20.9	92.8	30.0	69.7		
4				20.6	91.6	29.4	70.1		

由纯化工艺验证结果可见,经过 4 次验证试验,50% 乙醇洗脱条件下总多酚的平均洗脱率为 92.5%,紫茶总多酚干膏量由 56.0 mg 减少至平均 29.9 mg,质量分数从 40.2% 升至平均 69.8%,表明建立的纯化工艺对紫茶总多酚有较好的分离、纯化效果。

3 讨论

大孔吸附树脂是一种具有多孔立体结构和选择性吸附功能的高分子材料,目前已广泛应用于中药的活性成分如黄酮、皂苷、生物碱及多酚等成分的分离与纯化。其中,目前采用大孔树脂对多酚类成分进行纯化的有天麻总多酚^[9]、白藜叶总多酚^[10]、过岗龙总多酚^[11]、茶梗中茶多酚^[12]等,这都提示了大孔树脂精制多酚类有效成分的可行性。影响大孔树脂的分离纯化有多方面的因素,在选择合适的大孔树脂时,应综合考虑各种影响因素,如树脂的极性、比表面积以及上样液的质量浓度、洗脱液浓度等,以获得最佳的分离效果。在利用大孔树脂纯化时,应尽量滤去上样液中的沉淀,这样既能提高总多酚的纯化率,也能提高树脂的使用寿命。本研究中的样品采用 50% 乙醇提取后用纯化水进行稀释,当样品溶于水时,由于多酚类物质能被大孔树脂吸附,而色素及多糖等物质不能吸附而被洗脱掉。而在改为乙醇洗脱时,树脂的吸附效果减弱,被吸附的多酚能被乙醇洗脱。

本研究通过对 5 种不同型号的大孔吸附树脂的吸附和解吸进行考察,确定了 AB-8 型大孔吸附

树脂纯化紫茶总多酚的最佳工艺条件,为该产品的进一步开发奠定了基础。

【参考文献】

- [1] 苟体忠,刘玉林. 黔产朱砂莲多酚含量及其抗氧化活性研究[J]. *山东化工*, 2019, 48(8): 93-95.
- [2] AFZAL M, SAFER A M, MENON M. Green tea polyphenols and their potential role in health and disease[J]. *Inflammopharmacology*, 2015, 23(4): 151-161.
- [3] 钟益宁,吴诗云,张焱,等. 肉桂枝叶非挥发部分总多酚测定及其体外抗菌作用[J]. *中成药*, 2016, 38(10): 2297-2300.
- [4] 吴建华,吴志瑰,裴建国,等. 多酚类化合物的研究进展[J]. *中国现代中药*, 2015, 17(6): 630-636.
- [5] 高林晓,郭蒙,王珏,等. 铁氰化钾-氯化铁显色体系分光光度法测定星宿菜中多酚[J]. *中国药师*, 2019, 22(2): 366-369.
- [6] YANG C Y, HA W, LIN Y, et al. Polyphenols isolated from *Xanthoceras sorbifolia* husks and their anti-tumor and radical-scavenging activities[J]. *Molecules*, 2016, 21(12): 1694-1708.
- [7] 李佩儒,周春阳,张译,等. 洋葱醇提物多酚含量及其抗氧化活性研究[J]. *中国药业*, 2019, 28(9): 21-24.
- [8] 蒋林,米阿娜,罗宇东,等. 星点设计-响应面法优选龙钻通痹方总生物碱大孔树脂纯化工艺[J]. *中草药*, 2018, 49(2): 337-345.
- [9] 蔺蓓蓓,郑红星,刘祥,等. 天麻中总多酚的大孔树脂纯化工艺优化[J]. *中国药房*, 2019, 30(14): 1965-1969.
- [10] 岑叶盛,李小龙,陈淑娟,等. 大孔吸附树脂纯化白藜叶总多酚的工艺优化[J]. *中草药*, 2019, 50(13): 3071-3076.
- [11] 丁扬洲,冯少斌,崔倩,等. 大孔树脂纯化过岗龙总多酚的工艺研究[J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(9): 2103-2105.
- [12] 陈沛鑫,高英,李卫民,等. 大孔树脂纯化茶梗中茶多酚的工艺优选[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(22): 65-68.

【收稿日期】 2020-05-15 【修回日期】 2020-09-01

【本文编辑】 李睿曼