



王子朝,舒志涵,郑毅,等. 艾草多糖结构特征及抗氧化活性研究[J]. 轻工学报,2026,41(5):13-24.
Wang Z C, Shu Z H, Zheng Y, et al. Structural characterization and antioxidant activity of *Artemisia argyi* polysaccharides[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(5): 13-24.
DOI: 10.12187/2026.05.002

艾草多糖结构特征及抗氧化活性研究

王子朝¹, 舒志涵¹, 郑毅¹, 陈庆功²

1. 河南工业大学 生物工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 焦作市昊仕达农业有限公司, 河南 焦作 454950

摘要:【目的】解析艾草多糖的结构特征及抗氧化活性,促进艾草资源高值化利用及天然抗氧化功能因子开发。【方法】采用水提醇沉法提取艾草多糖,利用高效液相色谱和波谱分析艾草多糖组成和结构特征;通过DPPH、超氧阴离子、羟基和ABTS⁺自由基清除实验评价其体外抗氧化活性,并通过H₂O₂诱导的小鼠单核巨噬细胞系RAW264.7氧化损伤模型测定其氧化修复作用。【结果】艾草多糖由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、木糖和鼠李糖组成,物质的量比为1.00:0.26:0.23:0.19:0.15:0.13,重均分子质量和多分散系数分别为25 934 Da和1.211;在0.31~5.00 mg/mL质量浓度范围内,艾草多糖对DPPH、超氧阴离子、羟基和ABTS⁺自由基的清除能力呈质量浓度依赖性,其中ABTS⁺自由基清除率最高达99.68%,与抗坏血酸(VC)相当;艾草多糖对RAW264.7细胞无明显毒性,且在H₂O₂诱导的氧化损伤模型中,使总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活力分别从0.17 U/mg prot、1.21 U/mg prot、4.90 U/mg prot提升至0.33 U/mg prot、1.58 U/mg prot、8.88 U/mg prot,丙二醛(MDA)水平从15.92 nmol/mL降低至8.89 nmol/mL,呈浓度依赖性。【结论】所得艾草多糖具有显著体外及细胞内抗氧化活性,可通过增强抗氧化酶活性、减轻脂质过氧化发挥修复作用,具备开发为天然抗氧化剂的潜力。

关键词:艾草多糖;结构特征;抗氧化活性;细胞氧化修复作用

中图分类号:TS201.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)05-0013-12

0 前言

艾草(*Artemisia argyi*)为菊科蒿属多年生草本植物,在我国华东、华中、华南、西南、东北等地均有规模化栽培及野生分布,资源非常丰富^[1-2]。艾草性辛、苦、温,传统医学将其用于温经止血、散寒止痛、调经安胎及祛湿止痒^[3]。现代药理研究^[4]表明,艾草富含挥发油、多糖、黄酮、鞣质、甾醇、有机酸、微量元素等活性成分,在抗菌、抗病毒、抗肿瘤、

调节免疫、抗过敏、镇静及护肝利胆等方面表现出多重药理活性。其中,多糖作为艾草的重要活性成分之一,因具有良好的生物活性和较低的毒性,近年来受到广泛关注。

艾草多糖通常是由艾草经水提醇沉后获得的主要大分子组分,主要由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、鼠李糖等单糖通过 α -或 β -糖苷键连接而成^[5]。作为一类易溶于水而难溶于乙醇的极性生物大分子,艾草多糖表现出抗氧化、抗菌、抗肿瘤、调

收稿日期:2024-08-07;修回日期:2026-09-29;出版日期:2026-10-15

基金项目:河南省重大科技专项项目(231100110300)

作者简介:王子朝(1985—),男,河南省林州市人,河南工业大学副教授,博士,主要研究方向为糖化学与糖生物学。E-mail: 6832917@163.com

节免疫等多重生物活性,还可通过增强肠道屏障功能和抑制炎症信号通路等途径缓解炎症反应^[6-10]。目前,已有超过300种来源于中草药的多糖被证实具有抗肿瘤、抑菌、抗辐射、降血脂、抗寄生虫等广泛药理活性^[11]。抗氧化活性是植物多糖重要的生物学功能,因此植物多糖也被认为是天然抗氧化剂的重要来源^[12]。艾草多糖所表现出的多种生物活性与其组成、结构及理化性质密切相关,因此,对其结构特征及抗氧化活性进行研究具有重要意义。

多糖的提取方法对其结构组成、理化性质及生物活性具有重要影响。目前,艾草及其他植物多糖常用的提取方法主要包括水提醇沉法、酸/碱辅助法、酶辅助法、超声及微波辅助法等^[13]。其中,水提醇沉法因操作简便且对多糖结构破坏较小,成为获取高活性多糖较为常用的方法。同时,多糖在水溶液中的表观黏度与其表面暴露的羟基、羧基、醛基等极性基团密切相关,这些官能团也可能参与其抗氧化、调节免疫等关键生物过程^[14]。目前,对艾草多糖的研究主要集中于提取纯化、结构特征等方面^[15],也有少量研究报道了其体外抗氧化活性^[16],而进一步对艾草多糖在细胞氧化损伤修复中的研究却鲜有报道。基于此,本研究拟采用水提醇沉法提取艾草多糖,并对其结构特征和抗氧化活性进行评价,同时考查其对细胞氧化损伤的修复作用,以期艾草及艾草多糖在功能食品及医药领域的精准开发与标准化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

艾草,为风干一年的干艾草,焦作市吴仕达农业有限公司;2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)(ABTS),江苏博思特化工科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH),上海跃腾生物技术有限公司; H_2O_2 ,上海麦克林生化科技股份有限公司;水杨酸,科密欧化学试剂有限公司;抗坏血酸(VC),武汉绿景丰华生物科技有限公司;单糖标准品,Sigma试剂公司;DMEM培养基,上海泽叶生物科技有限公司;胎牛血清,百克赛斯生物科技(镇江)有限公司;邻苯三酚、青霉素-链霉素、磷酸盐缓

冲(PBS)溶液、脂多糖,索莱宝科技有限公司;小鼠单核巨噬细胞系 RAW264.7,武汉普诺赛生命科技有限公司;CCK-8试剂盒,北京盒子生工科技有限公司;总超氧化物歧化酶(T-SOD)、丙二醛(MDA)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)检测试剂盒,上海碧云天生物技术股份有限公司。以上常用化学试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

AM型磁力搅拌器,天津奥特塞恩斯仪器有限公司;Forma 900型超低温冰箱、UltiMate3000型高效液相色谱仪、Reacti-thermo型氮气吹扫仪,美国 Thermo 公司;SCIENTZ-10 N型冷冻干燥机,宁波新芝冻干设备股份有限公司;Tensor II型傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪、AVANCE NEO 500 MHz型核磁共振波谱仪,德国布鲁克公司;CellXpert C170型CO₂培养箱,德国 Eppendorf 公司;XFH-50CA型高压蒸汽灭菌锅,浙江新丰医疗器械有限公司;SOP-TOP XD30型倒置生物显微镜,北京顺显恒业科技有限公司;SW-CY-2F型超净工作台,苏净安泰空气技术有限公司。

1.3 艾草多糖提取

水提醇沉法提取艾叶多糖时,影响多糖提取率的因素依次为乙醇体积分数>提取温度>提取时间>料液比^[17]。据此,本研究以楚三慧等^[18]的研究方案为基础,将乙醇体积分数由70%提高至80%,提取温度由80℃降至65℃,提取时间由3h延长至5h,料液比(g/mL)由1:15降至1:20,以进一步提高艾草多糖提取率。

具体步骤:将艾草于65℃烘箱中烘干至恒重,粉碎并研磨成粉末。按料液比1:20加入蒸馏水,于65℃条件下浸提5h,以10 000 r/min离心10 min,收集上清液。将上清液经65℃减压浓缩后,以10 000 r/min离心10 min,再次收集上清液。向上清液中加入4倍体积的无水乙醇,于4℃静置12h进行醇沉,收集沉淀,并用蒸馏水复溶。复溶液以10 000 r/min离心10 min,收集上清液。采用 Sevag 法脱除蛋白质,将氯仿与正丁醇按体积比3:1混合配制 Sevag 溶液,将上清液与 Sevag 溶液按体积比1:3混合,剧烈振荡30 min后静置2h,去除

蛋白层,重复操作至无明显蛋白层。所得上清液经冷冻干燥后,即为艾草多糖。

1.4 艾草多糖中总糖及蛋白质含量测定

采用苯酚-硫酸法测定艾草多糖中的总糖含量。配制质量浓度为 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液,分别取 0 mL、0.2 mL、0.4 mL、0.6 mL、0.8 mL、1.0 mL 于具塞试管中,用蒸馏水补足至 1 mL;依次加入 1 mL 5% (质量分数) 苯酚溶液和 3 mL 浓 H₂SO₄,混匀后静置 10 min,于沸水浴中反应 15 min,冷却至室温,于 490 nm 处测定吸光度。以葡萄糖质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。待测样品按照相同方法进行显色测定,根据标准曲线方程计算艾草多糖中的总糖含量。

采用考马斯亮蓝法^[19]测定艾草多糖中的蛋白质含量。考马斯亮蓝溶液配制方法如下:称取 10 mg 考马斯亮蓝 G-250,溶于 5 mL 95% (体积分数) 乙醇,加入 10 mL 85% (质量分数) 磷酸,用蒸馏水定容至 100 mL。另配制 0.15 mol/L NaCl 溶液。分别取 0 μL、20 μL、40 μL、60 μL、80 μL、100 μL 牛血清蛋白标准溶液 (1 mg/mL) 于具塞试管中,用 0.15 mol/L NaCl 溶液补足至 100 μL;加入 5 mL 考马斯亮蓝溶液,摇匀并放置 5 min,于 595 nm 处测定吸光度。以牛血清蛋白质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。待测样品按照相同方法进行显色测定,根据标准曲线方程计算艾草多糖中的蛋白质含量。

1.5 艾草多糖中单糖组成检测

将 1 mg 艾草多糖冻干粉末与 2 mL 三氟乙酸 (2 mol/L) 溶液混匀,于 121 ℃ 下加热 2 h。经 N₂ 吹干后加入甲醇洗涤,重复该操作 2~3 次,去除残留的三氟乙酸。随后,加入无菌水溶解并转入色谱瓶中进行测定。

采用离子色谱系统 (配备电化学检测器) 进行单糖组成检测。色谱柱为 Dionex™ CarboPac™ PA20 (150 mm×3.0 mm×10 μm);进样量 5 μL;流动相 A 为 H₂O,流动相 B 为 0.1 mol/L NaOH,流动相 C 为 0.1 mol/L NaOH + 0.2 mol/L NaAc;流速 0.5 mL/min;柱温 30 ℃。梯度洗脱程序:0 min 时,A 相/B 相/C 相 (体积比 95 : 5 : 0);26.0 min 时,A 相/B

相/C 相 (体积比 85 : 5 : 10);42.1 min 时,A 相/B 相/C 相 (体积比 60 : 0 : 40);52.0 min 时,A 相/B 相/C 相 (体积比 60 : 40 : 0);52.1 min 时,A 相/B 相/C 相 (体积比 95 : 5 : 0)。

1.6 艾草多糖结构表征

1.6.1 相对分子质量检测 将 1 mg 艾草多糖冻干粉末溶于 0.1 mol/L NaNO₃ 水溶液 (含质量分数为 0.02% 的 NaN₃,下同) 中,经 0.45 μm 微孔膜过滤后备用。色谱条件如下:采用凝胶排阻色谱柱 Ohpak SB-805 HQ (300 mm×8 mm) 和 Ohpak SB-803 HQ (300 mm×8 mm) 串联进行测定;柱温 45 ℃;进样量 100 μL;流动相为 0.1 mol/L NaNO₃;流速 0.6 mL/min;采用等度洗脱;运行时间 75 min。

1.6.2 FTIR 检测 取 100 mg KBr 和 1 mg 艾草多糖冻干粉末,置于玛瑙研钵中研磨至均匀细粉 (约 1~2 min)。将研磨好的粉末转移至压片模具中,加压制成厚度约 1 mm 的透明薄片。使用 FTIR 仪在 500~4000 cm⁻¹ 波数范围内扫描样品,分辨率为 4 cm⁻¹,扫描次数 32 次。

1.6.3 核磁共振波谱检测 将 20 mg 艾草多糖冻干粉末溶于 0.6 mL D₂O (含 0.05 % TSP-d₄) ,转入 5 mm 核磁管后置于核磁共振波谱仪,分析其¹H NMR 和¹³C NMR。¹H NMR 测定参数为谱宽 10 kHz、数据点 32 K、弛豫延迟 5 s、90°脉冲 8.5 μs,累加扫描 128 次,并施加 excitation-sculpting 水峰抑制;¹³C NMR 测定参数为谱宽 25 kHz、数据点 64 K、弛豫延迟 2 s、30°脉冲 6.2 μs,在 Waltz-16 去耦及 DEPT-Q 增强下累计扫描 1024 次。化学位移均以 TSP-d₄ 的¹H/¹³C 信号定标。

1.7 艾草多糖体外抗氧化活性检测

1.7.1 DPPH 自由基清除率测定 分别取 1 mL 不同质量浓度 (0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L) 的艾草多糖溶液与 1 mL DPPH 溶液 (0.1 mmol/L) 混匀,于室温避光条件下反应 30 min,检测 517 nm 处吸光度。以 VC 作为阳性对照,对照组以无水乙醇代替 DPPH,空白组以蒸馏水代替艾草多糖溶液。DPPH 自由基清除率计算公式如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \frac{A_0 - A + A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中, A 为样品组吸光度, A_0 为空白组吸光度, A_1 为对照组吸光度。

1.7.2 超氧阴离子自由基清除率测定 取 0.8 mL 不同质量浓度 (0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L) 的艾草多糖溶液与 5 mL Tris-HCl (pH = 8.2) 溶液混匀, 于 25 ℃ 条件下反应 10 min。随后加入 0.2 mL 邻苯三酚溶液 (7.5 mmol/L), 混匀后于 25 ℃ 条件下反应 20 min, 再加入 1 mL 浓 HCl 终止反应, 于 320 nm 波长处测定吸光度。以 VC 作为阳性对照, 对照组以蒸馏水代替邻苯三酚溶液, 空白组以蒸馏水代替艾草多糖溶液。超氧阴离子自由基清除率计算公式如下:

$$\text{超氧阴离子自由基清除率} = \frac{A_3 - A_2 + A_4}{A_3} \times 100\%$$

式中, A_2 为样品组吸光度, A_3 为空白组吸光度, A_4 为对照组吸光度。

1.7.3 羟基自由基清除率测定 将 2 mL FeSO_4 溶液 (6 mmol/L) 与 2 mL H_2O_2 (6 mmol/L) 混匀后, 于 37 ℃ 条件下静置 10 min, 加入 2 mL 不同质量浓度 (0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L) 的艾草多糖溶液和 2 mL 水杨酸溶液 (6 mmol/L), 混匀后于 37 ℃ 条件下静置 30 min, 于 510 nm 波长处测定吸光度。以 VC 作为阳性对照, 对照组以蒸馏水代替 H_2O_2 , 空白组以蒸馏水代替艾草多糖溶液。羟基自由基清除率计算公式如下:

$$\text{羟基自由基清除率} = \frac{A_6 - A_5 + A_7}{A_6} \times 100\%$$

式中, A_5 为样品组吸光度, A_6 为空白组吸光度, A_7 为对照组吸光度。

1.7.4 ABTS⁺ 自由基清除率测定 将 ABTS⁺ 自由基溶液 (7.4 mmol/L) 与 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液 (2.6 mmol/L) 等体积混合后, 于室温下避光放置 12 h。用 PBS 溶液将其稀释 20~30 倍, 使其在 734 nm 处的吸光度为 0.7 ± 0.02 , 即得 ABTS⁺ 工作液。取 0.8 mL ABTS⁺ 工作液与 0.2 mL 不同质量浓度 (0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L) 的艾草多糖溶液混合振荡 10 s 后, 静置 6 min, 于 734 nm 波长处测定吸光度。以 VC 作为阳性对照, 对照组以蒸馏水代替艾草多糖溶液, 空白组以 95% 乙醇代替艾

草多糖溶液。ABTS⁺ 自由基清除率计算公式如下:

$$\text{ABTS}^+ \text{ 自由基清除率} = \frac{A_9 - A_8 + A_{10}}{A_9} \times 100\%$$

式中, A_8 为样品组吸光度, A_9 为空白组吸光度, A_{10} 为对照组吸光度。

1.8 细胞氧化损伤实验

1.8.1 细胞培养 1) 细胞复苏。从液氮罐中取出待复苏的 RAW264.7 细胞, 放入 37 ℃ 温水中快速融化。将 RAW264.7 细胞悬液转移至含 2 mL 完全培养液 (DMEM 培养基, 含体积分数分别为 12% 的胎牛血清和 1% 的青霉素-链霉素) 的 15 mL 离心管中, 以 1000 r/min 离心 10 min, 弃去上清液, 加入适量新鲜培养液重悬细胞沉淀, 转移至培养皿, 置于 37 ℃、5% (体积分数, 下同) CO_2 培养箱中培养。

2) 细胞传代。使用倒置生物显微镜观察复苏 RAW264.7 细胞, 待其覆盖培养皿底部达 80% 时, 弃去原培养液, 用 PBS 溶液清洗细胞。加入新鲜培养液并吹打制成细胞悬液, 按照细胞悬液与新鲜培养液体积比 1:3 进行传代。将传代完成的细胞继续置于 37 ℃、5% CO_2 培养箱中培养。

1.8.2 细胞毒性检测 将对数生长期的 RAW264.7 细胞, 以 1×10^5 个/mL 的密度接种于 96 孔板, 每孔 100 μL , 于 37 ℃、5% CO_2 培养箱中培养 24 h 至细胞状态稳定。弃去培养基, 用 PBS 溶液清洗 1 次, 加入采用无血清原培养液配制的不同质量浓度 (0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L) 的艾草多糖溶液, 继续培养 24 h。弃去艾草多糖溶液, 用 PBS 溶液清洗 1 次, 每孔加入 100 μL 无血清原培养液和 10 μL CCK-8 溶液, 于 37 ℃、5% CO_2 培养箱中继续培养 4 h, 于 450 nm 处测定各孔吸光度。细胞存活率计算公式如下:

$$\text{细胞存活率} = \frac{A_a - A_c}{A_b - A_c} \times 100\%$$

式中, A_a 为实验孔吸光度 (含细胞、培养基、CCK-8、艾草多糖), A_b 为对照孔吸光度 (含细胞、培养基、CCK-8, 不含艾草多糖), A_c 为空白孔吸光度 (含 CCK-8、培养基, 不含细胞和艾草多糖)。

1.8.3 H_2O_2 诱导 RAW264.7 细胞氧化损伤模型构建 将处于对数生长期的 RAW264.7 细胞, 以 $1 \times$

10^5 个/mL 的密度接种于 96 孔板,每孔 100 μ L,于 37 $^{\circ}$ C、5% CO_2 培养箱中培养 24 h 至细胞状态稳定。分别加入终浓度为 0 mol/L、100 μ mol/L、200 μ mol/L、300 μ mol/L、400 μ mol/L、500 μ mol/L 的 H_2O_2 ,继续孵育 4 h。使用 CCK-8 试剂盒检测细胞存活率,并选择细胞存活率接近 50% 时对应的 H_2O_2 浓度作为最佳作用浓度。

1.8.4 RAW264.7 细胞氧化损伤相关指标检测

取对数生长期的 RAW264.7 细胞,以 1.5×10^6 个/mL 的密度接种于 6 孔板,每孔 1 mL,于 37 $^{\circ}$ C、5% CO_2 培养箱中培养 24 h 至细胞状态稳定。弃去上清液,每孔加入 1 mL 最佳作用浓度的 H_2O_2 溶液,于 37 $^{\circ}$ C、5% CO_2 培养箱中孵育 4 h。弃去上清液,用 PBS 溶液清洗 1 次,加入不同质量浓度(0.31 g/L、0.62 g/L、1.25 g/L、2.50 g/L、5.00 g/L)的艾草多糖溶液继续培养 24 h。弃去培养基,加入 150 μ L 细胞裂解液进行裂解,再将裂解液以 10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液。按照 T-SOD、MDA、CAT、GSH-Px 试剂盒说明检测各指标。

1.9 统计分析

所有实验均重复 3 次,结果以(平均值 $\pm$ 标准差)表示。采用 GraphPad Prism(9.0)软件对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),使用 Origin 2024 软件制图。* ($P<0.05$)代表有统计学意义,** ($P<0.01$)代表差异显著,*** ($P<0.001$)代表差异极显著。

2 结果与分析

2.1 艾草多糖的总糖及蛋白质含量分析

经测定,艾草粗多糖中总糖含量为(70.11 $\pm$ 0.58)%,蛋白质含量为(2.89 $\pm$ 0.49%)。与周睿等^[20]通过水提醇沉法提取的绿茶末多糖(总糖含量(44.73 $\pm$ 0.51)%,蛋白质含量(2.92 $\pm$ 0.07)%)相比,本研 究所得艾草粗多糖的总糖含量较高,蛋白质含量相近;与李欣琪等^[21]采用超声辅助法提取的藏天麻多糖(总糖含量(72.45 $\pm$ 0.61)%,蛋白质含量(4.60 $\pm$ 0.56)%)相比,本研 究所得艾草粗多糖总糖含量略低,但蛋白质含量较低。而胡木等^[22]采用水提醇沉法提取山药粗多糖,并利用 DEAE-52 纤维

素柱层析及透析方法进行纯化,所得山药多糖中总糖含量达 91.57%,且未检出蛋白质,这表明艾草粗多糖可通过进一步分离纯化提高其多糖纯度。

2.2 艾草多糖的单糖组成分析

单糖种类及组成比例是影响多糖理化特性和生物活性的重要因素^[23]。本研 究所得艾草多糖由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、木糖和鼠李糖组成,物质的量比为 1.00 : 0.26 : 0.23 : 0.19 : 0.15 : 0.13。E. J. Ning 等^[24]使用乙醇对艾草进行脱脂处理后,通过水提醇沉法得到的艾草多糖由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、木糖和鼠李糖组成,物质的量比为 1.00 : 0.18 : 0.43 : 0.29 : 0.21 : 0.49,其单糖种类与本研 究结果基本一致,但各单糖相对比例存在一定差异。Y. Ruan 等^[16]采用酸催化水提法得到 2 种艾草多糖组分,其单糖组成包含岩藻糖、阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖、半乳糖醛酸、葡萄糖醛酸和甘露糖醛酸,物质的量比分别为 0.5 : 1.3 : 25.1 : 24.7 : 0.2 : 5.2 : 0.8 : 40.4 : 0.2 : 1.6 与 3.8 : 1.6 : 16.7 : 13.5 : 5.3 : 12.8 : 1.6 : 38.7 : 4.4 : 1.6。P. Zhang 等^[10]报道的艾草多糖由甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖组成,物质的量比为 1.00 : 0.07 : 0.32 : 0.06 : 0.10 : 1.00 : 0.71 : 0.38 : 0.60 : 0.15。对比可见,E. J. Ning 等^[24]与本研 究所得艾草多糖均以中性单糖为主,而 Y. Ruan 等^[16]和 P. Zhang 等^[10]所报道的艾草多糖中还检测到糖醛酸、岩藻糖等组分,表明艾草多糖的单糖组成受原料产地、提取方法等因素影响。

2.3 艾草多糖的结构分析

2.3.1 相对分子质量 本研 究所得艾草多糖的重均分子质量(M_w)为 25 934 Da,数均分子质量(M_n)为 21 422 Da。该重均分子质量高于 P. Zhang 等^[14]报道的 16 000 Da,但低于 Y. Ruan 等^[16]报道的 42 170 Da 和 175 220 Da,这可能是提取工艺和艾草来源不同所致。此外,J. Yu 等^[25]的研究亦表明,提取方式对多糖相对分子质量有显著影响。值得注意的是,多糖相对分子质量过大或过小都有可能影响其生物活性,相对分子质量过大可能阻碍其进入细胞,而相对分子质量过小则使其难以形成有效的活

性结构^[26-27]。本研究所得艾草多糖的多分散指数(M_w/M_n)为 1.211, 表明其相对分子质量分布较集中。

2.3.2 红外光谱 艾草多糖的 FTIR 谱图如图 1 所示。由图 1 可知, 3310 cm^{-1} 和 2930 cm^{-1} 处的强吸收峰, 可能是由—OH 伸缩振动和 C—H 伸缩振动引起^[28], 二者为多糖的典型特征峰。1610 cm^{-1} 处的吸收峰为醛基峰, 可能由 C=O 拉伸引起^[29]。1409 cm^{-1} 处的吸收峰可能与 C—H 弯曲振动有关, 1042 cm^{-1} 处的吸收峰可归属于 C—O—C 糖苷键的伸缩振动^[30]。929 cm^{-1} 处的吸收峰可能是 β -型糖苷键特征吸收峰^[31]。599 cm^{-1} 处的吸收峰与环状结构中 C—C 或 C—H 键的变形振动相关^[32]。上述

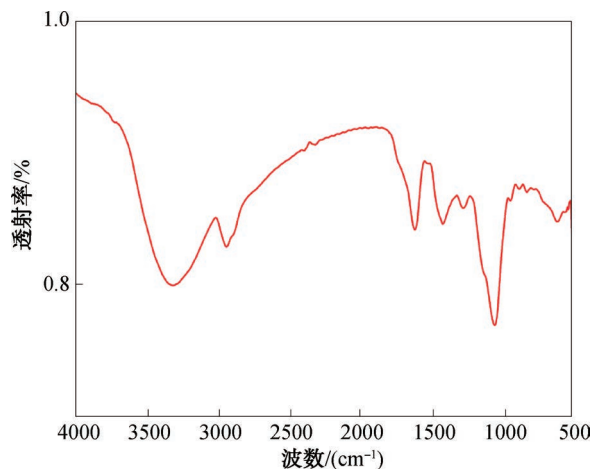
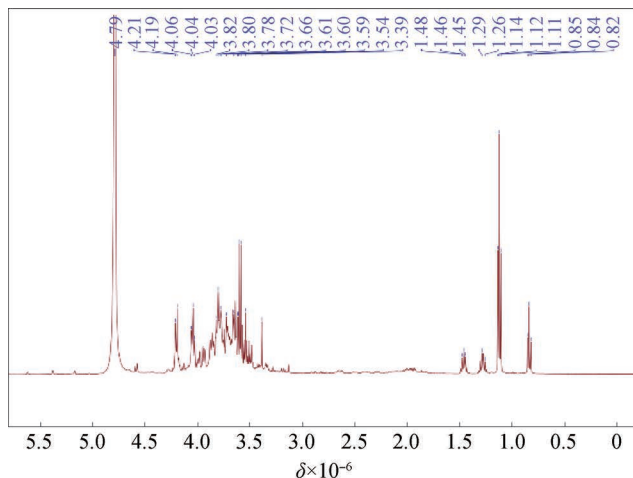
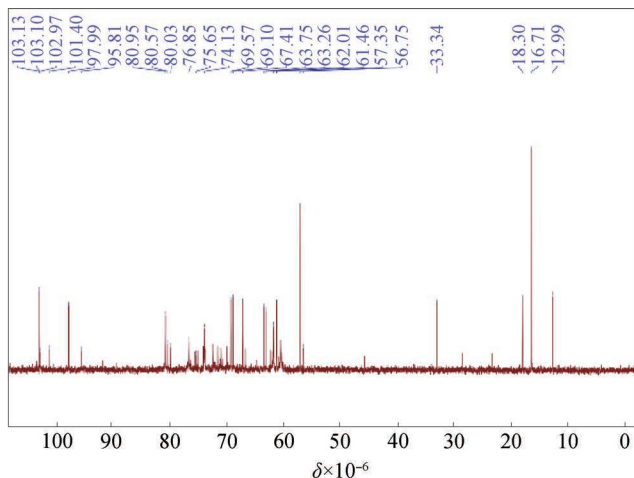


图 1 艾草多糖的 FTIR 谱图

Fig. 1 Fourier-transform infrared (FTIR) spectra of *Artemisia argyi* polysaccharides



a) 艾草多糖的 ^1H NMR 谱



b) 艾草多糖的 ^{13}C NMR 谱

图 2 艾草多糖的 ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 谱图

Fig. 2 ^1H NMR and ^{13}C NMR spectra of *Artemisia argyi* polysaccharides

结果表明, 本研究所得艾草多糖具有典型的多糖红外光谱特征。

2.3.3 核磁共振波谱 艾草多糖的 ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 谱图如图 2 所示。由图 2a) 可知, δ 为 4.79 处有一个显著吸收峰, 这是 D_2O 产生的化学位移。 δ 为 3.39~4.21 范围内的化学位移对应多糖环糖基碳($\text{C}_2\text{—C}_6$)上的质子^[33], 由于存在许多糖残基, 该区域信号重叠严重。 δ 为 4.04 处的信号峰可能由葡萄糖中 H-4 振动引起, δ 为 3.78~3.82 处的信号峰可能由甘露糖中 H-6 振动引起^[34]。 δ 为 3.61 处的信号峰可能归因于葡萄糖中羰基氢(H-4), 在 δ 为 0.82~1.48 范围内质子峰对应乙氧基的甲基峰。由图 2b) 可知, 碳原子对应的信号主要集中在 δ 为 60.00~120.00 的区域, δ 为 101.40~103.13 处的化学位移表明存在 β -糖苷键^[35], 某些碳原子的化学位移可能因官能团的取代而变化。 $\text{C}_2\text{—C}_6$ 的化学位移分布在 δ 为 57.00~87.00 之间, 而特定化学位移 δ 为 57.35, 可能代表— CH_2 共振^[33], δ 为 75.65 处的化学位移则表明 β -D-葡萄糖的存在^[33]。这与红外光谱和单糖组成分析所反映的多糖结构特征相对应。

2.4 艾草多糖的抗氧化活性分析

2.4.1 体外抗氧化活性 过量的自由基会加速人体衰老并诱发各种疾病, 而抗氧化剂可有效清除自由基, 减轻氧化损伤^[13]。艾草多糖对 DPPH、超氧阴离子、羟基和 ABTS^+ 自由基的清除率如图 3 所示。

由图 3a) 可知,在 0.31 ~ 1.25 mg/mL 范围内,艾草多糖对 DPPH 自由基清除率与其质量浓度呈正相关。Y. Ruan 等^[16]从艾草粗多糖中分离纯化出 2 种多糖,均对 DPPH 自由基表现出一定的清除能力,且呈现浓度依赖性。L. Chen 等^[10]所得艾草多糖同样表现出对 DPPH 自由基的清除能力,本研究结果与其具有一致性。由图 3b) 可知,艾草多糖对超氧阴离子自由基具有一定清除能力,且总体随质量浓度增加而增强。当质量浓度由 0.31 mg/mL 增加至 5.00 mg/mL 时,超氧阴离子自由基清除率由 (32.63 ± 2.39)% 提高至 (51.99 ± 1.83)%。由图 3c) 可知,艾草多糖对羟基自由基的清除能力随质量浓度增加而增强。

当质量浓度由 0.31 mg/mL 增加至 5.00 mg/mL 时,羟基自由基的清除率由 (38.80 ± 2.54)% 提高至 (82.40 ± 1.30)%。由图 3d) 可知,艾草多糖对 ABTS⁺ 自由基表现出较强的清除能力。当质量浓度为 0.31 mg/mL 时,其清除率即达 (99.68 ± 0.23)%,与同质量浓度下 VC 的清除率 ((99.98 ± 0.08)%) 基本持平,且接近完全清除。J. Yu 等^[25]报道,超声提取的艾草多糖在 3.00 mg/mL 时对 ABTS⁺ 自由基清除率亦接近 100%。综上,艾草多糖对 4 种自由基均具有一定的清除能力,表明艾草多糖具有较好的体外抗氧化活性。

2.4.2 细胞毒性分析 艾草多糖对 RAW264.7 细胞

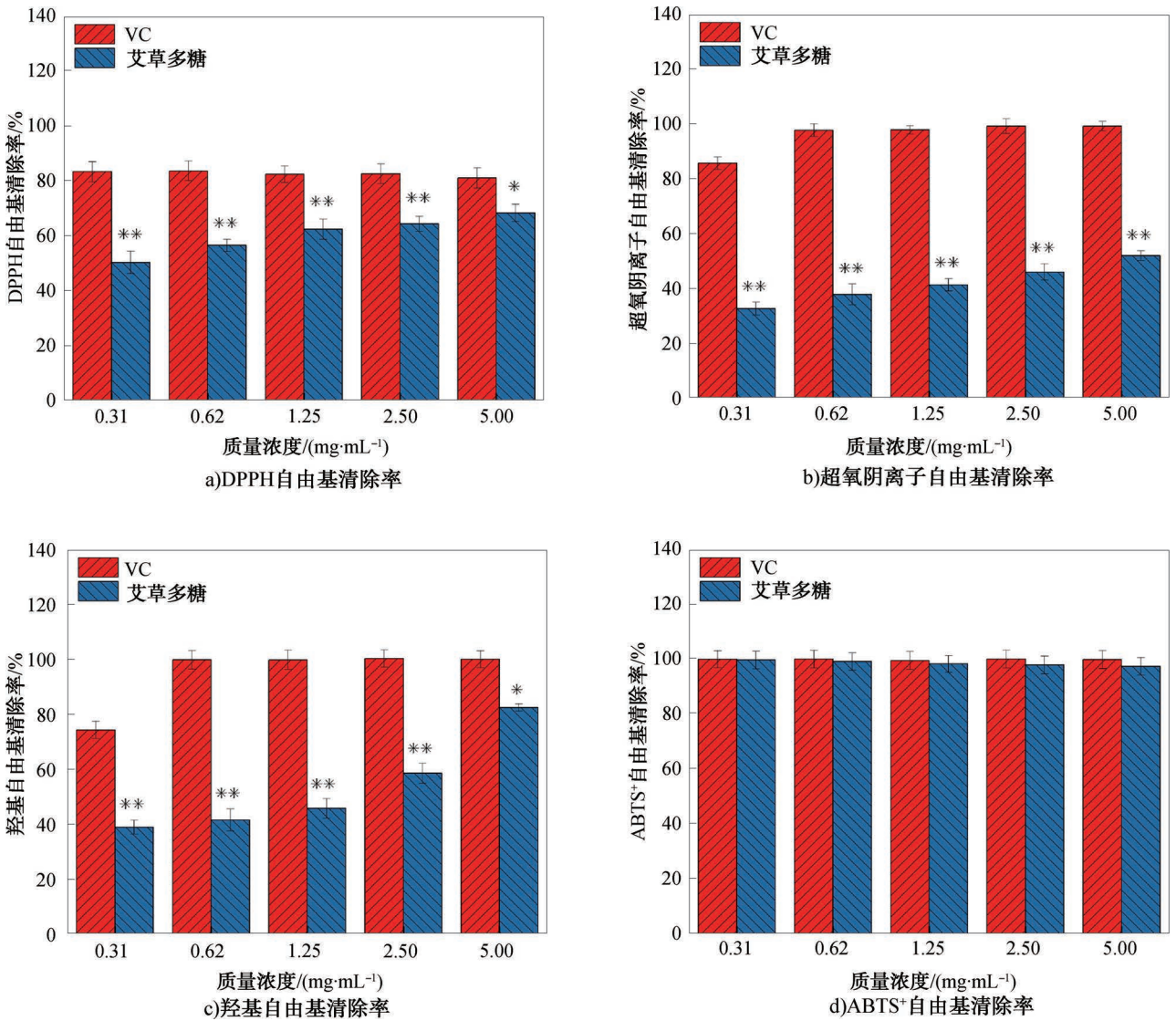


图 3 艾草多糖质量浓度对 DPPH、超氧阴离子、羟基和 ABTS⁺ 自由基清除率的影响

Fig. 3 Effects of *Artemisia argyi* polysaccharides mass concentration on the scavenging rates of DPPH, superoxide anion, hydroxyl, and ABTS⁺ radicals

存活率的影响如图 4 所示。由图 4 可知,在 0.31 ~ 5.00 mg/mL 质量浓度范围内,各处理组的细胞存活率均高于对照组(100%),且当质量浓度为 5.00 mg/mL 时,达到(139.90±21.30)%,表明艾草多糖在该质量浓度范围内未表现出明显的细胞毒性,且可能对 RAW264.7 细胞活力具有一定的促进作用。这可能是因为艾草多糖作为一种活性大分子,可以促进 RAW264.7 细胞中与生长或分裂增殖相关的酶或基因表达,进而促进其增殖^[36]。

2.4.3 H₂O₂ 诱导细胞氧化损伤适宜条件确定 为在优化水平上进一步探究艾草多糖的抗氧化活性,本研究建立了 RAW264.7 细胞中 H₂O₂ 诱导的氧化损伤模型。H₂O₂ 浓度对 RAW264.7 细胞存活率的影响如图 5 所示。由图 5 可知,当 H₂O₂ 的浓度从 100 μmol/L 升高至 500 μmol/L 时,RAW264.7 细胞的存活率呈逐渐下降趋势,且存在浓度-效应关系;当 H₂O₂ 浓度增至 400 μmol/L 时,细胞存活率降低至(51.16 ± 3.30)%。根据相关研究,当细胞存活率约为 50%时,相应的 H₂O₂ 浓度与处理时间被视为引发氧化损伤的最佳条件^[37]。因此,本研究选择 400 μmol/L H₂O₂ 处理 RAW264.7 细胞 4 h 作为后续实验条件。

2.4.4 氧化损伤修复作用分析 艾草多糖对 H₂O₂ 诱导 RAW264.7 细胞氧化损伤相关指标的影响如图 6 所示。由图 6a)—c)可知,与空白对照组相比,H₂O₂ 组细胞中 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活力分别降低了 76.45%、61.37% 和 52.38%,表明 H₂O₂ 处理明显削弱了细胞内抗氧化防御能力。T-SOD、CAT 和 GSH-Px 是细胞抗氧化防御系统中的重要酶,可参与活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS)的清除并维持细胞氧化还原稳态^[36-37]。经不同质量浓度艾草多糖处理后,RAW264.7 细胞中 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活力总体呈升高趋势。在 0.31 ~ 5.00 mg/mL 范围内,T-SOD 活力从(0.17±0.03) U/mg prot 提升到(0.33±0.02) U/mg prot,CAT 活力从(1.21±0.07) U/mg prot 提升到(1.58±0.02) U/mg prot,GSH-Px 活力从(4.90±0.55) U/mg prot 提升至(8.88±0.42) U/mg prot,均呈一定的浓度依赖性。MDA 是脂质过氧化的重要终产物,其水平可以反映

细胞膜脂质过氧化损伤程度^[40]。H₂O₂ 组的 MDA 水平较空白对照组显著提高了 2.06 倍(图 6d))。经不同质量浓度艾草多糖处理后,在 0.31 ~ 5.00 mg/mL 范围内,MDA 水平由(15.92 ± 0.58) nmol/mL 降低至(8.89±0.71) nmol/mL。庞心悦^[41]研究发现,祁白芷粗多糖可以有效提高氧化损伤 RAW264.7 细胞中 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活力,并在一定质量浓度范围内具有剂量依赖性。H. J. Zhou 等^[42]研究发现,铁平菇多糖可以提高 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活力,同时可以降低氧化损伤

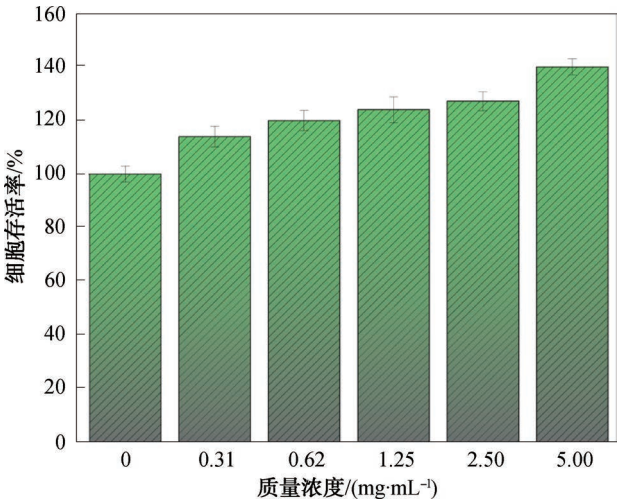


图 4 艾草多糖质量浓度对 RAW264.7 细胞存活率的影响
Fig. 4 Effects of *Artemisia argyi* polysaccharides mass concentration on the viability of RAW264.7 cells

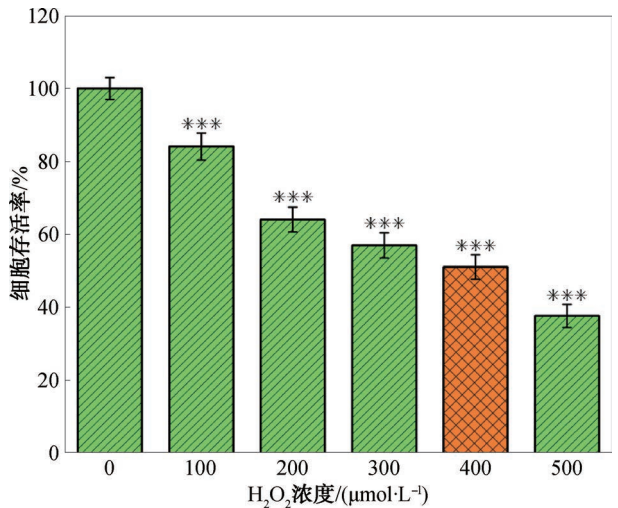


图 5 H₂O₂ 浓度对 RAW264.7 细胞存活率的影响
Fig. 5 Effects of H₂O₂ concentration on the viability of RAW264.7 cells

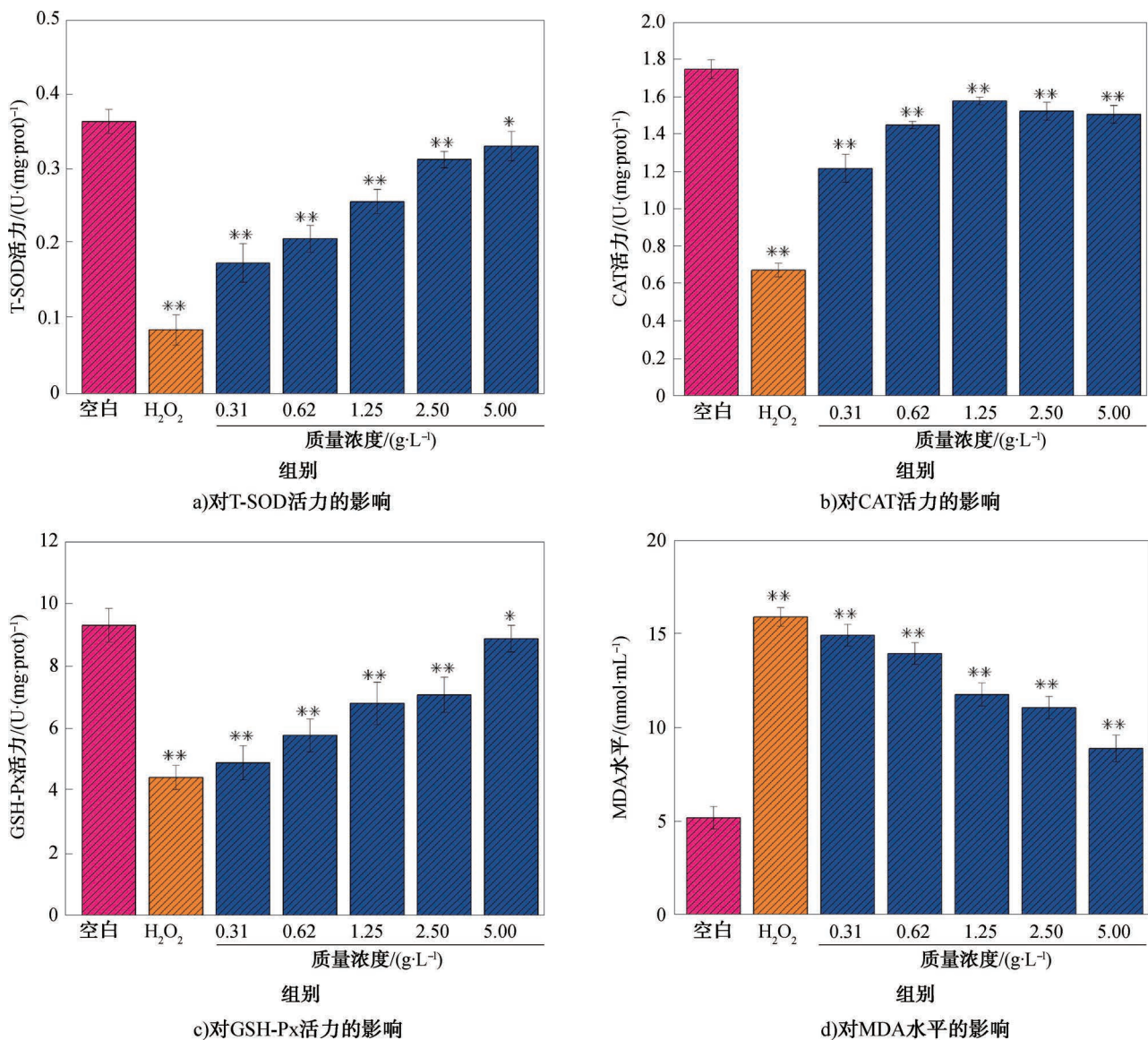


图 6 艾草多糖对 H_2O_2 诱导 RAW264.7 细胞氧化损伤相关指标的影响

Fig. 6 Effects of *Artemisia argyi* polysaccharides on indicators related to oxidative damage in H_2O_2 -stimulated RAW264.7 cells

RAW264.7 细胞中 MDA 水平。本文研究结果与上述结论较一致。

3 结论

本研究采用水提醇沉法提取艾草多糖,并对其组成、结构特征、体外抗氧化活性及对 H_2O_2 诱导 RAW264.7 细胞氧化损伤的修复作用进行了研究。结果表明,所得艾草粗多糖相对分子质量分布较为集中,总糖含量为 $(70.11 \pm 0.58)\%$,主要由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、木糖和鼠李糖组成;其重均分子质量为 25 934 Da,数均分子质量为

21 422 Da,多分散指数为 1.211。艾草多糖对 DP-PH、超氧阴离子、羟基和 $ABTS^+$ 自由基均具有不同程度的清除能力,其中对 $ABTS^+$ 自由基表现出较强的清除作用。在 0.31~5.00 mg/mL 范围内,艾草多糖对 RAW264.7 细胞未表现出明显的细胞毒性。通过 400 $\mu\text{mol/L}$ H_2O_2 处理 RAW264.7 细胞 4 h,建立了 H_2O_2 诱导的氧化损伤模型。艾草多糖处理可提高 H_2O_2 诱导氧化损伤 RAW264.7 细胞中 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活力,并降低 MDA 水平,具有一定的细胞氧化损伤修复作用。综上,艾草多糖具有较好的体外抗氧化活性及潜在的细胞抗氧化作

用,可为其作为天然抗氧化功能成分的进一步开发和利用提供理论依据。

参考文献:

- [1] Wang Z C, Zhou X Y, Chang H, et al. Antioxidant analysis of flavonoids extracted from *Artemisia argyi* leaf and their antibacterial activities against food-borne pathogens *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. *Biologia*, 2024, 79(3): 975–983.
- [2] Wang Z C, Wang L, Huang H T, et al. In vitro antioxidant analysis of flavonoids extracted from *Artemisia argyi* stem and their anti-inflammatory activity in lipopolysaccharide-stimulated RAW264. 7 macrophages [J]. *Food Chemistry*, 2023, 407: 135198.
- [3] Song Q Y, Gu L B, Wu H K, et al. Chemical structure and ACE inhibitory activity of polysaccharide from *Artemisia vulgaris* L [J]. *Journal of Molecular Structure*, 2022, 1250: 131896.
- [4] 王苗苗. 艾草不同部位效应成分及药理作用研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2024.
Wang M M. Study on the effective components and pharmacological effects in different parts of *Artemisia argyi* [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2024.
- [5] 何柳, 王云鹏, 谢卫红, 等. 艾叶多糖的提取、结构分析与功能的研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(1): 202–209.
He L, Wang Y P, Xie W H, et al. A review of the extraction, structure and function of *Artemisia argyi* polysaccharides [J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(1): 202–209.
- [6] 舒志涵, 胡茜蕾, 张沛瑶, 等. 益生菌发酵对植物多糖影响的研究进展 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2025, 46(2): 133–143.
Shu Z H, Hu X L, Zhang P Y, et al. Research progress on the effect of probiotic fermentation on plant-based polysaccharides [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2025, 46(2): 133–143.
- [7] 周雪艳, 常贺, 苟海芹, 等. 分子量影响多糖生物活性的研究进展 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2024, 45(1): 124–132.
Zhou X Y, Chang H, Gou H Q, et al. Advances in research of molecular weight affecting the bioactivities of polysaccharides [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2024, 45(1): 124–132.
- [8] 王子朝, 郑欣欣, 余晓雪, 等. 多糖对食物物性及功能影响的研究进展 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2023, 44(1): 126–134.
Wang Z C, Zheng X X, Xu X X, et al. Research progress on the effect of polysaccharide on physical property and function of food [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2023, 44(1): 126–134.
- [9] 王子朝, 张迪, 盛丽丽, 等. 超声降解影响多糖理化特性和生物活性研究进展 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(6): 121–126.
Wang Z C, Zhang D, Sheng L L, et al. Research advances of ultrasound degradation on physicochemical property and biological activity of polysaccharides [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42(6): 121–126.
- [10] Zhang P, Yang D, Xiao J, et al. *Artemisia argyi* polysaccharide alleviates osmotic diarrhea by enhancing intestinal barrier protection and anti-inflammation [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 282: 136779.
- [11] Zhu L, Gong H, Gan X, et al. “Processing-structure-activity” relationships of polysaccharides in Chinese Materia Medica: a comprehensive review [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2025, 358: 123503.
- [12] Chen L, Xin X L, Li S G, et al. Optimization of polysaccharides and essential oils extraction from *Artemisia argyi* leaves and the antioxidant activity of polysaccharides [J]. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2023, 17(5): 631–640.
- [13] 徐百昌, 谢宗固, 司红彬. 构树多糖的提取工艺、结构表征和生物活性研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2025, 52(6): 2662–2674.
Xu B S, Xie Z G, Si H S, et al. Research progress on extraction techniques, structural characterization and biological activities of polysaccharides derived from *Broussonetia papyrifera* [J]. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2025, 52(6): 2662–2674.
- [14] Li N N, Fu X D, Xiao M S, et al. Enzymatic preparation of a low-molecular-weight polysaccharide rich in uronic acid from the seaweed *Laminaria japonica* and evaluation of its hypolipidemic effect in mice [J]. *Food & Function*, 2020, 11(3): 2395–2405.
- [15] Hu W J, Yu A Q, Bi H Z, et al. Recent advances in *Artemisia argyi* Levl. et Vant. polysaccharides: extractions, purifications, structural characteristics, pharmacological activities, and existing and potential applications [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 279: 135250.
- [16] Ruan Y, Niu C F, Zhang P Z, et al. Acid-catalyzed water extraction of two polysaccharides from *Artemisia argyi* and their physicochemical properties and antioxidant activities [J]. *Gels*, 2022, 8(1): 5.
- [17] 万丹娜. 考马斯亮蓝法测定奶粉中蛋白质含量的研究 [J]. *中国食品工业*, 2024, (17): 88–90.
Wan D N. Study on the determination of protein content in

- milk powder by the Coomassie blue method [J]. China Food Industry, 2024, (17): 88-90.
- [18] 马盖凡,姜雪莲,侯明楮,等. 艾叶多糖提取、分离纯化及生物活性研究进展[J]. 中国医院药学杂志,2022, 42(11): 1164-1169.
- Ma G F, Jiang X L, Hou M Z, et al. Research progress in the extraction, separation, purification and biological activities of polysaccharides from leaves of *Artemisia argyi* [J]. China Journal of Hospital Pharmacy, 2022, 42(11): 1164-1169.
- [19] 楚三慧,张俊俊,杨冉,等. 艾叶多糖提取方法及其药理作用研究进展[J]. 海峡药学,2021,33(11): 41-44.
- Chu S H, Zhang J J, Yang R, et al. Research progress on extraction methods and pharmacological effects of polysaccharide from *Artemisia argyi* [J]. Strait Pharmacy, 2021, 33(11): 41-44.
- [20] 周睿,吴江萍,姜娜娜,等. 绿茶末多糖的理化特性及其体外抗氧化和抗糖尿病活性[J]. 食品工业科技, 2023, 44(1): 1-13.
- Zhou R, Wu J P, Jiang N N, et al. Physicochemical properties and *in vitro* antioxidant and antidiabetic activities of green tea dust polysaccharide [J]. Food Industry Science and Technology, 2023, 44(1): 1-13.
- [21] 李欣琪,张鹰,白卫东,等. 藏天麻多糖提取工艺优化及其基本组成分析[J]. 粮食与油脂,2025,38(8): 98-103.
- Li X Q, Zhang Y, Bai W D, et al. Optimization of extraction process of polysaccharides from Tibetan *Gastrodia elata* and analysis of its basic composition [J]. Grain and Oils, 2025, 38(8): 98-103.
- [22] 胡木,欧兰梅,肖益东. 山药多糖的提取、纯化及结构分析[J]. 食品工业,2025,46(8): 48-52.
- Hu M, Ou L M, Xiao Y D, et al. Extraction, purification and structural analysis of polysaccharides from *Tiegun* Yam [J]. Food Industry, 2025, 46(8): 48-52.
- [23] Wang Z C, Zheng Y, Lai Z R, et al. Effect of monosaccharide composition and proportion on the bioactivity of polysaccharides: a review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 254: 127955.
- [24] Ning E J, Sun C W, Wang X F, et al. *Artemisia argyi* polysaccharide alleviates intestinal inflammation and intestinal flora dysbiosis in lipopolysaccharide-treated mice [J]. Food & Medicine Homology, 2024, 1(1): 9420008.
- [25] Yu J, Cao Y, He F, et al. Polysaccharides from *Artemisia argyi* leaves: environmentally friendly ultrasound-assisted extraction and antifatigue activities [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 107: 106932.
- [26] Wang Z C, Zhou X Y, Shu Z H, et al. Regulation strategy, bioactivity, and physical property of plant and microbial polysaccharides based on molecular weight [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 244: 125360.
- [27] Wang Z C, Zhou X Y, Sheng L L, et al. Effect of ultrasonic degradation on the structural feature, physicochemical property and bioactivity of plant and microbial polysaccharides: a review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 236: 123924.
- [28] Yang Y, Lai Z, Hu X, et al. Structural characterization and combined immunomodulatory activity of fermented Chinese yam polysaccharides with probiotics [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 307: 142290.
- [29] Wang Z C, Zheng Y, Lai Z R, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* CICC 32883 fermentation on the structural features and antioxidant protection effect of Chinese yam polysaccharide [J]. Foods, 2025, 14(4): 564.
- [30] Wang S Y, Chang H, Li N, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of a polysaccharide produced by *Chaetomium globosum* CGMCC 6882 [J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 19992.
- [31] Wang S Y, Li N, Zhang Y, et al. Immunoregulatory activity of an alkaline-precipitated polysaccharide CGP-AP produced by *Chaetomium globosum* CGMCC 6882 [J]. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2024, 7: 100430.
- [32] Wang Z C, Zhou X Y, Liang X N, et al. Antioxidant and antibacterial activities of a polysaccharide produced by *Chaetomium globosum* CGMCC 6882 [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 233: 123628.
- [33] Abubakar A S, Ahmad B, Ahmad N, et al. Physicochemical evaluation, structural characterization, *in vitro* and *in vivo* bioactivities of water-soluble polysaccharides from *Luobuma* (*Apocynum L.*) tea [J]. Food Chemistry, 2024, 460: 140453.
- [34] Zeng S Y, Wang B, Lv (LYU) W Q, et al. Physicochemical properties, structure and biological activity of ginger polysaccharide: effect of microwave infrared dual-field coupled drying [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 281: 136474.
- [35] Wu J S, Wu Z Y, Pan Y R, et al. Effects of different stress conditions on the production, bioactivities, physicochemical and structural characteristics of exopolysaccharides synthesized by *Schleiferilactobacillus harbinensis* Z171 [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 257: 128675.
- [36] Ma G F, Zhao B B, Tang P L, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of polysaccharides from the roots of *Artemisia argyi* [J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 368: 124169.
- [37] Ni S, Zhao H L, Yang S H, et al. The effect of ultrasonic-assisted enzymes extraction on antioxidant polysaccharide activity in dandelion [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2025, 116: 107329.
- [38] Wang Z C, Zheng Y, Dai Y D, et al. Effect of probiotic fer-

mentation on the extraction rate and bioactivity of plant-based polysaccharides;a review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies,2024,98:103863.

[39] Wang Z C,Zheng Y,Zhou X Y,et al. Effect of *Lactobacillus* fermentation on the structural feature, physicochemical property, and bioactivity of plant and fungal polysaccharides: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024,148:104492.

[40] Imai T,Takahashi Y. Chemotaxis assay for *Marsupenaeus japonicus* hemocytes and application for the development of an oral immunostimulant against white spot syndrome virus[J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2020,8:613.

[41] 庞心悦. 祁白芷多糖的结构表征及对巨噬细胞氧化损伤的保护作用研究[D]. 天津:天津科技大学,2023.

Pang X Y. Structural characterization of polysaccharides from *Angelicae Dahuricae Radix* and their protective effects against oxidative damage in macrophages [D]. Tianjin:Tianjin University of Science and Technology, 2023.

[42] Zhou H J,Fan Z,Li Y,et al. Structure-antioxidant activity relationship of polysaccharides isolated by microwave/ultrasonic-assisted extraction from *Pleurotus ferulae* [J]. Antioxidants,2025,14(1):91.

Structural characterization and antioxidant activity
of *Artemisia argyi* polysaccharids

Wang Zichao¹,Shu Zhihan¹,Zheng Yi¹,Chen Qinggong²

1. School of Biological Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

2. Jiaozuo Haoshida Agriculture Co.,Ltd.,Jiaozuo 454950, China

Abstract:【Objective】This study aimed to analyze the structural characteristics and antioxidant activity of *Artemisia argyi* polysaccharides, thereby facilitating the high-value utilization of *Artemisia argyi* resources and the development of natural antioxidant functional ingredients. 【Methods】*Artemisia argyi* polysaccharides were extracted by water extraction and ethanol precipitation. High-performance liquid chromatography and spectroscopic analysis were used to analyze their composition and structural characteristics. The *in vitro* antioxidant activity was evaluated by DPPH, superoxide anion, hydroxyl, and ABTS⁺ radical scavenging assays. The cellular oxidative damage repair effect was assessed using an H₂O₂-induced oxidative damage model in the murine monocyte/macrophage cell line RAW264.7. 【Results】The polysaccharides consisted of glucose, galactose, arabinose, mannose, xylose, and rhamnose at a molar ratio of 1.00 : 0.26 : 0.23 : 0.19 : 0.15 : 0.13. Their weight-average molecular weight and polydispersity index were 25 934 Da and 1.211, respectively. At mass concentrations of 0.31~5.00 mg/mL, the scavenging capacities of the polysaccharides against DPPH, superoxide anion, hydroxyl, and ABTS⁺ radicals were concentration-dependent. The maximum ABTS⁺ radical scavenging rate reached 99.68%, which was comparable to that of ascorbic acid (VC). The polysaccharides showed no obvious cytotoxicity toward RAW264.7 cells. In the H₂O₂-induced oxidative damage model, the polysaccharides increased T-SOD, CAT, and GSH-Px activities from 0.17 U/mg protein, 1.21 U/mg protein, and 4.90 U/mg protein to 0.33 U/mg protein, 1.58 U/mg protein, and 8.88 U/mg protein, respectively, and decreased the MDA level from 15.92 nmol/mL to 8.89 nmol/mL in a concentration-dependent manner. 【Conclusion】The obtained *Artemisia argyi* polysaccharides exhibited significant *in vitro* and intracellular antioxidant activity, exerting oxidative repair effects by enhancing antioxidant enzyme activities and reducing lipid peroxidation, thus indicating their potential for development as natural antioxidants.

Key words:*Artemisia argyi* polysaccharide; structural characterization; antioxidant activity; cellular oxidation repair effect

[责任编辑:王晓波 李波]