

# 珊瑚菌子实体和菌丝体营养成分与 抗氧化活性的比较

圣志存, 吴双, 王安平, 王米雪, 朱善元

(江苏农牧科技职业学院, 江苏省兽用生物制药高技术研究重点实验室, 江苏泰州 225300)

**摘要:** 采用国标及常规分析方法对珊瑚菌子实体和菌丝体中营养成分和活性物质多糖、多酚含量及其抗氧化活性进行分析, 结果表明: 珊瑚菌子实体与菌丝体碳水化合物含量分别为  $38.74 \pm 1.27\%$  和  $63.55 \pm 3.17\%$ ; 脂肪含量分别为  $2.52 \pm 0.14\%$  和  $3.21 \pm 0.19\%$ ; 蛋白含量分别为  $11.02 \pm 1.21\%$  和  $22.30 \pm 1.18\%$ ; 灰分含量分别为  $5.77 \pm 0.14\%$  和  $5.98 \pm 0.11\%$ 。子实体矿质元素含量普遍高于其菌丝体, Mg 元素除外; 必需氨基酸, 菌丝体含量 ( $7.08 \pm 0.15$ ) g/100 g 高于其子实体 ( $2.55 \pm 0.24$ ) g/100 g。子实体多糖含量 ( $23.22 \pm 1.60$ ) mg/g 低于其菌丝体 ( $35.51 \pm 1.78$ ) mg/g, 多酚含量 ( $6.85 \pm 0.41$ ) mg/g 高于其菌丝体 ( $3.66 \pm 0.29$ ) mg/g。比较珊瑚菌多糖、多酚体外抗氧化活性强弱依次为子实体多酚>菌丝体多酚>菌丝体多糖>子实体多糖。研究表明对于珊瑚菌菌丝体多糖, 有望代替子实体应用于食药产品, 而菌丝体多酚仍有待进一步开发利用。

**关键词:** 珊瑚菌; 营养成分; 多糖; 多酚; 抗氧化

文章编号: 1673-9078(2018)05-62-67

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.05.009

## Comparision of Nutrient Components and Antioxidant Activities of Fruit Body and Mycelium from *Ramaria botrytoides*

SHENG Zhi-cun, WU Shuang, WANG An-ping, WANG Mi-xue, ZHU Shan-yuan

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Veterinary Bio-pharmaceutical High-tech Research, Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China)

**Abstract:** The content of nutrient components of fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides* were investigated in this study by national standards and common methods, and the content of active substances (polysaccharides and polyphenols) and their antioxidant activities were also evaluated. The results showed that the carbohydrate content of fruit body and mycelium was  $38.74 \pm 1.27\%$  and  $63.55 \pm 3.17\%$ , the fat content was  $2.52 \pm 0.14\%$  and  $3.21 \pm 0.19\%$ , the protein content were  $11.02 \pm 1.21\%$  and  $22.30 \pm 1.18\%$ , and the ash content was  $5.77 \pm 0.14\%$  and  $5.98 \pm 0.11\%$ , respectively. Except Mg, the content of mineral elements in fruit body was generally higher than that in mycelium, and the content of essential amino acids in mycelium ( $7.08 \pm 0.15$ )g/100 g) was higher than that in fruit body( $2.55 \pm 0.24$ ) g/100g). In addition, the content of polysaccharides in mycelium ( $35.51 \pm 1.78$ ) mg/g) was higher than that in fruit body ( $23.22 \pm 1.60$ ) mg/g) while the content of polyphenols in fruit body ( $6.85 \pm 0.41$ ) mg/g) was higher than that in mycelium ( $3.66 \pm 0.29$ ) mg/g). The antioxidant activities of polysaccharides and polyphenols from fruit body and mycelium were in the following order: polyphenols from fruit body> polyphenols from mycelium> polysaccharides from mycelium> polysaccharides from fruit body. The results indicated that the polysaccharides from fruit body were expected to be replaced by the polysaccharides from mycelium in medicine and food, and the polyphenols from mycelium would still need further development and utilization.

**Key words:** *Ramaria botrytoides*; nutrient components; polysaccharides; polyphenols; antioxidant

珊瑚菌(*Ramaria botrytoides*), 因外表形似珊瑚而

收稿日期: 2018-01-10

基金项目: 江苏省农业自主创新资金项目 (CX(16)1055); 江苏农牧科技职业学院科研项目 (NSFPT201711); 横向课题 (11710117027)

作者简介: 圣志存 (1988-), 男, 硕士, 助教, 研究方向: 天然产物研究与开发

通讯作者: 朱善元 (1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 兽用生物制药

名, 又名扫帚菌、扫把菌、老鼠脚, 隶属于担子菌纲 (*Basidiomycetes*) 多孔菌目 (*Polyporales*) 珊瑚菌科 (*Clavariaceae*), 生于腐木上, 分布于我国西南、华北和东北等地区, 是我国野生食菌资源不可忽视的重要组成部分<sup>[1,2]</sup>。《滇南本草》记载珊瑚菌味甘, 性平, 无毒, 主治和胃气、祛风、缓中等。现代医药研究表明, 珊瑚菌含有丰富的多糖、矿质元素、氨基酸等对人体有

益的生物活性物质,具有补钙、强劲壮骨、促进肌体健康,提高肌体免疫力等作用<sup>[3,4]</sup>,常被人们煎煮药用治疗胃痛、宿食不化和风痛等症。

目前,珊瑚菌因其营养保健价值,对应的研究受广泛关注。李华等<sup>[5]</sup>对珊瑚菌子实体总菇的提取工艺进行了深入研究;常正尧<sup>[6]</sup>等对珊瑚菌抗肿瘤研究发现,其水煎剂对体外培养的乳腺癌细胞株有明显的抑制作用;而有关珊瑚菌液体培养,目前仅局限于其培养工艺和提取物的生物活性<sup>[7,8]</sup>,鲜见有关珊瑚菌子实体和液体培养菌丝体营养成分的全面研究报道。多糖,多羟基醛和多羟基酮通过糖苷键连接的高分子聚合物,是构成生命四大基本物质之一,具有调节免疫、抗氧化等诸多有益生物活性。多酚,作为植物的次级代谢产物,具有很强的自由基清除能力,且可以通过络合过渡金属离子和抑制氧化酶等起到抗氧化作用<sup>[9]</sup>。本文以珊瑚菌子实体和液体培养菌丝体为原料,比较分析了两种不同来源珊瑚菌的营养成分与活性物质多糖、多酚的含量及体外抗氧化活性,以期对珊瑚菌食药价值的开发提供理论参考依据;此外,珊瑚菌液体培养研究将有助于解决其子实体生长周期长和自然资源稀少等问题。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

珊瑚菌菌种由总后军需装备研究所郝利民教授鉴定馈赠,保藏于江苏省兽用生物制药高技术重点实验室天然药物研究室;珊瑚菌子实体,购自于云南省楚雄州姚安县。

重蒸酚,福林酚试剂(分析纯),北京索莱宝科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH),美国Sigma公司;没食子酸(分析纯),天津科密欧化学试剂有限公司;抗坏血酸(Vc)(分析纯),天津市科威有限公司;蛋白胨(BR),北京奥博星生物技术有限责任公司;铁氰化钾(化学纯),硫酸、浓硝酸、高氯酸、盐酸、氯化铁均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

T-500B高速多功能粉碎机,永康市哈瑞工贸有限公司;RE-5203旋转蒸发器,上海亚荣仪器厂;BS-100A自动部分收集器,普阳科学仪器研究所;SCIENTZ-18N真空冷冻干燥机,宁波新芝生物科技股份有限公司;AA-6800原子吸收分光光度计,日本Shimadzu公司;L-8800氨基酸自动分析仪,日本

Hitachi公司;722型分光光度计,上海精密科学仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备与处理

珊瑚菌菌丝体液体培养参照之前文献报道<sup>[7]</sup>,培养结束,过滤得菌丝体。蒸馏水洗涤3遍,60℃烘干至恒重,机械粉碎,过60目标准筛,-20℃保藏待用。珊瑚菌子实体处理参考菌丝体,流水外表面冲洗干净,烘干,粉碎过筛,过筛后烘干至恒重,待用。

#### 1.3.2 一般营养成分分析

粗蛋白含量测定参照GB 5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》<sup>[10]</sup>,凯氏定氮法测定总氮,粗蛋白质含量=总氮含量×6.25;粗脂肪含量测定参照GB/T 5009.6-2003《食品中脂肪的测定》<sup>[11]</sup>;碳水化合物含量测定参照GB/Z 21922-2008《食品营养成分基本术语》<sup>[12]</sup>;灰分参照GB 5009.4-2010《食品中灰分的测定》<sup>[13]</sup>;能量(kJ/100g干物质)=碳水化合物×16.7+脂肪×37.7+蛋白×16.7<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.3 矿质元素分析

精确称取样品1.00g置于凯氏瓶中,分别加入10.0mL浓硝酸和2.0mL高氯酸消解12h后,加热消煮,待反应结束后,继续煮沸至溶液变为无色透明,停止煮沸,冷却至室温,蒸馏水定容至50mL,原子吸收分光光度计测定样品元素含量。

#### 1.3.4 氨基酸组成分析及评分

参照GB/T 5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》<sup>[15]</sup>。精确称取0.25g样品放入特制玻璃水解管中,加入6mol/L HCl 10mL,抽真空,真空度达到要求后维持10min,封口,110℃水解24h,冷却。滤纸过滤,取1mL滤液60℃水浴旋转蒸干。蒸干后样品,加入5mL的0.02mol/L HCl,放置30min后进行测定。

氨基酸评分(AAS)根据世界卫生组织和联合国粮农组织(WHO/FAO)建议的标准模式进行评价:

$$AAS = \frac{\text{待测样品蛋白质每g中氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸含量}} \times 100$$

#### 1.3.5 多糖提取与含量测定

珊瑚菌多糖提取采用水提醇沉法,提取工艺参照文献<sup>[16]</sup>:料液比1:30(m/V)、提取温度90℃、提取时间60min。提取结束抽滤,真空减压浓缩,4倍体积的95%乙醇4℃醇沉过夜,离心收集沉淀,沉淀蒸馏水复溶后进行离子交换柱层析。吸光度490nm苯酚硫酸法检测多糖,收集各部分多糖,浓缩,冷冻干燥得多糖样品。多糖含量测定苯酚硫酸法<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.6 多酚提取与含量测定

多酚提取采用乙醇回流法,提取工艺为:乙醇体积分数 50%、料液比 1:30 (m/V)、提取温度 50 °C、提取时间 20 min。以没食子酸为标准品,采用 Folin-Ciocalteu 比色法<sup>[18]</sup>测定多酚的含量。

### 1.3.7 抗氧化活性测定

#### 1.3.7.1 DPPH 自由基清除能力测定

参考 Shimada 等<sup>[19]</sup>方法并改进。不同浓度样品 (0.1~1 mg/mL) 0.5 mL 与 1.5 mL 的 0.15 mmol/L DPPH 甲醇溶液混合,摇匀,避光 37 °C 水浴 30 min,于 517 nm 波长处测定吸光度。以相同浓度 Vc 作为阳性对照,蒸馏水作为空白对照。

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

式中:  $A_0$  为空白组吸光度,  $A_1$  为不同浓度样品组吸光度。

#### 1.3.7.2 还原力测定

还原力测定参照 Oyaizu<sup>[20]</sup>的方法,采用铁氰化钾还原法测定。

$$\text{还原力} = A_0 - A_1$$

式中:  $A_0$  为样品组吸光度,  $A_1$  为样品本底吸光度值(蒸馏水代替  $\text{FeCl}_3$  溶液)。相同浓度的 Vc 作为阳性对照。

不同浓度样品溶液 (0.1~1 mg/mL) 2.5 mL, pH 6.6 磷酸缓冲液 (0.2 mol/L) 2.5 mL 和 1% 铁氰化钾溶液 2.5 mL, 混合均匀, 50 °C 反应 20 min, 加入 10% 三氯乙酸溶液 2.5 mL, 5000 r/min 离心 10 min, 取上清液

5 mL 和 0.1%  $\text{FeCl}_3$  2.5 mL, 混匀, 静置 10 min, 700 nm 处测定吸光度。

## 1.4 数据分析

本文所有测定结果均重复 3 次, 以  $\bar{x} \pm s$  表示; 采用 SPSS 17.0 ANOVA 对数据进行方差分析, Duncan 法进行多重比较, 以  $p < 0.05$  表示有统计学差异。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基本营养成分测定

由表 1 可知, 珊瑚菌菌丝体蛋白、脂肪、碳水化合物含量分别为 22.30%、3.21%、63.55%, 均高于其子实体含量 (11.02%、2.52%、38.74%), 其中子实体蛋白含量低于参比组香菇子实体 (20.3%) 和云芝菌丝体 (43.1%), 菌丝体蛋白含量高于香菇子实体, 低于云芝菌丝体。人体内碳水化合物主要为多糖类物质, 具有调节免疫、抗肿瘤、抗氧化等生物活性<sup>[21]</sup>, 比较碳水化合物含量, 珊瑚菌菌丝体含量 (63.55%) 均高于其子实体 (38.74%) 和参比组。

综合上述基本营养指标, 其结果可能预示珊瑚菌菌丝体营养价值高于其子实体。比较珊瑚菌子实体和菌丝体灰分含量, 两者基本接近, 统计分析无显著差异 ( $p > 0.05$ )。

表 1 珊瑚菌子实体与菌丝体基本营养成分分析

Table 1 Analysis of the basic nutrient components in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

样品名称	碳水化合物/%	脂肪/%	蛋白/%	灰分/%	能量/(kJ/100 g)
珊瑚菌子实体	38.74±1.27 <sup>b</sup>	2.52±0.14 <sup>b</sup>	11.02±1.21 <sup>b</sup>	5.77±0.14 <sup>a</sup>	925.99±7.28 <sup>b</sup>
珊瑚菌菌丝体	63.55±3.17 <sup>a</sup>	3.21±0.19 <sup>a</sup>	22.30±1.18 <sup>a</sup>	5.98±0.11 <sup>a</sup>	1554.71±24.96 <sup>a</sup>
香菇子实体*	32.4	3.4	20.3	4.2	1008.27
云芝菌丝体*	41.2	2.3	43.1	1.2	1494.52

注: “\*”数据来源于参考文献<sup>[22,23]</sup>, 同列不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

表 2 珊瑚菌子实体与菌丝体矿质元素分析

Table 2 Analysis of mineral elements in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

样品/(mg/100 g)	子实体	菌丝体
Ca	254.16±13.22 <sup>a</sup>	178.84±9.22 <sup>b</sup>
Mg	73.86±7.99 <sup>b</sup>	93.62±4.12 <sup>a</sup>
Fe	16.04±1.71 <sup>a</sup>	13.97±1.35 <sup>a</sup>
Cu	2.04±0.20 <sup>a</sup>	0.87±0.11 <sup>b</sup>
Mn	1.21±0.10 <sup>a</sup>	0.85±0.09 <sup>b</sup>
Zn	0.26±0.07 <sup>a</sup>	0.32±0.09 <sup>a</sup>
Cr	0.0036±0.0006 <sup>b</sup>	0.0083±0.0011 <sup>a</sup>
Pb	0.0012±0.0005 <sup>b</sup>	0.0028±0.0004 <sup>a</sup>

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.2 矿质元素含量测定

由表 2 可知, 珊瑚菌子实体矿质元素 Ca、Cu、Mn 含量均显著高于其菌丝体含量 ( $p < 0.05$ )。Mg 含量, 菌丝体显著高于其子实体含量 ( $p < 0.05$ ), 这可能是由于菌丝体液体培养过程中吸收培养基中的  $\text{Mg}^{2+}$ 。统计分析二者 Fe、Zn 含量无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 基本接近。此外, 珊瑚菌子实体和菌丝体中 Cr、Pb 的含量未超过国家食品卫生标准 ( $\text{Cr} < 1.0 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{Pb} < 0.5 \text{ mg/kg}$ )<sup>[24]</sup>, 菌丝体 Cr、Pb 含量均远超过其的子实体, 这是由于菌丝体培养过程中存在重金属的富集特性<sup>[25]</sup>。

### 2.3 氨基酸含量测定与评价

表3 珊瑚菌子实体与菌丝体氨基酸成分分析

Table 3 Analysis of amino acids composition in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

样品/(g/100 g)	子实体	菌丝体
苏氨酸 Thr*	0.51 ±0.05	1.05±0.10
缬氨酸 Val*	0.55 ±0.10	0.66±0.23
甲硫氨酸 Met*	0.13±0.04	0.41±0.07
异亮氨酸 Ile*	0.40±0.08	1.65±0.08
亮氨酸 Leu*	0.62±0.03	1.44±0.12
苯丙氨酸 Phe*	0.22 ± 0.03	0.80±0.03
赖氨酸 Lys*	0.12 ±0.04	1.06±0.12
丝氨酸 Ser	0.82±0.04	0.77±0.03
谷氨酸 Glu	1.27 ±0.12	3.37±0.46
甘氨酸 Gly	1.55 ±0.09	1.16±0.16
丙氨酸 Ala	0.98 ±0.11	1.39±0.15
半胱氨酸 Cys	0.15±0.04	0.47±0.25
天冬氨酸 Asp	1.12±0.17	1.33±0.18
酪氨酸 Tyr	0.13±0.03	0.54±0.02
组氨酸 His	0.32±0.11	0.97±0.07
精氨酸 Arg	0.11 ±0.03	0.68±0.09
脯氨酸 Pro	0.28±0.06	3.91±0.26
必须氨基酸	2.55 ±0.24	7.08±0.15
总氨基酸	9.27 ±0.36	21.36±0.79

注：“\*”代表必须氨基酸。

由表3可知，珊瑚菌子实体和菌丝体样品中均含有7种必须氨基酸和10种非必需氨基酸。氨基酸总量，菌丝体与子实体分别为21.36±0.79和9.27±0.36 g/100 g，其中菌丝体含量是子实体的2.3倍。必须氨基酸含量，菌丝体和子实体分别为7.08±0.15和2.55±0.24 g/100 g，分别占氨基酸总量的33.14%和27.50%，均低于WHO/FAO标准（35.38%）。蛋白质的营养价值主要取决于必须氨基酸的种类和含量<sup>[26]</sup>。依据WHO/FAO理想蛋白质中必须氨基酸含量的建议模式

表4 珊瑚菌子实体与菌丝体必需氨基酸AAS评价结果

Table 4 AAS evaluation analysis of essential amino acids in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

必须氨基酸	WHO/FAO 模式	子实体		菌丝体	
		氨基酸含量mg 每g蛋白质	AAS	氨基酸含量mg 每g蛋白质	AAS
Thr	40	46.28	115.70	47.08	117.71
Val	50	49.91	99.82	29.60	59.19
Met+Cys	35	25.41	72.60	39.46	112.75
Ile	40	36.30	90.75	73.99	184.98
Leu	70	56.26	80.37	64.57	92.25
Phe+Tyr	60	31.76	52.93	60.09	100.15
Lys	55	10.89	19.81	47.53	86.42

和评分标准，对珊瑚菌子实体和菌丝体进行营养评价。结果如表4所示，珊瑚菌菌丝体必须氨基酸AAS评分均普遍高于子实体，Val除外；对于珊瑚菌子实体，其限制性氨基酸为Lys；菌丝体限制性氨基酸为Val。综合氨基酸含量与必须氨基酸评价结果，珊瑚菌菌丝体氨基酸营养价值高于其子实体，这可能是菌丝体培养营养吸收过程培养基蛋白胨含有丰富氨基酸来源。

## 2.4 多糖、多酚含量测定

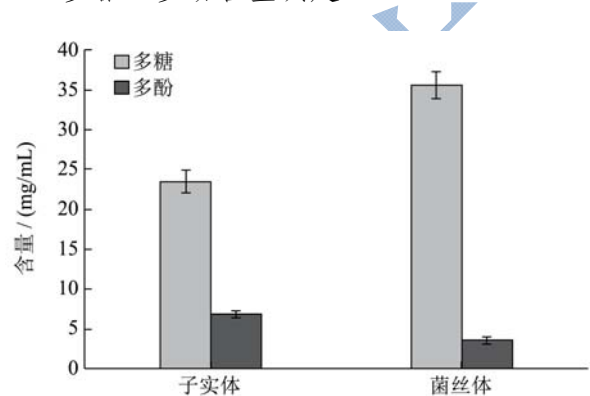


图1 珊瑚菌子实体与菌丝体中多糖、多酚含量

Fig.1 Content of polysaccharides and polyphenols in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

已有研究表明生物物质中酚类、糖类化合物的含量高低决定其抗氧化能力的强弱<sup>[27,28]</sup>。如图1所示，测定珊瑚菌子实体多糖含量为23.22±1.60 mg/g，多酚含量为6.85±0.41 mg/g；菌丝体多糖含量为35.51±1.78 mg/g，多酚含量为3.66±0.29 mg/g。子实体多糖含量显著低于其菌丝体，多酚含量显著高于其菌丝体（ $p < 0.05$ ），这可能是由于菌丝体培养基中含足量合成多糖的前体物质蔗糖，易于多糖的合成；而多酚作为植物细胞次级代谢产物，是形成植物颜色、苦涩口感、气味等一类重要化合物，具有强抗氧化能力<sup>[29]</sup>，与菌丝体相比，珊瑚菌子实体具备野外环境优势，多酚有助于抵抗野外氧化胁迫<sup>[30]</sup>，因此含量高于菌丝体。

## 2.5 抗氧化活性测定

### 2.5.1 DPPH 法测定珊瑚菌多糖、多酚抗氧化活性

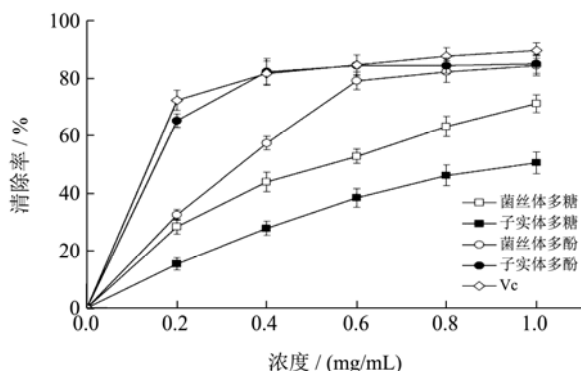


图2 珊瑚菌子实体和菌丝体多糖、多酚 DPPH 自由基清除能力  
Fig.2 DPPH radical scavenging ability of polysaccharides and polyphenols in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

由图2可知,珊瑚菌菌丝体与子实体多糖、多酚含量对DPPH自由基清除率呈剂量依赖型,且菌丝体多糖清除能力强于其子实体,子实体多酚清除能力强于其菌丝体。对于珊瑚菌多糖,菌丝体和子实体样品浓度均与清除率呈线性正相关,分别为 $Y=67.04X+9.728$  ( $R^2=0.935$ ),  $Y=50.78X+4.323$  ( $R^2=0.965$ ),其中Y代表清除率(%),X代表样品浓度(mg/mL);因此计算菌丝体和子实体多糖 $EC_{50}$ 值计算分别为0.60, 0.89 mg/mL。对于珊瑚菌多酚,子实体多酚清除DPPH能力大于所有样品组,接近于Vc对照组;菌丝体多酚当浓度大于0.6 mg/mL时,其清除能力达到平衡稳定值,超过80%,接近Vc;0~0.6 mg/mL时,呈线性关系( $Y=131.2X+2.892$ ,  $R^2=0.991$ ),计算得其 $EC_{50}$ 为0.36 mg/mL。

### 2.5.2 还原力法测定珊瑚菌多糖、多酚抗氧化活性

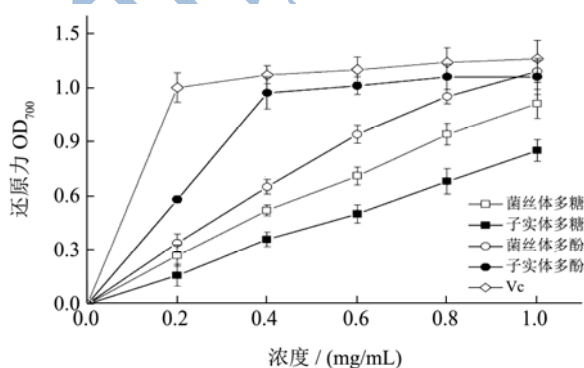


图3 珊瑚菌子实体和菌丝体多糖、多酚还原能力

Fig.3 Reducing ability of polysaccharides and polyphenols in fruit body and mycelium from *Ramaria botrytoides*

还原力作为抗氧化活性评价重要指标,抗氧化剂能与 $Fe^{3+}$ 发生氧化还原反应,反应产物在700 nm波长处有最大吸收值<sup>[31]</sup>。吸光度越高还原力越强,表明抗氧化活性越高。由图3可知,珊瑚菌菌丝体多糖、多酚、子实体多糖含量与还原力成正相关,相关系数分别为0.994、0.980和0.998;子实体多酚浓度大于0.4 mg/mL时,还原力抗氧化指标接近Vc;四种样品还原力抗氧化强弱依次为子实体多酚>菌丝体多酚>菌丝体多糖>子实体多糖,其结果与清除DPPH自由基一致。因此,对于不同来源(菌丝体、子实体)珊瑚菌而言,多酚抗氧化活性均大于多糖;子实体多酚抗氧化活性大于其菌丝体,菌丝体多糖活性大于其子实体。结合菌丝体与子实体多糖含量测定结果,对于珊瑚菌多糖,采用液体培养制备多糖有望取代传统子实体提取,解决珊瑚菌野生资源稀缺等问题;对于珊瑚菌多酚,因液体培养不具备野外自然环境等优势,多酚含量包括其抗氧化活性,菌丝体都低于其子实体。

## 3 结论

3.1 比较分析珊瑚菌子实体和菌丝体营养成分,菌丝体碳水化合物、脂肪、蛋白、灰分含量分别为63.55%、3.21%、22.30%、5.98%,子实体38.74%、2.52%、11.02%、5.77%,菌丝体营养成分质量高于子实体。矿物质元素Ca、Cu、Mn,子实体含量高于菌丝体;Mg元素,菌丝体高于其子实体;Fe、Zn含量接近。氨基酸含量,菌丝体氨基酸总量为 $21.36\pm 0.79$  mg/100 g,必须氨基酸含量占33.14%;子实体氨基酸总量为 $9.27\pm 0.36$  mg/100 g,必须氨基酸含量占27.50%。  
3.2 比较分析多糖、多酚含量及其抗氧化活性,子实体多酚 $6.85\pm 0.41$  mg/g含量高于菌丝体 $3.66\pm 0.29$  mg/g,菌丝体多糖 $35.51\pm 1.78$  mg/g含量高于子实体 $23.22\pm 1.60$  mg/g。DPPH自由基清除能力和还原力抗氧化强弱依次为子实体多酚>菌丝体多酚>菌丝体多糖>子实体多糖。结合前面营养成分分析结果可知,珊瑚菌菌丝体营养丰富,具有极高价值。而且,珊瑚菌菌丝体多糖含量与活性均高于子实体,因此对于多糖型药膳保健原料,有望替代子实体缓解野生资源的不足;而多酚,其菌丝体含量活性结果弱于珊瑚菌子实体,仍有待进一步挖掘利用。

## 参考文献

- [1] 谭艳,谭家林,徐慎东,等.珊瑚菌的研究现状及在宜昌地区的发展前景[J].湖北林业科技,2016,45(5):46-48  
TAN Yan, TAN Jia-lin, XU Shen-dong, et al. The research overview and development prospect of Clavariaceae in

- Yichang Area [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2016, 45(5): 46-48
- [2] 卯晓岚.食用珊瑚菌[J].中国食用菌,1987,1:22  
MAO Xiao-lan. Edible fungi *Ramaria botrytis* [J]. Chinese Fungi, 1987, 1: 22
- [3] Zheng Y B, Shen Y M. Clavicololides A and B, sesqui-terpenoids from the fermentation products of edible fungus *Clavicornia pyxidata* [J]. Organic Letters, 2009, 11(1): 109-112
- [4] Zheng Y B, Lu C H, Zheng Z H, et al. New Ses-quiterpens from edible fungus *Clavicornia pyxidata* [J]. Helvetica Chimica Acta, 2008, 9(11): 2174-2180
- [5] 李华,卫敏,陈侏妍,等.珊瑚菌总萜提取工艺研究[J].时珍国医国药,2012,23(4):950-951  
LI Hua, WEI Min, CHEN Xi-yan, et al. Extraction technology on total terpenoids from *Ramaria botrytis* [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2012, 23(4): 950-951
- [6] 常正尧,吴亚楠,李永芳,等.珊瑚菌抗乳腺癌作用的研究[J].时珍国医国药,2014,24(1):152-154  
CHANG Zheng-yao, WU Ya-nan, LI Yong-fang, et al. Effect of *Ramaria botrytis* against breast cancer [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2014, 24(1): 152-154
- [7] 易千红,叶佳明,鲁晓航,等.珊瑚菌液体发酵条件优化及其胞内多糖的组成研究[J].发酵科技通讯,2013,42(2):18-21  
YI Qian-hong, YE Jia-ming, LU Xiao-hang, et al. Optimization of the fermentation conditions and composition of polysaccharides of *Ramaria botrytis* [J]. Bulletin of Fermentation Science and Technology, 2013, 42(2): 18-21
- [8] 庞海月.泡囊侧耳细胞毒活性成分的分离鉴定及野生药用珊瑚菌液体优化培养[D].福州:福建师范大学,2015  
PANG Hai-yue. Isolation and structure elucidation of cytotoxic constituents from *Pleurotus cystidiosus* and optimization of liquid culture of wild medicinal *Clavicornia pyxidata* [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2015
- [9] Yu L L, Moore J, Hao Z G. Carotenoid, tocopherol, phenolicacid, and antioxidant properties of Maryland-Grown softwheat [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 6649-6657
- [10] GB 5009.5-2010,食品中蛋白质的测定[S]  
GB 5009.5-2010, Determination of protein content in food[S]
- [11] GB/T 5009.6-2003,食品中脂肪的测定[S]  
GB/T 5009.6-2003, Determination of fat content in food [S]
- [12] GB/Z 21922-2008,食品营养成分基本术语[S]  
GB/Z 21922-2008, Basic terminology of food nutrition components [S]
- [13] GB 5009.4-2010,食品中灰分的测定[S]  
GB 5009.4-2010, Determination of ash content in food [S]
- [14] Zhong C, Sun Z, Zhou Z, et al. Chemical characterization and nutritional analysis of protein isolates from *Caragana korshinskii* Kom. [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 3217-3222
- [15] GB/T 5009.124-2003,食品中氨基酸的测定[S]  
GB/T 5009.124-2003, Determination of amino acids content in food [S]
- [16] 高呈琳.珊瑚菌多糖结构分析及生物活性研究[D].广州:华南理工大学,2016  
GAO Cheng-lin. Study on structure and bioactivities of polysaccharides from *Ramaria botrytoides* [D]. Guangzhou:
- [17] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356
- [18] Slinkard K, Singleton V L. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods [J]. American Journal Enology and Viticulture, 1977, 28: 49-55
- [19] Shimada K, Fujikama K, Yahara K, et al. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(6): 945-948
- [20] Oyaizu M. Studies on products of browning reaction: Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine [J]. The Japanese Society of Nutrition and Dietetics, 1986, 44(6): 307-316
- [21] 郝瑞芳,景浩.真菌多糖的研究进展[J].中国食物与营养, 2008,4:19-22  
HAO Rui-fang, JING Hao. The research progress of fungus polysaccharides [J]. Food and Nutrition in China, 2008, 4: 19-22
- [22] 况丹.七种食用菌营养成分分析比较[J].食用菌,2011,4: 57-59  
KUANG Dan. Comparative analysis of nutrients in seven kinds of edible fungus [J]. Edible Fungi, 2011, 4: 57-59
- [23] 胡晶,陆震鸣,徐国华,等.云芝发酵菌丝体的营养成分分析[J].食品工业,2014,35(11):268-270  
HU Jing, LU Zhen-ming, XU Guo-hua, et al. Nutritional Analysis of *Coriolus versicolor* Mycelia [J]. Food Industry, 2014, 35(11): 268-270
- [24] GB 2762-2012,食品中污染物限量[S]  
GB 2762-2012, Pollutant limit in food [S]
- [25] 李维焕,于兰兰,程显好,等.两种大型真菌菌丝体对重金属

- 的耐受和富集特性[J].生态学报,2011,31(5):1240-1248
- LI Wei-huan, YU Lan-lan, CHENG Xian-hao, et al. Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(5): 1240-1248
- [26] 郑振霄,童玲,徐坤华.2 种低值金枪鱼赤身肉的营养成分分析与评价[J].食品科学,2015,36(10):114-118
- ZHENG Zhen-xiao, TONG Ling, XU Kun-hua. Analysis and quality evaluation of nutrition components in the muscle of two kinds of low value tuna [J]. Food Science, 2015, 36(10): 114-118
- [27] Meda A, Lamien C E, Romito M, et al. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity [J]. Food Chemistry, 2005, 91(3): 571-577
- [28] Saxena S, Gautam S, Sharma A. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys [J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 391-397
- [29] Kumar H, Choudhary N, Varsha, et al. Phenolic compounds and their health benefits: A review [J]. Journal of Food Research and Technology, 2014, 2(2): 46-59
- [30] 董爱荣,刘雪峰,宋福强.桦褐孔菌子实体与菌丝体营养成分比较分析[J].食品科学,2015,36(14):96-101
- DONG Ai-rong, LIU Xue-feng, SONG Fu-qiang. Comparative analysis of nutrients in fruit bodies and mycelia of *Inonotus obliquus* [J]. Food Science, 2015, 36(14): 96-101
- [31] Liu J, Meng C, Yan Y, et al. Structure, physical property and antioxidant activity of catechin grafted *Tremella fuciformis* polysaccharide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 82: 719-724