

桑木耳多糖提取工艺优化 及其益生活性和抗氧化活性评价

张婧涵¹, 姚忠¹, 孙芸¹, 朱本伟¹, 苑蘅¹, 姚远², 姚竞²

(1. 南京工业大学食品与轻工学院, 江苏南京 211800) (2. 昆明旭日丰华农业科技有限公司, 云南昆明 650500)

摘要: 本文以云南昆明石林地区的桑木耳为原料, 优化了桑木耳多糖水提工艺, 并对多糖的益生活性和体外抗氧化活性进行分析。通过单因素试验结合响应面法获得了优化的桑木耳多糖水提工艺为: 在料液比 1:108 (m/V), 提取温度 100 °C, 提取时间 3.5 h 时, 单次提取率达 6.96%, 经 10 次重复提取, 多糖总得率高达 34.18%。经凝胶色谱柱测定桑木耳多糖的重均分子量为 2.09×10^7 u。采用离子色谱对桑木耳多糖的单糖组成进行分析, 发现其主要单糖组分为葡萄糖, 木糖和甘露糖, 摩尔质量比为 1.18:0.65:2.88。红外光谱结果显示, 该多糖含有 β 型吡喃糖苷键。益生活性和抗氧化活性研究表明, 桑木耳多糖可有效促进两歧双歧杆菌和青春双歧杆菌的增殖, 并具有良好的 ABTS 自由基和羟自由基清除能力。桑木耳多糖浓度为 10 mg/mL 时, 对 ABTS 自由基、羟自由基的清除率分别达到 98.93% 和 71.28%。

关键词: 桑木耳多糖; 提取; 结构; 益生活性; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2018)04-143-149

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.04.023

Optimization of polysaccharide extraction from *Mulberry Fungus* and Evaluation of Its Probiotic and Antioxidant Activities

ZHANG Jing-han¹, YAO Zhong¹, SUN Yun¹, ZHU Ben-wei¹, YUAN Heng¹, YAO Yuan², YAO Jing²

(1. College of Food Science and Light Industry, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, China)

(2. Kunming Xuri Fenghua Agricultural Science and Technology Co., Ltd, Kunming 650500, China)

Abstract: The extraction process of *Mulberry fungus* polysaccharide (MFP) sampled from Kunming, Yunnan Province, were optimized and the probiotic and antioxidant activities of the extracted polysaccharides were analyzed in this study. By single factor test combined with response surface methodology, the optimized water extraction conditions of MFP were obtained. When the extraction was performed with the solid-liquid ratio of 1:108 (m/V) at 100 °C for 3.5 h, the polysaccharide yield was 6.96%. After 10 repeated extractions, the polysaccharide yield was as high as 34.18%. High performance gel permeation chromatography (HPGPC) analysis showed the average molecular weight of MFP was 2.09×10^7 u. The monosaccharide composition analyzed by ion chromatography showed that MFP mainly contained glucose, xylose and mannose, their molar mass ratio was 1.18: 0.65: 2.88. Fourier transform infrared (FT-IR) results showed that the polysaccharide contained β -glucopyranoside bonds. The experimental data of the effects of MFP on probiotics indicated that MFP had prebiotic activity that could effectively promote the proliferation of *Bifidobacterium bifidum* and *Bifidobacterium adolescentis*. Furthermore, the in vitro antioxidant activity experiment showed that MFP at the concentration of 10 mg/mL had strong ABTS⁺ and ·OH radical scavenging ability and the scavenging rates were 98.93% and 71.28%, respectively.

Key words: *Mulberry fungus* polysaccharide; extract; structure; prebiotic activity; antioxidant activity

黑木耳, 又称木耳 (*Auricularia auricula*) 属于木耳系真菌类担子菌纲, 为我国珍贵的食用胶质真菌。黑木耳含有丰富的营养物质, 如多糖、蛋白质、脂肪、

收稿日期: 2017-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21776137); 南京市科技支撑计划项目 (201608075)

作者简介: 张婧涵 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 分离工程

通讯作者: 姚忠 (1970-), 男, 教授, 研究方向: 分离工程

氨基酸、纤维素以及多种微量元素等, 具有很高的营养价值和多种生理功能^[1-5]。大量研究结果表明, 多糖是木耳的主要功效成分, 具有增强机体免疫力、抗氧化、抗衰老、抗动脉粥样硬化、防癌和抗癌等生物学功能^[6-10], 并可作为益生元, 促进肠道益生菌的生长^[11,12]。因此, 近年来有关黑木耳多糖的提取及其功能研究十分活跃, 研究内容涉及木耳多糖提取条件优化、结构分析和体外活性评价。目前, 木耳多糖的提取方

法主要是热水(或酸、碱)浸提,同时可结合酶法处理和物理场(超声、微波)强化等。

桑木耳(*Mulberry fungus*),又称桑耳、桑黑耳、桑云耳,属黑木耳中的一种,以桑枝屑为主要原料通过人工栽培而成^[13,14]。桑枝条韧皮部发达,富含纤维素,因此用桑枝屑栽培木耳,比一般杂木屑栽培木耳产量可以提高10%到20%。《唐本草注》有:“桑、槐、楮、榆、柳,此为五木耳,而以桑为上乘”的记载。目前国内外对于桑木耳多糖的研究报道很少,仅有刘锐等^[15]报道了桑木耳中的一些基本成分分析,而有关桑木耳多糖的提取、结构分析及功能性评价均未见报道。

为此,本文以云南昆明石林地区的桑木耳为原料,对桑木耳多糖水提工艺进行优化,通过红外光谱(FT-IR)、凝胶色谱(HPGPC)和离子色谱(HPAEC)对得到的多糖组分进行表征,并对桑木耳多糖的益生活性和体外抗氧化活性进行了评价,为桑木耳的研究开发以及资源的充分利用提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桑木耳,由云南省昆明旭日丰华农业科技有限公司提供;ABTS、单糖标准品(葡萄糖、木糖、阿拉伯糖、甘露糖、半乳糖),美国Sigma公司;透析袋(MW14000),美国GE公司;两歧双歧杆菌(*Bifidobacterium bifidum*, CICC 6168)和青春双歧杆菌(*Bifidobacterium adolescentis*, CICC 6070),中国工业微生物菌种保藏中心;浓硫酸、苯酚、丙酮、石油醚、无水乙醇、氯化钠、氯仿、正丁醇和抗坏血酸等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

Wtherm-B5 开口加热循环浴槽,德国WIGGENS公司;RV10 控制型旋转蒸发仪,德国IKA公司;C410 防腐隔热真空泵,德国WIGGENS公司;高速台式冷冻离心机 Allegra64R,美国贝克曼公司;Ultraspec 7000 紫外-可见分光光度计,美国GE公司。

1.3 方法

1.3.1 桑木耳多糖的提取

称取一定质量的桑木耳干粉,加入25倍体积的80%乙醇,超声30 min,离心弃上清。得到的残渣用真空干燥箱干燥后备用。采用热水浸提法,将预处理后的样品按一定的料液比、温度和时间进行回流提取,离心,抽滤取上清,得多糖粗提液。将多糖提取液在

55 °C条件下浓缩至原体积的1/10,加入4倍体积的无水乙醇,于4 °C下醇沉过夜。次日离心,多糖沉淀依次用无水乙醇、丙酮和石油醚洗涤;所得沉淀以纯水复溶,用Sevage法脱蛋白,透析,冷冻干燥得粗多糖。

1.3.2 桑木耳多糖提取工艺优化

1.3.2.1 单因素试验

对影响多糖得率的因素:料液比,提取温度和提取时间进行考察。其中,料液比设置1:30、1:50、1:80、1:100、1:120五个水平,提取温度设置60、70、80、90、100 °C五个考察水平,提取时间设置1.0、2.0、2.5、3.0、3.5 h五个考察水平,改变其中一个因素,其他因素保持不变进行多糖提取。提取完成后,离心,抽滤取上清,用苯酚-硫酸法^[16]测定桑木耳多糖含量,确定最佳单因素条件。每组实验做三个平行。

1.3.2.2 响应面分析试验

在单因素试验的基础上,以料液比(A)、提取温度(B)和提取时间(C)为自变量,多糖得率(Y)为响应值,进行三因素三水平的响应面优化分析。

1.3.3 紫外光谱分析

将冻干后的多糖溶于蒸馏水配成1.0 mg/mL的溶液,在200~400 nm进行全波长扫描,观察其在260 nm和280 nm处有无吸收峰。

1.3.4 分子量测定

将多糖样品用0.05 mol/L NaNO₃溶解,配成2 mg/mL的溶液。取10 μL上样于UltraspecTM 2000和UltraspecTM 120串联的水溶性凝胶色谱柱(7.8×300 mm)^[17],洗脱液为0.05 mol/L NaNO₃溶液,洗脱流速为0.6 mL/min,示差折光检测器检测。

标准葡聚糖用同样的方法上样于凝胶色谱柱,制备洗脱标准曲线(方程为: $\log M_r = -0.7139V_e + 16.451$, $R^2 = 0.9845$)。

1.3.5 红外光谱分析

取1.0 mg多糖样品于玛瑙研钵中,用药勺切碎研细后加入100 mg KBr固体粉末,充分研磨混匀,用压片机压成薄片,于4000~400 cm⁻¹波数范围内进行红外光谱扫描。

1.3.6 单糖组成分析

取1 mg多糖样品溶于1.0 mL蒸馏水中,配成浓度为1.0 g/L的溶液,向其中加入1.0 mL 8%硫酸溶液,于121 °C条件下酸解1.0 h。然后,加入80 μL 50% NaOH溶液进行中和,接着离心,过0.22 μm滤膜,将滤液稀释至5 mg/L后,上样于CarbopacTM PA10分析柱(250 mm×2 mm),上样量为20 μL,流动相为200 mM NaOH溶液,流速为0.3 mL/min,柱温为

30 ℃, 检测方式为标准四电位脉冲安培电流。

将阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、木糖和甘露糖标准品配成溶液, 上样于 CarboPac™ PA10 分析柱 (250 mm×2 mm), 按照同样的方法进行检测, 通过对比样品和单糖标准品的出峰时间, 确定样品的单糖组成。

1.3.7 桑木耳多糖益生活性评价

将青春双歧杆菌和两歧双歧杆菌分别接入 PTYG 液体培养基, 37 ℃ 厌氧培养 48 h, 之后经两次转管复壮后备用。

配制 PTYG 液体培养基 (不加葡萄糖), 调节 pH 至 6.8。分别称取 50 mg 葡萄糖和桑木耳多糖, 加入菌种瓶中, 每个样品做一组平行对照。然后将配制好的液体培养基分装入瓶中, 分装体积为 5 mL, 这样培养基中碳水化合物 (即糖含量) 的质量分数为 1%。另外, 用不加糖的培养基作为对照组。将培养基在 121 ℃ 灭菌 20 min, 冷却后接入 200 μL 复壮好的双歧杆菌菌种, 37 ℃ 厌氧培养, 每隔 2 h 测一次 OD 值, 绘制菌的生长曲线。

1.3.8 桑木耳多糖体外抗氧化活性评价

1.3.8.1 ABTS⁺·自由基清除能力

将 7.0 mmol/L ABTS⁺·溶液和 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液等体积混合, 室温条件下避光反应 16 h, 用 PBS 缓冲液 (pH 7.4) 稀释 25 倍, 使其在 734 nm 处吸光值为 0.700±0.05, 即得 ABTS⁺·工作液^[18]。取不同浓度的多糖溶液 0.2 mL, 加入 0.8 mL ABTS⁺·工作液, 振荡充分混合, 避光静置 15 min 后, 在 734 nm 波长处测定吸光值。计算公式为:

$$\text{清除能力}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中, A_1 为样品反应后的吸光值; A_2 为 ABTS⁺·工作液由等体积 PBS 缓冲液代替的吸光值; A_0 为样品溶液由等体积纯水代替的吸光值。

1.3.8.2 羟自由基 (·OH) 清除能力

采用水杨酸法测定多糖对·OH 的清除能力^[19]。在 4 mL 离心管内依次加入 0.25 mL 9 mmol/L FeSO₄ 溶液, 0.25 mL 9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液, 3 mL 不同浓度的多糖溶液和 0.25 mL 8.8 mmol/L H₂O₂ 溶液, 充分混匀后在室温下静置 1 h, 然后在 510 nm 处测定吸光值。计算公式为:

$$\text{清除能力}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中, A_1 为样品反应后的吸光值; A_2 为不加 H₂O₂ 改由等体积纯水代替的吸光值; A_0 为样品溶液由等体积纯水代替的吸光值。

1.4 数据统计分析

分析结果以平均值±标准偏差 (Mean±SD) 表示,

采用 SPSS 13.0 软件对数据统计, 组间均数采用单因素方差分析, 用 q 检验作两两比较, 以 $p < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 桑木耳多糖提取

2.1.1 单因素试验

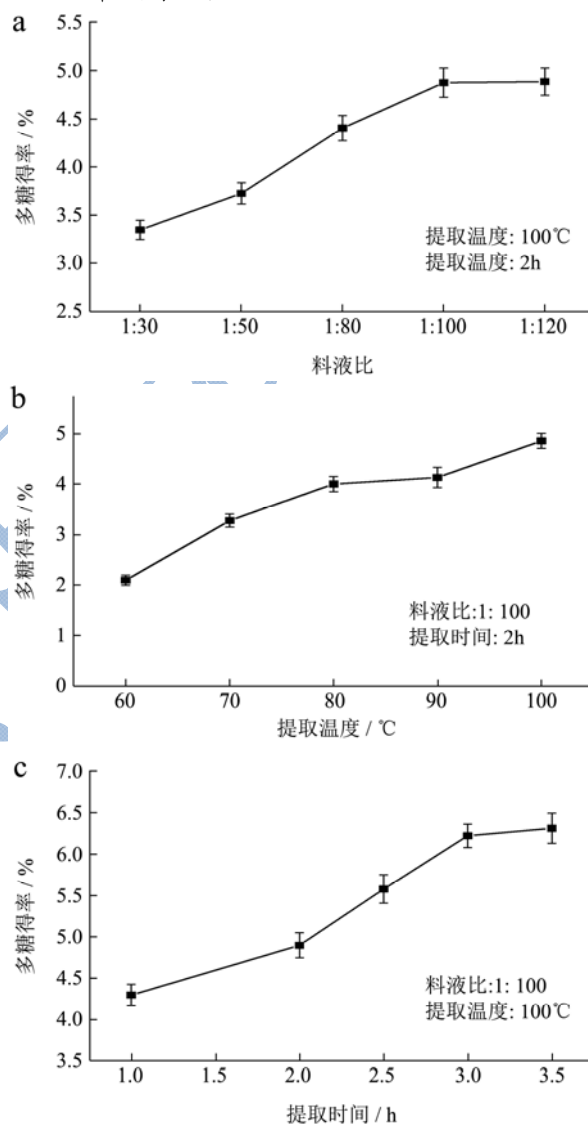


图1 不同提取条件对桑木耳多糖得率的影响

Fig.1 Effects of different extraction conditions on the yield of *Mulberry fungus polysaccharide*

按照 1.3.2 的方法考察了料液比、提取温度、提取时间等单因素对多糖提取率的影响, 结果如图 1 所示。由图可知, 桑木耳多糖的提取得率随着料液比的增加、提取温度的升高以及提取时间的延长而增加, 最佳的提取参数为料液比 1:100、提取温度为 100 ℃、提取时间为 3 h。

2.1.2 响应面试验结果

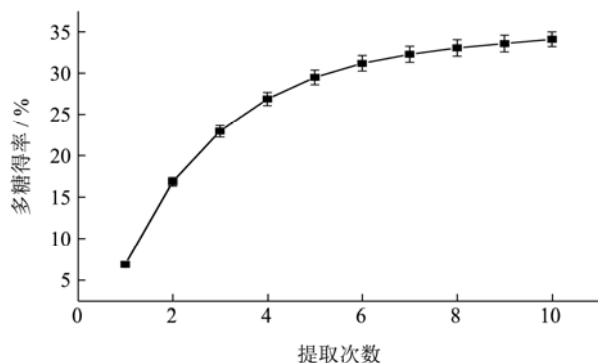


图2 提取次数对多糖得率的影响

Fig.2 Effects of extraction times on the yield of polysaccharide

根据单因素试验结果确定响应面分析试验的因素和水平如表1。利用统计分析软件 Design-Expert 7.1.6 设计实验方案, 并对实验结果进行分析, 建立了二次多元回归方程, 该方程为: $Y(\%) = 5.40 + 0.33A + 1.11B + 0.27C + 0.15AB - 0.31AC + 0.035BC - 0.21A^2 - 0.21B^2 + 0.16C^2$, $R^2 = 0.9805$ 。其回归方差分析结果见表2。

表1 响应面分析试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of response surface analysis

水平	料液比 (A)	提取温度 (B)	提取时间 (C)
-1	1:80	80 °C	2.5 h
0	1:100	90 °C	3.0 h
1	1:120	100 °C	3.5 h

表2 回归模型方差分析结果

Table 2 Analysis results of regression model variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	p
模型	12.27	9	1.36	39.19	< 0.0001
A	0.86	1	0.86	24.68	0.0016
B	9.88	1	9.88	284.1	< 0.0001
C	0.58	1	0.58	16.62	0.0047
AB	0.087	1	0.087	2.50	0.1577
AC	0.38	1	0.38	10.88	0.0132
BC	0.0049	1	0.0049	0.14	0.7185
A ²	0.19	1	0.19	5.39	0.0532
B ²	0.19	1	0.19	5.52	0.0511
C ²	0.11	1	0.11	3.16	0.1188
残差	0.24	7	0.035		
失拟项	0.10	3	0.034	0.95	0.4974
净误差	0.14	4	0.036		
总误差	12.51	16			

由表2可知, 二次回归模型的 $p < 0.0001$, 表明该

模型回归非常显著 ($p < 0.01$); 失拟项不显著, 表明不存在失拟因素; 并且 $R^2 = 0.9805$, $R^2_{Adj} = 0.9555$, 说明该模型能很好的拟合实验结果。回归方程分析结果表明: A、B、C、AC 为显著因素 ($p < 0.05$)。从三个影响因素的 F 值 (A: 24.68, B: 284.11, C: 16.62) 可以看出, 在所选因素水平范围内, 对桑木耳多糖得率的影响大小为: 提取温度 > 料液比 > 提取时间。

由回归模型分析结果得出, 提取桑木耳多糖的最佳工艺条件为: 料液比 1:107.94 (m/V), 提取温度 100 °C, 提取时间 3.5 h, 桑木耳多糖得率为 6.80%。为验证此方法的准确性, 并考虑实际操作可行性, 将最佳工艺参数修正为: 料液比 1:108 (m/V), 提取温度 100 °C, 提取时间 3.5 h。通过 3 次平行试验验证, 结果多糖得率分别为 6.97%, 6.89% 和 7.01%, 实际得率平均值为 6.96%, 实验结果与模型符合良好, 说明该模型能较好地预测桑木耳多糖得率。

在上述优化的提取条件下对桑木耳中多糖进行多次提取, 结果见图 2。由图可知, 多糖总得率随提取次数的增加而增加。当提取次数超过 5 次后, 多糖总得率增加趋于平缓, 提取 10 次后, 桑木耳多糖得率达 34.18%。

2.2 桑木耳多糖的紫外/可见光谱分析及分子量测定

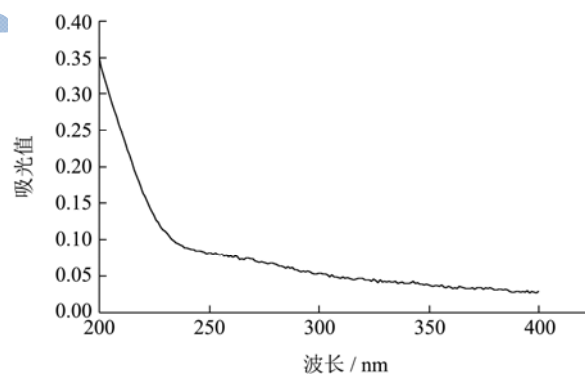


图3 多糖样品的紫外光谱

Fig.3 UV spectra of polysaccharide samples

按照 1.3.3 的方法对桑木耳多糖提取物的水溶液进行全波长扫描, 结果如图 3 所示。由图可知, 样品溶液在 260 nm 和 280 nm 处均无明显的吸收峰, 表明样品纯度较高, 不含核酸和蛋白质等杂质。此外, 按照 1.3.4 的方法测得桑木耳多糖的重均分子量 M_w 为 2.09×10^7 u, 高于 Zhang^[20] 和 Zeng 等^[21] 对黑木耳 (*Auricularia auricula*) 多糖的研究结果。

2.3 红外光谱 (FT-IR) 分析

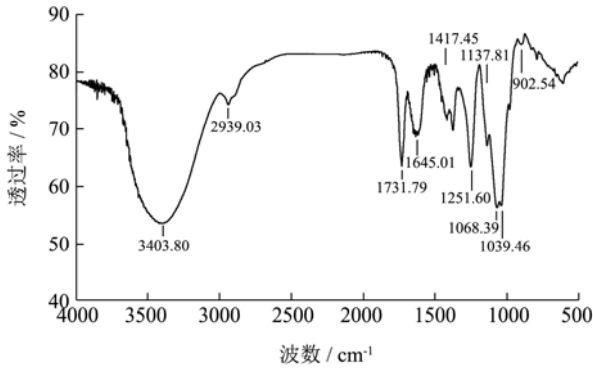


图4 多糖样品的红外光谱

Fig.4 Infrared spectra of polysaccharide samples

如图4所示,桑木耳多糖提取物在 3400 cm^{-1} 附近的吸收峰可能是由分子间或分子内的O-H的伸缩振动引起的^[22]; 2939.03 cm^{-1} 处的吸收峰表明结构中存在 CH_2 -或 H-C=O 基团^[23]; 1645 cm^{-1} 附近的吸收峰表示存在C=O或C=C基团^[24]; 1417 cm^{-1} 处的峰可能是由糖类C-H变角振动产生; 1251.60 cm^{-1} 处的峰是P=O基团伸缩振动吸收峰; 1137.81 、 1068.39 、 1039.46 cm^{-1} 处的特征吸收为吡喃型糖苷环骨架C-O变角振动吸收峰,说明分子中存在C-O-H和糖环C-O-C结构^[25]; 而 902.54 cm^{-1} 处的特征吸收表明分子中可能含有 β -型糖苷键^[26]。

2.4 单糖组成

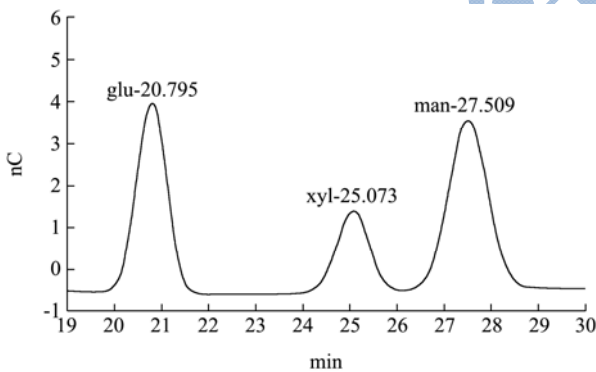


图5 多糖样品的离子色谱图

Fig.5 Ion chromatogram of polysaccharide samples

按照1.3.6的方法分析了桑木耳多糖的单糖组成。结果显示,桑木耳多糖主要由葡萄糖、木糖和甘露糖组成,其物质的量比为1.18:0.65:2.88(图5)。Kadnikova等^[27]对黑木耳(*Auricularia auricula-judae*)的研究表明,其所含多糖是一种杂多糖,组成为葡萄糖、甘露糖、木糖和半乳糖,物质的量比为8.3:5.9:1.0:0.3,这与本文的研究结果有所差异。桑木耳多糖中不含半乳糖或含量极低,而甘露糖含量则明显较高。

2.5 桑木耳多糖的益生活性

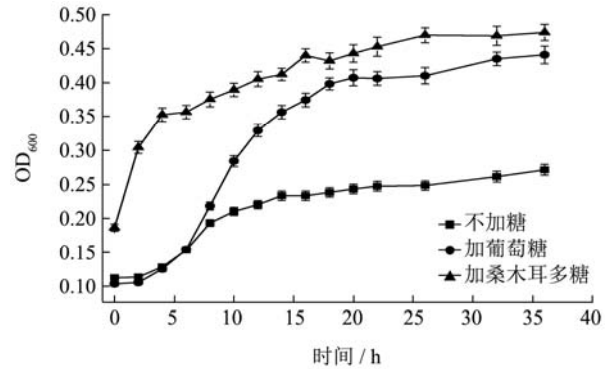


图6 多糖对两歧双歧杆菌生长的影响

Fig.6 Effects of polysaccharides on the growth of *Bifidobacterium bifidum*

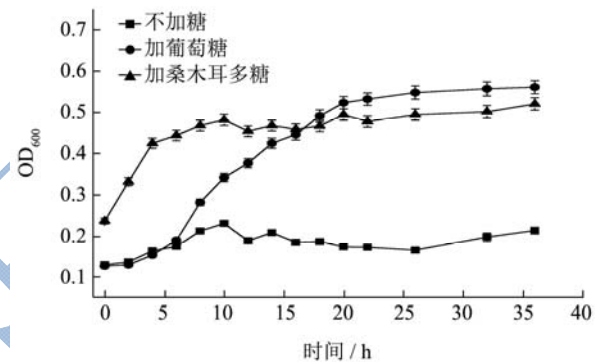


图7 多糖对青春双歧杆菌生长的影响

Fig.7 Effects of polysaccharides on the growth of *Bifidobacterium adolescentis*

按照1.3.7的方法考察了桑木耳多糖对*Bifidobacterium bifidum*和*Bifidobacterium adolescentis*生长的影响,结果见图6和图7。由图可知,多糖的添加对两种双歧杆菌的生长均有一定促进作用。与不加糖和加入葡萄糖的培养基相比,添加桑木耳多糖可有效提前两种益生菌的对数生长期,其中添加桑木耳多糖对*Bifidobacterium bifidum*的促进作用优于*Bifidobacterium adolescentis*。

2.6 桑木耳多糖的体外抗氧化活性

2.6.1 桑木耳多糖对 ABTS^+ 自由基的清除能力

由图8可知,桑木耳多糖具有显著的清除 ABTS^+ 自由基的能力,且清除率与多糖浓度呈良好的剂量效应关系。当浓度为 10 mg/mL 时,桑木耳多糖对 ABTS^+ 自由基的清除率高达98.93%,接近于Vc对 ABTS^+ 自由基的清除率,而黑木耳多糖在相同条件下对 ABTS^+ 自由基的清除率仅为81.7%^[21]。

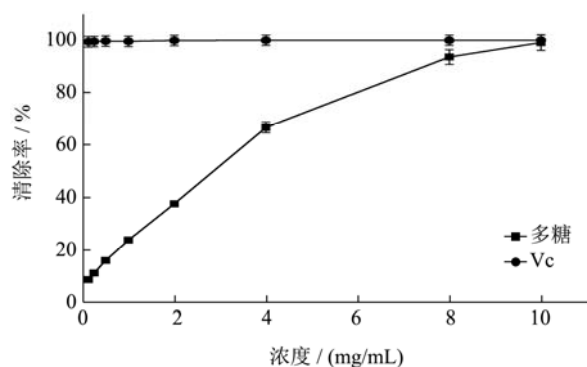
图8 多糖对ABTS⁺·自由基的清除能力

Fig.8 Scavenging ability of polysaccharide on the ABTS free radicals

2.6.2 桑木耳多糖对羟自由基(·OH)的清除能力

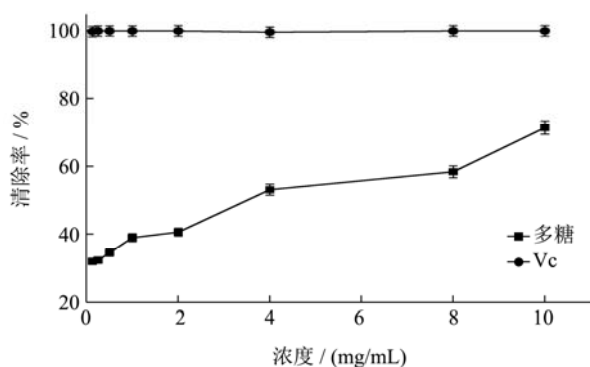


图9 多糖对羟自由基的清除能力

Fig.9 Scavenging ability of polysaccharide on the hydroxyl radical

如图9所示,桑木耳多糖对·OH的清除率也呈一定的量效关系。在浓度为10 mg/mL时,桑木耳多糖对·OH的清除率最高,可达71.28%,IC₅₀值为2.46 mg/mL。Zeng等^[21]的研究表明,黑木耳多糖对·OH的清除率IC₅₀值为9.01 mg/mL,可知桑木耳多糖对·OH的清除能力相较于黑木耳多糖更为高效。

3 结论

本文以产自云南昆明石林地区的桑木耳为原料,优化了桑木耳多糖的水提工艺条件,并对桑木耳多糖提取物的性质、结构及活性进行了研究,得到的具体结论如下:

3.1 通过单因素试验和响应面优化方法得到桑木耳多糖的最佳提取条件为:料液比1:108(m/V),提取温度100℃,提取时间3.5h,桑木耳多糖的一次提取率为6.96%。经10次重复提取,桑木耳多糖的总得率达34.18%。

3.2 经测定,桑木耳多糖的重均分子量为 2.09×10^7 u,其中主要的单糖组分是葡萄糖、木糖和甘露糖,物质

的量比为1.18:0.65:2.88。

3.3 红外光谱显示,桑木耳多糖提取物中存在O-H、CH₂- (或H-C=O)、C=O (或C=C)和C-H等官能团的特征吸收峰,以及吡喃型糖苷环骨架C-O变角振动吸收峰(说明分子中存在C-O-H和糖环C-O-C结构)和β-型糖苷键的特征吸收。

3.4 活性分析结果表明,桑木耳多糖可有效促进*Bifidobacterium bifidum*和*Bifidobacterium adolescentis*的生长和增殖,具有显著的益生活性;同时,桑木耳多糖对ABTS⁺·自由基、羟基自由基(·OH)也有明显的清除作用。桑木耳多糖浓度为10 mg/mL时,对ABTS⁺·自由基、羟基自由基的清除率分别达到98.93%和71.28%,清除效果优于已报道的黑木耳多糖。

综上所述,桑木耳作为一种我国特有的食用菌资源,其多糖含量、组成、性质均与已报道的黑木耳(*Auricularia auricula-judae*)多糖存在较大差异。此外,桑木耳多糖对益生菌增殖具有明显的促进作用,并有较好的自由基清除能力。以上研究结论将有助于进一步丰富对桑木耳多糖结构和活性的认识,并为桑木耳资源的深加工应用奠定理论基础。

参考文献

- [1] Blinova M I, Yudintseva N M, Kalmykova N V, et al. Effect of melanins from black yeast fungi on proliferation and differentiation of cultivated human keratinocytes and fibroblasts [J]. *Cell Biology International*, 2003, 27(2): 135-146
- [2] Vattem D A, Shetty K. Ellagic acid production and phenolic antioxidant activity in cranberry pomace (*Vaccinium macrocarpon*) mediated by *Lentinus edodes* using a solid-state system [J]. *Process Biochemistry*, 2003, 39(3): 367-379
- [3] Yoon S J, Yu M A, Pyun Y R, et al. Nontoxic mushroom *Auricularia auricula* contains a polysaccharide with anticoagulant activity mediated by antithrombin [J]. *Thrombosis Research*, 2003, 112(3): 151-158
- [4] Oke F, Aslim B. Protective effect of two edible mushrooms against oxidative cell damage and their phenolic composition [J]. *Food Chemistry*, 2011, 128(3): 613-619
- [5] Adebayo-Tayo B C, Adegoke A A, Okoh A I, et al. Rationalizing some medicinal plants used in treatment of skin diseases [J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2010, 4(10): 958-963
- [6] Jin X. Bioactivities of water-soluble polysaccharides from fruit shell of *Camellia oleifera* Abel: Antitumor and

- antioxidant activities [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(3): 2198-2201
- [7] Wang Y, Huang M, Sun R, et al. Extraction: Characterization of Ginseng fruits polysaccharide and its immune modulating activities in rats with Lewis lung carcinoma [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 127: 215-221
- [8] Murata Y, Shimamura T, Tagami T, et al. The skewing to Th1 induced by lentinan is directed through the distinctive cytokine production by macrophages with elevated intracellular glutathione content [J]. *International Immunopharmacology*, 2002, 2(5): 673
- [9] Kouakou K, Schepetkin I A, Yapi A, et al. Immunomodulatory activity of polysaccharides isolated from *Alchornea cordifolia* [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2013, 146: 232-242
- [10] Xu F F, Liao K S, Wu Y S, et al. Optimization, characterization, sulfation and antitumor activity of neutral polysaccharides from the fruit of *Borojoa sorbilis* cuter [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 151: 364-372
- [11] Gao S, Lai C K, Cheng P C. Nondigestible carbohydrates isolated from medicinal mushroom sclerotia as novel prebiotics [J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2009, 11(1): 1-8
- [12] Snart J, Bibiloni R, Grayson T, et al. Supplementation of the diet with high-viscosity beta-glucan results in enrichment for *lactobacilli* in the rat cecum [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(3): 1925-1931
- [13] 郁志华. 黄墩桑木耳生产技术[J]. 蚕桑通报, 2011, 42(2): 61-62
YU Zhi-hua. Production technology of *mulberry fungus* [J]. *Bulletin of Sericulture*, 2011, 42(2): 61-62
- [14] 叶良喜. 桑木变废为宝育木耳[J]. 浙江林业, 2007, 11: 27
YE Liang-xi. *Auricularia auricula* cultivated with mulberry wood [J]. *Zhejiang Forestry*, 2007, 11: 27
- [15] 刘锐, 陆建忠, 王忠林, 等. 嘉兴市桑木耳营养成分检测[J]. 现代农业, 2012, 10: 100-101
LIU Rui, LU Jian-zhong, WANG Zhong-lin, et al. The nutrients detection of *mulberry fungus* from Jiaxing [J]. *Modern Agriculture*, 2012, 10: 100-101
- [16] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Analytical Chemistry*, 1955, 28(3): 350-356
- [17] Zhu X K, Zhang J Y, Nie S P, et al. Physicochemical properties and *in vitro* antioxidant activities of polysaccharide from *Artocarpus heterophyllus* Lam. Pulp [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 155: 354-361
- [18] Li X C, Lin J, Gao Y X, et al. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma Cimicifugae* [J]. *Chemistry Central Journal*, 2012, 6: 140
- [19] Shao J, Yu J P, Hu M Z. Study on extraction and antioxidant activity of polysaccharides from *Sarcandra glabra* [J]. *Food Science*, 2007, 28(11): 283-286
- [20] Zhang L N, Yang L Q, Qiong D, et al. Studies on molecular weights of polysaccharides of *Auricularia auricula-judae* [J]. *Carbohydrate Research*, 1995, 270: 1-10
- [21] Zeng W C, Zhang Z, Gao H, et al. Characterization of antioxidant polysaccharides from *Auricularia auricular* using microwave-assisted extraction [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 89(2): 694-700
- [22] Wang Y, Li C, Liu P, et al. Physical characterization of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* KF5 isolated from Tibet Kefir [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 82(3): 895-903
- [23] Melo M R, Feitosa J P, Freitas A L, et al. Isolation and characterization of soluble sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria cornea* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2002, 49(4): 491-498
- [24] Yu X H, Liu Y, Wu X L, et al. Isolation, purification, characterization and immunostimulatory activity of polysaccharides derived from American ginseng [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 156: 9-18
- [25] Pawan G L. Molecular structure and function of food carbohydrates [J]. *Applied Science*, 1973, 65-80
- [26] Chen Y, Zhang H, Wang Y X, et al. Sulfated modification of the polysaccharides from *Ganoderma atrum* and their antioxidant and immunomodulating activities [J]. *Food Chemistry*, 2015, 186(3): 231-238
- [27] Kadnikova I A, Costa R, Kalenik T K, et al. Chemical composition and nutritional value of the mushroom *Auricularia auricula-judae* [J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, 3(8): 478-482