

# 碱提红枣多糖与水提红枣多糖生物活性的比较研究

焦中高\*, 张春岭, 刘杰超, 陈大磊, 王思新

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

**摘要:** **目的** 充分利用红枣多糖资源, 发掘碱提红枣多糖生物活性。**方法** 以热水浸提红枣多糖剩余的残渣为原料, 采用氢氧化钠溶液进一步提取其中的多糖物质, 获得碱提红枣多糖, 对其基本理化性质和生物活性进行研究, 并与热水浸提红枣多糖进行比较。**结果** 碱提红枣多糖对光照核黄素产生的超氧阴离子自由基和DPPH 自由基具有较强的清除作用, 并可强力抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和透明质酸酶活性。与水提红枣多糖相比, 碱提红枣多糖在低浓度时对超氧阴离子自由基的清除作用显著提高, 对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的半抑制剂量降低99%以上。同浓度条件下, 碱提红枣多糖对DPPH 的清除率明显高于水提红枣多糖, 而且随着浓度的提高, 其差别更加显著。碱提红枣多糖对透明质酸酶的抑制作用在低浓度条件下显著弱于水提红枣多糖, 但当浓度提高到1.0 mg/mL 以上时, 碱提红枣多糖对透明质酸酶活性的抑制率超过水提红枣多糖。**结论** 碱提红枣多糖是一种优良的自由基清除剂和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶及透明质酸酶抑制剂, 而且部分活性优于水提红枣多糖, 利用碱提工艺可提高红枣资源的利用率, 又获得了高活性的红枣多糖。

**关键词:** 红枣; 多糖; 碱提; 抗氧化;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; 透明质酸酶

## Comparison of bioactivities of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* fruit extracted with hot water and alkaline solution

JIAO Zhong-Gao\*, ZHANG Chun-Ling, LIU Jie-Chao, CHEN Da-Lei, WANG Si-Xin

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

**ABSTRACT: Objective** To utilize jujube polysaccharide resources fully and discover bioactivities of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* fruit extracted with alkaline solution (AZJP). **Methods** AZJP was extracted from remainder residues of hot water extraction of *Zizyphus jujuba* fruit by using 0.1 mol/L of NaOH as solvent. Then the physico-chemical characteristics and bioactivities of AZJP were studied as compared with *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharide extracted with hot water (WZJP). **Results** AZJP had strong scavenging effects on the superoxide radicals generating from illuminating riboflavin as well as DPPH radicals, and could inhibit the activities of  $\alpha$ -glucosidase and hyaluronidase potently. As compared with WZJP, AZJP exhibited a stronger scavenging effect towards superoxide radicals at low concentration, and the  $IC_{50}$  for  $\alpha$ -glucosidase lowered 99%. The DPPH scavenging percentage of AZJP was significantly higher than that of WZJP at the same concentration, and the differences became more significant with the increasing of sample concentration.

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(CAAS-ASTIP-2015-ZFRI)

**Fund:** Supported by the Agricultural Science and Technology Innovation Program of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2015-ZFRI)

\*通讯作者: 焦中高, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品营养与加工。E-mail: jiaozhonggao@caas.cn

\*Corresponding author: JIAO Zhong-Gao, Associate Professor, Hanghai East Road, Zhengzhou 450009, China. E-mail: jiaozhonggao@caas.cn

As for hyaluronidase inhibitory activity, the inhibition percentage of AZJP was significantly lower than that of WZJP at low concentration, but it became higher than that of WZJP when the sample concentration was increased to above 1.0 mg/mL. **Conclusion** AZJP is a good free radical scavenger,  $\alpha$ -glucosidase and hyaluronidase inhibitor, which is partly superior to WZJP. These results suggest that the AZJP may play an important role in human health and disease prevention. By using alkaline extraction technique, the utilization of *Zizyphus jujuba* fruit resources is improved and some new polysaccharides with high bioactivities may be obtained.

**KEY WORDS:** jujube; polysaccharide; alkaline extraction; oxidation resistance;  $\alpha$ -glucosidase; hyaluronidase

## 1 引言

红枣是我国传统的药食两用果品之一,具有补中益气、养血安神等功效,因此在中医药实践中应用广泛。现代药理学和食品化学与营养学研究表明,红枣富含黄酮类化合物、多糖和三萜酸等生物活性物质,从而具有多种生理功效与保健功能<sup>[1,2]</sup>。其中,红枣中的活性多糖由于含量多、药用价值高而受到广泛关注,国内外研究工作者在红枣多糖的提取分离与生物活性研究方面进行了大量研究<sup>[3]</sup>。目前已证实红枣多糖具有调节免疫<sup>[4-6]</sup>、抗氧化<sup>[6-9]</sup>、抑制癌细胞增殖<sup>[10]</sup>、改善糖尿病症状<sup>[11,12]</sup>、保肝护肝<sup>[7,13,14]</sup>、抗疲劳<sup>[14,15]</sup>、抗凝血<sup>[16]</sup>以及抑制 $\alpha$ -淀粉酶、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和透明质酸酶活性<sup>[17]</sup>等多种生理活性与功效。但这些研究大都是采用热水浸提的方法获得的红枣多糖,水提后的残渣一般废弃或用于其他用途。已有研究表明,植物多糖除水溶性多糖外,还有大量的胞内多糖或细胞壁结合多糖,常用的热水浸提方法不能使之溶出,采用一定浓度的碱溶液可以从热水浸提剩余的残渣中继续提取其中的细胞壁结合多糖或胞内多糖,从而提高多糖得率<sup>[18-20]</sup>。本研究以热水浸提红枣多糖剩余的残渣为原料,采用氢氧化钠溶液进一步提取其中的多糖物质,获得碱提红枣多糖(*Zizyphus jujuba* fruit polysaccharide extracted with alkaline solution, AZJP),对其基本理化性质和生物活性进行研究,并与水提红枣多糖(*Zizyphus jujuba* fruit polysaccharide extracted with hot water, WZJP)进行比较,以期为基础提红枣多糖的开发和红枣资源的高效利用提供理论依据。

## 2 材料与amp;方法

### 2.1 材料、试剂与仪器

红枣:市售干燥新郑灰枣。

试剂:酵母 $\alpha$ -葡萄糖苷酶、猪胰 $\alpha$ -淀粉酶、4-硝基酚- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)购自Sigma公司;透明质酸酶、透明质酸钠为上海楷洋生物技术有限公司产品,其他为国产分析纯试剂。

仪器:Specord 50 紫外/可见分光光度计(德国Analytic Jena公司);Nicolet 6700 红外光谱仪(美国Thermo Fisher公司);SHA-C 数显水浴恒温振荡器(江苏省兴化分析仪器厂);RE52A 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 水提红枣多糖(WZJP)的提取

干燥红枣经去核、粉碎后,按照1:10料液比加入蒸馏水,于60℃条件下提取2次,每次1h,过滤、离心收集上清液,真空浓缩后加入无水乙醇至乙醇终浓度为80%(V:V),边加入边搅拌约15min,并于4℃放置过夜充分沉淀,除去上清液得沉淀,再将沉淀复溶于少量蒸馏水中,装入透析袋(截留分子量3500)对蒸馏水透析72h,再次真空浓缩、乙醇沉析,沉淀依次用无水乙醇、丙酮、乙醚洗涤后,真空干燥得到水提红枣多糖(WZJP)。

#### 2.2.2 碱提红枣多糖(AZJP)的提取

将红枣经水提多糖后剩余的不溶物,按照1:10料液比加入0.1mol/L NaOH溶液,于室温条件下振荡提取2次,每次1h,过滤、离心收集上清液,用HCl调pH至中性,离心收集上清液,真空浓缩后加入无水乙醇至乙醇终浓度为80%(V:V),边加入边搅拌约15min,并于4℃放置过夜充分沉淀,除去上清液得沉淀,再将沉淀复溶于少量蒸馏水中,装入透析袋(截留分子量3500)对蒸馏水透析72h,再次真空浓缩、乙醇沉析,沉淀依次用无水乙醇、丙酮、乙醚洗涤后,真空干燥得到碱提红枣多糖(AZJP)。

### 2.2.3 碱提红枣多糖(AZJP)的基本理化性质分析

色泽与溶解性采用直接观察法。通过苯酚-硫酸反应和碘-碘化钾反应法鉴定其是否具备糖类化合物及淀粉的反应特性。采用硫酸-吡啶反应和茚三酮反应法鉴定其中是否含有糖醛酸和蛋白质。

### 2.2.4 碱提红枣多糖(AZJP)的紫外/可见吸收光谱分析

碱提红枣多糖(AZJP)样品充分溶解于超纯水中, 离心后取上清液, 用 Specord 50 型紫外/可见分光光度计扫描其在 200~600 nm 范围内的吸收光谱。

### 2.2.5 碱提红枣多糖(AZJP)的红外光谱分析

称取 6 mg 干燥碱提红枣多糖, 与 100 mg KBr 混合研磨后压片, 用 Nicolet 6700 傅立叶红外光谱仪在 4000~400  $\text{cm}^{-1}$  范围内进行扫描其红外吸收光谱。

### 2.2.6 碱提红枣多糖(AZJP)的抗氧化活性

分别采用光照核黄素法和 DPPH 法测定碱提红枣多糖(AZJP)对超氧阴离子自由基和 DPPH 自由基的清除作用, 并以水提红枣多糖(WZJP)为对照进行对比分析。测定过程与清除率的计算方法参见文献<sup>[21]</sup>。

### 2.2.7 碱提红枣多糖(AZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的测定

以对硝基苯基- $\beta$ -D-半乳糖吡喃糖苷(p-Nitrophenyl- $\beta$ -D-Galactopyranoside, PNPG)为底物分别测定碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用并进行对比分析。测定过程与抑制率的计算方法参见文献<sup>[17]</sup>。

### 2.2.8 碱提红枣多糖(AZJP)对透明质酸酶抑制活性的测定

以透明质酸钠为底物分别测定碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对透明质酸酶活性的抑制作用并进行对比分析。测定过程与抑制率的计算方法参见文献<sup>[17]</sup>。

### 2.2.9 数据处理

每一活性试验重复 3 次, 试验数据用 SPSS 19.0 软件进行统计处理和差异显著性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 碱提红枣多糖(AZJP)的基本理化性质

碱提红枣多糖(AZJP)与水提红枣多糖(WZJP)类似, 呈浅灰色至灰褐色, 在冷水中溶解缓慢, 易溶于热水, 但不溶于无水乙醇、甲醇、丙酮、乙醚、乙酸乙酯等有机溶剂。碱提红枣多糖(AZJP)对苯酚-硫酸反应呈阳性, 具备糖类化合物的反应特性。对硫酸-吡啶反应呈阳性, 说明其中含有糖醛酸。对碘-碘化

钾反应呈阴性, 说明其为非淀粉类多糖。对茚三酮反应呈阳性, 说明其中含有蛋白质。利用紫外/可见分光光度计扫描其吸收光谱(图 1)表明, 碱提红枣多糖(AZJP)吸收值在 200~600 nm 范围内呈下降趋势, 符合多糖的紫外-可见吸收特征, 但在 280 nm 处有吸收峰, 可能是其中含有的蛋白质所致。与水提红枣多糖(WZJP)相比, 碱提红枣多糖(AZJP)的红外吸收光谱除了具有多糖的特征吸收外, 1743  $\text{cm}^{-1}$  处的甲酯化羧基的-C=O-伸缩振动减弱, 而在 1611  $\text{cm}^{-1}$ 、1412  $\text{cm}^{-1}$ 、1237  $\text{cm}^{-1}$  处的振动增强(图 2)。这可能是由于在提取过程中, 糖醛酸经甲酯化的羧基在碱性条件下水解释放为羧基的缘故。

### 3.2 碱提红枣多糖(AZJP)的抗氧化活性

#### 3.2.1 碱提红枣多糖(AZJP)对超氧阴离子自由基的清除作用

图 3 所示为不同浓度的碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对光照核黄素产生的超氧阴离子自由基的清除效果。由图 3 可见, 在低浓度条件(0.5~1.25 mg/mL)下, 碱提红枣多糖(AZJP)对超氧阴离子自由基的清除作用显著高于水提红枣多糖(WZJP)( $P < 0.05$ ), 但当多糖浓度提高到 2.0 mg/mL 以上时, 两种红枣多糖提取物对超氧阴离子自由基的清除率不存在显著差异( $P > 0.05$ )。在试验条件下, 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对超氧阴离子自由基的清除率最高可达 98.08%和 96.16%, 半抑制剂量( $\text{IC}_{50}$ )分别为 0.78 mg/mL 和 0.91 mg/mL。

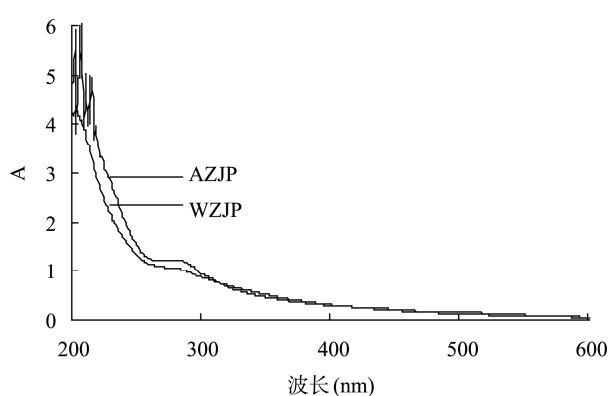


图 1 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)的紫外/可见吸收光谱

Fig. 1 UV/Vis spectrum of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharide extracted with alkaline solution and hot water

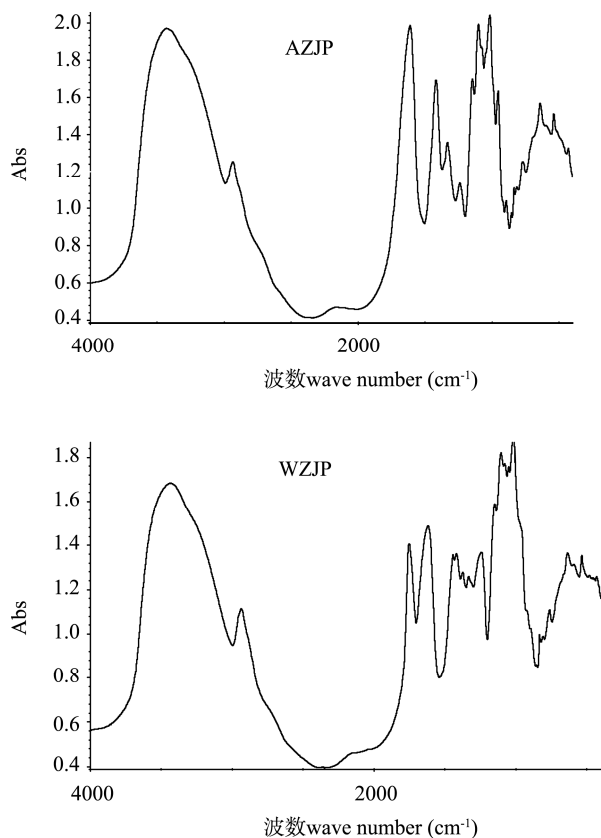


图2 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)的红外光谱

Fig. 2 The FT-IR spectrum of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharide extracted with alkaline solution and hot water

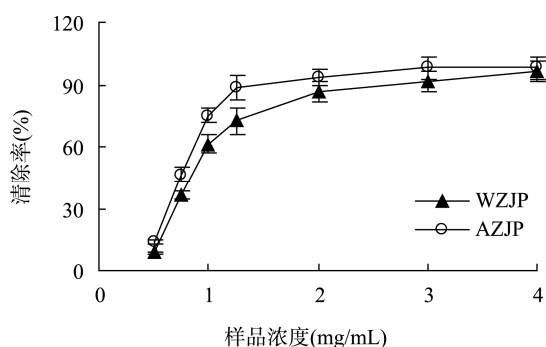


图3 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对超氧阴离子自由基的清除效果( $n=3$ )

Fig. 3 Superoxide anion radical scavenging effects of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharides extracted with alkaline solution and hot water ( $n=3$ )

### 3.2.2 碱提红枣多糖(AZJP)对 DPPH 自由基的清除作用

不同浓度的碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多

糖(WZJP)对 DPPH 自由基的清除率见图 4。由图 4 可见,碱提红枣多糖(AZJP)对 DPPH 自由基具有较强的清除作用,且在低浓度条件下呈现较好的量效关系。同浓度条件下,碱提红枣多糖(AZJP)对 DPPH 自由基的清除率明显高于水提红枣多糖(WZJP),而且随着浓度的提高,其差别更加显著,当多糖浓度提高到 1.0 mg/mL 以上时,碱提红枣多糖(AZJP)对 DPPH 自由基的清除率可较水提红枣多糖(WZJP)高出 90% 以上。在试验浓度范围(0.1~3 mg/mL)内,碱提红枣多糖(AZJP)对 DPPH 自由基的清除率最高可达 71.54%,而水提红枣多糖(WZJP)最高仅能达到 36.89%。

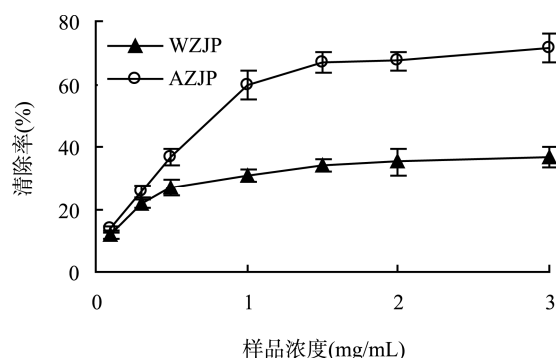


图4 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对 DPPH 自由基的清除效果( $n=3$ )

Fig. 4 DPPH scavenging effects of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharides extracted with alkaline solution and hot water ( $n=3$ )

### 3.3 碱提红枣多糖(AZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

图5、图6所示为不同浓度的碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果。由图可见,碱提红枣多糖(AZJP)具有极强的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性,浓度为 0.03 mg/mL 时其对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率即可达到 36.06%,超过了水提红枣多糖(WZJP)浓度为 11.5 mg/mL 时的抑制效果。当反应体系中多糖浓度为 0.15 mg/mL 时,碱提红枣多糖(AZJP) $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率达到 80% 以上,而且随着多糖浓度的提高,抑制率还会有所增加。试验条件下,碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用均呈现出一定的量效关系,两种多糖提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的最大抑制率分别为 93.31%和 53.35%,半抑制剂量( $IC_{50}$ )分别为 0.043 mg/mL 和 16.61 mg/mL。

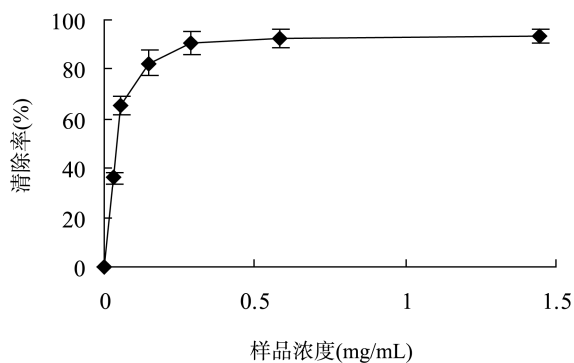


图 5 碱提红枣多糖(AZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制效果  
( $n=3$ )

Fig. 5 Inhibitory effect of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharides extracted with alkaline solution on  $\alpha$ -glucosidase ( $n=3$ )

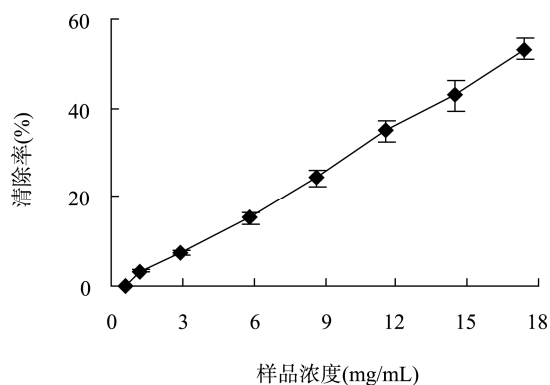


图 6 水提红枣多糖(WZJP)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的清除效果  
( $n=3$ )

Fig. 6 Inhibitory effect of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharides extracted with hot water on  $\alpha$ -glucosidase ( $n=3$ )

### 3.4 碱提红枣多糖(AZJP)对透明质酸酶的抑制作用

不同浓度的碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对透明质酸酶活性的抑制效果如图 7 所示。由图 7 可见, 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对透明质酸酶活性均具有较强的抑制作用, 并随着多糖浓度的增加而增强, 呈现出明显的量效关系。与水提红枣多糖(WZJP)相比, 碱提红枣多糖(AZJP)在低浓度时的抑制率相对较低, 但当浓度提高到 1.0 mg/mL 以上时, 碱提红枣多糖(AZJP)对透明质酸酶活性的抑制率超过水提红枣多糖(WZJP), 说明水提红枣多糖(WZJP)在低浓度条件下易于发挥作用, 而碱提红枣多糖(AZJP)则适合在较高浓度条件下作用更佳。试验条件下, 碱提红枣多糖(AZJP)和水

提红枣多糖(WZJP)对透明质酸酶活性的最大抑制率分别为 98.26% 和 93.55%, 半抑制剂量( $IC_{50}$ )分别为 0.45 mg/mL 和 0.095 mg/mL。

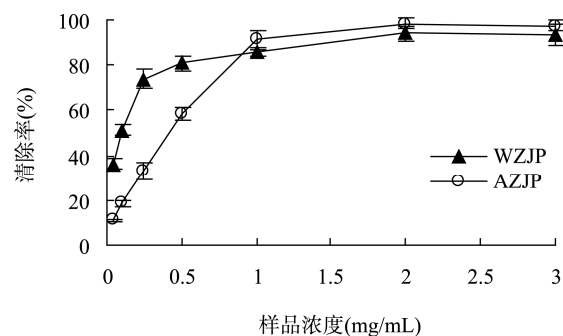


图 7 碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)对透明质酸酶的抑制效果( $n=3$ )

Fig. 7 Inhibitory effects of *Zizyphus jujuba* fruit polysaccharides extracted with alkaline solution and hot water on hyaluronidase ( $n=3$ )

## 4 讨论

多糖是一种大分子物质, 其生物活性主要由化学结构与空间构象决定, 不同的提取介质、不同的提取方法以及不同的提取条件都可能得到不同结构与活性的多糖组分。Wang 等<sup>[22]</sup>依次用热水、1%草酸铵溶液和 1.25 mol/L NaOH/0.05% NaBH<sub>4</sub> 溶剂系统提取桑黄(*Phellinus linteus*)菌丝体多糖, 获得 PL-W、PL-A 和 PL-N 3 种桑黄多糖提取物, 并对其理化特性和抗氧化活性进行研究, 发现 3 种桑黄多糖提取物都表现出较强的自由基清除和抗氧化活性, 但不同溶剂提取得到的多糖的理化性质、结构特性、抗氧化活性均存在一定差异, PL-A 和 PL-N 较 PL-W 表现出更强的抗氧化活性。窦佩娟等<sup>[23]</sup>首先采用传统水提方法得到水提茶树菇多糖(S-ACP), 然后再利用水提后剩余的残渣采用 NaOH 溶液提取得到碱提茶树菇多糖(J-ACP), 经纯化后对其形貌特征、溶液构象以及生物活性进行研究, 发现碱提茶树菇多糖(J-ACP)的抗氧化活性和抗肿瘤活性均显著高于水提茶树菇多糖(S-ACP), 碱液提取对茶树菇多糖结构具有一定的破坏作用, 并认为这种破坏作用可能是造成两种茶树菇多糖活性差异的原因之一。本研究通过对碱提红枣多糖(AZJP)和水提红枣多糖(WZJP)生物活性的比较研究, 发现碱提红枣多糖(AZJP)对超氧阴离子自由

基和 DPPH 自由基的清除作用均高于水提红枣多糖(WZJP), 并强力抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性, 其对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的半抑制剂量可较水提红枣多糖(WZJP)降低 99%以上, 说明碱提红枣多糖(AZJP)是一种优良的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂和自由基清除剂, 从而可以在糖尿病防治和预防人体氧化衰老等方面发挥作用。同时还发现, 碱提红枣多糖(AZJP)对透明质酸酶活性也具有较强的抑制作用, 但在低浓度条件下显著弱于水提红枣多糖(WZJP), 而碱提红枣多糖(AZJP)未检测出水提红枣多糖所具有的 $\alpha$ -淀粉酶抑制活性, 说明提取条件对红枣多糖生物活性的影响是多方面的。不同提取条件得到的多糖组成与结构不同, 所表现出的生物活性也不相同。关于碱提红枣多糖的组成与结构及其与生物活性的关系有待于进一步研究。

薛芳等<sup>[24]</sup>通过对比花生粕经不同处理后的扫描电镜图片, 发现碱液处理有助于破坏花生饼粕的细胞壁结构, 超声碱液提取比超声水提更有利于花生多糖从细胞内的溶出, 从而提高多糖得率。胡仲秋等<sup>[24]</sup>在对枸杞多糖提取工艺的研究中也证实碱提多糖得率可较传统水提工艺提高 1.59%。本研究将传统热水浸提与碱提工艺相结合, 先用温和的热水浸提法提取红枣多糖, 然后再采用对细胞壁结构破坏性较强的氢氧化钠溶液处理剩余的残渣, 使热水浸提无法溶出的红枣多糖进一步被提取出来, 既提高了红枣资源的利用率, 又获得了新的红枣多糖, 而且部分活性优于水提红枣多糖, 有助于进一步开发利用红枣多糖资源。但不同碱提工艺条件可能会对碱提红枣多糖的得率及生物活性产生影响, 因此有必要进一步对碱提工艺进行优化。

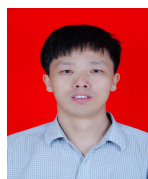
## 参考文献

- [1] 鲁周民, 刘坤, 闫忠心, 等. 枣果实营养成分及保健作用研究进展[J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 2017-2024.  
Lu ZM, Liu K, Yan ZX, *et al.* Research status of nutrient component and health functions of *Ziziphus jujuba* Mill. [J]. Acta Horti Sin, 2010, 37(12): 2017-2024.
- [2] Gao QH, Wu CS, Wang M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61: 3351-3363.
- [3] 张耀雷, 黄立新, 张彩虹, 等. 红枣多糖的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 349-353.  
Zhang YL, Huang LX, Zhang CH, *et al.* Research progress in *Ziziphus jujube* polysaccharides [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(23): 349-353.
- [4] Zhao ZH, Li J, Wu XM, *et al.* Structures and immunological activities of two pectic polysaccharides from the fruits of *Ziziphus jujuba* Mill. cv. jinsixiaozao Hort [J]. Food Res Int, 2006, 39(8): 917-923.
- [5] Li JW, Shan L, Liu YF, *et al.* Screening of a functional polysaccharide from *Ziziphus Jujuba* cv. *Jinsixiaozao* and its property [J]. Int J Biol Macromol, 2011, 49(3): 255-259.
- [6] Chi AP, Kang CZ, Zhang Y, *et al.* Immunomodulating and antioxidant effects of polysaccharide conjugates from the fruits of *Ziziphus jujube* on chronic fatigue syndrome rats [J]. Carbohydr Poly, 2015, 122: 189-196.
- [7] Wang DY, Zhao Y, Jiao YD, *et al.* Antioxidative and hepatoprotective effects of the polysaccharides from *Ziziphus jujube* cv. *Shaanbeitanzao* [J]. Carbohydr Poly, 2012, 88: 1453-1459.
- [8] Chang SC, Hu BY, Chen BH. Structural characterization of polysaccharides from *Ziziphus jujuba* and evaluation of antioxidant activity [J]. Int J Biol Macromol, 2010, 47(4): 445-453.
- [9] Li J, Liu Y, Fan L, *et al.* Antioxidant activities of polysaccharides from the fruiting bodies of *Ziziphus jujuba* cv. *Jinsixiaozao* [J]. Carbohydr Poly, 2011, 84: 390-394.
- [10] 赵智慧. 枣水溶性多糖的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.  
Zhao ZH. Studies on the water soluble polysaccharides from Chinese jujube [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2006.
- [11] 罗依扎·瓦哈甫, 骆新, 谢飞, 等. 红枣多糖对小鼠血糖及血清胰岛素水平影响的初步研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 369-371, 374.  
Luoyizha WHF, Luo X, Xie F, *et al.* Influence of jujube polysaccharide on blood glucose and serum insulin of mice [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(22): 369-371, 374.
- [12] Zhao Y, Yang XB, Ren DY, *et al.* Preventive effects of jujube polysaccharides on fructose-induced insulin resistance and dyslipidemia in mice [J]. Food Funct, 2014, 5: 1771-1778.
- [13] Liu GP, Liu XQ, Zhang YC, *et al.* Hepatoprotective effects of polysaccharides extracted from *Ziziphus jujube* cv. *Huanghetanzao* [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 76: 169-175.
- [14] 张钟, 吴茂东. 大枣多糖对小鼠化学性肝损伤的保护作用和抗疲劳作用[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(1): 94-97.  
Zhang Z, Wu MD. Protective effect of jujube dates

- polysaccharide on chemical liver injury in mice and antifatigue effect [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2006, 29(1): 94–97.
- [15] 邵长专, 唐刚. 大枣多糖对慢性疲劳综合症大鼠的作用效果[J]. *食品科学*, 2015, 36(1): 205–208.
- Shao CZ, Tang G. Preventive effect of jujube polysaccharide on chronic fatigue syndrome in rats [J]. *Food Sci*, 2015, 36(1): 205–208.
- [16] 王娜, 冯艳风, 范会平, 等. 大枣粗多糖体外抗凝血活性的差异化研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(12): 34–39.
- Wang N, Feng YF, Fan HP, *et al.* Study on the difference of anticoagulant activity *in vitro* of crude polysaccharide of jujube [J]. *J Chin Ins Food Sci Technol*, 2013, 13(12): 34–39.
- [17] 焦中高, 刘杰超, 王思新, 等. 羧甲基化红枣多糖制备及其活性[J]. *食品科学*, 2011, 32(17): 176–180.
- Jiao ZG, Liu JC, Wang SX, *et al.* Carboxymethylation of polysaccharide from *Zizyphus jujuba* fruit and its activity [J]. *Food Sci*, 2011, 32(17): 176–180.
- [18] 姜元荣, 姚惠源, 陈正行, 等. 碱溶性米糠多糖的提取及其免疫调节功能研究[J]. *中国粮油学报*, 2004, 19(6): 1–3, 7.
- Jiang YR, Yao HY, Chen ZX, *et al.* Extraction of alkali-soluble rice bran polysaccharide (ASRBP) and its immunity effect [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2004, 19(6): 1–3, 7.
- [19] 吴琼, 郑成, 宁正祥, 等. 碱溶性银耳粗多糖的提取及其清除自由基作用的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(6): 153–155.
- Wu Q, Zheng C, Ning ZX, *et al.* Study on extraction and antioxidant effects of crude alkali-soluble tremella polysaccharide [J]. *Food Sci*, 2007, 28(6): 153–155.
- [20] 陈小强, 周瑛, 叶阳, 等. 碱溶性茶多糖的提取及其分析[J]. *应用化学*, 2008, 25(12): 1496–1498.
- Chen XQ, Zhou Y, Ye Y, *et al.* Extraction of alkali-soluble tea polysaccharides [J]. *Chin J Appl Chem*, 2008, 25(12): 1496–1498.
- [21] 焦中高, 刘杰超, 周红平, 等. 硫酸化修饰对红枣多糖自由基和亚硝基清除活性的影响[J]. *中国食品学报*, 2007, 7(2): 17–22.
- Jiao ZG, Liu JC, Zhou HP, *et al.* Effects of sulfating modification on scavenging activity polysaccharide free radical and nitroso of *Zizyphus jujube* fruit [J]. *J Chin Ins Food Sci Technol*, 2007, 7(2): 17–22.
- [22] Wang ZB, Pei JJ, Ma HL, *et al.* Effect of extraction media on preliminary characterizations and antioxidant activities of *Phellinus linteus* polysaccharides [J]. *Carbohydr Poly*, 2014, 109:45–55.
- [23] 窦佩娟, 张静, 吕青青, 等. 碱提工艺对茶树菇多糖形貌特征和构象及其生物活性的影响[J]. *生物加工过程*, 2013, 11(4): 22–30.
- Dou PJ, Zhang J, Lv QQ, *et al.* Morphology and conformation of polysaccharide from *Agrocybe aegerita* and its antioxidant activity [J]. *Chin J Bioproc Eng*, 2013, 11(4): 22–30.
- [24] 薛芳, 颜瑞, 王承明. 超声辅助碱提取花生多糖的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(8): 158–163.
- Xue F, Yan R, Wang CM. Study on ultrasonic wave-assisted alkali extraction of polysaccharides from peanut meal [J]. *Food Sci*, 2008, 29(8): 158–163.
- [25] 胡仲秋, 刘建党, 王保玲. 枸杞多糖的碱液提取工艺研究[J]. *西北农林科技大学学报*, 2008, 36(10): 158–163.
- Hu ZQ, Liu JD, Wang BL. Research on extraction technology of *Lycium barbarum* polysaccharides by the alkaline solution [J]. *J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed)*, 2008, 36(10): 158–163.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



焦中高, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品营养与保鲜加工。

E-mail: jiaozhonggao@caas.cn