

# 5种野生多孔菌提取物的抗氧化活性

杨建<sup>1,2</sup>, 袁海生<sup>1,\*</sup>, 曹云<sup>1,2</sup>

(1. 森林与土壤生态国家重点实验室, 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110164;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 以BHT、TBHQ和Trolox 3种合成抗氧化剂为阳性对照, 运用DPPH法和ABTS法对瓦宁木层孔菌(*Phellinus vaninii*)、喜马拉雅木层孔菌(*Phellinus himalayensis*)、尖小木层孔菌(*Phellinidium aciforme*)、乌苏里黑孔菌(*Nigroporus ussuriensis*)和桦褐孔菌(*Inonotus obliquus*) 5种野生多孔菌子实体的乙酸乙酯提取物(EAE)和无水乙醇提取物(AEAE)的抗氧化活性进行测定和评价。结果显示: 5种菌的EAE和AEAE清除自由基能力具有显著差异( $P < 0.05$ ), 并且每种菌AEAE清除自由基活性均高于其EAE; 瓦宁木层孔菌AEAE清除DPPH自由基的活性最高, 其 $IC_{50}$ 值为60.74 mg/L, 低于BHT( $IC_{50}$ 值为90.51 mg/L); 清除ABTS $\cdot$ 能力最强的也是瓦宁木层孔菌AEAE, 其 $IC_{50}$ 值为32.26 mg/L。因此瓦宁木层孔菌(杨黄)具有很强的抗氧化能力。

**关键词:** 多孔菌; 乙酸乙酯提取物; 无水乙醇提取物; 抗氧化; 自由基; 瓦宁木层孔菌

## Antioxidant Activities of Different Solvent Extracts of *Phellinus* Fruiting Bodies from Five Species

YANG Jian<sup>1,2</sup>, YUAN Hai-sheng<sup>1,\*</sup>, CAO Yun<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The antioxidant activities of ethyl acetate extracts (EAE) and absolute ethyl alcohol extracts (AEAE) from the fruiting bodies of *Phellinus vaninii* (PV), *Phellinus himalayensis* (PH), *Phellinidium aciforme* (PA), *Nigroporus ussuriensis* (NU) and *Inonotus obliquus* (IO) were evaluated by determining their scavenging rates against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) free radicals. The antioxidants BHT, TBHQ and Trolox were used as positive controls. The results indicated that EAEs from the fruiting bodies of the five *Phellinus* species significantly differed from AEAEs in their free radical scavenging rate ( $P < 0.05$ ). The free radical scavenging rate of AEAE from each *Phellinus* species was higher than that of EAE. The AEAE from PV exhibited the strongest free radical scavenging capacity with  $IC_{50}$  of 60.74 mg/L for DPPH free radicals and 32.26 mg/L for ABTS free radicals, respectively. However, the  $IC_{50}$  of BHT was 90.51 mg/L for DPPH free radicals. Therefore, the fruiting bodies of PV have stronger antioxidant capacity, and can be used in the food industry as a promising natural substitute for synthetic antioxidants.

**Key words:** *Phellinus*; ethyl acetate extract; ethyl alcohol extract; antioxidant; free radical; *Phellinus vaninii*

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)13-0040-05

人体正常代谢中产生的少量自由基处于动态平衡中, 一旦平衡被打破, 就会对机体造成损害, 引发心肌和大脑缺血、癌症、动脉粥样硬化、糖尿病、风湿性关节炎、肺气肿等疾病以及引起机体衰老<sup>[1-3]</sup>。大量研究表明抗氧化剂能够有效清除自由基保护机体免受氧化损伤<sup>[4]</sup>, 所以一些合成抗氧化剂被运用于食品工业

中, 但是已有研究证明, 一些食品中常用的合成抗氧化剂如丁基羟基茴香醚(BHA)和2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)可能是致毒和致癌因子<sup>[5-6]</sup>。因此从天然物质中寻找安全的合成抗氧化剂的替代品显得越来越重要。

近年来, 真菌抗氧化活性研究成为热点。自然界真菌资源十分丰富, Hawksworth<sup>[7]</sup>估计自然界实际存在

收稿日期: 2010-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(30910103907; 30700004)

作者简介: 杨建(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为药用真菌活性物质。E-mail: yangjian0146@163.com

\* 通信作者: 袁海生(1975—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为木生真菌系统分类及资源利用。

E-mail: yuanhs911@yahoo.com.cn

的真菌约 150 万种, 由于其易于培养、繁殖力强、生产周期短、不受原料、产地、季节限制, 利于大规模工业化生产<sup>[8]</sup>。许多研究也证明大型食药真菌(担子菌和子囊菌)中具有一些较强自由基清除能力的活性物质<sup>[9-11]</sup>, 这表明真菌可能是寻找天然安全的合成抗氧化剂替代品的理想材料。多孔菌中的部分种类, 如纤孔菌(*Inonotus*)和木层孔菌(*Phellinus*)已被报道可以作为传统药物来治疗胃肠癌、糖尿病、肝脏和心脏疾病等<sup>[12]</sup>, 但其抗氧化活性报道只限于少数种类。我国地域辽阔, 真菌资源十分丰富, 目前已发现的真菌总数达 14060 种<sup>[13]</sup>, 其中食用菌 936 种<sup>[14]</sup>, 药用菌 473 种<sup>[15]</sup>, 多孔菌 604 种<sup>[16]</sup>。为了更好地开发新的大型食药真菌资源, 筛选新的药用菌种类, 本研究以瓦宁木层孔菌(俗称: 杨黄)(*Phellinus vaninii*)、喜马拉雅木层孔菌(*Phellinus himalayensis*)、尖小木层孔菌(*Phellinidium aciforme*)、乌苏里黑孔菌(*Nigroporus ussuriensis*)和桦褐孔菌(*Inonotus obliquus*)5 种野生多孔菌子实体为材料, 采用两种抗氧化活性检测方法对其不同提取物的抗氧化活性进行评价, 以期为进一步研究其活性物质化学结构, 充分开发利用这些真菌资源提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

瓦宁木层孔菌、喜马拉雅木层孔菌、尖小木层孔菌、乌苏里黑孔菌和桦褐孔菌 5 种多孔菌由中国科学院沈阳应用生态研究所标本馆(IFP)野外采集、鉴定并保存。

2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)(ABTS)、1,1'-二苯基-2,2'-三硝基苯肼(DPPH)、叔丁基对苯二酚(TBHQ)、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT) 上海晶纯公司; 水溶性 VE(Trolox) 上海新睿生物科技有限公司; 过硫酸钾、无水乙醇、乙酸乙酯等均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

UV-2800AH 型紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司; RE-52AA 型旋转蒸发器、SHZ-III 型循环水真空泵 上海亚荣生化仪器厂; FD-1C-50 型真空低温干燥机 北京博医康实验仪器有限公司; KDC-40 型低速离心机 科大创新股份有限公司广西中佳分公司; FA2004N 型电子天平 上海精密科学仪器有限公司; HV-3120B 型超声波清洗器 天津恒高技术发展有限公司; KYC-1102 型空气恒温摇床 上海新苗医疗器械制造有限公司。

### 1.3 粗提物的制备

将 5 种菌子实体烘干并去除杂质, 粉碎并过 40 目筛, 得到干燥菌粉。准确称量每种菌的子实体粉末各 12g, 均分成 2 份, 每份 6g, 分别加入 100mL 的无水乙醇和乙酸乙酯, 于 28℃ 摇床 140r/min 提取 12h, 4000r/min

离心 20min, 收集上清液, 将残渣按照同样条件再提取 2 次, 将每次收集到的上清液于 40℃ 水浴、 $5 \times 10^3 \sim 15 \times 10^3$ Pa 条件下旋蒸浓缩, 最后真空冷冻干燥至固体, 得到 5 种菌子实体的乙酸乙酯提取物(EAE)和无水乙醇粗提物(AEAE), 冷藏备用。

### 1.4 DPPH 自由基清除能力测定

DPPH 自由基清除能力测定参照郭雪峰等<sup>[17]</sup>的方法略作改进。

准确称取 DPPH 试剂 0.0225g, 用 95% 乙醇溶解定容至 500mL 容量瓶中, 得质量浓度为 45mg/L DPPH 贮备液, 摇匀冷藏备用。受试物用 95% 乙醇溶液根据预实验结果配成 6 个不同的质量浓度梯度, 使其分别具有 20%~80% 的自由基清除效能。DPPH 自由基清除能力测定步骤见表 1。实验测定波长为 517nm, 以 BHT 和 TBHQ 为阳性对照。按公式(1)计算 DPPH 自由基清除率(scavenging activity, SA), 实验重复 3 次, 求得清除率的平均值。

$$SA/\% = (1 - \frac{A_s - A_r}{A_0}) \times 100 \quad (1)$$

表 1 DPPH 自由基清除能力测定步骤

Table 1 Determination procedures for DPPH radical-scavenging activity

步骤	加样量	空白对照	测定指标
1	0.8mL DPPH 溶液 + 0.2mL 95% 乙醇溶液	1mL 95% 乙醇溶液	$A_0$
2	0.8mL 95% 乙醇溶液 + 0.2mL 待测试样溶液	1mL 95% 乙醇溶液	$A_r$
3	0.8mL DPPH 溶液 + 0.2mL 待测试样溶液	1mL 95% 乙醇溶液	$A_s$

### 1.5 ABTS<sup>+</sup>·清除能力测定

参照 Re 等<sup>[18]</sup>的方法进行改进。

将 7mmol/L ABTS 溶液和 2.45mmol/L 过硫酸钾混合, 在室温、避光的条件下静置过夜, 形成 ABTS<sup>+</sup>·储备液。使用前用无水乙醇稀释成工作液, 要求当在 200 μL 工作液中加入 50 μL 无水乙醇时, 在 30℃、734nm 波长处的吸光度为 0.70 ± 0.02。

受试物系列浓度溶液配制: 根据预实验结果, 将受试物配成 6 个不同的质量浓度梯度, 使其分别具有 10%~80% 的自由基清除效能, 同时准确称取 Trolox 0.0075g, 然后使用无水乙醇依次将其配制成 10、20、30、40、60、80、100 μmol/L 的系列浓度溶液备用。

抗氧化活性的测定: 取 ABTS 工作液 200 μL 置于 1mL 比色管中, 分别加入 50 μL 的 Trolox 或其他受试物溶液, 以 250 μL 的无水乙醇为空白, 均匀振荡 10s, 30℃ 水浴反应 6min, 测定其各自吸光度, 平行样 3 个, 取平均值。

$$ABTS^+ \cdot \text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_t}{A_0}) \times 100 \quad (2)$$

式中:  $A_t$  为反应混合液的吸光度;  $A_0$  为 ABTS 工作液吸光度。

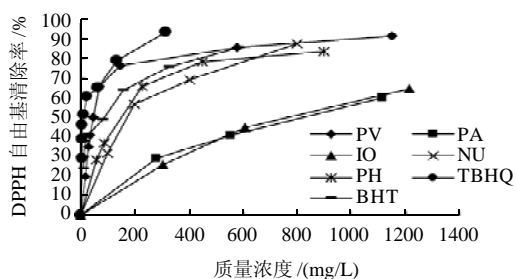
## 1.6 统计分析

运用 SPSS16.0 软件进行 One-Way ANOVA 分析来检验数据间的差异性, 若差异显著 ( $P < 0.05$ ), 则运用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 DPPH 自由基清除活性

5 种多孔菌子实体乙酸乙酯提取物(EAE)和无水乙醇提取物(AEAE)对 DPPH 自由基清除能力结果如图 1、2 和表 2 所示。



PV. 瓦宁木层孔菌; PH. 喜马拉雅木层孔菌; PA. 尖小木层孔菌; NU. 乌苏里黑孔菌; IO. 桦褐孔菌。下同。

图 1 5 种多孔菌子实体乙酸乙酯提取物的 DPPH 自由基清除活性  
Fig.1 DPPH radical-scavenging activities of ethyl acetate extracts from the fruiting bodies of five *Phellinus* species

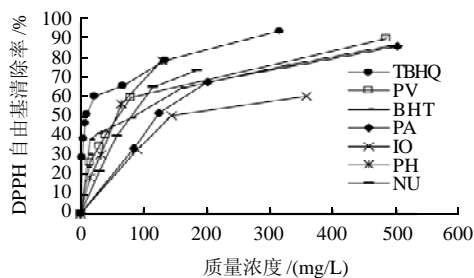


图 2 5 种多孔菌子实体无水乙醇提取物的 DPPH 自由基清除活性  
Fig.2 DPPH radical-scavenging activities of absolute ethyl alcohol extracts from the fruiting bodies of five *Phellinus* species

由图 1、2 可知, 5 种多孔菌子实体 EAE 和 AEAE 都具有清除 DPPH 自由基的活性, 在一定质量浓度范围内, 对 DPPH 自由基的清除能力均随提取物质量浓度的增加而增强。

从表 2 的  $IC_{50}$  值可以得出, 除了 PV 外, 其余 4 种多孔菌子实体的两种提取物的  $IC_{50}$  值均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 并且同种菌 AEAE 的  $IC_{50}$  值明显低于 EAE 的  $IC_{50}$  值, 也即 AEAE 的 DPPH 自由基清除能力明显强于 EAE, 其原因可能是因为抗氧化物质较多溶解于醇类等极性溶剂中<sup>[19]</sup>。从表 2 还可以看出, PV(AEAE)的  $IC_{50}$  值为

60.74mg/L, 显著 ( $P < 0.05$ ) 低于其余 4 种测试菌提取物的  $IC_{50}$  值, 并且低于阳性对照 BHT (90.51mg/L), 表明其 DPPH 自由基清除能力最强。  $IC_{50}$  值表明各多孔菌清除 DPPH 自由基能力的大小顺序为: PV(AEAE) > PV(EAE) > PH(AEAE) > NU(AEAE) > PA(AEAE) > PH(EAE) > NU(EAE) > IO(AEAE) > PA(EAE) > IO(EAE)。

表 2 5 种多孔菌子实体乙酸乙酯提取物和无水乙醇提取物对 DPPH 自由基和 ABTS<sup>+</sup> 清除能力的  $IC_{50}$  值 ( $n=3$ )

Table 2  $IC_{50}$  of ethyl acetate and absolute ethyl alcohol extracts from the fruiting bodies of five *Phellinus* species against DPPH and ABTS free radicals ( $n=3$ )

样品	提取剂	DPPH 法 $IC_{50}$ /(mg/L)	ABTS 法 $IC_{50}$ /(mg/L)
PV	乙酸乙酯	62.05 ± 0.48 <sup>i</sup>	55.62 ± 0.26 <sup>b</sup>
	无水乙醇	60.74 ± 0.67 <sup>i</sup>	32.26 ± 0.30 <sup>j</sup>
PH	乙酸乙酯	187.86 ± 0.64 <sup>e</sup>	283.65 ± 0.36 <sup>d</sup>
	无水乙醇	67.78 ± 0.84 <sup>b</sup>	90.84 ± 0.40 <sup>e</sup>
PA	乙酸乙酯	921.81 ± 0.83 <sup>b</sup>	932.58 ± 0.36 <sup>a</sup>
	无水乙醇	141.50 ± 0.67 <sup>f</sup>	420.83 ± 0.45 <sup>c</sup>
NU	乙酸乙酯	217.80 ± 0.83 <sup>d</sup>	138.93 ± 0.35 <sup>c</sup>
	无水乙醇	96.61 ± 0.70 <sup>e</sup>	105.42 ± 0.45 <sup>f</sup>
IO	乙酸乙酯	936.61 ± 0.73 <sup>a</sup>	632.24 ± 1.97 <sup>b</sup>
	无水乙醇	339.68 ± 0.83 <sup>c</sup>	87.12 ± 0.30 <sup>e</sup>
TBHQ		26.80 ± 0.70 <sup>j</sup>	ND
BHT		90.51 ± 0.70 <sup>e</sup>	ND
Trolox		ND	9.90 ± 0.006 <sup>j</sup>

注: 同列不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); ND. 未进行测试。

### 2.2 ABTS<sup>+</sup> 清除活性

本研究采用 ABTS 法进行测定, 实验进行了 3 次, 实验结果稳定, 变化不具有统计学意义 ( $P > 0.05$ )。从实验得出 Trolox 抗氧化能力测定标准曲线, 曲线方程为:  $y = 1.1685x + 3.06$  ( $R^2 = 0.9972$ ), 5 种多孔菌子实体 EAE 和 AEAE 的 ABTS<sup>+</sup> 清除活性如图 3、4 和表 2 所示。

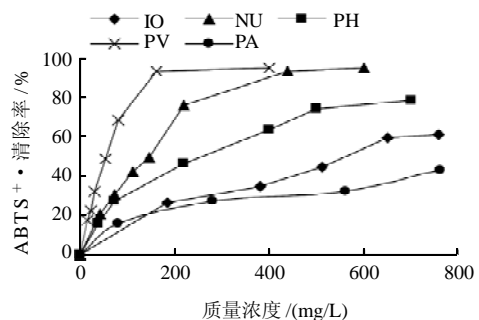


图 3 5 种多孔菌子实体乙酸乙酯提取物的 ABTS<sup>+</sup> 清除活性  
Fig.3 ABTS radical-scavenging activities of ethyl acetate extracts from the fruiting bodies of five *Phellinus* species

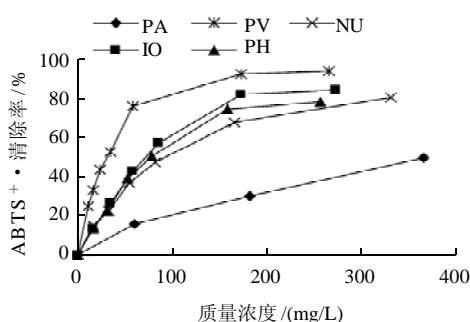


图4 5种多孔菌子实体无水乙醇提取物的ABTS<sup>+</sup>·清除活性  
Fig.4 ABTS radical-scavenging activities of absolute ethyl alcohol extracts from the fruiting bodies of five *Phellinus* species

图3和图4显示,实验选取的5种多孔菌子实体的EAE和AEAE都具有较强的清除ABTS<sup>+</sup>·的活性。在实验的质量浓度范围内,质量浓度为50mg/L时,各种菌清除ABTS<sup>+</sup>·的能力都较低,最高的PV(AEAE)为58.56%,最低的NU(EAE)为15.98%,随着质量浓度的增加,清除率也随之增大。当质量浓度增加到200mg/L时,各种菌ABTS<sup>+</sup>·清除能力显著增强,最高的仍是PV(AEAE)为96.15%,其次是PV(EAE)为93.56%,IO(AEAE)为85.48%,NU(EAE)为78.67%。当质量浓度在200mg/L以上时,清除率变化不大,说明ABTS<sup>+</sup>·清除能力已接近饱和。

表2显示,5种多孔菌子实体的2种提取物的IC<sub>50</sub>值均存在显著差异( $P < 0.05$ ),而同种菌AEAE的IC<sub>50</sub>值明显低于EAE的IC<sub>50</sub>值,因此AEAE的ABTS<sup>+</sup>·清除能力同样强于EAE。由于,PV(AEAE)的IC<sub>50</sub>值为32.26mg/L,显著( $P < 0.05$ )低于其余4种测试菌提取物的IC<sub>50</sub>值,证明PV(AEAE)清除ABTS<sup>+</sup>·能力最强。IC<sub>50</sub>值表明各多孔菌清除ABTS<sup>+</sup>·能力的大小顺序为:PV(AEAE) > PV(EAE) > IO(AEAE) > PH(AEAE) > NU(AEAE) > NU(EAE) > PH(EAE) > PA(AEAE) > IO(EAE) > PA(EAE)。

### 3 讨论

DPPH法与ABTS法由于操作简便、快捷、结果重复性较好,被广泛运用于生物活性物质体外抗氧化能力的评价,同时,有研究发现二者在实验结果上具有很好的相关性<sup>[20-21]</sup>,因此本研究采用ABTS法与DPPH法来评价5种多孔菌子实体EAE和AEAE的抗氧化活性大小。

关于大型真菌提取物清除DPPH自由基的研究报道较多,Mau等<sup>[22]</sup>研究了灵芝(*Ganoderma lucidum*)和松杉灵芝(*Ganoderma tsugae*)的甲醇提取物的清除自由基活性,发现当提取物质量浓度0.64g/L时,DPPH自由基清除率变化范围为67.6%~74.4%。李雨沁<sup>[23]</sup>对野生粗毛黄褐孔菌(*Inonotus hispidus*)清除DPPH自由基的能力研

究发现,当其乙醇浸提液质量浓度为0.1~0.5g/L时,相应的DPPH自由基清除率分别为29.89%~43.49%,当其乙酸乙酯萃取液自由基质量浓度为0.1~0.5g/L时,清除率分别为9.69%~19.92%;当质量浓度为10g/L时,乙醇和乙酸乙酯浸提液清除率分别达96.33%和82.81%。在本研究中,当测试菌EAE质量浓度为0.1~0.5g/L时,DPPH自由基的清除率最低的是IO(EAE)为12.28%~41.76%,最高的是PV(EAE)为65.35%~88.56%。当AEAE质量浓度为0.1~0.5g/L时,DPPH自由基的清除率最低的是IO(AEAE)为32.56%~63.24%,最高的是PV(AEAE)为61.65%~91.56%。武守华等<sup>[24]</sup>以冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)、古尼虫草(*Cordyceps gunnii*)、蛹虫草(*Cordyceps militaris*)和黑柄炭角菌(*Xylaria nigripes*)4种名贵药用真菌的子实体为材料,研究了其甲醇提取物清除自由基的能力,发现其活性均随提取物质量浓度增大而增强,上述4种子囊菌子实体甲醇提取物的IC<sub>50</sub>值在1.05~1.82g/L之间。Lee等<sup>[19]</sup>指出当IC<sub>50</sub> < 10g/L时表明真菌提取物通常具有很好的抗氧化活性,本研究测试的5种多孔菌子实体的EAE的IC<sub>50</sub>值为0.062~0.937g/L,其AEAE的IC<sub>50</sub>值为0.061~0.339g/L,表明与其他种类的药用真菌相比,这5种多孔菌子实体提取物均有很强清除DPPH自由基活性,尤其以PV为最强。

已有的研究表明,纤孔菌属(*Inonotus*)的一些种类具有良好的清除ABTS<sup>+</sup>·活性,如桦褐孔菌(*Inonotus obliquus*)子实体的甲醇提取物中含Inonoblins A、B、C和Phelligridins D、E、G等6种多酚类抗氧化活性物质,具有显著的清除ABTS<sup>+</sup>·能力<sup>[25]</sup>。本研究对桦褐孔菌木栓质菌核进行了提取研究,其清除ABTS<sup>+</sup>·活性略低于上述甲醇提取物的活性,证明桦褐孔菌木栓质菌核提取物同样具有较强的抗氧化活性。

综上所述,本实验研究的5种多孔菌子实体的乙酸乙酯提取物和无水乙醇提取物都具有很强的抗氧化活性,尤其是瓦宁木层孔菌提取物清除自由基能力最强,可以作为开发天然抗氧化剂的理想材料,对于其抗氧化活性物质的化学结构及作用机制还有待于进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] MARX J L. Oxygen free radicals linked to many diseases[J]. Science, 1987, 235: 529-531.
- [2] MARTINEZCAYUELA M. Oxygen free radicals and human-disease[J]. Biochimie, 1995, 77(3): 147-161.
- [3] LEE J, KOO N, MIN D B. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2004, 3(1): 21-33.
- [4] DIOLOCK A T, CHARLEUX J L, CROZIER-WILLI G, et al. Functional food science and defense against reactive oxidative species[J]. British Journal of Nutrition, 1998, 80(Suppl 1): 77-112.
- [5] BOTTERWECK A A M, VERHAGEN H, GOLDBOHN R A, et al.

- Intake of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene and stomach cancer risk: results from analyses in the Netherlands cohort study[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2000, 38(7): 599-605.
- [6] SAITO M, SAKAGAMI H, FUJISAWA S. Cytotoxicity and apoptosis induction by butylated hydroxyanisol (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT)[J]. *Anticancer Research*, 2003, 23(6C): 4693-4701.
- [7] HAWKSWORTH D L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation[J]. *Mycological Research*, 1991, 95(6): 641-655.
- [8] 侯军, 刘方, 李乐, 等. 真菌来源的抗氧化活性物质研究进展[J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 648-653.
- [9] KIM J P, YUN B S, SHIM Y K, et al. Inoscavin A, a new free radical scavenger from the mushroom *Inonotus xeranticus*[J]. *Tetrahedron Letters*, 1999, 40(36): 6643-6644.
- [10] LEE I K, SEOK S J, KIM W K, et al. Hispidin derivatives from the mushroom *Inonotus xeranticus* and their antioxidant activity[J]. *Journal of Natural Products*, 2006, 69(2): 299-301.
- [11] LEE I K, YUN B S. Highly oxygenated and unsaturated metabolites providing a diversity of hispidin class antioxidants in the medicinal mushrooms *Inonotus* and *Phellinus*[J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2007, 15(10): 3309-3314.
- [12] ZHU T, GUO J, COLLINS L, et al. *Phellinus linteus* activates different pathways to induce apoptosis in prostate cancer cells[J]. *British Journal of Cancer*, 2007, 96(4): 583-590.
- [13] 戴玉成, 庄剑云. 中国菌物已知种数[J]. *菌物学报*, 2010, 29(5): 625-628.
- [14] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 等. 中国食用菌名录[J]. *菌物学报*, 2010, 29(1): 1-21.
- [15] 戴玉成, 杨祝良. 中国药用真菌名录及部分名称的修订[J]. *菌物学报*, 2008, 27(6): 801-824.
- [16] 戴玉成. 中国多孔菌名录[J]. *菌物学报*, 2009, 28(3): 315-327.
- [17] 郭雪峰, 岳永德, 汤锋, 等. 用清除有机自由基 DPPH 法评价竹叶提取物抗氧化能力[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(7): 1578-1582.
- [18] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS<sup>+</sup> radical cation decolorization assay[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(9/10): 1231-1237.
- [19] LEE Y L, YEN M T, MAU J L. Antioxidant properties of various extracts from *Hypsizygus marmoreus*[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(1): 1-9.
- [20] THAIPONG K, BOONPRAKOB U, CROSBY K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assay for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19(6/7): 669-675.
- [21] ARNAO M B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2000, 11(11): 419-421.
- [22] MAU J L, LIN H C, CHEN C C. Antioxidant properties of several medicinal mushrooms[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(21): 6072-6077.
- [23] 李雨沁. 粗毛黄褐孔菌人工驯化栽培及其降血糖、抗氧化活性研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2010.
- [24] 武守华, 张晓君, 张平, 等. 四种子囊菌甲醇提取物的抗氧化活性研究[J]. *菌物学报*, 2010, 29(1): 113-118.
- [25] LEE I K, KIM Y S, JANG Y W, et al. New antioxidant polyphenols from the medicinal mushroom *Inonotus obliquus*[J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2007, 17(24): 6678-6681.