

高 强,吴振莹,方 玲,等. 青檀内生真菌球毛壳的抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2013,41(5):293-296.

青檀内生真菌球毛壳的抗氧化活性

高 强, 吴振莹, 方 玲, 陈双林

(南京师范大学生命科学学院, 江苏南京 210023)

摘要: 为了获得和利用具有较高抗氧化活性的植物内生真菌资源,在菌种筛选的基础上,采用碘量法、铁氰化钾还原力测定法、光照核黄素体系法、分光光度法、亚甲基蓝光度法和 Folin - Ciocalteu 法研究了分离自 1 株青檀内生真菌发酵液提取物的抗氧化作用。结果表明,该菌发酵液提取物的总抗氧化活性及稳定性优于芸香苷,10 d 的过氧化值达到 8.13 mEq/kg;0.1 mg/mL 浓度下的还原力吸光度最大,为 0.152,0.5 mg/mL 浓度下的超氧阴离子自由基清除率为 50.6%;0.1 mg/mL 浓度下的 DPPH 自由基清除率为 86.0%;2.5 mg/mL 浓度下的羟基自由基清除率为 47.9%。该菌的多酚含量为 116.11 mg/g,且是其主要的抗氧化活性成分,该菌被鉴定为真菌球毛壳,说明这种真菌具有开发抗氧化活性物质的潜力。

关键词: 青檀;内生真菌;自由基;清除率

中图分类号: Q936

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2013)05-0293-04

具有抗氧化作用的天然产物对人体健康有重要的作用^[1],由于现代社会中人们对药品和食品中的成分需求较多及其生产要求较高,寻找安全、天然的抗氧化剂已成为研究热点^[2]。国内外对抗氧化天然成分的研究十分活跃,研究较多的黄酮类、酚酸类、皂苷类和酶类等传统的天然抗氧化物质主要来源于植物^[3-5]。近年来,真菌的抗氧化活性研究日益被人们重视,而真菌天然产物的抗氧化活性研究具有巨大的潜力^[6]。在真菌的抗氧化活性研究中,植物内生真菌是近期备受关注的一类重要资源,它们是存在于健康植物体内的微生物,是具有新活性或新结构的天然物质的潜在资源库^[7-8]。谢辉等发现杜仲内生真菌球毛壳(*Chaetomium globosum*)具有较强的抗氧化活性^[9],从而揭示了毛壳菌属(*Chaetomium*)真菌在为人们熟知的拮抗作用和纤维素分解作用外的新的生物活性。在对青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)内生真菌多样性研究的基础上^[10],笔者对其菌种资源进行了抗氧化活性筛选,在前期研究中,通过比较获得 1 株抗氧化活性较高的菌株,经鉴定,也属于球毛壳,这证实了毛壳菌属真菌具有开发抗氧化活性产物的潜力。本研究探讨了青檀内生真菌球毛壳菌株 No. 81 的总抗氧化活性和对超氧阴离子自由基、羟基自由基、DPPH 自由基的清除作用,为进一步研究和开发具有的抗氧化性的天然产物奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验试剂 DPPH 自由基购自 Sigma 公司;Folin -

收稿日期:2012-10-11

基金项目:江苏高校优势学科建设工程项目。

作者简介:高 强(1988—),男,江苏赣榆人,硕士研究生,研究方向为微生物与生化药学。E-mail: gaoqiang988@126.com。

通信作者:陈双林,男,教授,研究方向为微生物资源多样性及其生物技术。E-mail: chenshuanglin@njnu.edu.cn。

致谢:本实验室柴新义博士进行了青檀内生真菌的菌种分离和保藏工作,为本研究提供了供试菌种,在此深表谢意。

Ciocalteu试剂购自 BBI 公司;芸香苷标准品购自中国药品生物制品检定所;其他试剂均为国产分析纯;所用水为超纯水。

1.1.2 试验菌种 柴新义等对来自安徽宿州皇藏峪、河南南阳宝天曼、山东枣庄青檀寺、山东泰安灵岩寺和江苏南京幕府山 5 地野生青檀的健康组织样本进行组织分离并获得了内生真菌菌株^[11],并采用总抗氧化能力试剂盒对 35 个代表性菌株的发酵液提取物进行抗氧化活性测定。其中分离自山东泰安的青檀叶片中的菌株 No. 81 表现出明显较高的抗氧化活性,被选作本研究的供试菌株,经形态分类学鉴定,该菌株为球毛壳(*Chaetomium globosum*)。

1.2 发酵液提取物的制备

采用马铃薯葡萄糖液体培养基(200 g 去皮马铃薯切碎,加 1 000 mL 水煮沸过滤,再加 10~20 g 葡萄糖,高压灭菌),用 250 mL 三角瓶,装液量为 100 mL。挑取供试菌株的少量菌丝接种于液体培养基中,(26±1)℃、135 r/min 条件下培养 7 d 后抽滤除去菌丝,滤液于(60±1)℃条件下减压浓缩至黏稠状,再加同等体积的无水乙醇,7 000 r/min 离心 15 min 后弃沉淀,上清液蒸发去乙醇,于冷冻干燥装置中进行冷冻干燥,得到黄褐色粉末状活性物质。

1.3 抗氧化活性的测定

1.3.1 总抗氧化活性作用 采用碘量法,参照孟洁等的方法并加以改进^[10]。精确称取相当于猪油重量 0.01%、0.02%、0.04%、0.06% 的发酵液提取物,分别放入锥形瓶中,加入少量的超纯水溶解,再加入 50.0 g 猪油,搅拌均匀;同时设空白对照和阳性对照,其中空白对照以相应体积的超纯水代替样品,阳性对照以 0.02% 芸香苷代替样品。将所有试样置于(60±1)℃烘箱中强化保存,每 24 h 搅拌 1 次,并测定其过氧化值(POV),每组处理均作 3 个平行。过氧化值的测定参照 GB 5009.37—2003《酸价、过氧化值、羰基价》中的滴定法进行。

1.3.2 还原力的测定 采用铁氰化钾还原力测定法,具体参考 Ozen 等的方法^[12]并加以改进。精确移取不同浓度的样品溶液(0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1 mg/mL)1 mL 于 15 mL 离

心管中,加入 0.2 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 6.6)2.5 mL,再加 30 mmol/L 铁氰化钾溶液 2.5 mL,混合物在 50 ℃ 下水浴 20 min,再加 600 mmol/L 三氯乙酸 2.5 mL,然后于 3 000 g 离心 10 min,取 2.5 mL 上清液并在其中加入 2.5 mL 超纯水、0.5 mL 6 mmol/L 三氯化铁溶液,于 700 nm 处测吸光度。以相应浓度的芸香苷作为对照。

1.3.3 超氧阴离子自由基(O₂⁻)的清除作用 采用光照核黄素体系法,参照赵艳红等的方法^[13]并加以改进。以 pH 值 7.8 的 0.05 mmol/L 磷酸盐缓冲液为溶剂,分别配制 130 mmol/L 蛋氨酸、20 μmol/L 核黄素、750 μmol/L 氯化硝基四氮唑蓝(NBT)、20 μmol/L EDTA-2Na,分别取 0.3 mL 上述溶液,加入 1.5 mL 磷酸缓冲液、0.5 mL 超纯水,再加入样品溶液(0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/mL)0.1 mL,空白管以缓冲液代替样品溶液。置于(28±1)℃恒温光照箱中光照 15 min,取出以避光空白管为参比,于 560 nm 处测吸光度。以芸香苷作为阳性对照。O₂⁻的清除率按下列公式计算:

$$\text{清除率} = [(D_0 - D_s) / D_0] \times 100\%$$

式中:D₀为光照空白管吸光度;D_s为样品管吸光度。

1.3.4 DPPH 自由基的清除作用 DPPH·是一种较为稳定的自由基,分子结构中有未成对电子,其乙醇溶液呈蓝紫色,在 517 nm 处有最大吸收峰。当未成对电子被其他自由基配对后,吸收峰降低,其褪色程度与它所接受的电子数成定量关系。当与抗自由基活性物质作用时,其吸收峰降低越多,则表明抗自由基活性物质的活性越强,具体可由清除率来衡量。本研究中 DPPH 自由基清除率的测定参照 Hatano 等的方法^[14]并改进。首先用无水乙醇溶解 DPPH,浓度为 120 μmol/L,每管中分别加入 2.9 mL 无水乙醇和 0.1 mL 待测样品,于(30±1)℃恒温水浴 30 min 后测定 517 nm 处的吸光度,空白对照以超纯水代替样品,以芸香苷作为阳性对照。DPPH 自由基清除能力按以下公式计算:

$$\text{清除率} = [(D_0 - D_s) / D_0] \times 100\%$$

式中:D₀、D_s分别为空白对照和样品的吸光度。

1.3.5 羟基自由基(OH·)的清除作用 根据 Fenton 反应,本试验采用亚甲蓝光度法,参考赵艳红等的方法^[14]并加以改进。在 25 mL 的容量瓶中分别加入 2.0 mL 0.15 mmol/L 亚甲蓝溶液、2.5 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.0)、1.0 mL 0.01 mol/L FeSO₄溶液、1.0 mL 各种浓度(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL)的样品溶液、400 μL 7.5 mmol/L H₂O₂,最后加双蒸水至 25 mL,室温下放置 10 min 后于 660 nm 处测吸光度,以芸香苷标准品为阳性对照。清除率按下式计算:

$$\text{清除率} = [1 - (D_0 - D_2) / (D_0 - D_1)] \times 100\%$$

式中:D₀为初始亚甲蓝溶液的吸光度;D₁为加入 Fenton 试剂后反应的吸光度;D₂为加入样品和 Fenton 试剂反应后的吸光度。吸光度越高,表明亚甲蓝被氧化的程度越低,试样清除羟基的能力越强。

1.3.6 多酚含量的测定 采用 Folin-Ciocalteu 法,参照 Minussi 等的方法^[15]并作改进。取 1 mL 样品溶液(0.1 mg/mL)加入到 10 mL 容量瓶中,再依次加入 1 mL 超纯水、0.5 mL Folin-Ciocalteu 试剂,充分振荡后静置 4~5 min,再加入 1 mL 1.4 mol/L Na₂CO₃溶液,定容至 10 mL,摇匀,置于 25 ℃ 恒温水浴中反应 2 h,在 760 nm 处测定吸光度。

2 结果与分析

2.1 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物的抗氧化活性

应用碘量法测定了青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对猪油脂质过氧化的抑制能力在反应 10 d 中的变化(图 1)。在反应开始的 2 d,添加青檀内生球毛壳菌株 No. 81 不同浓度发酵液提取物的各处理组和 0.02% 芸香苷处理的 POV 高于空白对照。从反应后 3 d 起,加入抗氧化活性物质处理组的 POV 与空白对照组大致相当,但上升缓慢且略有波动。而在反应后 10 d 测定终了时,各处理的 POV 都显著地低于空白对照,其中 0.02%、0.04%、0.06% 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物处理样品的 POV 还显著地低于 0.02% 芸香苷处理,即此时青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液抑制氧化的效果要明显优于阳性对照芸香苷。说明青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物存在持久有效的抗氧化活性,且抑制猪油过氧化作用的稳定性较好。

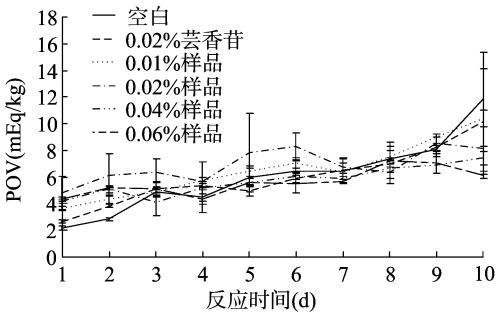


图1 青檀内生球毛壳菌株No.81发酵液提取物处理猪油的过氧化值变化

2.2 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物的还原能力 抗氧化物质的抗氧化活性与其还原力存在直接的联系,抗氧化物质通过自身的还原作用给出电子而清除自由基,且还原力越强,抗氧化活性越强。因此,可以通过测定还原力来说明抗氧化活性的大小。铁氰化钾还原力测定法的原理为:K₃Fe(CN)₆+样品→K₄Fe(CN)₆+样品氧化物;K₄Fe(CN)₆+Fe³⁺→Fe₄[Fe(CN)₆]₃。在 700 nm 处测定吸光度 D,D 越大则样品的还原力越强。在 0~0.1 mg/mL 的浓度范围内,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物的还原能力随着浓度的增加而增加;当浓度为 0.1 mg/mL 时,吸光度最大。在相同浓度条件下,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物的还原能力大体相当于芸香苷的 50%(表 1)。

表 1 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物还原能力

发酵液浓度 (mg/mL)	样品 D _{700 nm}	芸香苷 D _{700 nm}
0.02	0.032 ± 0.001 *	0.055 ± 0.003
0.04	0.067 ± 0.001 *	0.146 ± 0.003
0.06	0.078 ± 0.001 *	0.182 ± 0.003
0.08	0.107 ± 0.001 *	0.256 ± 0.003
0.10	0.152 ± 0.001 *	0.298 ± 0.003

注:*表示与芸香苷相比差异显著(P<0.05)。表 2、表 3 同。

2.3 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对超氧阴离子自由基的清除作用

青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物和芸香苷对

光照核黄素产生的超氧阴离子自由基的清除率随着发酵液提取物浓度的增加而增大(表2)。处理浓度与清除率呈良好的线性关系,回归方程为 $y = 0.110\ 1x - 0.022\ 2$ ($r^2 = 0.969\ 3$)。阳性对照芸香苷的 IC_{50} 为0.447 mg/mL,当浓度为0.5 mg/mL

时清除率可达52.9%;而青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对超氧阴离子自由基的 IC_{50} 为0.478 mg/mL,当浓度为0.5 mg/mL时清除率也可达50.6%。

表2 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对超氧阴离子自由基的清除率

试验材料	不同发酵液提取物浓度的超氧阴离子自由基清除率				
	0.1 mg/mL	0.2 mg/mL	0.3 mg/mL	0.4 mg/mL	0.5 mg/mL
样品	5.3 ± 1.7	23.3 ± 1.9 *	33.3 ± 1.5 *	41.9 ± 1.1 *	50.6 ± 1.2 *
芸香苷	11.4 ± 1.3	28.8 ± 0.3	38.5 ± 1.7	47.8 ± 0.6	52.9 ± 0.1

2.4 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对 DPPH 自由基的清除作用

青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物和芸香苷对 DPPH 自由基均具有较强的清除能力,且清除率随着浓度的增加而增大(表3)。青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对 DPPH 自由基的 IC_{50} 值为0.023 mg/mL,量效关系回归方程为 $y = 0.139\ 8x + 0.178\ 1$ ($r^2 = 0.972\ 3$),当浓度为

0.1 mg/mL 时,清除率可达86.0%;芸香苷 IC_{50} 为0.042 mg/mL,量效关系回归方程为 $y = 0.150\ 9x - 0.137\ 5$ ($r^2 = 0.975\ 4$),当浓度为0.1 mg/mL时,清除率可达85.2%。在0~5 mg/mL处理浓度范围内,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物在低浓度(0.02、0.04 mg/mL)时的 DPPH 自由基清除率高于芸香苷,在高浓度时则与芸香苷对照品相当,且差异不显著。

表3 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对 DPPH 自由基的清除率

试验材料	DPPH 自由基清除率(%)				
	0.02 mg/mL	0.04 mg/mL	0.06 mg/mL	0.08 mg/mL	0.10 mg/mL
样品	27.4 ± 3.2	51.5 ± 3.9	59.8 ± 0.9 *	74.2 ± 2.3	86.0 ± 0.3
芸香苷	24.6 ± 2.1	46.6 ± 0.8	62.4 ± 1.2	76.3 ± 0.2	85.2 ± 0.8

2.5 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对羟基自由基的清除作用

青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对羟基自由基有一定清除作用,且清除率随着浓度增加而增大(表4),量

效关系回归方程为 $y = 0.104\ 8x - 0.062\ 8$ ($r^2 = 0.992\ 5$),对羟基自由基的 IC_{50} 值为5.36 mg/mL。在0.5~2.5 mg/mL处理浓度范围内,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对羟基自由基的清除作用都远低于阳性对照芸香苷。

表4 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对羟基自由基的清除率

试验材料	羟基自由基清除率(%)				
	0.5 mg/mL	1.0 mg/mL	1.5 mg/mL	2.0 mg/mL	2.5 mg/mL
样品	4.9 ± 0.4 **	12.5 ± 0.2 **	23.8 ± 0.3 **	34.0 ± 1.1 **	47.9 ± 0.4 **
芸香苷	16.3 ± 0.4	35.2 ± 0.1	56.2 ± 0.3	64.7 ± 0.3	71.4 ± 0.3

注: *、** 分别表示差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

2.6 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物中多酚含量的测定

以10~50 μg/mL 没食子酸为标准品绘制标准曲线(图2),以多酚含量对吸光值(D)进行直线回归,得回归方程为:吸光度(D) = 0.014 4 × 没食子酸含量(μg/mL) + 0.007 8 ($r^2 = 0.993\ 1$)。

根据回归曲线可求得1 mL待测样品中多酚类物质的含

量,进一步计算出1 g 青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物中多酚类物质含量为(116.11 ± 0.291) mg/(以没食子酸计,mg/g,DW)。

青檀内生球毛壳 No. 81 菌株发酵液提取物的还原能力与其多酚含量有良好的相关性($r^2 = 0.985\ 6$),由此可以推断多酚类物质为其主要的抗氧化活性成分(图3)。

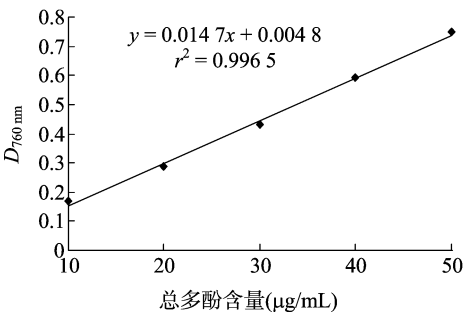


图2 总多酚含量标准曲线

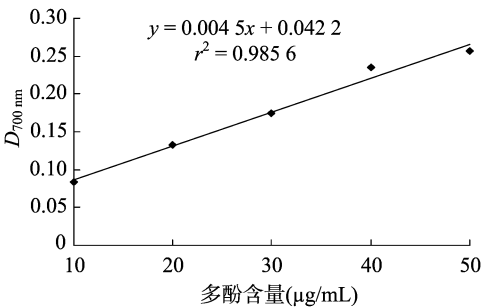


图3 青檀内生球毛壳菌株No.81发酵液提取物多酚含量与还原能力的相关性

3 结论与讨论

测定抗氧化活性的方法有多种^[16-17],但是由于抗氧化活性物质的多样性和复杂性,尚未形成一种标准的抗氧化反应检测方法。根据前期试验,本试验在研究总抗氧化活性上选择了测定处理猪油过氧化值的碘量法,在该反应体系中,过氧化值低则表明抗氧化活性高。从本研究的结果来看,至抗氧化反应结束的第 10 天,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物各浓度处理组的 POV 都显著低于空白对照,0.02%、0.04%、0.06% 浓度处理的样品 POV 还显著地低于 0.02% 芸香苷,说明青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物存在持久有效的抗氧化活性。从各处理的进程来看,青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物的抗氧化效果并不是随时间而稳定递增的,图 2 表明,测定开始的 2 d 内,添加青檀内生球毛壳菌株 No. 81 不同浓度发酵液提取物的各处理组和 0.02% 芸香苷的 POV 高于空白对照,说明油脂自发氧化的自由基连锁反应已经很快开始,而抗氧化的作用却还没能及时表现。从第 3 天起,加入抗氧化活性物质处理组的 POV 上升缓慢,暗示其中可能含有供氢能力较强的物质,能有效抑制油脂自发氧化的自由基连锁反应。

青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物具有较强的总抗氧化活力,与阳性对照芸香苷相当,但对 3 种自由基的清除率却存在差异,对 DPPH 自由基的清除率高于同浓度的芸香苷,对超氧阴离子自由基的清除率略低于同浓度的芸香苷,而对羟基自由基的清除率却极显著地低于同浓度的芸香苷。由此可以认为青檀内生球毛壳菌株 No. 81 发酵液提取物对有机自由基的清除作用强于对超氧阴离子自由基和羟基自由基的清除作用,并且对超氧阴离子自由基的清除作用优于对羟基自由基的清除作用。

球毛壳菌是一种分布普遍的子囊菌,具有产纤维素酶、分解纤维素的能力,球毛壳菌还在植物病害生物防治的研究和应用上占有较重要的地位^[18-19]。张玲琪等在美登木(*Maytenus hookeri*)中获得了产抗癌物质球毛壳甲素的内生球毛壳^[20]。倪志伟等从云南美登木中获得了具有拮抗橙色青霉菌(*Penicillium avellaneum*)和结核分枝杆菌(*Mycobacterium tuberculosis*)的球毛壳菌,并鉴定了其活性产物为 chaetoglobosin A 和 B,表明这种真菌具有潜在的药用价值^[21]。谢辉等发现从杜仲(*Eucommia ulmoides*)叶片中分离得到的 1 株球毛壳内生真菌的发酵液提取物具有较高的抗氧化活性并进行了研究^[9]。本研究则从青檀叶片中获得了另外 1 株具有较高抗氧化活性的球毛壳,因此球毛壳中可能蕴含着较多的具有抗氧化活性的资源,具有开发抗氧化活性产物的潜力。

参考文献:

- [1] Maria A P, Elena P, Gerardo A de C, et al. Dietary antioxidants: immunity and host defense[J]. Current Topics in Medicinal Chemistry, 2011, 11(14): 1752-1766.
- [2] 郑裕国, 王远山, 薛亚平. 抗氧化剂的生产及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

- [3] Erdogan - Orhan I, Sever - Yilmaz B, Altun M L, et al. Radical quenching activity, ferric - reducing antioxidant power, and ferrous ion - chelating capacity of 16 *Ballota* species and their total phenol and flavonoid contents[J]. Journal of Medicinal Food, 2010, 13(6): 1537-1543.
- [4] 张桂芝, 耿莎, 杨海燕, 等. 植物抗氧化成分的研究进展[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 551-553.
- [5] Brewer M S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(4): 221-247.
- [6] 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.
- [7] Schulz B, Boyle C, Draeger S, et al. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites[J]. Mycological Research, 2002, 106(9): 996-1004.
- [8] Huang W Y, Cai Y Z, Xing J, et al. A potential antioxidant resource: endophytic fungi from medicinal plants[J]. Economic Botany, 2007, 61(1): 14-30.
- [9] 谢辉, 陈双林. 杜仲内生球毛壳菌的抗氧化活性研究[J]. 菌物学报, 2009, 28(4): 591-596.
- [10] 孟洁, 杭瑚. 诃子抗氧化作用的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(2): 9-12.
- [11] 柴新义, 陈双林. 青檀内生真菌菌群多样性的研究[J]. 菌物学报, 2011, 30(1): 18-26.
- [12] Ozen T, Demirtas I, Aksit H. Determination of antioxidant activities of various extracts and essential oil compositions of *Thymus praecox* subsp. *skorpilii* var. *skorpilii*[J]. Food Chemistry, 2011, 124(1): 58-64.
- [13] 赵艳红, 李建科, 李国秀. 天然抗氧化物体外活性评价方法的优选与优化[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 64-69.
- [14] Hatano T, Kagawa H, Yasuhara T, et al. Two new flavonoids and other constituents in licorice root: their relative astringency and radical scavenging effects[J]. Chem Pharm Bull, 1988, 36(6): 2090-2097.
- [15] Minussi R C, Rossi M, Bologna L, et al. Phenolic compounds and total antioxidant potential of commercial wines[J]. Food Chemistry, 2003, 82(3): 409-416.
- [16] 王会, 郭立, 谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(一)[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(3): 92-98.
- [17] 王会, 郭立, 谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(二)[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4): 98-102.
- [18] Soyong K, Kanokmedhakul S, Kukongviriyapa V, et al. Application of *Chaetomium* species (*Ketomium*®) as a new broad spectrum biological fungicide for plant disease control: a review article[J]. Fungal Diversity, 2001, 7: 1-15.
- [19] 迟玉杰, 杨谦. 毛壳菌对植物病害的生物防治及存在的问题[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(3): 215-218.
- [20] 张玲琪, 王海昆, 邵华, 等. 美登木内生真菌产抗癌物质球毛壳甲素的分离及鉴定[J]. 中国药理学杂志, 2002, 37(3): 172-175.
- [21] 倪志伟, 李国红, 赵沛基, 等. 云南美登木内生真菌 *Chaetomium globosum* Ly50⁺ 菌株的抗菌活性成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20(1): 33-36.