

# 灵芝深层发酵产物抗氧化活性物质与抗氧化能力分析

谢丽源,甘炳成,彭卫红,黄忠乾,谭伟

(四川省农业科学院土壤肥料研究所,四川成都 610066)

**摘要:**以不同灵芝菌株液体发酵产物作为研究材料,测定抗氧化活性物质含量,并利用多种抗氧化测定方法,分析不同菌株的体外抗氧化能力,评价活性物质含量间、抗氧化方法间及抗氧化方法与含量间的相关性。结果表明,供试菌株活性物质含量间的差异较大,紫芝13、德昌1号黄酮含量最高,而京大灵芝多糖、三萜、多酚含量显著高于其余菌株( $p < 0.05$ ),且四种活性物质含量间相关性不大;不同灵芝菌株抗氧化活性不同,其中京大灵芝具有较高的还原力,白灵芝、金地灵芝、有柄树舌2949 DPPH自由基清除能力较高,通江灵芝、紫芝101羟自由基清除能力较强,韩芝有较高的超阴离子自由基清除能力,且不同方法间存在较大差异,显著性不明显;四种活性物质含量与各抗氧化测定方法间相关系数低,表明灵芝的抗氧化能力贡献并不完全来自这四类物质。

**关键词:**灵芝,深层发酵,抗氧化能力,抗氧化活性

## Analysis of antioxidant substances and antioxidant capacity of submerged fermentation product of *Ganoderma Lucidum*

XIE Li-yuan, GAN Bing-cheng, PENG Wei-hong, HUANG Zhong-qian, TAN Wei

(Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

**Abstract:** The objectives of this study were to analysis the differences of content of active antioxidant substances and the differences of antioxidant activity of liquid fermentation products from *G.lucidum* by a variety of antioxidant methods, and to further investigate the correlative relationships between contents of different active components, between results from different antioxidant assay methods and between contents of different active components and results from different antioxidant assay. The results showed that the contents of active substances on different strains had obvious difference, where the contents of flavonoid from ZZ13 and DC1 were the highest than those form others, and the contents of polysaccharide, triterpenes, polyphenol from JD were the highest ( $p < 0.05$ ). The correlation among active substances was low. The antioxidant activities of different strains were different, in which JD had a high reducing power, TJ and ZZ101 had the strongest effect on hydroxyl radical scavenging, BZ, Jindi and SS2949 had the strongest DPPH scavenging, and HZ had the highest superoxide radical scavenging effect. And there were significant differences among different methods, and significance was not obvious. The correlation coefficient between contents of four active substances and antioxidant was low, which indicated that the four active substances did not important contribute to antioxidant capacity from *G.lucidum*.

**Key words:** *Ganoderma lucidum*; submerged fermentation; antioxidant capacity; antioxidant activity

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)02-0105-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.02.014

自由基是人体进行生命活动时所产生的一种活性分子,正常情况下,自由基具有调节细胞间的信号传递和细胞生长、抑制病毒和细菌的作用。但体内自由基过多,可导致细胞和组织器官损伤、诱发各种疾

病、加速机体衰老,最终导致疾病的发生<sup>[1]</sup>。抗氧化剂是有效的自由基终止剂,化学合成氧化剂由于对健康的潜在危害,在食品的应用越来越受到限制<sup>[2]</sup>。因此,研究开发天然抗氧化剂取代化学合成的抗氧化剂将成为必然趋势,而大型真菌不仅具有高蛋白、低脂肪等丰富营养,还具有多种生理活性,是筛选无毒的具有抗氧化活性物质的最佳材料。因此,从食用菌中开发天然、高效、具有医疗保健功能的抗氧化食品或药品具有较高的开发价值和广阔的市场前景,已成为当今一个重要的研究方向。

收稿日期: 2014-04-11

作者简介: 谢丽源(1977-),女,博士研究生,副研究员,研究方向:农产品加工。

基金项目: 四川省应用基础(2012JY0064); 优秀论文基金(2012LWJJ-002)。

目前体外抗氧化能力的测定方法比较多,这些方法与操作难易程度、生物相关性、反应机理、反应发生环境等相关。但是不论哪种方法都各有利弊,目前为止,没有一种方法可以代替全部的方法而作为标准方法用于所有复杂抗氧化剂的评价,更没有一种方法可以模拟生物体内的复杂环境。大多数的学者,在研究抗氧化能力时,使用一种或同时使用不同机理的两种或三种方法来共同评价物质的抗氧化能力。然而,不同方法得出的结论并不一定都是一致的,有的甚至会得出相反的结论。由于方法的不统一使得目前有关抗氧化作用的研究十分混乱。因此,必须同时使用多种方法进行测定,评价不同方法间的相关性,建立多种方法的数据库,为抗氧化活性研究提供参考标准,并为栽培、育种以及产品开发提供理论依据。

灵芝是我国著名的高等药用真菌,具有抗肿瘤、免疫调节、镇静安神、强心及抗心肌缺血、调节血脂、平喘、保肝、降血糖、抗缺氧和清除自由基以及延缓衰老等较重要的药理作用<sup>[3-7]</sup>。这些药理活性与灵芝中含有的多糖类、三萜类、黄酮类、多酚类、有机锗、无机离子、甾醇类等11大类活性物质密切相关<sup>[8]</sup>。而其中所含的多糖、三萜、多酚以及黄酮类物质是研究最为广泛的抗氧化活性物质,但对其发挥抗氧化性能起着主要贡献的功能成分缺乏定论。

本研究以23株不同灵芝菌株作为研究材料,测定多种活性物质,并利用多种抗氧化测定方法,对不同菌株的抗氧化能力进行系统评价和比较,揭示灵芝菌株在抗氧化方面的药用价值,为其抗氧化机理研究以及进一步的开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

灵芝菌株 均由四川省农业科学院微生物研究中心提供;DPPH Sigma公司;标准齐墩果酸、葡萄糖、无水乙醇、香草醛、冰乙酸、高氯酸、乙酸乙酯、苯酚、过氧化氢、硫酸亚铁、水杨酸、邻苯三酚、盐酸、磷酸盐缓冲液、铁氢化钾、三氯乙酸、三氯化铁、甲醇等 均为分析纯,上海生工生物工程技术有限公司。

UV1240紫外分光光度计 日本岛津仪器公司;GLI66-II高速离心机 上海安亭科学仪器厂;HH.S11-Ni6-列六孔恒温水浴锅 北京长安科学仪器厂;ALC-Z10.3电子天平 北京赛多利斯天平有限公司;R-201旋转蒸发器 上海申胜生物技术有限公司;SHB-III循环水多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 液体发酵培养基 葡萄糖30g/L,蛋白胨20g/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  3g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1g/L, pH自然。

1.2.2 发酵液制备 接种10%液体种子培养基于装液量为120mL发酵培养基(500mL三角瓶)中,培养温度26℃,转速120r/min,培养7d,过滤,收集发酵液,备用。

1.2.3 多糖含量测定 参考张惟杰方法<sup>[9]</sup>,绘制标准

曲线,求出回归方程( $y=0.0147x+0.0081$ ,  $R^2=0.9968$ ),得到多糖含量。

1.2.4 总酚含量测定 使用福林-肖卡法<sup>[10]</sup>,绘制标准曲线,求出回归方程( $y=0.1359x+0.0141$ ,  $R^2=0.9983$ ),得到总酚含量。

1.2.5 黄酮含量测定 按照芦丁- $\text{AlNO}_3$ 法<sup>[11]</sup>绘制标准曲线,得回归方程为( $y=0.009x-0.0006$ ,  $R^2=0.9994$ ),得到黄酮含量。

1.2.6 三萜含量测定 使用齐墩果酸作为标样<sup>[12]</sup>,绘制标准曲线,求出回归方程( $y=0.057x+0.0804$ ,  $R^2=0.9986$ ),得到三萜含量。

1.2.7 还原力测定<sup>[13]</sup> 采用铁氰化钾还原法。

1.2.8 对超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^-$ )清除作用研究 采用邻苯三酚自氧化法<sup>[13]</sup>。

1.2.9 对羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )的清除作用研究 采用 $\text{FeSO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 方法<sup>[13]</sup>。

1.2.10 对DPPH·自由基清除作用研究 采用DPPH-甲醇测定方法<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灵芝菌株活性物质含量分析

分别测定不同灵芝液体发酵产物的黄酮、多酚、多糖及三萜含量,结果见表1。由表1可见,灵芝发酵液中均含有丰富的黄酮、多酚、多糖及三萜类物质,但不同的灵芝菌株间,活性物质含量间存在较大差异,在所测定的23个灵芝菌株中,黄酮含量变异范围为1.462~7.056 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,多酚含量变异范围为1.534~10.214 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,多糖含量变异范围为1.257~13.120 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,三萜含量变异范围为1.027~12.510 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。黄酮含量比较高的灵芝菌株有紫芝13、德昌1号、美国灵芝、树舌、紫芝19、紫芝20、无孢灵芝11,黄酮含量在5.313~7.056 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,其中紫芝13、德昌1号含量最高;多酚含量较高的菌株有京大灵芝、无孢灵芝11、紫芝19、美国灵芝、树舌、紫芝101,含量在6.847~10.214 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,其中京大灵芝、无孢灵芝11、紫芝19含量高于其余菌株;多糖含量较高的菌株有京大灵芝、黑芝、无孢灵芝、南韩灵芝,含量在7.810~13.120 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,其中京大灵芝含量显著高于其余菌株;三萜含量较高的菌株有京大灵芝、紫芝101、黑芝、南韩灵芝、松杉灵芝、通江灵芝、美国灵芝,含量在9.065~12.510 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,其中京大灵芝含量最高。

### 2.2 不同灵芝菌株抗氧化自由基测定

分析不同灵芝菌株液体发酵产物的抗氧化能力,对23个灵芝菌株还原力、羟自由基、超氧阴离子自由基及DPPH自由基清除率进行比较,结果见图1,研究发现不同灵芝菌株具有不同的抗氧化能力,即具有不同的自由基清除能力。在测定的23个菌株中,还原力变异范围在0.220~0.884, DPPH自由基清除率变异范围在21.101%~61.585%,羟自由基清除率变异范围在11.247%~88.123%,超氧阴离子自由基清除率变异范围在25.909%~69.024%。其中京大灵芝还原力最高( $p<0.01$ ), OD值为0.884%,美国灵芝、有柄树舌、金地灵芝均有较高的还原力,其OD值在0.637%~0.683%;白灵芝、金地灵芝、有柄树舌2949有较高的

表1 不同灵芝菌株活性物质含量比较  
Table 1 Comparison of content on active substance among different strains

菌株	活性物质含量(μg/mL)			
	黄酮	多酚	粗多糖	三萜
京大灵芝	2.185±0.085hij	10.214±0.537a	13.120±0.647a	12.510±0.611a
美国灵芝	5.682±0.461bc	7.123±0.399b	5.040±0.341e	9.065±0.538cd
有柄树舌	3.613±0.273ef	2.010±0.194gh	6.250±0.587d	6.753±0.381fg
树舌	5.313±0.340bc	6.871±0.042bc	1.620±0.178hi	7.186±0.292ef
紫芝101	4.971±0.407cd	6.847±0.095bc	3.120±0.311fg	10.511±0.455b
金地灵芝	2.895±0.119fghi	3.416±0.490efg	6.130±0.261d	7.427±0.229ef
无孢灵芝	2.136±0.120hij	3.848±0.394def	8.350±0.191c	6.391±0.698fg
松杉灵芝	1.730±0.002ij	3.979±0.648def	1.490±0.281hi	9.595±0.454bc
韩芝	4.779±0.525cd	2.722±0.885fgh	6.960±0.040cd	8.752±0.431cd
韩国灵芝	2.394±0.156ghij	4.824±0.782de	2.680±0.385gh	8.712±0.147cd
通江灵芝	3.437±0.207efg	2.949±0.728fgh	4.000±0.359ef	9.174±0.392cd
南韩灵芝	3.383±0.356fg	5.370±0.632cd	7.810±0.695c	9.860±0.551bc
紫芝569	3.309±0.197fgh	4.348±1.037def	3.160±0.622fg	8.318±0.429de
有柄树舌2949	3.375±0.186fg	5.410±0.412cd	6.130±0.444d	5.982±0.508g
黑芝	3.894±0.653def	4.246±1.148def	10.790±0.447b	10.655±0.513b
白灵芝	4.603±0.601cd	3.107±0.343efgh	1.257±0.251hi	1.186±0.076h
云芝	2.164±0.094hij	1.534±0.146h	1.947±0.155hi	1.111±0.090h
德昌1号	6.365±0.458ab	3.346±0.379efg	2.637±0.152gh	1.849±0.029h
德昌2号	1.462±0.359j	3.584±0.059defg	2.554±0.251gh	1.027±0.190h
紫芝19	5.647±0.357bc	8.958±0.443a	3.589±0.783fg	1.039±0.102h
紫芝20	5.389±0.763bc	4.807±0.151de	2.793±0.448fgh	2.017±0.011h
紫芝13	7.056±0.189a	4.804±0.237de	2.988±0.488fgh	1.967±0.077h
无孢灵芝11	5.416±0.235bc	9.376±0.367a	1.598±0.048hi	1.051±0.183h

注:每一列不同的字母表示相互间存在显著差异(p<0.05)。

DPPH自由基清除能力(p<0.05或p<0.01),清除率在60.404%~61.585%;通江灵芝、紫芝101羟自由基清除能力最高(p<0.05或p<0.01),清除率分别为88.123%、86.345%,而有柄树舌2949、黑芝、韩国灵芝羟自由基清除能力仅次于以上菌株,清除率在83.240%~85.194%;韩芝有最高的超阴离子自由基清除能力(p<0.05或p<0.01),清除率为69.024%,而美国灵芝、有柄树舌、金地灵芝、无孢灵芝、松杉灵芝、韩国灵芝、紫芝569、黑芝有较高的超氧阴离子自由基清除效果,清除率仅此于韩芝,清除率在58.597%~

62.621%。

### 2.3 不同测定方法间的相关性

从表2中可以看出,不同的体外评价抗氧化能力方法所得结果间,具有不同的统计学相关性,各测定方法间相关系数均较低,相关性不显著(p>0.05)。这是由于生物体有多种抗氧化系统,其中自由基的种类、产生机理、产生部位以及所作用的靶点的不同,相对应的抗氧化机理和能力就不同。不同的体外抗氧化能力测定是针对不同自由基的清除效果,但是,由于本研究测定样品是发酵产物,成分复杂,对于其中含有的自由基种类不清楚,工作原理及相互间的关系不清楚,所以单一的测定方法很难对抗氧化物质进行综合评价,因此不能用一种评价方法所得的

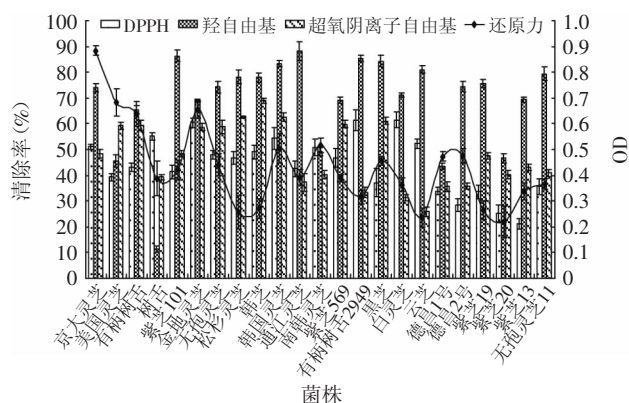


图1 不同灵芝菌株抗氧化能力比较

Fig.1 Comparison of antioxidant capacity on different strains

表2 不同抗氧化方法间的相关性

Table 2 Lineal correlation coefficients among the different methods for quantifying antioxidant capacity

相关系数	羟自由基	DPPH自由基	超氧阴离子自由基	还原力
羟自由基	1			
DPPH自由基	0.063	1		
超氧阴离子自由基	0.150	0.056	1	
还原力	-0.128	0.185	0.264	1

结果,概况其他评价方法的结果,而应尽量选择多种抗氧化评价方法,较全面、客观的评价被评价化合物的抗氧化能力。

#### 2.4 样品活性组分含量相关性研究

对活性物质含量间相关性进行分析,由表3可知,粗多糖含量与黄酮、三萜、多酚含量相关系数分别为-0.270、0.595、0.175 ( $p>0.05$ );黄酮含量与三萜、多酚含量相关系数为-0.328、0.274 ( $p>0.05$ );三萜含量与多酚含量相关系数为0.132 ( $p>0.05$ ),由此说明针对同一菌株,这四种主要活性物质含量间存在较大差异,这是由于代谢产物累积途径不同造成。

表3 活性物质含量间相关性

Table 3 Correlation among active composition

相关系数	粗多糖	黄酮	三萜	多酚
粗多糖	1			
黄酮	-0.270	1		
三萜	0.595	-0.328	1	
多酚	0.175	0.274	0.132	1

#### 2.5 抗氧化能力与抗氧化物质含量的相关性

分析不同灵芝菌株的抗氧化能力与多酚类、黄酮类、粗多糖及三萜含量间的关系,根据前面对不同菌株的多酚、黄酮、粗多糖、三萜含量测定结果及不同方法测得的抗氧化能力结果作了相关性分析(表4)。由此可知,灵芝菌株多酚、黄酮、三萜及粗多糖含量与不同方法测得的抗氧化能力相关性不同,多酚含量与羟自由基、DPPH自由基、超氧阴离子自由基及还原力方法测得的抗氧化能力间的相关系数分别为-0.122、-0.135、-0.012、0.267 ( $p>0.05$ );黄酮含量与羟自由基、DPPH自由基、超氧阴离子自由基及还原力方法测得的抗氧化能力间的相关系数分别为-0.411、-0.463、-0.147、-0.217 ( $p>0.05$ );三萜含量与羟自由基、DPPH自由基、超氧阴离子自由基及还原力方法测得的抗氧化能力间的相关系数分别为0.088、0.376、0.595、0.487 ( $p>0.05$ );多糖与羟自由基、DPPH自由基、超氧阴离子自由基及还原力方法测得的抗氧化能力间的相关系数分别为0.161、0.170、0.371、0.592 ( $p>0.05$ )。由于羟自由基、DPPH、超氧阴离子自由基、还原力等抗氧化能力测定方法间相关系数较低,且各自间差异较大(如表2),说明各自自由基产生机理、产生部位以及所作用的靶点的不同,而清除自由基的原理就不同。而对于主要活性物质多酚类、黄酮类、三萜类以及粗多糖与不同抗氧化测定方法间的

表4 抗氧化能力与抗氧化物质含量的相关性

Table 4 Lineal correlation coefficients between antioxidant composition and antioxidant capacity

相关系数	羟自由基	DPPH自由基	超氧阴离子自由基	还原力
多酚	-0.122	-0.135	-0.012	0.267
黄酮	-0.411	-0.463	-0.147	-0.217
三萜	0.088	0.376	0.595	0.487
多糖	0.161	0.170	0.371	0.592

相关性分析可见,其相关系数均较低,说明主要活性物质对于清除自由基效果不明显,由此可见灵芝的抗氧化能力不是主要来自其中所含的粗多糖、三萜、黄酮和多酚类这四种物质,或者并不单独来自这四类物质,其抗氧化能力可能与其他成分或者是活性物质共同作用产生。

### 3 结论与讨论

由于生物体内存在多个抗氧化系统,他们的工作原理及相互间的关系尚不清楚,所以单一的测定方法很难对抗氧化物质进行综合评价,另一方面测定的样品大多为混合物,其成分十分复杂,而自由基的种类、产生机理、产生部位以及所作用的靶点的不同,相对应的抗氧化剂的抗氧化机理和能力就不同,因此需要对多个抗氧化测定方法综合进行评价,以此来判断该物质的抗氧化性能。本研究对23个灵芝菌株的抗氧化能力进行测定,通过不同测定方法间相关性分析表明,在所测定的23个灵芝菌株中,京大灵芝具有较高的还原力,白灵芝、金地灵芝、有柄树舌2949 DPPH清除能力较强,通江灵芝、紫芝101有较高的羟自由基清除能力,韩芝有较高的超阴离子自由基清除能力,对不同方法间相关性分析研究发现,不同抗氧化方法间存在差异,各种方法测定的结果数值不一,且各测定方法间相关系数低,相关性不显著。由此可见,不同的体外评价抗氧化能力方法所得结果间具有不同的统计学相关性,不能用一种评价方法所得的结果,概况其他评价方法的结果,而应尽量选择多种抗氧化评价方法,较全面、客观的评价被评价化合物的抗氧化能力。

对供试菌株的主要活性物质多糖、多酚、黄酮、三萜含量进行测定,研究表明,供试菌株含有较为丰富的多糖、三萜、总酚和黄酮类物质,其中紫芝13、德昌1号黄酮含量最高,而京大灵芝多糖、三萜、多酚含量显著高于其余菌株。对活性物质含量间相关性进行分析发现,四种主要活性物质含量间相关性不大,而不同活性物质含量还应通过实际测量值为准,不能由一种活性物质含量来评价其他活性物质含量。

关于抗氧化能力强弱与活性物质含量的相关性,大多数研究都集中在食用菌多糖的抗氧化活性研究方面。盛伟等对白灵芝、杏鲍菇、阿魏菇多糖体外抗氧化活性研究发现,其多糖提取物均具有较强的体外抗氧化性能,且随着多糖浓度的增大,其抗氧化活性逐渐增强<sup>[14]</sup>。张卉研究了姬松茸胞外纯化多糖体外清除 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{O}_2\cdot^-$ 的能力,发现对 $\text{O}_2\cdot^-$ 清除能力强于 $\cdot\text{OH}$ <sup>[15]</sup>。除此之外大量研究发现,灵芝多糖具有一定的清除自由基能力<sup>[16-17]</sup>。但是对抗氧化起着主要贡献的物质还缺乏定论,而以往的研究结果不尽一致。Aziz Turkoglu等研究了硫磺菌提取物的抗氧化活性,认为总黄酮对抗氧化性起着重要作用<sup>[18]</sup>。Jeng-Leun Mau等对灰树花、羊肚菌和鸡枞菌三种食用菌的醇提取物抗氧化活性研究发现,三种食用菌均具有较高的抗氧化能力,且认为抗氧化活性物质是酚类化合物<sup>[19]</sup>。Yu-Ling Lee等对真姬菇醇提取物清除DPPH能力研究发现,起抗氧化作用主要是 $\text{V}_E$ <sup>[20-21]</sup>。王宏雨等研究表明,食用菌抗

氧化活性物质与提取物的分离相关,他的研究表明粗提物中含有较多的多糖、乙酸乙酯相含有较多的多酚类物质,而且各分离相的抗氧化活性也明显不同<sup>[22]</sup>。而本研究结果表明,四种活性物质含量与各抗氧化测定方法间相关系数低、相关性不显著,说明多酚类、黄酮类、三萜类以及粗多糖与抗氧化方法间相关性不大,由此表明灵芝的抗氧化能力贡献并不完全来自这四类物质,或者并不单独来自这四类物质。

### 参考文献

- [1] 聂凌鸿. 淮山活性多糖分离纯化、结构与生物活性的研究[D]. 广州:华南理工大学,2004.
- [2] 李凤英,李润丰,赵希艳,等. 60种花卉多酚、黄酮含量及其抗氧化活性[J]. 经济林研究,2011,29(3):59-63.
- [3] Ofodile L N, Uma N U, Kokubum T, et al. Antimicrobial activity of Some *Ganoderma* species from Nigeria[J]. Phytother Res,2005,19:310.
- [4] Wong KL, Chao H H, Chan P, et al. Antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* in acute Ethanol-induced heart toxicity[J]. Phytother Res,2004,18:1024.
- [5] Min Zhu, Qi Chang, Leone K. Wong, et al. Triterpene antioxidants from *Ganoderma lucidum*[J]. Phytother Res,1999,13:529.
- [6] Lakshmi B, Ajith T A, Sheena N, et al. Antiperoxidative, anti-inflammatory, and antimutagenic activities of ethanol extract of the Mycelium of *Ganoderma lucidum* occurring in south india[J]. Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis,2003(S1):85.
- [7] Lee J M, Hoonjeong Kwon, Hoon Jeong, et al. Inhibition of lipid peroxidation and oxidative DNA damage by *Ganoderma lucidum*[J]. Phytother Res,2001,15:245.
- [8] Shiao M S. Natural products of the medicinal fungus *Ganoderma lucidum*: occurrence, biological activities and pharmacological functions[J]. The Chemical Record,2003(3):172.
- [9] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 2版. 浙江:浙江大学出版社,1999.

出版社,1999.

- [10] 何照范,张迪清. 保健食品化学及其检测技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1998:107-122.
- [11] 张静,余加进,戴建辉,等. 中药提取物中总黄酮的分析研究[J]. 云南民族大学学报,2010,19(6):414-416.
- [12] 帕丽达,堵年生,丛媛媛,等. 比色法测定琐琐葡萄中总三萜类成分的含量[J]. 华西药学杂志,2002,17(6):475.
- [13] 谢丽源,张勇,彭卫红,等. 桑黄胞内多糖免疫及抗氧化活性研究[J]. 食品科学,2011,32(9):276-281.
- [14] 盛伟,方晓阳,吴萍. 白灵芝、杏鲍菇、阿魏菇多糖体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2008,29(5):103-109.
- [15] 张卉,李长彪,刘长江. 姬松茸胞外多糖体外抗氧化活性的研究[J]. 中国食用菌,2007,24(3):48-49.
- [16] 盖玉红. 灵芝多糖抗氧化活性研究[M]. 长春:吉林农业大学,2007.
- [17] 王君巧,聂少平,余强,等. 黑灵芝多糖对免疫抑制小鼠的免疫调节和抗氧化作用[J]. 食品科学,2012,33(23):274-277.
- [18] Turkoglu A, Duru M E, Mercan N, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murri[J]. Food Chemistry,2007,101:267-273.
- [19] Mau J L, Chang C N, Huang S J, et al. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus* mycelia[J]. Food Chemistry,2004,87:111-118.
- [20] Lee Y L, Yen T, Mau J L, et al. Antioxidant properties of various extracts from *Hypsizygus marmoreus*[J]. Food Chemistry,2007,104:1-9.
- [21] Lee Y L, Jian S Y, Lian P Y, et al. Antioxidant properties of extracts from a white mutant of the mushroom *Hypsizygus marmoreus*[J]. Journal of Food Composition and Analysis,2008,(21):116-124.
- [22] 王宏雨. 食用菌抗氧化活性研究及竹荪抗氧化物质提取工艺优化[D]. 福州:福建农林大学,2010.

(上接第104页)

供了一定的参考价值。

### 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010:341-342.
- [2] 赵文爱,李泽民,王伯霞. 槟榔与白胡椒对猪囊尾蚴形态学改变的影响[J]. 现代中西医结合杂志,2003,12(3):237-238.
- [3] 张海德,黄玉林,范燕忠. 槟榔提取物对DPPH自由基的清除作用研究[J]. 食品科学,2008,29(8):74-77.
- [4] 黄玉林,袁腊梅,兰淑惠,等. 槟榔提取物抗菌活性的研究[J]. 食品科技,2009,34(1):202-204.
- [5] 李忠海,钟海雁,郑锦星,等. 槟榔提取物在小白鼠体内的抑菌作用[J]. 食品与机械,2007,23(5):81-83.
- [6] Han L, Zhang HD, Luo SS, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total phenol from betel (*Areca catechu* L.) nut seed and evaluation of antioxidant activity *in vitro*[J]. Afr J Biotechnol,2011,10(46):9289-9296.

- [7] Chavan YV, Singhal RS. Separation of polyphenols and arecoline from areca nut (*Areca catechu* L.) by solvent extraction, its antioxidant activity, and identification of polyphenols[J]. J Sci Food Agric,2013,93(10):2580-2589.
- [8] Wei JF, Yin ZH, Shang FD, et al. Antioxidant activities *in vitro* and hepatoprotective effects of *Lysimachia clethroides* Duby on CCl<sub>4</sub>-induced acute liver injury in mice[J]. Afr J Pharm Pharmacol,2012,6(10):743-750.
- [9] Kang WY, Wang JM. *In vitro* antioxidant properties and *in vivo* lowering blood lipid of *Forsythia suspense* leaves[J]. Med Chem Res,2010,19:617-628.
- [10] Yin ZH, Wang JJ, Kang WY, et al. Antioxidant and α-glucosidase inhibitory activity of red raspberry (*Harriswatters*) fruits *in vitro*[J]. Afr J Pharm Pharmacol,2012,6(45):3118-3123.
- [11] Kang WY, Li CF, Liu YX. Antioxidant phenolic compounds and flavonoids of *Mitragyna rotundifolia* (Roxb.) Kuntze *in vitro* [J]. Med Chem Res,2010,19:1222-1232.