

芦笋多糖提取纯化工艺及其体外抗氧化研究

李 姣, 王 珂, 王瑞坡, 赵 頔, 瞿伟菁*

(华东师范大学生命科学学院, 上海 200062)

摘 要:目的: 探讨芦笋多糖的提取纯化方法及其体外抗氧化活性。方法: 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计, 考察提取温度、提取时间、料液比、提取次数等因素对芦笋粗多糖浸提效果的影响。进一步以酶法除蛋白纯化粗多糖, 探索 3 种蛋白酶作用的最佳工艺条件及其除蛋白效果, 用硫酸-苯酚法和 DNS 法定量分析粗多糖; 并研究芦笋多糖对自由基的清除作用以及对红细胞溶血、肝线粒体肿大的抑制作用。结果: 在提取温度 100°C 、提取时间 3h、料液比 1:20(g/mL), 提取 1 次条件下, 芦笋粗多糖的得率最高, 为 $(8.50 \pm 1.07)\%$, 经碱性蛋白酶纯化后, 纯度可达 $(52.40 \pm 0.47)\%$ 。芦笋多糖在体外体系中可显著清除 DPPH 自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$, 并具有抑制红细胞溶血, 抑制肝线粒体肿大的作用。结论: 芦笋多糖具有较好的抗氧化活性。

关键词: 芦笋多糖; 提取; 纯化; 抗氧化

Extraction, Purification and *in vitro* Antioxidant Effects of Polysaccharides from Green Asparagus (*Asparagus officinalis*)

LI Jiao, WANG Ke, WANG Rui-po, ZHAO Di, QU Wei-jing*

(College of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Objective: To optimize the extraction and purification process for polysaccharides from green asparagus (*Asparagus officinalis*) and to explore their *in vitro* antioxidant effects. Methods: Ethanol reflux extraction followed by enzymatic deproteinization was used to extract and purify polysaccharides from freshly picked green asparagus. A 9-run, 3-factor, 4-level orthogonal array design was applied to optimize temperature as well as extraction duration and number that influence extraction efficiency. The effects of temperature, hydrolysis duration and enzyme dose for polysaccharide deproteinization using papain, neutral protease or alkaline protease were explored based on a 9-run, 3-factor, 3-level orthogonal array design. Total sugar and reducing sugar were determined by phenol-sulphate and salicylic acid methods. Finally, the free radical scavenging effect of green asparagus polysaccharides and their inhibitory effect on erythrocyte hemolysis and swelling of liver mitochondria. Results: The once extraction at 100°C for 3 h with a solid/liquid ratio of 1:20 (g/mL) provided the highest extraction efficiency, $(8.50 \pm 1.07)\%$, and the purity of the resulting product was increased to $(52.40 \pm 0.47)\%$ after optimized alkaline protease hydrolysis. Green asparagus polysaccharides could dramatically scavenge DPPH, hydroxyl and superoxide anion free radicals, and inhibit erythrocyte hemolysis and liver mitochondrial swelling. Conclusion: Green asparagus polysaccharides have good antioxidant effects *in vitro*.

Key words: green asparagus polysaccharides; extraction; purification; antioxidant activity

中图分类号: R151.3; Q255

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)08-0065-05

芦笋(*Asparagus officinalis* Linn.)为百合科天门冬属植物, 学名石刁柏, 又名芦荀、龙须菜等。芦笋含有游离氨基酸、维生素、微量元素等多种营养成分, 以及皂苷、多糖、黄酮等药用成分^[1]。药理学研究表明芦笋提取物对高脂血症^[2]、糖尿病^[3]、癌症^[4]等有一定疗效, 具有较高的营养和药用价值。多糖是芦笋的重要活性成分, 因其毒性小, 具有广谱免疫促进等作用, 引起了人们极大的关注。目前, 以新鲜芦笋可食部分为原料的芦笋多糖的研究主要集中在提取工艺^[5]、增强

免疫力^[2]、抗衰老^[6]、抗肿瘤^[7]活性等方面。有关芦笋老茎的活性物质多糖的提取及抗氧化作用的研究未见报道。在芦笋食品生产过程中约有 40% 的老茎被废弃^[8], 不仅浪费资源, 而且有碍环境友好型产业建设。本实验以绿芦笋采收后的废弃老茎为原料, 对芦笋多糖(polysaccharides from residue of asparagus, PRA)提取的最优工艺条件进行探索, 采用蛋白酶法除蛋白^[9], 并比较木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶对粗多糖的纯化效果。超氧阴离子自由基、羟自由基是生物体

收稿日期: 2010-05-22

基金项目: 上海市科学技术委员会科技发展基金项目(07DZ12043)

作者简介: 李姣(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为资源植物化学。E-mail: lucky.lijiao@gmail.com

* 通信作者: 瞿伟菁(1957—), 男, 教授, 本科, 研究方向为资源植物化学。E-mail: wjqu@bio.ecnu.edu.cn

中主要的活性氧自由基,由它们所引发的体内脂质过氧化,是人类疾病发生和衰老的重要原因^[10],而红细胞在肿瘤免疫中具有识别、黏附、杀伤抗原等作用。有报道表明芦笋多糖可提高荷瘤小鼠红细胞免疫功能^[11],鉴于此本实验以体外抗氧化系统测定芦笋老茎多糖对自由基的清除率以及对红细胞氧化溶血、线粒体肿胀的抑制作用,比较不同质量浓度PRA的抗氧化活性,以期PRA资源的深度利用、延长PRA资源加工的产业链提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

新鲜芦笋老茎 上海合兴蔬菜公司;SD(Sprague-Dawley)大鼠(沪动合证字152号) 上海西普尔-必凯实验动物有限公司;浓硫酸、5%苯酚、HCl、Tris-HCl缓冲液(pH8.2)、邻苯三酚、1,1-二苯基-2-苦基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl, DPPH)、磷酸盐缓冲液(PBS)、木瓜蛋白酶(papain)、中性蛋白酶(neutral protease)、碱性蛋白酶(alkali protease)均为国产市售。

1.2 仪器与设备

DK-S24型电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;722光栅分光光度计 上海市第三分析仪器厂;高速台式离心机 上海市离心机械研究所;RE-52型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;梅特勒-托利多B-L系列电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司;Bio-tek exl 800酶联免疫测定仪 美国BioTek公司。

1.3 方 法

1.3.1 芦笋预处理

准确称取一定量干燥的芦笋老茎粉末,置于圆底烧瓶中,用10倍体积70%的乙醇回流2次,每次3h。弃去溶剂,残渣风干备用。

1.3.2 芦笋多糖最佳浸提条件的确立

综合考虑温度、时间、料液比、提取次数等因素,采用正交试验设计,将预处理的芦笋按设计方案在热水浴中回流浸提,抽滤,收集滤液;旋转蒸发器浓缩,加入乙醇,使乙醇最终体积达到80%以上,静置过夜。将所得沉淀物在4000r/min条件离心15min,得到芦笋粗多糖(PRA)。

$$\text{多糖得率} / \% = \frac{\text{粗多糖质量} / \text{mg}}{\text{芦笋老茎末质量} / \text{mg}} \times 100$$

1.3.3 酶法除蛋白

配置质量分数1%PRA溶液,设计木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶作用最佳条件的正交试验。按试验得到的酶最适温度、作用时间、酶质量浓度等对

PRA进行酶解。95%乙醇进行醇沉,静置过夜。在4000r/min条件离心15min去上清液,沉淀冷冻干燥,比较3种酶纯化后的多糖纯度。

1.3.4 多糖含量的测定

用硫酸-苯酚法测定粗多糖中总糖的含量,DNS法测定还原糖的含量。

多糖质量 = 提取物中总糖质量 - 提取物中还原糖质量

$$\text{多糖纯度} / \% = \frac{\text{提取物中多糖质量} / \text{mg}}{\text{提取物质量} / \text{mg}} \times 100$$

1.3.4.1 硫酸苯酚法测总糖

精密量取0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL 0.2mg/mL葡萄糖标准液,蒸馏水补足至1.0mL。加入5%的苯酚溶液1mL,加入5mL浓硫酸。放置10min后沸水浴加热20min。室温条件下于波长490nm处测定吸光度^[12]。根据所测量吸光度得到线性回归方程 $y = 3.7116x + 0.0046$ ($R^2 = 0.9981$)。根据标准曲线方程可计算出多糖水解液中总糖含量。

1.3.4.2 DNS法测还原糖

精密量取0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5mL 1.0mg/mL葡萄糖标准液,用蒸馏水补足至0.5mL。加入DNS液1mL^[13],沸水浴加热2min显色。加入4.5mL蒸馏水,在波长540nm处比色。可计算出多糖水解液中还原糖含量。

1.4 芦笋多糖体外抗氧化活性的测定

1.4.1 DPPH自由基体系

配置质量浓度分别为0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、10、16mg/mL的PRA溶液。在1.9mL 0.065mmol/L的DPPH自由基乙醇溶液^[14]中加入0.1mL不同质量浓度的样品溶液。反应30min,于波长517nm处测定吸光度 A_i 。以相应溶剂代替样品作为空白对照,吸光度为 A_{\max} 。

$$\text{DPPH 自由基清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_i}{A_{\max}}\right) \times 100$$

1.4.2 超氧阴离子自由基体系

按1.4.1节方法配置PRA溶液。采用邻苯三酚自氧化法获得 $\text{O}_2^{\cdot-}$ ^[15]。取4.5mL 0.05mol/L Tris-HCl缓冲液,加入1mL样品溶液和0.4mL 25mmol/L邻苯三酚溶液,25℃反应5min后加入1mL 8mmol/L HCl溶液终止反应,在波长299nm处测定样品溶液的吸光度 A_i ,空白组以相应溶剂代替样品溶液,吸光度为 A_0 。

$$\text{O}_2^{\cdot-} \text{清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_i}{A_0}\right) \times 100$$

1.4.3 对羟自由基($\cdot\text{OH}$)的清除作用

参照 Fenton 反应方法^[16]建立羟自由基产生体系模型。在试管中依次加入 6mmol/L FeSO₄ 溶液 2mL, 多糖溶液(按 1.4.1 节方法配置)2mL 6mmol/L H₂O₂ 溶液 2mL, 静置 10min。再加入 6mmol/L 水杨酸溶液 2mL, 静置 30min 后于波长 510nm 处测吸光度 A₀, 用蒸馏水代替样品溶液测得吸光度 A_x。

$$\bullet\text{OH 清除率}/\% = (1 - \frac{A_0}{A_x}) \times 100$$

1.4.4 对 H₂O₂ 诱导红细胞氧化溶血的影响

SD 大鼠取血, 4℃、3000r/min 离心 10min, 生理盐水洗涤 3 次, 配成 0.5% 红细胞悬液^[17]。将红细胞悬液 0.5mL 与 0.1mL 不同质量浓度(0.5、1、2、5、10mg/mL)的多糖溶液混合。37℃温育 10min 后加入 100mmol/L H₂O₂ 溶液 0.1mL, 继续温浴 1h, 稀释 4 倍体积后 3000r/min 离心 10min, 取上清液在波长 415nm 处测吸光度, 以生理盐水为空白, 以对照组为 100% 溶血, 计算添加多糖溶液后的溶血度。

1.4.5 对大鼠肝线粒体肿胀度的影响

取新鲜 SD 大鼠肝组织, 按 1:9 的比例加入预冷 PBS, 冰浴匀浆, 在 4℃、1000r/min 条件下离心 15min, 收集上清液。以 10000r/min 转速离心 15min, 收集沉淀, 用 PBS 将沉淀制成悬液。考马斯亮蓝法测定该悬液中的蛋白含量, 调整悬浮液蛋白量至 0.5mg/mL, 4℃保存备用^[18-19]。

取 3.0mL 悬浮液, 加入 0.4mL 不同质量浓度(0.5、1、2、5、10mg/mL)多糖溶液, 用 0.4mL 0.5mmol/L FeSO₄ 及 0.4mL 0.5mmol/L VC 激发线粒体膨胀, 37℃温浴, 测定 0min 和 60min 时悬浮液的吸光度 A₀、A_t, 计算线粒体的肿胀度。

$$\text{肿胀度}/\% = \frac{A_t - A_0}{A_0} \times 100$$

1.5 数据处理

数据以“ $\bar{x} \pm s$ ”表示, 用 SPSS 软件进行一维方差分析(One-Way ANOVA), 组间进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 芦笋多糖提取工艺优化的正交分析

由表 1 可得, 提取温度 100℃, 提取时间 3h, 料液比 1:20, 浸提 1 次得到的粗多糖得率最高为(8.50 ± 1.07)%。由极差分析可知, 影响粗多糖提取率各因素影响力大小依次为提取温度 > 提取时间 > 料液比 > 提取次数。浸提的时间延长, 次数较多时, 提取液中的总

糖含量上升; 但同时, 还原糖含量亦大幅上升, 对提高多糖提取率的效果不明显。因此, 考虑到节约成本, 将芦笋多糖水提工艺条件确定为提取温度 100℃、提取时间 3h、料液比 1:20(g/mL), 提取 1 次。

表 1 芦笋多糖水提工艺正交试验设计及结果

Table 1 Scheme and experimental results of orthogonal array design for optimizing extraction process for polysaccharides from green asparagus

试验号	提取温度/℃	提取时间/h	溶液倍数	提取次数	PRA 得率/%
1	80	1	1:10	1	6.00 ± 1.20
2	80	2	1:20	2	6.70 ± 0.82
3	80	3	1:30	3	7.59 ± 0.87
4	90	1	1:20	3	5.94 ± 2.02
5	90	2	1:30	1	6.98 ± 1.25
6	90	3	1:10	2	7.68 ± 0.91
7	100	1	1:30	2	6.61 ± 1.38
8	100	2	1:10	3	7.17 ± 1.36
9	100	3	1:20	1	8.50 ± 1.07
K ₁	0.288	0.309	0.270	0.325	
K ₂	0.282	0.246	0.304	0.310	
K ₃	0.341	0.356	0.337	0.276	
R	0.159	0.110	0.067	0.049	

2.2 芦笋多糖除蛋白正交分析

表 2 蛋白酶纯化多糖的正交试验设计及结果

Table 2 Scheme and experimental results of orthogonal array design for optimizing deproteinization process for crude green asparagus polysaccharides

试验号	提取温度/℃	提取时间/h	酶质量浓度/(mg/mL)	PRA 纯度/%		
				木瓜蛋白酶	中性蛋白酶	碱性蛋白酶
1	50	1	0.1	41.88 ± 1.23	37.20 ± 1.02	49.70 ± 1.84
2	50	1.5	0.5	38.10 ± 0.98	57.00 ± 3.08	52.40 ± 0.47
3	50	2	1	34.47 ± 1.73	48.50 ± 2.02	48.35 ± 1.32
4	55	1	0.5	37.02 ± 2.01	44.00 ± 1.35	45.80 ± 0.58
5	55	1.5	1	38.97 ± 1.26	37.90 ± 0.82	50.47 ± 0.63
6	55	2	0.1	40.32 ± 0.86	40.32 ± 1.98	42.80 ± 1.28
7	60	1	1	32.46 ± 1.47	39.70 ± 2.01	40.90 ± 1.06
8	60	1.5	0.1	42.57 ± 1.83	43.60 ± 0.49	38.63 ± 1.39
9	60	2	0.5	32.70 ± 2.24	46.90 ± 1.59	45.48 ± 0.48

由表 2 可知, 酶处理的各因素影响大小依次是提取温度 > 提取时间 > 酶质量浓度。木瓜蛋白酶处理的最佳条件为 60℃、1.5h, 酶质量浓度 0.1mg/mL; 中性蛋白酶处理的最佳条件为 50℃、1.5h, 酶质量浓度 0.5mg/mL; 碱性蛋白酶处理的最佳条件为 50℃、1.5h, 酶质量浓度 0.5mg/mL。在最适条件下, 3 种酶纯化后的多糖纯度分别为: 木瓜蛋白酶(42.57 ± 1.83)%, 中性蛋白酶(57.00 ± 3.08)%, 碱性蛋白酶(52.40 ± 0.47)%。

2.3 3 种酶法除蛋白方法比较结果

由图 1 可以看出, 碱性蛋白酶处理后的 PRA 得率最高, 为(7.47 ± 1.08)%, 中性蛋白酶最低, 为(6.20 ± 2.13)%; 中性蛋白酶处理后的 PRA 的纯度最高, 为

(57.00 ± 3.08)%, 其次是碱性蛋白酶, 为(52.40 ± 0.47)%. 虽然中性蛋白酶处理后多糖的纯度最高, 但是标准差较大, 没有碱性蛋白酶稳定, 得率也偏低。综合考虑, 采用碱性蛋白酶纯化芦笋粗多糖。

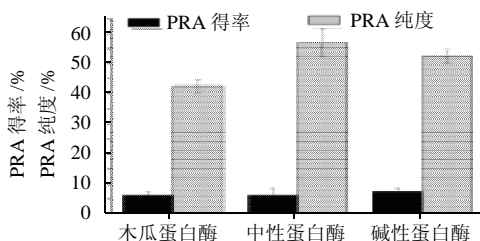


图1 不同除蛋白方法得率及纯度比较

Fig.1 Comparisons on recovery and purity of crude polysaccharides after hydrolysis with three enzymes

2.4 芦笋多糖对 DPPH 自由基清除能力的测定

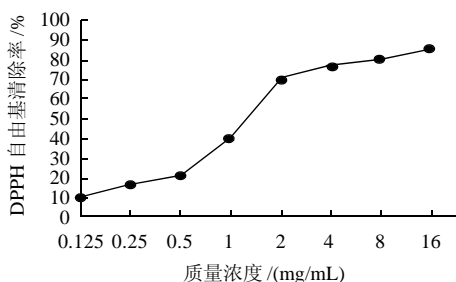


图2 PRA 对 DPPH 自由基的清除能力

Fig.2 Concentration dependent scavenging activity of green asparagus polysaccharides against DPPH free radicals

由图2可得, PRA 质量浓度 0.125mg/mL 时, 开始显示出清除 DPPH 自由基的能力((10.12 ± 0.69)%), 随着多糖质量浓度的增加, 对 DPPH 自由基的清除率迅速增强; 当 PRA 质量浓度为 1.5mg/mL 时, 清除率为 50%, $IC_{50} = (1.50 \pm 0.75) \text{mg/mL}$ 。当 PRA 质量浓度为 10mg/mL 时, 对 DPPH 自由基的清除率达到(86.11 ± 1.32)%, 显示出较高的体外清除 DPPH 自由基的活性。

2.5 芦笋多糖对超氧阴离子自由基的清除作用

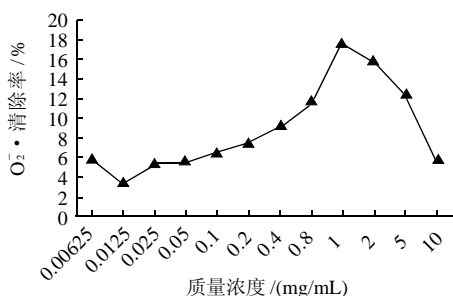


图3 PRA 对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除作用

Fig.3 Concentration dependent scavenging activity of green asparagus polysaccharides against superoxide anion free radicals

该体系中邻苯三酚在碱性条件下自氧化形成超氧阴离子自由基, 该自由基又会促进邻苯三酚的自氧化, 同时生成红色中间产物。若待测物对邻苯三酚自氧化有抑制作用, 体系红色变浅, 即说明其对超氧阴离子自由基有清除作用。

结果如图3所示, 当 PRA 质量浓度为 0.0625mg/mL 时, 开始显示出对超氧阴离子自由基的清除能力((5.70 ± 0.26)%). 随着质量浓度的增加而增强, 呈缓慢上升趋势; 当 PRA 质量浓度为 1mg/mL 时, 清除率达到最大, 为(17.53 ± 0.26)%, 说明 PRA 具有一定的清除超氧阴离子自由基的能力。

2.6 芦笋粗多糖对羟自由基($\cdot OH$)的清除作用

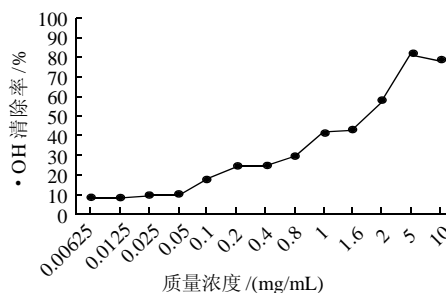


图4 PRA 对羟自由基的清除作用

Fig.4 Concentration dependent scavenging activity of green asparagus polysaccharides against hydroxyl free radicals

H_2O_2 和 Fe^{2+} 混合后, 可生成具有很高反应活性的 $\cdot OH$ 。在体系中加入水杨酸后, 能有效的捕捉 $\cdot OH$ 并产生有色物质, 该物质在波长 510nm 处有强吸收。若加入具有清除 $\cdot OH$ 作用的物质, 便会与水杨酸竞争, 使有色产物生成量减少。

图4显示当 PRA 质量浓度为 0.0625mg/mL 时, 对 $\cdot OH$ 的清除率为(8.03 ± 1.14)%, 随着 PRA 质量浓度的增加, 其对 $\cdot OH$ 的清除能力增强, 表明 PRA 对 $\cdot OH$ 的清除力与其质量浓度具有一定的量效关系。当 PRA 质量浓度为 2.0mg/mL 时, 清除率达 50%, 即 $IC_{50} = 2.0 \text{mg/mL}$; PRA 质量浓度为 5.0mg/mL 时, 对羟自由基清除率达到(81.83 ± 0.43)%, 体现了 PRA 良好的清除 $\cdot OH$ 的活性。

表3 PRA 对 H_2O_2 诱导红细胞氧化溶血的影响($\bar{x} \pm s, n=5$)

Table 3 Effect of green asparagus polysaccharides on rat erythrocyte hemolysis induced by H_2O_2 ($\bar{x} \pm s, n=5$)

PRA 质量浓度 / (mg/mL)	红细胞溶血程度吸光度与抑制率	
	A_{415nm}	抑制率 / %
0(对照)	0.912 ± 0.011	—
0.5	0.878 ± 0.055	3.73*
1	0.861 ± 0.031	5.59*
2	0.778 ± 0.027	14.69**
5	0.749 ± 0.028	17.87**
10	0.749 ± 0.023	17.87**

注: * 差异显著, $P < 0.05$; ** 差异极显著, $P < 0.01$ 。下同。

表4 PRA 对大鼠线粒体肿胀度的影响($\bar{x} \pm s, n=5$)Table 4 Effect of green asparagus polysaccharides on swelling of rat liver mitochondria ($\bar{x} \pm s, n=5$)

PRA 质量浓度/(mg/mL)	正常组	模型组($\text{Fe}^{2+} + \text{VC}$)	0.5	1	2	5	10
$A_{520\text{nm}}$ 降幅/%	$5.53 \pm 1.89^{**}$	12.09 ± 1.65	10.49 ± 2.11	$8.11 \pm 1.13^*$	$7.32 \pm 2.12^*$	$5.66 \pm 1.87^{**}$	$4.58 \pm 0.97^{**}$

当红细胞中加入 H_2O_2 后, H_2O_2 可与 Fe^{2+} 结合产生 $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{OH}$ 与 H_2O_2 均能导致细胞膜发生氧化损伤而产生溶血。表3显示, 随着PRA质量浓度的增加, 对红细胞溶血的抑制作用迅速增强。与对照组相比, 低剂量PRA可显著抑制氧化溶血现象的发生; 当PRA质量浓度为5mg/mL时, 抑制率达到17.87%。PRA对 H_2O_2 诱导的红细胞氧化溶血的抑制作用在3个质量浓度(2、5、10mg/mL)均达到了极显著水平($P < 0.01$), 显示出较好的抑制红细胞氧化溶血作用。

2.8 对大鼠肝线粒体肿胀度的影响

由表4可知, 正常组在60min后, $A_{520\text{nm}}$ 降幅为(5.53 ± 1.89)%, 模型组($\text{Fe}^{2+} + \text{VC}$) $A_{520\text{nm}}$ 降幅达(12.09 ± 1.65)%。说明当VC和 Fe^{2+} 存在时, 诱生的 $\cdot\text{OH}$ 可导致线粒体中不饱和脂肪酸的加速氧化, 损坏线粒体的膜结构, 使线粒体通透性增加而产生肿胀, 表现为 $A_{520\text{nm}}$ 值降低。1mg/mL PRA组的吸光度与模型组相比, 无显著性差异。中质量浓度PRA(1、2mg/mL)组对线粒体肿胀的抑制作用明显。当PRA质量浓度为5mg/mL和10mg/mL时, 抑制作用极为显著($P < 0.01$), 说明其对线粒体具有很强的保护作用。

3 结 论

本实验采用 $L_9(3^4)$ 正交试验对芦笋多糖的浸提条件进行研究, 结果表明影响芦笋粗多糖纯度的因素主次顺序为提取温度>提取时间>料液比>提取次数。芦笋多糖的最佳提取条件为提取温度100℃、提取时间3h、料液比1:20(g/mL), 提取1次。比较木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶纯化粗多糖的效果, 结果表明, 碱性蛋白酶处理后多糖的得率最高, 为(7.47 ± 1.08)%, 纯度为(52.40 ± 0.47)%。

芦笋多糖的抗氧化实验结果说明: PRA对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除作用较弱, 而对 $\cdot\text{OH}$ 和DPPH自由基具有较强的清除能力, 抑制率分别为(81.83 ± 0.43)%和(86.11 ± 1.32)%, 可能PRA清除 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot\text{OH}$ 、DPPH自由基的物质基础或作用机理有所不同。芦笋多糖抑制红细胞氧化溶血, 肝线粒体肿大的作用亦及其显著, 表明其在大鼠血清、细胞、细胞器等水平上都有较好的抗氧化活性。实验结果表明芦笋多糖可能对生物机体具有保健功效, 本实验可为芦笋多糖药物与功能性食品的开发

提供一定参考。

参考文献:

- [1] 周利亘, 王春辉, 王君虹, 等. 芦笋的活性成分及其生物学功能[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(2): 23-25.
- [2] 孙春艳, 赵伯涛, 郁志方, 等. 芦笋化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(5): 1-5.
- [3] MABEL M J, SANGEETHA P T, HATEL K, et al. Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics[J]. Carbohydr Res, 2008, 343(1): 56-66.
- [4] KOO H N, JEONG H J, CHOI J Y, et al. Inhibition of tumor necrosis factor- α -induced apoptosis by *Asparagus cochinchinensis* in Hep G2 cells[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2000, 73(1/2): 137-143.
- [5] 黄晓德, 赵伯涛, 钱烨, 等. 芦笋茎叶多糖的提取纯化研究[J]. 江西农业学报, 2006, 18(1): 15-18.
- [6] KAMAT J P, BOLOOR K K, DEVASAGAYAM T P A, et al. Antioxidant properties of *Asparagus racemosus* against damage induced by γ -radiation in rat liver mitochondria[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2000, 71(3): 425-435.
- [7] JI Yubin, JI Chenfeng, CHEN Xuejun. Effects of asparagus polysaccharide on GPA and band 3 from erythrocyte membrane of S180 mice[J]. IFMBE Proceeding, 2008, 19(13): 528-530.
- [8] 台建祥, 付勤, 梅慧生. 芦笋罐头生产中废弃物的应用研究[J]. 食品科学, 1997, 18(3): 32-33.
- [9] 许彬, 陈平. 竹节参粗多糖的初步纯化工艺研究[J]. 武汉工业学院学报, 2008, 27(4): 5-7.
- [10] SUN Zhongwei, ZHANG Lixiang, ZHANG Bin, et al. Structural characterisation and antioxidant properties of polysaccharides from the fruiting bodies of *Russula virescens*[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 675-680.
- [11] 李宇彬, 陈学军, 汲晨峰. HPLC分析芦笋多糖对荷瘤小鼠红细胞的影晌[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2006, 22(5): 1-3.
- [12] 林肖惠, 刘鹏, 徐为人, 等. 牛膝不同炮制品中多糖的测定[J]. 中草药, 2008, 39(8): 1180-1182.
- [13] 仝瑛, 倪士峰, 刘建利, 等. DNS法测定菊芋中还原糖含量的研究[J]. 陕西中医, 2009, 30(11): 1535-1537.
- [14] 李姣娟, 黄克瀛, 龚建良, 等. 油茶叶乙醇提取物清除DPPH自由基作用的研究[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(2): 83-84.
- [15] 严成, 严夏. 枸杞多糖提取工艺比较及体外抗氧化研究[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 184-185.
- [16] 朱晓宦, 吴向阳, 仰榴青, 等. 马齿苋粗多糖的提取及清除羟基自由基活性的能力[J]. 江苏大学学报: 医学版, 2007, 17(1): 58-59.
- [17] 王官林, 田兵, 方宏筠, 等. 芦荟抗氧化物质活性及对红细胞的保护作用[J]. 营养学报, 2002, 24(4): 380-384.
- [18] DUTRA F, BECHARA J H E. Aminoacetone induces iron-mediated oxidative damage to isolated rat liver mitochondria[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2004, 430(2): 284-289.
- [19] 张龙翔, 张庭芳, 李令媛. 生化实验方法和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1997: 138-140.