

# 不同栽培方式银耳多糖单糖组成分析及体外抗氧化活性比较

张庆,袁源,邓扬龙,周翔宇,李玉锋\*

(西华大学食品与生物工程学院,四川成都 610039)

**摘要:**对代料和段木两种栽培方式的银耳子实体采用碱式提取其多糖,通过测定多糖的营养成分、单糖组成及体外抗氧化活性,比较两种栽培方式银耳品质的差别。结果表明,脱蛋白后段木和代料银耳多糖中蛋白质残留量分别  $2.65 \pm 0.05$ 、 $0.45 \pm 0.06$  mg/mL,两种银耳多糖的单糖都由甘露糖、葡萄糖、木糖和葡萄糖醛酸组成,代料银耳与段木银耳多糖中葡萄糖的质量比为 13.62:2.43。不同银耳多糖的体外抗氧化能力均小于维生素 C,在两种银耳 DPPH 清除率趋于稳定时,段木银耳多糖的 DPPH 自由基清除率比代料银耳高 3%,而代料银耳羟自由基清除率比段木银耳高 0.25%。

**关键词:**代料银耳,段木银耳,多糖,单糖组成,抗氧化活性

## Monosaccharide Composition Analysis and Antioxidant Activity Comparison of Polysaccharides from *Tremella fuciformis* Cultivated in Different Methods

ZHANG Qing, YUAN Yuan, DENG Yang-long, ZHOU Xiang-yu, LI Yu-feng\*

(School of Food and Biological Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** The *Tremella fuciformis* mesocarps of the two cultivation methods of the substitute and the wood were extracted by basic extraction, and the difference of the properties of the two methods of *Tremella fuciformis* was compared by measuring the monosaccharide composition of the polysaccharide and the antioxidant activity *in vitro*. The results showed that the protein residues in the polysaccharides from *Tremella fuciformis* of wood and the substitute were  $2.65 \pm 0.05$  mg/mL and  $0.45 \pm 0.06$  mg/mL, respectively. The monosaccharides of both *Tremella fuciformis* polysaccharides were composed of mannose, glucose, xylose and glucuronic acid. And the mass ratio of glucose in the polysaccharides of two methods of *Tremella fuciformis* was 13.62:2.43. It was showed that the anti-oxidation ability of different *Tremella fuciformis* polysaccharides was lower than that of vitamin C. When the DPPH scavenging rate of the two *Tremella fuciformis* tended to be stable, the DPPH free radical scavenging rate of the *Tremella fuciformis* polysaccharide was 3% higher than that of the substitute *Tremella fuciformis*. The rate of scavenging hydroxyl radicals of substituted *Tremella fuciformis* was 0.25% higher than that of the wood *Tremella fuciformis*.

**Key words:** substituted *Tremella fuciformis*; wood *Tremella fuciformis*; polysaccharide; monosaccharide component; antioxidant activity

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2019)08-0054-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.08.010

**引文格式:**张庆,袁源,邓扬龙,等.不同栽培方式银耳多糖单糖组成分析及体外抗氧化活性比较[J].食品工业科技,2019,40(8):54-60.

银耳(*Tremella fuciformis* Berk)又被叫作银耳子、白木耳、雪耳等,属真菌类银耳科银耳属,是担子菌门真菌银耳的子实体,有“菌中之冠”的美称<sup>[1]</sup>。银耳的栽培方式主要有段木栽培和代料栽培<sup>[2]</sup>,前者以四川通江银耳闻名,后者则多以福建古田银耳居多。段木栽培即选用较适宜银耳生长的树木,剥去多余枝丫,锯成约1米左右的木段,晾晒半月后进行钻孔,再点入菌种,让银耳自然生长,一年采收一

次<sup>[3]</sup>。而代料栽培则是在有效控制室内温度、湿度的条件下充分利用经切碎磨粉后的树枝、木段或残余木料等农副产品为原料,麦皮、米糠、石膏等为辅助原料,进行袋装或瓶装栽培<sup>[4]</sup>。此法节省大量木材,原料来源充足,栽培周期短,既有利于提高农产品的利用价值,又有利于扩大银耳栽培的范围,不受有林区条件的限制。

据国内外的药理作用研究,银耳多糖具有免疫

收稿日期:2018-07-23

作者简介:张庆(1995-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学与工程,E-mail:1048299359@qq.com。

\*通讯作者:李玉锋(1965-),男,博士,教授,研究方向:农产品加工,E-mail:907493056@qq.com。

调节、抗肿瘤、抗氧化衰老、降血糖血脂、促进神经细胞生长及改善记忆力等多方面活性<sup>[5]</sup>。目前,国内外大多数学者对银耳的研究主要集中在银耳多糖的生理活性等方面。由于段木银耳和代料银耳栽培方式、生长环境不同,所以其外观、营养指标、生物活性可能会存在一定的差异。现如今对于这方面的研究与报道甚少,对不同栽培方式下银耳多糖物质含量、生物活性功能等方面尚未进一步认识。

针对上述研究不足,本试验通过碱式提取代料和段木两种栽培方式银耳的多糖,测定多糖生物活性、理化性质,比较两种栽培方式银耳理化性质的差别,并针对其内在特征差异进行分析,以期今后银耳多糖进一步深入研究奠定基础,并对银耳资源有效利用、产业化开发和生产加工提供一定的参考价值 and 理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

段木银耳干样 四川通江古林银耳有限公司,含水率为 11.7%;代料银耳干样 四川天科生态农业有限公司,含水率为 15.2%;氢氧化钠、石油醚、无水乙醇、95%乙醇、氯仿、正丁醇、乙酸酐、吡啶、乙酸酐、无水葡萄糖、邻苯二甲酸氢钾、EDTA 以上均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂;间羟基联苯 上海阿拉丁生化科技股份有限公司,生化试剂;考马斯亮蓝 南京建成生物工程研究所;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)(含量 99%以上) 梯希爱上海化成工业发展有限公司(TCI);L-岩藻糖(Fucose, Fuc) 诗丹德生物制药有限公司;D-葡萄糖(Glucose, Glc)、D-半乳糖(Galactose, Gal)、D-木糖(Xylose, Xyl)、L-鼠李糖(L-rhamnose monohydrate, Rha)、D-葡萄糖醛酸(Glucuronic acid, GlcA)、D-甘露糖(Mannose, Man) 上海安谱实验科技股份有限公司。

TB-214 电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;HH-600 型数显三用水箱 金坛富华仪器有限公司;RE-52AA 酸度计、RE-52AA 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;FDU-1100 真空冷冻干燥机 东京理化器械株式会社.;PHS-3C 型紫外分光光度计 方舟科技有限公司;SFG-02.400 电热恒温鼓风干燥箱 黄石市恒丰医疗器械有限公司;D2F-6021 真空干燥箱 上海一恒科技有限公司;7820A 气相色谱仪 安捷伦;Heto3410 超低温冰箱 上海百蕾真生物科技有限公司;TDZ5-WSTDZ5-WS 离心机 湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 多糖提取与初步纯化 干银耳粉碎过 80 目筛→碱液提取→提取蒸发浓缩→脱蛋白→醇沉→冻干→透析→冻干→银耳精多糖

1.2.1.1 粗多糖的提取 采用碱式提取法提取粗多糖。将段木银耳与代料银耳干样分别粉碎过 80 目筛后各取 1 g,加入 0.7 mol/L NaOH 溶液,混匀,80 °C 水浴 2 h。四层纱布过滤,保留滤液。重复上述步骤三次,三次提取料液比分别为 1:150、1:100、

1:100 g/mL。将碱提液用 0.1 mol/L 盐酸中和至 pH = 7.0,中和后的溶液蒸发(55 °C,真空度 0.09 MPa)至约 100 mL<sup>[6-7]</sup>。

1.2.1.2 多糖的分离纯化 sewage 法脱蛋白:按吴振亚<sup>[8]</sup>的方法,稍作改动。振荡时间为 4 h,重复除蛋白操作 6 次。可用考马斯亮蓝 G-250 检测,当样品反应液与空白对照(样品替换为等体积蒸馏水,其他完全相同)颜色相同时,即为蛋白质除尽。

醇沉与透析:按一定比例(样液:乙醇 = 1:4, V/V)加入乙醇,于 4 °C 低温中冷藏 24 h。取出后,回收乙醇,将絮状物挑出,置于容器中。所得絮状物放入超低温冰箱(-60 °C)中预冻约 6 h,迅速取出预冻后的样品,冻干 4~5 h 备用。将透析袋在 50% 的乙醇中煮沸 1 h,用 50% 乙醇、0.01 mol/L 碳酸氢钠和 1 mol/L EDTA(pH = 8)溶液洗涤,最后用蒸馏水冲洗备用。将冻干银耳多糖配成 10 mg/L 溶液装入透析袋中,留 1/2 的体积,两头用透析夹加紧,放在去离子水中透析。每隔 1 h 换一次去离子水,然后减慢更换频率。24 h 后取出再冻干,得段木银耳多糖与代料银耳多糖的初纯物,待测。

1.2.2 蛋白质残留量的测定 取六支试管编号,按顺序加入 0、20、40、60、80、100 μL 1.0 × 10<sup>3</sup> μg/L 标准蛋白质溶液(牛血清蛋白),再加入 100、80、60、40、20、0 μL 的 0.9% 生理盐水。各加入考马斯亮蓝 G-250 试剂 3.0 mL,充分接触,孵育 5 min,测定 A<sub>595</sub> 值。以标准蛋白质含量为横坐标, A<sub>595</sub> 值为纵坐标,绘制标准曲线。

各吸取银耳多糖初纯物三份,配制为浓度 10 mg/mL,加入考马斯亮蓝 G-250 试剂 3.0 mL,充分混匀,孵育 5 min 后,测定 A<sub>595</sub> 值。根据 A<sub>595</sub> 值,在标准曲线上求出样品中蛋白质含量。以水作为空白对照。以蛋白质含量为横坐标,吸光值为纵坐标,得到蛋白含量曲线。

1.2.3 多糖含量的测定 采用苯酚-硫酸法测定银耳提取液中多糖含量<sup>[9]</sup>。葡萄糖标准曲线绘制:采用 60 °C 烘干至恒重的无水葡萄糖为标品,绘制标准曲线;将样品稀释至 3~10 倍,用分光光度法测定其吸光值,结合以下公式得多糖含量。

多糖含量(mg/mL) = 葡萄糖含量 × 稀释倍数 × 0.9 × 100(0.9 为校正系数)

运用曾丽萍等<sup>[10]</sup>的方法测定多糖的得率。

多糖得率(%) = 多糖含量 × 稀释倍数/样品干重 × 100

1.2.4 多糖硫酸根、糖醛酸含量的测定 运用吴琼等<sup>[11]</sup>的方法,采用硫酸钡-比浊法测定多糖中硫酸根含量,称取干燥至恒重的 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 测定绘制得标准曲线,多糖样品溶液为 5 mg/mL。

运用姜瑞芝等<sup>[12]</sup>的方法,采用间羟基联苯法测定多糖中糖醛酸含量,称取 60 °C 干燥至恒重的无水葡萄糖醛酸标准品测定绘制得标准曲线,多糖样品溶液为 5 mg/mL。

1.2.5 多糖的单糖组成测定与分析 样品预处理<sup>[13]</sup>:准确称取 5 mg 多糖样品于试管中,加入 2 mL 2 mol/L 的硫酸将其溶解,于 110 °C 条件下水解 8 h,

滴入 2 mol/L 的 NaOH 调节 pH 至中性,再加入 4% 的硼氢化钠,室温反应 1.5 h,缓慢加入冰醋酸直至无气泡产生。再复浓缩,直至将酸除尽。将稀释的样品真空冷冻干燥 24 h,加吡啶及正丙胺各 1 mL,混匀,于 55 °C 下水浴 30 min,真空冷冻干燥 24 h,再加入吡啶及乙酸酐各 0.5 mL,混匀,于 95 °C 条件下水浴 1 h,氮气吹干,经真空冷冻干燥 24 h 后以氯仿溶解,进行 GC 分析。

单糖标准品处理:称取葡萄糖、岩藻糖、甘露糖、木糖、半乳糖、鼠李糖和葡萄糖酸各 10 mg,混合,与上述步骤一致。以单糖乙酰化产物峰面积为纵坐标,浓度为横坐标绘制标准曲线<sup>[14]</sup>。

气相色谱法(GC)条件:进样口温度 248 °C,检测器温度 281 °C,载气为 99.99% 高纯氮气,控制气体流速为 0.6 mL/min;分流进样,分流比为 20:1,进样量 5  $\mu$ L;升温程序:200 °C 保持 2 min,以 3 °C/min 的速率升至 245 °C,再以 10 °C/min 的速率升至 275 °C,保持 2 min<sup>[15]</sup>。

### 1.2.6 多糖的抗氧化活性测定

1.2.6.1 银耳多糖 DPPH 自由基清除能力测定 运用刘培勋等<sup>[16]</sup>、Deng 等<sup>[17]</sup>的方法进行银耳多糖 DPPH 自由基清除能力的测定。取银耳多糖样品配制为 5 mg/mL,置于 10 mL 离心管中,加入无水乙醇稀释的 0.004% 的 DPPH 溶液 3.0 mL,室温避光反应 30 min,平行以无水乙醇为空白对照,3000 r/min 离心 10 min,取上清液,于 517 nm 波长处测定吸光值并记录,将样品放置 0.5、1.0、1.5、2.0 h 然后每隔 2 h 测定一次直到 18 h 后在 517 nm 测定吸光值,记录数据,以 5 mg/mL  $V_c$  为阳性对照。根据吸光值大小,得出 DPPH 自由基清除率随时间变化的规律。

DPPH 自由基清除率(%) =  $[A_0 - (A_x - A_c)] / A_0 \times 100$

式中, $A_0$ :1.0 mL 蒸馏水 + 3.0 mL DPPH 溶液的吸光度值; $A_x$ :1.0 mL 样品溶液 + 3.0 mL DPPH 溶液的吸光度值; $A_c$ :1.0 mL 样品溶液 + 3.0 mL 无水乙醇的吸光度值。

1.2.6.2 银耳多糖羟自由基清除能力测定 参考运用张泽生等<sup>[18]</sup>、陈英红等<sup>[19]</sup>、颜军等<sup>[20]</sup>的方法进行羟自由基清除能力测定;取提取液 1 mL,依次加入 5 mmol/L 邻二氮菲溶液 1 mL,0.2 mol/L PBS (pH = 7.4) 2 mL,5 mmol/L  $FeSO_4$  溶液和 0.1%  $H_2O_2$  各 1 mL,于 37 °C 反应 60 min,4000 r/min 离心 10 min,于 536 nm 处测定吸光值。银耳提取液清除羟自由基的能力与同浓度  $V_c$  的比较,结果用  $V_c$  等价抗氧化能力 VEAC ( $V_c$  equivalent antioxidant capacity) 表示。

羟自由基清除率(%) =  $(A_0 - A_x + A_{x_0}) / A_0 \times 100$

式中: $A_0$ -空白对照组的吸光度; $A_x$ -待测液的吸光度; $A_{x_0}$ -不加入显色剂  $H_2O_2$  的待测液的本底吸收值。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件进行数据处理,所有实验均重复操作 3 次,结果采用平均值  $\pm$  标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培方式银耳多糖各项营养指标分析

2.1.1 不同栽培方式银耳多糖中蛋白质残留量 图 1 为蛋白质标准曲线。由图 1 得到回归方程为  $y = 0.008x + 0.0348$  ( $R^2 = 0.9918$ ),由所测试验数据计算得不同栽培方式银耳多糖中蛋白质残留量如图 2 所示。

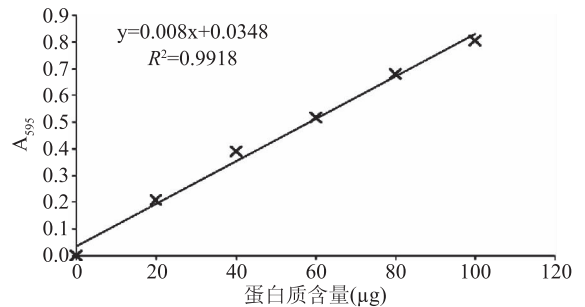


图1 蛋白质标准曲线

Fig.1 Protein standard curve

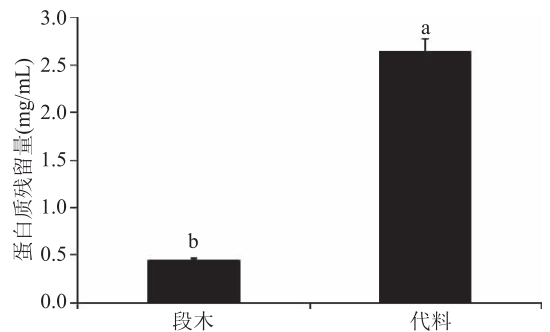


图2 不同栽培方式银耳多糖中的蛋白质残留量

Fig.2 Protein residues in polysaccharides

from *Tremella fuciformis* cultivated in different methods

注:不同小写字母代表同一指标段木和代料差异显著,  $p < 0.05$ ;图 6、图 11 同。

由图 2 可知,两种银耳在纯化后蛋白质含量存在显著差异( $p < 0.05$ ),代料银耳蛋白质含量( $2.65 \pm 0.05$  mg/mL)显著高于段木银耳( $0.45 \pm 0.06$  mg/mL) ( $p < 0.05$ )。说明两种栽培方式银耳在某些限定营养成分方面存在一定的差异。

2.1.2 不同栽培方式银耳多糖得率 以吸光度为纵坐标,葡萄糖浓度为横坐标绘制的标准曲线如图 3 所示。根据图 3,得回归方程为:  $Y = 0.0056X + 0.0027$ ,  $R^2 = 0.9998$ 。在脱蛋白后和透析后两种不同栽培方式银耳多糖得率及含糖量测定结果如表 1。

根据表 1 得出,脱蛋白后,段木银耳的多糖得率显著高于代料银耳( $p < 0.05$ ),分别为  $28.66\% \pm 2.33\%$ 、 $26.18\% \pm 1.13\%$ ;代料银耳的含糖量显著高于段木银耳( $p < 0.05$ ),分别为  $50.32\% \pm 1.61\%$ 、 $46.57\% \pm 0.46\%$ 。透析后,段木银耳的多糖得率显著高于代料木耳( $p < 0.05$ ),含糖量无显著差异( $p > 0.05$ ),且都超过了 80%。透析前后的多糖含糖量(等同纯度)存在明显差距,且透析后远高于透析前,可以推测出透析为除去蛋白质的重要过程,且试验透析结果较优。

2.1.3 不同栽培方式银耳多糖硫酸根离子、糖醛酸

表1 不同栽培方式银耳多糖得率及含糖量

Table 1 Polysaccharide yield and sugar content in different cultivation methods of *Tremella fuciformis*

栽培方式	脱蛋白后多糖		透析后多糖	
	得率(%)	含糖量(mg/mL)	得率(%)	含糖量(mg/mL)
代料	26.18 ± 1.13 <sup>a</sup>	50.32 ± 1.61 <sup>a</sup>	15.02 ± 0.43 <sup>a</sup>	86.89 ± 1.08 <sup>a</sup>
段木	28.66 ± 2.33 <sup>b</sup>	46.57 ± 0.46 <sup>b</sup>	15.52 ± 0.10 <sup>b</sup>	85.23 ± 2.38 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示同一指标段木和代料差异显著( $p < 0.05$ )。

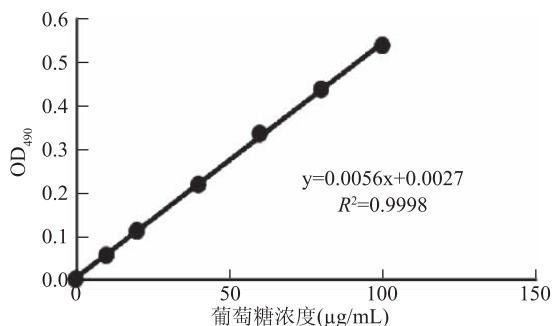


图3 葡萄糖溶液标准曲线

Fig.3 Glucose solution standard curve

含量 根据标准曲线(图4),计算得回归方程为:  
 $Y = 0.2176X + 0.0031, R^2 = 0.9911$ 。

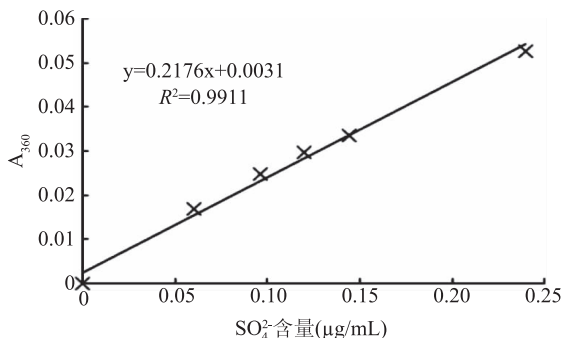


图4 硫酸根含量标准曲线

Fig.4 Standard curve of sulfate content

根据标准曲线(图5),计算得回归方程为:  
 $Y = 0.0102X + 0.0096, R^2 = 0.9978$ 。

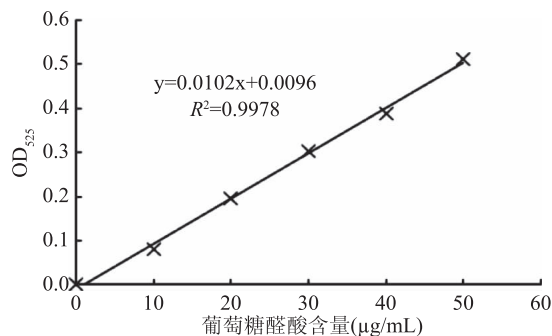


图5 葡萄糖醛酸标准曲线

Fig.5 Glucuronic acid standard curve

代料与段木银耳糖醛酸、硫酸根含量(%)如图6。由图6可知,段木银耳硫酸根含量和糖醛酸含量都高于代料银耳,由差异性分析表明存在显著性差异( $p < 0.05$ ),由此推断栽培方式的不同对银耳硫酸根、糖醛酸含量均有一定的影响。

硫酸根和糖醛酸含量被较多文献报道证实与生

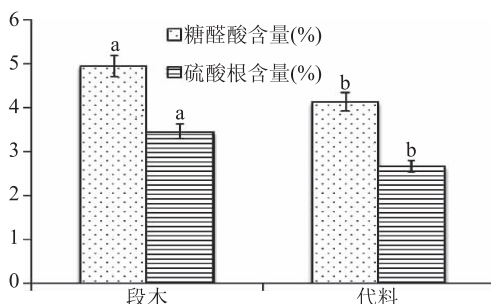


图6 不同栽培方式银耳多糖硫酸根、糖醛酸含量

Fig.6 Sulfate and uronic acid content of *Tremella fuciformis* polysaccharides in different cultivation methods

物活性为正相关的关系<sup>[21]</sup>。而糖醛酸的含量是判断此多糖是否为酸性多糖的一个重要指标。硫酸根属于多糖的一个特征基团,带有硫酸基团的糖的复合物(如蛋白聚糖、糖蛋白以及硫酸酯化多糖)是一大类很重要的活性物质,具有提供机体的细胞免疫、抗病毒和体液免疫功能以及延缓衰老等作用。王琪<sup>[22]</sup>的报道证实,多糖中硫酸根含量与其功效有密切联系,同时硫酸根含量越高,功效越好。

## 2.2 不同栽培方式银耳多糖的单糖组成分析

2.2.1 各单糖标准品气相色谱图 各单糖标准品气相色谱图见图7。

2.2.2 碱提法所得不同栽培方式银耳多糖的单糖组成及图谱

表2 单糖标准曲线

Table 2 Standard curve of monosaccharide

单糖组成	线性方程	决定系数 R <sup>2</sup>
鼠李糖	$y = 4.110x - 0.1321$	0.9978
岩藻糖	$y = 2.795x - 10.896$	0.9976
甘露糖	$y = 4.898x - 3.4775$	0.9988
木糖	$y = 5.111x - 4.2346$	0.9989
半乳糖	$y = 6.132x - 22.435$	0.9908
葡萄糖	$y = 5.243x - 11.301$	0.9945
葡萄糖醛酸	$y = 4.460x - 19.187$	0.9955

由表3、图8可知,两种栽培方式银耳多糖均含有甘露糖、葡萄糖、木糖、葡萄糖醛酸。其中代料与段木栽

表3 不同栽培方式银耳多糖的单糖组分

Table 3 Monosaccharide components of *Tremella fuciformis* in different cultivation methods

多糖单糖组成 (质量比)	甘露糖	木糖	葡萄糖	葡萄糖醛酸
段木	19.54	11.13	2.43	1
代料	23.48	14.27	13.62	1

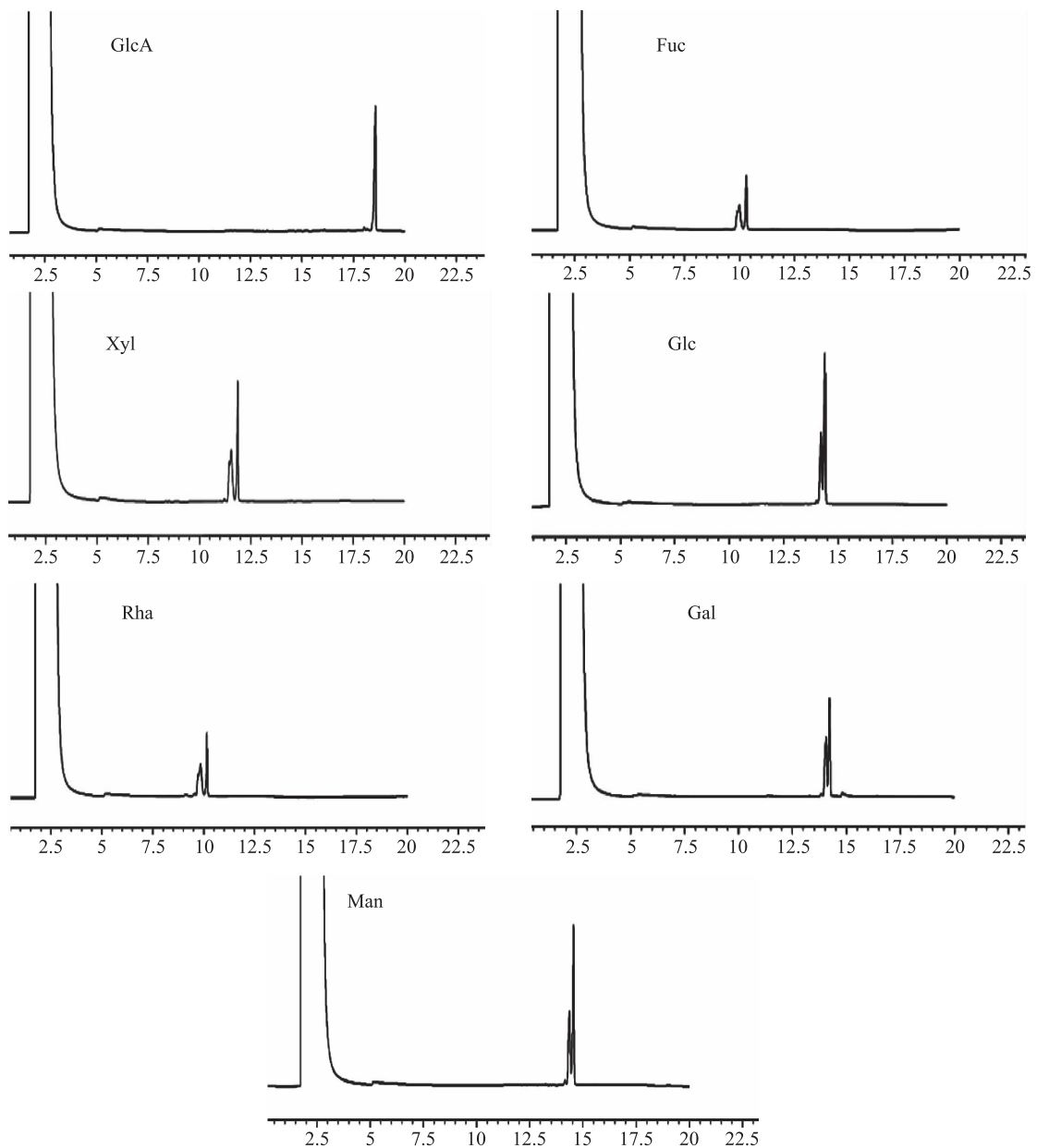


图7 各单糖标准品的气相色谱图

Fig.7 Gas chromatography of various monosaccharide standards

培方式中甘露糖含量都最多,其次是木糖和葡萄糖,且代料栽培银耳的甘露糖、木糖与葡萄糖含量都大于段木栽培银耳,葡萄糖醛酸含量差别不明显。银耳多糖的单糖组成是决定银耳多糖一级结构的重要指标,碱式提取的两种银耳多糖的单糖结构无较大差别,即多糖结构特征亦无太大差别,其他单糖含量均较少,所以由实验结果推测,此银耳多糖可能是以甘露糖为主链,木糖和葡萄糖醛酸等单糖作为辅链的酸性杂多糖。

### 2.3 不同栽培方式银耳多糖的抗氧化活性分析

**2.3.1 不同栽培方式银耳多糖清除 DPPH 自由基的能力** 不同栽培方式银耳多糖 DPPH 自由基清除率随放置时间的变化曲线如图 9 所示。由图 9 可知,随着反应时间增大, DPPH 自由基清除率也逐渐增大,最后在一个范围内无太大波动,说明时间越长,对自由基的清除能力越趋于稳定。在反应 5~10 h 时间段内, DPPH 自由基清除率迅速增大,且在反应时间

13 h 之后趋于稳定,由此可得反应时间为 13 h 最佳。由图 9 可知,  $V_c$  对于 DPPH 自由基的清除率为 68.57%, 在两种银耳 DPPH 清除率趋于稳定时,段木银耳多糖的 DPPH 自由基清除率比代料银耳高 3%, 二者分别为 44.80%、41.80%。

**2.3.2 不同栽培方式银耳多糖清除羟自由基的能力** 结合图 10~图 11 进行差异性分析可知,两种栽培方式银耳对于羟自由基的清除率无显著性差异 ( $p > 0.05$ ),代料银耳羟自由基清除率比段木银耳高 0.25%, 二者分别为  $46.82\% \pm 0.08\%$ 、 $46.57\% \pm 1.60\%$ 。表明采用相同提取方法时,两种银耳多糖的抗氧化能力无显著差异,猜测其生长环境与栽培方式对抗氧化能力无太大影响;但可能在不同提取方式下会有差异,这部分研究有待进一步深入。

### 3 结论

本试验采用碱提法提取代料银耳和段木银耳多

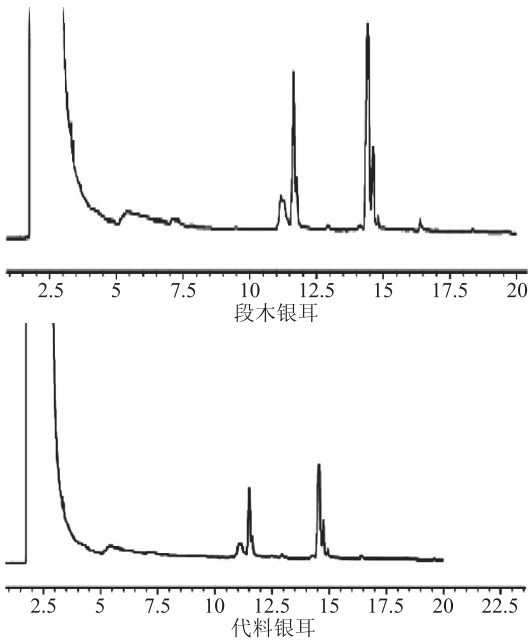


图8 碱提法所得银耳多糖的气相色谱图  
Fig.8 Gas chromatography of polysaccharides from *Tremella fuciformis* by alkali extraction

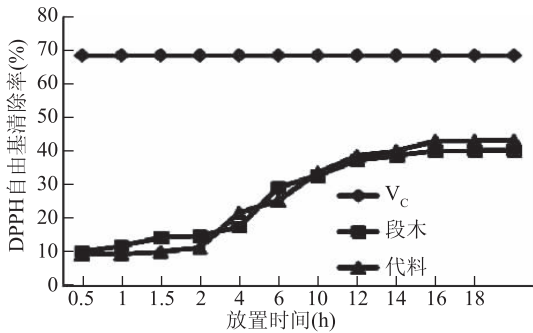


图9 不同栽培方式银耳多糖 DPPH 自由基清除率随放置时间的变化  
Fig.9 Changes of dpph free radical scavenging rate of *Tremella fuciformis* in different cultivation methods with storage time

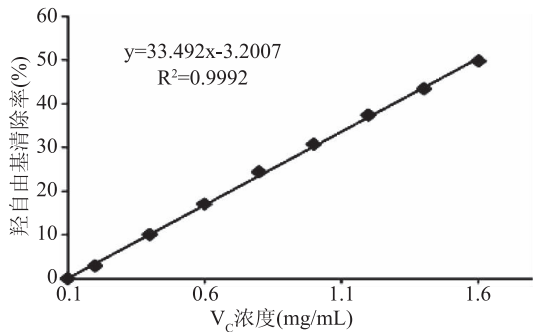


图10  $V_c$  清除羟自由基的标准曲线  
Fig.10 Standard curve for scavenging hydroxyl radicals by  $V_c$   
糖,通过测定多糖的理化性质及体外抗氧化活性,比较两种栽培方式银耳生物活性以及理化性质的差异。结果表明,透析后的多糖蛋白质含量极少,可以认为纯化后多糖中几乎不含蛋白质。由质量比结果分析可推测,银耳多糖是以甘露糖为主链,木糖、葡萄糖醛酸为辅链的酸性杂多糖,代料银耳与段木银耳

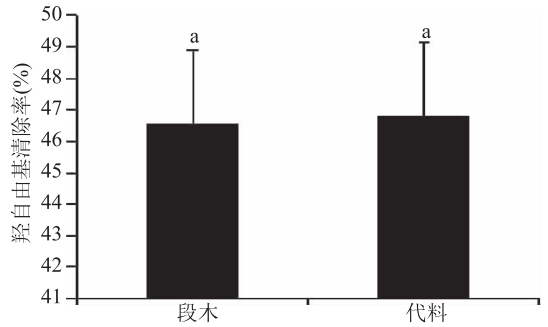


图11 不同栽培方式银耳多糖羟自由基清除率  
Fig.11 Hydroxyl radical scavenging rate of *Tremella* polysaccharides in different cultivation methods  
注: $V_c$  对于段木银耳多糖中羟自由基清除作用要稍弱于代料银耳。

多糖中葡萄糖的质量比为 13.62:2.43。单糖组成影响着多糖的结构,单糖组成的不同表明化学组成不同,由此可推测得出两种栽培方式银耳化学组成无太大差异。根据对银耳多糖的硫酸根含量、糖醛酸含量、DPPH 自由基和羟自由基清除能力的测定可知,段木银耳多糖和代料银耳多糖在碱式提取下生理活性差异基本不明显,由此可得出不同栽培方式对多糖抗氧化活性无太大影响。由结果可知,银耳多糖在 DPPH 自由基与羟自由基清除能力中起着主导作用,可作为一种天然的自由基清除剂。

参考文献

[1] 苟兴,赵树海,李先天,等.不同来源银耳中银耳多糖差异分析[J].中国现代中药,2017,19(6):828-832,848.  
[2] 古小露,王冉冉,马娜,等.基于营养成分和矿质元素含量判别银耳栽培方式[J].食品科技,2017,42(8):90-94.  
[3] 周永昌,汪昭月.银耳段木栽培[J].食用菌,1980(1):35-36.  
[4] 李清总.代料栽培银耳高产技术[J].食用菌,1993(2):26-27.  
[5] 马素云,贺亮,姚丽芬.银耳多糖结构与生物活性研究进展[J].食品科学,2010(23):411-416.  
[6] 江玉姬,孙淑静,官宁,等.银耳多糖提取工艺的研究[J].农业工程学报,2004(增1):262-263.  
[7] 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(6):153-155.  
[8] 吴振亚.银耳多糖的提取纯化、理化性质及抗氧化活性研究[D].雅安:四川农业大学,2015.  
[9] 曹桂华.银耳多糖的制备、化学结构及活性研究[D].长春:长春中医药大学,2013.  
[10] 曾丽萍,梁钻好,杨子银,等.银耳多糖提取优化及得率与质构相关性[J].农业工程,2016(5):61-64,69.  
[11] 吴琼,代永刚,高长城,等.酸降解水溶性银耳多糖及抗氧化作用研究[J].食品科学,2009(13):93-96.  
[12] 姜瑞芝,陈英红,杨勇杰,等.银耳多糖中糖醛酸含量的测定[J].中草药,2004(9):36-38.  
[13] 招钰,周小玲,郭海燕,等.茶多糖中单糖组成比较[J].安徽农业大学学报,2007(4):547-550.

- [14] 郭晓强,何钢,姚倩,等.乙酰化银耳多糖的制备及其取代度测定[J].食品工业科技,2013(12):255-257.
- [15] 韩威,姜瑞芝,陈英红,等.银耳多糖单糖组成分析的三种色谱方法比较[J].天然产物研究与开发,2012(3):359-361,302.
- [16] 刘培勋,高小荣,徐文清,等.银耳碱提多糖抗氧化活性的研究[J].中国生化药物杂志,2005(3):169-170.
- [17] Deng C, Sun Y, Fu H, et al. Antioxidant and immunostimulatory activities of polysaccharides extracted from Tremella aurantial bamyceia [J]. Molecular Medicine Reports, 2016, 14(5):4857.
- [18] 张泽生,孙东,徐梦莹,等.银耳多糖抗氧化作用的研究

- [J].食品研究与开发,2014(18):10-15.
- [19] 陈英红,姜翔之,罗浩铭,等.柱前衍生化高效液相色谱法分析银耳多糖的单糖组成[J].特产研究,2012(1):37-39,54.
- [20] 颜军,徐光域,郭晓强,等.银耳粗多糖的纯化及抗氧化活性研究[J].食品科学,2005(9):169-172.
- [21] 申明月,聂少平,谢明勇,等.茶叶多糖的糖醛酸含量测定及抗氧化活性研究[J].天然产物研究与开发,2007(5):830-833.
- [22] 王琪.灵芝子实体多糖的分离纯化、硫酸化及生物活性研究[D].南京:南京农业大学,2010.

(上接第 53 页)

- flour/tapioca starch blend gel [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 151:51-59.
- [16] Wolz M, Kulozik U. Thermal denaturation kinetics of whey proteins at high protein concentrations [J]. International Dairy Journal, 2015, 49:95-101.
- [17] Feng X C, Chen L, Lei N, et al. Emulsifying properties of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gels prepared with (-) - Epigallocatechin-3-gallate and NaCl [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65:2816-2824.
- [18] Long Z, Zhao M M, Zhao Q Z, et al. Effect of homogenisation and storage time on surface and rheology properties of whipping cream [J]. Food Chemistry, 2012, 131:748-753.
- [19] Liu P C, Xu H L, Zhao Y, et al. Rheological properties of soy protein isolate solution for fibers and films [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 64:149-156.

- [20] Pang X F, Deng B. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field [J]. Physica B, 2008, 403:3571-3577.
- [21] 李艳芳. 乙酰化马铃薯淀粉流变、凝胶特性及颗粒形貌研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
- [22] Liang Q, Zhang J, Xu C, et al. Influence of temperature, pH, and ionic strength on the rheological properties of oviductus ranae hydrogels [J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 13(24):2435-2444.
- [23] Sikora M, Adamczyk G, Krystyan M, et al. Thixotropic properties of normal potato starch depending on the degree of the granules pasting [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 121:254-264.
- [24] Chan B, Zhang S, Lei H, et al. Starch-based hydrogel loading with carbendazim for controlled-release and water absorption [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 125:376-383.

因本刊已被《中国知网》  
(包括“中国知网”优先数字出版库)  
独家全文收录,所以所付稿酬中  
已包含该网站及光盘应付的稿酬。