

Purification of Polyphenols from *Platycarya strobilacea* and Its Antioxidant Activities

Man Xu^{1,2,3}, Yongmei Wang^{1,2,3*}, Liangliang Zhang^{1,2,3}, Xinyu Hu^{1,2,3}

¹Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF, Nanjing Jiangsu

²National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization, Nanjing Jiangsu

³Key and Open Lab. of Forest Chemical Engineering, SFA, Nanjing Jiangsu

Email: lhsxuman@163.com, *njlhswym@163.com

Received: Jun. 21st, 2018; accepted: Jul. 12th, 2018; published: Jul. 19th, 2018

Abstract

In this study, five different macroporous adsorption resins were evaluated for their use to purify polyphenols from *Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc. Macroporous resin D101 was selected as the most suitable one. The purification parameters optimized by static adsorption and desorption tests were as follows: sample concentration, 3.2 mg/mL; sample pH, 4; flow rate, 2 mL/min; adsorption time 2 h; and desorption solvent, 70% ethanol; desorption time, 1 h with the column at 2 mL/min flow rate. Under these conditions, the purity of polyphenols from *Platycarya strobilacea* was improved from 67.35% to 87.39%, indicating that macroporous resin D101 had an effect on purifying polyphenols. The antioxidant capacity of polyphenols from *Platycarya strobilacea* was further enhanced by macroporous resin purification.

Keywords

Platycarya strobilacea, Polyphenols, Macroporous Resin, Purification, Antioxidant Activity

化香果多酚的纯化工藝及其抗氧化活性研究

徐 曼^{1,2,3}, 汪咏梅^{1,2,3*}, 张亮亮^{1,2,3}, 胡新宇^{1,2,3}

¹中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 江苏 南京

²生物质化学利用国家工程实验室, 江苏 南京

³国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 江苏 南京

Email: lhsxuman@163.com, *njlhswym@163.com

收稿日期: 2018年6月21日; 录用日期: 2018年7月12日; 发布日期: 2018年7月19日

*通讯作者。

摘要

采用大孔树脂对化香果提取物进行纯化, 对比5种大孔树脂对化香果多酚的吸附-解吸效果, 通过静态吸附-解吸实验筛选出D101大孔树脂作为较佳纯化材料, 并确定D101大孔树脂吸附纯化较佳工艺条件为: 样品液质量浓度3.2 mg/mL、样品液pH 4、上样流速2 mL/min、吸附时间2 h; 洗脱液乙醇体积分数70%、洗脱流速2 mL/min、解吸时间1 h。纯化后化香果多酚纯度由67.35%提高至87.39%, 表明该纯化工艺具有显著效果。抗氧化活性测试结果表明化香果多酚具有较好的抗氧化活性, 纯化以后的化香果多酚的抗氧化能力得到增强。

关键词

化香果, 多酚, 大孔树脂, 纯化, 抗氧化活性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化香果果序为胡桃科植物化香树(*Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.)的果序, 化香树在我国西北、华东、华中、华南等地均有广阔分布。化香树在我国已有应用, 根皮、树皮、叶、果实可以用作生产栲胶, 树皮纤维能代替麻; 叶可做农药, 也可供药用, 能顺气, 祛风, 化痰, 止痛, 燥湿, 杀虫[1]。有关文献报道, 利用溶剂对化香果果序进行提取, 发现化香果序中含有丰富的生物活性物质, 例如植物多酚、鞣花酸、黄酮等[2] [3]。已有研究表明多酚类化合物具有抑菌、抗病毒、抗肿瘤等生物活性作用, 对细菌、真菌、酵母菌等常见的致病菌、病毒有很强的抑制作用[4] [5] [6]。作者针对化香果有效成分利用开展研究工作[7] [8], 进一步开展化香果多酚物质的提取纯化工艺和多酚抗氧化性能研究, 对更好的利用化香果序资源, 具有重要的指导意义。大孔吸附树脂具有稳定性高、吸附选择性强、吸附量大、吸附效果明显、解吸条件温和、使用周期长等优点, 近年来被广泛用于功能性成分的分离与富集[9] [10]。本实验对化香果多酚纯化工艺和抗氧化性能进行研究, 以为化香果多酚类物质的工业化生产和应用提供方法及理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料与设备

2.1.1. 材料与试剂

化香果提取物, 中国林科院林产化学工业研究所单宁实验室制备; 没食子酸标准品、福林-酚试剂、DPPH-试剂、XAD-7 型大孔树脂, Sigma 公司; 生育酚, 东京化成工业株式会社; D101、AB-8、NKA-9、ADS-5 型大孔树脂, 天津和成树脂有限公司; 三吡啶三吡嗪(TPTZ), 阿拉丁试剂有限公司; 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)、抗坏血酸、无水碳酸钠、无水乙醇、甲醇、盐酸、氢氧化钠、醋酸钠、三氯化铁、硫酸亚铁, 均为国产分析纯。

2.1.2. 仪器与设备

Agilent Cary 8454 紫外分光光度计, 美国安捷伦公司; PE-20pH 计, 瑞士梅特勒-托利多公司; BE204E

分析天平, 梅特勒-托利多公司; SHA-CA 水浴恒温振荡器, 金坛荣华制造有限公司; 层析柱($\text{Ø}1.8 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$); SHZ-D (III)循环水式真空泵, 巩义裕华。

2.2. 实验方法

2.2.1. 多酚含量测定

采用福林-酚法测定化香果提取物中的多酚含量[11] [12]。吸取 0.2 mL 待测样品溶液于 10 mL 棕色容量瓶内, 依次加入 0.5 mL 50%福林-酚、1.5 mL 20%碳酸钠溶液, 用一级水定容, 避光反应 2 h 后于 760 nm 波长下测定吸光度。

2.2.2. 标准曲线绘制

以没食子酸作为标准品, 配置不同质量浓度的溶液, 按 2.2.1 节方法测定。以吸光度(y)为纵坐标, 没食子酸质量浓度(x)为横坐标绘制标准曲线。得线性回归方程: $y = 2.1934x + 0.0244$ ($R^2 = 0.9979$)。

2.2.3. 多酚纯度测定

将化香果粗提物和纯化后多酚冻干粉配置成测定液, 按照 2.2.1 节测定溶液的多酚浓度, 按公式(1)计算多酚纯度[13]。

$$\text{多酚纯度 } P = \frac{C \times V}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C —待测样品溶液的多酚浓度, mg/mL; V —待测溶液体积, mL; m —称取化香果提取物样品的质量, mg。

2.2.4. 大孔树脂预处理

将大孔树脂进行活化, 浸泡在无水乙醇中搅拌除去气泡, 静置 24 h, 使用一级水洗至树脂无乙醇味。用 5% NaOH 溶液浸泡树脂 4 h, 用一级水洗至中性, 再用 5% HCl 溶液浸泡 4 h, 后用一级水洗至中性, 吸干水分备用[14]。

2.2.5. 大孔树脂的筛选

准确称取预处理好的 5 种大孔树脂 AB-8、D101、NKA-9、ADS-5、XAD-7 各 5.0 g, 分别放入锥形瓶中, 加入 50 mL 一定质量浓度的化香果提取物样品溶液, 于振荡器中吸附, 温度 25°C, 转速 120 r/min。24 h 后过滤, 吸取上部清液测定其中多酚含量。用一级水清洗吸附饱和后的树脂, 加入 50 mL 乙醇溶液, 放入振荡器中解吸, 转速 120 r/min。24 h 后过滤吸取上部清液测定多酚含量。分别按公式(2)、(3)、(4)计算吸附量、吸附率及解吸率[15]。

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

$$\text{吸附率 } Q_1 = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_0 、 C_1 —吸附前、吸附后试液中的多酚浓度, mg/mL; V —供试液体积, L; M —湿树脂重, g。

$$\text{解吸率 } D = \frac{V_1 \times C}{M_1 \times Q} \times 100\% \quad (4)$$

式中: C —洗脱液中的多酚浓度, mg/mL; V_1 —供试液体积, L; Q —吸附量, mg/g; M_1 —湿树脂重, g。

2.2.6. 静态吸附-解吸动力学曲线

准确称取预处理好的 D101 大孔树脂 5.0 g, 放入锥形瓶中, 加入 50 mL 化香果提取物样品溶液, 于振荡器中吸附, 温度 25℃, 转速 120 r/min, 每隔 1 h 吸取 1.0 mL 上部清液测定其中多酚含量, 绘制静态吸附动力学曲线。24 h 后用一级水清洗已充分吸附多酚的 D101 大孔树脂, 洗至无样品溶液残留, 吸干水分后称取 5.0 g 放入锥形瓶中, 加入 75%乙醇溶液 50 mL, 于振荡器中静态解吸 12 h, 每隔 1 h 吸取 1.0 mL 上部清液测定其中多酚含量, 并绘制静态解吸动力学曲线。

2.2.7. 静态吸附-解吸实验

取预处理好的 D101 大孔树脂 5.0 g 分别放入 100 mL 锥形瓶中, 分别配制质量浓度为 0.1、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2、6.4 mg/mL 的化香果提取物溶液, 各加入 50 mL 至锥形瓶中, 于振荡器中吸附, 温度 25℃, 转速 120 r/min。吸附完全后取上清液测定多酚含量, 并计算多酚吸附量。配置一定浓度的化香果提取物溶液, 将 pH 值分别调至 2、3、4、5、6、7、8, 在放好树脂的锥形瓶中各加入 50 mL 不同 pH 的化香果提取物溶液, 于振荡器中吸附, 吸附完全后取上清液测定多酚含量, 将充分吸附化香果多酚的 D101 大孔树脂用一级水清洗, 吸干水分, 分别称取 5.0 g 于锥形瓶中, 考察 40%、50%、60%、70%、80%、90% 体积分数的乙醇溶液对静态解吸效果的影响。加入不同体积分数的乙醇溶液 50 mL, 于振荡器中静态解吸完全后, 取上清液测定其多酚质量浓度, 并计算多酚解吸率。

2.2.8. 大孔树脂吸附的动态吸附与解吸实验

取预处理好的 D101 型大孔树脂装入 $\varnothing 1.8 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 玻璃层析柱中。用一级水平衡后, 控制样品液分别以不同流速(1、2、3、4 mL/min)上样并收集流出液, 每 10 mL 为一管, 检测并计算收集液的多酚浓度, 绘制动态吸附曲线。

将已吸附饱和的树脂进行动态解吸实验, 用一级水洗至无样品液残留, 用 70%乙醇以一定的洗脱流速(1、2、3、4 mL/min)进行洗脱, 收集洗脱液, 计算洗脱液的多酚浓度, 绘制动态解吸曲线。

2.2.9. 抗氧化能力测定

1) 清除 DPPH·自由基能力测定

参考文献[16]的方法配置质量分数为 0.004%的 DPPH·甲醇溶液, 避光保存。将待测样品和对照品分别配置成一定浓度的溶液。精确吸取 0.1 mL 待测溶液样品溶液和 3 mL DPPH·甲醇溶液于 10 mL 试管中, 摇匀后室温放置 30 min, 以各自溶剂为对照, 测定其在 517 nm 处的吸光度值 A_s 。设 3 个重复。同时测 3 mL DPPH·甲醇溶液与 0.1 mL 各自试样溶剂混合后的吸光度值 A_0 。样品对 DPPH·的清除能力用抑制率 K 来表示。 K 按照公式(5)计算, 通过 K 计算各个样品对 DPPH·的半抑制浓度 IC_{50} 。

$$\text{抑制率 } K = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100\% \quad (5)$$

2) 总抗氧化能力测定(FRAP 法)

参考文献[17]的方法, 将待测样品和对照品分别配置成 0.1 mg/mL 的溶液。配置 10.0 mmol/L TPTZ 溶液, 0.30 mol/L 醋酸钠缓冲液, 20.0 mmol/L $FeCl_3$ 溶液, TPTZ 工作液由 TPTZ 溶液 $FeCl_3$ 溶液, 醋酸钠缓冲液组成(1:1:10)。精确吸取待测溶液各 0.1 mL, 分别加入预热至 37℃的 1.8 mL TPTZ 工作液充分混匀, 用一级水补足至 5.0 mL, 37℃反应 20 min; 593 nm 测定吸光度值。设 3 个重复。以 0.1~1.50 mmol/L 的 $FeSO_4$ 标准溶液做标准曲线, 以吸光度(y)为纵坐标, 物质的量浓度(x)为横坐标, 绘制标准曲线。样品抗氧化活性以达到同样吸光度所需的 $FeSO_4$ 的数值表示。

3. 结果与分析

3.1. 大孔树脂的筛选

由表 1 可以看出, XAD-7 大孔树脂对于化香果多酚的吸附能力最强, D101 树脂次之, AB-8 和 NKA-9 大孔树脂的吸附率较低。D101、AB-8、NKA-9 大孔树脂的解吸性能较强。综合考虑实际应用的效果和成本, 选择 D101 大孔树脂作为化香果多酚的纯化材料。

3.2. D101 大孔树脂的静态吸附-解吸动力学曲线

图 1 是 D101 树脂的静态吸附-解吸曲线, 由吸附量曲线可知, D101 大孔树脂在 2 h 达到饱和, 之后随着时间的延长, 吸附量基本没有增加, 所以吸附时间选为 2 h。通过解吸曲线可以看出, 当处在 1 h 时树脂解吸量已达到较大, 之后解吸量反而有所下降。选择解吸时间 1 h。

3.3. D101 大孔树脂的静态吸附-解吸实验

3.3.1. 化香果多酚上样质量浓度对吸附效果的影响

由图 2 可知, 多酚浓度较低时随着浓度提高, 多酚吸附量迅速增加。当样品液质量浓度为 3.2 mg/mL, 吸附量达到最大 6.67 mg/g。之后随着浓度增大吸附量开始下降。这可能是因为溶液中与多酚竞争吸附的杂质含量随着样品液浓度增高而增高, 杂质与多酚对树脂的吸附形成竞争对多酚的吸附量趋于饱和甚至下降[18]。如果样品液质量浓度过低, 会造成多酚含量降低, 导致吸附动力变小, 吸附量降低。因此, 样品液质量浓度选为 3.2 mg/mL。

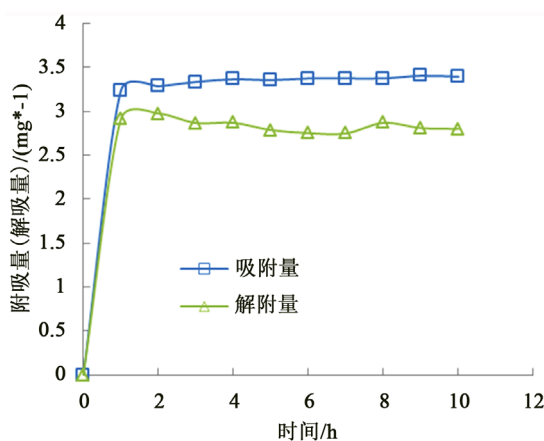


Figure 1. Static adsorption-desorption curve of polyphenols
图 1. 静态吸附-解吸动力学曲线

Table 1. The static adsorption and desorption analysis of 5 macroporous resins

表 1. 5 种大孔树脂静态吸附及解吸性能结果

树脂类型	吸附量/(mg/g)	吸附率/%	解吸率/%
D101	3.77	79.30	90.73
AB-8	3.62	74.13	91.27
ADS-5	3.64	74.65	90.29
XAD-7	4.15	83.21	89.01
NKA-9	3.63	74.50	90.45

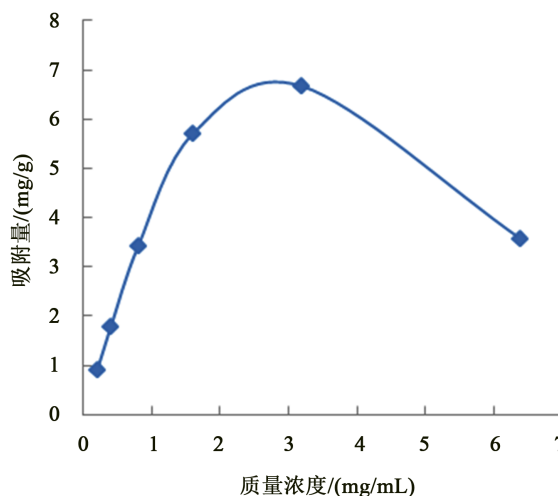


Figure 2. Influence of sample concentration on adsorption quantity
图 2. 样品液质量浓度对吸附量的影响

3.3.2. 样品液 pH 值对吸附效果的影响

如图 3 所示, 在 pH 值小于 4 时, 化香果多酚的吸附量与样液 pH 值呈正相关; 这是由于化香果多酚在酸性条件下能够保持容易被吸附的状态此状态, 有利于吸附, 在 pH 值为 4 时吸附量达到最大值 3.58 mg/g。样品液 pH 值大于 4 时, 多酚吸附量开始降低。所以选择 pH4 作为配置样品液的较佳 pH。

3.3.3. 洗脱液体积分数对树脂解吸的影响

如图 4 所示, 随着乙醇体积分数的增大, 解吸量也随之提高, 当乙醇体积分数达到 70% 时, 解吸量最高达到 3.98 mg/g。之后再进一步增加乙醇浓度解析量增加逐渐平缓。由于洗脱液极性变大, 含水量变少, 多酚不能充分的溶解, 解吸量呈下降趋势。考虑到实际应用成本选择 70% 乙醇作为洗脱剂。

3.4. D101 大孔树脂动态吸附-解吸条件优化

3.4.1. 上样流速对树脂吸附效果的影响

将已活化的大孔树脂装入玻璃层析柱, 控制化香果多酚样品液分别以 1、2、3、4 mL/min 的流速上样, 收集流出液, 测定每收集管中化香果多酚质量浓度, 绘制动态吸附曲线。

上样流速主要影响化香果多酚向树脂的扩散效果, 为使扩散进行的更加有效, 化香果多酚和大孔树脂必须要充分接触。如果流速过快, 多酚还没有被吸附就被冲洗下来, 部分酚类物质流出柱子, 从而导致吸附量低; 如果流速过慢, 虽然有利于树脂对酚类物质的吸附, 但却会降低生产效率[19]。由图 5 可知, 在 1 mL/min 和 2 mL/min 2 种上样流速下树脂吸附量较优。考虑实际生产效率问题, 试验选用 2 mL/min 为较佳的上样流速。

3.4.2. 洗脱流速对大孔树脂动态解吸效果的影响

将吸附饱和的树脂, 用体积分数 70% 乙醇溶液进行洗脱, 控制洗脱流速分别为 1、2、3、4 mL/min, 收集洗脱液, 测定每收集管中化香果多酚质量浓度, 绘制动态洗脱曲线。

洗脱流速对解吸效果有一定影响。理论上洗脱流速要求慢, 但如果流速过慢, 解吸时间会变长, 而且洗脱时多酚会被重新吸附, 降低解吸量; 如果流速过快, 洗脱剂不能和的树脂充分接触而快速流出, 使得解吸量降低[20]。由图 6 可知, 随着洗脱流速的加快, 解吸量不断降低, 当洗脱流速在 2 mL/min 时解吸效果较好, 故采用此流速为洗脱流速。

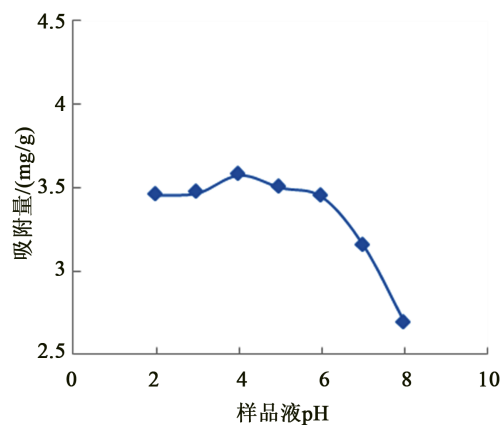


Figure 3. Influence of pH value of sample solution on adsorption quantity
图 3. 样品液 pH 对吸附量的影响

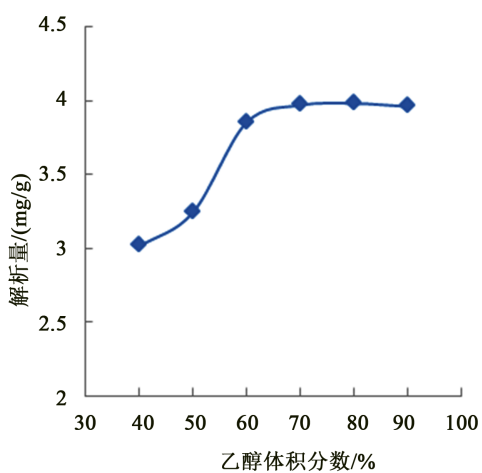


Figure 4. Influence of ethanol concentration on desorption
图 4. 乙醇体积分数对解吸量的影响

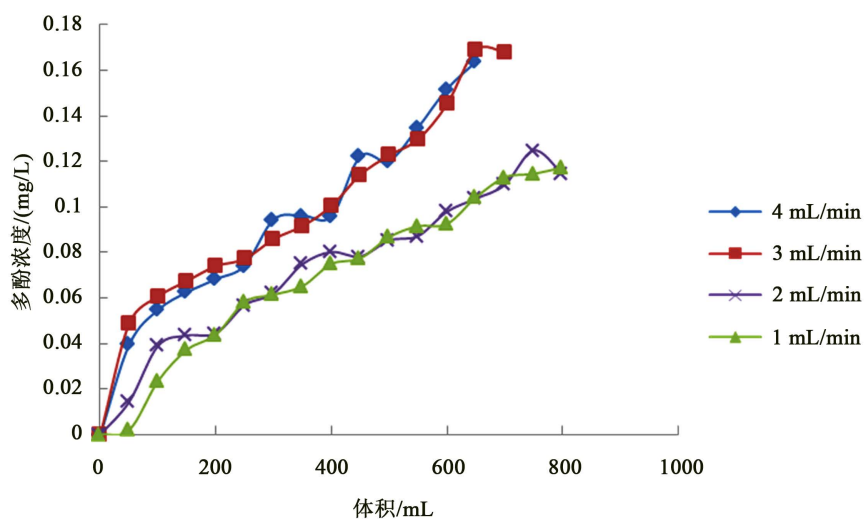


Figure 5. Influence of sample loading flow rate on adsorption effect
图 5. 上样流速对树脂吸附效果的影响

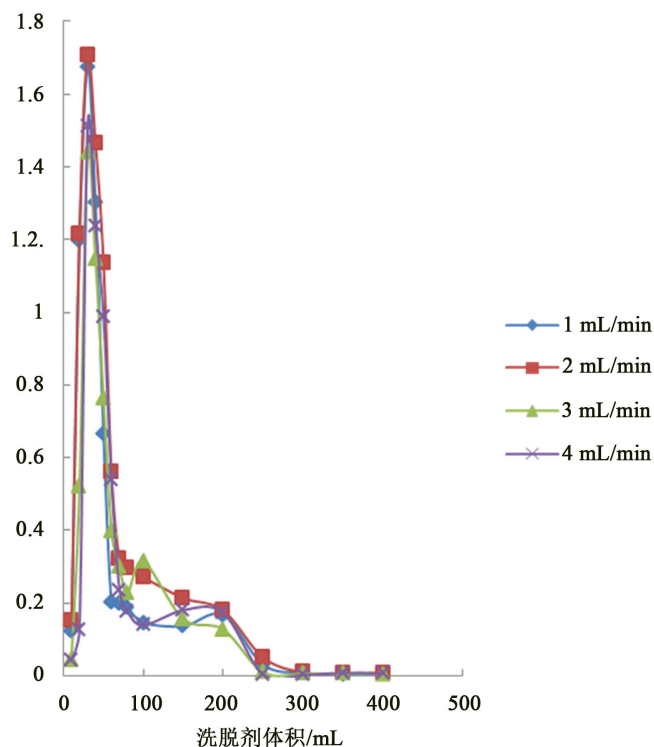


Figure 6. Influence of eluting rate on desorption effect
图 6. 洗脱流速对解吸效果的影响

3.5. 化香果多酚纯度的测定结果

以化香果粗提物为原料,使用D101大孔树脂纯化化香果多酚,按照条件:样品液质量浓度3.2 mg/mL、样品液pH 4、上样流速2 mL/min、吸附时间2 h、洗脱剂乙醇体积分数70%、洗脱流速2 mL/min、解吸时间1 h,进行纯化。洗脱液蒸去乙醇,浓缩、冷冻干燥得纯化产物。

分别测定化香果粗提物和树脂纯化后的多酚的纯度。结果表明,经过D101大孔树脂纯化后,化香果提取物中多酚纯度由67.35%提高至87.39%,表明D101大孔树脂吸附纯化化香果多酚效果显著。

3.6. 抗氧化能力测定结果

3.6.1. 清除DPPH·能力的测定

由表2可见,在相同试验条件下,化香果粗提物和化香果提取物纯化产物对DPPH·的半抑制浓度 IC_{50} 分别为104.87 $\mu\text{g/mL}$, 88.86 $\mu\text{g/mL}$,对比其他三种抗氧化剂,化香果提取物纯化产物的抗氧化能力最强,化香果粗提物的抗氧化能力强于生育酚和BHT。五种实验样品对DPPH·自由基的抑制能力强弱为:化香果提取物纯化产物 > 抗坏血酸 > 化香果粗提物 > 生育酚 > BHT。纯化后的化香果多酚的清除自由基能力得到进一步增强。

3.6.2. 总抗氧化能力测定

以对照品配制标准溶液得到的回归方程为: $y = 0.6284x + 0.0202$ ($R^2 = 0.9967$),其中 x 为 FeSO_4 浓度(mmol/L), y 为吸光度值。根据标准曲线计算各样品的FRAP值,如表3所示。

由表3可知,在相同试验条件下,化香果粗提物和纯化产物都具有一定的抗氧化活性,纯化后的化香果提取物抗氧化能力得到增强。化香果纯化产物的抗氧化能力强于生育酚,抗坏血酸和BHT。五种

Table 2. IC₅₀ of scavenging capacities for DPPH·
表 2. 清除 DPPH·能力的 IC₅₀ 测定结果

样品名称	化香果粗提物	纯化产物	生育酚	抗坏血酸	BHT
IC ₅₀ (ug/mL)	104.87	88.86	220.13	94.85	4048.37

Table 3. Results of the antioxidant activity by FRAP assay
表 3. 总抗氧化能力的测定结果

样品名称	粗提物	纯化产物	生育酚	抗坏血酸	BHT
浓度(mg/mL)	0.0104	0.0110	0.0102	0.0110	0.0116
FRAP 值(mmol/L)	1.268	1.496	0.377	1.297	0.093

实验样品总抗氧化能力强弱与清除 DPPH 自由基能力一致为：化香果提取物纯化产物 > 抗坏血酸 > 化香果粗提物 > 生育酚 > BHT。

4. 结论

本研究通过对比 AB-8、D101、XAD-7、ADS-5、NKA-9 大孔树脂对化香果多酚提取物吸附-解吸的效果发现，对于化香果多酚物质，D101 大孔树脂能够较好地进行纯化，其较佳吸附-解吸工艺条件为：样品液质量浓度 3.2 mg/mL、样品液 pH 4、上样流速 2 mL/min、吸附时间 2 h；乙醇体积分数 70%、洗脱流速 2 mL/min、解吸时间 1 h。纯化后化香果多酚纯度由 67.35%提高至 87.39%。通过体外抗氧化能力的测定，化香果粗提物和化香果提取物纯化产物都具有较强的抗氧化活性。化香果提取物和化香果提取物纯化产物对 DPPH 的 IC₅₀ 分别为 104.87 ug/mL，88.86 ug/mL，总抗氧化能力(FRAP)值分别为 1.268 mmol/L，1.496 mmol/L，表明经过 D101 大孔树脂吸附纯化以后的化香果多酚的抗氧化能力得到进一步增强。与所选参照物相比抗氧化能力强弱为：化香果提取物纯化产物 > 抗坏血酸 > 化香果粗提物 > 生育酚 > BHT，化香果提取物经过纯化以后表现出较强的抗氧化能力，可以更好的作为抗氧化剂应用。

基金项目

江苏省林业三新工程项目(LYSX[2016]56)，国家重点研发计划(2016YFD0600806)，中国林科院林产化学工业研究所研究团队建设创新工程项目(LHSXKQ4)资助。

参考文献

- [1] 江苏省植物研究所. 江苏植物志(下册) [M]. 南京: 江苏人民出版社, 1977: 27-28.
- [2] 冯辉明, 傅畅金, 董文生. 化香果单宁及其有关化合物[J]. 南京林业大学学报, 1989, 13(4): 56-59.
- [3] 高蓉, 陈练洪, 李稳宏, 等. 超声法提取化香树果序中黄酮类化合物工艺[J]. 化学工程, 2007, 35(8): 65-67.
- [4] 陈孝娟, 顾政一, 黄华, 等. 石榴皮总多酚抗菌消炎作用的初步研究[J]. 西北药学杂志, 2011, 26(4): 268-270.
- [5] 杨林, 周本宏. 石榴皮中鞣质和黄酮类化合物抑菌作用的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(10): 2335-2336.
- [6] 周芳, 赵鑫, 向琪, 等. 红皮云杉多酚体内抗肿瘤活性研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(8): 4-6.
- [7] 张亮亮, 徐曼, 汪咏梅, 等. 响应面法优化化香树果序中鞣花酸超声波提取的研究[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(2): 19-24.
- [8] 徐曼, 汪咏梅, 张亮亮, 等. 响应面法优化化香树果序中单宁提取条件的研究[J]. 林产化学与工业, 2013, 33(5): 71-76.
- [9] 汪咏梅, 陈箭鸿, 吴冬梅, 等. 高纯度单宁酸制备技术的研究与应用[J]. 现代化工, 2008, 28(2): 320-323.
- [10] 李斌, 高凝轩, 刘辉, 等. 大孔树脂纯化黑果腺肋花楸多酚的工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 69-74.

- [11] Cai, Y.Z., Luo, Q., Sun, M., *et al.* (2004) Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of Traditional Chinese Medicinal Plants Associated with Anticancer. *Life Sciences*, **74**, 2157-2184. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.047>
- [12] Paulo, J.M., Joana, S.V., Luis, M., *et al.* (2010) Isolation of Phenolic Compounds from Hop Extracts Using Polyvinylpyrrolidone: Characterization by High-Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detection-Electrospray Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **1217**, 3258-3268. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.10.068>
- [13] 王旭苹, 杨磊, 杨小兰, 等. 大孔树脂纯化酒花多酚及其组成分析[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 15-20.
- [14] 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.
- [15] 冯进, 李敏, 曾晓雄, 等. 大孔树脂纯化蓝莓叶多酚及其组成分析[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 86-91.
- [16] Brace, A., De Tommasi, N., Di Bari, L., *et al.* (2001) Antioxidant Principles from *Bauhinia tarapotensis*. *Journal of Natural Products*, **64**, 892-895. <https://doi.org/10.1021/np0100845>
- [17] Benzie, I.F.F. and Strian, J.J. (1996) The Ferric Reducing Ability of Plasma a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, **239**, 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- [18] 焦岩, 王振宇. 大孔树脂纯化大果沙棘果渣总黄酮的工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 16-20.
- [19] 董琦, 高珊, 曹龙奎. 大孔树脂纯化桦褐孔菌多酚及其成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 131-136.
- [20] 赵平, 宋学娟, 张月萍. 大孔树脂对葡萄籽原花青素的吸附研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(20): 2196-2201.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org