大孔吸附树脂法分离纯化肉桂总黄酮的工艺优化

库咏峰，黄品鲜，刘雄民*，黄 增，卓梅芳，唐婷范
(广西大学化学化工学院，广西 南宁 530004)

摘 要：采用大孔吸附树脂法分离纯化肉桂总黄酮，考察影响树脂静态和动态吸附与洗脱主要因素，确定肉桂总黄酮分离纯化优化工艺条件。结果表明：HPD-500大孔吸附树脂分离纯化效果较好，其对肉桂总黄酮静态吸附和解吸最佳工艺条件为吸附平衡时间6h、解吸平衡时间2h、样液质量浓度0.8mg/mL、样液pH6.0、洗脱剂乙醇体积分数80%；其对肉桂总黄酮动态吸附和洗脱最佳工艺条件为上样液质量浓度1.2mg/mL、上样液流速1.5mL/min、洗脱剂流速2.0mL/min、洗脱剂(80%乙醇)体积45mL时洗脱完全。在此条件下，分离纯化得到总黄酮含量为91.81%。

关键词：肉桂；总黄酮；分离纯化；大孔吸附树脂

Optimization of Purification of Total Flavonoids from Cinnamon Using Macroreticular Resin

KU Yong-feng，HUANG Pin-xian，LIU Xiong-min*，HUANG Zeng，ZHUO Mei-fang，TANG Ting-fan
(College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract：The purification of total flavonoids from cinnamon was studied using macroreticular resin. Critical process variables that influence the static and dynamic adsorption and desorption of total flavonoids were selected and optimized. HPD-500 type macroreticular resin was found to be optimal for purifying total flavonoids from cinnamon. The optimal experimental conditions for static adsorption and desorption were determined as 6 h, 2 h, 0.8 mg/mL, 6.0 and 80% ethanol for adsorption time, desorption time, sample concentration, sample pH and desorption solvent, respectively. The optimal experimental conditions for dynamic adsorption and desorption were loading of 1.2 mg/mL sample solution at pH 6.0 with a flow rate of 1.5 mL/min and complete desorption with 45 mL of 80% ethanol at a flow rate of 2.0 mL/min. The content of total flavonoids in purified products under the optimized conditions was 91.81%.

Key words：cinnamon；total flavonoids；separation and purification；macroreticular resin
中图分类号：TQ651.2；O657.32 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)24-0019-06
doi:10.7506/spkx1002-6630-201324004

肉桂，系属樟科植物，常绿乔木，集药材、食品调料及日用化工产品应用为一体，在我国资源丰富，主要分布在南热带及亚热带地区，以两广为主，占全国产量的95%以上，其中尤以广西栽培为多，大多为人工纯林[1-2]。肉桂的成分相对复杂，主要含有挥发油[3-4]、糖类、单宁酸[5]，酚类[6]、黄酮类化合物[7]、总皂苷[8]等物质，而前期研究主要倾向于挥发油的提取工艺、有效成分及其生物活性[9-10]。黄酮类化合物具有抗肿瘤、抗病毒、抑菌消炎、镇痛、保护心脑血管系统和肝脏、延缓衰老抗疲劳、提高免疫力、营养和雌激素作用、促进消化、提高神经兴奋性、抗氧化及清除自由基等良好的药理作用和生物活性[11-13]。对于肉桂黄酮类化合物提取的报道较少，邹勇芳等[7]采用超声波辅助法从广西防城港肉桂植物果、叶、茎提取黄酮类物质，提取率分别为0.7329%、3.790%、10.07%；马世宏[14]采用乙醇浸提法从南京市售桂皮中提取黄酮，提取率为7.982%；库咏峰等[15]采用乙醇浸提法从广西防城港肉桂皮中提取黄酮类化合物，提取率为16.10%；陶亮亮等[16]等采用超声辅助法提取桂皮总黄酮，提取率为8.31%；而对其分离纯化研究报道也极少，梅文莉等[17]对锡兰肉桂地上部分的乙醇提取物进行活性筛选，采用柱层析法分离得到5种黄酮类化合物单体。黄酮类化合物分离纯化常用的方法有pH值梯度萃取法、铅盐沉淀法、柱层析法、薄层色谱法、超滤法、高效液相色谱法[18-19]，还有毛细管电泳法[20]、双模离心分配色谱法[21]、高速逆流色谱法[22]、分子印迹膜法[23]等新型方法。柱层析法最为常用，其中大孔吸附树脂法技术成熟，优越性好，它对水溶性化合物分离有独特而显著的效果，具有吸附能力强、吸附容量大、选择性好、操作

收稿日期：2012-12-04
基金项目：广西自然科学基金项目(桂科基0832002)；广西教育厅科研项目(200807MS149)
作者简介：库咏峰(1984—)，男，硕士研究生，主要从事天然产物的提取与分离研究。E-mail：kuhbnucd057201@163.com
*通信作者：刘雄民(1960—)，男，教授，博士，主要从事香料化学及天然产物化学研究。E-mail：xmliu1@gxu.edu.cn

条件温和、解吸容易、再生性好等优点，已被广泛应用于食品、医药、环保等领域有效成分的分离与纯化[24-25]。

本实验以广西防城肉桂为原料，采用大孔吸附树脂法对肉桂总黄酮分离纯化的工艺进行研究，寻找理想的大孔吸附树脂，考察影响树脂静态和动态吸附与洗脱主要因素，优化肉桂总黄酮分离纯化工艺条件，为肉桂总黄酮分离及利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

肉桂，产于广西防城，由南宁市景昌中药饮片有限公司提供，利用植物粉碎机将干燥的肉桂粉碎，过60目筛。

1.2　试剂与仪器

大孔吸附树脂　沧州宝恩吸附材料科技有限公司；芦丁标准品　中国食品药品检定研究院；无水乙醇、甲醇、石油醚(沸程60～90℃)、亚硝酸钠、九水合硝酸铝、氢氧化钠等均为分析纯。

UV-2550型紫外-可见光分光光度计　日本岛津公司。

1.3　方法

1.3.1　肉桂总黄酮溶液的制备

准确称取过60目筛肉桂粉100g，用石油醚按料液比1:4(g/mL)在85℃条件下索氏回流进行脱脂处理，自然风干。取脱脂肉桂粉50g，用60%乙醇按料液比1:24(g/mL)在60℃条件下浸提6h，冷却、离心、过滤，浓缩去乙醇，然后用1:1(*V*/*V*)的正丁醇连续萃取2次，取上层有机相，浓缩得浸膏。将浸膏用一定体积的95%乙醇超声溶解，静置、冷藏过夜，醇沉去多糖、蛋白质等杂质，过滤、浓缩，再用大量超纯水稀释，得肉桂总黄酮水溶液。

1.3.2　肉桂总黄酮测定方法

参考文献[15]，以芦丁为标准品，$NaNO_2$-$Al(NO_3)_3$-NaOH为显色剂，采用紫外-可见分光光度法建立芦丁标准曲线来对肉桂总黄酮含量进行测定。

1.3.3　树脂预处理

先用95%乙醇浸泡树脂24h，使其充分溶胀，过滤后用蒸馏水清洗至无白色混浊、无乙醇味且溶液显中性，然后分别用5% HCl溶液和5% NaOH溶液浸泡24h，用蒸馏水清洗至中性，最后用蒸馏水保鲜，密封贮存备用。

1.3.4　树脂再生

先在容器内加入5% HCl溶液浸泡树脂24h，装柱后用同浓度HCl溶液淋洗，然后用蒸馏水洗至中性，再用5% NaOH溶液浸泡树脂24h，装柱后用同浓度NaOH溶液淋洗，最后用蒸馏水洗至中性。

1.3.5　树脂吸附与洗脱的计算

大孔吸附树脂静态和动态吸附与洗脱实验过程中，按式(1)～(4)[26]计算吸附量、吸附率、洗脱率、回收率。

$$Q/(\mathrm{mg/g})=\frac{(\rho_0-\rho_e)V_0}{m} \tag{1}$$

$$E/\%=\frac{\rho_0-\rho_e}{\rho_0}\times 100 \tag{2}$$

$$D/\%=\frac{\rho_d\times V_d}{(\rho_0-\rho_e)V_0}\times 100 \tag{3}$$

$$R/\%=\frac{\rho_d\times V_d}{\rho_0\times V_0}\times 100 \tag{4}$$

式(1)～(4)中：Q为树脂吸附量/(mg/g)；ρ_0为溶液起始质量浓度/(mg/mL)；ρ_e为溶液平衡质量浓度/(mg/mL)；V_0为吸附液体积/mL；m为树脂质量/g；E为树脂吸附率/%；D为洗脱率/%；ρ_d为洗脱液浓质量度/(mg/mL)；V_d为洗脱液体积/mL；R为回收率/%。

1.3.6　树脂筛选

准确称取抽滤过的9种新鲜树脂AB-8、X-5、S-8、H103、NKA-9、ADS-17、HPD-500、DM130、D101型各2.0g于150mL的三角锥形瓶中，分别加入50mL 0.9294mg/mL的肉桂总黄酮水溶液，放入恒温振荡器中静态吸附，设置温度25℃，振荡频率100r/min，振摇24h。将吸附平衡液依次进行抽滤，转移滤液至试管，树脂至锥形瓶。向锥形瓶中各加入50mL 95%的乙醇溶液，放入恒温振荡器中静态解吸，振摇24h。将解吸液依次进行抽滤，转移滤液至试管，树脂至回收瓶。对静态吸附平衡液和解吸液总黄酮质量浓度进行测定，计算吸附率、洗脱率、回收率，比较筛选出理想型大孔吸附树脂。

1.3.7　影响树脂静态吸附和解吸主要因素

1.3.7.1　树脂静态吸附平衡时间

准确称取新鲜树脂2.0g，置于150mL的三角锥形瓶中，加入50mL配制质量浓度1.0mg/mL的肉桂总黄酮水溶液，放入恒温振荡器中摇床进行静态吸附，设置温度25℃、振荡频率100r/min，充分吸附12h。每隔30min用移液管移取0.2mL吸附液，测定吸附液剩余总黄酮质量浓度即平衡质量浓度。

1.3.7.2　树脂静态解吸平衡时间

将吸附饱和的树脂抽滤并转移至锥形瓶中，加入60%乙醇溶液50mL，放入恒温振荡器中摇床进行静态解吸，设置温度25℃、振荡频率100r/min，充分解吸6h。每隔30min用移液管移取0.2mL解吸液，测定解吸液总黄酮质量浓度即洗脱质量浓度。

1.3.7.3　样液质量浓度对树脂静态吸附的影响

将原溶液稀释配制成质量浓度分别为1.0、0.8、0.6、0.4、0.2mg/mL的肉桂总黄酮水溶液，静态吸附后测定平衡质量浓度，计算吸附量和吸附率，建立质量浓度与吸附量和吸附率的曲线。

1.3.7.4 样液pH值对树脂静态吸附的影响

取50mL质量浓度0.8mg/mL的肉桂总黄酮水溶液5份，分别滴加5% HCl和5% NaOH溶液调节pH值为4.0、5.0、6.0、7.0、8.0，静态吸附后测定平衡质量浓度，计算吸附量和吸附率。

1.3.7.5 乙醇体积分数对树脂静态解吸的影响

取50mL质量浓度为0.8mg/mL的肉桂总黄酮水溶液5份，调节pH6.0，在25℃条件下进行静态吸附，测定平衡质量浓度；再分别用体积分数50%、60%、70%、80%、90%乙醇溶液进行静态解吸，测定洗脱液体积分数，计算洗脱率。

1.3.8 影响树脂动态吸附和洗脱主要因素

准确称取筛选出的理想型树脂14.0g，湿法装入玻璃层析柱(1.5cm×40cm)中，树脂柱高度约为10cm。先将样液进行动态吸附，然后用蒸馏水洗去多糖、蛋白质等水溶性杂质成分，再用洗脱剂进行动态洗脱。

1.3.8.1 上样液质量浓度对树脂动态吸附的影响

利用原溶液配制质量浓度分别为0.4、0.8、1.2、1.6、2.0mg/mL的肉桂总黄酮水溶液，调节pH值为6.0，用恒流泵调节上样速率1.0mL/min，上样量均为120mL，动态吸附后测定流出液的体积和总黄酮质量浓度，计算吸附率。

1.3.8.2 上样液流速对树脂动态吸附的影响

取质量浓度1.2mg/mL的肉桂总黄酮水溶液5份，调节pH6.0，用恒流泵调节上样速率分别为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5mL/min，上样量均为120mL，动态吸附后测定流出液的体积和总黄酮质量浓度，计算吸附率。

1.3.8.3 洗脱剂流速对树脂动态洗脱的影响

取质量浓度1.2mg/mL的肉桂总黄酮水溶液5份，调节pH6.0，用恒流泵调节上样速率1.5mL/min，上样量均为120mL，动态吸附后测定流出液的体积和总黄酮质量浓度；再用60mL 80%乙醇溶液进行动态洗脱，用恒流泵调节洗脱剂流速分别为1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mL/min，测定流出液的体积和总黄酮质量浓度，计算洗脱率。

1.3.8.4 洗脱剂体积对树脂动态洗脱的影响

准确称取HPD-500树脂14.0g，湿法装入玻璃层析柱(1.5cm×40cm)中，树脂柱高度约为10.0cm。将1.2mg/mL的肉桂总黄酮水溶液调节pH6.0，用恒流泵调节上样速率1.5mL/min，上样量120mL；再用60mL 80%乙醇溶液进行动态洗脱，恒流泵调节洗脱剂流速2.0mL/min，流出液每3mL收集1试管，直至流出液变为无色为止，测定每支试管溶液中总黄酮的质量浓度。

2 结果与分析

2.1 理想型树脂的确定

由表1可知，吸附率、解吸率、回收率按照大到小排列顺序如下：吸附率：S-8＞HPD-500＞H103＞NKA-9＞AB-8＞X-5＞D101＞DM130＞ADS-17；洗脱率：HPD-500＞D101＞AB-8＞NKA-9＞DM130＞S-8＞H103＞ADS-17＞X-5；回收率：HPD-500＞AB-8＞NKA-9＞D101＞S-8＞H103＞DM130＞X-5＞ADS-17。

表1 不同大孔吸附树脂对肉桂总黄酮静态吸附和解吸结果

Table 1 Results of static adsorption and desorption of different macroreticular resins to cinnamon total flavonoids

树脂类型	平衡液质量浓度ρ_e/(mg/mL)	洗脱液质量浓度ρ_d/(mg/mL)	吸附量Q/(mg/g)	吸附率E/%	洗脱率D/%	回收率R/%
AB-8	0.1941	0.6536	18.38	79.12	88.89	70.32
ADS-17	0.3071	0.4375	15.56	66.96	70.30	47.07
X-5	0.2198	0.4949	17.74	76.35	69.74	53.25
HPD-500	0.1741	0.7203	18.88	81.27	95.37	77.50
DM130	0.2451	0.5809	17.11	73.63	84.89	62.50
S-8	0.1671	0.5996	19.06	82.02	78.66	64.51
D101	0.2341	0.6416	17.38	74.81	92.28	69.03
NKA-9	0.1801	0.6450	18.73	80.62	86.08	69.40
H103	0.1768	0.5869	18.82	80.98	77.98	63.15

由于大孔吸附树脂极性、孔径、比表面积不同，对肉桂总黄酮吸附和解吸能力有差异。极性或弱极性树脂对总黄酮吸附量相对较大，如树脂S-8、HPD-500、NKA-9等。这是由于肉桂总黄酮含有酚羟基和糖苷链，具有一定极性和亲水性，生成氢键能力相对较强，有利于极性和弱极性树脂吸附。极性树脂S-8具有较大吸附率，主要是因为其孔容较小，体表面积较大，但是洗脱率和回收率相对较低；弱极性树脂AB-8与极性树脂HPD-500相比，吸附率、洗脱率、回收率都相对偏低。综合考虑，选用HPD-500为较理想型树脂。

2.2 树脂静态吸附和解吸主要影响因素

2.2.1 树脂静态吸附平衡时间

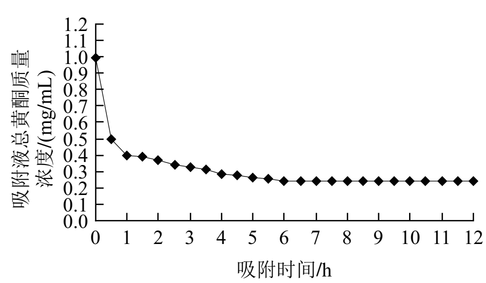

图1 树脂静态吸附曲线

Fig.1 Static adsorption curve of total flavonoids onto HPD-500 macroreticular resin

由图1可知，大孔树脂HPD-500对肉桂总黄酮静态吸附为中速平衡型，初始阶段吸附量较大，总黄酮质量浓度变化幅度很大，随着时间的延长变化缓慢，6h以后总黄酮质量浓度基本不变，大孔树脂吸附达到平衡，所以吸附平衡时间选择6h。

2.2.2 树脂静态解吸平衡时间

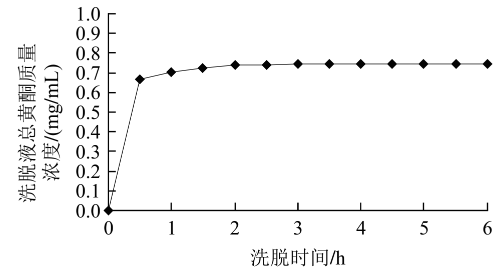

图 2 树脂静态解吸曲线

Fig.2 Static desorption curve of total flavonoids from HPD-500 macroreticular resin

由图2可知，大孔树脂HPD-500对肉桂总黄酮静态解吸为快速平衡型，初始阶段洗脱量较大，总黄酮质量浓度变化幅度很大，随着时间的延长变化缓慢，在2h时总黄酮质量浓度基本不变，大孔树脂解吸达到平衡，所以解吸平衡时间选择2h。

2.2.3 样液质量浓度对树脂静态吸附的影响

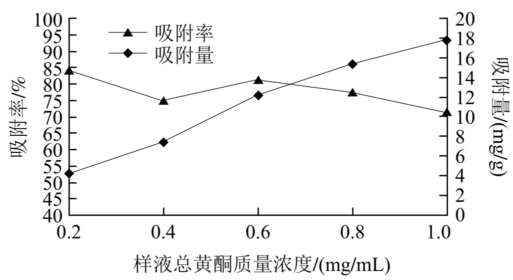

图 3 样液总黄酮质量浓度对树脂静态吸附的影响

Fig.3 Effect of sample concentration on the static adsorption of total flavonoids

由图3可知，大孔树脂HPD-500吸附量随着溶液总黄酮质量浓度增大而增加，吸附率虽整体呈现下降趋势，但是总黄酮质量浓度在0.2、0.6mg/mL发生先降后升的波动变化，综合考虑，选择质量浓度为0.8mg/mL比较适宜。

2.2.4 样液pH值对树脂静态吸附的影响

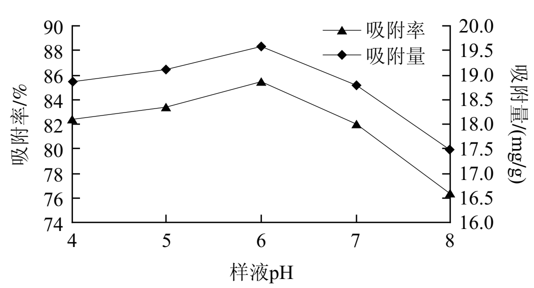

图 4 样液pH值对树脂静态吸附的影响

Fig.4 Effect of sample pH on the static adsorption of total flavonoids

由图4可知，大孔树脂HPD-500对总黄酮吸附量和吸附率随着pH值升高而逐渐增大，在pH6.0时为到最大值，即19.59mg/g和85.48%，之后呈现下降趋势，主要原因是黄酮类物质大多含有酚羟基而呈现一定的酸性，在微酸性条件下容易被树脂吸附，而在碱性条件下则容易发生分解和氧化，且不易被树脂所吸附。故样液pH值调节为6.0比较适宜。

2.2.5 乙醇体积分数对树脂静态解吸的影响

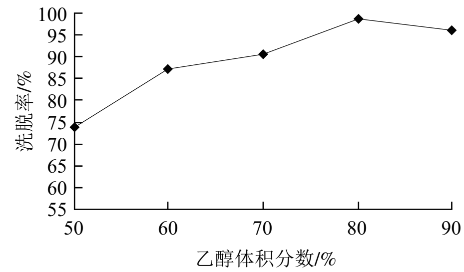

图 5 乙醇体积分数对树脂静态解吸的影响

Fig.5 Effect of ethanol concentration on the static desorption of total flavonoids

由图5可知，大孔树脂HPD-500对总黄酮洗脱率随着乙醇体积分数增加逐渐升高，当体积分数80%时为到最大值98.62%，之后反而下降，可能是因为洗脱剂极性变小，同时醇溶性杂质溶出，影响了总黄酮解吸量，故乙醇体积分数选择80%比较适宜。

2.3 树脂动态吸附和解吸主要影响因素

2.3.1 上样液质量浓度对树脂动态吸附的影响

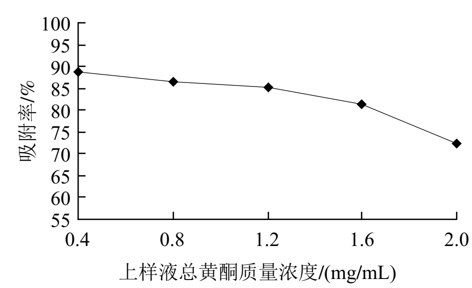

图 6 上样液总黄酮质量浓度对树脂动态吸附的影响

Fig.6 Effect of sample concentration on the dynamic adsorption of total flavonoids

由图6可知，大孔树脂HPD-500吸附率随着总黄酮质量浓度增加逐渐减小，0.4～1.2mg/mL变化幅度缓慢，1.2mg/mL之后变化比较快，从生产效率上考虑，故选择上样液质量浓度为1.2mg/mL比较适宜。

2.3.2 上样液流速对树脂动态吸附的影响

由图7可知，大孔树脂HPD-500对总黄酮吸附率随着上样速率增加逐渐减小，0.5～1.5mL/min变化幅度缓慢，1.5mL/min之后变化比较快，低流速时，虽然吸附率比较高，但吸附在树脂柱上的黄酮类物质与树脂结合会比较紧密，同时容易滞留其他杂质成分，不利于洗脱，同时吸附效率低，故选择流速为1.5mL/min比较适宜。

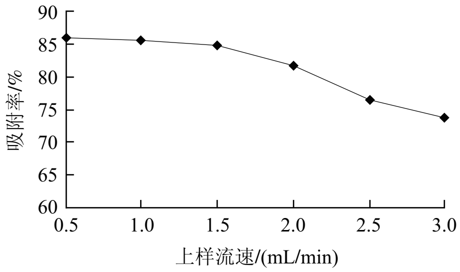

图 7 上样流速对树脂动态吸附的影响

Fig.7 Effect of sample loading flow rate on the dynamic adsorption of total flavonoids

2.3.3 洗脱剂流速对树脂动态洗脱的影响

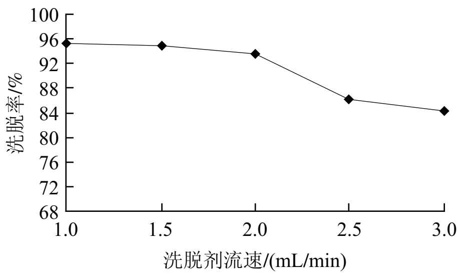

图 8 洗脱剂流速对树脂动态洗脱的影响

Fig.8 Effect of eluent flow rate on the dynamic desorption of total flavonoids

由图8可知，大孔树脂HPD-500对总黄酮吸附率随着洗脱剂流速增加逐渐减小，1.0～2.0mL/min变化幅度缓慢，2.0mL/min之后变化比较快，低流速时，虽然洗脱率比较高，但洗脱效率低，生产周期长，故选择洗脱速率2.0mL/min比较适宜。

2.3.4 洗脱剂体积对树脂动态洗脱的影响

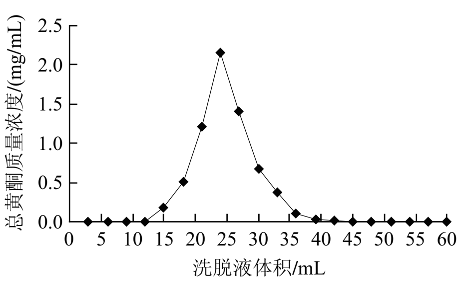

图 9 大孔吸附树脂动态洗脱曲线

Fig.9 Dynamic desorption curve of total flavonoids from HPD-500 macroreticular resin

由图9可知，80%乙醇对吸附饱和的大孔树脂进行解吸，前4支试管洗出液基本为无色，第5支试管开始出现浅黄色溶液，第6支试管溶液变为深棕红色，第7～10支试管溶液为黑红色，第11～20支试管溶液逐渐由酒红色变为浅黄色最后为无色，总黄酮质量浓度集中在第6～11支试管，洗脱剂体积45mL时能将肉桂总黄酮基本解吸出来，洗脱峰较集中，对称性较好，没有明显拖尾现象。

2.4 总黄酮分离纯化纯度测定结果

按照1.3.8.4节方法在最佳工艺条件下进行分离纯化实验，测定颜色较深的试管溶液总黄酮质量浓度，将质量浓度集中的流出液合并、浓缩，60℃烘干得肉桂总黄酮纯化品，观察为黄色粉末，用60%甲醇溶液溶解并测定其质量浓度，计算总黄酮含量为91.81%，纯化效果良好。

3 结 论

HPD-500型树脂具有较好的吸附和解吸效果，对HPD-500静态吸附和解吸肉桂总黄酮主要因素进行考察，确定最佳工艺条件为：吸附平衡时间6h、解吸平衡时间2h、样液质量浓度0.8mg/mL、样液pH6.0、洗脱剂乙醇体积分数80%。对HPD-500动态吸附和洗脱肉桂总黄酮主要因素进行考察，确定最佳工艺条件为上样液质量浓度1.2mg/mL、上样液流速1.5mL/min、洗脱剂流速2.0mL/min、洗脱剂体积45mL时洗脱完全。在优化工艺条件下，分离纯化得到总黄酮含量为91.81%。

参考文献：

[1] 陈家源, 牙启康, 卢文杰, 等. 中药肉桂的研究概况[J]. 广西医学, 2009, 31(6): 872-874.

[2] 方琴. 肉桂的研究进展[J]. 中药新药与临床药理, 2007, 18(3): 249-252.

[3] LI Yanqun, KONG Dexin, WU Hong. Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC-MS and FTIR spectroscopy[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 41: 269-278.

[4] CHANG C W, CHANG W L, CHANG S T. Influence of pH on bioactivity of cinnamon oil against *Legionella pneumophila* and its disinfection efficacy in hot springs[J]. Water Research, 2008, 42(20): 5022-5030.

[5] 梁秋霞. 肉桂有效成分提取及其生物活性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2010.

[6] LI Rong, LIANG Tao, XU Lingyuan, et al. Protective effect of cinnamon polyphenols against STZ-diabetic mice fed high-sugar, high-fat diet and its underlying mechanism[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 51: 419-425.

[7] 邹勇芳, 黄锁义, 李卫彬, 等. 肉桂植物总黄酮的超声波提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(4): 20-23.

[8] 李健, 陈姝娟, 张若男, 等. 超声辅助溶剂法提取肉桂总皂苷工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 177-180.

[9] 陈旭, 雍克岚. 肉桂研究进展[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(5): 21-23.

[10] 刘晓艳, 白卫东. 肉桂油抑菌及抗氧化作用的研究进展[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 169-172.

[11] CHUNG H S, CHANG L C, LEE S K, et al. Flavonoid constituents of chorizanthe diffusa with potential cancer chemopreventive activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(1): 36-41.

[12] SANCHEZ I, GOMEZ-GARIBAY F, TABOADA J, et al. Antiviral effect of flavonoids on the dengue virus[J]. Phytotherapy Research, 2000, 14(2): 89-92.

[13] MATHEW S, ABRAHAM T E. Studies on the antioxidant activities

of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark extracts, through various *in vitro* models[J]. Food Chemistry, 2006, 94(4): 520-528.

[14] 马世宏. 桂皮黄酮的提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 224-246.

[15] 库咏峰, 黄品鲜, 陈萍, 等. 肉桂总黄酮提取工艺及其抗氧化性研究[J]. 应用化工, 2011, 40(9): 1547-1552.

[16] 陶亮亮, 林华为, 李明旭, 等. 超声辅助提取桂皮中总黄酮的工艺研究[J]. 饮料工业, 2012, 15(5): 24-27.

[17] 梅文莉, 瞿书华, 陈昌祥, 等. 锡兰肉桂中的黄酮类化合物[J]. 云南植物研究, 2001, 23(3): 394-396.

[18] 郭雪峰, 岳永德. 黄酮类化合物的提取分离纯化和含量测定方法的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(26): 8083-8086.

[19] 董彩军, 李锋. 黄酮类化合物的研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2010(2): 65-69.

[20] JEON Y, KWON C, CHO E, et al. Carboxymethylated cyclosophoraose as a novel chiral additive for the stereoisomeric separation of some flavonoids by capillary electrophoresis[J]. Carbohydrate Research, 2010, 345(16): 2408-2412.

[21] JEON J, KIM C Y. Preparative separation and purification of flavonoids and stilbenoids from *Parthenocissus tricuspidata* stems by dual-mode centrifugal partition chromatography[J]. Separation and Purification Technology, 2013, 105: 1-7.

[22] YUAN E D, LIU B G, NING Zhengxiang, et al. Preparative separation of flavonoids in *Adinandra nitida* leaves by high-speed counter-current chromatography and their effects on human epidermal carcinoma cancer cells[J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 1158-1163.

[23] ZHANG Yuqing, SHAN Xing, GAO Xiaoquan. Development of a molecularly imprinted membrane for selective separation of flavonoids[J]. Separation and Purification Technology, 2011, 76(3): 337-344.

[24] 陈丛瑾. 大孔吸附树脂分离纯化黄酮类化合物的研究进展[J]. 化学与生物工程, 2010, 27(11): 1-3.

[25] HENTZE H P, ANTONIETTI M. Porous polymers and resins for biotechnological and biomedical applications[J]. Reviews in Molecular Biotechnology, 2002, 90(1): 27-53.

[26] 王俊, 赵辉, 吴福安, 等. 树脂吸附法分离纯化桑叶总黄酮-(Ⅰ)H103树脂对桑叶水提液中总黄酮的吸附性能[J]. 离子交换与吸附, 2008, 24(2): 139-147.