

石榴叶多酚的纯化及抗氧化活性研究

邢 佳, 陆文娟, 赵云霞, 陶明煊

(南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097)

[摘要] 采用大孔树脂对石榴叶粗多酚进行纯化, 得到3种不同纯度的石榴叶多酚, 对这3种多酚的抗氧化活性进行研究并与芦丁对比. 结果显示, 最佳纯化工艺条件为: 上柱质量浓度 2.5 mg/mL, pH=4, 上柱速率 2 mL/min, 乙醇体积分数 60%, 洗脱量为 1.7 BV~2.0 BV. 经 AB-8 大孔树脂分离后, 石榴叶多酚的纯度提高到 62.44%, 再经聚酰胺树脂分离后石榴叶多酚的纯度为 92.83%. 石榴叶多酚的抗氧化性研究结果表明, 3种不同纯度的多酚均具有清除自由基的效果及还原能力, 而且纯度越高清除自由基的效果越好, 还原能力越强. 与芦丁相比, 纯化后的石榴叶多酚具有更好的还原力及清除亚硝酸盐的能力.

[关键词] 石榴叶, 多酚, 纯化, 抗氧化活性

[中图分类号] TS201.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2015)03-0084-07

Purification and Antioxidant Activity of Polyphenols from *Punica granatum* L.

Xing Jia, Lu Wenjuan, Zhao Yunxia, Tao Mingxuan

(Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The macroporous resin was chosen for separating crude polyphenols from the leaves of *Punica granatum* L., three different purity of polyphenols from *Punica granatum* L. leaves were got, compared with Rutin, three different purity of polyphenols from *Punica granatum* L. were evaluated with different antioxidant tests. The results showed that with sample solution concentration of 2.5 mg/mL, pH=4, feeding speed of 2 mL/min, ethanol concentration of 60 %, elution volume of 1.7 BV~2.0 BV, the purity of CPPL was 62.44 %, the purity of purified polyphenols of crude polyphenols from *Punica granatum* L. leaves was 92.83% which was further improved by PA. The results of oxidation stability analysis of polyphenols in *Punica granatum* L. leaves were showed that it had the better effect in scavenging free radical and reducing power with the higher purity, compared with rutin, reducing power and nitrite scavenging activity of purified polyphenols from *Punica granatum* L. leaves was stronger.

Key words: *Punica granatum* L. leaves, polyphenols, purification, antioxidant activity

石榴(*Punica granatum* L.)别名安石榴、海榴、单若、金罌、天浆等,是石榴科石榴属植物,为落叶灌木,在我国分布广泛,目前全国石榴栽植面积达 64 668 hm²,居世界第一位^[1]. 石榴的叶子具有收敛止泻、杀虫、治疗痘风疮、癰疮、跌打损伤等一系列功效. 虽然石榴叶具有多种生理功能,但其利用率不高,大多数的石榴叶都作为农业垃圾处理,造成资源的浪费^[2-4]. 据报道石榴中含有丰富的安石榴苷、没食子酸、鞣花酸、短叶苏木酚等多酚类化合物^[5-8]. 该多酚类化合物在抗氧化、抗病毒、抗肿瘤、调节血脂等方面都显示了巨大的药用价值和潜力^[9-12]. 但是目前对石榴叶粗多酚(crude polyphenols from *Punica granatum* L. leaves, CPPL)的纯化研究较少. 本研究通过吸附、解吸实验考察了大孔树脂对 CPPL 的纯化效果,并对其分离纯化工艺进行优化,进一步比较了 CPPL、石榴叶多酚 1(purified polyphenols from *Punica granatum* L. leaves 1, PPPL1)与石榴叶多酚 2(purified polyphenols of crude polyphenols from *Punica granatum* L. leaves 2, PPPL2)的抗氧化性. 以期为提高石榴叶的经济利用价值提供一定的实验依据.

收稿日期: 2014-04-21.

基金项目: 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(KYLX_0729).

通讯联系人: 陶明煊, 副教授, 研究方向: 生物活性物质与保健功能因子. E-mail: 45017@njnu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 材料

石榴(*Punica granatum* L.)叶采于江苏省南京市鼓楼区,洗净烘干,经粉碎机粉碎后,过60目筛,避光保存备用。

大孔树脂AB-8、聚酰胺购自沧州宝恩吸附材料科技有限公司。

1.1.2 试剂

乙醇、盐酸、无水碳酸钠购自南京创化玻璃仪器有限公司;没食子酸标准品购自美国Sigma公司;Folin-酚试剂购自南京荣世德贸易有限公司;芦丁(Rutin)标准品由中国药品生物制品检定所提供。

1.1.3 仪器

高速万能粉碎机购自天津市泰斯特仪器有限公司;旋转蒸发器购自上海亚荣生化仪器厂;循环水真空泵购自南京科尔仪器设备有限公司;JY92-II超声波细胞破碎器购自宁波新芝生物科技股份有限公司;GL-22M高速冷冻离心机购自湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司;722可见分光光度计购自上海精密科学仪器有限公司;恒温水浴锅购自金坛市杰瑞尔电器有限公司。

1.2 石榴叶多酚制备的方法

1.2.1 石榴叶多酚的制备

CPPL:准确称取2 g粉末样品,以20:1液料比加入50%的乙醇水溶液,超声破碎后,调节pH为2,置水浴锅水浴1.5 h,5 000 r/min离心10 min后过滤,取一定量的滤液用Folin-Ciocalteu法测定吸光度,计算多酚浓度^[13]。

PPPL1:将上述CPPL旋转蒸发后冷冻干燥,过AB-8得到PPPL1。

PPPL2:按文献[14]的方法将上述PPPL1过聚酰胺得到PPPL2。

1.2.2 石榴叶总酚含量的测定

没食子酸标准曲线的绘制:分别吸取100 mg/L没食子酸备用液0 mL、0.2 mL、0.4 mL、0.6 mL、0.8 mL、1 mL于试管中,依次加入80%乙醇溶液补充至1 mL,得到0 mg/L、20 mg/L、40 mg/L、60 mg/L、80 mg/L、100 mg/L的没食子酸标准系列。取0.2 mL标准液于试管中,分别加入2 mL 0.5 mol/L Folin-酚试剂,混匀后在室温下静置4 min,然后用2 mL饱和碳酸钠中和,室温条件下在暗处放置2 h后用分光光度计在760 nm波长下测定吸光度。以没食子酸浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程为: $y=0.0068x+0.0194$, $R^2=0.9954$ 。

石榴叶总酚含量的测定:取一定浓度的样品溶液0.2 mL,后续步骤同标准溶液测定方法,根据标准曲线求得其浓度,并计算出总酚含量^[15]。

多酚含量计算:

$$W=CV \times 1\,000 \times N/m.$$

多酚纯度计算:

$$P(\%)=[(C_i \times V_i)/W_i] \times 100.$$

式中: W 为多酚含量(mg/g); C 为多酚浓度(mg/L); V 为提取液体积(mL); m 为石榴叶质量(g); N 为稀释的倍数; P 为多酚纯度(%); C_i 为复溶后多酚的浓度(mg/mL); V_i 为复溶时定容的体积(mL); W_i 为烘干后的干物质重(mg)^[16]。

1.3 石榴叶多酚纯化的工艺条件

1.3.1 大孔树脂的预处理

将树脂用无水乙醇室温下密封浸泡8 h,水洗至无醇味,用5%盐酸溶液浸泡8 h,水洗至中性,再用5% NaOH液浸泡8 h,水洗至中性,加水备用^[17]。

1.3.2 大孔树脂静态吸附及解吸附动力学曲线的绘制

称取抽干大孔吸附树脂2 g,分别装入具塞磨口三角瓶中,加入一定浓度的提取溶液50 mL,置于振荡器中(25 ℃,180 r/min)静态吸附12 h。期间每隔一定时间用注射器吸取少量溶液,测定其多酚浓度,绘制

静态吸附动力学曲线. 将充分吸附后的树脂2 g用蒸馏水清洗至树脂表面无提取溶液残留, 滤纸吸干树脂表面残留的溶液, 然后置于具塞三角瓶中, 加入50 mL 95%乙醇, 于相同条件下解吸6 h, 期间每隔一定时间用注射器吸取少量溶液, 充分解吸后取上清测定总多酚的浓度, 再按如下的公式计算吸附量、吸附率和解吸量^[18], 绘制静态解吸动力学曲线^[19-20].

$$Q=(C_0-C_2)\times V_2/W_2,$$

$$A\%=(C_0-C_2)/C_0\times 100,$$

$$D\%=(V_3\times C_3)/(W_2\times Q)\times 100.$$

式中: Q 为吸附量(mg/g); C_0 为起始浓度(mg/mL); C_2 为平衡浓度(mg/mL); V_2 为吸附溶液体积(mL); W_2 为干树脂重量(g); A 为吸附率(%); D 为解吸率; C_3 为解吸后溶液中总多酚的浓度(mg/mL); V_3 为解吸液体积(mL).

1.3.3 静态吸附与解吸条件的优化

分别考察提取液多酚质量浓度、提取液 pH 值、上样流速对树脂吸附的影响, 考察乙醇体积分数及洗脱剂用量对树脂解吸的影响^[21-25].

1.4 石榴叶多酚的抗氧化活性

1.4.1 亚硝酸盐的清除

参照王树庆等^[26]的方法并有所改动. 分别在试管中加入1 mL一定梯度的样品溶液, 再分别加入5 mL一定浓度的NaNO₂溶液, 37℃恒温水浴30 min, 随后加入1 mL 0.4%对氨基苯磺酸溶液, 混匀, 静置15 min后加入0.5 mL盐酸萘乙二胺溶液, 加蒸馏水3.5 mL, 混匀, 静置15 min, 最后于538 nm波长处测定吸光值, 亚硝酸盐清除率计算如下:

$$\text{清除率}\%=(A_0-A_x)/A_0\times 100\%.$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度, A_x 为加入待测溶液后的吸光度. IC₅₀是指对亚硝酸盐的清除率达到50%时所消耗的样品浓度.

1.4.2 还原力的测定

参照Seordin等^[27]的方法并有所改动. 在2.5 mL pH=6.6的磷酸盐缓冲液中加入不同浓度的样品溶液1 mL, 并加入1%的铁氰化钾溶液2.5 mL, 混合, 50℃恒温水浴20 min, 再加入10%的三氯乙酸溶液2.5 mL, 5 000 rpm离心10 min, 取上清液2.5 mL, 加蒸馏水2.5 mL和0.1% FeCl₃溶液0.5 mL, 混匀后静置10 min, 在700 nm处测定吸光值, 以50%的乙醇溶液为空白对照.

$$\text{还原力}=A-A_0.$$

式中: A 为加入样品的吸光值, A_0 为不加样品的对照值. IC₅₀是指还原力达到0.5时所消耗的样品浓度.

1.4.3 超氧阴离子自由基的清除

采用邻苯三酚法^[28], 取pH 8.2的磷酸缓冲液3 mL, 分别加入一定体积的样品溶液, 并使用去离子水使反应体系补至9 mL, 混匀, 25℃水浴平衡20 min. 然后加0.6 mL 7 mmol/L的邻苯三酚, 混匀, 立即放入分光光度计中, 测定325 nm处的吸光值, 记录反应5 min后的结果(测各样品时, 以去离子水代替邻苯三酚作为空白管). 超氧阴离子自由基的清除计算公式如下:

$$\text{清除率}\%=(A_0-A_n)/A_0\times 100\%.$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光值, A_n 为加入石榴叶多酚后的吸光值. IC₅₀是指对超氧自由基的清除率达到50%时所消耗的样品浓度.

1.4.4 羟自由基的清除

采用改良的水杨酸法^[29], 分别取1 mL不同浓度的多酚或者芦丁溶液, 加入1 mL 9 mmol/L FeSO₄, 1 mL 9 mmol/L水杨酸-乙酸溶液, 最后加入1 mL 8.8 mmol/L H₂O₂启动反应, 37℃反应0.5 h, 以蒸馏水为空白对照, 考虑到多酚本身的吸光度值, 以加入1 mL蒸馏水代替H₂O₂的反应液作为多酚的本底吸收值, 在510 nm处测量各浓度的吸光度.

$$\text{清除率}\%=[A_0-(A_x-A_{x0})]/A_0\times 100\%.$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度, A_x 为加入待测溶液后的吸光度, A_{x0} 为待测溶液的本底吸光度值. IC₅₀是指对羟自由基的清除率达到50%时所消耗的样品浓度.

2 结果与分析

2.1 石榴叶多酚纯化工艺

2.1.1 AB-8树脂吸附及解吸附石榴叶多酚的动力学特性曲线

由图1 AB-8吸附动力学可知,0 min~200 min内,随着吸附时间的增加,AB-8树脂吸附多酚量增加,200 min后已经基本达到吸附饱和,说明AB-8树脂属于快速平衡型树脂.由图2解吸动力学曲线可知,在80 min左右时,已经达到了最大解吸量.以上实验结果表明,AB-8树脂能快速地达到吸附平衡和解吸平衡,是富集和洗脱CPPL的理想树脂.

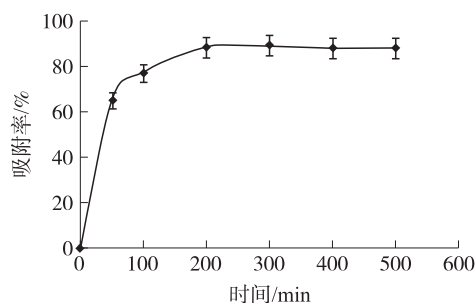


图1 静态吸附动力学曲线

Fig.1 Kinetics curves of static adsorption of polyphenols from pomegranate leaves

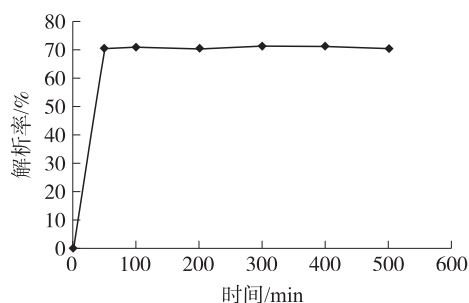


图2 静态解吸动力学曲线

Fig.2 Kinetics curves of static desorption of polyphenols from pomegranate leaves

2.1.2 多酚浓度对吸附量的影响

由图3可知,CPPL浓度在0.2 mg/mL~2.0 mg/mL之间,树脂的多酚吸附量随着浓度的增加而迅速增加,浓度为2.0 mg/mL~3.5 mg/mL时,吸附量随浓度增加变化缓慢.由此可得出,提高上样浓度虽然有利于提高树脂的使用效率,但是上样浓度过高时,上样液易出现絮凝现象,造成树脂堵塞,反而降低其吸附能力,因此选定上样液粗提取物浓度为2.5 mg/mL较为合适.

2.1.3 pH对吸附量的影响

由图4可知,AB-8对CPPL的吸附量先升高后下降,在pH=4时吸附率达到最大,pH=7时吸附率最低,其原因可能是上样液pH的变化可以改变目标成分在溶液中存在的形式,影响其溶度,从而影响目标成分与大孔吸附树脂的分子间作用力.多酚类化合物呈酸性,在微酸性条件下吸附效果较好,因此选pH=4为宜.

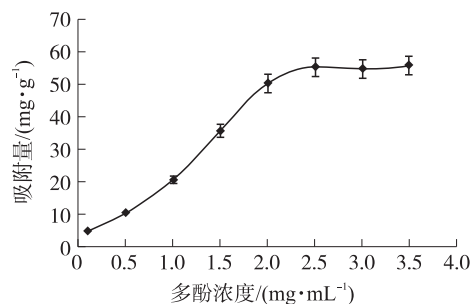


图3 不同石榴叶多酚浓度对吸附效果的影响

Fig.3 Effect of the concentration of polyphenols from pomegranate leaves on adsorption results

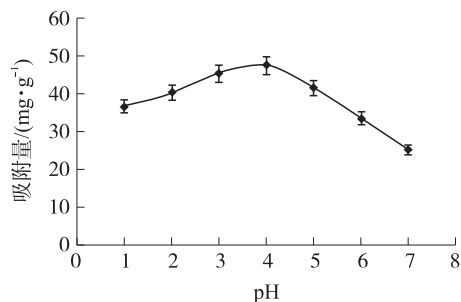


图4 不同pH的石榴叶提取液对静态吸附效果的影响

Fig.4 Effects of the different sample pH on adsorption results

2.1.4 上样流速对吸附效果的影响

以流出液累积体积为横坐标,流出液浓度为纵坐标作图,由图5可知,上样流速分别为1 mL/min、2 mL/min、3 mL/min、4 mL/min时,泄漏点分别出现在160 mL、130 mL、100 mL、90 mL附近,流速为1 mL/min时,虽然泄漏点出现的最迟,但因为流速慢,导致生产周期过长、多酚被氧化.综合考虑后,选择上样流速为2 mL/min.

2.1.5 乙醇浓度对树脂解吸的影响

由图6可以看出,随着乙醇体积分数的升高,解吸率先上升后有下降趋势,在40%~60%之间时,解吸

率上升幅度较快,当乙醇体积分数为60%时开始下降.因此,从节约资源的角度考虑选用60%乙醇溶液对CPPL进行洗脱.

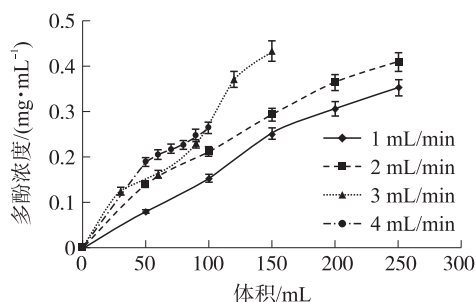


图5 吸附流速与多酚浓度关系图

Fig.5 Effects of adsorption flow speed on concentration of polyphenol

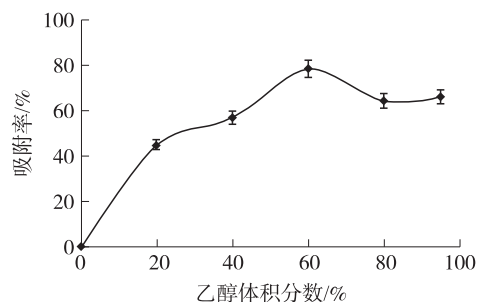


图6 乙醇体积分数对解吸效果的影响

Fig.6 Effects of concentration of ethanol on desorption results

2.1.6 洗脱剂用量的确定

由图7可知洗脱曲线呈高斯分布,表明AB-8树脂对CPPL有很好的洗脱能力.树脂上吸附的多酚类物质易洗脱,洗脱峰比较集中,当洗脱体积为40 mL~60 mL时,洗脱液中的多酚含量最高.洗脱剂用量为80 mL即1.7 BV,CPPL基本被完全洗脱,在此基础上,再增加洗脱剂用量,解吸量虽有所增加,但增幅很小.因此,从节约成本出发,宜以1.7 BV~2.0 BV左右的洗脱剂用量进行洗脱.

2.2 石榴叶多酚的抗氧化活性

2.2.1 对亚硝酸盐的清除作用

由图8可知,CPPL、PPPL1、PPPL2及Rutin均对亚硝酸盐有较好的清除效果,且随浓度的增大清除率也随之增大. CPPL、PPPL1、PPPL2及Rutin的 IC_{50} 分别为:307.42 mg/L、133.95 mg/L、102.94 mg/L及227.00 mg/L.结果表明:PPPL1和PPPL2对亚硝酸盐的清除作用明显好于Rutin及CPPL,且在相同浓度下PPPL2的清除效果也明显好于PPPL1.提示随着石榴叶多酚纯度的提高其清除亚硝酸盐的能力也会增强.

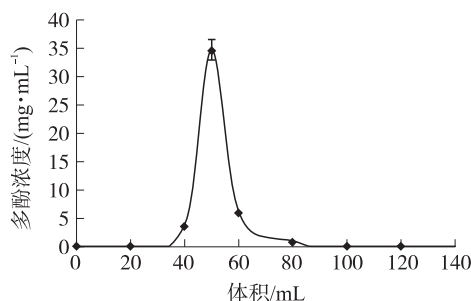


图7 AB-8树脂动态洗脱曲线

Fig.7 Dynamic elution curve of AB-8 resin

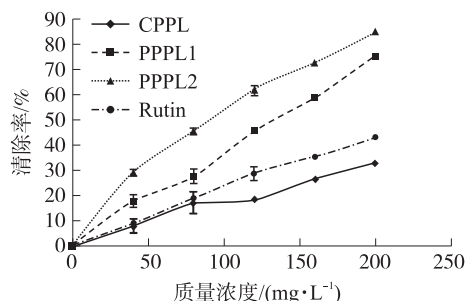


图8 石榴叶多酚对亚硝酸盐的清除作用

Fig.8 Nitrite scavenging activity of polyphenols from pomegranate leaves

2.2.2 还原力的测定

由图9可知,在试验浓度范围内,石榴叶多酚的还原能力与浓度呈一定的量效关系,还原能力随多酚的质量浓度增加而增强.相同浓度下,4种样品的还原力为:PPPL2>PPPL1>Rutin>CPPL. CPPL、PPPL1、PPPL2及Rutin的 IC_{50} 分别为:94.78 mg/L、56.93 mg/L、30.77 mg/L、77.32 mg/L.说明纯化有利于提高石榴叶多酚的还原能力,通过纯化后的石榴叶多酚的还原力强于Rutin.

2.2.3 对超氧阴离子自由基的清除作用

由图10可知,CPPL、PPPL1、PPPL2及Rutin均对超氧阴离子有较好的清除效果,且随浓度增大清除率也增大,4种样品对超氧阴离子的清除能力顺序为:Rutin>PPPL2>PPPL1>CPPL,CPPL、PPPL1、PPPL2及Rutin的 IC_{50} 分别为:441.27 mg/L、369.70 mg/L、255.15 mg/L、59.78 mg/L.表明石榴叶多酚对超氧阴离子有一定的清除作用,且经分离纯化后对超氧自由基的清除作用得到增强.

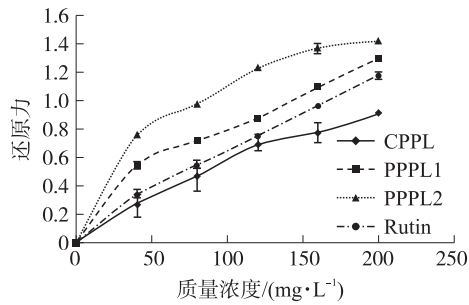


图9 石榴叶多酚的还原能力

Fig.9 Reducing power of polyphenols from pomegranate leaves

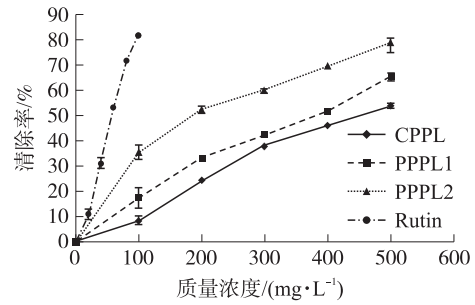


图10 石榴叶多酚对超氧阴离子自由基的清除作用

Fig.10 O^{2-} scavenging activity of polyphenols from pomegranate leaves

2.2.4 对羟自由基的清除作用

由图 11 可知,在 0 mg/L~25 mg/L 范围内石榴叶多酚及 Rutin 对羟自由基的清除率呈现一定的量效关系. PPPL2 在 0 mg/L~5 mg/L 时就显示出较强的清除效果,而 CPPL 在此浓度范围内则几乎没有对羟自由基起到清除的效果;当浓度达到 25 mg/L 时, PPPL2、PPPL1 及 Rutin 对羟自由基的清除率并没有明显的差异. CPPL、PPPL1、PPPL2 及 Rutin 的 IC_{50} 分别为: 22.25 mg/L、14.89 mg/L、13.07 mg/L、9.15 mg/L. 表明随着纯度的提高,清除羟自由基的效果越好,说明石榴叶多酚经纯化后其生物活性能更好地发挥出来.

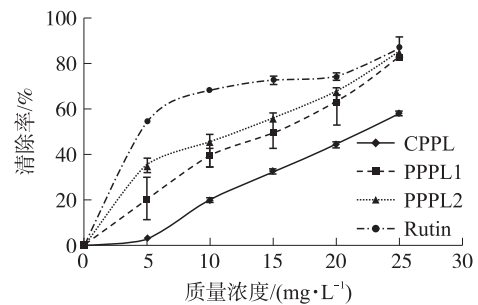


图11 石榴叶多酚对羟自由基的清除作用

Fig.11 Hydroxyl radicals scavenging activity of polyphenols from pomegranate leaves

3 讨论

自由基是人体内普遍存在的一类物质,主要包括超氧阴离子($O^{2-}\cdot$)、羟自由基($\cdot OH$)等氧自由基和氮自由基. 正常情况下,体内存在的防御系统能够有效清除多余的自由基. 但是生活中大气污染、辐射、吸烟和营养过剩等问题极易使人体内自由基增多,从而导致氧化损伤,这将直接或间接地引起蛋白质变性、生物膜结构损伤等一系列病变,严重的可造成死亡^[30]. 另外当人体摄入硝酸盐和可亚硝基化的胺类后会在体内形成 N-亚硝胺,只有在体内阻断亚硝胺的前体,才能有效防治癌症^[31]. 天然抗氧化剂如多酚类、多糖类、维生素等被广泛运用到食品和化妆品中帮助清除自由基,起到抗氧化作用,并阻断亚硝胺合成的作用,保障人体健康^[32-33]. 因此研究天然高效低毒的抗氧化剂已成为当今研究的热点,近些年人们已由原来研究人工合成抗氧化剂转移到研究从天然植物中筛选抗氧化成分上.

本实验得出石榴叶多酚纯化的最佳工艺条件为: AB-8 的最佳饱和吸附及解吸时间为 200 min 和 80 min,上柱质量浓度 2.5 mg/mL, pH 为 4,上柱速率 2 mL/min. 由动态解吸附试验又得到最适 AB-8 的解吸条件为:乙醇体积分数 60%,洗脱量 1.7 BV~2.0 BV. 在此条件下, CPPL 的纯度由 39.67% 提高到 62.44%,并采用聚酰胺树脂对 PPPL1 进行分离,得到了纯度为 92.83% 的 PPPL2. 研究石榴叶多酚的抗氧化作用,得出其对超氧自由基、羟自由基、亚硝酸盐的清除率以及还原能力随着样品浓度的增加和纯度的提高不断上升. 其中 PPPL1、PPPL2 及 Rutin 对亚硝酸盐的半抑制率分别为: 133.95 mg/L、102.94 mg/L、227.00 mg/L,还原力的 IC_{50} 值分别为 56.93 mg/L、30.77 mg/L、77.32 mg/L. 由此可以看出 PPPL1 和 PPPL2 在还原力及清除亚硝酸盐能力上比 Rutin 具有更强的抗氧化效果. 因此进一步探究提高石榴叶多酚纯度的方法和石榴叶多酚抗氧化活性方面的研究将对石榴叶作为天然抗氧化剂的开发具有重要意义.

[参考文献]

- [1] 张建成,屈红征,张晓伟,等. 中国石榴的研究进展[J]. 河北林果研究,2005,20(3):265-267.
- [2] 李梦颖,李建科,于振,等. 石榴多酚的提取、检测和成分分析研究进展[J]. 食品工业科技,2013,34(17):384-388.

- [3] 于江傲,陈晓静,刘本国,等. 响应面法优化石榴皮中多酚的提取工艺[J]. 农业机械,2011,7(20):164-165.
- [4] Lei F, Xing D M, Xiang L, et al. Pharmacokinetic study of ellagic acid in rat after oral administration of pomegranate leaf extract[J]. Journal of Chromatography, 2003, 96: 189-194.
- [5] Cotter P D, Hill C, Ross R P. Bacteriocins: developing innate immunity for food[J]. Nature Reviews Microbiology, 2005, 3(10): 777-788.
- [6] Singh R P, Chidambara M K N, Jayaprakash G K. Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using *in vitro* models[J]. Agric Food Chem, 2002, (50): 81-86.
- [7] Seeram N, Lee R, Hardy M, et al. Rapid large scale purification of ellagitannins from pomegranate husk, a product of the commercial juice industry[J]. Sepn Purifn Tech, 2005, (41): 49-55.
- [8] 林佳,李琰,徐丽珍. 石榴叶的化学成分研究[J]. 中南药学,2005,3(2):70-72.
- [9] 刘振平,陈祥贵,彭海燕,等. RP-HPLC法测定石榴汁中的4种多酚类成分[J]. 中国食品学报,2013,13(1):184-187.
- [10] Sudheesh S, Vijayalakshmi N R. Flavonoids from punica granatum potential antiperoxidative agents[J]. Fitoterapia, 2005, 76: 181-186.
- [11] Kulkarni A P, Aradhya S M, Divakar S. Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant punicalagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit[J]. Food Chem, 2004, (92): 551-557.
- [12] Iqbal S, Haleem S, Akhtar M, et al. Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated conditions[J]. Food Research International, 2008, 41(2): 194-200.
- [13] 唐鹏程,焦士蓉,唐远谋,等. 石榴皮多酚提取工艺及活性研究进展[J]. 西华大学学报:自然科学版,2011,30(1):98-102.
- [14] 颜栋美,姚艾东. 金花茶多酚抗氧化性能的研究[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2009,30(2):43-45.
- [15] Cai Y, Luo Q, Sun M, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer[J]. Life Sciences, 2004, 74(17): 2 157-2 184.
- [16] 金莹,孙爱东. 大孔树脂纯化苹果多酚的研究[J]. 食品科学,2007,28(4):160-163.
- [17] 艾志录,王育红,王海,等. 大孔树脂对苹果渣中多酚物质的吸附研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):245-248.
- [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,2011,5(32):48-51.
- [19] 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.
- [20] 李建新,张肖宇,王育红,等. D280大孔树脂对苹果多酚动态吸附的工艺优化[J]. 现代食品科技,2013,29(1):158-161.
- [21] 熊何健,吴国宏. 大孔吸附树脂分离纯化葡萄多酚的研究[J]. 食品研究与开发,2007,28(11):74-77.
- [22] 吴嘉琳,王寅,崔波,等. 大孔树脂对石榴皮多酚纯化研究[J]. 山东轻工业学院学报:自然科学版,2013,27(1):11-14.
- [23] 朱静,陆晶晶,袁其朋. 大孔吸附树脂对石榴皮多酚的分离纯化[J]. 食品科技,2010,35(1):188-193.
- [24] 闫瑞芳,李向荣,喻传华,等. 大孔吸附树脂分离纯化桃花多酚的研究[J]. 食品工业科技,2012,33(17):220-222.
- [25] 陈蕉黎,黎云祥,陈光登,等. 大孔吸附树脂分离纯化峨嵋岩白菜叶总黄酮[J]. 食品科学,2010,31(6):74-79.
- [26] 王树庆,姜薇薇,房晓,等. 抗坏血酸的亚硝酸盐清除能力的研究[J]. 中国调味品,2011,11(36):22-24.
- [27] Seordino M, Mauro A D, Passerini A, et al. Adsorption of flavonoids on resins, hesperidin[J]. Journal of Agriculture and Food Chemist, 2003, 51(24): 6 998-7 004.
- [28] 贾长虹,常丽新,赵京,等. 月季果中黄酮的提取及其对自由基清除作用的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(1):168-170.
- [29] Seordino M, Mauro A D, Passerini A, et al. Adsorption of flavonoids on resins, hesperidin[J]. Journal of Agriculture and Food Chemist, 2003, 51(24): 6 998-7 004.
- [30] Marx J L. Oxygen free radicals linked to many diseases[J]. Science, 1987, 235(4788): 529-531.
- [31] Mohamed M, Molham H, Zakaria S, et al. Nitrosamine formation from different Catha edulis leaves extracts under simulated gastric condition[J]. Food Chemistry, 2006, 97(4): 586-590.
- [32] 刘树兴,赵芳. 从天然植物中开发抗氧化剂研究进展[J]. 食品研究与开发,2007,28(7):179-182.
- [33] Fang Y Z, Yang S, Wu G Y. Free radicals, antioxidants, and nutrition[J]. Nutrition, 2002, 18(10): 872-879.

[责任编辑:黄 敏]