

# 不同品种黄麻叶多糖的理化特征及抗氧化活性研究

冯湘沅,成莉凤,谢纯良,杨琦,刘志远,郑科,段盛文\*,彭源德\*

中国农业科学院麻类研究所,长沙 410205

**摘要:**为提高黄麻的综合开发价值,利用热水浸提-醇沉法提取不同品种黄麻叶多糖,并对多糖的含量、结构、单糖组成、分子量以及羟基自由基、超氧阴离子自由基、DPPH 自由基的清除率分别采用硫酸-苯酚法、FT-IR 光谱法、水解衍生-HPLC 法、凝胶渗透色谱法、水杨酸法、邻苯三酚法、二苯代苦味酰肼自由基法进行理化特征及抗氧化活性进行研究。结果表明:圆果种黄麻叶多糖的含量为 80.92 mg/g,单糖组成主要为半乳糖(27.06%),分子量为 59.87 kDa;长果种黄麻叶多糖的含量为 60.77 mg/g,单糖组成主要为葡萄糖(44.55%),分子量为 102.54 kDa;红外光谱显示这两种黄麻叶多糖结构出现相似吸收峰,均具有多糖类物质的典型特征;在多糖浓度为 1 mg/mL 时,圆果种黄麻叶多糖对羟基自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基清除率分别为 46.23%、67.30%、75.02%,长果种黄麻叶多糖相应清除率分别为 41.81%、61.11%、66.81%;圆果种黄麻叶多糖对自由基清除能力的  $EC_{50}$  均低于长果种黄麻叶多糖。两种黄麻叶多糖具有一定的抗氧化能力,是潜在的抗氧化活性物质药用资源。

**关键词:**黄麻叶;多糖;理化特征;抗氧化活性

中图分类号:Q946.3

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2020)8-1278-07

DOI:10.16333/j.1001-6880.2020.8.002

## Study on the physicochemical characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from different varieties of jute leaves

FENG Xiang-yuan, CHENG Li-feng, XIE Chun-liang,  
YANG Qi, LIU Zhi-yuan, ZHENG Ke, DUAN Sheng-wen\*, PENG Yuan-de\*

*Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410205, China*

**Abstract:** In order to improve the comprehensive exploitation value of jute, polysaccharides were extracted from different varieties of jute leaves with hot water extraction and alcohol sedimentation. Then, the contents, structures, monosaccharide compositions and molecular weights of polysaccharides were analyzed by phenol-sulfuric acid reaction, fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), derivatisation-HPLC and gel permeation chromatography. The scavenging activities of hydroxyl, DPPH and superoxide anion radicals were analyzed by salicylic acid method, pyrogallol autoxidation method and DPPH elimination method. Results showed that the content, monosaccharide composition and molecular weight of polysaccharides of *Corchorus capsularis* were 80.92 mg/g, galactose (27.06%) and 59.87 kDa, respectively; the content, monosaccharide composition and molecular weight of polysaccharides of *Corchorus olitorius* were 60.77 mg/g, glucose (44.55%) and 102.54 kDa, respectively. In addition, the FT-IR spectra indicated that absorption peaks of the structures of polysaccharides of *C. capsularis* and *C. olitorius* were similar with each other and both consistent with the typical characteristics of polysaccharides. When the concentration of polysaccharides was 1 mg/mL, the scavenging activities of polysaccharides of *C. capsularis* on hydroxyl, DPPH and superoxide anion radicals were 46.23%, 67.30% and 75.02%, respectively; while the scavenging activities of polysaccharides of *C. olitorius* on hydroxyl, DPPH and superoxide anion radicals were 41.81%, 61.11% and 66.81%, respectively; The radical scavenging activities ( $EC_{50}$ ) of polysaccharides of *C. capsularis* were all lower than that from *C. olitorius*. Polysaccharides of *C. capsularis* and *C. olitorius* both have certain antioxidant abilities and are potential medicinal resources for antioxidant substances.

收稿日期:2020-02-11 接受日期:2020-07-09

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IBFC08);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-16-E22);国家自然科学基金(31871675, 31700438)

\*通信作者 Tel:86-731-88998523; E-mail: ibfcpyd313@126.com, hunandsw@163.com

**Key words:** jute leaves; polysaccharides; physicochemical characteristics; antioxidant activities

黄麻属于一年生草本椴树科植物,原产于东南亚,约有 100 多个品种<sup>[1]</sup>,其叶的形状为卵圆状披针形或披针形,含有黄麻甙、 $\beta$ -谷甾醇、 $\beta$ -谷甾醇 D-葡萄糖甙、黄麻酮及单糖类组分等化学成分。据《本草纲目拾遗》、《陆川本草》等记载:具有理气止血、排脓生肌等功能<sup>[2]</sup>。国内外学者不断地深入研究黄麻品种、营养等,Li 等<sup>[3]</sup>进行了菜用黄麻嫩梢营养与分析研究,Lin 等<sup>[4]</sup>进行了菜用黄麻新品种福农 1 号的选育研究;Phuwapraisirisan 等<sup>[5]</sup>研究了长蒴黄麻苷 A、B 的降血糖作用,Yamazaki 等<sup>[6]</sup>研究了长蒴黄麻叶水提取物的高粘性水胶体的成分等,但是,针对不同品种黄麻叶多糖的结构、分子量以及抗氧化活性等系统研究鲜见报道。

人体在生命活动代谢过程中会不断地产生自由基,而过量自由基与许多疾病的发生有着密不可分的联系,如:羟基自由基、超氧阴离子自由基、DPPH 自由基等异常过多能破坏细胞膜,干扰细胞的新陈代谢;加快肌体衰老,引发心脑血管疾病;侵蚀机体组织,导致各种非菌性炎症等,对人体健康造成严重的影响<sup>[7,8]</sup>。多糖具有抗炎、抗衰老、抗凝血、抗溃疡、抗肿瘤及促进免疫等功效<sup>[9]</sup>。近些年来,随着人们对身体健康保护意识逐渐增强,多糖作为保健品的主要成分备受人们青睐。

由于多糖具有大量的羟基,遇水容易溶出,而乙醇又能使多糖沉淀,实验安全且易操作,故本文采用热水浸提-醇沉法提取不同品种黄麻叶中多糖,并针对多糖的含量、结构、分子量、单糖组成及抗氧化活性进行比较分析,旨在为黄麻的种植及功能性保健产品的综合开发利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

原料:采摘于中国农业科学院麻类研究所长沙实验基地种植的不同品种黄麻叶(苗后天数均为 28 天),分别为:1. 圆果种黄麻叶(品系名称:英德深红皮,特征为红茎、绿叶、叶脉较稀、无光泽);2. 长果种黄麻叶(品系名称:中黄麻 4 号,特征为绿茎、绿叶、叶脉较密、有光泽)。

### 1.2 主要仪器与试剂

仪器:高效液相色谱仪(Dionex Ultimate 3000),色谱柱(Xtimate C<sub>18</sub> 4.6 × 200 mm, 5  $\mu$ m),粉碎机(天津泰斯特仪器有限公司, FZ102),恒温振荡器

(金坛市天竟实验仪器厂, SHZ-82 型),全波长酶标分析仪(Thermo Fisher, multiskan Go 型),凝胶渗透色谱仪(Agilent 1100, Agilent Technologies, USA), Nicolet iS 10 光谱仪(Thermo Fisher Scientific, USA),离心机(SiGMA, 3k15 型)。

试剂:无水乙醇、FeSO<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、Tris、二苯代苦味酰肼自由基、水杨酸、邻苯三酚、L-抗坏血酸(V<sub>c</sub>)、三氯甲烷(国药集团化学试剂有限公司产品,分析纯);甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、氨基葡萄糖、氨基半乳糖、葡萄糖(美国 Sigma 公司)。

### 1.3 多糖样品的制备<sup>[10]</sup>

将黄麻叶洗净,50  $^{\circ}$ C 烘干,粉碎,过 45 目筛(平均粒径为  $0.35 \pm 0.02$  mm);精确称取 5.0 g 黄麻叶粉末于 500 mL 三角瓶中,加 150 mL 超纯水,于 60  $^{\circ}$ C、150 rpm 恒温水浴振荡器加热振荡 5 h 后,冷却至室温;再移入离心管于 8 000 rpm 离心 10 min,收集上清液,即得提取液。

取 100 mL 上清液加入 400 mL 无水乙醇,搅拌,静置,弃溶液,收集黄色絮状物,干燥得多糖固形物。

样品:精确称取一定量的多糖固形物分别配制成所需不同浓度溶液。

### 1.4 测定方法

#### 1.4.1 多糖含量测定

多糖含量参照 Yu 等<sup>[11]</sup>采用的硫酸-苯酚法测定进行。

标准溶液配制:精确称取 100 mg 葡萄糖(105  $^{\circ}$ C 干燥恒重)于 100 mL 容量瓶中溶解,定容至刻度,摇匀,即得浓度为 1 mg/mL 葡萄糖标准溶液,适度稀释不同浓度溶液用作标准曲线测定。

提取液多糖含量的测定方法同上述标准溶液的测定。

多糖浓度(mg/mL)按葡萄糖标准曲线回归方程进行计算;多糖质量(mg) = 多糖浓度 × 稀释倍数 × 总体积;多糖含量(mg/g) = 多糖质量/粉末质量。

#### 1.4.2 FT-IR 光谱分析

取 1mg 样品与 100 mg KBr(干燥)混合,放入玛瑙研钵中研磨 10 min 后,压入盘中,用 Nicolet iS 10 光谱仪在 4 000 ~ 400  $\text{cm}^{-1}$  范围进行扫描。

#### 1.4.3 单糖组成

##### 1.4.3.1 HPLC 检测条件

流动相:V(乙腈):V(0.05 mol/L 磷酸二氢钾

溶液,PH为6.70)=17:83;流速:1.0 mL/min;柱温:30℃;紫外检测波长:250 nm;进样量:20 μL。

#### 1.4.3.2 衍生方法

标准品溶液配制:精密称取适量甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、氨基葡萄糖、葡萄糖、氨基半乳糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖、岩藻糖对照品,加水溶解稀释至每1 mL中各含50 μg的混合标准对照溶液。

标准品溶液衍生步骤:精确吸取250 μL标准品溶液到5 mL EP管中,加入250 μL NaOH(0.6 mol/L),500 μL PMP(0.4 mol/L)-甲醇,70℃反应1 h,冷却10 min;加入500 μL HCl(0.3 mol/L)中和,再加入1 mL 三氯甲烷漩涡1 min,3 000 rpm离心10 min,收集上清(萃取重复3次),上清液用于HPLC分析。

样品水解:精确称取适量样品至5 mL 安培瓶中,加入2.0 mL TFA(2 mol/L)于5 mL 安瓿中,封管,110℃酸解8 h,取出挥干TFA,加2.0 mL水复溶。

样品溶液衍生:参照标准品溶液衍生,将样品溶液衍生后稀释10倍用于HPLC分析。

#### 1.4.4 多糖分子量的测定

使用PL aquagel-OH Mixed 8 mm 凝胶渗透色谱仪测定多糖分子量。

### 1.5 抗氧化活性测定

#### 1.5.1 自由基清除率的测定

羟基自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基的清除率均分别参照 Huang 等<sup>[12]</sup>测定中采用的水杨酸法、二苯代苦味酰肼自由基、邻苯三酚法法进行,同时以V<sub>c</sub>(强抗氧化剂)作为对照。

#### 1.5.2 EC<sub>50</sub>值

EC<sub>50</sub>值是指自由基清除率为50%时所需样品的浓度,该值根据回归方程计算得出。EC<sub>50</sub>值越低,抗氧化活性越高<sup>[13]</sup>。

### 1.6 数据处理方法

实验数据均取平行3次测量值的平均值和标准偏差,同时采用Excel软件作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 多糖的理化特征分析

#### 2.1.1 多糖含量测定

采用苯酚-硫酸法对不同浓度葡萄糖溶液测定(图1),以浓度(x)为横坐标和吸光度(y)为纵坐标绘制标准曲线回归方程为 $y = 11.511x + 0.0333$ , $R^2 = 0.9966$ 。根据标准曲线回归方程计算出的圆果

种黄麻叶、长果种黄麻叶提取液中多糖含量分别为80.92、60.77 mg/g,圆果种黄麻叶多糖含量高于长果种黄麻叶多糖。

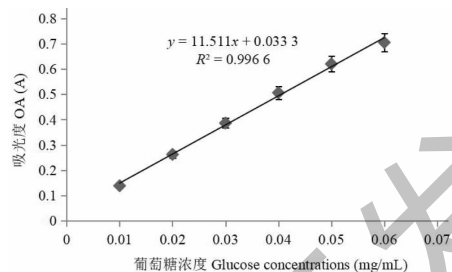


图1 葡萄糖标准曲线

Fig. 1 Standard curve of glucose

#### 2.1.2 FT-IR 光谱分析

如图2所示,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖分别在 $3283\text{ cm}^{-1}$ 和 $3264\text{ cm}^{-1}$ 处出现的吸收峰是属于多糖分子内或分子间-OH的拉伸振动特征,这主要是由多糖苷的延伸振动引起的;两者同时在 $1403\text{ cm}^{-1}$ 处出现的吸收峰表示为C-O伸缩振动;分别在 $1036\text{ cm}^{-1}$ 和 $1026\text{ cm}^{-1}$ 处出现的吸收峰,表示是由消旋引起的吡喃糖环的拉伸振动<sup>[14]</sup>。这些吸收峰说明两种黄麻叶多糖通过FT-IR光谱在 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 下测定具有非常相似的吸收带,且含有葡聚糖的典型红外光谱信号,均属于多糖类物质的典型特征。

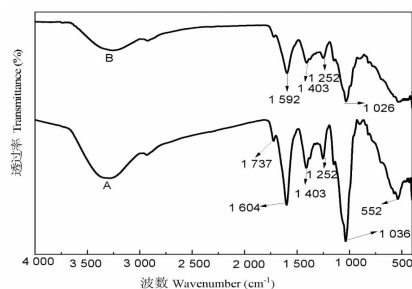


图2 不同品种黄麻叶多糖的红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectra of polysaccharides from jute leaves of different varieties

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖。

Note: A. Polysaccharides of *C. capsularis*; B. Polysaccharides of *C. oltorius*.

#### 2.1.3 分子量测定

经PL aquagel-OH Mixed 8 mm 凝胶渗透色谱分析仪检测获得不同品种黄麻叶多糖GPC色谱图见图3,圆果种黄麻叶多糖出峰保留时间分别在9.791、12.842、15.618 min时,峰面积占比分别为1.88%、1.84%、96.28%;长果种黄麻叶多糖出峰保

留时间分别在 9.784、12.823、15.650 min 时,峰面积占比分别为 3.55%、4.46%、91.99%,根据保留时间、峰面积换算,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖的平均摩尔分子量分别为 59.87 kDa 和 102.54 kDa。结果表明,两种不同黄麻叶多糖样品的出峰保留时间、峰面积占比存在着差异,说明分子量有差别。

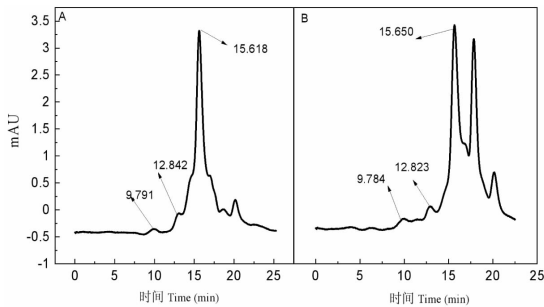


图3 不同品种黄麻叶多糖的 GPC 色谱图

Fig. 3 GPC chromatogram of polysaccharides from jute leaves of different varieties

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖。Note:A. Polysaccharides of *C. capsularis*;B. Polysaccharides of *C. olitorius*.

#### 2.1.4 单糖组成分析

样品经水解衍生、HPLC 法分析检测,对照标准品获得水解产物的单糖组成色谱图以及数据由图 4、表 1 可知:除氨基半乳糖外,两种样品多糖均含有甘露糖、半乳糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、阿拉伯糖、岩藻糖等 11 种单糖成分。其中圆果种黄

麻叶多糖中含量最多的为半乳糖(质量分数为 27.06%),其次甘露糖(质量分数为 18.48%),但氨基半乳糖含量未检测到;而长果种黄麻叶多糖中含量最高的为葡萄糖(质量分数为 44.55%),其次半乳糖(质量分数为 20.24%),但出现有氨基半乳糖(质量分数为 0.03%),含量最低;圆果种黄麻叶多糖中葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸的含量分别较长果种黄麻叶多糖高 6.47% 和 0.50%。

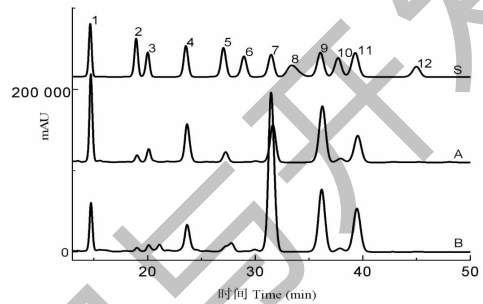


图4 不同品种黄麻叶多糖的单糖组成色谱图

Fig. 4 Chromatogram of monosaccharide compositions of polysaccharides from jute leaves of different varieties

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖;S. 标准品:1. 甘露糖;2. 核糖;3. 鼠李糖;4. 葡萄糖醛酸;5. 半乳糖醛酸;6. 氨基葡萄糖;7. 葡萄糖;8. 氨基半乳糖;9. 半乳糖;10. 木糖;11. 阿拉伯糖;12. 岩藻糖。Note: A. Polysaccharides of *C. capsularis*; B. Polysaccharides of *C. olitorius*; S. Standards: 1. Mannose; 2. Ribose; 3. Rhamnose; 4. Glucuronic acid; 5. Galacturonic acid; 6. Glucosamine; 7. Glucose; 8. Aminogalactose; 9. Galactose; 10. Xylose; 11. Arabinose; 12. Fucose.

表 1 不同品种黄麻叶多糖的单糖组成测定

Table 1 Monosaccharide compositions of polysaccharides from jute leaves of different varieties

单糖组成 Monosaccharide composition	质量百分比 Mass percent (%)	
	圆果种黄麻叶多糖 Polysaccharide of <i>C. capsularis</i>	长果种黄麻叶多糖 Polysaccharide of <i>C. olitorius</i>
甘露糖 Mannose	18.48	6.70
核糖 Ribose	1.76	0.62
鼠李糖 Rhamnose	3.77	0.95
葡萄糖醛酸 Glucuronic acid	13.41	6.94
半乳糖醛酸 Galacturonic acid	3.77	3.27
氨基葡萄糖 Glucosamine	0.06	0.04
葡萄糖 Glucose	15.55	44.55
氨基半乳糖 Aminogalactose	-	0.03
半乳糖 Galactose	27.06	20.24
木糖 Xylose	1.98	1.21
阿拉伯糖 Arabinose	14.02	15.32
岩藻糖 Fucose	0.14	0.14

## 2.2 抗氧化活性测定

### 2.2.1 清除羟基自由基能力

由图5可知,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖对羟基自由基清除率均随浓度的增加而增大,但圆果种黄麻叶多糖的羟基自由基清除率均高于长果种黄麻叶多糖。如:当多糖浓度为1 mg/mL时,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖对羟基自由基清除率分别为46.23%、41.81%,圆果种黄麻叶多糖的清除率较长果种黄麻叶多糖提高4.42%。

EC<sub>50</sub>值计算结果由表2可看出,圆果种黄麻叶多糖对羟基自由基清除能力的EC<sub>50</sub>值(1.14 mg/mL)小于长果种黄麻叶多糖的EC<sub>50</sub>值(1.32 mg/mL)。从多糖浓度在0.2~1.4 mg/mL范围来看,圆果种黄麻叶多糖对羟基自由基清除能力稍强于长果种黄麻叶多糖,但两者多糖其清除能力均较V<sub>C</sub>(强抗氧化剂)弱。

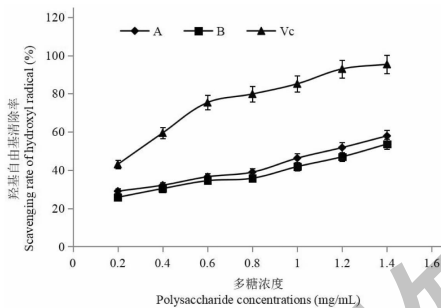


图5 不同品种黄麻叶多糖和V<sub>C</sub>对羟基自由基清除能力

Fig. 5 The scavenging ability of polysaccharides from jute leaves of different varieties and V<sub>C</sub> on hydroxyl free radicals

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖。Note:

A. Polysaccharides of *C. capsularis*; B. Polysaccharides of *C. oltorius*.

### 2.2.2 清除DPPH自由基能力

从图6可得,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖和V<sub>C</sub>对DPPH自由基清除率分别由0.2 mg/mL时36.18%、27.2%、88.58%增加到1 mg/mL时67.30%、61.11%、93.25%,其清除率均与浓度呈正相关。从整体变化规律来看,其清除率都呈上升趋势,但V<sub>C</sub>其清除率最高,圆果种黄麻叶多糖次之,长果种黄麻叶多糖最低。

EC<sub>50</sub>值结果(表2)表明,圆果种黄麻叶多糖对DPPH自由基清除能力(EC<sub>50</sub>值0.43 mg/mL)较长果种黄麻叶多糖(EC<sub>50</sub>值0.69 mg/mL)强。

### 2.2.3 清除超氧阴离子自由基能力

由图7可看出,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖对超氧阴离子自由基清除率均随浓度的增加

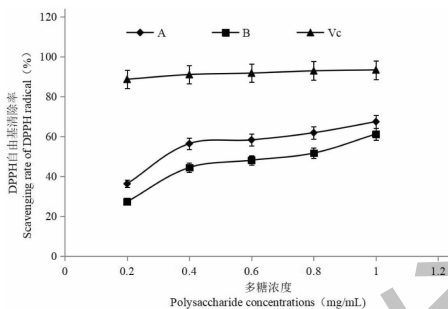


图6 不同品种黄麻叶多糖和V<sub>C</sub>对DPPH自由基清除能力

Fig. 6 The scavenging ability of polysaccharides from jute leaves of different varieties and V<sub>C</sub> on DPPH free radicals

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖。Note:

A. Polysaccharides of *C. capsularis*; B. Polysaccharides of *C. oltorius*.

而逐渐增强,但V<sub>C</sub>其清除率增大趋势较缓。当浓度为1 mg/mL时,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶

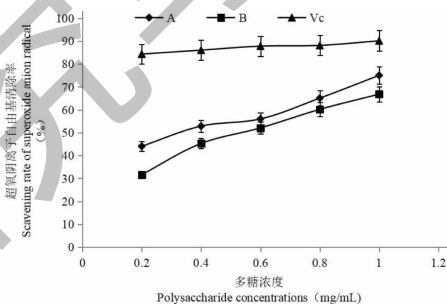


图7 不同品种黄麻叶多糖和V<sub>C</sub>对超氧阴离子自由基清除能力

Fig. 7 The scavenging ability of polysaccharides from jute leaves of different varieties and V<sub>C</sub> on superoxide anion radicals

注:A. 圆果种黄麻叶多糖;B. 长果种黄麻叶多糖。Note:

A. Polysaccharides of *C. capsularis*; B. Polysaccharides of *C. oltorius*.

多糖和V<sub>C</sub>对其清除率分别为75.02%、66.81%、90.11%。

EC<sub>50</sub>值(表2)结果显示,圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖对超氧阴离子自由基清除能力的EC<sub>50</sub>值分别为0.37、0.57 mg/mL,结果表明,圆果种黄麻叶多糖对超氧阴离子自由基清除能力明显优于长果种黄麻叶多糖,但与V<sub>C</sub>对照相比,两者多糖对其清除能力均较弱。

## 3 讨论与结论

本研究是在固液比1:30、温度60℃、转速150 rpm恒温水浴振荡器加热振荡5 h条件下,利用醇沉法对不同品种黄麻叶(苗后天数均为28天)提取多糖,采用硫酸-苯酚法测得圆果种黄麻叶多糖、长

表2 不同品种黄麻叶多糖抗氧化活性的 EC<sub>50</sub> 值比较Table 2 The radical scavenging activities (EC<sub>50</sub>) of polysaccharides extracted from jute leaves of different varieties

样品 Sample	EC <sub>50</sub> (mg/mL)		
	羟基自由基清除能力 Hydroxyl radicals	DPPH 自由基清除能力 DPPH radicals	超氧阴离子自由基清除能力 Superoxide anion radicals
圆果种黄麻叶多糖 Polysaccharides of <i>C. capsularis</i>	1.14 ± 0.016 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.019 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.018 <sup>b</sup>
长果种黄麻叶多糖 Polysaccharides of <i>C. olitorius</i>	1.32 ± 0.017 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.016 <sup>c</sup>	0.57 ± 0.011 <sup>c</sup>
V <sub>C</sub>	0.23 ± 0.003 <sup>a</sup>	(2.98 ± 2.9) × 10 <sup>-7a</sup>	(8.12 ± 3.99) × 10 <sup>-6a</sup>

注:表中 EC<sub>50</sub> 值指自由基清除率为 50% 时所对应样品或对照的质量浓度,同一列不同字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 每个值为平均值 ± SD ( $n = 3$ )。

Note: The EC<sub>50</sub> values in the table refer to the mass concentrations of the corresponding samples or control when the radical scavenging activities are 50%. The different letters in the same column indicate the differences are significant ( $P < 0.05$ ), and each value is mean ± SD ( $n = 3$ ).

果种黄麻叶多糖的含量分别为 80.92、60.77 mg/g; 凝胶渗透色谱检测相应平均摩尔分子量分别为 59.87、102.54 kDa; 红外光谱显示圆果种黄麻叶和长果种黄麻叶的多糖结构出现有极其相似的吸收峰, 均具有多糖类物质的典型结构; 水解衍生-HPLC 法测得圆果种黄麻叶多糖和长果种黄麻叶多糖均含有半乳糖、甘露糖、核糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸等 11 种单糖, 其中圆果种黄麻叶多糖是以半乳糖(质量分数为 27.06%)、甘露糖(质量分数为 18.48%)为主要单糖成分; 长果种黄麻叶多糖则是以葡萄糖(质量分数为 44.55%)、半乳糖(质量分数为 20.24%)为主要单糖成分, 但圆果种黄麻叶多糖中葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸的含量分别较果种黄麻叶多糖高 6.47% 和 0.50%。通过结果表明, 圆果种黄麻叶多糖的含量高于长果种黄麻叶多糖, 两种多糖理化特征存在着差异, 这些差异的产生可能主要与原料品种有关, 说明不同品种黄麻叶中含有不同的多糖类物质。

多糖作为提取物, 许多研究均表明多糖具有较强的抗氧化活性, 如: Bi 等<sup>[15]</sup>、Jiao 等<sup>[16]</sup> 及 Ni 等<sup>[17]</sup> 分别研究报道了真菌多糖、甜茶叶多糖及黄芪多糖的抗氧化活性, 在质量浓度 1mg/mL 时, 其相应 DPPH 自由基清除率为 55%、63.7% 和 72.9%。而本研究结果显示, 圆果种黄麻叶多糖和长果种黄麻叶多糖在浓度 1mg/mL 时, 其 DPPH 自由基清除率分别为 67.30% 和 61.11%, 与文献<sup>[15,17]</sup> 相比, 圆果种叶多糖的 DPPH 自由基清除能力高于真菌多糖和甜茶叶多糖, 但较黄芪多糖低。本研究中的抗氧化活性结果显示, 圆果种黄麻叶多糖、长果种黄麻叶多糖均能对羟基自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基有着不同程度的清除效果, 且清除率与多糖浓度

剂量呈正相关, 但圆果种黄麻叶多糖对自由基清除能力的 EC<sub>50</sub> 值均低于长果种黄麻叶多糖。表明两种黄麻叶多糖具有一定的抗氧化能力, 是有待于开发的抗氧化活性物质。

在本研究条件下, 圆果种黄麻叶多糖抗氧化活性较长果种黄麻叶多糖强, 可能与多糖的糖醛酸类单糖含量高低以及分子量大小有关, 这一结论与文献<sup>[18,20]</sup> 报道相吻合, 可为黄麻叶多糖的深入研究和资源开发提供一定的参考, 但针对有效成分的最佳提取方法与种植最适采摘时间的关系等有待于进一步探讨。

#### 参考文献

- 1 Yao JY, Zhang LW, Zhao J, et al. Evaluation and characteristic analysis of SSRs from the whole genome of jute (*Corchorus capsularis*) [J]. Acta Agron Sin (作物学报), 2019, 45 (1): 10-17.
- 2 Cao LR, Nutrients determination and technology research of high added value production of vegetable jute (*Corchorus olitorius* L.) rich in selenium and calcium [M]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (福建农林大学), 2012.
- 3 Li Y, Gong YC, Chen JQ, et al. Determination and analysis of nutritional components in fresh leaves of vegetable jute [J]. China Veget (中国蔬菜), 2010 (14): 67-70.
- 4 Lin PQ, Qi JM, Lin LH, et al. A new vegetable jute variety, Funong No. 1 [J]. China Veget (中国蔬菜), 2010 (13): 35-35.
- 5 Phuwapraisirisan P, Puksasookd T, Kokpol U, et al. Corchorusides A and B, new flavonol glycosides as  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from the leaves of corchorus olitorius [J]. Tetrahedron Lett, 2009, 50: 5864-5867.
- 6 Yamazaki E, Kurita O, Matsumura Y. High viscosity of hydrocolloid from leaves of *Corchorus olitorius* L. [J]. Food Hydro-

- colloid, 2008, 23: 655-660.
- 7 Zhu ZP, LI N. Antioxidant properties of polysaccharides from *Phellinus igniarius* *in vitro* [J]. Food Sci (食品科学), 2011, 32(19): 92-93.
  - 8 Wang H, Cao J, Zhai L J, et al. Investigation on the anti-oxidative activity of kiwifruits pulp extracts [J]. Acta Agr Boreali-Sin (华北农学报), 2013, 28(2): 144-149.
  - 9 Lin Q, Chen XQ. Analysis of extraction and partial physico-chemical properties of the polysaccharides from four species of pteridophytes [J]. Stud Trace Elem Health (微量元素与健康研究), 2008, 25(1): 18-20.
  - 10 Zhao ZQ, Wang M, Zhang ZQ. Research progress of antioxidant efficacy and extraction of plant Polysaccharide [J]. Sci Technol Food Ind (食品工业科技), 2018, 39(1): 337-342.
  - 11 Yu W, Yang XM, Liu WM, et al. Assay study on content of polysaccharides in *Ficus carica* by phenol-sulfuric acid method [J]. Food Sci Technol (食品科技), 2009, 34(10): 256-262.
  - 12 Huang Q, He YP. Study on content determination and antioxidant activity of polysaccharides from *Hibiscus sabdariffa* L [J]. Food Ind (食品工业), 2018, 39(10): 49-53.
  - 13 Wei L, Zheng ZH, Hou CL, et al. Antioxidant activities of crude polysaccharides from four wild edible fungi [J]. Microbiol China (微生物学通报), 2011, 38: 1533-1539.
  - 14 Huang JH, Ai SKEALT, Mao J. Purification and structural identification of a bioactive polysaccharide fraction from *Ganoderma lucidum* [J]. Food Sci (食品科学), 2011, 32(12): 301-304.
  - 15 Bi HT, Gao TT, Li ZH, et al. Structural elucidation and antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide from the fruit bodies of *Bulgaria inquinans* (Fries) [J]. Food Chem, 2013, 138: 1470-1475.
  - 16 Jiao XP, Liu Y. Characterization, antioxidant activity *in vitro* and toxicity *in vivo* of polysaccharides from *Rubus suavissimus* S. Lee [J/OL]. Food Sci (食品科学): 1-10 [2020-01-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20190917.1617.046.html>.
  - 17 Ni HY, Chen W, Song WJ. Study of antioxidant properties of *Astragalus* polysaccharide [J]. Acta Chin Med (中医学报), 2017, 32: 1705-1707.
  - 18 Kang QZ, Chen SS, Li SF, et al. Comparison on characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* by ultrasound and conventional extraction [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 124: 1137-1144.
  - 19 Shen MY, Nie SP, Xie MY, et al. Studies on the content of uronic acid in tea polysaccharide and its antioxidative activity [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2007, 19: 830-833.
  - 20 Bao SH, Zha XQ, Hao J, et al. *In vitro* antioxidant activity of polysaccharides with different molecular weights from *Dendrobium candidum* [J]. Food Sci (食品科学), 2009, 30(21): 123-127.

致谢:对以下合作单位参与本刊的学术建设表示由衷的感谢!

广西壮族自治区药用植物园

昆明医科大学药学院

西南交通大学生命科学与工程学院

西南交通大学期刊社