



曾小彤,王怡,陈立强,等.不同产地黑木耳多糖的抗氧化活性比较[J].黑龙江农业科学,2024(1):51-57.

# 不同产地黑木耳多糖的抗氧化活性比较

曾小彤,王 怡,陈立强,张常洪,魏 伟

(四川文理学院,四川 达州 635000)

**摘要:**为促进通江黑木耳的进一步开发利用,以东北小碗耳、通江黑木耳、白背黑木耳 3 种不同产地的黑木耳为试材,以提取率和多糖含量为评价指标,利用热水提取法、Sevag 脱蛋白得到 3 种黑木耳多糖,进行 Molish 反应分析,采用体外测试法考察不同产地黑木耳多糖的抗氧化活性。结果表明,东北小碗耳的多糖提取率和多糖含量最高,分别为 2.48% 和 43.64%,意味着东北小碗耳的多糖提取率和多糖含量存在优势。不同产地黑木耳的多糖有不同的抗氧化活性,其中通江黑木耳多糖在抗氧化活性方面存在较为明显的优势,羟基自由基,1,1-二苯基-2-苦味基胍(DPPH·)自由基,2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS<sup>+</sup>·)自由基的清除率分别高达 50.11%,56.68% 和 32.64%,还原力能力高达 0.12,表明通江黑木耳多糖抗氧化活性方面更具有潜力。

**关键词:**黑木耳;多糖;抗氧化活性;通江黑木耳

黑木耳(*Auricularia auricular*),属于真菌门担子菌纲,是珍贵的药食兼用的胶质真菌,黑木耳的子实体为半透明胶质状,干燥后形状收缩,颜色变深,由半透明变为深褐色或黑色,在世界上被公认为是极好的保健品<sup>[1]</sup>。中国是世界上黑木耳的主要生产国<sup>[2]</sup>。研究表明,黑木耳营养价值极高,富含多糖、黑色素、蛋白质、黄酮类化合物、多

酚以及微量元素<sup>[3-6]</sup>,具有抗氧化、降血糖、抗肿瘤等作用<sup>[7-8]</sup>。其中,黑木耳多糖是黑木耳的主要活性成分,有着良好的抗氧化、抗凝血、抗肿瘤、降血糖以及抗菌等生理活性<sup>[9-12]</sup>。刘茜等<sup>[13]</sup>通过研究秦巴山区黑木耳多糖的理化性质及体外抗氧化活性,发现秦巴山区黑木耳多糖具有良好的抗氧化能力。曹慧馨<sup>[14]</sup>通过比较降解前后黑木耳多糖

收稿日期:2023-08-11

基金项目:特色植物开发研究四川省高校重点实验室 2020 年开放基金项目(TSZW2002,TSZW2003)。

第一作者:曾小彤(1994—),女,硕士,助教,从事天然产物研究。E-mail:755765171@qq.com。

## Planting Adaptability of Different *Ganoderma lucidum* Strains in Lasa

SUN Huijuan,GAO Lei

(Institute of Vegetable Sciences,Xizang Academy of Agricultural Animal Husbandry Sciences, Lasa 850030, China)

**Abstract:** In order to select and obtain the high quality *Ganoderma lucidum* strains suitable for cultivation in Xizang, the main agronomic characters and active components in fruit bodies of 6 different *Ganoderma lucidum* strains were compared and analyzed by using bag material cultivation. The results showed that strains 15 and 26 were all *Ganoderma lucidum*. The average single weight of fruiting body of strain 26 was the highest (82.01 g), the diameter of cap was the largest (16.00 cm), and the biological efficiency was the highest (23.60%). The content of triterpenoids in fruitus of strain 15 was the highest (1.91%), which was 282.00% higher than that in pharmacopoeia (1.88%). The content of polysaccharides in fruitus of *Ganoderma lucidum* strain 15 was the highest (1.27%), which was the highest. The polysaccharide and triterpene contents of isolates 15 and 26 were significantly higher than those of other *Ganoderma lucidum* strains. According to the main agronomic traits, biological efficiency and active ingredient contents, *Ganoderma Lucidum* 15 and 26 were suitable for cultivation and promotion in Lhasa area.

**Keywords:** *Ganoderma lucidum*; Lasa; agronomic trait; active ingredients

抗氧化活性,发现降解后的黑木耳多糖的抗氧化活性明显提高,并具有较好的抗氧化活性。付丽娜等<sup>[15]</sup>通过超声波辅助提取黑木耳多糖工艺优化,得到的黑木耳多糖的抗氧化能力随着浓度呈线性关系,并逐渐增强。Bian等<sup>[16]</sup>通过研究黑龙江省伊春市的黑木耳酸性多糖,发现其具有较好的抗凝血活性。罗敬文等<sup>[17]</sup>研究发现玉木耳、毛木耳、黑木耳3种不同木耳对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌均有不同程度的抑菌作用。通江黑木耳作为四川本土特色产品,尚未有文献比较其与其他产地黑木耳多糖之间的抗氧化活性差异,因此,本研究以通江黑木耳、东北小碗耳、广西白背黑木耳3种不同产地黑木耳为研究对象,采用热水提取法、Sevag脱蛋白得到黑木耳多糖,通过体外抗氧化活性评价系统来比较其抗氧化活性差异,为进一步开发利用黑木耳资源提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

东北小碗耳(AAP-D,干燥实体)购于牡丹江小冯电子商务有限公司;通江黑木耳(AAP-T,干燥实体)购于达州市通川区王思睿副食部;白背黑木耳(AAP-B,干燥实体)购于金秀县瑶山绿农生态农业开发有限公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS<sup>+</sup>·)、1,1-二苯基-2-苦味基胍(DPPH·)购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司;D-葡萄糖、乙醇等购于成都科隆化学有限公司。试验用水为蒸馏水。

Heraeus Megafuge8R离心机,由四川蜀科仪器有限公司生产;LGJ-10C冷冻干燥机,由四环福瑞科仪科技发展有限公司生产;Varioskan LUX多功能酶标仪,由赛默飞世尔科技(中国)生产。

### 1.2 方法

1.2.1 黑木耳多糖的提取纯化 黑木耳多糖的提取方法参考朱雪琼<sup>[18]</sup>的热水提取法。分别称取东北小碗耳、通江黑木耳、白背黑木耳,简单处理成小碎块,按料液比1:30(g·g<sup>-1</sup>),在100℃下浸提3h。提取两次,合并上清液,Sevag法脱蛋白,浓缩,醇沉,冷冻干燥,分别得到东北小碗耳多糖产物(AAP-D)、通江黑木耳多糖产物(AAP-T)、白背黑木耳产物(AAP-B)。

1.2.2 多糖的提取率及含量测定 参照公式(1)计算多糖提取率。

$$\text{多糖提取率}(\%) = m_1 / m_0 \times 100 \quad (1)$$

式中, $m_1$ 为多糖提取物粉末的质量(g); $m_0$ 为黑木耳样品的质量(g)。

多糖含量标准曲线:参考朱雪琼<sup>[18]</sup>的方法,采用硫酸-苯酚法,以D-葡萄糖为标准品,绘制标准曲线。以D-葡萄糖质量浓度(mg·mL<sup>-1</sup>)C为横坐标,以吸光值A为纵坐标,得到回归方程,即得线性方程 $Y = 10.75952X - 0.01749$ ,相关系数 $R^2 = 0.99364$ ,可见在此浓度范围内线性关系良好。

样品含量测定:取样品溶液1.0mL,置于10mL具塞试管中,加入5%苯酚溶液1.0mL,振摇混匀,加入5.0mL浓硫酸,迅速振摇混匀,于室温下放置30min,记录在酶标仪490nm处的吸收度。

1.2.3 黑木耳多糖的Molish反应 取样品溶液,加入2滴Molish试剂(5g $\alpha$ -萘酚溶于95%乙醇并配制成100mL),充分混合均匀。斜执试管,沿管壁慢慢加入浓硫酸约1mL,慢慢立起试管。静置试管,观察二液分界面处的颜色变化。

1.2.4 黑木耳多糖抗氧化能力的测定 羟基自由基清除率的测定:根据曹慧馨<sup>[14]</sup>的方法评价羟基自由基清除率,按照式(2)计算黑木耳多糖羟基自由基清除率。

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

式中, $A_0$ 为等体积蒸馏水代替样品溶液的吸光度; $A_1$ 为样品溶液的吸光度; $A_2$ 为等体积蒸馏水代替H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液的吸光度。

DPPH·自由基清除率的测定:参考Xu等<sup>[19]</sup>的方法评价DPPH·自由基清除率,按照式(3)计算黑木耳多糖DPPH·自由基清除率。

$$\text{DPPH} \cdot \text{自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

式中, $A_0$ 为1.0mL DPPH溶液和1.0mL蒸馏水混合的吸光度; $A_1$ 为1.0mL DPPH溶液加入1.0mL样品溶液混合后的吸光度; $A_2$ 为1.0mL无水乙醇和1.0mL样品溶液混合的吸光度。

ABTS<sup>+</sup>·自由基清除率的测定:参考沙玉欢等<sup>[20]</sup>方法评价ABTS<sup>+</sup>·自由基清除率,按照式(4)计算黑木耳多糖ABTS<sup>+</sup>·自由基清除率。

$$\text{ABTS}^+ \cdot \text{自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad (4)$$

式中, $A_0$  为等体积蒸馏水代替样品溶液的吸光度; $A_1$  为 1.0 mL 样品溶液与 5.0 mL ABTS<sup>+</sup>·工作液混合的吸光度; $A_2$  为等体积蒸馏水代替 ABTS<sup>+</sup>·工作液和 1.0 mL 样品溶液混合的吸光度。

还原力的测定:根据 Li 等<sup>[21]</sup> 的方法评价黑木耳多糖还原力,按照式(5)计算黑木耳多糖还原能力。

还原力(700 nm 吸光度)= $A_1 - A_0$  (5)

式中, $A_0$  为空白组溶液的吸光度值; $A_1$  为样品组的吸光度值。

1.2.5 数据分析 所有试验结果均为 3 次重复平均值±标准差。采用 Excel 2021 和 Origin Pro 2021 对数据进行单因素方差统计分析( $P \leq 0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 黑木耳多糖的提取率和多糖含量分析

由表 1 可知,3 种不同产地的黑木耳多糖提取率与多糖含量均达到显著水平。多糖提取率大小顺序为 AAP-D>AAP-T>AAP-B,多糖提取率最高的为东北小碗耳,达 2.48%,白背黑木耳

多糖提取率最低,为 1.02%。多糖含量大小顺序为 AAP-D>AAP-T>AAP-B,多糖含量最高的为东北小碗耳,达 43.64%,白背黑木耳多糖含量最低,为 27.27%。表明不同地区的黑木耳在多糖含量上存在差异。就提取率和多糖含量来看,东北小碗耳存在较为明显的优势。

表 1 不同产地黑木耳中的多糖提取率和多糖含量比较

黑木耳种类	多糖提取率/%	多糖含量/%
东北小碗耳(AAP-D)	2.48±0.008 a	43.64±1.30 a
通江黑木耳(AAP-T)	1.58±0.021 b	31.12±0.93 b
白背黑木耳(AAP-B)	1.02±0.016 c	27.27±0.84 c

注:同列不同小写字母表示在  $P \leq 0.05$  水平差异显著。

2.2 Molish 反应分析

样品与 Molish 试剂反应现象如图 1 所示,不同产地黑木耳提取到的多糖溶液与 Molish 试剂反应都呈现阳性,两液面交界处均出现了明显的紫红色环,证明不同产地黑木耳多糖提取物中均存在多糖。



a. 左为 AAP-D,右为 AAP-D 与 Molish 试剂反应;b. 左为 AAP-T,右为 AAP-T 与 Molish 试剂反应;c. 左为 AAP-B,右为 AAP-B 与 Molish 试剂反应。

图 1 不同产地黑木耳多糖的 Molish 反应

2.3 不同产地黑木耳多糖抗氧化活性评价

2.3.1 羟基自由基清除能力 由图 2 可知,不同浓度(0.5~10.0 mg·mL<sup>-1</sup>)的样品均对羟基自由基有明显的抑制作用,且呈浓度依赖趋势。在 0.5~10.0 mg·mL<sup>-1</sup> 浓度范围内,AAP-B 的羟基自由基清除率达到显著水平;在 5.0~10.0 mg·mL<sup>-1</sup> 浓度范围内,AAP-T 的羟基自由基清除率达到显著水平,而 AAP-D 的羟基自由基清除率差异不显著,均显著高于 0.5~2.0 mg·mL<sup>-1</sup> 浓度范围的清除率。在 2.0~5.0 mg·mL<sup>-1</sup> 浓度范围内,AAP-T 的增长幅度低于 AAP-B,但在 5.0~10.0 mg·mL<sup>-1</sup> 浓度范围内,AAP-T 的增长幅度要远超于 AAP-B。在 10.0 mg·mL<sup>-1</sup> 时,AAP-T 的羟基清除率达到最大(50.11%),远超于 AAP-B(38.61%)和 AAP-D(19.41%),意味着随着浓度的上升,通江黑木耳

多糖对羟基自由基清除能力优势逐渐显现。

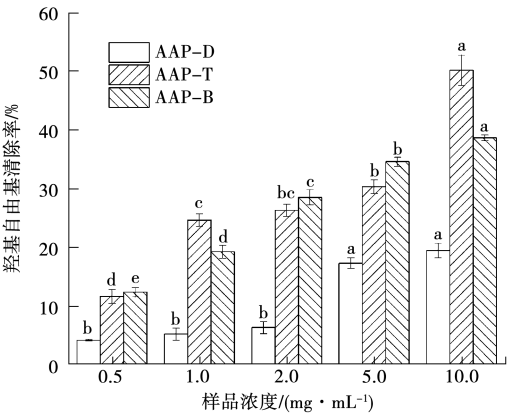


图 2 不同产地黑木耳多糖清除羟基自由基的效果

注:不同小写字母表示同一种黑木耳不同浓度间在  $P \leq 0.05$  水平差异显著。下同。

2.3.2 DPPH·自由基清除能力 由图3可知,3种多糖样品在不同浓度下对DPPH·自由基的清除能力均呈浓度依赖性,说明木耳多糖作为电子或氢供体清除DPPH·自由基。在 $0.1\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内,AAP-D和AAP-T的清除率均在不同浓度间达到显著水平;在 $0.8\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内,AAP-B的清除率差异不显著,但显著高于 $0.1\sim 0.4\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围的清除率。在 $0.4\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内,AAP-T的增长速度远超前于AAP-B和AAP-D,在浓度为 $1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,AAP-T、AAP-B和AAP-D3种木耳多糖的清除DPPH·自由基的能力分别达到56.68%,37.49%和35.53%。在高浓度时,通江黑木耳多糖的清除率均高于东北小碗耳多糖和白背黑木耳多糖。意味着通江黑木耳多糖对DPPH·自由基的清除能力优势逐渐显现,具有清除DPPH·自由基的潜在优势。

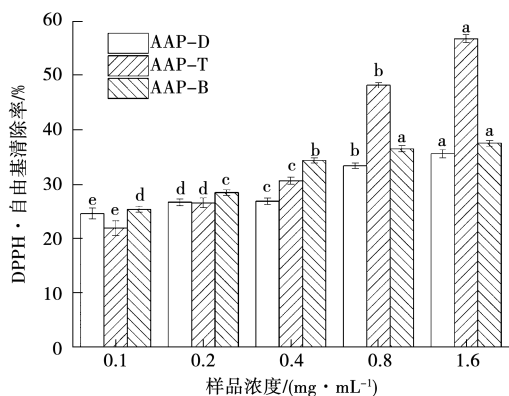


图3 不同产地黑木耳多糖清除DPPH·自由基的效果

2.3.3 ABTS<sup>+</sup>·自由基清除能力 由图4可知,AAP-D、AAP-T和AAP-B清除ABTS<sup>+</sup>·自由基的能力与浓度呈正相关。在 $0.8\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围,AAP-D、AAP-T和AAP-B不同浓度间的清除率均达到显著水平( $P\leq 0.05$ ),且 $1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 均显著高于 $0.1\sim 0.4\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围的清除率。AAP-T在 $0.1\sim 0.8\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内的增长幅度要低于在 $0.8\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围。但从整体上来看,AAP-T清除ABTS<sup>+</sup>·自由基能力均超过AAP-B和AAP-D,在浓度为 $1.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,AAP-T、AAP-B和AAP-D的清除率分别为32.64%、14.50%和12.57%,说明通江黑木耳多糖具有较好的ABTS<sup>+</sup>·自由基的清除能力。

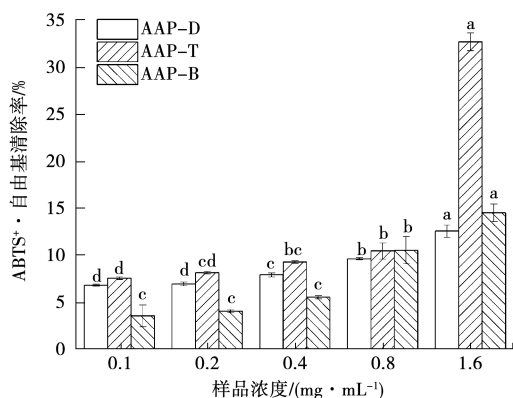


图4 不同产地黑木耳多糖清除ABTS<sup>+</sup>·自由基的效果

2.3.4 还原力 由图5可知,随着浓度的增加,多糖样品的还原能力增强。在 $0.5\sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围,AAP-D各浓度间还原能力达到显著水平( $P\leq 0.05$ );在 $2.0\sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围,AAP-T各浓度间还原能力达到显著水平,均显著高于 $0.5\sim 1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的还原能力;在 $5.0\sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围,AAP-B不同浓度间还原能力达到显著水平,均显著高于 $0.5\sim 2.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度的还原能力。在 $1.0\sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内,AAP-T的增长速度要远超前于AAP-B和AAP-D,在浓度 $10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,AAP-T、AAP-B和AAP-D的还原能力(吸光值)分别为0.12,0.05和0.03。说明AAP-T有比较好的还原能力,进一步说明通江黑木耳多糖具有潜在抗氧化活性优势。

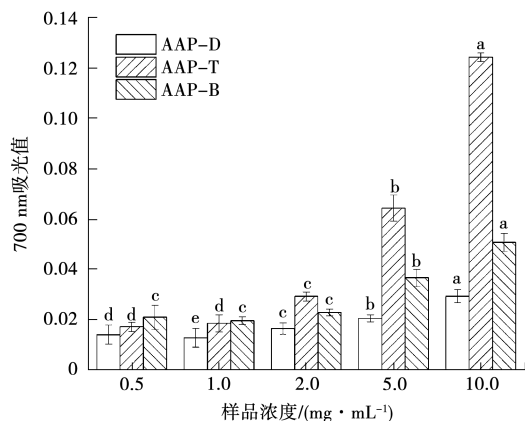


图5 不同产地黑木耳多糖还原力的效果

2.3.5 不同产地黑木耳多糖抗氧化活性对比 由表2可知,从本研究的抗氧化活性数据来看,通江黑木耳多糖具有比东北小碗耳多糖和白背黑木耳多糖更好的抗氧化活性。如市售黑木耳<sup>[14]</sup>提



取得到的黑木耳多糖的羟基自由基清除率大概为25.00%,与相同浓度下的清除率相比,通江黑木

耳多糖具有明显优势。因此,通江黑木耳仍然具有潜在的抗氧化活性优势。

表 2 不同产地黑木耳多糖抗氧化活性比较

品种	产地	提取方法	脱蛋白方法	多糖含量/ %	抗氧化活性				参考文献
					羟基自由基清除率/%	DPPH·清除率/%	ABTS <sup>+</sup> ·清除率/%	还原力	
东北小碗耳	黑龙江	热水提取法	Sevag 法	43.64	19.41 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	35.53 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	12.57 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	0.03 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	本研究
通江黑木耳	四川			31.12	50.11 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	56.68 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	32.64 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	0.12 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	
白背黑木耳	广西			27.27	38.61 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	37.49 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	14.50 (1.6 mg•mL <sup>-1</sup> )	0.05 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	
西北黑木耳	陕西	热水提取法	Sevag 法	53.15	—	—	—	0.45 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	[13]
东北黑木耳	黑龙江			60.98	—	—	—	0.50 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	
黑木耳	市售	热水提取法	三氯乙酸法	87.08	25.00 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	70.00 (10 mg•mL <sup>-1</sup> )	—	—	[14]
黑木耳	黑龙江	热水提取法	Sevag 法	8.93	89.00 (20 mg•mL <sup>-1</sup> )	—	41.00 (20 mg•mL <sup>-1</sup> )	—	[22]
富硒黑木耳	吉林	超声波辅助法	Sevag 法	—	63.27 (13 mg•mL <sup>-1</sup> )	—	81.26 (20 mg•mL <sup>-1</sup> )	0.45 (20 mg•mL <sup>-1</sup> )	[23]
柞水黑木耳	陕西	超声波辅助法	—	24.95	—	60.40 (1.0 mg•mL <sup>-1</sup> )	—	—	[24]

注:括号中数据为样品浓度。

3 讨论

黑木耳多糖作为黑木耳的主要活性成分,是药品与食品科学领域研究的热点。本试验采用热水提取法提取不同产地的黑木耳多糖,该方法主要是借助热力作用,使真菌细胞发生质壁分离,使液泡中的物质能穿过细胞壁并扩散到外部溶剂中<sup>[25]</sup>,是最常用的多糖提取方法,该方法操作简单,安全无毒。蛋白质是黑木耳多糖提取液中主要的杂质,因此本试验主要采用最传统的多糖脱蛋白方法——Sevag 法,其脱蛋白效果好且不容易破坏多糖成分<sup>[18]</sup>。本试验对于 3 种不同产地的黑木耳多糖采用同样的提取纯化方法,得到的提取率与多糖含量存在差异,与史岳红等<sup>[26]</sup>的基本一致,稍有差异可能的原因是生长环境不同导致其所含多糖存在差异<sup>[27]</sup>。多糖的定性鉴别主要有 Molish 反应,虽 Molish 反应不具有专属性,

但可鉴别产物中是否含有糖类,本试验的 Molish 反应现象与韦秀莎等<sup>[28]</sup>的 Molish 反应现象基本一致,多糖液面交界处都有清晰可见的紫红环,故可说明该体系中含有糖类物质。多糖的含量分析主要采用苯酚-硫酸法<sup>[29]</sup>,该法的原理是多糖在浓硫酸作用下迅速脱水水解生成单糖,而单糖脱水生成糖醛或糖醛衍生物,该物质能与苯酚反应生成在 490 nm 处有最大吸收峰的橙黄色络合物,糖的浓度与其吸光度有良好的线性关系,可以利用这一特性来测定多糖的含量。结合本试验数据来看,该法简便,且重复性、稳定性良好。

天然植物中提取的多糖及其衍生物在体内外抗氧化活性方面引起了广泛关注。特别是在体外抗氧化方面,多糖被认为是有效的自由基清除剂、还原剂以及铁螯合剂等<sup>[30]</sup>。因此对于制备得到的不同产地黑木耳多糖,采用体外测试法评价其

抗氧化活性,主要从羟基自由基、DPPH·自由基、ABTS<sup>+</sup>·自由基、清除能力以及还原力4个方面进行评价。羟基自由基能导致邻近生物分子的氧化损伤,被认为是最有害的活性氧<sup>[31]</sup>。因此,清除羟基自由基对抗氧化活性评价具有重要意义。3种黑木耳多糖均表现出不同的清除能力,其中通江黑木耳多糖在10.0 mg·mL<sup>-1</sup>时,清除率高达50.11%,具有较强的清除羟基自由基的能力。DPPH·自由基清除活性评价方法基于自由基清除剂提供氢原子将深紫色的DPPH·转化为黄色DPPH-H非自由基形式。其变色程度与自由基清除活性呈浓度依赖性,清除率越大其抗氧化能力越强<sup>[32]</sup>。3种黑木耳多糖均表现出不同的清除能力,其中通江黑木耳多糖在1.6 mg·mL<sup>-1</sup>时,其清除率高达56.68%,具有较强的清除DPPH·自由基的能力。ABTS是一种水溶性的自由基引发剂,经活性氧化后生成稳定的蓝绿色阳离子自由基ABTS<sup>+</sup>·,当抗氧化物存在时,ABTS<sup>+</sup>·的产生会被抑制,体系颜色变浅,且在一定波长处检测其吸光值也会随之下降<sup>[33]</sup>。3种黑木耳多糖均表现出不同的清除能力,其中通江黑木耳多糖在1.6 mg·mL<sup>-1</sup>时,其清除率高达32.64%,具有较强的清除ABTS<sup>+</sup>·自由基的能力。还原能力强的物质可以提供更多的电子,不仅能够将Fe<sup>3+</sup>还原为Fe<sup>2+</sup>,还可以参与自由基反应形成稳定的物质,测定抗氧化剂在700 nm处的吸光度可以间接来反映抗氧化剂的还原能力,吸光度越大,还原能力越强,抗氧化能力越强<sup>[34]</sup>。3种黑木耳多糖均表现出不同的还原力,其中通江黑木耳多糖在10.0 mg·mL<sup>-1</sup>时,其还原力为0.12,具有一定的还原能力。综上所述,3种黑木耳多糖具有一定的抗氧化能力,其中通江黑木耳多糖具有较好的潜在抗氧化活性。

据文献报道<sup>[35]</sup>,单糖组成、分子质量大小、官能团数量、糖苷键连接方式等都可能导致多糖间活性差异。天然黑木耳多糖由于分子量大,黏度高、水溶性差,难以穿透多个细胞膜屏障,无法进入生物体内发挥功能活性<sup>[36-37]</sup>,因此,有可能也会在一定程度上影响其活性评价。活性物质的结构决定其功能,因此黑木耳多糖结构解析及构效关系尚待进一步分析研究。

## 4 结论

本研究以3种不同产地黑木耳为试验材料,

采用热水提法,Sevag法脱蛋白,制备得到黑木耳多糖样品。通过羟基自由基、DPPH·自由基、ABTS<sup>+</sup>·自由基清除能力以及还原力4种抗氧化测定方法,对其进行抗氧化活性评价。结果表明,黑木耳多糖具有良好的抗氧化活性,不同产地的黑木耳多糖的抗氧化活性存在差异,其中通江黑木耳具有较好的抗氧化活性,可进一步利用其开发通江黑木耳多糖。

## 参考文献:

- [1] 孙畅,姜明,段旭彤,等.黑木耳的保健和药用价值以及开发前景分析[J].科技视界,2013(12):17-18.
- [2] 张志强,翟硕莉,梁魁景,等.黑木耳多糖药理学效应研究进展[J].生物学教学,2017,42(5):7-9.
- [3] 黄莎,李伟荣,林芳,等.黑木耳营养和生物活性成分及其提取工艺研究进展[J].中国食用菌,2021,40(10):7-12.
- [4] 李定金,段秋霞,段振华,等.黑木耳功能性成分及其干燥技术研究进展[J].保鲜与加工,2020,20(6):233-237.
- [5] 张志秀.黑木耳主要生物活性成分的作用及其研究开发进展[J].食药菌,2022,30(1):20-25.
- [6] 张蕾,宛春雷,郝婧玮,等.黑秋耳和玉木耳活性成分及多酚抗氧化活性比较分析[J].江苏农业科学,2019,47(23):243-245.
- [7] 吕邵娃,单常芮,刘磊,等.黑木耳药理作用研究进展[J].食品与药品,2020,22(2):154-158.
- [8] 王佰灵,谢勇,赵永恒,等.黑木耳多糖药理作用研究进展[J].中国医药导报,2016,13(26):29-32.
- [9] 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.
- [10] 周国华,于国萍.黑木耳多糖降血脂作用的研究[J].现代食品科技,2005,21(1):46-48.
- [11] 王国红,马怀良,律凤霞,等.黑木耳多糖的生物活性研究进展[J].中国林副特产,2021(2):88-92.
- [12] 尹红力,赵鑫,佟丽丽,等.黑木耳多糖体外和体内降血糖功能[J].食品科学,2015,36(21):221-226.
- [13] 刘茜,张馨语,王琰,等.秦巴山区黑木耳多糖理化性质及体外抗氧化活性[J].食品与发酵工业,2021,47(23):91-97.
- [14] 曹慧馨.黑木耳多糖的制备及其抗氧化活性的研究[D].长春:长春大学,2021.
- [15] 付丽娜,郑佳东,孟慧荣,等.黑木耳多糖的提取工艺优化及抗氧化活性研究[J].粮食与油脂,2021,34(8):93-96.
- [16] BIAN C, WANG Z Y, SHI J. Extraction optimization, structural characterization, and anticoagulant activity of acidic polysaccharides from *Auricularia auricular-judae* [J]. Molecules, 2020, 25(3):710.
- [17] 罗敬文,司凤玲,顾子玄,等.3种木耳多糖的抗氧化活性与抑菌能力比较分析[J].食品科学,2018,39(19):64-69.
- [18] 朱雪琼.黑木耳多糖的提取、功能及单糖组成的研究[D].南宁:广西大学,2014.

- [19] XU W T,ZHANG F F,LUO Y P,et al. Antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide purified from *Pteridium aquilinum* [J]. Carbohydrate Research, 2009, 344 (2): 217-222.
- [20] 沙玉欢,毛晓英,吴庆智,等. 核桃分心木黄酮物质的组分及其抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 91-98.
- [21] LI J W,LIU Y F,FAN L P,et al. Antioxidant activities of polysaccharides from the fruiting bodies of *Zizyphus jujuba* cv. Jinsixiaozao [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84 (1): 390-394.
- [22] 李婷婷,王振宇,尹红丽,等. 不同溶剂提取黑木耳多糖体外抗氧化活性的研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(18): 5951-5953.
- [23] 吕明帅,赵博,孙文玉,等. 富硒黑木耳多糖的理化性质及抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(6): 54-59.
- [24] 杨梦佳,韩晓江,王涛,等. 响应面法优化秦岭黑木耳多糖提取工艺及抗氧化性研究[J]. 农产品加工, 2022(17): 30-34.
- [25] 郭天力,严晓娟,胡先望,等. 真菌多糖研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2013, 13(18): 3578-3583.
- [26] 史岳红,鲜乔,张拥军. 不同品种黑木耳多糖含量差异的研究[J]. 浙江食用菌, 2009, 17(5): 15-17.
- [27] 贺维涛,年婧,赵重博. 不同产地黄精多糖含量、多糖红外光谱及抗氧化活性研究[J]. 现代中医药, 2022, 42(6): 51-55.
- [28] 韦秀莎,黄金石,吴娅妮,等. 蛭螭多糖的鉴定及其含量测定[J]. 广西医科大学学报, 2021, 38(11): 2152-2157.
- [29] 苏玉顺,李艳君,赵方振,等. 紫外-可见分光光度法在植物多糖含量测定中的应用[J]. 光谱实验室, 2011, 28(3): 1101-1107.
- [30] 张生楠,郭世伟,乔敏,等. 不同采收时期黄花蒿多糖体外抗氧化活性的研究[J]. 饲料研究, 2022, 45(3): 68-72.
- [31] FAN L P,LI J W,DENG K Q,et al. Effects of drying methods on the antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum* [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 1849-1854.
- [32] CHUNG Y C,CHANG C T,CHAO W W,et al. Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by *Bacillus subtilis* IMR-NK1 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(8): 2454-2458.
- [33] 郑善元,陈填烽,郑文杰,等. 单丛茶水提物清除 DPPH 和 ABTS 自由基的光谱学研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2417-2423.
- [34] 展锐,库尔班,荷萍,等. 火绒草提取物抗氧化活性的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 153-159.
- [35] LI Z,NIE K,WANG Z,et al. Quantitative structure activity relationship models for the antioxidant activity of polysaccharides [J]. plos one, 2016, 11(9): e0163536.
- [36] QU J L,HUANG P,ZHANG L,et al. Hepatoprotective effect of plant polysaccharides from natural resources: a review of the mechanisms and structure-activity relationship [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 161: 24-34.
- [37] WU Q,QIN D D,CAO H X,et al. Enzymatic hydrolysis of polysaccharide from *Auricularia auricular* and characterization of the degradation product [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 162: 127-135.

## Comparison of Antioxidant Activities of *Auricularia auricular* Polysaccharides from Different Producing Areas

ZENG Xiaotong, WANG Yi, CHEN Liqiang, ZHANG Changhong, WEI Wei

(Sichuan Institute of Arts and Science, Dazhou 635000, China)

**Abstract:** To promote the further development and utilization of Tongjiang *Auricularia auricular*, three kinds of *A. auricular* from different producing areas in Northeast Xiaowan *Auricularia*, Tongjiang *A. auricular* and Baibei *A. auricular* were studied. With extraction rate and polysaccharide content as evaluation index, *A. auricular* polysaccharides were obtained by hot water extraction and Sevag deproteinization, respectively. The different of *A. auricular* polysaccharides from different producing areas were investigated by Molish reaction. And the antioxidant activities of polysaccharides from different producing areas were investigated by *in vitro*. The results showed that the extraction yield and polysaccharides content of Northeast Xiaowan *Auricularia* were the highest, 2.48% and 43.64%, respectively, which indicated that Northeast Xiaowan *Auricularia* had advantages of extraction rate and polysaccharide content. *A. auricular* polysaccharides from different producing areas had different antioxidant activities, and Tongjiang *A. auricular* had obvious advantages in antioxidant activities, the scavenging rates of hydroxyl free radical, DPPH· free radical, and ABTS<sup>+</sup>· free radical were up to 50.11%, 56.68%, 32.64%, respectively, the reducing power was as high as 0.12, which indicated that Tongjiang *A. auricular* polysaccharides had high antioxidant activities.

**Keywords:** *Auricularia auricular*; polysaccharides; antioxidant activities; Tongjiang *Auricularia auricular*