

45 种食用菌液体发酵产物的抗氧化活性

王宏雨^{1,2}, 谢宝贵^{2,3}, 邓优锦^{2,3}, 朱 坚^{2,4}, 赵 晨¹, 危国强^{1,2}, 江玉姬^{1,2}

(1. 福建农林大学食品科学学院; 2. 福建农林大学菌物研究中心; 3. 福建农林大学
生命科学学院; 4. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002)

摘要: 对 45 种食用菌发酵液、菌丝水提液和醇提液的还原力、清除羟自由基($\cdot\text{OH}$)和超氧阴离子自由基(O_2^-)的能力进行测定. 结果表明: 大部分菌种的发酵产物均具有一定的还原力及清除 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的能力; 菌丝醇提液的抗氧化活性比菌丝水提液强. 利用模糊综合评价法比较 45 种食用菌发酵液、菌丝醇提液和水提液的抗氧化活性. 结果表明, 桦褐孔菌发酵液、赤芝菌丝醇提液、榆耳菌丝水提液的抗氧化活性最高, 可以作为潜在的抗氧化剂或保健品开发利用.

关键词: 食用菌; 液体发酵; 抗氧化活性; 模糊评价

中图分类号: S646

文献标识码: A

文章编号: 1671-5470(2010)01-0084-06

Antioxidant activity evaluation on liquid fermentation product of forty-five edible fungi

WANG Hong-yu^{1,2}, XIE Bao-gui^{2,3}, DENG You-jin^{2,3}, ZHU Jian^{2,4},

ZHAO Chen¹, WEI Guo-qiang^{1,2}, JIANG Yu-ji^{1,2}

(1. College of Food Science; 2. Mycological Research Center; 3. College of Life Science; 4. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Antioxidant activity of 45 species mushrooms liquid fermented products was evaluated by three methods, including reducing power measure, the measure of capacities of scavenging for O_2^- and $\cdot\text{OH}$. The results showed most of 45 species mushrooms liquid fermenting products had antioxidant properties *in vitro*. In addition, a fuzzy appraisal mathematical model has been established to evaluate their composite antioxidant capacity. It has been found that the fermented filtrate of the methanol extract of *Ganoderma lucidum* hypha and the water extract of *Gloeostereum incarnatum* hypha had the highest antioxidant activity respectively, and should be explored as a novel potential antioxidant agent or healthful food.

Key words: edible fungi; liquid fermentation; antioxidant capacity; fuzzy evaluation

食用菌是一种重要的生物资源,其种源十分丰富,我国是世界上食用菌资源最为丰富的国家. 研究表明^[1-4],食用菌含有多活性成分,具有提高人体免疫力、抗肿瘤、增强肝功能、抗氧化等多种功效. 利用食用菌液体发酵可以在短时间内获得大量菌丝体及其发酵产物,由于这一过程周期短、产量高、成本较低,因此在食用菌生产中具有广阔的应用前景. 本试验对 45 种食用菌的发酵液和菌丝体的抗氧化活性进行研究,旨在为开发食用菌保健食品和药品提供理论依据. 目前国内外对食用菌子实体,尤其是子实体多糖的抗氧化活性^[5-8]研究较深入,而对其发酵产物的抗氧化活性研究较少. 此外,国内外研究多种食用菌抗氧化活性时,进行了多种体外抗氧化方法的评价,但多数以 IC_{50} 做为评价指标^[9-10],不能对多种样本进行综合横向比较,本文采用模糊综合评价方法以克服其不足.

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 45 种食用菌菌株(表 1)由福建农林大学菌物研究中心保藏.

1.1.2 试剂 无水乙醇、硫酸亚铁、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、铁氰化钾、三氯乙酸、氯化铁、邻苯三酚、水杨酸、30% 双氧水均为国产分析纯;浓盐酸为国产优级纯;Tris 碱购自 BIO BASIC INC.

收稿日期:2009-08-27 修回日期:2009-09-21

基金项目:福建省星火计划重点项目(2006S0001).

作者简介:王宏雨(1984-),女,硕士研究生. 研究方向:食品生物技术. 通讯作者江玉姬(1965-),女,教授. 研究方向:微生物学. Email: jyj1209@163.com.

表1 供试菌株

Table 1 Test strains

编号	菌种	拉丁名	编号	菌种	拉丁名
1	双孢蘑菇	<i>Agaricus bisporus</i>	24	黄伞	<i>Pholiota adiposa</i>
2	姬松茸	<i>Agaricus blazei</i>	25	滑菇	<i>Pholiota nameko</i>
3	茶树菇	<i>Agrocybe cylindracea</i>	26	鲍鱼菇	<i>Pleurotus abalonus</i>
4	樟芝	<i>Antrodia cinamomea</i>	27	金顶侧耳	<i>Pleurotus cicerinopileatus</i>
5	密环菌	<i>Armillaria mellea</i>	28	小平菇	<i>Pleurotus cornucopiae</i>
6	黑木耳	<i>Auricularia auricula</i>	29	高温平菇	<i>Pleurotus cystidiosus</i>
7	毛木耳	<i>Auricularia polytricha</i>	30	红平菇	<i>Pleurotus diamor</i>
8	大杯蕈	<i>Clitocybe maxima</i>	31	杏鲍菇	<i>Pleurotus eryngi</i>
9	鸡腿蘑	<i>Coprinus comatus</i>	32	阿魏蘑	<i>Pleurotus ferulae</i>
10	虫草菌	<i>Cordyceps sinensis</i>	33	秀珍菇	<i>Pleurotus geesteranus</i>
11	云芝	<i>Coriolus versicolor</i>	34	白灵菇	<i>Pleurotus nebrodensis</i>
12	金针菇	<i>Flammulina velutipes</i>	35	平菇	<i>Pleurotus ostreatus</i>
13	赤芝	<i>Ganoderma lucidum</i>	36	贝形侧耳	<i>Pleurotus porrigens</i>
14	榆耳	<i>Gloeostereum incarnatum</i>	37	凤尾菇	<i>Pleurotus pulmonarius</i>
15	灰树花	<i>Grifola frondosa</i>	38	长柄侧耳	<i>Pleurotus spodoleucus</i>
16	猪苓	<i>Grifola umbellata</i>	39	虎奶菇	<i>Pleurotus tuber-regium</i>
17	猴头	<i>Hericium erinaceus</i>	40	绣球菌	<i>Sparassis crispa</i>
18	真姬菇	<i>Hypsizygus marmoreus</i>	41	大球盖菇	<i>Stropharia rugosoannulata</i>
19	桦褐孔菌	<i>Inonotus obliquus</i>	42	金耳	<i>Tremella aurantialba</i>
20	香菇	<i>Lentinus edodes</i>	43	金福菇	<i>Tricholoma giganteum</i>
21	高大环柄菇	<i>Macrolepiota procera</i>	44	草菇	<i>Volvariella volvacea</i>
22	长根菇	<i>Oudemansiella radicata</i>	45	茯苓	<i>Wolfiporia cocos</i>
23	桑黄	<i>Phellinus linteus</i>			

1.1.3 设备 主要设备有 UV1700 型扫描分光光度计 (SHIMADZU)、GL-20B 型冷冻离心机 (上海菲恰尔分析仪器有限公司)、HH-6 型数显恒温水浴锅 (国华电器有限公司)、AL204 型电子天平 [梅特勒—托利多仪器 (上海) 有限公司]、DZF-6050 型真空干燥箱 (上海一恒科技有限公司)、PH211 型 pH 计 (HANNA Instruments)、Spring-R20 型中级纯水系统 (厦门锐思捷科学仪器有限公司)、QYC-2112B 型全温培养摇床 (上海新苗医疗器械制造有限公司)、Spx-250B-Z 型生化培养箱 (上海博讯实业有限公司医疗设备厂)、YX-450 型电热蒸汽压力消毒器 (上海三申医疗器械有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 培养基的配制 PDA 固体培养基含 200 g 马铃薯、20 g 葡萄糖、20 g 琼脂、1000 mL 水; PDA 液体培养基含 200 g 马铃薯、20 g 葡萄糖、1000 mL 水。

1.2.2 发酵液和菌丝提取液的制备 菌种转接到斜面试管中, 置于 28 °C 恒温培养箱培养 5~7 d, 待长满管后接 5 块 (0.5 cm × 0.5 cm) 到含有 100 mL 培养基的 250 mL 三角瓶中, 置于 25 °C 恒温摇床中, 于 110 r · min⁻¹ 振荡培养, 待发酵液澄清后取出, 用滤布 (100 目) 过滤分别得到发酵液和菌丝体, 备用。

菌丝用滤纸吸干水分并于 60 °C 烘干至恒重, 液氮研磨后, 取 1.5 g 分别用蒸馏水和无水乙醇浸提。提取条件: 料液比为 1:30、提取温度 80 °C, 提取时间 2 h, 最后定容至 50 mL 备用。

1.2.3 还原力的测定 取 0.2 mol · L⁻¹ 磷酸缓冲液 (pH 6.8) 和 1% K₃Fe(CN)₆ 各 2.5 mL, 加入 2 mL 待测液, 摇匀后于 50 °C 水浴 30 min, 加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸, 于 4000 r · min⁻¹ 离心 10 min, 取上清液 2.5 mL, 与 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.1% FeCl₃ 混合。以磷酸缓冲液作参比, 于 700 nm 处测定光密度 (D)^[11]。

还原力 = $D_x - D_{x_0} - D_0$ 。式中: D_0 —空白对照液的 D, D_x —加入提取液后的 D, D_{x_0} —提取液的本底 D。

1.2.4 羟自由基 (·OH) 清除率的测定 依次加入 9 mmol · L⁻¹ FeSO₄、9 mmol · L⁻¹ 水杨酸—乙醇、9 mmol · L⁻¹ H₂O₂ 各 1 mL, 于 37 °C 反应 30 min。以蒸馏水做为参比, 于 510 nm 处测定 D^[12]。

清除率/% = $[1 - (D_x - D_0)/D_0] \times 100$ 。式中: D_0 —空白对照液的 D, D_x —加入提取液后的 D, D_{x_0} —不加显色剂 H₂O₂ 的本底 D。

1.2.5 超氧阴离子自由基 (O₂⁻) 清除率的测定 取 4.5 mL 0.1 mol · L⁻¹ Tris-HCl (pH 8.2)、1 mL 提取液,

于 25 ℃ 水浴 20 min, 加入 50 μL 10 mmol · L⁻¹ 邻苯三酚后迅速在 325 nm 处测定 D , 每隔 30 s 纪录一次 D , 共测 4 min^[13].

清除率/% = $(\Delta D_0 - \Delta D_x) / \Delta D_0 \times 100$. 式中: ΔD_0 —空白对照液的 D 在 4 min 的变化量, ΔD_x —加入提取液后的 D 在 4 min 的变化量.

1.2.6 数据分析 数据采用 Microsoft Excel 2000 和 SPSS 16.0 统计软件处理; 0.05 水平下检验各处理平均值之间的差异显著性.

2 结果与分析

2.1 还原力

45 种食用菌发酵液、菌丝提取液还原力的测定结果见图 1、2. 由图 1 可知, 除一部分菌种(共 8 种)发酵液的还原力近似为 0 外, 多数菌种发酵液均具有一定的还原力. 长根菇发酵液的还原力最高, 为 1.4128, 其次为桦褐孔菌发酵液(0.9870), 说明菌种发酵后, 发酵液中的胞外产物也具有一定的抗氧化活性. 还原力较高的 5 个菌种发酵液为: 长根菇(1.4128) > 桦褐孔菌(0.9870) > 桑黄(0.3874) > 绣球菌(0.3644) > 灰树花(0.2709), 长根菇与其余 4 个菌种间的差异极显著($P < 0.01$), 桑黄、绣球菌与灰树花间的差异不显著($P > 0.05$). 由图 2 可知, 除姬松茸菌丝提取液的还原力为负值之外, 其余菌种菌丝的醇提液和水提液均具有不同程度的还原力, 并且大部分菌种醇提液的还原力要比水提液强, 但相差不明显, 说明菌丝中的还原性物质多易溶于乙醇, 是脂溶性的. 赤芝菌丝水提液和醇提液的还原力最强, 且醇提液的还原力明显强于水提液, 其还原力约为水提液的 1.8 倍. 菌丝醇提液还原力较强的 5 个菌种为: 赤芝(1.5513) > 双孢蘑菇(0.6222) > 金耳(0.5112) > 榆耳(0.4900) > 高大环柄菇(0.4531), 赤芝与其余 4 个菌种间的差异极显著($P < 0.01$), 其余 4 个菌种间的差异不显著($P > 0.05$). 菌丝水提液还原力较强的 5 个菌种为: 赤芝(0.8569) > 猴头(0.4916) > 桑黄(0.4200) > 密环菌(0.3562) > 灰树花(0.3487), 5 个菌种间的差异极显著($P < 0.01$).

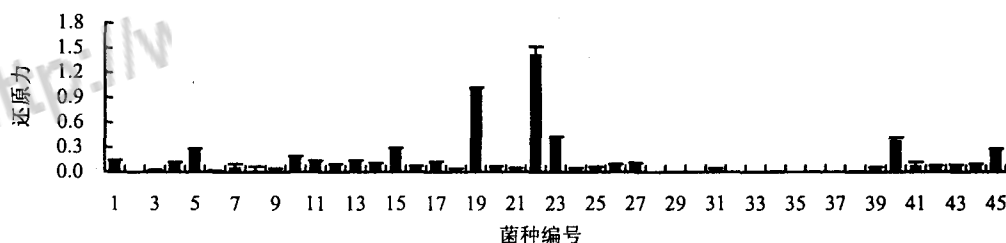


图 1 发酵液的还原力

Fig. 1 Reducing capacity of fermented filtrates

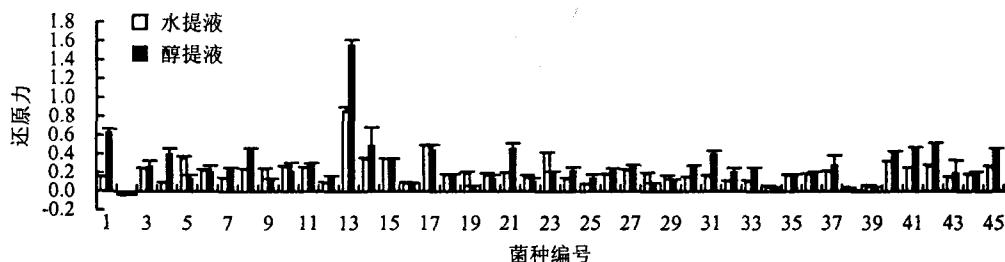


图 2 菌丝提取液的还原力

Fig. 2 Reducing capacity of mycelial water and ethanol extracts

2.2 清除 ·OH 的能力

45 种食用菌发酵液、菌丝提取液对 ·OH 清除率的测定结果见图 3、4. 由图 3 可知, 所有菌种的发酵液均具有较强的清除 ·OH 的能力, 茯苓发酵液清除 ·OH 的能力最强, 达到 98.64%. ·OH 清除率较高的 5 个菌种发酵液为: 茯苓(98.64%) > 桦褐孔菌(94.97%) > 大球盖菇(87.12%) > 长根菇(86.06%) > 草菇(78.10%), 茯苓与其余 4 个菌种间的差异极显著($P < 0.01$), 大球盖菇与长根菇间的差异不显著($P >$

0.05),长根菇与草菇间的差异极显著($P < 0.01$).

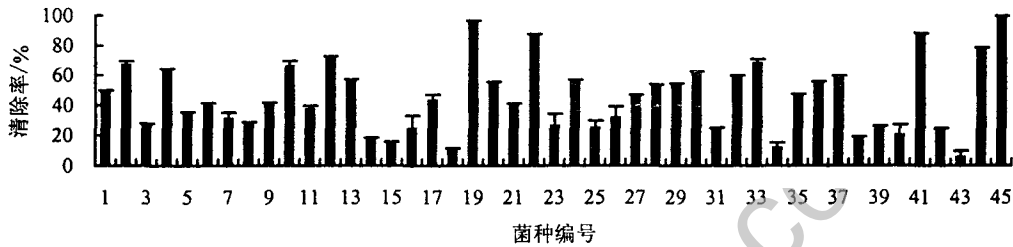


图3 发酵液对·OH的清除率

Fig. 3 Scavenging rate of ·OH by fermented filtrates

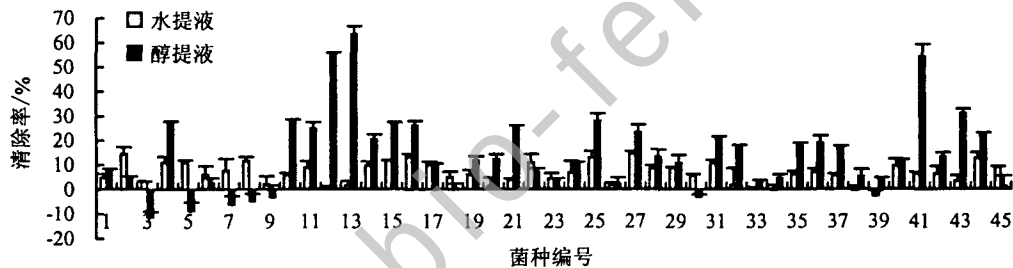


图4 菌丝提取液对·OH的清除率

Fig. 4 Scavenging rate of ·OH by mycelial water and ethanol extracts

由图4可知,除少数菌种菌丝提取液对·OH的清除率呈负值外,其余菌丝提取液均具有不同程度清除·OH的能力.一些菌丝提取液对·OH的清除率呈负值,可能是由于提取液在本试验剂量和条件下,可与·OH结合的物质少.从图4还可以看出,大部分菌种菌丝醇提取液清除·OH的能力比水提取液要强,如赤芝的菌丝醇提取液对·OH的清除率达到63.16%,而其菌丝水提取液只有1.54%,说明赤芝菌丝中可清除·OH的物质主要存在于乙醇中,是亲脂性的.清除·OH较强的5个菌种菌丝醇提取液为:赤芝(63.16%) > 金针菇(55.02%) > 大球盖菇(54.41%) > 金福菇(31.16%) > 滑菇(27.85%),赤芝、金针菇与大球盖菇间的差异不显著($P > 0.05$),大球盖菇与金福菇间的差异显著($P < 0.05$),金福菇与滑菇间的差异不显著($P > 0.05$).清除·OH较强的5个菌种菌丝水提取液为:姬松茸(14.45%) > 金顶侧耳(14.38%) > 猪苓(13.24%) > 滑菇(12.90%) > 草菇(12.60%),5个菌种间的差异均不显著($P > 0.05$).

2.3 清除 O_2^- 的能力

45种食用菌发酵液对 O_2^- 清除率的测定结果见图5.由图5可知,大部分菌种发酵液对 O_2^- 的清除率为负值,只有13个菌种发酵液对 O_2^- 有清除作用.这可能是由于在本试验的剂量和条件下,多数菌种发酵液中含有的物质不易与 O_2^- 结合,从而有利于有色中间产物的累积.清除 O_2^- 能力较强的5个菌种发酵液为:桦褐孔菌(94.34%) > 金福菇(63.68%) > 长根菇(42.41%) > 赤芝(41.59%) > 黑木耳(37.79%),桦褐孔菌与其余4个菌种间的差异极显著($P < 0.01$),金福菇与其余3个菌种间的差异显著($P < 0.05$),其余3个菌种间的差异不显著($P > 0.05$).

由图6可知,45种食用菌的菌丝提取液均具有一定的清除 O_2^- 的能力,且大多数对 O_2^- 的清除能力均很强.从图6还可以看出,多数菌种菌丝醇提取液清除 O_2^- 的能力要强于菌丝水提取液.说明在本试验条件下,菌丝醇提取液清除 O_2^- 的能力比水提取液要强,这可能是由于菌丝中可清除 O_2^- 的物质易溶于乙醇而不易溶于水.清除 O_2^- 能力较强的5个菌种菌丝醇提取液为:榆耳(90.08%) > 滑菇(88.04%) > 香菇(86.13%) > 赤芝(83.49%) > 小平菇(80.93%),榆耳与其余4个菌种间的差异极显著($P < 0.01$),滑菇与香菇间的差异不显著($P > 0.05$),与其余2个菌种间的差异极显著($P < 0.01$),赤芝与小平菇间的差异极显著($P < 0.01$).清除 O_2^- 能力较强的5个菌种菌丝水提取液为:杏鲍菇(52.28%) > 真姬菇(49.89%) > 高大环柄菇(49.34%) > 榆耳(49.32%) > 阿魏蘑(46.86%),它们之间的差异均不显著($P > 0.05$).

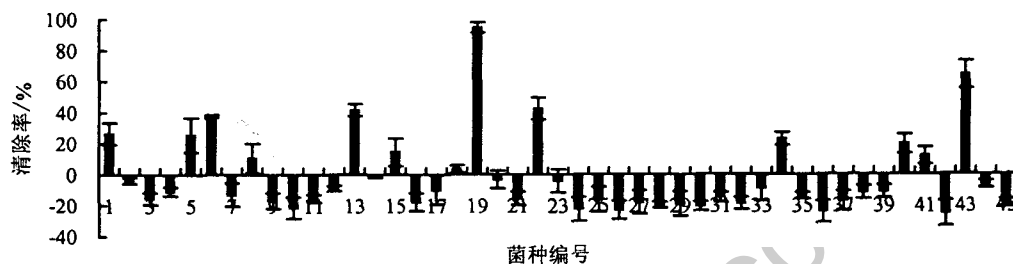


图 5 发酵液对 O_2^- 的清除率

Fig. 5 Scavenging rate of O_2^- by fermented filtrate

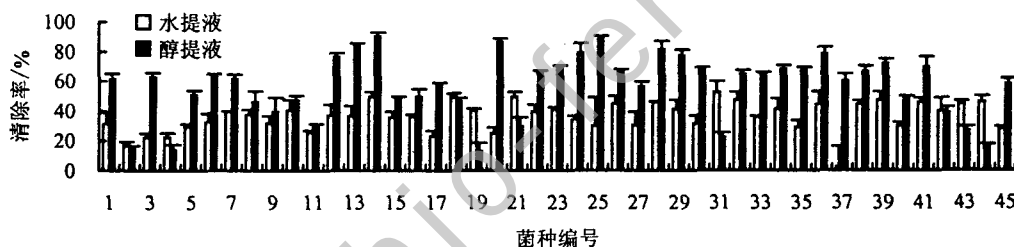


图 6 菌丝提取液对 O_2^- 的清除率

Fig. 6 Scavenging rate of O_2^- by mycelial water and ethanol extract

2.4 对抗氧化活性的综合模糊评价

本试验通过还原力测定、 $\cdot OH$ 和 O_2^- 清除能力的测定 3 种方法对 45 种食用菌发酵产物抗氧化力进行测定,每种方法测得的各个菌种发酵产物抗氧化活性各不相同. 为了对 45 种食用菌抗氧化活性进行系统的综合评价,采用模糊综合评判法对其进行评价. 利用模糊评价理论建立多因素综合评价数学模型^[13].

根据极值标准化公式 $Z_{ij} = (X_{ij} - X_{ij\min}) / (X_{ij\max} - X_{ij\min})$ 将原始性状指标值无量纲化置闭区间 $[0, 1]$ 上,其中, X_{ij} 为第 i 个菌种第 j 个抗氧化方法指标值, $X_{ij\max}$ 、 $X_{ij\min}$ 分别为第 i 个菌种第 j 个抗氧化方法指标的最大值和最小值. 综合评价值 $Z_i = \sum Z_{ij} (i=1, 2, \dots, 45, j=1, 2, 3)$, 利用模糊综合评判法对 45 种食用菌发酵液、菌丝水提液和醇提液抗氧化活性进行综合评价并筛选,测得具有高抗氧化性发酵产物的前 5 个菌种见表 2.

表 2 3 种发酵产物抗氧化活性的综合评价及筛选

Table 2 Comprehensive evaluation and selection of three anti-oxidant fermented products

发酵产物	编号	菌种	还原力	$\cdot OH$ 的清除率/%	O_2^- 的清除率/%	综合评价值	排序
发酵液	19	桦褐孔菌	0.70	96	100	2.66	1
	22	长根菇	1.00	86	57	2.43	2
	45	茯苓	0.19	100	6	1.27	3
	41	大球盖菇	0.05	88	31	1.23	4
	13	赤芝	0.10	54	56	1.19	5
菌丝水提液	14	榆耳	0.43	72	94	2.08	1
	44	草菇	0.24	89	87	2.01	2
	31	杏鲍菇	0.23	43	12	2.00	3
	15	灰树花	0.43	84	66	1.93	4
	13	赤芝	1.00	24	68	1.92	5
菌丝醇提液	13	赤芝	1.00	100	91	2.91	1
	41	大球盖菇	0.31	88	73	1.92	2
	12	金针菇	0.12	89	82	1.83	3
	14	榆耳	0.33	42	100	1.75	4
	25	滑菇	0.11	52	97	1.61	5

由表 2 可知,按照不同发酵产物抗氧化活性测得具有强抗氧化性的菌种不同,可能是因为不同菌种胞内和胞外产生的抗氧化物质的性质和含量不同从而导致菌种发酵液抗氧化活性强的则菌丝提取液的抗氧

化活性就弱;同个菌种,菌丝中含有的物质亲脂性和亲水性不同导致其水提液和醇提液的抗氧化活性产生差异.综合3种抗氧化活性的测定结果,桦褐孔菌发酵液的抗氧化活性最强,其次是长根菇发酵液,其还原力及清除 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的能力均很强,说明这2个菌种的发酵液具有很强的抗氧化活性,即它们的胞外产物具有很强的抗氧化活性.菌丝水提液抗氧化活性最高的为榆耳,且3种测定方法测得的抗氧化活性均很高.菌丝醇提液抗氧化活性最高的为赤芝,且3种测定方法测得的抗氧化活性很高,均在90%以上.综合来看,赤芝的发酵液、菌丝提取液均具有较高的抗氧化活性,说明赤芝的胞外产物和胞内产物均具有较高的抗氧化活性.

3 小结

(1)本试验中,45种食用菌发酵产物的还原力及清除 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的能力各不相同,这可能是因为不同物质结合不同自由基的能力不同,表明食用菌含有多种抗氧化物质,但具体起抗氧化作用的物质还需进一步分离鉴定.

(2)45种食用菌的发酵产物中,多数菌种的发酵液、菌丝水提液和醇提液均具有一定的抗氧化活性,且对 $\cdot\text{OH}$ 的清除效果均很好.利用模糊综合评价法测得抗氧化活性最高的是桦褐孔菌发酵液,它的还原力及清除 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的能力均很强,对 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的清除率均在94%以上.菌丝醇提液抗氧化活性最高的是赤芝,菌丝水提液抗氧化活性最高的是榆耳.赤芝的发酵液、菌丝水提液和醇提液均具有较高的抗氧化活性.

(3)模糊综合评价法可以对多个样品的多个指标进行综合评价,利用数字进行比较更直观、具体、可靠.本文对3种发酵产物的还原力及清除 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的能力进行全面的综合评价,为筛选具有高抗氧化活性的菌种提供依据.

(4)45种食用菌菌丝醇提液和水提液抗氧化活性的测定结果表明,无论是还原力,还是对 $\cdot\text{OH}$ 和 O_2^- 的清除率,菌丝醇提液的抗氧化活性均不同程度比水提液强,即乙醇提取液中存在较多的抗氧化物质,根据“相似相溶”的原则推测,菌丝中的抗氧化物质多是亲脂性的.

(5)从食用菌中筛选出抗氧化性强的菌种,可为大型食、药用真菌的综合开发利用提供理论依据.

参考文献

- [1] 盛伟,方晓阳,吴萍.白灵菇、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):103-105.
- [2] CHEUNG L M, CHEUNG P C K. Mushroom extracts with antioxidant activity against peroxidation [J]. Food Chemistry, 2005, 89:403-409.
- [3] 吕作舟.食用菌栽培学[M].北京:高等教育出版社,2006:109-332.
- [4] 梁华,陆芽春,李雪林.几种食用菌清除氧自由基的研究[J].食品科技,2005(7):94-97.
- [5] 林桂兰,许学书,连文思.食用菇多糖提取物体外抗氧化性能研究[J].华东理工大学学报:自然科学版,2006,32(3):278-281.
- [6] 李海平,张树海,张坤生.滑菇多糖抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2008,29(4):56-60.
- [7] 张翠霞,陈丽媛,冯华.食用菌多糖研究开发现状与展望[J].微生物学杂志,2007,27(6):104-106.
- [8] 王专,张兰威,易华西,等.几种真菌多糖的提取及生物活性[J].中国甜菜糖业,2006(2):41-42.
- [9] 郑德勇,安鑫南.竹叶提取物清除DPPH自由基的测定方法[J].福建农林大学学报:自然科学版,2005,34(1):59-62.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 秦德安,苏丹,王晓玲.橙皮苷对羟自由基的清除作用[J].中国药理学杂志,1996,31(7):397-398.
- [13] 王水琦,杨坤正,郭陈福,等.三种分析法在甘蔗品种综合评价中的应用[J].甘蔗,1996,3(4):22-24.

(责任编辑:施晓棠)