

不同栽培基质桑黄化学成分及抗氧化活性比较

李小欢¹, 谢远娇¹, 王欢², 李敬超¹, 刘俊泽¹, 胡力铭¹, 王淑敏^{1*}

(1. 长春中医药大学药学院, 长春 130117; 2. 长春中医药大学人参科学研究院, 长春 130117)

摘要: **目的** 比较分析应用段木和木屑栽培的桑黄中水分、总灰分、酸不溶性灰分、浸出物、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、总多糖、总黄酮、总三萜含量, 麦角甾醇和麦角甾酮的含量差异, 并研究其乙醇提取物的体外抗氧化活性。 **方法** 分别选取段木和木屑栽培的桑黄子实体, 依据国家标准对其水分、总灰分、酸不溶性灰分、浸出物、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维的含量进行测定, 通过紫外分光光度法、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定总多糖、总黄酮、总三萜、麦角甾醇、麦角甾酮含量, 采用1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]自由基清除能力评价其乙醇提取物的抗氧化活性。 **结果** 不同栽培基质对上述13个指标均具有影响。段木栽培的桑黄中水分、总灰分、酸不溶性灰分、浸出物、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、总多糖、总三萜、麦角甾酮含量均高于木屑栽培桑黄; 木屑栽培的桑黄中总黄酮、麦角甾醇含量高于段木栽培的桑黄; 段木栽培桑黄的抗氧化活性高于木屑栽培桑黄。 **结论** 段木培养基更适宜桑黄子实体中各种化学成分的积累, 从而提高其抗氧化活性, 代料栽培产桑黄子实体的培养基需进一步优化, 研究结果为桑黄栽培基质的优化和桑黄饮品质量评价提供了科学的参考。

关键词: 杨树桑黄; 段木栽培; 木屑栽培; 抗氧化活性; 麦角甾醇; 麦角甾酮

Comparison of chemical constituents and antioxidant activities of *Sanghuangporus vaninii* in different substrates

LI Xiao-Huan¹, XIE Yuan-Jiao¹, WANG Huan², LI Jing-Chao¹, LIU Jun-Ze¹,
HU Li-Ming¹, WANG Shu-Min^{1*}

(1. College of Medicine, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China; 2. Ginseng Science Research Institute, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China)

ABSTRACT: Objective To compare and analyze the contents of water, total ash, acid insoluble ash, extract, crude protein, crude fat, crude fiber, total polysaccharides, total flavonoids, total triterpenes, ergosterol and ergosterone in *Sanghuangporus vaninii* cultivated with duanmu and sawdust, and study the antioxidant activities of its ethanol extract *in vitro*. **Methods** The fruit bodies of *Sanghuangporus vaninii* cultivated by segment wood and sawdust were selected. According to national standards, the content of moisture, total ash, acid-insoluble ash, extract, crude protein, crude fat, and crude fiber were determined. The content of total polysaccharides, total flavonoids, total triterpenes, ergosterol, and ergosterone was determined by ultraviolet spectrophotometry and high performance liquid

基金项目: 吉林省教育厅科研课题项目(JJKH20210993KJ)

Fund: Supported by the Scientific Research Project of Jilin Provincial Department of Education (JJKH20210993KJ)

*通信作者: 王淑敏, 博士, 教授, 主要研究方向为药用微生物物质基础与药效学研究。E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn

*Corresponding author: WANG Shu-Min, Ph.D, Professor, Study on Medicinal Substances and Pharmacodynamics of Microorganisms, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China. E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn

chromatography (HPLC). 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging ability and 2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate) (ABTS) free radical scavenging ability were used to evaluate the antioxidant activity of the ethanol extract. **Results** Different culture media had effects on the above 13 indexes. The content of water, ash, acid insoluble ash, extract, crude protein, crude fat, crude fiber, total polysaccharide, total triterpene, ergosterone in *Sanghuangporus vaninii* cultivated with duanmu was higher than those cultivated with sawdust; the content of total flavonoids, ergosterol in *Sanghuangporus vaninii* cultivated with sawdust was higher than that cultivated with duanmu; the antioxidant activity of *Sanghuangporus vaninii* cultivated with duanmu was higher than that cultivated with sawdust. **Conclusion** Duanmu culture medium is more suitable for the accumulation of various chemical components in *Sanghuangporus vaninii* fruiting body, so as to improve its antioxidant activity. The culture medium for substitute cultivation of *Sanghuangporus vaninii* fruiting body needs to be further optimized. The research results provide a scientific reference for the optimization of *Sanghuangporus vaninii* cultivation matrix and the quality evaluation of *Sanghuangporus vaninii* beverage.

KEY WORDS: *Sanghuangporus vaninii*; duanmu cultivation; sawdust cultivation; antioxidant activities; ergosterol; ergosterone

0 引言

杨树桑黄(*Sanghuangporus vaninii*)属于担子菌门(Basidiomycota)、伞菌纲(Agaricomycetes)、锈革孔菌目(Hymenochaetales)、锈革孔菌科(Hymenochaetaceae)、桑黄孔菌属(*Sanghuangporus*)的大型食药两用型真菌,金黄色外观,有“森林黄金”之美称^[1-2]。桑黄的食药两用历史十分悠久,在多部古代典籍中均有记载。最早可追溯至秦汉时期的《神农本草经》,名曰“桑耳”,在唐代《药性论》中首度被称为“桑黄”,具有活血化瘀、收涩止痛、清热解暑等功效^[3-5]。现代桑黄子实体被广泛应用在食品、药品等领域^[6-7]。

桑黄是一种珍稀的食药两用真菌,20世纪九十年代以来,学者们对桑黄的化学成分及药理活性进行了深入研究,发现桑黄子实体的活性成分主要为多糖、黄酮、萜类等物质,药理学研究表明,桑黄具有抗肿瘤、抗炎、降血糖、保肝、抗氧化等作用^[8]。人体进行正常生理活动时就会产生自由基,一般对机体无害,但若其在体内堆积过剩且不能及时清理,则会增加致癌、早衰、心脑血管病变等风险,抗氧化是调节机体氧化还原平衡的过程,因此开发天然高效的抗氧化剂具有重要意义^[9]。

由于野生桑黄资源稀缺,利用现代生物技术进行仿生栽培是解决资源短缺的主要途径,优化桑黄栽培生长的培养基,提高子实体产量和质量,降低生产成本具有重要的现实意义。现阶段对桑黄栽培的研究多集中在不同年限的子实体成分分析,对不同培养基的化学成分研究鲜有文献报道。目前桑黄人工栽培主要为段木栽培法,吉林省通化地区近年来一直在尝试代料栽培技术,并初步获得成功,还处在工艺优化和质量评价阶段。故本研究以段木、木屑栽培的桑黄

子实体为研究对象,通过测定不同栽培基质的桑黄中的水分、灰分、浸出物、总蛋白、总纤维、总脂肪、总多糖、总三萜、总黄酮的含量以及乙醇提取物的抗氧化活性—1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基和 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]自由基,比较不同栽培基质对活性产物的影响及乙醇提取物的抗氧化活性差异,以期对栽培培养基的优化和不同栽培基质所产桑黄的质量控制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桑黄子实体由通化市神芝健生物科技有限公司提供,将柞木的段木培养基栽培的桑黄与柞木的木屑培养基栽培的桑黄样品编号为 SD、SM。

BCA (bicinchoninic acid)蛋白浓度测定试剂盒(批号: P0012, 上海碧云天生物技术有限公司); 苯酚(纯度 $\geq 98\%$)、过硫酸钾(纯度 $\geq 98\%$)、甲醇(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司); 高氯酸(分析纯, 天津市鑫源化工有限公司); 香草醛(分析纯, 天津市光复精细化工研究所); DPPH、齐墩果酸(批号: HA0820KA14)、麦角甾醇(批号: J26M6K1)、麦角甾酮(批号: X22ML32255)(纯度 $\geq 98\%$, 上海源叶生物科技有限公司); 芦丁(批号: DST200308-016, 纯度 $\geq 98\%$, 成都乐美天医药/德思特生物研制); 抗坏血酸(纯度 $\geq 98\%$)、乙醇、浓硫酸、冰醋酸、二氯甲烷(分析纯)(北京化工厂有限责任公司); ABTS(纯度 $\geq 98\%$, 上海麦克林生化科技有限公司); 实验用水为娃哈哈纯净水。

1.2 仪器与设备

AUY220 电子分析天平(岛津国际贸易上海有限公司); SX2-4-10 一体式马弗炉(上海合恒仪器设备有限公司); HH-6 数显恒温水浴锅(常州市江南实验仪器); GZX-9140MBE 电热鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); KDM 调温电热套(山东鄞城华鲁电热仪器有限公司); SPH-2102 恒温培养振荡器(上海世平实验设备有限公司); TGL16M 高速冷冻离心机(湖南凯达科学仪器有限公司); TU-1901 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); LC-20AT 岛津高效液相色谱仪(日本岛津公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 段木、木屑栽培处理

(1) 段木栽培

采用东北柞木, 树龄 15~20 年, 直径 20~25 cm 为宜, 浸水 2~5 h; 装入菌袋, 若木块 < 10 cm, 需拼装圆柱形木段(树皮朝外), 扎紧灭菌, 自然冷却至 30 °C 后, 接入桑黄菌, 恒温 25 °C, 培养子实体。

(2) 木屑栽培

柞木木屑、马铃薯、葡萄糖、维生素 B₁、蒸馏水、琼脂、麦麸制成培养基, 装入无菌袋中, 灭菌, 按比例接入桑黄菌, 恒温 25 °C, 培养子实体。

1.3.2 水分、灰分、浸出物测定

水分、总灰分、酸不溶性灰分以及浸出物的含量测定方法分别参考于 2020 年版《中国药典》(四部)通则项下的总灰分测定法、酸不溶性灰分测定法(通则 2302)、烘干法(通则 0832)、水溶性浸出物测定法的热浸法(通则 2201), 均平行测定 3 次^[10]。

1.3.3 粗蛋白、粗脂肪、粗纤维测定

参考文献[11]采用 BCA 法, 使用 BCA 试剂盒检测粗蛋白含量。粗脂肪是根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》进行测定, 粗纤维是根据 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》进行测定, 均平行测定 3 次。

1.3.4 总多糖、总黄酮、总三萜含量测定

采用苯酚-硫酸法^[12]测定总多糖含量, 硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠比色法^[13]测定总黄酮含量, 冰乙酸-香草醛法^[14-15]测定总三萜含量, 均平行测定 3 次。

1.3.5 麦角甾醇、麦角甾酮的含量测定

色谱条件: 色谱柱为岛津 Inerlsil ODS-SP C₁₈ 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为甲醇:水=95:5 (V:V); 柱温 30 °C; 流速 1.0 mL/min; 进样量 10 μL; 检测波长为麦角甾醇 282 nm、麦角甾酮 349 nm。

样品制备: 参考文献[16], 取 SD、SM 子实体, 加二氯甲烷溶液, 料液比 1:50 (m:V), 室温下进行超声提取 30 min, 提取 3 次, 合并滤液蒸干, 加甲醇溶液定容, 即得。

1.3.6 桑黄醇提取物对 DPPH 的清除能力

参照文献[17]的方法, 分别取质量浓度为 0.2、0.4、0.8、1.6、2.0 mg/mL SD、SM 的乙醇提取液 5 mL, 加 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液 5 mL, 摇匀, 暗处静置 30 min, 测定 517 nm 处的吸光值 A₂, 同法测定样液加乙醇的吸光值 A₁, 以及乙醇加 DPPH 溶液的吸光值 A₀, 按照公式计算醇提取物对 DPPH 自由基的清除率。DPPH 自由基清除率计算如式(1)所示:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

1.3.7 桑黄醇提取物对 ABTS 的清除能力

参照文献[18]的方法, 分别取 7.4 mmol/L ABTS 溶液与 2.6 mmol/L 的过硫酸钾溶液等体积混合, 避光静置 12~16 h, 得 ABTS 反应液。将 ABTS 反应液用乙醇稀释, 稀释至吸光值为 0.7±0.03, 得 ABTS 工作液。分别取质量浓度为 0.08、0.12、0.16、0.20、0.24 mg/mL SD、SM 的乙醇提取液 1 mL, 加 ABTS 工作液 4 mL, 避光反应 30 min, 在 734 nm 下测定其吸光值 B₂。同法测得样液加乙醇的吸光值 B₁, 以及乙醇加 ABTS 溶液的吸光值 B₀, 按照公式计算醇提取物对 ABTS 自由基的清除率。ABTS 自由基清除率计算如式(2)所示:

$$\text{ABTS 自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{B_2 - B_1}{B_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行常规数据处理, 并用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 主要营养成分含量比较分析

水分、总灰分、浸出物是食品的重要检测指标, 增加酸不溶性灰分的检测主要是看桑黄子实体的污染与掺杂情况。粗蛋白在生长发育、新陈代谢过程中起着重要的作用, 粗脂肪具有抗真菌、维持脂肪代谢等作用, 粗纤维可以促进消化、维持正常的消化功能。不同培养基桑黄子实体的水分、总灰分、酸不溶性灰分、浸出物、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维含量比较见表 1。由表 1 可知, SD 的水分、总灰分、酸不溶性灰分、浸出物、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维含量比 SM 分别高出 21.6%、16.7%、6.0%、16.7%、47.2%、66.7%、53.8%, 证明段木栽培的桑黄子实体更易于其累积营养成分。

2.2 主要功能成分含量比较分析

总多糖主要有抗癌、抗肿瘤等作用, 总黄酮具有抗氧化、提高人体免疫力等作用, 总三萜具有抗炎、抗过敏等作用^[19]。通过对以上 3 个主要功能成分的含量对比发现在桑

黄子实体中总黄酮含量占比最多,不同培养基桑黄子实体的总多糖、总黄酮、总三萜含量比较详见表2。在总多糖的含量上,SD比SM高出48.9%。在总黄酮的含量上,SM比SD高出41.9%。在总三萜的含量上,SD比SM高出21.8%。

表1 不同培养基桑黄子实体的主要营养成分含量比较($n=3, \bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of main nutritional components in *Sanghuangporus vaninii* fruiting bodies on different media ($n=3, \bar{x} \pm s$)

成分	主要营养成分含量/%	
	SD	SM
水分	8.3±0.42	7.8±0.59
总灰分	5.1±0.92	4.0±0.85
酸不溶性灰分	1.2±0.22	1.0±0.18
浸出物	12.0±1.26	10.0±1.63
粗蛋白	18.0±0.55	9.5±0.48
粗脂肪	1.5±0.43	0.5±0.28
粗纤维	26.0±0.92	12.0±0.89

表2 不同培养基桑黄子实体的功能性成分含量对比($n=3, \bar{x} \pm s$)
Table 2 Comparison of the content of functional components in *Sanghuangporus vaninii* fruiting bodies on different media ($n=3, \bar{x} \pm s$)

成分	功能性成分含量/(mg/g)	
	SD	SM
总多糖(以葡萄糖计)	11.69±0.45	5.97±0.29
总黄酮(以芦丁计)	19.06±0.51	32.80±0.21
总三萜(以齐墩果酸计)	9.59±0.44	7.50±0.25

2.3 麦角甾醇、麦角甾酮含量比较分析

麦角甾醇具有明显的抑菌、抗肿瘤的作用,麦角甾酮具有抗炎的作用,不同培养基桑黄子实体的麦角甾醇、麦角甾酮含量对比见表3。在麦角甾醇含量上,SM比SD高出70.8%,在麦角甾酮含量上,SD比SM高出93.1%。通过对以上2个化学成分的含量比较发现木屑培养基更适宜桑黄产麦角甾醇、段木培养基更适宜桑黄产麦角甾酮。

表3 不同培养基桑黄子实体的麦角甾醇、麦角甾酮含量对比($n=3, \bar{x} \pm s$)

成分	麦角甾醇、麦角甾酮含量/($\mu\text{g/g}$)	
	SD	SM
麦角甾醇	232.93±3.55	798.04±6.69
麦角甾酮	36.72±0.35	2.52±0.04

2.4 清除DPPH自由基、ABTS自由基 IC_{50} 值

通过计算SD、SM醇提取物清除DPPH、ABTS自由基的半数抑制浓度(median inhibition concentration, IC_{50})值,发现SD醇提取物清除DPPH、ABTS自由基的 IC_{50} 值较小,分别为(0.409±0.02)、(0.159±0.01) mg/mL,SM的醇提取物清除DPPH、ABTS自由基的 IC_{50} 值较大,分别为(0.678±0.001)、(0.249±0.008) mg/mL,SD的醇提取物清除DPPH、ABTS自由基强于SM的醇提取物。

不同浓度的SD与SM醇提取物对DPPH、ABTS自由基清除率实验结果见图1,从0.2 mg/mL增加到2.0 mg/mL时,SD对DPPH自由基的清除率高于SM;从0.08 mg/mL增加到0.24 mg/mL时,SD对ABTS自由基的清除率高于SM。证明SD醇提取物清除自由基的效果更强,段木栽培的桑黄子实体对自由基的清除能力更厉害。

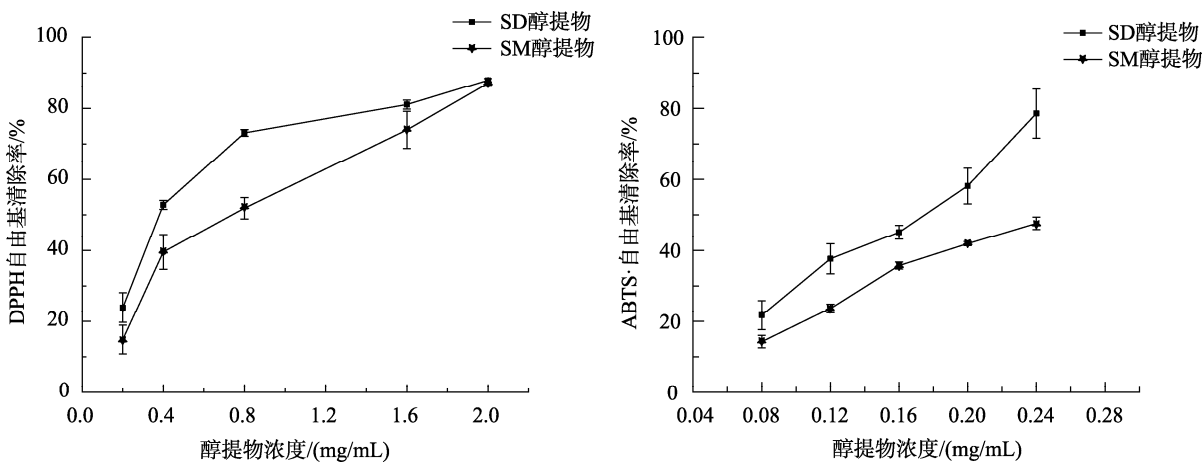


图1 不同培养基桑黄子实体醇提取物的DPPH、ABTS自由基清除率曲线($n=3$)

Fig.1 DPPH, ABTS free radical scavenging rates curve of ethanol extracts from *Sanghuangporus vaninii* fruiting bodies on different media ($n=3$)

3 结论与讨论

桑黄作为一种大型的食药两用真菌, 其化学成分在发挥其功效时起着至关重要的作用^[20]。本研究对不同栽培基质的桑黄进行了主要营养成分分析, 发现不同栽培基质对桑黄子实体的营养成分有影响, SD 在营养成分方面均高于 SM, 证明段木培养基栽培的桑黄营养价值优于木屑栽培的桑黄。桑黄的主要药理活性成分为多糖、黄酮、三萜类物质, 具有抑制肿瘤、提高机体免疫力等作用^[21]。本研究对不同培养基栽培的桑黄多糖、黄酮、三萜含量进行了对比分析, 结果表明 SD 的多糖与三萜含量均高于 SM, 而黄酮含量为 SM 高于 SD, 证明段木培养基利于桑黄对多糖与三萜类成分的累积, 而木屑培养基更利于桑黄累积黄酮类成分。麦角甾醇、麦角甾酮作为真菌类物质的特定甾体类化合物, 是真菌类物质的标志性化合物, 麦角甾醇具有抗肿瘤、抗炎、降低胆固醇、治疗偏头痛等作用^[22-25], 麦角甾酮具有抗炎、利尿、缓解肺损伤、改善胃溃疡、治疗慢性肾病等作用^[26]。利用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)分析不同栽培基质桑黄的麦角甾醇、麦角甾酮含量表明, SM 麦角甾醇的含量高于 SD, 麦角甾酮的含量是 SD 高于 SM。提示未来在开发预防肿瘤、降血脂等产品可采用木屑培养基栽培的桑黄, 在开发预防和治疗胃溃疡、肺炎等方面产品时采用段木培养基栽培的桑黄。麦角甾醇是真菌细胞膜的主要成分, 在多种因素的作用下会氧化成麦角甾酮, 实验结果表明段木培养基适合麦角甾醇转化为麦角甾酮, 木屑培养基可能因为某些成分的缺乏等原因, 不利于麦角甾酮的转化。

抗氧化作用是桑黄的重要生物活性之一^[27]。本研究通过比较清除 DPPH、ABTS 自由基体外 IC₅₀ 值, 结果发现 SD 的醇提物清除 DPPH、ABTS 自由基的 IC₅₀ 值均小于 SM, 且醇提物浓度从 0.2 mg/mL 增加到 2.0 mg/mL 时, SD 对 DPPH 自由基的清除率始终高于 SM; 从 0.08 mg/mL 增加到 0.24 mg/mL 时, SD 对 ABTS 自由基的清除率始终高于 SM, 可得出 SD 的体外抗氧化能力高于 SM, 提示段木栽培的桑黄可用于开发天然高效的抗氧化剂。

综合以上研究, 鉴于不同栽培基质桑黄的活性产物及抗氧化活性存在差异, 可以根据所需活性成分的不同, 选取不同栽培基质的桑黄进行产品开发, 本研究为不同栽培基质桑黄的开发利用提供数据基础及理论依据, 也为桑黄栽培基质的进一步优化提供了科学的参考。

参考文献

- [1] 金乾坤. 长白山野生食用菌多糖抗突变作用的研究[D]. 延吉市: 延边大学, 2014.
JIN QK. Study on Antimutagenic effect of polysaccharide from wild edible fungi in Changbai mountain [D]. Yanji: Yanbian University, 2014.
- [2] 吴声华, 戴玉成. 药用真菌桑黄的种类解析[J]. 菌物学报, 2020, 203(5):

6-19.

WU SH, DAI YC. Species analysis of medicinal fungus *Phellinus igniarius* [J]. Mycosystema, 2020, 203(5): 6-19.

- [3] 曹红妹, 胡桂萍, 石旭平, 等. 药用真菌桑黄的研究进展[J]. 蚕业科学, 2019, 45(2): 285-292.
CAO HM, HU GP, SHI XP, et al. Research progress of medicinal fungus *Phellinus igniarius* [J]. Seric Sci, 2019, 45(2): 285-292.
- [4] YAN JK, WANG YY, WANG ZB, et al. Structure and antioxidative property of a polysaccharide from an ammonium oxalate extract of *Phellinus linteus* [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 91: 92-99.
- [5] 张维博, 王家国, 李正阔, 等. 药用真菌桑黄的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2014, 35(15): 2838-2845.
ZHANG WB, WANG JG, LI ZK, et al. Research progress of medicinal fungus *Phellinus igniarius* [J]. Chin J Chin Mater Med, 2014, 35(15): 2838-2845.
- [6] HUO JX, SUN YQ, ZHONG S, et al. *Sanghuangporus vaninii* safety evaluation of aqueous extracts of fruiting body in Sprague-Dawley rats [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(9): 5107-5113.
- [7] LI X, CHU FJ, JIANG SL, et al. Preliminary study on effect of *Phellinus igniarius* ethanol extract on serum uric acid metabolism and gut microbiome in rats [J]. Chin J Chin Mater Med, 2021, 46(1): 177-182.
- [8] DONG Y, QIU P, ZHU R, et al. A combined phytochemistry and network pharmacology approach to reveal the potential antitumor effective substances and mechanism of *Phellinus igniarius* [J]. Front Pharmacol, 2019, 10(4): 266.
- [9] KHAN RA, KHAN MR, SAHREEN S, et al. Assessment of flavonoids contents and *in vitro* antioxidant activity of *launea procumbens* [J]. Chem Cent J, 2012, 6(1): 43-43.
- [10] 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, 2020.
State Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [11] ANTHONY B, LYRA C, THOMAS J, et al. Bicinchoninic acid (BCA) assay in low volume [J]. Anal Biochem, 2011, 410(2): 310-312.
- [12] 戈延茹, 曹恒杰, 张晓兰, 等. 桑黄多糖的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2009, 12: 57-60.
GE YR, CAO HG, ZHANG XL, et al. Extraction technology of polysaccharides from *Phellinus igniarius* [J]. Food Res Dev, 2009, 12: 57-60.
- [13] 钱骅, 赵伯涛, 陈斌, 等. 桑黄子实体多糖、黄酮和多酚含量与抗氧化活性相关性[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 104-108.
QIAN H, ZHAO BT, CHEN B, et al. Correlation between the content of polysaccharides, flavonoids and polyphenols and antioxidant activity of *Phellinus igniarius* fruiting body [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(12): 104-108.
- [14] WU PF, DING R, TAN R, et al. Sesquiterpenes from cultures of the fungus *Phellinus igniarius* and their cytotoxicities [J]. Fitoterapia, 2020, 140(18): 104-415.
- [15] 王伟科, 宋吉玲, 闫静, 等. 采收期对代料栽培桑黄子实体活性成分含量和抗氧化活性的影响[J]. 菌物学报, 2020, 39(12): 2369-2379.
WANG WK, SONG JL, YAN J, et al. Effect of harvest time on the content of active components and antioxidant activity of *Phellinus igniarius*

- fruiting bodies cultivated with substitute materials [J]. *Mycosystema*, 2020, 39(12): 2369–2379.
- [16] 王金艳, 冯娜, 刘艳芳, 等. 灵芝孢子粉中麦角甾醇的测定分析及其脂溶性成分指纹图谱[J]. *菌物学报*, 2018, 37(9): 1215–1223.
WANG JY, FENG N, LIU YF, *et al.* Determination and analysis of ergosterol in *Ganoderma lucidum* spore powder and fingerprint of its fat soluble components [J]. *Mycosystema*, 2018, 37(9): 1215–1223.
- [17] 王珊珊, 孙晓琦, 马玉洁, 等. 响应面法优化黄浆水发酵液制备工艺及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(4): 45–51.
WANG SS, SUN XQ, MA YJ, *et al.* Optimization of preparation technology and antioxidant activity of yellow pulp water fermentation solution by response surface methodology [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(4): 45–51.
- [18] 张海芬, 高云涛, 那吉, 等. 8种水生蔬菜清除水溶性ABTS⁺自由基活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(6): 8–13.
ZHANG GF, GAO YT, NA J, *et al.* Scavenging activities of water-soluble ABTS⁺ free radicals from eight species of aquatic vegetables [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(6): 8–13.
- [19] 史帧婷, 包海鹰. 桑黄类真菌有效成分及功效研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2016, 22(22): 197–202.
SHI ZT, BAO HY. Research Progress on effective components and efficacy of *Phellinus igniarius* fungi [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2016, 22(22): 197–202.
- [20] YUAN QX, ZHAO LY, LI ZH, *et al.* Physicochemical analysis, structural elucidation and bioactivities of a high-molecular-weight polysaccharide from *Phellinus igniarius* mycelia [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 120: 1855–1864.
- [21] 李志军, 包海鹰. “桑黄”粗毛孔菌化学成分与药理作用研究进展[J]. *菌物研究*, 2021, 5(21): 1–11.
LI ZJ, BAO HY. Research advances on chemical constituents and pharmacological effects of “*Sanghuang*”—*Inonotus hispidus* [J]. *J Fungal Res*, 2021, 5(21): 1–11.
- [22] 王华林, 温万芬. 桑黄的药用价值研究进展[J]. *时珍国医国药*, 2015, 243(11): 193–196.
WANG HL, WEN WF. Research progress on medicinal value of *Phellinus igniarius* [J]. *Shizhen Nat Med*, 2015, 243(11): 193–196.
- [23] CORRÊA RCG, PERALTA RM, BRACHT A, *et al.* The emerging use of mycoesterols in food industry along with the current trend of extended use of bioactive phytosterols [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2017, (67): 19–35.
- [24] UMAÑA M, EIM V, GARAU C, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a β -glucan rich residue [J]. *Food Chem*, 2020, 332: 127390.
- [25] 刘宇光, 王欢, 王淑敏, 等. 药用真菌中麦角甾醇对偏头痛大鼠的作用机制[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(15): 327–331.
LIU YG, WANG H, WANG SM, *et al.* Effects of ergosterol from medicinal fungi on migraine rats [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(15): 327–331.
- [26] 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 Chinese Medicine, 2020.
- [27] 王钦博, 杨焱, 艾连中, 等. 药用真菌桑黄的抗氧化研究进展[J]. *食用菌学报*, 2011, 18(4): 99–104.
WANG QB, YANG Y, AI LZ, *et al.* The progress of antioxidant research on medicinal fungus *Phellinus igniarius* [J]. *Acta Edul Fungi*, 2011, 18(4): 99–104.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



李小欢, 硕士, 主要研究方向为药用微生物物质基础与药效学研究。
E-mail: lixiaohuancucm@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与药效学研究。
E-mail: wangsm@ccucm.edu.cn