

蜜环菌菌丝与菌索活性成分含量研究

胡德, 李正龙, 赵威, 王欢*, 王淑敏*

(长春中医药大学药学院, 长春 130117)

摘要: **目的** 测定蜜环菌(*Armillaria mellea*)菌丝、菌索两种形态总多糖、总蛋白、总三萜、麦角甾酮、麦角甾醇、腺苷的含量差异。**方法** 采用紫外-可见分光光度法测定总三萜、总多糖及总蛋白含量。采用高效液相色谱法测定麦角甾酮、麦角甾醇、腺苷成分含量。**结果** 蜜环菌菌丝与菌索两种形态的大部分活性成分含量差异显著, 其中总三萜、总蛋白、麦角甾醇成分显示菌丝含量优于菌索, 且具有显著性差异($P<0.05$); 菌索总多糖含量、麦角甾酮含量优于菌丝, 含量差异明显; 两者腺苷含量相似。**结论** 对于蜜环菌的药用以及开发保健食品方面, 需要根据具体方案进行合理开发, 达到资源的合理利用。研究结果可为今后的综合利用开发奠定理论基础。

关键词: 蜜环菌; 总多糖; 总三萜; 总蛋白; 甾醇类; 腺苷

Study on the active ingredient content of mycelium and rhizomorphs of *Armillaria mellea*

HU De, LI Zheng-Long, ZHAO Wei, WANG Huan*, WANG Shu-Min*

(College of Pharmacy, Changchun University of Traditional Chinese Medicine, Changchun 130117, China)

ABSTRACT: Objective To study the differences in the content of *Armillaria mellea* mycelium and rhizomorphs, total polysaccharides, total proteins, total triterpenes, ergosterone, ergosterol and adenosine, provide a theoretical basis for the comprehensive development and utilization. **Methods** The content of total triterpenes, total polysaccharides and total protein was determined by ultraviolet-visible spectrophotometry. The content of ergosterone, ergosterol and adenosine was determined by high performance liquid chromatography. **Results** There were significant differences in the content of most active components between *Armillaria mellea* mycelium and rhizomorphs. The total triterpenes, total protein and ergosterol showed that the content of mycelium was better than that of rhizomorphs, and there was a significant difference ($P<0.05$); the total polysaccharides content and ergosterone content of rhizomorphs were better than mycelium, and the content difference was obvious; the content

基金项目: 吉林省中医药科技项目(2021006)、吉林省科技发展计划项目技术创新引导-医药健康产业发展专项(20210401121YY)、长春中医药大学“杏林学者工程”青年科学家项目培养计划项目(QNKXJ2-2021ZR03)

Fund: Supported by the Traditional Chinese Medicine Science and Technology Project of Jilin Province (2021006), the Jilin Province Science and Technology Development Plan Project Technology Innovation Guidance-medical and Health Industry Development Special (20210401121YY), and the “Xinglin Scholars Project” Young Scientist Program of Changchun University of Traditional Chinese Medicine (QNKXJ2-2021ZR03)

*通信作者: 王欢, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食药菌资源开发与利用。E-mail: wanghuanmyco@163.com

王淑敏, 博士, 教授, 主要研究方向为药用微生物物质基础及其药效研究。E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn

*Corresponding author: WANG Huan, Ph.D, Assistant Professor, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China. E-mail: wanghuanmyco@163.com

WANG Shu-Min, Ph.D, Professor, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China. E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn

of adenosine was similar between the two. **Conclusion** For the medicinal use and development of *Armillaria mellea* and the development of health food, it is necessary to develop rationally according to specific plans to achieve rational utilization of resources. The research results can lay a theoretical foundation for future comprehensive utilization and development.

KEY WORDS: *Amillariella mellea*; total triterpenoids; total polysaccharides; total protein; sterols; adenosine

0 引言

蜜环菌(*Armillaria mellea*)是一种经济价值很高的高等真菌,广泛分布于世界热带和温带森林,包括大约70种已知的种属^[1],作为我国传统药食同源真菌的重要代表菌物,以其药用和食用价值著称。由菌丝分枝交错形成的菌丝体是蜜环菌重要的基本结构^[2],菌丝体又分为菌丝和菌索,菌丝初生乳白色,镜下透明,无数菌丝结合在一起形成的根状物为菌索,其生活的大部分阶段以菌索的形式存在^[3]。现代药理研究表明,药用蜜环菌能改善糖尿病胰岛素抵抗和糖尿病引起的肾损伤^[4-6]、抗氧化^[7]、抗肿瘤^[8]、缓解抑郁症^[9-10]和改善睡眠等^[11]。

蜜环菌主要化学成分包括特征化合物原伊鲁烷型倍半萜类化合物^[12]、多糖^[13]、三萜^[14]、蛋白质、甾醇^[15]、腺苷类化合物^[16]等成分。蜜环菌多糖是蜜环菌重要活性成分之一,研究表明蜜环菌多糖具有抗氧化、降血糖、抗晕眩、增强免疫力以及对巨噬细胞、骨髓细胞的保护作用等^[17-19]。蛋白质成分是主要的营养成分之一,菌物萜类成分具有抗炎、抗衰老和提高免疫力等广泛的生物活性^[20],麦角甾酮与麦角甾醇甾体化合物具有抗炎、抗肿瘤、免疫抑制和治疗慢性肾脏病等多种生物活性。其中麦角甾醇又是构成真菌细胞膜的主要成分,亦是合成维生素D₂的前体物质^[21-22]。蜜环菌中腺苷类成分被证明具有脑保护和降血脂等生理活性^[15]。

目前关于蜜环菌子实体的化学成分与药效研究报道较多^[23-24],但研究蜜环菌菌丝或者菌索活性成分的含量差异鲜有报道,因此本研究对蜜环菌菌丝和菌索活性成分含量进行测定,并比较二者之间的差异,为今后的综合利用开发奠定理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

蜜环菌菌株[*Armillaria mellea*] A9, 辽宁行天健药业集团公司]。

BCA (bicinchoninic acid)蛋白浓度测定试剂盒(批号:082820210315,上海碧云天生物技术有限公司);中性磷酸盐缓冲溶液(phosphate buffered solution, PBS,批号:GP20060101549,武汉赛维尔生物科技有限公司);葡萄

糖、蛋白胨、酵母浸粉、琼脂粉、KH₂PO₄(分析纯,天津市光复精细化工研究所);乙醇、香草醛、冰醋酸、NaNO₂、Al(NO₃)₃、NaOH、MgSO₄(分析纯,北京化工厂);苯酚(国药集团化学品有限公司);H₂SO₄(分析纯,成都科隆化学制品有限公司);甲醇、乙腈、苯酚、三氯甲烷(色谱纯,美国Sigma公司)。

1.2 仪器与设备

LDZX-50KBS 立式压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂);A-CB 1220V 超净工作台(苏州净化设备厂);PNP-9082BS-III型电热恒温培养箱(上海新苗医疗器械制造有限公司);SPH-2102C 新颖立式双层全温度恒温培养振荡器(广州航信科学仪器有限公司);PTF-1000A 电子天平[华志(福建)电子科技有限公司];TU-1901 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);GZX-9140MBE 电热鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);岛津LC-20AT系统(SPD-M20A PDA 检测器,SIL-20A 自动进样器,日本岛津科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 菌丝及菌索培养方法

液体培养基配方:葡萄糖 2%+酵母粉 1%+KH₂PO₄ 0.15%+MgSO₄ 0.075%+VB₁ 0.01%。

蜜环菌一级菌种制备:将蜜环菌斜面菌种转接到液体摇瓶培养基中,置于恒温振荡培养箱中,28℃下,150 r/min 振荡培养15 d,得到液体培养菌种。传代培养1~2次,每次培养7 d,得到稳定的液体培养菌种用于后续考察实验。

蜜环菌菌丝制备:将上述液体菌种接入5 L发酵罐扩大培养,接种量5%,培养温度28℃,转速150 r/min 培养7 d,滤过,菌丝60℃恒温烘干,粉碎,备用。

蜜环菌菌索制备:将上述液体菌种接种于1 L培养瓶中,接种量5%,恒温避光静置培养40 d,待长满菌索,滤过,菌索60℃恒温烘干,粉碎,备用。

1.3.2 菌丝与菌索总多糖、总蛋白、总三萜含量测定

(1)总多糖标准品、样品制备及测定方法

精密称定适量无水葡萄糖对照品,定容于100 mL量瓶中,制成质量浓度为0.11072 mg/mL的对照品溶液。分别称取0.10 g菌丝和菌索,分别加入10 mL水,98℃水浴提取2次,每次1 h,合并滤液,放冷后加入3倍量95%乙醇,静置过夜,8000 r/min离心10 min,弃上清,沉淀用纯水复溶,定容至2 mL量瓶中,平行3份样品。

采用苯酚-浓硫酸法^[25], 取 100 μL 供试品溶液, 加水补足至 1 mL, 加 1 mL 5% 苯酚溶液, 再加 5 mL 浓硫酸溶液。静置 10 min 后, 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 20 min, 放至室温, 485 nm 波长测定吸光度值, 代入标准曲线方程, 计算菌丝及菌索胞内多糖含量。

(2) 总蛋白样品制备及测定方法

分别称取 0.10 g 菌丝和菌索, 加入 2 mL 0.1 mol/L PBS 溶液, 超声提取 2.5 h (80 kW, 4 $^{\circ}\text{C}$), 滤过, 收集滤液, 4 $^{\circ}\text{C}$, 10000 r/min 离心 10 min, 取上清, 定容至 2 mL 量瓶中, 平行 3 份样品。

采用 BCA 蛋白测定试剂盒测定样品蛋白质含量。

(3) 总三萜标准品、样品制备及测定方法

精密称定适量齐墩果酸对照品, 定溶于 100 mL 量瓶中, 制成质量浓度为 0.088 mg/mL 的对照品溶液。分别称取 0.20 g 菌丝和菌索, 分别加入 25 mL 三氯甲烷, 超声提取 30 min (80 kW), 滤过, 收集滤液并定容至 25 mL 量瓶中, 平行 3 份样品。

采用香草醛-冰乙酸法^[26]。取 200 μL 供试品溶液水浴蒸干, 加入 0.2 mL 5% 香草醛溶液, 之后加入 0.8 mL 高氯酸, 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 15 min, 在冰水中迅速冷却后, 加入 5 mL 冰醋酸, 548 nm 波长测定吸光度值, 代入标准曲线方程, 计算菌丝及菌索总三萜含量。

1.3.3 菌丝与菌索麦角甾醇、麦角甾酮、腺苷含量测定

(1) 麦角甾醇、麦角甾酮标准品、样品制备及色谱条件

精密称定适量麦角甾酮对照品, 加甲醇定容于 100 mL 量瓶中, 制成 0.10 mg/mL 麦角甾酮对照品溶液。精密称定适量麦角甾醇对照品, 加甲醇定容于 100 mL 量瓶中, 制成质量浓度为 0.10 mg/mL 的麦角甾醇对照品溶液。分别称取 0.50 g 菌丝与菌索, 分别加入 60 mL 三氯甲烷, 超声提取 30 min (80 kW), 收集滤液, 蒸干, 用 2 mL 甲醇复溶并定容至 2 mL, 平行 3 份样品。

Waters XSelect HSS T3 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μm); 流动相: 5% 甲醇(A)-95% 水(B), 等度洗脱。流速: 1.0 mL/min; 柱温: 35 $^{\circ}\text{C}$; 进样量: 10 μL 。

(2) 腺苷标准品、样品制备及色谱条件

精密称取适量腺苷对照品, 加入 50% 甲醇定容至 10 mL 量瓶中, 制成质量浓度为 1.092 mg/mL 的对照品溶液。分别称取 0.50 g 菌丝与菌索, 加入 20 mL 50% 甲醇溶液, 超声 30 min (80 kW), 收集滤液, 蒸干, 50% 甲醇复溶并定容至 2 mL 量瓶中, 平行 3 份样品。

Waters XSelect HSS T3 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μm); 流动相: 乙腈(A)-水(B), 梯度洗脱(0~5 min, 95% B; 5~10 min, 95% B \rightarrow 92% B; 10~17 min, 92% B \rightarrow 88% B; 17~20 min, 88% B \rightarrow 70% B; 20~25 min, 70% B \rightarrow 5% B; 25~30 min, 5% B; 30~32 min, 5% B \rightarrow 95% B; 32~40 min, 95%

B)。流速: 1.0 mL/min; 柱温: 35 $^{\circ}\text{C}$; 进样量: 10 μL 。

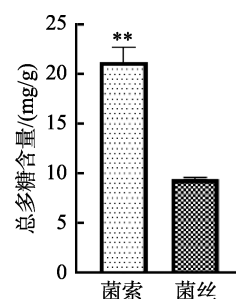
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行常规数据处理, 使用 Microsoft Power Point 和 GraphPad Prism 8.0 进行软件作图, 使用配对 t 检验。

2 结果与分析

2.1 总多糖含量比较分析

在国际上被称为生物反应调节剂的真菌多糖是一类可以控制真菌细胞分裂分化、调节细胞生长衰老的活性多糖, 蜜环菌多糖就是其中之一。蜜环菌多糖广泛存在于子实体、菌丝、菌索和发酵液中, 是多种生物活性的主要物质基础, 也是衡量蜜环菌治疗保健功效的重要评价指标。如图 1 所示, 菌索胞内总多糖含量为 (21.28 \pm 1.44) mg/g, 菌丝 (9.39 \pm 0.18) mg/g, 两者之间具有极显著性差异 ($P<0.01$), 说明对于该菌种而言, 菌索对于多糖的积累优于菌丝。



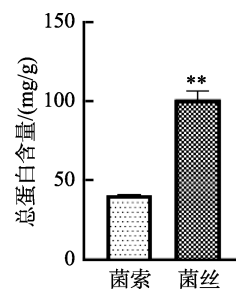
注: ** : 与菌丝组相比, 具有极显著性差异 ($P<0.01$)。

图 1 菌丝与菌索的总多糖含量

Fig.1 Total polysaccharides content of rhizomorphs and mycelium

2.2 总蛋白含量比较分析

菌物蛋白在菌物生长发育、新陈代谢过程中起着至关重要的作用, 同时菌物蛋白也可作人体摄入蛋白质的来源之一, 如图 2 所示, 菌丝总蛋白含量为 (101.40 \pm 5.15) mg/g, 菌索 (40.72 \pm 0.35) mg/g, 两者之间具有极显著性差异 ($P<0.01$), 说明菌丝在营养充足的环境中更利于蛋白物质的积累。



注: ** : 与菌索组相比, 具有极显著性差异 ($P<0.01$)。

图 2 菌丝与菌索的总蛋白含量

Fig.2 Total proteins content of rhizomorphs and mycelium

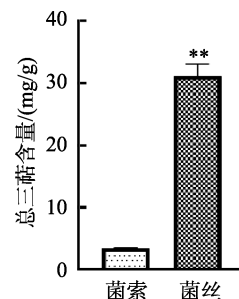
2.3 总三萜含量比较分析

菌物萜类成分具有抗炎、抗衰老和提高免疫力等广泛的生物活性。如图 3 所示, 菌丝总三萜含量为 (31.14 ± 1.93) mg/g, 菌索 (3.43 ± 0.15) mg/g, 两者之间具有极显著性差异 ($P < 0.01$), 说明在三萜类成分的积累方面, 菌丝比菌索更具有优势。

2.4 麦角甾醇、麦角甾酮含量比较分析

2.4.1 色谱图

供试品与对照品色谱图见图 4 和图 5。结果显示, 在 1.3.3(1) 色谱条件下, 可对菌丝与菌索中的麦角甾醇、麦角甾酮成分进行有效分离。



注: **: 与菌索组相比, 具有极显著性差异 ($P < 0.01$)。

图 3 菌丝与菌索的总三萜含量

Fig.3 Total triterpenes content of rhizomorphs and mycelium

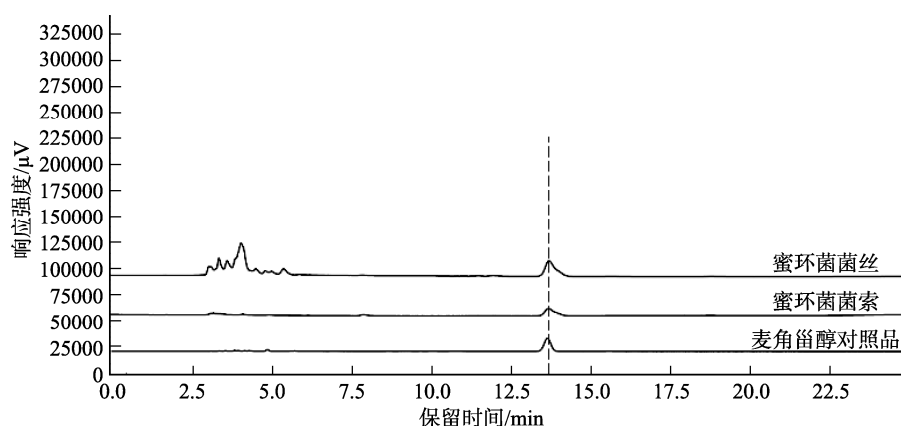


图 4 麦角甾醇高效液相色谱图(282 nm)

Fig.4 High performance liquid chromatogram of ergosterol (282 nm)

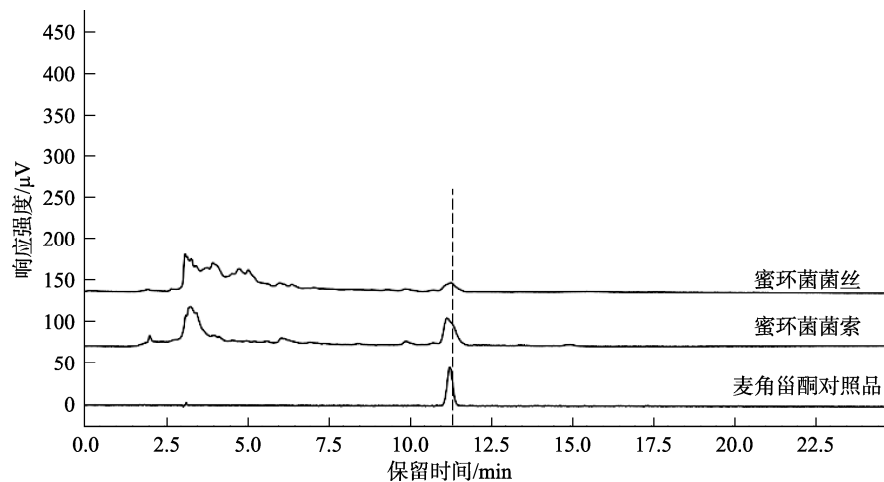


图 5 麦角甾酮的高效液相色谱图(349 nm)

Fig.5 High performance liquid chromatogram of ergosterone (349 nm)

2.4.2 比较分析

如图 6 所示, 蜜环菌菌丝麦角甾醇含量为 (944.48 ± 31.74) $\mu\text{g/g}$ 、菌索麦角甾醇 (357.69 ± 52.50) $\mu\text{g/g}$, 两者含量差异极显著 ($P < 0.01$), 菌丝麦角甾酮含量为 (4.89 ± 0.16) $\mu\text{g/g}$, 菌索麦角甾酮 (5.91 ± 0.15) $\mu\text{g/g}$, 两者含

量差异显著 ($P < 0.05$)。菌丝中的麦角甾醇含量优于菌索, 可能是由于三萜类成分是合成固醇类物质的重要前体物质^[27], 菌丝中的大量萜类物质为麦角甾醇的合成奠定了基础; 虽然麦角甾醇可作为麦角甾酮合成的前提物质, 但生物合成效率受多种因素的影响, 因此含有大量麦角甾醇的菌丝,

其麦角甾酮含量并不一定高于菌索^[28]。

2.5 腺苷含量比较分析

2.5.1 色谱图

供试品与对照品色谱图见图 7。结果显示,在 1.3.3(2) 色谱条件下,可对菌丝与菌索中的腺苷成分进行有效分离。

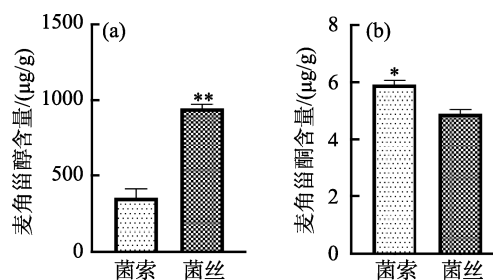
2.5.2 比较分析

腺苷成分是具有脑保护和降血脂作用,如图 8 所示,菌丝腺苷含量为(78.54±4.95) μg/g,菌索腺苷含量(83.58±3.08) μg/g,菌丝与菌索之间腺苷成分含量差异不显著($P>0.05$),说明对于腺苷成分的累积不需要考虑蜜环菌营养器官形态。

3 结论与讨论

本研究以蜜环菌(*Armillaria mellea*) A9 菌株为供试菌株,通过液体发酵培养得到菌丝和菌索,以此为实验材料,

测定其总多糖、总蛋白、总三萜、甾醇类(麦角甾醇和麦角甾酮)、腺苷活性成分含量。



注:(a). **: 与菌索组相比,具有极显著性差异($P<0.01$);(b). *: 与菌丝组相比,具有显著性差异($P<0.05$).

图 6 菌丝与菌索麦角甾醇、麦角甾酮含量

Fig.6 Ergosterol and ergosterone content of rhizomorphs and mycelium

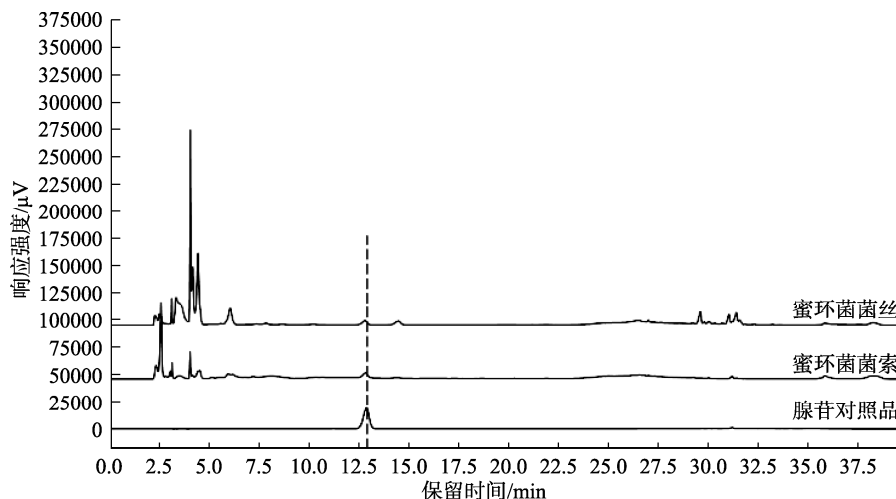
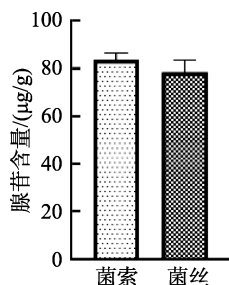


图 7 腺苷的高效液相色谱图(260 nm)

Fig.7 High performance liquid chromatogram of adenosine (260 nm)



注:与菌丝组相比,无差异($P>0.05$)。

图 8 菌丝与菌索腺苷含量

Fig.8 Adenosine content of hyphae and mycelium

蜜环菌生长发育过程中菌丝、菌索呈现不同的形态、不同的功能,其体内次生代谢产物和量的变化也产生了

一些区别。从实验结果中可以看出,菌索多糖含量较菌丝多,但也有数据表明菌丝多糖含量要高于菌索^[29],说明不同的培养方法、不同的培养基质、不同的菌株,所得多糖含量有差异。菌丝总蛋白含量与总三萜含量优于菌索。三萜类成分在真菌生长发育过程中具有重要的防御作用。蛋白成分是主要的营养成分之一,这表明菌丝更能适合成为营养物质来源。麦角甾醇为真菌类特征甾醇,是真菌细胞膜的重要组成部分,对细胞生理功能具有重要作用,是很多真菌的质量评价标准之一,对人体而言,麦角甾醇具有增强抵抗力、抗氧化、抗肿瘤作用^[30]。麦角甾酮有利尿、治疗慢性肾脏病、抗癌、抗肿瘤、免疫抑制等多种生物活性^[31]。结果表明菌丝形态更利于麦角甾醇的积累,菌索更利于麦角甾酮的积累。

综上所述, 蜜环菌菌丝与菌索之间的部分活性成分存在显著性差异($P < 0.05$)。菌丝的大部分活性物质含量高于菌索, 但在蜜环菌相关研究中, 对于菌索的研究更为广泛, 因此对于蜜环菌的药用以及开发保健食品方面, 需要根据具体方案进行合理开发, 以上实验结果可为蜜环菌的综合利用开发提供参考。

参考文献

- [1] SIOPS G, ANDERSON JB, NAGY LG. *Armillaria* [J]. *Current Biol*, 2018, 28(7): 297–298.
- [2] 于洋, 邓志刚, 单良. 蜜环菌的生物学特性及开发利用[J]. *国土绿化*, 2015, (8): 46–47.
YU Y, DENG ZG, SHAN L. Biological characteristics and development and utilization of *Armillaria mellea* [J]. *Land Green*, 2015, (8): 46–47.
- [3] 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 等. 中国大型菌物资源图鉴[M]. 郑州: 中原农民出版社, 2015.
LI Y, LI TH, YANG ZL, *et al.* Atlas of Chinese large fungi resources [M]. Zhengzhou: Zhongyuan Farmers Publishing House, 2015.
- [4] YANG R, LI Y, CAI J, *et al.* Polysaccharides from *Armillariella tabescens* mycelia ameliorate insulin resistance in type 2 diabetic mice [J]. *Food Funct*, 2020, 11(11): 9675–9685.
- [5] YANG S, YAN J, YANG L, *et al.* Alkali-soluble polysaccharides from mushroom fruiting bodies improve insulin resistance [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 126: 466–474.
- [6] YANG R, LI Y, MEHMOOD S, *et al.* Polysaccharides from *Armillariella tabescens* mycelia ameliorate renal damage in type 2 diabetic mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 162: 1682–1691.
- [7] ERBIAI EH, DA SLP, SAIDI R, *et al.* Chemical composition, Bioactive compounds, and antioxidant activity of two wild edible mushrooms *Armillaria mellea* and *macrolepiota procera* from two countries (Morocco and Portugal) [J]. *Biomolecules*, 2021, 11(4): 575.
- [8] WU J, ZHOU J, LANG Y, *et al.* A polysaccharide from *Armillaria mellea* exhibits strong *in vitro* anticancer activity via apoptosis-involved mechanisms [J]. *Int J Biol Macromol*, 2012, 51(4): 663–667.
- [9] LIN YE, WANG HL, LU KH, *et al.* Water extract of *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm. alleviates the depression-like behaviors in acute-and chronic mild stress-induced rodent models via anti-inflammatory action [J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 265: 113395.
- [10] ZHANG T, DU Y, LIN X, *et al.* Study on antidepressant-like effect of protoilludane sesquiterpenoid aromatic esters from *Armillaria mellea* [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(6): 1042–1045.
- [11] LI IC, LIN TW, LEE TY, *et al.* Oral administration of *Armillaria mellea* mycelia promotes non-rapid eye movement and rapid eye movement sleep in rats [J]. *J Fungi*, 2021, 7(5): 1–5.
- [12] DÖRFER M, GRESSLER M, HOFFMEISTER D, *et al.* Diversity and bioactivity of *Armillaria* sesquiterpene aryl ester natural products [J]. *Mycol Prog*, 2019, 18(8): 1027–1037.
- [13] CHEN RZ, REN X, YIN W, *et al.* Ultrasonic disruption extraction, characterization and bioactivities of polysaccharides from wild *Armillaria mellea* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 156: 1491–1502.
- [14] WEN JG, GUO SX. Triterpene from *Armillaria mellea* [J]. *Chem Nat Comp*, 2011, 46(6): 995–996.
- [15] 张嘉, 杨延旗, 淡海, 等. 蜜环菌的化学成分[J]. *西北植物学报*, 2002, (4): 228–232.
ZHANG J, YANG YQ, DAN H, *et al.* Chemical Constituents of *Armillaria mellea* [J]. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica*, 2002, (4): 228–232.
- [16] WATANABE N, OBUCHI T, TAMAI M, *et al.* A novel N6-substituted adenosine isolated from mi huan jun (*Armillaria mellea*) as a cerebral-protecting compound [J]. *Plant Med*, 1990, 56(1): 48–52.
- [17] ZHANG S, LIU X, YAN L, *et al.* Chemical compositions and antioxidant activities of polysaccharides from the sporophores and cultured products of *Armillaria mellea* [J]. *Molecules*, 2015, 20(4): 5680–5697.
- [18] DERY KJ, NAKAMURA K, KUPIEC-WEGLINSKI JW. Cross-examination of oxidative stress-induced DNA Glycosylase OGG1, a mediator of innate inflammation [J]. *Transplantation*, 2019, 103(6): 1071–1073.
- [19] 林灵芝, 闫广智, 葛翠洁, 等. 蜜环菌对高血糖患者血清影响分析[J]. *中国食用菌*, 2019, 38(3): 61–63.
LIN LZ, YAN GZ, GE CJ, *et al.* Effects of *Armillaria mellea* on serum of patients with hyperglycemia [J]. *Edible Fungi Chin*, 2019, 38(3): 61–63.
- [20] 蔡晓. 灵芝及保健食品中三萜类化合物的含量测定探讨[J]. *中国卫生检验杂志*, 2013, 23(2): 307–308.
CAI X. Determination of triterpenoids in ganoderma lucidum and health food [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2013, 23(2): 307–308.
- [21] 程洋洋, 惠靖茹, 郝竞霄, 等. 食用菌中麦角甾醇的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(10): 349–354.
CHENG YY, HUI JR, HAO JX, *et al.* Research progress of ergosterol in edible fungi [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(10): 349–354.
- [22] 张岳. 麦角甾酮的化学合成与抗炎药效学研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2020.
ZHANG Y. Study on the chemical synthesis and anti-inflammatory pharmacodynamics of ergosterone [D]. Changchun: Changchun University of Traditional Chinese Medicine, 2020.
- [23] 李福后, 王伟霞, 许冰. 蜜环菌的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2007, (25): 21–22, 29.
LI FH, WANG WX, XU B. Research progress of *Armillaria mellea* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, (25): 21–22, 29.
- [24] 张姗姗. 蜜环菌化学成分研究[D]. 北京: 中国中医科学院, 2015.
ZHANG SS. Study on chemical constituents of *Armillaria mellea* [D]. Beijing: Chinese Academy of Traditional Chinese Medicine, 2015.
- [25] 池源, 王丽波. 苯酚-硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. *食品与机械*, 2014, 30(1): 89–92.
CHI Y, WANG LB. Optimization of conditions for determination of polysaccharide content in pumpkin seeds by phenol-sulfuric acid method [J]. *Food Mach*, 2014, 30(1): 89–92.
- [26] 陈维冉, 王双, 蔡梅超, 等. 分光光度法测定不同产地苦楝子总三萜的含量[J]. *山东化工*, 2020, 392(22): 83–84.
CHEN WR, WANG S, CAI MC, *et al.* Determination of total triterpenoids

- in Azedarach seeds from different origin by spectrophotometry [J]. Shandong Chem Ind, 2020, 392(22): 83–84.
- [27] 曹龙辉, 李晓珺, 赵文红, 等. 麦角甾醇的研究进展[J]. 中国酿造, 2014, 33(4): 9–12.
CAO LH, LI XJ, ZHAO WH, *et al.* Research progress of ergosterol [J]. China Brew, 2014, 33(4): 9–12.
- [28] 娄玲, 陈长宝, 张岳, 等. 叶生小皮伞不同发酵产物中麦角甾醇和麦角甾酮的含量分析[J]. 特产研究, 2020, 42(4): 55–59.
LOU L, CHEN CB, ZHANG Y, *et al.* Analysis of ergosterol and ergosterone contents in different fermentation products of phyllostachys chinensis [J]. Special Res, 2020, 42(4): 55–59.
- [29] 陈晓梅, 郭顺星, 王秋颖, 等. 蜜环菌不同发育阶段多糖成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2001, (6): 21–24.
CHEN XM, GUO SX, WANG QY, *et al.* Studies on polysaccharides from *Armillaria mellea* at different developmental stages [J]. Chin J Chin Mater Med, 2001, (6): 21–24.
- [30] 蔡佳佳, 张岩, 邢春玉, 等. 猴头菌麦角甾醇高产菌株选育及深层培养条件的优化[J]. 食品安全导刊, 2016, (7X): 119–123.
CAI JJ, ZHANG Y, XING CY, *et al.* Breeding of ergosterol producing strains of hericium and optimization of deep culture conditions [J]. Chin Food Saf Magaz, 2016, (7X): 119–123.
- [31] 陈晗, 陈丹倩, 李全福, 等. 麦角甾酮的药理活性、药代动力学及含量测定研究进展[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(20): 3905–3909.

CHEN H, CHEN DQ, LI QF, *et al.* Progress in pharmacological activity, pharmacokinetics and content determination of ergosterone [J]. Chin J Chin Mater Med, 2014, 39(20): 3905–3909.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



胡 德, 硕士研究生, 主要研究方向为药用微生物物质基础及其药效研究。
E-mail: ccucmhude@163.com



王 欢, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食药用菌资源开发与利用。
E-mail: wanghuanmyco@163.com



王淑敏, 博士, 教授, 主要研究方向为药用微生物物质基础及其药效研究。
E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn