

鸡骨草多糖的分离纯化及抗氧化活性研究

扶雄^{1,2}, 吴少微¹, 孟赫诚¹, 李超¹

(1. 华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640) (2. 广州现代产业研究院, 广东广州 511458)

摘要: 从鸡骨草中分离纯化得到中性多糖 ACPa 和酸性多糖 ACPb 两种组分, 通过高效凝胶渗透色谱 (GPC) 法测定了其相对分子质量和 HPLC-ELSD 法分析了其单糖组成同时考查了它们的红外光谱特征, 并且采用细胞模型抗氧化能力 (cellular antioxidant activity, CAA) 评价法对其进行了抗氧化活性评价。结果表明: ACPa 和 ACPb 均具有典型的多糖红外吸收峰, ACPa 的糖苷键以 α -吡喃型为主, ACPb 的糖苷键包含型 α -和 β -吡喃型; ACPa 和 ACPb 重均相对分子质量分别为 1.24×10^5 Da 和 2.15×10^5 Da; ACPa 是一种葡聚糖, ACPb 为杂多糖, 含有鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖和葡萄糖, 摩尔比为 1:3.4:3.6:10.9; 在一定浓度范围内, ACPa 和 ACPb 的抗氧化作用随着浓度的增加而增强, 当 ACPa 和 ACPb 的质量浓度分别为 $6.25 \mu\text{g/mL}$ 和 $100.00 \mu\text{g/mL}$ 时, CAA 值达到 20, 但在此基础上继续增加多糖浓度, CAA 值并未随浓度的增加而显著性增加。

关键词: 鸡骨草; 多糖; 抗氧化活性; 分子量; 红外光谱

文章编号: 1673-9078(2013)7-1559-1564

Isolation and Antioxidant Activity of Polysaccharides Purified from *Abrus cantoniensis* Hance

FU Xiong^{1,2}, WU Shao-wei¹, MENG He-cheng¹, LI Chao¹

(1. College of Light Industrial and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Modern Industry Institute of Guangzhou, Guangzhou 511458, China)

Abstract: Row polysaccharide (ACP) was extracted from air part of *Abrus cantoniensis* Hance by ethanol precipitation and further purified by DEAE anion exchange chromatography to obtain fractions ACPa and ACPb, for investigation of their antioxidant activity and preliminary characterization. Weight-average molar mass (M_w) and monosaccharide composition of the polysaccharide were determined by gel permeation chromatography (GPC and High-performance liquid chromatography with evaporative light-scattering detection (HPLC-ELSD), respectively. A cellular antioxidant activity (CAA) assay was used to quantify the antioxidant activity of purified fractions by conducting in human liver carcinoma HepG2 cells. The results showed that weight-average molar mass (M_w) of ACPa and ACPb were 1.24×10^5 Da and 2.15×10^5 Da, respectively. Infrared (IR) spectra analysis demonstrated that both of them had the typical characteristic absorption of polysaccharides, ACPa only contained glucose, while ACPb was a heteropolysaccharide, composed of rhamnose, arabinose, galactose and glucose in a molar ratio of 1:3.4:3.6:10.9. Moreover, cellular antioxidant activity (CAA) assay suggested a positive relationship between antioxidant effect and dose of ACPa and ACPb. In a certain concentration range, antioxidant effect of ACPa and ACPb increased with increasing their concentration. When concentration of ACPa and ACPb were $6.25 \mu\text{g/mL}$ and $100.00 \mu\text{g/mL}$, respectively, CAA value reached 20. Further increasing their dose showed little effects on the antioxidant effects.

Key words: *abrus cantoniensis* hance; polysaccharide; antioxidant activity; molecular weight (M_w); IR spectra

鸡骨草 (*Abrus cantoniensis* Hance), 又名广州相思子, 是广西、广东等南部省区的道地药材, 也是我国出口的中草药品种之一^[1]。研究发现鸡骨草全草中主要含有生物碱类、黄酮类、皂苷类、甾醇化合物、多酚类和糖类化合物。由于大量药理和临床研究表明, 多糖类化合物具有抗肿瘤、抗病毒、调节免疫力、

收稿日期: 2013-04-15

作者简介: 扶雄, 教授, 博导

通讯作者: 孟赫诚, (1984-), 男, 博士, 食品质量与安全

抗氧化活性等功效, 鸡骨草中的多糖物质已逐渐引起人们的研究兴趣。研究鸡骨草多糖的抗氧化活性, 对于开发天然抗氧化剂及充分挖掘鸡骨草多糖药用价值具有重要意义。科学有效地筛选出植物中具有抗氧化活性多糖成分的一个重要方面在于正确选取评价物质抗氧化能力的方法。目前评价物质的抗氧化活性的体外实验方法主要是化学法和细胞模型法, 化学方法包括 DPPH 法、ABTS 法和氧自由基吸收能力 (ORAC) 等, 化学方法简单方便, 应用广泛, 但通常不是在生

理条件下进行,而且也没有考虑到物质的吸收、代谢、运输等因素,细胞模型抗氧化能力评价方法(Cellular antioxidant activity, CAA)由Liu等^[2]建立,该方法不仅经济、快捷,且能够比较准确反映抗氧化剂的体内抗氧化能力。

关于鸡骨草多糖制备工艺和多糖提取液的抗氧化活性研究已有报道。吴庆功等^[3]采用正交试验法对鸡骨草多糖的提取工艺和脱蛋白工艺进行了研究并确定了其最佳工艺。谭冰等^[4]研究表明鸡骨草多糖提取液对羟基自由基具有较好的清除作用。可见,国内对鸡骨草多糖的现有研究一方面停留在对其提取和除杂工艺上,另一方面在鸡骨草多糖抗氧化活性研究中不仅停留在多糖提取液上而且主要采用化学方法评价;对于鸡骨草经提取、除杂后的进一步分离纯化,纯化后多糖级分的分子量大小、红外光谱、单糖组成等基本特征,尤其是采用细胞模型评价其抗氧化活性的研究报道却较少。本实验用离子交换柱层析从鸡骨草中的分离出中性多糖和酸性多糖两种组分,不仅从分子量大小、光谱特征、单糖组成等方面分析了它们的基本特征,而且采用CAA法评价了它们的抗氧化活性,以期对鸡骨草多糖的进一步纯化、结构分析和抗氧化活性研究提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 原料和试剂

鸡骨草,购于广州佛山制药厂;D354FD树脂,广州市广联津化工有限公司;Whatman DEAE-Cellulose-52,广州东巨有限公司进口分装;人肝癌 HepG2 细胞,美国模式培养物保藏所;CM培养基、PBS、0.25%胰酶-EDTA 消化液、胎牛血清、2',7'-二氯荧光二乙酸盐(DCFH-DA)及 ABAP(2,2'-azobis(2-methylpropionamide)-dihydrochloride)美国 Sigma 公司;L-鼠李糖、L-阿拉伯糖、D-木糖、D-半乳糖、D-甘露糖、D-葡萄糖,中国试剂网;甲醇、乙腈 色谱纯;其它化学试剂均为国产分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

SZCL-2 电热套磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限公司;SHZ-D(III)循环水真空泵,广州红图仪器有限公司;RV10 数显型旋转蒸发器,广州市东南科创科技有限公司;DL-50 离心机,广州深华生物技术有限公司;TU-1901 双光束紫外-可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;HL-2B 恒流泵、BSZ-100 自动部分收集器,上海精密科学仪器有限公司;Multiskan MK3 酶标仪, Thermo Scientific 公司;18-N

冷冻干燥机,广州德菲科学仪器有限公司;Agilent 1260, 高效液相色谱系统,美国 Agilent 公司。

1.2 方法

1.2.1 鸡骨草多糖的分离纯化工艺

将鸡骨草药材粉碎过 32 目筛,于 60 °C 下干燥至恒重后,取干粉,以 1:30 的料液比,在磁力搅拌下,92 °C 恒温提取 3 h,共提取 3 次,5000 r/min 下离心 15 min 进行过滤。合并所有的滤液并减压浓缩到一定体积,将糖液和 1/4 体积的 sevag 试剂(氯仿-正丁醇为 4:1)进行混合,震荡 20 min,重复操作 12 次以上至紫外光谱扫描在 280 nm 和 260 nm 处无明显的吸收峰。将已脱蛋白的多糖上清液添加 D354FD 树脂脱色,减压浓缩后,边搅拌边缓慢加入无水乙醇至乙醇最后浓度为 75%,于 4 °C 冰箱静置过夜,离心,沉淀,依次用无水乙醇、丙酮、无水乙醚洗涤数次,真空干燥,最后得到脱蛋白后的鸡骨草多糖粗品 ACP。

将上述制备的鸡骨草多糖 ACP 用去离子水溶解,离心除去不溶物,过 DEAE-Cellulose-52 阴离子交换柱层析,用不同浓度的 NaCl 溶液进行洗脱,收集洗脱液并浓缩,透析,冷冻干燥。

1.2.2 分子量的测定

将冷冻干燥后多糖样品溶于 0.02 mol/L 磷酸二氢钾溶液(pH 6.0),制成 1.0 mg/mL 的溶液,过 0.45 μm 滤膜,并参照陈健等的测定方法与实验条件,采用凝胶渗透色谱(GPC)测定其分子量^[5]

1.2.3 红外光谱分析

称取经离子交换柱层析后得到两种多糖组分 1~2 mg,使用 KBr 混合压片法在 4000~400 cm⁻¹ 范围内进行红外光谱扫描。

1.2.4 单糖的组成

多糖的水解:分别称取 5.00 mg ACP-1、ACP-2 于安瓿瓶中,加入 2.00 mol/L 三氟乙酸(TFA)2.00 mL,110 °C 封管水解 4 h,水解液减压浓缩至干,再加甲醇 3.00 mL 蒸干,重复 3 次,以除尽 TFA。加少量水溶解,水解产物经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,取滤液 20 μL 上机进行液相分析。

液相色谱条件:采用 Shodex Asahipak NH2P-50G 串联 Shodex Asahipak NH2P-50 4E(4.6 mm×250 mm) 色谱柱及蒸发光检测器(ELSD)。色谱柱柱温 30 °C;流动相为乙腈/水(80:20),流速 1.0 mL/min;ELSD 检测器温度 45 °C,气体流速 2 L/min,辅助气(N₂) 压力 4.0 bar,增益为 4。

1.2.5 CAA 法测定抗氧化活性

参照 Liu 等实验方法^[2,6],人肝癌 HepG2 细胞(12~35代),接种于 96 孔板培养板,每个孔约含 6×10⁴

个细胞,加入 100 μL CM 培养液(考虑到边缘效应,注意不要使用边缘孔),培养 24 h 后除去培养液, PBS 清洗一次。在样品组加入 100 μL 含有 DCFH-DA (25 $\mu\text{mol/L}$) 荧光探针和不同浓度多糖的新鲜培养基,控制组和空白组中加入 100 μL 含 DCFH-DA (25 $\mu\text{mol/L}$) 但不含多糖的新鲜培养基;然后放置 5% CO_2 、37 $^\circ\text{C}$ 培养箱中继续培养 1 h。用 100 μL PBS 清洗 1 次,样品组和控制组加入 ABAP 工作液(终浓度为 600 $\mu\text{mol/L}$)后,迅速放置于多功能酶标仪中并测定其荧光值,测定条件为:激发波长为 485 nm,发射波长为 538 nm,1 h 内每 5 min 测定一次。空白组不进行 ABAP 工作液处理,各实验组均设置三个复孔。使用 Sigmaplot 10.0 软件计算时间-荧光强度曲线下的积分面积,并按照以下公式计算鸡骨草多糖 CAA 值。

$$\text{CAA} = 100 - \left(\frac{\int SA}{\int CA} \right) \times 100$$

注: $\int SA$ 表示加入不同质量浓度的鸡骨草多糖后的荧光值-时间曲线的积分面积; $\int CA$ 表示控制组荧光值-时间曲线的积分面积。

2 结果与讨论

2.1 鸡骨草多糖的提取与柱层析分离纯化

鸡骨草经 92 $^\circ\text{C}$ 热水提取得到粗多糖液,再用 Sevag 法除蛋白,树脂脱色,乙醇醇沉,离心分离得到的沉淀依次用无水乙醇、丙酮、乙醚洗涤,最后真空干燥,得到多糖粗品 ACP。ACP 用去离子水复溶,离心除去不溶物,糖液用 DEAE-Cellulose-52 纤维素层析柱将 ACP 的不同组分相分离。多糖加样后,分别去离子水、0.1、0.3 和 1.5 mol/L NaCl 的溶液进行洗脱,苯酚-硫酸法^[7](以葡萄糖为标准品)进行跟踪,结果出现 3 个洗脱峰(图 1a),为了进一步考查鸡骨草多糖中带负电性酸性多糖的分布情况,用 0.05、0.10、0.20、1.50 mol/L NaCl 的溶液进行洗脱,结果呈现三种酸性多糖组分(图 1b),对照图 1a 可知,在 0.20 mol/L NaCl 的离子强度下,已基本将鸡骨草中的酸性多糖洗脱下来,继续增加 NaCl 的溶液达到 1.5 mol/L,未见有洗脱峰,因此选用 0.2 mol/L NaCl 溶液可以将酸性多糖洗脱下来。一般而言,多糖经过柱层析分离、合并洗脱峰,减压浓缩,透析,冷冻干燥等操作后,收集到的量极少,如果按图 1b 结果,对 ACP 进一步纯化、生物活性研究和结构分析,将大量增加实验难度与工作量。因此,本实验从整体出发,确定鸡骨草多糖中的中性多糖和酸性多糖为研究对象,用 0.2 mol/L 离子强度的 NaCl 洗脱下鸡骨草中的酸性多糖组分,结果得到两个分布较对称的洗脱峰(图 1c),将两组

分别收集、浓缩、透析、冻干,依次命名为 ACPa 和 ACPb。

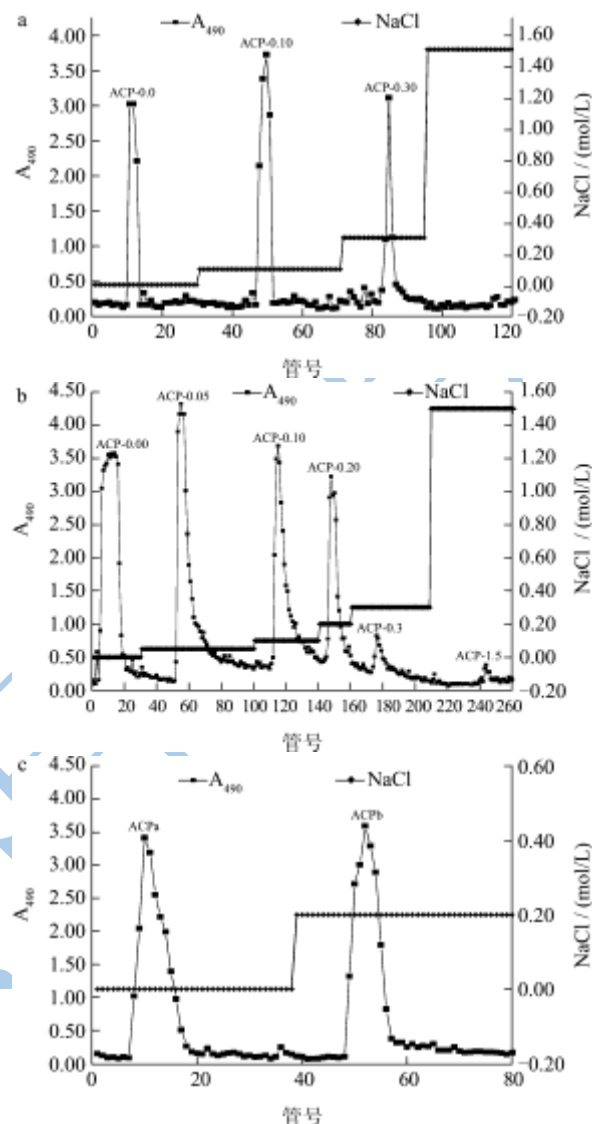


图 1 鸡骨草多糖 DEAE-Cellulose-52 柱层析洗脱曲线

Fig.1 Elution profile of crude polysaccharides from *Abrus cantoniensis* Hance on DEAE-cellulose-52 column

2.2 ACPa 和 ACPb 的分子量测定

由 ACPa (图 2b) 和 ACPb (图 2a) 的 GPC 色谱图可知, ACPa 的重均分子量 (M_w) 为 1.24×10^5 Da, 数均相对分子量 (M_n) 为 0.80×10^5 Da, 峰位相对分子量 (M_p) 为 1.02×10^5 Da, 相对分子量分布指数 D 为 1.37。ACPb 的重均分子量 (M_w) 为 2.15×10^5 Da, 数均相对分子量 (M_n) 为 1.15×10^5 Da, 峰位相对分子量 (M_p) 为 1.57×10^5 Da, 相对分子量分布指数 D 为 1.63。其中相对分子量分布指数 D 表示多糖相对分子量多分散性程度,当 $D=1$ 时多糖相对分子量分布集中, D 值越大,多糖分散性程度越大^[5]。ACPa 和 ACPb 的 D 值分别为 1.37 和 1.63,表明 ACPa 和 ACPb 均相对分子量分布比较集中的

多糖, 只是 ACPa 分布相对集中, ACPb 分布相对比较宽。

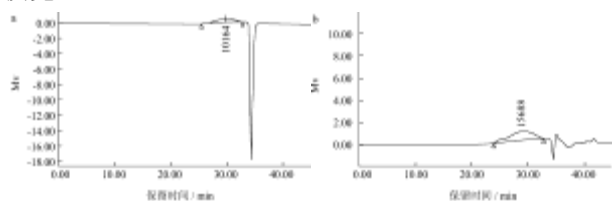


图 2 ACPa 和 ACPb 的 GPC 图谱

Fig.2 The GPC diagram of ACPa and ACPb

注: a: ACPa, b: ACPb.

2.3 ACPa 和 ACPb 的光谱分析

将 ACPa 和 ACPb 溶于去离子水中, 配制质量浓度为 1.0 mg/mL 的溶液, 在 200~400 nm 下进行紫外波长扫描。结果可知, 两多糖组分在 280 nm 和 260 nm 附近均无明显特征吸收峰, 说明其均不含蛋白质、核酸。

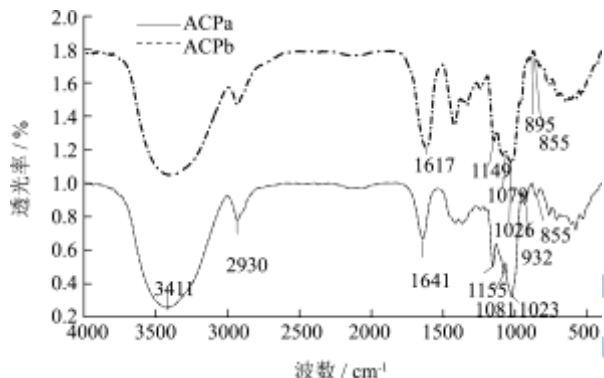


图 3 ACPa 和 ACPb 红外光谱图

Fig.3 Infrared spectra of ACPa and ACPb

ACPa 和 ACPb 的红外光谱扫描结果如图 3。由图可初步判断 ACPa、ACPb 均是多糖类化合物, 其中在 3500~3200 cm⁻¹ 间的强吸收峰, 是由 O-H 的伸缩振动引起的。在 3000~2800 cm⁻¹ 间呈现稍弱的吸收峰, 该峰是 C-H 的伸缩振动引起的, 在 1400~1200 cm⁻¹ 间均有不太尖的吸收峰, 该峰是 C-H 的变角振动峰^[8,9]。ACPa 的 IR 图谱中, 1010~1200 cm⁻¹ 处有三个吸收峰, 即 1155, 1081 和 1021 cm⁻¹, 说明鸡骨草多糖 ACPa 的糖环构型是吡喃型; 855 cm⁻¹ 处的吸收峰表明该多糖主要以 α-糖苷键进行连接^[10]; 932 cm⁻¹ 处的吸收峰是 α-D-葡萄糖吡喃糖化物的吸收峰, 表明 ACPa 中含有 α-D-葡萄糖^[10]。ACPb 的 IR 图谱中, 1010~1200 cm⁻¹ 处同样有三个吸收峰, 并且在 855 cm⁻¹ 和 895 cm⁻¹ 处均有吸收峰, 说明该多糖的糖环构型也是吡喃型, 其不仅有 α-糖苷键连接方式还有 β-糖苷键连接方式^[11~12]。

2.4 单糖的组成

目前, 多糖的单糖的组成检测方法主要是气相色

谱法和液相色谱法, 由于糖类化合物沸点高, 挥发性低, 难汽化, 使用气相色谱法时需要经过繁琐的衍生化过程。本研究采用液相色谱法结合蒸发光检测器可以简化实验操作, 多糖水解后的固形物和单糖标准品使用超纯水溶解, 过膜后的滤液可以直接进行高效液相色谱分析。ACPa 和 ACPb 经 TFA 水解并除尽 TFA 后, 加少量水溶解, 取滤液 20 μL 上机进行液相分析, 与鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖标准品的色谱图比较确定单糖的种类和比例。结果如图 4 所示, 图 4c 为混合单糖标准品的高效液相色谱图, 图中的六个峰分别表示 L-鼠李糖、L-阿拉伯糖、D-木糖、D-甘露糖、D-半乳糖和 D-葡萄糖。对照混合单糖标准品高效液相色谱图可知 ACP-0.0 (图 4b) 主要由葡萄糖组成, ACP-0.2 (图 4a) 主要由鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖和葡萄糖组成, 各组成单糖的摩尔比为鼠李糖: 阿拉伯糖: 半乳糖: 葡萄糖=1:3.4:3.6:10.9。

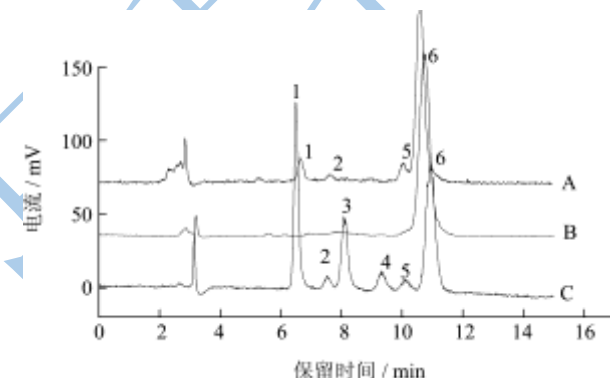


图 4 混合标准单糖和 ACPa、ACPb 水解液的高效液相色谱图

Fig.4 Liquid chromatogram of standard monosaccharides and hydrolyzed monosaccharides of ACPa and ACPb

2.5 ACPa 和 ACPb 的抗氧化活性

2.5.1 ACPa 和 ACPb 对细胞荧光强度的影响

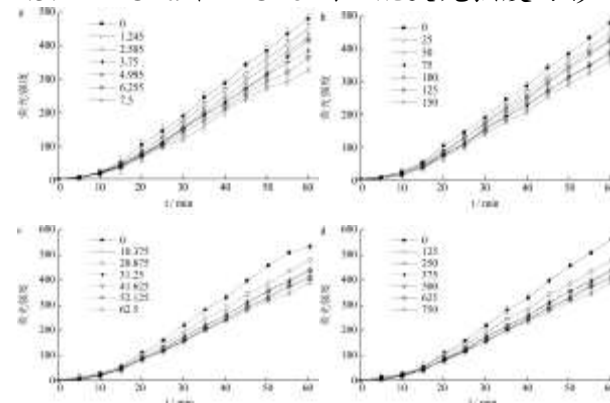


图 4 不同质量浓度 (μg/mL) 的 ACPa 和 ACPb 对细胞荧光强度的影响

Fig.4 Effect of concentrations of ACPa and ACPb on cellular fluorescence intensity

本实验采用了细胞模型抗氧化能力评价方法

(CAA), 借助荧光探针, 依据探针荧光强度的变化来间接考查抗氧化物质对活性氧的影响情况, 荧光强度越低, 活性氧含量越低, 物质抗氧化活性越强。结果如图。其中图 4a 和图 4b 是 ACPa 不同质量浓度下对活细胞内荧光强度的影响, 图 4c 和图 4d 是 ACPb 不同质量浓度下对荧光强度的影响。综合图 4, 可知, ACPa 和 ACPb 均具有一定的抗氧化活性, 细胞内荧光强度随着多糖的浓度的增加而下降。

2.5.2 ACPa 和 ACPb 的 CAA 测定

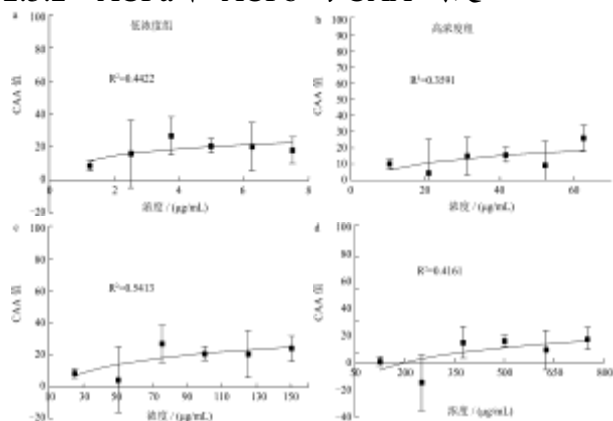


图 5 ACPa 和 ACPb 抗氧化作用的剂量-效应曲线

Fig.5 Dose-response curve of antioxidant activity of ACPa and ACPb

CAA 法可通过计算化合物的 CAA₅₀ 值来评价其抗氧化能力, 即当 CAA 值达到 50 时, 抗氧化剂相对应的浓度, 浓度越低抗氧化剂的抗氧化能力越强。由图 5 可知, 在一定浓度范围内, ACPa 和 ACPb 均具有一定的抗氧化活性, 且抗氧化作用随多糖的质量浓度的增加而增强。ACPa 的质量浓度为 6.25 μg/mL 时, CAA 值达到 20 (如图 A); ACPb 的质量浓度达到 100.00 μg/mL 时, CAA 值达到 20。综合比较图图 5, 比较低浓度实验组和高浓度实验组结果可知, 当继续增加浓度, 甚至是大幅度增加了浓度后, 细胞内荧光强度并未显著性下降, 因此, 不能进一步计算出 ACPa 和 ACPb 的 CAA₅₀。究其原因, 可能是由于多糖类化合物属于极性大分子聚合物, 不易穿透细胞膜的磷脂双分子层, 影响了人肝癌 HepG2 细胞对其的吸收。另一方面, 多糖链上含有大量羟基, 存在分子内或分子间氢键相互作用, 使得多糖分子在溶液中呈现各种构象^[3], 多糖在培养液中的溶液行为及分子链构象的变化, 可能在某种程度上影响了多糖在 HepG2 细胞内抗氧化活性的表达, 高剂量作用下甚至可能会加剧这种影响。

应用细胞模型研究物质抗氧化性的显著性优势在于考虑到物质在细胞内的吸收、代谢情况, 但如果实验中每孔所接种的细胞数目差异很大^[4], 孔内细胞分

布均匀性情况相差较大, 各孔中细胞对物质的吸收情况差异, 最后将对实验结果造成很大的影响。正如图 5 所示, ACPa 和 ACPb 抗氧化作用的剂量-效应曲线中的 R² 仅在 0.3~0.55 之间。因此, 进行初步筛选出鸡骨草多糖中具有抗氧化活性的组分时, 不宜采用 CAA 法作为评价方式, 在下接来的研究中, 我们将采用 ORAC 法对鸡骨草多糖进行的抗氧化能力初步评估。

3 结论

通过热水提取乙醇醇沉, sevag 法除蛋白, 树脂脱色、离子交换柱层析分离纯化得到鸡骨草的中性多糖组分 ACPa 和酸性多糖组分 ACPb。GPC 分子量测定结果显示, ACPa 和 ACPb 相对分子量分布均比较集中, 它们的重均分子量分别为 1.24×10^5 Da、 2.15×10^5 Da, 红外光谱结果表明它们都是多糖类化合物, ACPa 的糖链以 α 型吡喃糖苷为主, ACPb 的糖苷键包含 α 型和 β 型吡喃糖苷。HPLC-ELSD 分析结果显示 ACPa 是一种葡聚糖, ACPb 为杂多糖, 由鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖和葡萄糖组成, 摩尔比为 1:3.4:3.6:10.9。CAA 实验表明, 在一定浓度范围内, ACPa 和 ACPb 的抗氧化作用随着浓度的增加而增强, 当 ACPa 和 ACPb 的质量浓度分别达到 6.25 μg/mL、100.00 μg/mL 时, CAA 值达到 20, 但在此基础上继续增加多糖浓度, CAA 值并未随浓度的增加而显著性增加。

参考文献

- [1] 白隆华,董青松,蒲瑞翎.中药鸡骨草研究概况[J].广西农业科学.2005,36(5):476-478
Bai L H, Dong Q S, Pu R L. Study on Chinese medicine Chiken-bone herba [J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2005, 36(5): 476-478
- [2] Kelly L, Wolfe, Ruihai L. Cellular antioxidant activity (CAA) assay for assessing antioxidants, Foods, and Dietary Supplements [J]. J.Agric Food Chem. 2007, 55(22): 8896-8907
- [3] 吴功庆,吴慧仪,刘意,等.鸡骨草多糖的提取与纯化工艺[J].江苏农业科学,2012,3:247-248
Wu G Q, Wu H Y, Liu Y, et al. Extraction and purification process of polysaccharides in *Abrus cantoniensis* Hance [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 3:247-248
- [4] 谭冰,严焕宁,黄锁义,等.广西壮药鸡骨草多糖的提取及对羟自由基清除作用的研究[J].检验医学教育, 2011, 4: 36-39
Tan B, Yan H N, Huang S Y, et al. Extraction of

- polysaccharide from Guangxi's Zhuang Medicine *Abrus cantoniensis* Hance and its effects on scavenging of hydroxyl radicals [J]. Chinese Journal of Laboratory Medicine Education, 2011, 4: 36-39
- [5] 陈健,张灵芝,韦丁,等.黑虎掌菌多糖的组成和抗肿瘤活性[J].华南理工大学学报(自然科学版),2011,12:110-114
Chen J, Zhang L Z, Wei D, et al. monosaccharide composition and anticancer activity [J] Journal of South China University of Technology (Natural Science), 2011, 12: 110-114
- [6] Song W, Derito C M, Liu M K, et al. Cellular Antioxidant Activity of Common Vegetables [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(11): 6621-6629
- [7] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356
- [8] Yu R, Yin Y, Yang W, et al. Structural elucidation and biological activity of a novel polysaccharide by alkaline extraction from cultured *Cordyceps militaris* [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(1): 166-171
- [9] Luo A, He X, Zhou S, et al. Purification, composition analysis and antioxidant activity of the polysaccharides from *Dendrobium nobile* Lindl [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(4): 1014-1019
- [10] Barker S A, Bourne E J, Stacey M, et al. Infra-red spectra of carbohydrates. Part I. Some derivatives of D-glucopyranose [J]. J. Chem. Soc., 1954: 171-176.
- [11] Schmid F, Stone B A, McDougall B M, et al. Structure of epiglucan, a highly side-chain/branched (1→3;1→6)- β -glucan from the micro fungus *Epicoccum nigrum* Ehrenb. ex Schlecht [J]. Carbohydrate Research, 2001, 331(2): 163-171
- [12] Ghosh T K, Rao C C V N. Some structural features of the d-glucan from the seed of *Mirabilis jalapa* [J]. Carbohydrate Research, 1981, 90(2): 243-250
- [13] 闫景坤.抗氧化新型冬虫夏草胞外多糖的制备、结构与溶液特征研究[D].广州:华南理工大学,2010
Yan J K. Preparation, Structure, and Solution properties of a novel Antioxidant Exopolysaccharide from *Cordyceps sinensis* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- [14] 吴正双,董捷,张红城,等.应用细胞模型研究蜂胶醇提物的抗氧化活性[J].食品科学,2010,19:190-193
Wu Z S, Dong J, Zhang H C, et al. Application of Cell Culture Model to Antioxidant Activity Analysis of an Ethanol Extract from Propolis[J]. Food Science, 2010, 19: 190-193

欢迎订阅 EI 收录期刊、中文核心期刊 《现代食品科技》

邮发代号：46-349 刊号：ISSN 1673-9078/CN 44-1620

每期定价 15 元，全年 12 期仅 180 元。欢迎食品及相关行业的机构和科学工作者到各地邮局订阅，并踊跃投稿或建立广告宣传和产学研合作关系。

地址：广州五山华南理工大学轻工与食品学院麟鸿楼 508，邮编：510640

电话：020-87112373, 87113352, 87112532

E-mail: xdspkj@vip.sohu.com