

四种野生食用菌粗多糖的抗氧化活性

魏磊 郑朝辉 侯成林 范黎*

(首都师范大学 生命科学学院 北京 100048)

摘要: 利用 DPPH 自由基清除法、羟基自由基(OH·)清除法、铁离子螯合能力及测定还原能力等方法对鸡油菌 *Cantharellus cibarius*、变绿红菇 *Russula virescens*、蜜环菌 *Armillaria mellea* 和棕灰口蘑 *Tricholoma myomyces* 等 4 种食用菌的粗多糖进行了抗氧化活性评价。结果显示, 4 种真菌粗多糖均不同程度地具有抗氧化活性。在 DPPH 自由基清除试验中, 棕灰口蘑和蜜环菌表现出很强的活性, 其 EC_{50} 值分别为 1.35 g/L、1.53 g/L; 棕灰口蘑和蜜环菌对羟基自由基的清除能力也要优于其他 2 种食用菌, 其 EC_{50} 值分别为 0.65 g/L、0.78 g/L; 棕灰口蘑的铁离子螯合能力明显优于其他 3 种测试菌, 其 EC_{50} 值为 1.69 g/L; 在还原力方面同样是棕灰口蘑活性最强, 蜜环菌次之, 其 EC_{50} 值为 1.05 g/L、1.37 g/L。

关键词: 野生食用菌, 多糖, 生物活性, 自由基

Antioxidant activities of crude polysaccharides from four wild edible fungi

WEI Lei ZHENG Zhao-Hui HOU Cheng-Lin FAN Li*

(College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: The antioxidant activities *in vitro* of polysaccharides from *Cantharellus cibarius*, *Russula virescens*, *Tricholoma myomyces* and *Armillaria mellea* were evaluated by testing their DPPH radical scavenging activities, hydroxyl free radical scavenging activities, ferrous ion chelating ability and reducing activity. The results showed that the crude polysaccharides from *T. myomyces* and *A. mellea* had the most potent capacity for scavenging DPPH with EC_{50} values reaching 1.35 g/L and 1.53 g/L, and they were superior to the other two fungi in the scavenging hydroxyl radical capacity, with EC_{50} values reaching 0.65 g/L and 0.78 g/L, respectively. The polysaccharide from *T. myomyces* showed the most potent ferrous ion chelating ability with EC_{50} values reaching 1.69 g/L. In respect to the potent capacity for reducing power, the polysaccharide from *T. myomyces* showed the most potent capacity with EC_{50} values reaching 1.05 g/L, followed by that of *A. mellea* with EC_{50} values reaching 1.37 g/L.

Keywords: Wild edible fungi, Polysaccharides, Bioactivity, Free radical

机体在正常生物代谢过程中会产生超氧阴离子(O_2^-)、过氧化氢(H_2O_2)、羟基自由基($OH\cdot$)等自由基,对脂类、蛋白质、核酸造成损害^[1],引发机体衰老以及癌症、动脉粥样硬化、风湿性关节炎等疾病^[2]。研究发现,许多食药真菌都具有各种生理活性,如:抗癌、抗氧化、抗炎、抗菌等^[3],其活性成分有真菌多糖、三萜类化合物、腺嘌呤核苷、皂甙、牛磺酸、甘露醇、多肽等。真菌多糖作为食药菌产生的最重要的生物活性成分之一,目前已发现有200多种,是分子生物学、医学、食品科学等热门领域研究的一类新兴生物技术产品^[4]。同时,其中抗氧化活性可能与菌体的多糖含量有密切关系^[5-8]。

本实验选取的4种真菌——鸡油菌 *Cantharellus cibarius* Fr.、变绿红菇 *Russula virescens* (Schaeff.) Fr. (俗称青头菌)、蜜环菌 *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm. (俗称榛蘑)、棕灰口蘑 *Tricholoma myomyces* (Pers.) J. E. Lange (俗称青蘑)作为可食用真菌,具有很高的营养价值及多种功效。如鸡油菌含丰富的维生素A、 β -胡萝卜素和角黄素等成分^[9],具有清肝、明目、利肺、和胃、益肠、减肥、美容和抗衰老等功效^[10],为全球六大著名菌根性食用菌之一;而棕灰口蘑具有高蛋白、无淀粉无胆固醇、低糖低脂肪以及维生素、氨基酸、矿物质、膳食纤维素多的特点^[11],其锌含量高,可用作食品强化剂,有滋阴、润燥、补虚的功能,适用于瘦弱、干咳、食欲不振、便秘等病症^[12]。并且,已有研究表明鸡油菌多糖和蜜环菌多糖具有一定的抗氧化作用^[7-8]。本研究采用4种抗氧化活性检测方法对上述食用真菌粗多糖的抗氧化活性进行了评价,旨在为进一步深入研究和有效利用这4种真菌积累数据。

1 材料与方法

1.1 材料

野生的鸡油菌 *Cantharellus cibarius* Fr.、变绿红菇 *Russula virescens* (Schaeff.) Fr.、蜜环菌 *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.、棕灰口蘑 *Tricholoma*

myomyces (Pers.) J.E. Lange 子实体均购自云南当地农贸市场,由首都师范大学生命科学学院范黎老师鉴定。

1.2 试剂

Ferrozine、VC均购自Sigma公司;DPPH自由基、VE、EDTA二钠盐、氯化亚铁、碳酸钠、水杨酸钠、硫酸亚铁、过氧化氢、乙醇、甲醇等购自北京化工厂。所有试剂均为分析纯。

1.3 仪器

紫外分光光度计(Lambda 35, PerkinElmer),冷冻干燥仪(Wizard 2.0, VirTis),旋转蒸发仪(Heizbad HB digit, Heidolph),台式高速离心机(Labway Science Rotina 35),恒温水浴锅(HW. SY21-K4型,北京长风仪器仪表公司),鼓风干燥箱(ZRD-A7140型,上海智城分析仪器制造有限公司),循环水式多用真空泵(SHB-B95型,河南巩义市英峪予华仪器厂)。

1.4 食用菌粗多糖提取

将供试4种真菌的子实体经冷冻(-45℃)干燥后粉碎,过100目筛,与蒸馏水按固液比1:15(W/V)的比例混匀,于95℃回流提取2h,过滤。滤渣同上重复提取1次,合并2次滤液。滤液于40℃、5-15 kPa条件下浓缩,得水提浸膏。用4倍体积的95%乙醇沉淀,冻干,得4种真菌的粗多糖。

$$\text{粗多糖得率} = \frac{\text{粗多糖重量}}{\text{原材料重量}} \times 100\%$$

称取4种真菌的粗多糖各0.2g,分别定容至10mL蒸馏水中,得到母液(20g/L),4℃保存备用。

1.5 4种食用菌多糖抗氧化活性的测定

1.5.1 DPPH自由基清除能力测定: DPPH自由基清除能力测定参照Blois方法^[13]。每个样品平行测定3次,取其平均值。以VE作为阳性对照。各真菌粗多糖对DPPH自由基的清除率根据下面公式计算:

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100$$

A_0 为DPPH溶液本身的OD值, A_1 为加有样品或者阳性对照的DPPH溶液的OD值。

1.5.2 羟基自由基清除能力测定: 羟基自由基清除能力测定参照Smirnff & Cumbes方法^[14]。每个样品

平行测定 3 次, 取其平均值。以蒸馏水作为空白对照, VC 作为阳性对照。根据下面公式计算各真菌粗多糖对羟基自由基的清除率:

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A_0 为空白对照的 OD 值, A_1 为加有样品或者阳性对照后的 OD 值。

1.5.3 铁离子螯合能力测定: 铁离子(Fe^{2+})螯合能力测定参照 Decker & Welch 的方法^[15]。每个样品平行测定 3 次, 取其平均值。以蒸馏水作为空白对照, EDTA 二钠盐作为阳性对照。根据下面公式计算各真菌粗多糖的铁离子螯合能力:

$$\text{铁离子螯合能力}(\%) = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A_0 为空白对照的 OD 值, A_1 为加有样品或者阳性对照后的 OD 值。

1.5.4 还原能力测定: 还原能力(将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+})测定参照 Yen & Chen 的方法^[16]。OD 值越高, 说明反应物的还原性越强, 每个样品平行测 3 次, 取其平均值。用 VC 作为阳性对照。

1.5.5 EC_{50} 值: EC_{50} 值指清除率为 50% 时所需样品的浓度, 是评价真菌粗多糖抗氧化活性的一个重要参数。 EC_{50} 值越低, 抗氧化活性越高。方法 1.5.1、1.5.2、1.5.3、1.5.4 中的 EC_{50} 值分别指当 DPPH 自由基清除率为 50% 时样品的浓度、当羟基自由基清除率为 50% 时样品的浓度、当铁离子螯合率为 50% 时样品的浓度, 以及还原能力实验中 700 nm 处 OD 值为 0.5 时样品的浓度。它们的计算应用中值效应分析通过 CalcuSyn 软件完成。

1.6 统计分析

实验数据采用单向方差分析法进行检验, 平均数之间的差异显著性则利用 Duncan 多重比较法进行判断, 若 $P < 0.05$, 则认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 多糖得率测定

4 种珍稀食用菌粗多糖得率的测定结果(表 1)表明, 4 种食用菌的粗多糖得率由高到低依次为: 棕灰口蘑、鸡油菌、蜜环菌、变绿红菇。

表 1 供试 4 种野生食用菌粗多糖的含量

Table 1 Extraction yield of the polysaccharides from four wild edible fungi

供试样品 Samples	鸡油菌 <i>Cantharellus cibarius</i>	变绿红菇 <i>Russula virescens</i>	蜜环菌 <i>Armillaria mellea</i>	棕灰口蘑 <i>Tricholoma myomyces</i>
粗多糖得率 Extraction yield	13.48±0.24c	4.48±0.22a	5.00±0.18a	16.30±0.17b

注: 每个值均被表示为平均数±标准差($n=3$); 一行内的平均值具有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Each value is expressed as mean±standard deviation ($n=3$); Means with different letters within a row are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基被广泛应用于评价某些天然化合物清除自由基活性的实验中。对 4 种食用菌粗多糖的 DPPH 自由基清除能力的研究结果(图 1)表明, 4 种食用菌粗多糖均具有清除 DPPH 自由基的活性, 其清除能力呈现出剂量依赖性, 在一定浓度范围内, 随着浓度的增加, 样品对 DPPH 的清除率也随之增加。在浓度为 5 g/L 时, 棕灰口蘑的清除率就达到了 89%。在浓度为 20 g/L 时, 4 种真菌粗多糖的 DPPH 自由基清除能力都达到了 90% 以上。

EC_{50} 值(表 2)也显示上述类似的结果。棕灰口蘑粗多糖的 EC_{50} 值最低(1.35 g/L), 表明其 DPPH 自由基清除能力最好; 其次是蜜环菌粗多糖和变绿红

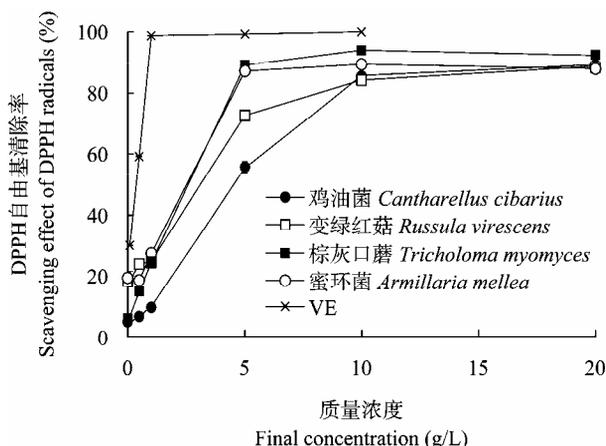


图 1 4 种真菌粗多糖的 DPPH 自由基清除活性
Fig. 1 DPPH radical scavenging activities of four fungi polysaccharides

表2 供试食用菌多糖的自由基清除和铁离子螯合以及还原能力的 EC_{50} 值
Table 2 EC_{50} values obtained in the different antioxidant activity assays (radicals scavenging, ferrous ion chelating and reducing power assays) of the polysaccharides from fungi

样品/对照 Samples/Positive controls	DPPH 自由基清除能力 DPPH radicals (g/L)	羟基自由基清除能力 Hydroxyl radicals (g/L)	铁离子螯合能力 Ferrous ions (g/L)	还原能力 Reducing power (g/L)
鸡油菌 <i>Cantharellus cibarius</i>	3.64±0.157e	1.12±0.015d	3.22±0.034b	4.08±0.007c
变绿红菇 <i>Russula virescens</i>	2.43±0.045d	1.21±0.011e	3.79±0.084c	3.02±0.067b
棕灰口蘑 <i>Tricholoma myomyces</i>	1.35±0.020b	0.65±0.021b	1.69±0.048a	1.05±0.019a
蜜环菌 <i>Armillaria mellea</i>	1.53±0.072c	0.78±0.018c	3.41±0.079b	1.37±0.086a
VE	0.19±0.032a	ND	ND	ND
EDTA	ND	ND	<0.10	ND
VC	ND	0.23±0.020a	ND	<0.100

注: EC_{50} 值: 分别指 DPPH 清除率为 50% 时对应的样品浓度, 羟基自由基清除率为 50% 时对应的样品浓度, 铁离子螯合能力为 50% 时对应的样品浓度, 还原能力试验中 700 nm 处 OD 值为 0.5 时对应的样品的浓度; 每个值均被表示为平均数±标准差($n=3$); 一列内的平均值具有不同字母表示差异显著($P<0.05$); ND: 未进行实验。

Note: EC_{50} value: the effective concentration at which DPPH radicals were scavenged by 50%, hydroxyl radicals were scavenged by 50%, ferrous ions were chelated by 50%, and OD were 0.5 at 700 nm; Each value is expressed as mean±standard deviation ($n=3$); Means with different letters within a column are significantly different ($P<0.05$); ND: Not done.

菇粗多糖, EC_{50} 值分别为 1.53 g/L 和 2.43 g/L; 鸡油菌粗多糖的 EC_{50} 值最高, 为 3.64 g/L, 其 DPPH 清除能力最低。

2.3 羟基自由基清除能力

羟基自由基是已知活性最强的活性氧自由基, 可严重损害生物体内相邻的生物分子(如 DNA、蛋白质), 引起细胞损伤。因此, 清除羟基自由基可能是生物体抵御疾病的最有效方式之一^[17]。研究结果(图2)表明, 各样品对羟基自由基均有很好的清除作用。10 g/L 时, 清除率达到最高, 4 种真菌粗多糖的羟基自由基清除能力都达到了 95% 以上, 鸡油菌更是达到了 99.60%, 与作为阳性对照的 VC 相当。浓度为 20 g/L 时, 除了变绿红菇粗多糖本身样品颜色的影响使得清除率略有下降外, 其他样品的清除率基本没有发生变化。

EC_{50} 值计算结果(表 2)也表明, 鸡油菌、变绿红菇、棕灰口蘑和蜜环菌的粗多糖对羟基自由基有较好的清除活性, EC_{50} 值分别为 1.12、1.21、0.65 和 0.78 g/L, 强弱顺序为: 棕灰口蘑>蜜环菌>鸡油菌>变绿红菇。

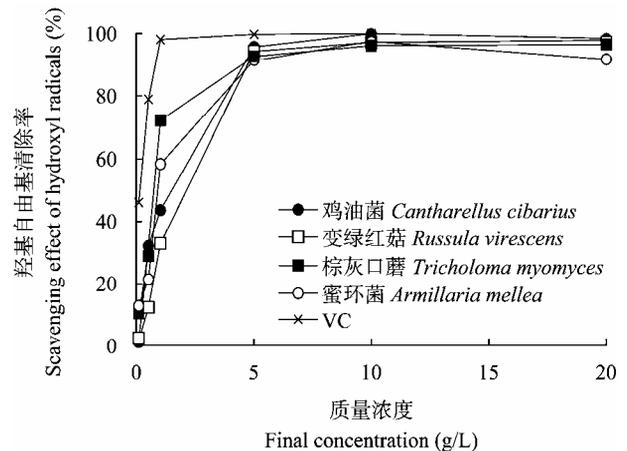


图2 4种真菌粗多糖的羟基自由基清除活性

Fig. 2 Hydroxyl radical scavenging activities of four fungi polysaccharides

2.4 铁离子螯合能力

铁离子在生物体系内能够通过 Fenton 反应引发脂质过氧化, 并导致羟基自由基的产生。此外, 普遍存在于食品中的铁离子也通常被认为是强有效的促氧化剂^[17]。因此, 铁离子螯合能力就成为评估各种植物及真菌抗氧化能力的一项指标。本试验的研究

结果(图 3)表明,随着样品浓度的增加,各样品的铁离子螯合能力也随之增加。在浓度 10 g/L 时,4 种食用菌粗多糖的铁离子螯合能力大小依次为:棕灰口蘑、变绿红菇、鸡油菌、蜜环菌。而浓度为 20 g/L 时,蜜环菌的螯合能力跃居至第 1 位(99.76%),其次为棕灰口蘑(87.46%)、变绿红菇(77.71%)和鸡油菌(73.70%)。4 种真菌粗多糖的铁离子螯合能力与作为对照的 EDTA 有一定的差距。

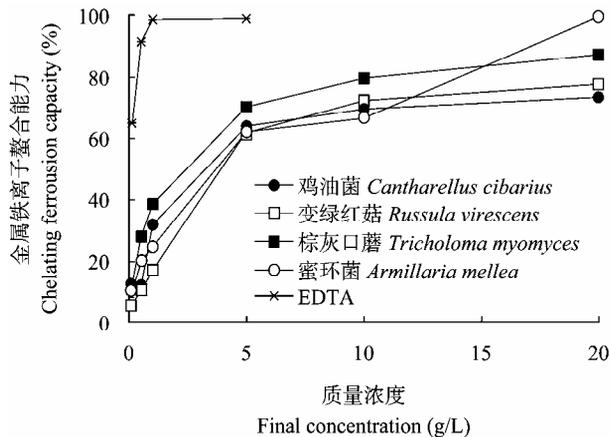


图 3 4 种真菌多糖的金属铁离子螯合能力
Fig. 3 Ferrous ion chelating ability of four fungi polysaccharides

4 种食用菌粗多糖的铁离子螯合能力的 EC_{50} 值(表 2)体现其铁离子螯合能力大小的顺序为:棕灰口蘑(1.69 g/L)>鸡油菌(3.22 g/L)>蜜环菌(3.41 g/L)>变绿红菇(3.49 g/L)。

2.5 还原能力

还原能力是衡量抗氧化能力的一个重要指标,也是抗氧化机理之一。抗氧化剂通过自身的抗氧化作用给出电子而清除自由基,还原力越强,抗氧化性越强。因此,可通过测定还原力来说明其抗氧化活性的大小^[18]。对 4 种真菌粗多糖的研究结果(图 4)表明,4 种真菌的还原力呈现剂量依赖性,浓度越大,还原能力越高。按还原力由高到低依次为:棕灰口蘑、蜜环菌、变绿红菇、鸡油菌。

EC_{50} 值计算结果(表 2)也表明,鸡油菌、变绿红菇、棕灰口蘑和蜜环菌的粗多糖具有很好的还原能力,还原能力的强弱顺序为:棕灰口蘑(1.05 g/L)>蜜环菌(1.37 g/L)>变绿红菇(3.02 g/L)>鸡油菌

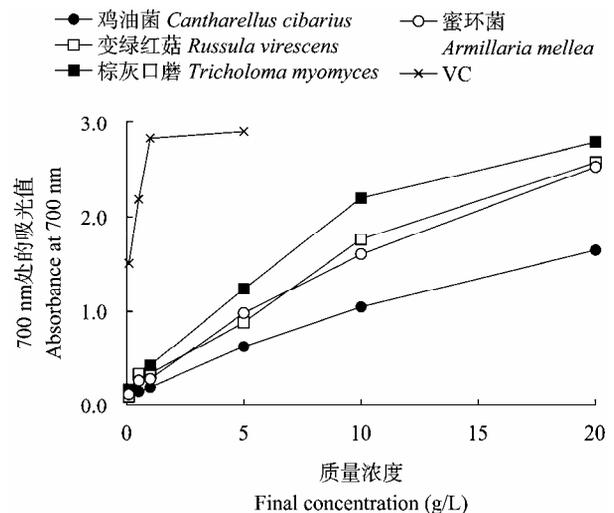


图 4 4 种真菌粗多糖的还原能力
Fig. 4 Reducing activity of four fungi polysaccharides

(4.08 g/L),与图 4 反映的结果完全一致,进一步证明了 EC_{50} 值是评价真菌粗多糖抗氧化活性的一个很好的参数。

3 讨论

多糖类物质在食用菌中普遍存在,食用菌多糖作为保健食品和药品已经逐渐为人们所认识,尤其在生物活性方面,近年来很受重视。越来越多的研究发现,许多食用菌多糖具有清除自由基、提高抗氧化酶活性和抑制脂质过氧化的活性,起到保护生物膜和延缓衰老的作用^[19]。

有关真菌多糖清除 DPPH 自由基的研究有较多的报道^[20-21]。本文研究的 4 种野生食用菌粗多糖清除 DPPH 自由基能力的 EC_{50} 值(表 2)均远远低于野蘑菇 *Agaricus arvensis* Schaeff.、双孢蘑菇 *A. bisporus* (J. E. Lange) Imbach、罗马尼斯蘑菇 *A. romagnesii* Wass、林地蘑菇 *A. silvaticus* Schaeff.、白林地蘑菇 *A. silvicola* (Vitt.) Sacc.^[22]和松杉灵芝 *Ganoderma tsugae* Murrill^[23],显示了较强的清除 DPPH 自由基活性。

金顶侧耳 *P. citrinopileatus* Singer、毛头鬼伞 *Coprinus comatus* (O. F. Müll.) Pers.和姬菇 *P. cornucopiae* (Paulet) Rolland^[24]粗多糖的羟基自由基清除能力的 EC_{50} 值均高于本文研究的 4 种食用菌,表

明这 4 种食用真菌都具有较好的羟基自由基清除能力, 能有效地阻止羟基自由基对人体的氧化损伤。同时, 进一步证实了罗城等^[7]对鸡油菌粗多糖的羟基自由基清除能力的研究结果(其 EC_{50} 值为 1.12 g/L, 与本文的结果一致)。杨立红等^[8]采用氧自由基清除法对野生蜜环菌(榛蘑)粗多糖的抗氧化活性进行了评价, 试验结果表明蜜环菌粗多糖具有一定的氧自由基清除作用, 但未计算其 EC_{50} 值, 我们的研究结果进一步证实蜜环菌具有较强的清除自由基能力。

在铁离子螯合能力方面, 1 g/L 的姬松茸 *A. blazei* Murrill 和双孢菇粗多糖的铁离子螯合能力分别为 37.2%^[25]和 85%^[26], 而本研究中 4 种真菌粗多糖在相同浓度下除棕灰口蘑粗多糖(38.5%)略高于姬松茸外, 其余 3 种真菌都要小于姬松茸和双孢菇, 但在 20 g/L 时, 4 种食用菌粗多糖的铁离子螯合能力都达到了 80% 以上, 蜜环菌粗多糖更是接近 100%, 显示出了良好的铁离子螯合能力。

姬松茸、双孢蘑菇和树舌 [*Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.] 等 3 种食用菌的还原力, 在样品浓度为 1 g/L 时, 与本文 4 种食用菌的还原力相比较, 其还原力顺序为, 双孢蘑菇(0.41A)>棕灰口蘑(0.40A)>树舌(0.38A)>变绿红菇(0.32A)>蜜环菌(0.29A)>鸡油菌(0.19A)>姬松茸(0.12A)^[25-27]。此外, 许多食用菌还原力的 EC_{50} 值也多有报道, 如野蘑菇、双孢蘑菇、罗马尼斯蘑菇、林地蘑菇、白林地蘑菇等^[21], 本文研究的 4 种野生食用菌中, 棕灰口蘑和蜜环菌的 EC_{50} 值均小于上述食用菌, 变绿红菇的 EC_{50} 值小于野蘑菇、双孢蘑菇, 大于其他食用菌, 而鸡油菌仅小于野蘑菇。罗城等^[7]也指出鸡油菌粗多糖具有一定的还原能力, 但未计算其 EC_{50} 值。上述结果表明本文研究的 4 种食用菌具有较好的还原力, 棕灰口蘑的表现尤其出色。

综上所述, 4 种供试的野生食用真菌子实体的粗多糖都具有较明显的抗氧化活性, 今后有必要对其多糖进行进一步的分离纯化, 获取其中的有效活性物质, 进一步研究其抗氧化机制, 为食药真菌的基础研究和综合利用积累数据。

参 考 文 献

- [1] Halliwell B, Murcia MA, Chirico S, et al. Free radicals and antioxidants in food an *in vivo*: what they do and how they work[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1995, 35(1/2): 7-20.
- [2] Lee J, Koo N, Min DB. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2004, 3(1): 21-33.
- [3] Longvah T, Deosthale YG. Compositional and nutritional studies on edible wild mushroom from northeast India[J]. *Food Chemistry*, 1998, 63(3): 331-334.
- [4] 杜巍, 李元瑞, 袁静. 药用菌多糖生物活性与结构的关系[J]. *中国食用菌*, 2001, 21(2): 28-30.
- [5] 钟耀广, 林楠, 王淑琴, 等. 香菇多糖的抗氧化性能与抑菌作用研究[J]. *食品科技*, 2007(7): 141-144.
- [6] Pramanik M, Chakraborty I. Structural analysis of a water-soluble glucan (Fr.I) of an edible mushroom, *Pleurotus sajor-caju*[J]. *Carbohydrate Research*, 2007, 342(17): 2670-2675.
- [7] 罗成, 周达, 鲁晓翔. 鸡油菌多糖的提取及其抗氧化研究[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(7): 155-159.
- [8] 杨立红, 黄清荣, 冯培勇, 等. 榛蘑多糖的分离鉴定及其清除氧自由基作用研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(1): 309-313.
- [9] 田霄飞, 刘培贵, 邵士成. 鸡油菌属的研究概况与展望[J]. *微生物学通报*, 2009, 36(10): 1577-1586.
- [10] 张传利, 杨发军, 桂雪梅, 等. 鸡油菌研究概况与展望[J]. *热带农业科技*, 2010, 33(3): 35-39.
- [11] 宋锡全, 王素英. 黔产棕灰口蘑营养成分分析[J]. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2009, 27(2): 1-4.
- [12] 关改平, 何永锋. 凤县棕灰口蘑的生物学特性[J]. *中国食用菌*, 1993(6): 26.
- [13] Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical[J]. *Nature*, 2002, 181(4617): 1199-1200.
- [14] Smirnoff N, Cumbes QJ. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes[J]. *Phytochemistry*, 1989, 28(4): 1057-1060.
- [15] Decker EA, Welch B. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food[J]. *J Agric Food Chem*, 1990, 38(3): 674-677.
- [16] Yen GC, Chen HY. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity[J]. *J Agric*

- Food Chem, 1995, 43(1): 27-32.
- [17] 郭坦, 侯成林, 魏磊, 等. 印度块菌提取物抗氧化活性的研究[J]. 菌物学报, 2010, 29(4): 569-575.
- [18] Yen GC, Duh PD, Tsai HL. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid[J]. Food Chemistry, 2002, 79(3): 307-313.
- [19] 陈爱葵, 易广, 李爱群. 食用菌在提高人体免疫力方面的功效[J]. 中国食用菌, 2004, 23(3): 7-9.
- [20] Lee YL, Yen MT, Mau JL. Antioxidant properties of various extracts from *Hypizigus marmoreus*[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 1-9.
- [21] Yang JH, Lin HC, Mau JL. Antioxidant properties of several commercial mushrooms[J]. Food Chemistry, 2002, 77(2): 229-235.
- [22] Barros L, Falcão S, Baptista P, et al. Antioxidant activity of *Agaricus* sp. mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays[J]. Food Chemistry, 2008, 111(1): 61-66.
- [23] Tseng YH, Yang JH, Mau JL. Antioxidant properties of polysaccharides from *Ganoderma tsugae*[J]. Food Chemistry, 2008, 107(2): 732-738.
- [24] 陶明焯, 王峰, 刘俊, 等. 3种食用菌多糖自由基清除作用研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 135-137.
- [25] 吕喜茹, 郭亮, 常明昌, 等. 姬松茸粗多糖抗氧化作用[J]. 食用菌学报, 2010, 17(1): 69-71.
- [26] 张强, 宫璐婵, 孟凡荣, 等. 双孢菇多糖抗氧化活性的研究[J]. 中国林副特产, 2010(1): 16-19.
- [27] 李正鹏, 吴萍, 吴苏青. 树舌胞内多糖抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 108-110.

征订启事

欢迎订阅《微生物学通报》

《微生物学通报》创刊于1974年,是中国微生物学会和中国科学院微生物研究所主办,国内外公开发行,以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。刊登内容包括:基础微生物学研究,农业微生物学研究,工业微生物学研究,医学微生物学研究,食品微生物学研究,环境微生物学研究,微生物功能基因组研究,微生物蛋白组学研究,微生物模式菌株研究,微生物工程与药物研究,微生物技术成果产业化及微生物教学研究改革等。

本刊为中国生物科学类核心期刊。曾获国家级优秀科技期刊三等奖,中国科学院优秀科技期刊三等奖,北京优秀科技期刊奖,被选入新闻出版署设立的“中国期刊方阵”并被列为“双效”期刊。

自2008年本刊已经全新改版,由双月刊改为月刊,发表周期缩短,内容更加丰富详实。欢迎广大读者到邮局订阅或直接与本刊编辑部联系购买,2011年的每册定价为48元,全年576元,我们将按期免费邮寄。

另,本编辑部现存有少量过期期刊,如有需要者可直接与编辑部联系,款到即免费寄上。(请事先与编辑部联系,获悉每册售价。敬请在汇款单上注明所购刊物的年代、卷、期和数量)

邮购地址: (100101)北京朝阳区北辰西路1号院3号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部

Tel: 010-64807511; E-mail: bjb@im.ac.cn, tongbao@im.ac.cn

网址: <http://journals.im.ac.cn/wswxtbcn>

国内邮发代号: 2-817; 国外发行代号: BM413