

4种野生菌子实体乙醇提取物体外抗氧化活性的研究

王建明¹, 燕瑾², 孙红³, 李洁³, 张金秀³, 王立安^{3*}

(1. 河北民族师范学院, 承德 67000; 2. 北京市射线研究中心, 北京 101113;
3. 河北师范大学生命科学院, 石家庄 050024)

摘要: **目的** 研究柠檬黄蜡伞(*Hygrophorus lucorum*)、马鞍菌(*Helvella elastica*)、绒边乳菇(*Lactarius pubescens*)、晶粒鬼伞(*Coprinus micaceus*) 4种野生菌子实体的体外抗氧化能力。**方法** 在分别测定4种乙醇提取物总酚、总黄酮和粗三萜含量的基础上, 采用清除DPPH自由基、抑制小鼠肝组织脂质过氧化及对Fe²⁺的螯合能力实验, 分别检测提取物的体外抗氧化能力。**结果** 柠檬黄蜡伞、马鞍菌、绒边乳菇抗氧化活性较好, 优于晶粒鬼伞。4种子实体乙醇提取物对DPPH均有一定的清除能力。除晶粒鬼伞外, 其余三种在乙醇提取物为10 mg/mL时, 对DPPH清除率在85%以上。柠檬黄蜡伞在浓度大于0.5 mg/mL时, 小白鼠肝脂质过氧化的抑制率高于阳性对照BHA。4种子实体提取物均有一定的金属离子螯合能力, 呈现剂量效应关系。**结论** 野生菌的抗氧化活性与总酚、粗三萜含量相关; 柠檬黄蜡伞、绒边乳菇、马鞍菌具有较好的体外抗氧化活性, 可作为提取天然抗氧化剂的原料。

关键词: 野生菌; 乙醇提取物; DPPH自由基; 脂质过氧化; Fe²⁺螯合

Research on *in vitro* antioxidant activity of ethanol extracts from 4 kinds of wild fungi

WANG Jian-Ming¹, YAN Jin², SUN Hong³, LI Jie³, ZHANG Jin-Xiu³, WANG Li-An^{3*}

(1. Hebei Normal University for Nationalities, Chengde 067000, China; 2. The Radiation Research Center of Beijing, Beijing 101113, China; 3. College of Life Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the *in vitro* antioxidant activity of *Hygrophorus lucorum*, *Helvella elastica*, *Lactarius pubescens* and *Coprinus micaceus*. **Methods** Based on the determination of total phenol, total flavonoids and crude terpene of four kinds of mushroom ethanol extracts, DPPH radical scavenging experiment, mice liver tissue *in vitro* spontaneous lipid peroxidation experiment and Fe²⁺ chelating experiment were carried out to detect the antioxidant activity. **Results** The antioxidant activity of *Hygrophorus lucorum*, *Helvella elastica*, *Lactarius pubescens* were better than that of *Coprinus micaceus*. Four kinds of mushroom ethanol extracts had certain antioxidant activity against DPPH. The radical-scavenging ability was more than 85% when the mushroom ethanol extract reached to 10 mg/mL except for the *Coprinus micaceus*. The

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划项目(14236903D)、河北省现代农业产业技术体系食用菌创新团队资助项目(15011203D)

Fund: Supported by the Science and Technology Research and Development Projects Hebei Province (14236903D) and the Earmarked Fund for Hebei Edible Fungi Innovation Team of Modern Agro-industry Technology Research System (15011203D)

*通讯作者: 王立安, 教授, 主要研究方向为大型真菌的研究与开发。E-mail: wlian1965@126.com

*Corresponding author: WANG Li-An, Professor, College of Life Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China. E-mail: wlian1965@126.com

inhibition of lipid peroxidation activity was higher than that of the positive control BHA when the concentration of *Hygrophorus lucorum* was more than 0.5 mg/mL. Fe^{2+} chelating experiment showed that the four kinds of mushroom ethanol extracts all had the ability of chelating Fe^{2+} . **Conclusion** The antioxidant activity of fungi is related to total phenolics and total flavonoids. *Hygrophorus lucorum*, *Helvella elastica*, *Lactarius pubescens* have good antioxidant activity, which will provide a theoretical basis for the rational development of large fungi.

KEY WORDS: fungi; ethanol extract; DPPH free radical; spontaneous lipid peroxidation; Fe^{2+} chelation

1 引言

活性氧自由基(reactive oxygen species, ROS)是一种不饱和电子物质,具有争夺电子的性质。自由基在人体内可以和细胞膜脂、核酸、蛋白、酶或一些小分子作用,进而对细胞造成损害,导致一些疾病,如:癌症、哮喘、心血管疾病、糖尿病、衰老、肝脏疾病、炎症、肾功能衰竭、肝硬化、类风湿性关节炎、动脉硬化及神经系统疾病等^[1,2]。清除自由基对于预防和治疗人体疾病具有十分重要的意义。抗氧化剂具有清除自由基的作用,成为近年来生物学、化学与医学交叉学科研究的热点。然而,目前人工合成的抗氧化剂具有很大的毒副作用,寻找毒副作用小、疗效好的天然抗氧化活性物质备受关注。

食用菌是一种集营养、保健于一身的优质食品。近年来,国内外学者对一些大型真菌的化学、药理和临床应用等进行了广泛研究,发现大型真菌中的活性物质具有重要的医疗和保健价值,已经引起相关学者的高度重视。许多科学研究证明,大多数食用菌子实体中所含有的总酚、黄酮类、三萜类和多糖等物质具有很好的抗氧化活性^[3,4]。Soares 等^[5]从巴西蘑菇(*Agaricus brasiliensis*)得到 6 个有不同抗氧化活性的酚类物质。Liang 等^[6]对裂蹄木层孔菌(*Phellinus linteus*)菌丝体培养物的抗氧化活性进行了测定,并确定总酚是主要的抗氧化成分。Sarikurku 等^[7]对红乳菇(*Lactarius sanguifluus*)、乳牛肝菌(*Suillus bovinus*)、美味牛肝菌(*Boletus edulis*)、红绒盖牛肝菌(*Xerocomus chrysenteron*)子实体的甲醇提取物抗氧化活性进行了研究,证实 4 种子实体均含有总酚和总黄酮类物质。沈思^[8]对茯苓皮甲醇提取物化学成分进行了分析,得到 18 种三萜成分,并确定这些物质具有抑菌、抗氧化、抗炎及抑制酪氨酸酶活性等生物活性。

本研究以柠檬黄蜡伞(*Hygrophorus lucorum*)、马

鞍菌(*Helvella elastica*)、绒边乳菇(*Lactarius pubescens*)、晶粒鬼伞(*Coprinus micaceus*)4 种野生大型真菌子实体为材料,采用乙醇溶剂分别对其子实体进行抽提,得到相应的乙醇提取物,测定 4 种提取物总酚、总黄酮和粗三萜的含量,并对各乙醇提取物的体外抗氧化活性进行检测和比较,以期为开发这些大型真菌资源提供理论基础。

2 材料与方法

2.1 材料

柠檬黄蜡伞、马鞍菌、绒边乳菇、晶粒鬼伞 4 种野生大型真菌子实体均采自于河北省太行山区和燕山地区。采集后 40 °C 干燥处理,获干子实体各 800 g 左右。

95%乙醇、无水甲醇购于天津市永大化学试剂有限公司;芦丁、 Na_2CO_3 、EDTA、 $FeCl_2$ 、Folin-酚、菲洛嗪(FerroZine)、齐墩果酸、香草醛、冰醋酸、高氯酸、乙酸乙酯、没食子酸为购自生工生物工程(上海)有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、叔丁基羟基茴香醚(BHA)购于美国 Sigma 公司。

分析天平(JA2003N,上海精密科学仪器有限公司);旋转蒸发器(RE-5203,上海亚荣生化仪器厂);真空干燥箱(DZF-6020,上海精宏实验设备有限公司);台式冷冻离心机(MIKRO-22R 型,德国 Hettich 公司);中草药粉碎机(FW177 型,天津市泰斯特仪器有限公司);756MC 紫外分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司)。

2.2 4 种野生菌乙醇提取物的制备

将 4 种野生菌子实体干燥后分别用粉碎机粉碎,获得干粉称重后分别用两倍体积的 95%乙醇萃取 3 次。合并萃取液得各子实体乙醇相,旋转蒸发器浓缩,真空干燥箱干燥,分析天平定量后得乙醇提取物,保存在 4 °C 冰箱中备用。

2.3 乙醇提取物中总酚含量的测定

2.3.1 标准曲线

没食子酸为标准品^[9], 将没食子酸用甲醇配成 0.1 mg/mL 的标准溶液, 取该液 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 μg/mL, 分别加入 1 mL Folin-酚试剂, 室温放置 3~4 min 后加入 10% Na₂CO₃ 饱和溶液 1 mL, 用纯水定容至 10 mL。在暗处反应 90 min 后, 于 760 nm 处测定其光吸收值。以没食子酸的质量为横坐标, 吸光值为纵坐标做标准曲线。曲线回归方程为: $Y=0.0097X+0.114$, $r^2=0.9956$ ($n=11$)。

2.3.2 总酚含量的测定

按标准曲线的测定方法, 取浓度为 1 mg/mL 的各乙醇提取物 1 mL 替代没食子酸进行测定, 记录 760 nm 下的 OD 值, 根据标准曲线计算各提取物中总酚的百分含量。

2.4 乙醇提取物中总黄酮含量的测定

2.4.1 标准曲线

将芦丁用甲醇配成 0.1 mg/mL 的标准溶液^[10], 吸取该溶液 0、0.5、1、1.5、2、2.5 mL, 分别加入 1 mL 甲醇, 再加入 10% KOH 溶液 0.5 mL, 室温放置 5 min, 用甲醇定容至 10 mL, 于 415 nm 处测定吸光值。以芦丁质量为横坐标, 吸光值为纵坐标做标准曲线。曲线回归方程为: $Y=3.189X+0.0063$, $r^2=0.9991$ ($n=5$)。

2.4.2 总黄酮含量的测定

按标准曲线的测定方法, 取浓度为 1 mg/mL 的各提取物 1 mL 替代芦丁进行测定, 记录在 415 nm 下的 OD 值, 根据标准曲线计算各提取物中总黄酮的百分含量。

2.5 各提取物中粗三萜含量的测定

2.5.1 标准曲线

用甲醇配制齐墩果酸的标准溶液^[11], 浓度为 0.2 mg/mL。准确吸取该溶液 0、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 mL, 分别置于试管中。加入 5% 香草醛的冰醋酸溶液 0.4 mL、高氯酸 1.6 mL, 使其混匀后, 70 °C 加热 15 min, 冷却至室温, 用乙酸乙酯定容至 10 mL。于 560 nm 处测定吸光值。以齐墩果酸质量作为横坐标, 吸光值为纵坐标做标准曲线。曲线回归方程为: $Y=8.04X+0.0248$, $r^2=0.9991$ ($n=5$)。

2.5.2 粗三萜含量的测定

取浓度为 1 mg/mL 的各提取物各 0.5 mL, 按照标准曲线的测定方法, 测出各提取物在 560 nm 下的

吸光值, 再根据标准曲线计算各提取物中粗三萜的质量, 按下式求出粗三萜的含量:

$$\text{粗三萜的含量}(\%)=m/c \times V \times 100\%$$

其中: m 为供试液中总酚总量(mg); c 为供试液的浓度(1 mg/mL); V 为供试液体积(mL)。

2.6 各提取物清除 DPPH· 实验

将各乙醇提取物用甲醇配成不同浓度的待测液, 以同一浓度 BHA 为阳性对照, 取每种待测液 1 mL 进行 DPPH· 实验, 测定 517 nm 各乙醇提取物的吸光值, 并按下列公式计算各乙醇提取物对 DPPH· 的清除率^[12,13]。

$$\text{清除率}(\%)=[A_0-(A_i-A_j)]/A_0 \times 100\%$$

A_0 为 2 mL DPPH· + 2 mL 甲醇的 OD 值; A_i 为 2 mL DPPH· + 2 mL 样品液的 OD 值; A_j 为 2 mL 样品液 + 2 mL 乙醇的 OD 值。

2.7 各提取物抑制脂质过氧化活性测定

以同浓度 BHA 为阳性对照, 取各提取物 1 mL 进行抑制脂质过氧化活性实验^[14], 测定 532 nm 各乙醇提取物的吸光值, 并按下列公式计算各乙醇提取物脂质过氧化的抑制率:

$$\text{抑制率}(\%)=[A_0-(A-A_b)]/A_0 \times 100\%$$

其中: A_0 为只加肝组织匀浆的吸光值; A 为加样品和肝组织匀浆的吸光值; A_b 为样品的吸光值。

2.8 各提取物金属离子螯合能力测定

以同浓度 EDTA 为阳性对照, 取不同浓度的样品的 1 mL 溶液和 EDTA 溶液, 加入 0.1 mL 2 mmol/L 的 FeCl₂ 溶液和 3.7 mL 甲醇, 混合均匀, 再加入 0.1 mL 5 mmol/L 的 Ferrozine 溶液, 剧烈震荡均匀, 室温下静置 10 min, 测定 562 nm 的吸光值, 实验重复 3 次^[15]。按下面公式计算各乙醇提取物的金属离子螯合能力:

$$\text{抑制率}(\%)=[(A_0-A_1)/A_0] \times 100\%$$

其中: A_0 为用甲醇代替样品的吸光值; A_1 为加样品的吸光值。

3 结果与分析

3.1 4 种野生菌乙醇提取物中总酚、总黄酮、粗三萜含量的比较

4 种野生菌乙醇提取物中总酚、总黄酮、粗三萜含量测定结果见表 1。由表 1 可知, 4 种野生菌乙醇提取物在总酚、总黄酮、粗三萜含量方面存在差异。柠檬黄菇伞、马鞍菌、绒边乳菇总酚含量较高, 每 100

mg 提取物含量分别为 10.14、9.21、9.21 mg; 晶粒鬼伞总酚含量较低, 仅为 1.41 mg。绒边乳菇总黄酮含量最高, 每 100 mg 提取物中总黄酮含量为 0.158 mg, 其次为柠檬黄蜡伞和马鞍菌, 为 0.095、0.085 mg; 晶粒鬼伞总黄酮含量为零。柠檬黄蜡伞粗三萜含量最高, 每 100 mg 提取物中含 13.34 mg, 其次为晶粒鬼伞和绒边乳菇, 分别为 6.92、5.59 mg; 马鞍菌粗三萜含量最低, 为 3.46 mg。

3.2 4 种野生菌乙醇提取物对 DPPH 自由基的清除作用

4 种野生菌乙醇提取物对 DPPH 自由基的清除作用见表 2。由表 2 可知, 4 种乙醇提取物对 DPPH 均有一定的清除能力, 并随着处理浓度的升高而不断增强。以 BHA 作为阳性对照, 各乙醇提取物对 DPPH 的清除能力为: BHA>柠檬黄蜡伞>绒边乳菇>马鞍菌>晶粒鬼伞, IC_{50} 值分别为 0.05、2.00、2.17、3.9、8.08 mg/mL。乙醇提取物浓度为 6 mg/mL 时, 柠檬黄蜡伞、绒边乳菇对 DPPH 清除率达在 85% 以上; 当乙醇提取物浓度为 8 mg/mL 时, 绒边乳菇对 DPPH 清除率为 96% 以上, 接近阳性对照; 晶粒鬼伞乙醇提取物清除自由基能力最弱与总酚含量测定结果最低, 且未检测出黄酮含量结果相一致, 有可能是其清除自由基能力最弱的原因。

3.3 4 种野生菌乙醇提取物对小鼠肝脂质过氧化的抑制

4 种野生菌乙醇提取物抑制小鼠肝组织脂质过

氧化活性结果见表 3。由表 3 可知, 4 种乙醇提取物均具明显的抑制小鼠肝组织线粒体脂质过氧化活性, 且呈浓度依赖效应。以 BHA 为阳性对照, 参照 IC_{50} 值, 各乙醇提取物抑制脂质过氧化能力的顺序为: BHA>柠檬黄蜡伞>马鞍菌>绒边乳菇>晶粒鬼伞。柠檬黄蜡伞在浓度大于 0.5 mg/mL 时, 抑制脂质过氧化能力就高于阳性对照 BHA; 马鞍菌在浓度为 10 mg/mL 时的抑制能力略高于阳性对照 BHA; 绒边乳菇在浓度为 4 mg/mL 时, 对脂质过氧化抑制率达 88% 以上; 晶粒鬼伞对脂质过氧化抑制率仍表现最低, 但在浓度为 10 mg/mL 时, 抑制能力可达 80% 以上。

3.4 4 种野生菌乙醇提取物对 Fe^{2+} 的螯合能力

4 种野生菌乙醇提取物的金属离子螯合能力见表 4。由表 4 可知, 4 种乙醇提取物均有一定的金属离子螯合能力, 并呈现剂量效应关系。以 EDTA 为阳性对照, 参照 EC_{50} 值, 各乙醇提取物金属离子螯合能力大小顺序为: EDTA>绒边乳菇>柠檬黄蜡伞>马鞍菌>晶粒鬼伞。绒边乳菇与柠檬黄蜡伞金属离子螯合能力差异不大, 在浓度大于 4 mg/mL 时, 金属离子螯合能力均接近 70%, 但以后随着处理浓度的增加, 金属离子螯合能力增加并不显著; 马鞍菌在浓度为 10 mg/mL 时, 金属离子螯合能力达到 70% 以上; 晶粒鬼伞的金属离子螯合能力仍表现最差, 在浓度为 10 mg/mL 时, 仅达到 50% 以上。

表 1 4 种野生菌乙醇提取物中总酚、总黄酮、粗三萜含量($n=3$)

Table 1 Total phenol, total flavonoids and crude terpene of four kinds of mushroom ethanol extracts ($n=3$)

活性物质含量(mg/100 mg)	柠檬黄蜡伞	马鞍菌	绒边乳菇	晶粒鬼伞
总酚	10.14±0.26	9.21±1.83	9.21±3.05	1.41±0.00
总黄酮	0.095±0.001	0.085±0.003	0.158±0.001	—
粗三萜	13.34±0.02	3.46±0.00	5.59±0.02	6.92±0.01

表 2 4 种野生菌乙醇提取物对 DPPH 清除率(%)($n=3$)

Table 2 DPPH free radical scavenging activity of four kinds of mushroom ethanol extracts (%) ($n=3$)

浓度(mg/mL)	BHA	柠檬黄蜡伞	马鞍菌	绒边乳菇	晶粒鬼伞
0.5	96.5±0.023	31.8±0.011	7.5±0.012	7.7±0.013	1.1±0.045
2	98.8±0.008	69.6±0.017	21.0±0.060	31.2±0.029	11.9±0.027
4	103.7±0.025	78.0±0.090	40.4±0.023	68.3±0.024	28.7±0.002
6	100.6±0.007	86.8±0.001	64.4±0.050	85.8±0.018	36.8±0.004
8	100.0±0.004	89.3±0.051	73.7±0.031	96.2±0.002	49.8±0.029
10	103.7±0.017	93.0±0.049	85.4±0.015	96.7±0.003	59.3±0.020
IC_{50}	0.05	2.00	3.90	2.17	8.08

表3 4种野生菌乙醇提取物对小鼠肝脂质过氧化的抑制率(%)(n=3)

Table3 The lipid peroxidation inhibition effect of four kinds of mushroom ethanol extracts in mice liver (%) (n=3)

浓度(mg/mL)	BHA	柠檬黄蜡伞	马鞍菌	绒边乳菇	晶粒鬼伞
0.5	81.4±0.006	81.9±0.048	58.5±0.084	28.3±0.113	25.7±0.034
2	83.7±0.004	96.2±0.012	76.9±0.019	57.2±0.032	50.9±0.014
4	83.8±0.004	96.7±0.035	77.7±0.104	88.4±0.015	54.7±0.018
6	84.4±0.004	97.3±0.014	89.2±0.043	88.7±0.027	67.6±0.031
8	91.9±0.041	97.4±0.005	88.9±0.013	89±0.011	67.9±0.029
10	92.5±0.000	97.6±0.006	93.5±0.019	89.4±0.005	82.6±0.051
IC ₅₀	0.01	0.04	0.37	1.13	2.19

表4 4种野生菌乙醇提取物对Fe²⁺的螯合能力(%)(n=3)Table 4 Fe²⁺ chelation activities of mushroom ethanol extracts(%) (n=3)

浓度(mg/mL)	EDTA	柠檬黄蜡伞	马鞍菌	绒边乳菇	晶粒鬼伞
0.5	99.92±0.001	16.00±0.011	18.30±0.103	20.70±0.045	0.80±0.006
2	100±0.000	50.20±0.002	33.50±0.054	54.20±0.047	6.80±0.017
4	100±0.000	69.30±0.037	55.90±0.089	67.40±0.023	20.50±0.025
6	100±0.000	72.90±0.028	59.90±0.094	74.60±0.067	36.70±0.032
8	100±0.000	78.90±0.041	65.90±0.084	76.60±0.036	43.90±0.008
10	100±0.000	84.00±0.052	71.60±0.035	78.80±0.051	51.40±0.007
EC ₅₀	0.25	2.17	3.50	1.97	8.95

4 讨论

大型真菌是创造系数很高的一类真菌,近年来,从大型真菌子实体中发现了许多结构新颖并具有特殊生理活性的物质,其中酚类、黄酮类和粗三萜因具有抗氧化、抗肿瘤等生理活性成为人们所关注的重点。本研究以4种野生菌子实体为材料,分析其乙醇提取物的总酚、总黄酮类和粗三萜含量,并采用3种方法评价乙醇提取物的体外抗氧化活性,发现除晶粒鬼伞总黄酮含量为零外,4种乙醇提取物中均含不同量的总酚、总黄酮和粗三萜物质;4种乙醇提取物均表现不同程度体外抗氧化能力,且均呈现良好的剂量效应关系。

在研究过程中发现,大型真菌子实体中黄酮含量不仅低,而且有些大型真菌中就不含黄酮类物质,如晶粒鬼伞。这一点大型真菌和植物有明显区别,因植物中黄酮含量较高是一普遍现象。

本研究采用3种方法评价4种乙醇提取物的抗氧化活性。由于3种实验方法的原理不同,评价结果略

有不同。如柠檬黄蜡伞在清除DPPH自由基和抑制小鼠肝组织脂质过氧化方面均优于其他3种提取物;在对Fe²⁺的螯合能力实验中,绒边乳菇乙醇提取物螯合能力略显优势。但综合评价看,柠檬黄蜡伞体外抗氧化能力最强,其次为绒边乳菇、马鞍菌,晶粒鬼伞抗氧化能力最弱,并且乙醇提取物体外抗氧化活性与总酚、总黄酮、粗三萜含量有关。

大型真菌多糖也是一种重要的生理活物质,如具抗肿瘤、降血脂血糖、提高免疫力、抗氧化、延缓衰老、抗菌、抗辐射等功效^[16]。由于多糖方面报道较多且多糖结构变化单一,在本研究中未将多糖作为研究重点。本实验室致力于发现具新结构和明确功能的小分子。在本研究基础上,采用分离纯化技术寻找、发现具高抗氧化活性的单一小分子,分析其作用机制是我们的研究重点,也是我们正在开展的工作,因为这对新药的研发具有重要意义。

5 结论

4种野生菌的抗氧化活性与总酚、总黄酮、粗三

砧含量相关; 柠檬黄蜡伞、绒边乳菇、马鞍菌具有较好的体外抗氧化活性, 可作为提取天然抗氧化剂或进一步开发的原料。

参考文献

- [1] Tajalli F, Malekzadeh K, Soltanian H, *et al.* Antioxidant capacity of several Iranian, wild and cultivated strains of the button mushroom [J]. *Braz J Microbiol*, 2015, 46(3): 769–776.
- [2] Steenvoorden DP1, van Henegouwen GM. The use of endogenous antioxidants to improve photoprotection [J]. *J Photochem Photobiol B*, 1997, 41(1–2): 1–10.
- [3] 丁建海, 张俊芳, 丁凤娇. 植物内生真菌抗氧化活性成分研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(29): 10057–10058.
Ding JH, Zhang JF, Ding FJ. Research progress on active antioxidant components from endophytic fungi [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2014, 42(29): 10057–10058.
- [4] 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.
Hou J, Liu F, Li L, *et al.* Research progress on antioxidant components from fungi [J]. *Food Sci*, 2008, 29(9): 648–653.
- [5] Soares AA, de Souza CGM, Daniel FM, *et al.* Antioxidant activity and total phenolic content of *Agaricus brasiliensis* (*Agaricus blazei* Murril) in two stages of maturity [J]. *Food Chem*, 2009, 112: 775–781.
- [6] Liang CH, Syu JL, Mau GL. Antioxidant properties of solid-state fermented adlay and rice by *Phellinus linteus* [J]. *Food Chem*, 2009, 116: 841–845.
- [7] Sarikurcu C, Tepe B, Yamac M. Evaluation of the antioxidant activity of four edible mushrooms from the Central Anatolia, Eskisehir–Turkey: *Lactarius deterrimus*, *Suillus collitinus*, *Boletus edulis*, *Xerocomus chrysenteron* [J]. *Bioresour Technol*, 2008, 99: 6651–6655.
- [8] 沈思. 茯苓皮中三萜的提取、分离纯化及其美白皮肤活性基础性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
Shen S. Study on the extraction, separation and purification of the triterpene from the *Poria cocos* [D]. Wuhan: Central China Agricultural University, 2008.
- [9] Barros L, Ferreira MJ, Queiro's B, *et al.* Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities [J]. *Food Chem*, 2003, 103: 413–419.
- [10] 张雪辉, 赵元芬, 陈建民, 等. 甘草中总黄酮的含量测定[J]. *中国中药杂志*, 2001, (26)11: 746–748.
- Zhang XH, Zhao YF, Chen JM, *et al.* Content determination of total flavonoids in licorice root [J]. *Chin J Chin Mater Med*, 2001, (26)11: 746–748.
- [11] 帕丽达, 堵年生, 丛媛媛, 等. 比色法测定琐琐葡萄中三萜类成分的含量[J]. *天津药学*, 2002, 14(4): 70.
Pa LD, Du NS, Cong YY, *et al.* Determination of triterpene from teh grape in colorimetric method [J]. *Tianjin Pharm*, 2002, 14(4): 70.
- [12] 丰永红, 于淑娟, 李国基, 等. DPPH 法测甘蔗提取物抗氧化活性研究[J]. *甘蔗糖业*, 2003, 1: 31–33.
Feng YH, Yu SJ, Li GJ, *et al.* Study on antioxidant activity of sugarcane extracts by DPPH assay [J]. *Sugarcane Canesugar*, 2003, 1: 31–33.
- [13] Cheung LM, Cheung PCK. Mushroom extracts with antioxidant activity against lipid peroxidation [J]. *Food Chem*, 2005, 89: 403–409.
- [14] Joao CM, Barreira B, Isabel CFR, *et al.* Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit [J]. *Food Chem*, 2008, 107: 1106–1113.
- [15] Dinis TCP, Madeira VMC, Almeida LM. Action of phenolic derivatives (acetoaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers [J]. *Arch Biochem Biophys*, 1994, 315: 161–169.
- [16] 李海平, 张树海, 张困生. 滑菇多糖抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(4): 56–60.
Li, HP, Zhang SH, Zhang SH. study on anti-oxidant activity of pholiota nameko polysaccharides [J]. *Food Res Dev*, 2008, 29(4): 56–60.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



王建明, 副教授, 主要研究方向为大型真菌的研究与开发。
E-mail: wjm1969@163.com



王立安, 教授, 主要研究方向为大型真菌的研究与开发。
E-mail: wlian1965@126.com