

板枣多糖初级结构表征及抗氧化活性

Primary structure characterization and antioxidant activity of polysaccharide from *Zizyphus jujuba* cv. Banzao

李楠¹ 张香飞¹ 杨春杰²

LI Nan¹ ZHANG Xiang-fei¹ YANG Chun-jie²

(1. 运城学院生命科学系, 山西 运城 044000; 2. 运城学院机电工程系, 山西 运城 044000)

(1. Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng, Shanxi 044000, China; 2. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Yuncheng University, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

摘要:目的:探究板枣多糖的理化性质、初级结构及抗氧化活性。方法:采用水提醇沉、三氯乙酸脱蛋白、过氧化氢脱色等方法制备板枣多糖,测定其理化指标,利用紫外和红外光谱进行扫描推测可能存在的结构,最后测定其自由基清除能力。结果:板枣多糖中总糖质量分数为 52.30%,糖醛酸含量 46.22%,酯化度 64.70%,是一种酸性果胶多糖;紫外和红外光谱分析表明板枣多糖具有典型的多糖类特征吸收峰,不含蛋白质和核酸,是一种含有 α -糖苷键的吡喃糖;板枣多糖主要由半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖组成。板枣多糖有一定的抗氧化活性,质量浓度为 1.0 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基、羟自由基和 ABTS 自由基清除率分别为 23.64%, 21.01%, 13.84%。结论:板枣多糖是以半乳糖醛酸为主的酸性果胶糖,含有 α -糖苷键,抗氧化能力较强,可作为潜在的抗氧化剂。

关键词:板枣;多糖;理化性质;结构表征;抗氧化活性

Abstract: Objective: This study aimed to analyze the physicochemical properties, primary structure and antioxidant activity of polysaccharide from *Zizyphus jujuba* cv. Banzao. **Methods:** The polysaccharides were prepared by water extraction and alcohol precipitation, deproteinization with trichloroacetic acid and decolorization with hydrogen peroxide. The physicochemical properties of polysaccharides were studied, and the possible structures were predicted by Ultraviolet-visible (UV-Vis) and infrared (IR) spectroscopy. Finally, the free radical scavenging ability was determined. **Results:** The polysaccharide from *Z. jujuba* cv. Banzao contained the content of total sugar and uronic acid with 52.30%

and 46.22%, respectively, and showed 64.70% of esterification degree, which was an acidic pectin polysaccharide; UV-VIS and IR spectroscopy showed that the polysaccharide from *Z. jujuba* cv. Banzao had typical polysaccharide absorption peak, and contained no protein or nucleic acid. It was a pyranose with α -glycosidic bond, mainly composed of galacturonic acid, galactose, arabinose, glucose. The polysaccharides from *Z. jujuba* cv. Banzao displayed certain antioxidant activity and the free radical clearance of the polysaccharide at 1 mg/mL for DPPH radical, $\cdot$ OH and ABTS⁺ $\cdot$ were 23.64%, 21.01% and 13.84%, respectively.

Conclusion: The polysaccharide from *Z. jujuba* cv. Banzao was an acidic pectin sugar mainly composed of galacturonic acid. Besides, it had α -glycosidic bond and showed strong antioxidant capacity, which can be used as a potential antioxidant.

Keywords: *Zizyphus jujuba* cv. Banzao; polysaccharide; physicochemical properties; structure characterization; antioxidant activity

板枣,别名稷山板枣,是一种药食兼用果品,主要分布于山西省稷山县,为山西十大名枣之一。板枣果肉厚,肉质致密,甜味浓,汁液较少,多以干制为主,除基本营养物质还含有维生素、糖类、黄酮、多酚、腺苷类、皂甙类等多种植物化学成分^[1-3]。

多糖是一类由至少 10 个单糖缩合而成的高分子物质,具有良好的抗氧化、抗肿瘤、降血糖、免疫调节及促进肠道健康等生物活性^[4-5]。研究^[6]发现,多糖的生物功能与其单糖组成、分子量、链链相互作用和糖苷键构象等密切相关。目前有关板枣多糖的研究主要集中在测定其多糖含量、优化其提取工艺上,王小媛等^[7]以葡萄糖为标准品,通过苯酚—硫酸法测定不同产地红枣的多糖含量,结果显示稷山板枣多糖含量为 25.53 g/100 g $\cdot$ DW;杨萍芳等^[8]采用酶法提取稷山板枣多糖,得出酶解温度 55 $^{\circ}$ C,酶解时间 80 min,纤维素酶添加量 0.05%时,多糖

基金项目:山西省高等学校科技创新项目(编号:2020L0567);山西省重点学科建设经费资助项目(编号:FSKSC);运城学院院级科研项目(编号 CY-2020023)

作者简介:李楠(1986—),女,运城学院讲师,硕士。

E-mail:787599346@qq.com

收稿日期:2022-02-27 **改回日期:**2022-06-05

得率为 3.61%。然而,有关板枣多糖的理化性质、单糖组成、光谱学性质,抗氧化活性等研究较少。

研究拟以板枣为原料,采用水提醇沉、脱蛋白、脱色等方法制备板枣多糖,测定其多糖理化参数,利用离子色谱分析其单糖组成,结合紫外和红外光谱分析多糖的初级结构特征,并测定多糖的抗氧化活性,以期为进一步研究板枣多糖结构与其功能活性的关系及天然抗氧化剂的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

板枣:采摘于山西省运城市稷山县;

氢氧化钠、葡萄糖、抗坏血酸、三氯乙酸、无水乙醇、丙酮、考马斯亮兰 G250:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

30%过氧化氢、硫酸、苯酚、硫酸亚铁、水杨酸、过硫酸钾、四硼酸钠(硼砂)、乙二胺四乙酸(EDTA)、三氯化铁、碳酸氢钠、硫酸铜、酒石酸钾钠:分析纯,天津市瑞金特化学有限公司;

ABTS(2,2'-连氨基-双-(3-乙基苯并二氢噻唑啉-6-磺酸)二铵盐)、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、3-羟基联苯、牛血清白蛋白:合肥博美生物科技有限责任公司;

1-萘酚、D-半乳糖醛酸、透析袋(截留分子量:3 500):索莱宝化学试剂有限公司;

单糖标准品:色谱纯,美国 Sigma 公司。

1.2 主要仪器与设备

傅立叶红外光谱仪: TENSOR 27 型, Bruker 公司;

双光束紫外可见分光光度计: UV-9000S 型, 上海元析仪器有限公司;

离子色谱: ICS5000 型, 赛默飞世尔科技公司;

低速台式离心机: TD6M 型, 湖南湘立科学仪器有限公司;

冷冻干燥机: SCIENTZ-10N 型, 宁波新芝生物有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 板枣多糖提取 将板枣去核, 60 °C 烘干、粉碎, 用石油醚浸泡 12 h 脱脂, 干燥后得脱脂枣粉; 然后参照王晓琴等^[9]的方法制备板枣粗多糖。配置 10 mg/mL 的粗多糖溶液, 按体积比 1 : 1 加入 10% 三氯乙酸溶液, 振荡 30 min 后, 冰箱静置 12 h, 4 000 r/min 离心 15 min, 取上清液 12 mL, 用 6 mol/L 氨水调节 pH 至 9, 然后加入 30% 的过氧化氢 1 mL, 45 °C 脱色 2 h, 直至溶液颜色澄清透明^[10]; 将脱色后的溶液透析 3 d, 冷冻干燥得板枣多糖。

1.3.2 多糖理化指标测定

(1) 溶解性: 分别称取 0.5 g 多糖放入水、无水乙醇、正丁醇、丙酮、乙酸乙酯中, 搅拌, 观察多糖的溶解性。

(2) 酯化度: 采用化学滴定法^[11]。

(3) 颜色反应: 碘—碘化钾反应、三氯化铁反应和斐林试剂反应参照戴艳^[12]的方法; Molish 反应参照王晓琴等^[9]的方法; 茚三酮反应: 取 1 mg/mL 多糖溶液 1 mL, 加入茚三酮溶液 0.5 mL, 沸水浴 10 min, 观察有无蓝紫色化合物生成。

(4) 总糖含量: 采用苯酚硫酸法^[13]。

(5) 蛋白质含量: 采用考马斯亮蓝法^[14]。

(6) 糖醛酸含量: 分别移取 100 μg/mL 半乳糖醛酸溶液 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 mL 于 25 mL 比色管中, 用蒸馏水补加至 1.0 mL。冰水浴冷却后, 加入 0.012 5 mol/L 四硼酸钠—硫酸溶液 5 mL, 混匀, 沸水浴加热 5 min, 冰水浴冷却后, 加入 100 μL 0.15% 间羟基联苯溶液, 混匀, 静置 5 min, 测定 524 nm 处吸光度, 绘制标准曲线^[14]。

取质量浓度为 50 μg/mL 的稷山板枣多糖溶液 1 mL, 按标准曲线制作方法操作, 进行 3 次平行测定, 结果取平均值, 代入回归方程求出样品液中半乳糖醛酸的含量, 按式(1)计算样品中糖醛酸含量。

$$D = \frac{m}{W} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D ——样品中糖醛酸含量, %;

m ——样品中半乳糖醛酸质量, μg;

W ——样品的质量, μg。

1.3.3 紫外和红外光谱分析 配制 1 mg/mL 的多糖溶液, 以蒸馏水为空白对照, 在 200~800 nm 内进行紫外光谱扫描, 观察多糖溶液在 260 nm 和 280 nm 处有无核酸和蛋白质吸收峰。取 1 mg 多糖与 100 mg KBr, 研磨均匀, 压片, 在 4 000~400 cm⁻¹ 波数范围内进行红外光谱扫描^[15]。

1.3.4 单糖组成分析 单糖组成测定参照 Wang 等^[6]的方法并做修改, 称量多糖样品 (5 ± 0.05) mg, 加入 2 mol/L 三氟乙酸溶液 1 mL, 105 °C 加热 6 h; 氮气吹干; 加入甲醇清洗, 再吹干, 重复 2 次; 加入无菌水溶解, 转入色谱瓶中待测。离子色谱参数: Dionex CarboPac PA10 (250 mm × 4.0 mm, 10 μm) 液相色谱柱, 电化学检测器; 流动相 A 为 0.1 mol/L NaOH, 流动相 B 为 0.1 mol/L NaOH、0.2 mol/L CH₃COONa 溶液, 进样量 5 μL, 流速 0.5 mL/min, 柱温 30 °C; 梯度洗脱条件: 0 min, 95% A; 30 min, 80% A; 30.1~45 min, 60% A; 45.1~60 min, 95% A。

1.3.5 抗氧化活性分析

(1) DPPH 自由基(DPPH·)清除能力: 分别取质量浓度为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/mL 的多糖溶液 2.0 mL, 加入 2 mL 0.08 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液, 混匀, 25 °C 避光反应 30 min, 测定 517 nm 处吸光度^[16]。V_c 作阳性对照。按式(2)计算 DPPH·清除率。

$$W_{\text{DPPH}\cdot} = \left(1 - \frac{A_{i, 517 \text{ nm}} - A_{j, 517 \text{ nm}}}{A_{\text{空白}, 517 \text{ nm}}}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

W_{DPPH} —— DPPH · 清除率, %;

$A_{i, 517 \text{ nm}}$ ——测定管吸光度;

$A_{j, 517 \text{ nm}}$ ——乙醇代替 DPPH 溶液的本底吸光度;

$A_{\text{空白}, 517 \text{ nm}}$ ——蒸馏水代替样品的空白吸光度。

(2) 羟自由基($\cdot\text{OH}$)清除能力:参照教小磐等^[16]的方法, V_c 作为阳性对照。

(3) ABTS 自由基(ABTS^+)清除能力: ABTS^+ · 工作液的配制方法参照李楠等^[17]的方法。分别取 0.2 mL 质量浓度为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/mL 的多糖溶液, 加入 4 mL 7 mol/L ABTS^+ · 工作液, 混匀, 常温避光反应 6 min, 测定 734 nm 处吸光度^[18]。 V_c 为阳性对照。按式(3)计算 ABTS^+ · 清除率。

$$W_{\text{ABTS}^+} = \left(1 - \frac{A_{i, 734 \text{ nm}} - A_{j, 734 \text{ nm}}}{A_{\text{空白}, 734 \text{ nm}}}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

W_{ABTS^+} —— ABTS^+ · 清除率, %;

$A_{i, 734 \text{ nm}}$ ——测定管吸光度;

$A_{j, 734 \text{ nm}}$ ——蒸馏水代替 ABTS^+ · 溶液的本底吸光度;

$A_{\text{空白}, 734 \text{ nm}}$ ——蒸馏水代替样品的空白吸光度。

2 结果与分析

2.1 溶解度、酯化度、颜色反应

多糖不溶于有机溶剂, 如乙醇、正丁醇、丙酮、乙酸乙酯等, 难溶于冷水, 易溶于常温水 and 热水。化学滴定法测定其酯化度为 64.7%, 说明板枣多糖是一种酸性果胶多糖, 另外 Zhao 等^[19]测定河北冬枣多糖的酯化度为 49%, 王晓琴等^[9]测定陕西木枣粗多糖的酯化度为 38.4%, 因此多糖酯化度不仅受到枣果实品种差异的影响, 还可能与产地、生长气候、多糖提取方式等因素有关。碘-碘化钾反应阴性, Molish 反应阳性, 说明板枣多糖不属于淀粉型多糖^[20]。三氯化铁反应、茚三酮反应均为阴性, 说明板枣多糖不含酚羟基和氨基酸。斐林试剂反应阴性, 溶液

为浅蓝色无砖红色沉淀, 说明板枣多糖无还原糖存在。

2.2 总糖、蛋白质和糖醛酸含量

经测定, 板枣多糖的总糖含量为 52.30%, 蛋白质含量为 0.90%。由图 1 可知, 半乳糖醛酸在质量浓度 0~80 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系较好, 多糖中糖醛酸含量较高, 为 46.22%。综上, 板枣多糖是一种果胶多糖。

2.3 光谱分析

2.3.1 紫外光谱分析 由图 2 可知, 板枣多糖在 260 nm 处无吸收峰, 说明其不含核酸; 在 280 nm 处有较弱的蛋白质吸收峰, 与多糖中蛋白质含量为 0.90% 的测定结果相符合, 说明多糖中几乎不含蛋白质。

2.3.2 傅里叶红外光谱分析 如图 3 所示, 在 4 000~400 cm^{-1} 区域有多糖类物质的特征吸收峰。3 415.66 cm^{-1} 处的吸收峰较强, 是由多糖中 O—H 振动引起的^[21]; 2 931.57 cm^{-1} 处为多糖类物质 C—H 伸缩振动; 1 749.30, 1 616.21 cm^{-1} 处是糖醛酸的 C=O 吸收峰, 证明板枣多糖中含有糖醛酸, 该吸收峰较强, 说明糖醛酸含量较高^[22], 与研究的测定结果(糖醛酸含量为 46.22%)相符合; 1 407.92 cm^{-1} 和 1 234.34 cm^{-1} 处的吸收峰分别代表了 C—H 键和—COOH 中 O—H 键的变角振动; 在 1 101.26, 1 018.33 cm^{-1} 处的吸收峰代表糖苷键的结构特征, 为吡喃型糖环 C—O 的变角吸收峰, 说明分子中存在 C—O—H 和糖环 C—O—C 结构^[15]; 在 827.34 cm^{-1} 附近有弱吸收峰, 说明含有 α -糖苷键。

2.4 单糖组成分析

图 4 为单糖标准品和多糖样品的离子色谱图。根据单糖标准品的保留时间确定板枣多糖中单糖的种类, 利用不同浓度单糖标准品的峰面积绘制标准曲线, 根据样品峰面积确定单糖含量。由表 1 可知, 半乳糖醛酸、半乳糖和阿拉伯糖在板枣多糖中含量较高, 葡萄糖、鼠李糖、木糖和甘露糖含量次之, 还有较低含量的葡萄糖醛酸、岩藻糖和盐酸氨基葡萄糖, 说明板枣多糖是一类组成复杂的杂多糖, 与袁月鹏^[23]的研究结果一致。板枣多糖中半

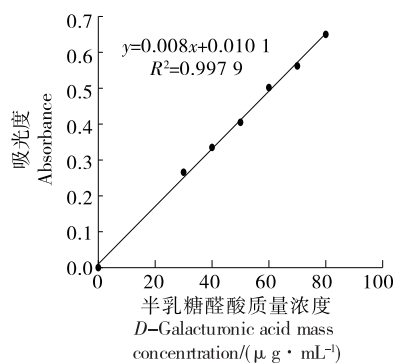


图 1 半乳糖醛酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of galacturonic acid

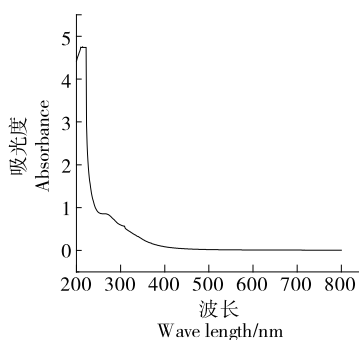


图 2 板枣多糖紫外光谱图

Figure 2 UV spectra of polysaccharide from *Z. jujuba* cv. Banzao

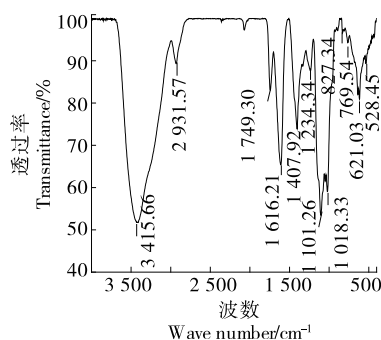


图 3 板枣多糖红外光谱图

Figure 3 FT-IR spectrum of polysaccharide from *Z. jujuba* cv. Banzao

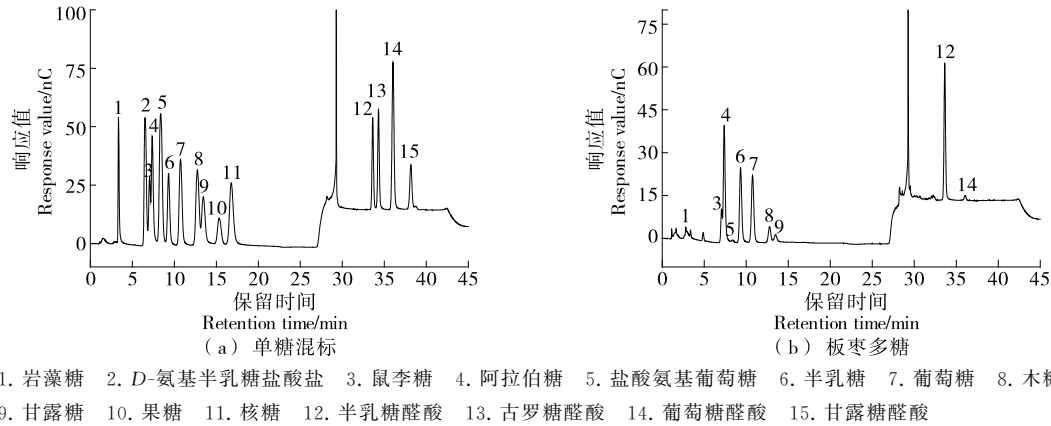


图4 单糖混标和多糖的离子色谱图

Figure 4 Ion chromatograms of standard monosaccharide mixture and the polysaccharide

乳糖醛酸含量较高,为 141.96 $\mu\text{g}/\text{mg}$,推测其为果胶多糖,Chang 等^[24]对台湾大枣粗多糖的单糖组成进行了分析,结果为粗多糖中半乳糖醛酸含量占比70.8%,二者研究结果一致。有研究^[25]表明,糖醛酸含量高的多糖其生物活性会更强,因为糖醛酸残基可以使多糖化学特性和溶解性发生改变。板枣多糖含有较高的糖醛酸,因此其生物活性可能较高。

2.5 抗氧化活性分析

由图 5 可知,板枣多糖可以清除 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH 和 ABTS $^{+}\cdot$,且成剂量依赖性。当多糖质量浓度相同时,对自由基清除率大小为: DPPH $\cdot$ > $\cdot$ OH > ABTS $^{+}\cdot$ 。

当板枣多糖质量浓度为 1.0 mg/mL 时,对 DPPH $\cdot$ 的清除率为 23.64%,而王晓琴等^[9]的研究结果表明,1.0 mg/mL 的木枣多糖对 DPPH $\cdot$ 的清除率小于 20%,原因可能是板枣多糖含有较多的半乳糖醛酸,高含量的半乳糖醛酸有助于提高多糖的抗氧化活性^[25]。

当质量浓度为 1.0 mg/mL 时,板枣多糖对 $\cdot$ OH 清除率为 21.01%,而 0.05 mg/mL 的 V_C 对 $\cdot$ OH 的清除率为 18.28%,所以板枣多糖有较强的 $\cdot$ OH 清除能力,可以通过加大多糖剂量达到与 V_C 对 $\cdot$ OH 的清除能力。

当多糖质量浓度为 1.0 mg/mL 时,对 ABTS $^{+}\cdot$ 的清除率为 13.84%,低于 0.02 mg/mL 的 V_C 对 ABTS $^{+}\cdot$ 的

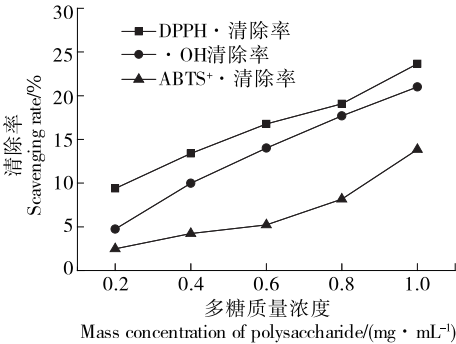


图5 多糖对自由基的清除能力

Figure 5 The free-radical scavenging activity of polysaccharide

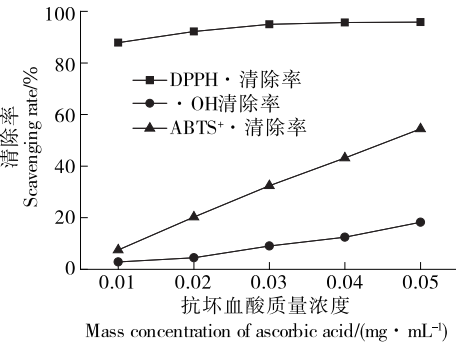


图6 抗坏血酸(V_C)对自由基的清除能力

Figure 6 The free-radical scavenging activity of V_C

清除率(20.28%)。因此,板枣多糖对 ABTS $^{+}\cdot$ 的清除能力相对较弱。板枣多糖对不同自由基的清除能力不同,可能与多糖的单糖组成、结构及分子量大小有关。

3 结论

以稷山板枣为原料,经水提醇沉、脱蛋白、脱色得到板枣多糖,经测定,板枣多糖总糖含量 52.30%,糖醛酸含量 46.22%,酯化度为 64.7%,说明板枣多糖是一种酸性果胶多糖。多糖用三氟乙酸水解后进行离子色谱测定,

表1 板枣多糖中单糖种类及含量

Table 1 Types and contents of monosaccharide in from polysaccharide of *Z. jujube* cv. Banzao $\mu\text{g}/\text{mg}$

种类	含量	种类	含量
岩藻糖(Fuc)	2.87	葡萄糖(Glc)	56.94
鼠李糖(Rha)	33.20	木糖(Xyl)	13.15
阿拉伯糖(Ara)	98.05	甘露糖(Man)	11.40
盐酸氨基葡萄糖(GluN)	0.78	半乳糖醛酸(Gal-UA)	141.96
半乳糖(Gal)	103.58	葡萄糖醛酸(Glc-UA)	2.97

得知板枣多糖是一类组成复杂的杂多糖,其主要单糖组成为半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖、鼠李糖、木糖和甘露糖,其中半乳糖醛酸含量最高,为 141.96 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。傅里叶变换红外光谱显示,板枣多糖具有多糖的特征吸收峰,是含有 α -糖苷键的吡喃糖。抗氧化活性结果表明,板枣多糖可以清除 DPPH 自由基、羟自由基和 ABTS 自由基且呈剂量依赖性。后续将进一步评价板枣多糖的体内抗氧化活性并深入研究其构效关系及抗氧化活性作用机制。

参考文献

- [1] 李登科, 牛西午, 田建保. 中国枣品种资源图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 292-293.
LI D K, NIU X W, TIAN J B. The illustrated germplasm resources of Chinese jujube [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 292-293.
- [2] 曲泽洲, 王永蕙. 中国果树志: 枣卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 371-372.
QU Z Z, WANG Y H. Chinese fruit trees: Jujube scroll[M]. Beijing: China Forestry Press, 1993: 371-372.
- [3] 刘孟军, 汪民. 中国枣种质资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 218-219.
LIU M J, WANG M. Germplasm resources of Chinese jujube[M]. Beijing: China Forestry Press, 2009: 218-219.
- [4] 谢明勇, 聂少平. 天然产物多糖结构与功能研究[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 25-31.
XIE M Y, NIE S P. Structure and bioactivities of polysaccharides from natural products[M]. Beijing: Science Press, 2014: 25-31.
- [5] 冀晓龙, 尹明松, 侯春彦, 等. 红枣多糖提取、分离纯化及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 346-353, 358.
JI X L, YIN M S, HOU C Y, et al. Recent advances in jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) polysaccharides: Extraction, isolation and purification and bioactivities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(23): 346-353, 358.
- [6] WANG L, ZHANG B, XIAO J, et al. Physicochemical, functional, and biological properties of water-soluble polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit[J]. Food Chemistry, 2018, 249: 127-135.
- [7] 王小媛, 王爽爽, 王文静, 等. 不同产地红枣的组成成分与抗氧化能力的分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 182-187.
WANG X Y, WANG S S, WANG W J, et al. Analysis of composition and antioxidant capacity of jujube from different producing areas[J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 182-187.
- [8] 杨萍芳, 李楠. 酶法提取稷山板枣多糖工艺条件优化[J]. 食品工程, 2018(1): 16-18, 62.
YANG P F, LI N. Optimization of extraction craft conditions of Jishan board jujube polysaccharide by enzyme method[J]. Food Engineering, 2018(1): 16-18, 62.
- [9] 王晓琴, 冀晓龙, 彭强, 等. 木枣多糖 ZJP2 的初步结构特征及抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 100-105.
WANG X Q, JI X L, PENG Q, et al. Primary structural characteristics and antioxidant activity of the polysaccharide ZJP2 from *Zizyphus jujuba* cv. Muzao[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 100-105.
- [10] 刘晓飞, 张宇, 王薇, 等. 发芽糙米中粗多糖的纯化及分子量测定[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 19-24.
LIU X F, ZHANG Y, WANG W, et al. Purification and molecular weight determination of polysaccharides in germinated brown rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 19-24.
- [11] 李进伟, 范柳萍, 李苹苹, 等. 红外傅立叶转换光谱研究金丝小枣多糖的酯化度[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 343-345.
LI J W, FAN L P, LI P P, et al. Study on degree of esterification of polysaccharide ZSP3c from *Zizyphus jujube* cv. Jinsixiaozao by fourier transform infrared spectrophotometer[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 343-345.
- [12] 戴艳. 骏枣多糖的提取纯化、结构分析及抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 25.
DAI Y. Purification, structural characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Zizyphus jujube* cv. Xinjiangjunzao[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 25.
- [13] 张先廷, 芦婧, 王迎进. 响应面法优化超声提取壶瓶枣多糖工艺研究[J]. 北方园艺, 2013(8): 150-153.
ZHANG X T, LU J, WANG Y J. Study on optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of polysaccharide from *Zizyphus jujuba* cv. Huping by response surface methodology [J]. Northern Horticulture, 2013(8): 150-153.
- [14] 冯小婕. 绿茶、红茶、黑茶多糖的提取纯化及其药理活性的研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2016: 25.
FENG X J. Study on the extraction, purification and pharmacological activities of polysaccharides from green tea, black tea and dark tea[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2016: 25.
- [15] 潘莹, 许经纬. 冬枣多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 89-94.
PAN Y, XU J W. Isolation, purification and antioxidant activity of polysaccharides from *Zizyphus jujube* cv. Dongzao[J]. Food Science, 2016, 37(13): 89-94.
- [16] 教小馨, 刘云. 甜茶叶多糖的表征、体外抗氧化活性与体内毒性[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 201-207.
JIAO X P, LIU Y. Characterization, antioxidant activity in vitro and toxicity in vivo of polysaccharides from *Rubus suavissimus* S. Lee leaves[J]. Food Science, 2020, 41(15): 201-207.
- [17] 李楠, 师俊玲, 王昆. 14 种海棠果实多酚种类及体外抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 53-58.
LI N, SHI J L, WANG K. Composition and in vitro antioxidant activity of polyphenols extracted from crabapples[J]. Food Science, 2014, 35(5): 53-58.
- [18] 强明亮. 超声辅助提取枳椇多糖及其化学结构与免疫活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016: 19.
QIANG M L. Chemical structure and immunomodulatory of ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from *Hovenia dulcis* peduncles[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016: 19.

(下转第 49 页)