

桦褐孔菌醇提物抗氧化活性部位的筛选

杜秀菊*, 张 扬, 刘莲芬, 陈 韵

(聊城大学生命科学学院, 聊城 252059)

摘 要: **目的** 比较桦褐孔菌醇提物不同极性部位的抗氧化活性, 从中筛选出抗氧化的功能部位。**方法** 采用系统溶剂法分离桦褐孔菌菌核的乙醇提取物, 分别得到石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相等 4 个不同极性部位, 以还原力及对 2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)和羟自由基(·OH)的清除能力作为筛选其抗氧化活性的评价指标, 并对 4 种萃取物所含有的黄酮含量和多酚含量进行测定。**结果** 4 种提取物均具有较高的抗氧化活性, 还原力及清除 DPPH·和·OH 的活性大小顺序均为: 乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相, 并与多酚含量和黄酮含量具有很高的相关性。乙醇相的清除率最高, 在 500 μg/mL 时, 对 DPPH·和·OH 的清除率分别高达 83.13%和 52.44%, 非常接近于阳性对照抗坏血酸的清除活性。**结论** 乙醇相是主要的抗氧化活性部位, 值得进一步开发利用。

关键词: 桦褐孔菌; 醇提物; 系统溶剂法; 抗氧化

Antioxidant activities of the extracts from *Inonotus obliquus* sclerotia *in vitro*

DU Xiu-Ju*, ZHANG Yang, LIU Lian-Fen, CHEN Yun

(College of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

ABSTRACT: Objective To compare the biological activities of different polar parts with each other, in order to screen functional parts of ethanol extract from *Inonotus obliquus* sclerotia. **Methods** The systematic solvent extraction was used to extract and separate the ethanol extract by petroleum ether (PE), chloroform (Chl), ethyl acetate (EA) and ethanol (Eth), respectively. Accordingly, 4 extracts were obtained and named PEE, ChlE, EAE and EthE, respectively. Their antioxidant capacities *in vitro* were investigated in terms of reducing power assay and scavenging of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals and hydroxyl radicals. Furthermore, the flavonoid content and polyphenol content of 4 extracts were determined. **Results** In general, 4 kinds of extracts exhibited increasing antioxidant activity with increasing concentration at the ranges of tested dosage. The orders of reducing power, DPPH-scavenging capacity and hydroxyl-scavenging activity were all EthE>EAE>PEE>ChlE, which was very relevant to the polyphenol content and flavonoids content. These findings demonstrated that 4 extracts extracted from *I. obliquus*, especially EthE, at 500 μg/mL, the scavenging rate on DPPH and OH radicals were 83.13% and 52.44%, respectively, which was near to that of the ascorbic acid that was served as positive control. **Conclusion** The EthE can be employed as natural ingredients in functional food and pharmaceutical industry to alleviate the oxidative stress.

KEY WORDS: *Inonotus obliquus*; ethanol extraction; systematic solvent method; antioxidant activity

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2015ZRB01136)

Fund: Supported by Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2015ZRB01136)

*通讯作者: 杜秀菊, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物的结构与功能。E-mail: wyxx2008@163.com

*Corresponding author: DU Xiu-Ju, Ph.D., Associate Professor, College of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China. E-mail: wyxx2008@163.com

1 引言

桦褐孔菌(*Phaeoporus obliquu*), 分属于担子菌亚门、层菌纲、非褐菌目、锈革孔菌科、褐卧孔菌属, 又名斜纤孔菌、斜生纤孔菌、白桦茸、桦癌褐孔菌^[1], 主要分布于俄罗斯北部、中国吉林长白山及日本北海道等寒冷地区, 已经广泛用于防治多种消化道癌症(如胃癌、肝癌和肠癌等)、心脏病和糖尿病等疑难杂症, 有“西伯利亚灵芝”之美誉^[2], 目前已经先后开发成胶囊、酸奶、饮料以及面条等功能性食品^[3,4]。已有的研究表明, 桦褐孔菌多糖具有增强免疫调节、抗肿瘤、抗氧化、降血糖和降血脂等多种药理活性^[5-9]。在提取多糖时, 往往以一定浓度的乙醇作为溶剂对提取材料进行预处理(脱脂), 以期破坏细胞结构得到更多的多糖, 然后从脱脂破壁后的沉渣中提取多糖^[10], 而溶于乙醇部分的醇提取物往往疏于研究和利用, 许多天然产物的乙醇提取物大都具有很好的药理活性^[11]。

为了充分利用和科学开发桦褐孔菌这一宝贵资源, 本研究以多糖提取过程中的乙醇提取物作为试验材料, 采用系统溶剂法, 依次用石油醚、氯仿、乙酸乙酯和乙醇进行萃取分离, 分别制备了石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相 4 个不同极性部位, 以还原力以及对 2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)和羟自由基(·OH)的清除能力作为筛选其活性部位的评价指标, 并对 4 种萃取物的黄酮含量和多酚含量进行测定, 以期从桦褐孔菌多糖预处理的乙醇提取物中筛选出其具有较高抗氧化活性的组分, 为开发天然功能性保健食品或生物制品及天然抗氧化剂的药用天然产物资源的研究提供科学依据。

2 材料与仪器

2.1 材料与试剂

桦褐孔菌菌核购于吉林长白山野生真菌专卖店, 由聊城大学农学院戴明勋副教授鉴定。

乙酸乙酯、氯仿、石油醚、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、铁氰化钾、三氯乙酸、三氯化铁、硫酸亚铁、水杨酸、过氧化氢等试剂均为分析纯, 购自莱阳经济技术开发区精细化工厂; 抗坏血酸由天津市河东区红岩试剂厂生产, 含量大于 99.7%; DPPH(1,1-苯基-2-苦肟基自由基)购自 Solarbio 公司, 为分析纯。

2.2 仪器与设备

RE-2000B 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); SHB-III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司); TGL-20M 高速台式冷冻离心机(济南博华仪器有限公司); EF-J2100 型可见分光光度计(尤尼柯上海仪器有限公司); 可调用电炉(龙口市电炉制造厂); 冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 试验样品的制备

(1) 桦褐孔菌醇提取物及不同极性部位的制备

桦褐孔菌醇提取物及不同极性部位的制备流程见图 1, 简述如下: 将桦褐孔菌菌核(1.455 kg)粉碎, 过 60 目筛, 80%乙醇浸提, 得乙醇浸膏(16.3 g)。将浸膏加适量蒸馏水混合成混悬液, 置于分液漏斗中, 分别采用极性依次增大的石油醚、氯仿、乙酸乙酯和乙醇作为萃取剂(混悬液:萃取剂=1:1, V:V)进行萃取, 各重复 3 次, 静置 4 h, 旋转蒸发仪浓缩, 真空冷冻干燥, 分别得到石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相。

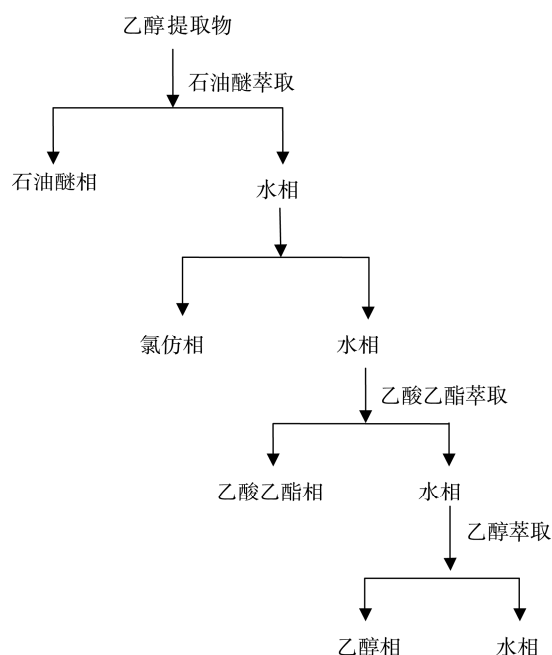


图 1 桦褐孔菌的不同极性部位的制备流程图

Fig. 1 Liquid-liquid extraction flowchart of different polar organic solvents

(2) 供试样品液的配制

用含 1%的 DMSO 的无水乙醇分别将石油醚相、

氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相等 5 个不同极性部位和抗坏血酸(作为阳性对照)分别配成 62.5、125、250、500、1000 $\mu\text{g/mL}$ 作为供试液备用, 以不加样品的 1% DMSO 的无水乙醇作为阴性对照。

2.3.2 抗氧化活性试验

(1) 还原力的测定

还原力的测定参照 Oyaizu 方法并略作改动^[12,13]。在试管中依次加入供试样品 1 mL, 0.2 mol/L pH 为 6.6 的 PBS 缓冲液 2 mL, 1% 的铁氰化钾溶液 2 mL, 混匀, 50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下保持 20 min, 加入 10% 的三氯乙酸溶液 2 mL, 离心(5000 r/min, 5 min), 取上清液 2.5 mL, 加入 2.5 mL 蒸馏水和 1 mL 0.1% 的三氯化铁溶液, 混匀, 静置 10 min, 在 700 nm 波长处测吸光值 A, 吸光值越大则还原力越强。

(2) 清除 DPPH· 自由基试验

① DPPH· 溶液的配制

准确称取 0.2364 g DPPH· 药品溶于 200 mL 甲醇溶液中, 然后转入 1000 mL 容量瓶中定容, 配制成 600 $\mu\text{mol/L}$ 的 DPPH· 母液。准确量取 166.7 mL 母液, 移入 1000 mL 容量瓶中, 甲醇定容至刻度线, 即配制成了 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 DPPH· 溶液。将其置于棕色瓶中, 至于阴暗处避光保存即可。

② DPPH· 清除率测定

DPPH· 清除率测定方法^[12,14]简述如下: 取不同浓度(62.5、125、250、500、1000 $\mu\text{g/mL}$)的样品 0.2 mL 与 100 $\mu\text{g/mL}$ 的 DPPH· 5.8 mL 充分混匀, 避光 37 $^{\circ}\text{C}$ 保温 30 min, 在 517 nm 波长测吸光度 A_{sample} , 以不加样品的反应体系作为对照, 测吸光值为 A_{blank} 。每个处理重复 3 次。样品对 DPPH· 清除率($I\%$)的计算公式为:

$$I\% = \frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \times 100\%$$

(3) 清除羟自由基试验

按照 Smirnov(1989)的方法^[15], 并略作改动。利用 H_2O_2 与 Fe^{2+} 混合产生羟自由基, 即 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}_2\text{OFe}^{3+}$ 。在体系内加入水杨酸捕捉羟自由基并产生有色物质, 该物质在 510 nm 处有最大吸收, 用该吸光度值来表示羟自由基的含量。体系中分别加入浓度均为 4 mmol/L 的 H_2O_2 乙醇溶液、 FeSO_4 水溶液、水杨酸乙醇溶液及待测溶液各 2 mL, 其中 H_2O_2 为最后加入, 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应, 30 min 后, 过滤, 得溶液。将 4 mmol/L 的 H_2O_2 乙醇溶液、 FeSO_4 水溶液、水杨酸乙醇溶液和乙醇各 2 mL 混合均匀后作为空白对照

液。将待测溶液、4 mmol/L 的 FeSO_4 水溶液、水杨酸乙醇溶液及乙醇各 2 mL 混合均匀后作待测液的本底吸收液。在 510 nm 下以乙醇作参比分别测上述 3 种溶液的吸光度值 A_0 、 A_x 、 A_{x0} , 每一吸光度值平行测 3 次, 取其平均值。清除率计算公式如下:

$$\text{羟自由基清除率}(\%) = \left(\frac{A_0 - (A_x - A_{x0})}{A_0} \right) \times 100\%$$

其中, A_0 为空白对照液的吸光度, A_x 为加入多糖溶液后的吸光度, A_{x0} 为待测液本底的吸光度。

2.3.3 黄酮和多酚含量的测定

黄酮含量的测定^[16]: 取 1 mg/mL 的供试样品, 依次加入 0.3 mL 5% 的 NaNO_3 溶液, 0.3 mL 10% 的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液, 4 mL 4% 的 NaOH 溶液, 最后用 30% 的乙醇定容至 25 mL, 以空白试剂为参比, 测定 $D_{510\text{nm}}$ 值, 以芦丁为标准品绘制标准曲线, 黄酮含量以 mg/g 表示。

多酚含量的测定采用 Folin-Ciocalteu 法^[16], 并稍作改动。简述如下: 取 1 mg/mL 的供试样品于棕色容量瓶中, 依次加入 1 mL 蒸馏水, 1 mL Folin-Ciocalteu 试剂, 8 mL 75 g/L Na_2CO_3 溶液, 混匀后静置 1 h, 以空白试剂为参比, 测定 $D_{760\text{nm}}$ 值。以没食子酸为标准品绘制标准曲线, 多酚含量以 mg/g 表示。

2.4 统计学分析

数据以平均值 $\pm$ 标准偏差(mean $\pm$ sd)表示, 统计学采用组间 t 检验进行处理, $n=3$, 使用 STST 统计软件包进行方差统计分析。

3 结果与分析

3.1 桦褐孔菌醇提物不同极性萃取部位的得率

试验结果表明, 桦褐孔菌菌核的乙醇粗提物得率为 1.12%。采用系统溶剂法, 对乙醇浸膏进行萃取, 依次获得石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相 4 种不同极性的萃取部位, 其得率及性质见表 1。由表 1 可以看出, 桦褐孔菌 4 种不同极性部位的得率由高到低的排列顺序为: 氯仿相>石油醚相>乙酸乙酯相>乙醇相, 分别为乙醇浸膏的 34.9%、28.3%、23.6%和 13.4%。

3.2 桦褐孔菌醇提物不同极性部位的还原力

还原性物质是自由基链式反应的终止子, 抗氧化活性与还原力有关, 因此, 还原力测试是评估药物抗氧化活性的重要指标之一。还原力测定原理是: 待

测的还原性物质将铁氰化钾还原,被还原的铁氰化钾与 Fe^{3+} 结合的络合物在 700 nm 有最大吸收,由此检测样品的还原能力。 $\text{RP}_{0.5\text{AU}}$ (表示在还原力测定中,当吸光度为 0.5 的药物浓度),是反映药物还原能力大小的重要指标。由图 2 和表 2 可以看出,在试验浓度范围(62.5、125、250、500、1000 $\mu\text{g/mL}$)内,4 个部位的还原力随着浓度的增加而增大。石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相的 $\text{RP}_{0.5\text{AU}}$ 值分别为: 178.48×10^6 、600.04、307.97 和 114.43 $\mu\text{g/mL}$ (见表 2),因此,抗氧化大小顺序为:乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相,其中,乙醇相的还原力显著高于其他 3 个部位,石油醚相最差。

3.3 桦褐孔菌提取物对 DPPH· 的清除作用

DPPH· 是一种稳定的有机自由基,通过考察样品对 DPPH· 的清除率可以衡量样品对活性氧的清除能力。试验结果表明,4 个部位对 DPPH· 均有一定的清除作用(见图 3 和表 2),在试验浓度范围(62.5、125、250、500、1000 $\mu\text{g/mL}$)内,氯仿相和乙酸乙酯相均呈现明显的浓度-效应依赖性,石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相和乙醇相的 EC_{50} 值(指对自由基的清除活

性达到 50% 的药物有效浓度)分别为 4.54×10^{14} $\mu\text{g/mL}$ 、16.69 $\mu\text{g/mL}$ 、7.10 $\mu\text{g/mL}$ 和 3.16 $\mu\text{g/mL}$,表明它们对 DPPH· 的清除能力高低为:乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相,其中,乙醇相的清除率最高,在 500 $\mu\text{g/mL}$ 时清除率高达 83.13%,非常接近于阳性对照抗坏血酸的清除活性(91.06%),而石油醚相对 DPPH· 清除能力较低。

3.4 桦褐孔菌提取物对羟自由基的清除能力

羟自由基是生物体内危害最大、活性最强的氧自由基,因此,羟自由基的清除率是反映药物抗氧作用强弱的重要指标。由图 4 和表 2 表明,4 个样品对羟基自由基均具有明显的清除能力,均呈现一定的浓度依赖性,但不同极性部位的清除作用不同,石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相、乙醇相和抗坏血酸的 EC_{50} 值分别为 48.53、21.53、4.54、3.84 和 2.60 $\mu\text{g/mL}$,表明它们对 $\cdot\text{OH}$ 的清除活性大小顺序为:抗坏血酸>乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相,其中,乙醇相和乙酸乙酯相的清除率比较高,乙醇相在 500 $\mu\text{g/mL}$ 时清除率达 52.44%,非常接近于阳性对照抗坏血酸的清除活性(58.23%),乙酸乙酯相在 1000 $\mu\text{g/mL}$ 时清除率达 64.80%。

表 1 桦褐孔菌醇提物各萃取相的得率及物理性质
Table 1 The yield and physical properties of different extracts from *I. obliquus* ethanol extract

性质	石油醚相	氯仿相	乙酸乙酯相	乙醇相
颜色	淡黄色	黑褐色	棕褐色	黑色
物理状态	粉末状	膏状	颗粒状	粉末状
得率(%)	28.1	34.9	23.6	13.4

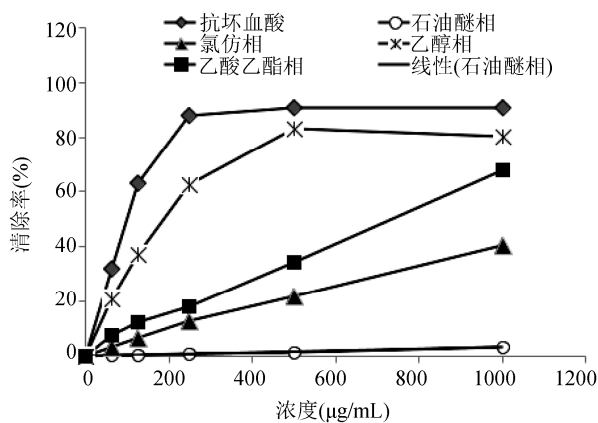


图 2 桦褐孔菌醇提物不同萃取物的还原力
Fig. 2 Total reducing powers of different extracts from *I. obliquus* ethanol extract

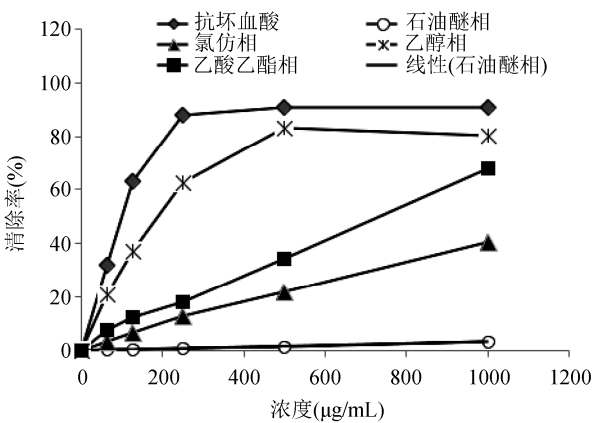


图 3 桦褐孔菌醇提物不同萃取物对 DPPH 自由基的清除率
Fig. 3 Scavenging activity against DPPH· of different extracts from *I. obliquus* ethanol extract

表 2 桦褐孔菌醇提取物不同萃取物抗氧化活性的 EC₅₀ 和 RP_{0.5AU}
Table 2 EC₅₀ values and RP_{0.5AU} values of different extracts from *I. Obliquus* ethanol extract in antioxidant properties

	石油醚相	氯仿相	乙酸乙酯相	乙醇相	抗坏血酸
	^a EC ₅₀ (μg/mL)				
DPPH	4.54 × 10 ¹⁴	19.69	7.10	3.16	2.46
羟自由基	48.30	21.53	4.54	3.84	2.60
	^b RP _{0.5AU}				
还原力	178.48 × 10 ⁶	600.04	307.97	114.43	55.70

注: ^aEC₅₀: 指对自由基的清除活性达到 50% 的药物有效浓度(effective concentration)。^bRP_{0.5AU}: 在还原力(reducing power)测定吸光度为 0.5 的药物浓度。

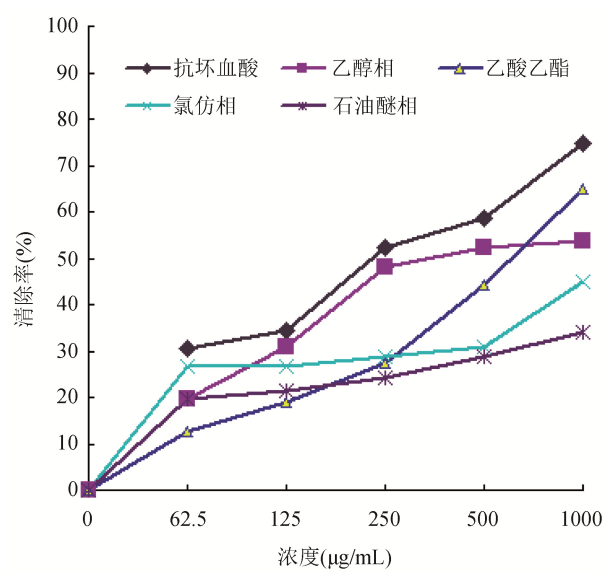


图 4 桦褐孔菌不同萃取物对羟自由基的清除能力
Fig. 4 Scavenging effect of different extracts from *I. obliquus* on hydroxyl free radicals

3.5 桦褐孔菌不同极性萃取物的黄酮和总酚含量

已有的研究表明, 黄酮类和多酚类物质均有较强的抗氧化活性^[17,18]。试验结果表明(见表 3), 桦褐孔菌乙醇提取物的 4 种萃取物均含有一定量的黄酮类物质和多酚类物质, 其中, 黄酮类物质含量高低为: 乙醇相>氯仿相>石油醚相>乙酸乙酯相, 多酚含量高低顺序为: 乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相, 且均呈现显著性差异($P<0.05$), 其中, 多酚含量高低与抗氧化活性指标有较强的相关性。

表 3 桦褐孔菌乙醇提取物不同萃取物中黄酮和总酚含量
Table 3 Flavonoid and total phenolic content of different extracts from *I. Obliquus* ethanol extract

	黄酮含量(mg/g) ^p	总酚含量(mg/g) ^q
石油醚相	105.11±0.23 ^c	76.46±1.01 ^d
氯仿相	136.52±1.34 ^b	89.44±0.45 ^c
乙酸乙酯相	93.16±2.11 ^d	126.89±1.96 ^b
乙醇相	560.24±1.99 ^a	142.55±3.87 ^a

注: 字母(a-d): 表示同列数据的差异具有统计学意义($P<0.05$)。p 表示 1 g 样品中所含有的相当于芦丁的含量(mg)。q 表示 1 g 样品中所含有的相当于没食子酸的含量(mg)。

4 结论与讨论

在还原力测定、DPPH 自由基和 OH 自由基清除率等 3 个抗氧化活性评价模型试验中, 结果均表明, 从桦褐孔菌醇提取物萃取获得的 4 个部位均具有较好的抗氧化活性, 高低顺序均为: 乙醇相>乙酸乙酯相>氯仿相>石油醚相。其中, 乙醇相的抗氧化活性最强, 其还原力、DPPH 和 ·OH 清除活性均为最高, 多酚类含量和黄酮含量也显著高于其他三个部位。

众所周知, 自由基可以导致细胞损伤、引起心脏病、癌症和衰老等多种疾病, 因此, 目前国内外已将抗氧化检测用作抗衰老等保健食品的评价指标^[19]。大量的研究表明, 许多天然产物中含有黄酮、有机酸、原花青素等多酚类物质, 具有很强的清除自由基作用^[20], 在食品或药品中外加具有清除自由基作用的天然产物成分, 对于预防因自由基引起的某些疾病的发生以及保持机体健康将会大有裨益。本试验结

果表明,桦褐孔菌乙醇提取物中的乙醇相是抗氧化活性的主要部位。在以后的工作中,我们将针对乙醇相进一步分离纯化和结构鉴定,以期找出发挥活性的主要物质或者单体,为促进桦褐孔菌在保健品和功能食品中的广泛应用奠定理论基础。

参考文献

- [1] 戴玉成,李 玉. 中国六种重要药用真菌名称的说明[J]. 菌物学报, 2011, 30(4): 515-518.
Dai YC, Li Y. Note on the nomenclature of six important medicinal fungi in China [J]. Mycosystema, 2011, 30(4): 515-518.
- [2] 黄年来. 俄罗斯神秘的民间药用真菌—桦褐孔菌[J]. 中国食用菌, 2002, 21(4): 7-8 .
Huang NL. Fuscoporia obliqua—a mysterious folk medicinal mushroom in Russia [J]. Edible Fung Chin, 2002, 21(4): 7-8
- [3] Shashkina MY, Shashkin PN, Sergeev AV, *et al*. Chemical and medicobiological properties of chaga [J]. Pharm Chem J, 2006, 40(10): 560-568 .
- [4] 张慧丽,靳宝峰,李辉,等. 桦褐孔菌酸奶的工艺及药用功能的研究[J]. 饮料工业, 2006, 9(5): 24-25 .
Zhang BL, Jin BF, Li H, *et al*. Study on preparation technology and pharmaceutical effect of *Inonotus Obliquus* yoghurt [J]. Bev Ind, 2006, 9(5): 24-25 .
- [5] Kim YO, Han SB, Lee HW, *et al*. Immuno-stimulating effect of the endo-polysaccharide produced by submerged culture of *Inonotus obliquus* [J]. Life Sci, 2005, 7(19): 2438-2456.
- [6] Song YN, HuiJ, Kou W, *et al*. Identification of *Inonotus obliquus* and analysis of antioxidation and antitumor activities of polysaccharides [J]. Curr Microbiol, 2008, 57(5): 454-462.
- [7] Kim YO, Park HW, Kim JH, *et al*. Anti-cancer effect and structural characterization of endo-polysaccharide from cultivated mycelia of *Inonotus obliquus* [J]. Life Sci, 2006, 79(1): 72-80.
- [8] Mizuno T, Zhang C, Abe K, *et al*. Antitumor and hypoglycemic activities of polysaccharides from the sclerotia and mycelia of *Inonotus obliquus* (Pers.:Fr.) Pilat. (Aphyllophoromycetidae) [J]. Int J Med Mush, 1999, 1(4): 301-316.
- [9] Du XJ, Mu HM, Zhou S, *et al*. Chemical analysis and antioxidant activity of polysaccharides extracted from *Inonotus obliquus* sclerotia [J]. Int J Biol Macromol, 2013, 62(12): 691-696.
- [10] Du XJ, Zhang JS, Yang Y, *et al*. Structural elucidation and immuno-stimulating activity of an acidic heteropolysaccharide (TAPA1) from *Tremella aurantialba* [J]. Carbohydr Res, 2009, 344(5): 672-678.
- [11] 王春景,胡小梅,张 鼎,等. 鸡眼草抗氧化活性部位的筛选及其黄酮和总酚含量[J]. 中药材, 2014, 37(5): 868-871.
Wang CJ, Hu XM, Zhang D, *et al*. Antioxidant activities and the content determination of flavonoids and total phenol of extracts from *Kummowia striata* [J]. J Chin Med Mater, 2014, 37(5): 868-871.
- [12] Wang YF, Yang ZW, Wei XL. Antioxidant activities potential of tea polysaccharide fractions obtained by ultrafiltration [J]. Int J Biol Macromol. 2012, 50(3): 558-564.
- [13] Nakajima Y, Sato Y, Konishi T . Antioxidant small phenolic ingredients in *Inonotus obliquus*(persoon) Pilat(Chaga) [J]. Chem Pharm Bull, 2007, 55(8): 1222-1226.
- [14] 刘丽香,梁兴飞,孙 怡,等. 苦丁茶提取物多酚含量与抗氧化活性的测定[J]. 茶叶科学, 2008, 28(4): 289-293.
Liu LX, Liang XF, Sun Y, *et al*. Determination of polyphenolic content and antioxidant activity of kudingcha made from *Ilex kudingcha* C. J. Tseng. [J]. J Tea Sci, 2008, 28(4): 289-293.
- [15] Smironoff N, Cumbes QJ. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes [J]. Phytochemistry, 1989, 28(4): 1051-1060.
- [16] 库尔班·吐松,展锐,张宏,等. 顶羽菊抗氧化活性研究[J]. 生物技术通讯, 2010, 21(23): 406-412.
Kurban, TS, Zhan R, Zhang H, *et al*. Study on activity of *Acroptilon repens* [J]. Lett Biotechnol, 2010, 21(23): 406-412.
- [17] Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids [J]. Free Radical Bio Med, 1996, 20, (7): 933-956.
- [18] Ghafar MFA, Prasard KN, Weng KK, *et al*. Flaronoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from *Citrus species*[J]. Afr J Biotechnol, 2010, 9(3): 326-330.
- [19] 郑晶泉. 抗氧化剂抗氧化实验研究进展[J]. 国外医学卫生学分册, 2000, 27(1): 37-40.
Zheng JQ. Antioxidant oxidation experiment research progress [J]. Foreign Med Sci (Sec Hyg), 2000, 27(1): 37-40.
- [20] 刘树兴,赵芳. 从天然植物中开发抗氧化剂研究进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(7): 179-182.
Liu SX, Zhao F. Research progress on natural development of antioxidant from natural plant [J]. Food Res Dev, 2007, 28(7): 179-182.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介

杜秀菊, 博士, 副教授, 硕士生导师,
主要从事天然产物的结构与功能研究。
E-mail: wyxx2008@163.com