

药用真菌香樟范氏孔菌的驯化栽培及生物学发育特征

杨雄, 赵长林*

西南林业大学生物多样性保护学院, 云南 昆明 650224

摘要: 本研究旨在实现香樟范氏孔菌 *Vanderbylia cinnamomea* 的袋料栽培驯化及筛选其最佳培养配方, 揭示子实体不同生长阶段生物学发育特征。选取工业大麻秸秆、天麻废材、杨木、栎木为培养料, 共设置 8 种配方开展试验, 期间观察不同时期子实体生长发育特征。香樟范氏孔菌驯化试验结果表明: 工业大麻秆和天麻废材无法实现香樟范氏孔菌的袋料栽培, 而工业大麻秆配方可产大量菌丝但不产生子实体, 其菌丝在基质上开始生长时间短、生长速度快; 以杨木、栎木为栽培基质可产生子实体, 实现该药用真菌的栽培驯化; 结实配方为栎木屑 70%、玉米芯 20%、辅料 10%, 温度 25 °C 左右, 菌丝满袋后全开口开袋, 湿度为 90%–95%, 早晚通风一次, 补充散射光, 该条件下成功驯化最大体积子实体。子实体不同生长阶段的生物学发育特征揭示, 子实体原基呈白色凸起状, 继而呈球状, 后体积渐膨大, 渐生成菌孔, 其颜色由白变浅黄至褐色, 32 d 后停止生长, 子实体发育成熟。

关键词: 木生真菌; 药用真菌; 子实体; 多孔菌; 西南地区

[引用本文] 杨雄, 赵长林, 2022. 药用真菌香樟范氏孔菌的驯化栽培及生物学发育特征. 菌物学报, 41(1): 59-67

Yang X, Zhao CL, 2022. Cultivation and biological characteristics of medical fungus *Vanderbylia cinnamomea*. Mycosystema, 41(1): 59-67

Cultivation and biological characteristics of medical fungus *Vanderbylia cinnamomea*

YANG Xiong, ZHAO Changlin*

College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China

Abstract: This study focuses on cultivation and domestication of *Vanderbylia cinnamomea*, screening the optimal culture formula and revealing the biological development characteristics of different growing stage of fruiting bodies of this fungus. Eight formulations were designed, using

基金项目: 云南省科技厅基础研究重点项目(202001AS070043)

Supported by the Yunnan Fundamental Research Project (202001AS070043).

*Corresponding author. E-mail: Fungichanglinz@163.com

Received: 2021-05-26, accepted: 2021-06-10

industrial hemp wastes, *Gastrodia elata* trash, sawdust of poplar and oak as culture substrate. The results showed that the industrial hemp wastes and *G. elata* trash were unable to cultivate *V. cinnamomea*; industrial hemp waste formula could produce luxuriant generative hyphae without formation of basidiomata, and the propagation of mycelia was fast; *V. cinnamomea* successfully fructified on poplar and oak sawdust substrate, and the substrate formulation was 70% oak sawdust, 20% corn cob, and 10% auxiliary materials; the optimal growth temperature was about 25 °C, and the humidity 90%–95%; it was needed to ventilate culture sack once in the morning and evening and to supplement the scattered light irradiation. The primordia formed in small white projection, and then formed a larger lump, then the fruiting body gradually formed; the fruiting body changed from white to light yellow finally to brown, and stopped growing and became mature in 32 days.

Keywords: wood-inhabiting fungi; medical fungus; fruiting body; polypore; southwest China

我国大型真菌资源丰富(戴玉成等 2021), 其中包括 1 000 多种食药真菌(戴玉成等 2010; Wu *et al.* 2019), 由于真菌营养方式不同, 并非所有的食药真菌均可人工驯化栽培, 由于多数珍贵野生食药菌与植物形成共生关系, 因此其不能实现驯化栽培, 可栽培的食药真菌通常为腐生菌。目前我国有 105 种食药菌可人工栽培, 但常见的驯化栽培食药菌仅有 20 多种(汤昕明等 2019)。

生物学特性研究是食药菌驯化栽培的关键(董彩虹等 2017), 如冬虫夏草成功培植是建立在冬虫夏草菌 *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora 与蝙蝠蛾幼虫生物学特性研究数据的基础上(李文佳等 2016); 药用真菌香栓菌 *Trametes suaveolens* (L.) Fr. 成功驯化栽培, 离不开对其生物学发育特征的研究(马列等 2019)。

香樟范氏孔菌 *Vanderbylia cinnamomea* C.L. Zhao 隶属于担子菌门 Basidiomycetes、伞菌纲 Agaricomycetes、多孔菌目 Polyporales、多孔菌科 Polyporaceae (Chen *et al.* 2020), 分布于中国西南地区, 其子实体一年生; 菌盖扇形, 长约 10 cm, 宽约 18 cm, 厚约 4.5 cm, 菌盖表面新鲜时浅褐色至褐色; 孔口圆形, 5–7 个/mm; 菌肉棉质; 菌丝系统二体系, 生殖菌丝具锁状联合结构; 担子棍棒状; 担孢子近球形至瓜子状, 无色, 厚壁, 光滑, 大小为 5–6×4–5 μm (Chen *et al.*

2020)。基于 ITS+nLSU 的范氏孔菌属系统发育树显示, 香樟范氏孔菌形成单独分支, 并与槐生范氏孔菌 *V. robiniophila* (Murrill) B.K. Cui & Y.C. Dai (槐耳) 和白蜡范氏孔菌 *V. fraxinea* (Bull.) D.A. Reid 聚为一支(Chen *et al.* 2020), 推测该物种与两近似物种具有相似的应用价值。槐耳为重要的药用真菌之一, 在我国广泛分布 (Cui *et al.* 2019; 吴芳等 2020), 其主要的有效成分为多糖类、甾体类和生物碱类(王雨曦和袁海生 2021), 主要通过抑制肿瘤细胞的生长与增殖、诱导肿瘤细胞凋亡、抑制血管新生、抑制肿瘤细胞侵袭与转移、调节多种癌基因与抑癌基因的表达、提高机体免疫力、逆转肿瘤细胞的耐药性等多种途径发挥抗肿瘤作用(Song *et al.* 2015; Zhao & Liu 2018; Li *et al.* 2020)。

通过对香樟范氏孔菌进行人工驯化栽培及生物学发育特性的研究, 旨在探索其袋料栽培驯化技术及最佳培养配方, 揭示子实体不同发育阶段生物学特征, 丰富我国药用真菌物种资源, 进而为香樟范氏孔菌的进一步开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株和培养基

1.1.1 供试菌株

本研究中的香樟范氏孔菌子实体于 2018 年

10 月采自云南省昆明市盘龙区昙华寺公园香樟活树上, 采集号为 CLZhao 8961, 现保存于西南林业大学标本馆(SWFC); 菌株分离于采集的子实体, 菌株编号 SWFU 000097, 现保存于西南林业大学标本馆菌种库(SWFC)。

1.1.2 培养基和菌种制备

麦芽汁培养基(MEA): 麦芽浸粉 20 g、葡萄糖 20 g、MgSO₄ 1 g、KH₂PO₄ 3 g、琼脂 20 g, 蒸馏水定容至 1 000 mL, pH 自然, 采用高温高压, 121 °C 灭菌 30 min, 备用; 将上述灭菌后的麦芽汁培养基无菌条件下倒平板, 待冷却凝固后接入试管种, 25 °C 避光静置活化培养 4–6 d; 将活化培养后的菌落边缘取 1 cm² 左右菌饼, 放入新平板培养基, 培养条件同上, 待长满平板后, 取菌落边缘约 1 cm² 左右的菌饼放入麦芽汁液体培养基中(配方同固体培养, 不加琼脂), 置于 26 °C、160 r/min 下进行摇瓶振荡培养; 培养后可获得用于接种袋料的二级液体菌种, 用灭菌后的玻璃棒在无菌条件下将菌丝球搅碎, 混匀后备用。

1.2 驯化栽培

1.2.1 栽培基质

每袋干基质总质量约为 300 g, 每个组设置 3 个重复。基质配比见表 1, 辅料配方: 麦麸 60%, 玉米粉 15%, 蔗糖 10%, 石膏 10%, KH₂PO₄ 2.5%,

MgSO₄ 2.5%。

1.2.2 袋料制作

将上述培养料按照比例称量后加水搅拌均匀, 水分含量控制在 60%–65% 间, pH 6.8–7.5。搅拌均匀后装入聚丙烯袋中, 每种配料做 3 个重复。装料完毕, 在培养料中间扎一孔直径约为 2 cm 通气, 促进菌丝生长。盖上盖子后于 121 °C 温度下, 高压灭菌 2 h; 放至室温后无菌条件下接入 30 mL 液体菌种。将接种过的菌袋放入消毒处理后的恒温恒湿培养箱中, 避光培养, 发菌初期温度 25 °C, 湿度 65%–70% (高源和李玉 2013; 王婷等 2016)。

1.2.3 催蕾阶段

菌丝满袋后, 调节培养箱湿度至 90%–95%。待菌丝在出菇套环口出现白色凸起时, 去掉塑料套环并以袋口全开方式进行开袋处理。

1.2.4 数据记录及处理

记录接入液体菌种后菌丝在培养基质上开始生长的时间, 计算菌丝生长速率, 菌丝生长速率=菌丝长度(cm)/生长天数(d); 子实体停止生长后用游标卡尺对每组子实体的长、宽、高进行测量。计算后取体积平均值进行比较, 筛选出最佳的培养料。数据处理采用软件 SPSS 26.0 计算平均值和标准差, 使用 Duncan's 分析各个配方之间的差异显著性。

表 1 香樟范氏孔菌栽培基质配比

Table 1 The formulation of cultivation substrate of *Vanderbylia cinnamomea*

基质配方编号 Cultivation substrate	大麻杆 Industrial hemp wastes (%)	天麻废材 <i>Gastrodia elata</i> trash (%)	杨木 Poplar sawdust (%)	栎木 Oak sawdust (%)	玉米芯 Corncob (%)	辅料 Supplemental material (%)
A	70	–	–	–	20	10
B	–	70	–	–	20	10
C	–	–	70	–	20	10
D	–	–	–	70	20	10
E (CK ₁)	90	–	–	–	–	10
F (CK ₂)	–	90	–	–	–	10
G (CK ₃)	–	–	90	–	–	10
H (CK ₄)	–	–	–	90	–	10

注: “–” 表示无该部分配料

Note: “–”, unadopted.

2 结果与分析

2.1 香樟范氏孔菌菌丝生长周期

将保存于试管的香樟范氏孔菌菌种(图 1A)接在 MEA 培养基上扩繁, 大约 7 d 长满培养皿的 2/3。在 MEA 培养基上菌丝洁白致密, 呈辐射状, 靠近中心区域为白色绒毛状(图 1B, 1C), 在生长过程中均无色素出现。将扩繁菌种接种在液体培养基中, 试验发现在麦芽汁液体培养基中菌丝生长良好, 14 d 后长满海胆状的菌丝球(图 1D), 该过程中无色素出现, 在发酵过程中液体培养基逐渐变澄清透明, 表明液体培养基中的大部分营养被消耗利用, 当培养液变透明时菌丝球停止生长, 此时可进行下一步的驯化栽培接种。

2.2 驯化栽培

2.2.1 发菌期

袋料接种液体菌种后, 保持培养箱湿度在 75%左右, 发菌温度控制在 25 °C 左右, 避光培养, 在 8 种培养基质中, 菌丝均能够正常生长,

其具体情况见表 2, 菌丝在袋料中的蔓延生长呈白色绒毛状(图 2A), 满袋后菌丝洁白紧密(图 2B); 其中配方 A 与配方 E(CK₁)在接种后菌丝开始萌发的时间最短, 仅为 3 d, 菌丝生长速度显著快于其他配方, 其生长速度最快为 1.17 cm/d, 分析揭示在添加玉米芯(20%)后对菌丝的生长速度影响差异不显著。菌丝生长最慢的为配方 D 与配方 H(CK₄), 其菌丝生长速度依次为 0.57、0.53 cm/d, 其于对照组间生长速度没有显著性差异, 相对于其他培养基质, 该组菌丝生长速度均慢于其他组, 且差异显著。

2.2.2 催蕾阶段

菌丝满袋后, 调节培养箱湿度至 90%–95%, 补充散射光, 菌丝在出菇套环口出现白色菌凸, 此时去掉塑料套环并对菌袋进行袋口全开方式开袋处理。

2.2.3 原基期

B, C, D, G(CK₃), H(CK₄)5 组在开袋 6 d 左右白色菌凸开始生长变为半球形原基, 原基上有大量绒毛状菌丝、无菌孔, 原基继续生

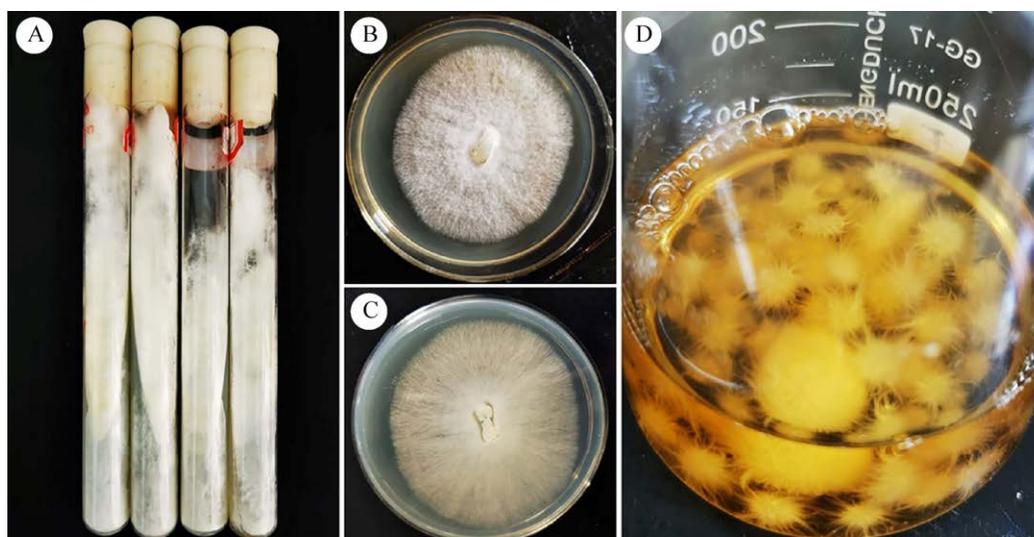


图 1 香樟范氏孔菌的菌丝培养 A: 试管种; B: MEA 培养基扩繁菌种(正面); C: MEA 培养基上扩繁菌种(反面); D: 液体发酵培养形成的菌丝球

Fig. 1 Mycelial of *Vanderbylia cinnamomea*. A: Colony of slant culture (inoculum); B: Colony on MEA medium (obverse side); C: Colony on MEA medium (reverse side); D: Hyphal ball formed in liquid fermentation.

表 2 不同基质配方对香樟范氏孔菌菌丝生长、形态和子实体的影响

Table 2 Effects of different cultivation substrate on mycelial growth rate, colony morphology and fruiting body of *Vanderbylia cinnamomea*

基质配方编号 Cultivation substrate	菌丝生长时间 Mycelial growth time (d)	菌丝日生长速率 Mycelial growth rate (cm/d)	菌丝形态 Colonial morphology	子实体体积 Fruiting body volume (cm ³)
A	3	1.11±0.05 ab	洁白紧密 Pure white, dense	—
B	5	0.83±0.13 d	洁白紧密 Pure white, dense	18.79±3.47 b
C	5	0.92±0.04 cd	洁白紧密 Pure white, dense	18.74±0.65 b
D	6	0.57±0.6 e	洁白紧密 Pure white, dense	32.51±3.29 a
E (CK ₁)	3	1.17±0.08 a	洁白紧密 Pure white, dense	—
F (CK ₂)	4	1.01±0.06 bc	洁白紧密 Pure white, dense	—
G (CK ₃)	4	1.03±0.09 abc	洁白紧密 Pure white, dense	10.28±2.75 c
H (CK ₄)	5	0.53±0.09 e	洁白紧密 Pure white, dense	18.05±0.67 b

注：表中数据为平均值±标准差(n=3)，同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)；“—”表示无子实体

Note: Values are the means ± SD (n=3), different letters in the same column show significant difference at P<0.05 level; “—” indicates no fruiting body.



图 2 袋料栽培菌丝生长情况 A: 菌丝生长中; B: 菌丝长满

Fig. 2 Mycelial growth in bag culture. A: Dense growth of mycelia; B: Bagful growth of mycelia.

长，保持湿度 90%–95%、散射光照射、早晚通风。A、E (CK₁)、F (CK₂)3 组在开袋后菌凸停止生长，菌凸及边缘变为了一层菌膜，开始生长时为白色，在开袋后 23 d 左右变为黄色，在变色后停止生长，且无菌孔出现。

2.2.4 出菇期

在原基膨大后进入出菇期，此阶段子实体生长较快，此阶段若温度过高、湿度过低菇蕾发育停滞，此时培养箱内空气相对湿度依旧保持在 90%–95%、散射光照射，保证通风，供给足够的氧气，在 19 d 左右球形原基出现菌孔，且菌孔中出现黄色的液体代谢物，此时菌丝均为白色，在开袋后 30 d 左右子实体开始由白色变为黄色，在凸起的菌组织及其周围均有菌孔分布，在变色后子实体停止生长。

配方 B、C、D、G (CK₃)、H (CK₄)在一定条件下均可生长出香樟范氏孔菌子实体，待子实体停止生长时，测定其体积求平均值(表 2)。配方 B 子实体体积为 18.79 cm³，而对照组 F (CK₂)未分化出子实体，其原因可能为天麻废材在被天麻吸收利用后，其菌材的营养物质大部分被吸收利用，不能继续为香樟范氏孔菌的生长发育提供足够的营养，在添加辅料和玉米芯后，可

长出子实体,前人的研究也得出类似结果(冯小飞等 2020)。配方 C 子实体体积为 18.74 cm^3 ,与配方 B、H (CK₄)子实体体积无显著性差异,但其对照组 G (CK₃)子实体体积仅为 10.28 cm^3 ,与其他组相比子实体较小,且差异显著。配方 D 与对照组 H (CK₄)子实体体积差异较大,配方 D 的子实体体积为 32.51 cm^3 ,在以 4 种不同材料为主要培养基质的 8 种培养配方中子实体平均体积最大,且与其他组差异显著,而其对照 H (CK₄)组为 18.05 cm^3 。香樟范氏孔菌为木生真菌,其原因可能是在添加 20%玉米芯后为菌丝前期的生长提供了营养,为后续的木质素纤维素降解创造一定的条件。

综上所述,本研究以工业大麻秆、天麻废材、杨木和栎木为主要栽培材料,设置了 8 种配方进行香樟范氏孔菌的栽培试验,试验结果发现以杨木、栎木为主要培养基质的配方在一定条件下均可结出子实体,其中以配方 D [栎木 70%,玉米芯 20%、辅料 10% (辅料配比为麦麸 60%,玉米

粉 15%,蔗糖 10%,石膏 10%, KH_2PO_4 2.5%, MgSO_4 2.5%)]长出的子实体平均体积最大,且同其他组相比差异显著;以大麻秸秆为主要培养基质的配方菌丝生长时间最短,菌丝生长速度最快,但后续未能生长分化出子实体。本研究在 4 种不同材料为主要培养基质的 8 种培养配方中筛选出一种最佳配方用于香樟范氏孔菌的人工栽培。

2.3 子实体发育特征

本研究中香樟范氏孔菌子实体发育不需要低温刺激,在出现白色凸起菇蕾时,后续发育温度在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,培养箱湿度保持在 90%–95% 之间,并早晚通风一次,每次 1 h,保证氧气的充足,保持散射光照射,菌丝铺满菌袋后全开口开袋,在开袋 5–7 d 后,袋口菌丝开始向上扭结生长,形成白色菌凸起,明显高于袋口培养基质,在 12 d 后菌凸起逐渐生长分化为球形菌组织,上有大量白色绒毛状菌丝,在球形的菌组织上又生长出新的小凸起(图 3A); 19 d 后在球形菌组

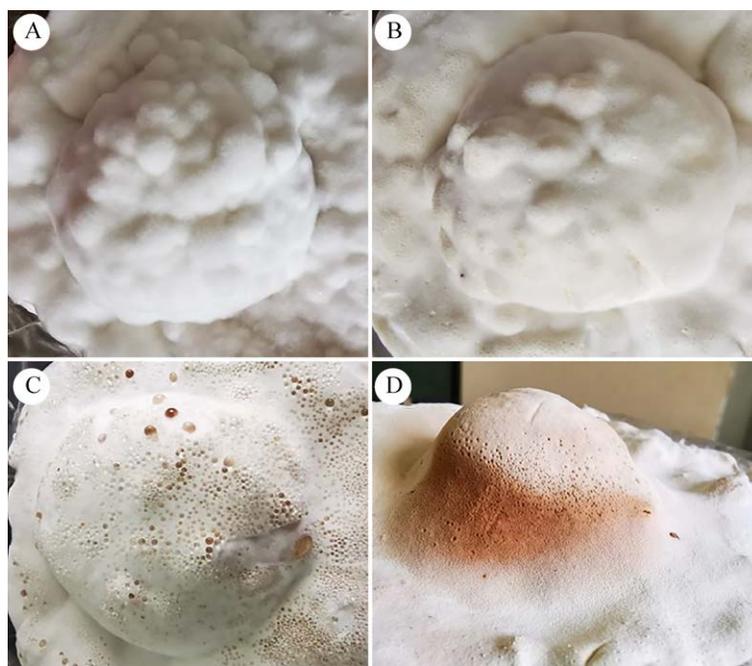


图 3 香樟范氏孔菌子实体发育过程 A: 开袋 15 d; B: 开袋 19 d; C: 开袋 23 d; D: 开袋 32 d

Fig. 3 Development process of fruiting body of *Vanderbylia cinnamomea*. A: 15 days; B: 19 days; C: 23 days; D: 32 days.

织及周围区域发育出大量孔口宏观结构,进而可以判断该球形菌组织为香樟范氏孔菌子实体,此时菌丝颜色相较于刚开袋时颜色较深,呈米白色(图 3B),在 23 d 后,出现黄色代谢液体,此时球形子实体上有少量白色绒毛菌丝生长(图 3C),32 d 后子实体变为褐色,但是其中间部分颜色较深,表面具大量菌孔(图 3D),此时子实体停止生长,即使湿度维持在 95%左右,在子实体变大的过程中,菌袋质量逐渐变轻,木屑呈现腐朽易碎特性。在子实体发育过程中,湿度过低会导致发育停止,湿度过高会形成水滴在菌袋及菌孔处积累阻止其呼吸,长时间被水浸泡菌丝会裂解腐烂,因此控制湿度至关重要,期间保持足够通风,促进子实体发育阶段供给充足的氧气。

通过培养菌丝镜检,可见锁状联合结构(图 4A),对栽培子实体切片观察,可见大量树

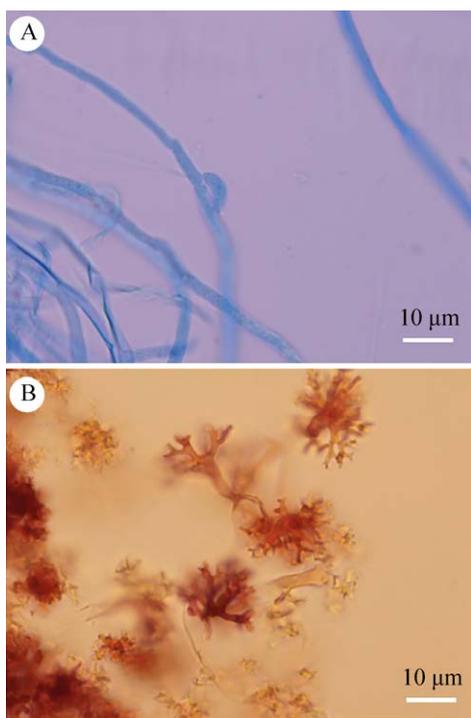


图 4 菌丝显微结构 A: 锁状联合; B: 树状菌丝
Fig. 4 Microscopic structures of *Vanderbylia cinnamomea*. A: Clamped connection; B: Arboriform hyphae.

状菌丝结构(arboriform hyphae),其微观形态特征与香樟范氏孔菌子实体微观结构特征相同(Chen *et al.* 2020)。

3 讨论

香樟范氏孔菌为近年在我国西南地区发现的新药用木生真菌(Chen *et al.* 2020),该属真菌含有活性真菌多糖,在医药及临床上具有潜在开发价值(王欢等 2019; 郭璐等 2021; 王豪等 2021),对木生药用真菌的驯化栽培主要选用阔叶树木屑(高源和李玉 2013; 王婷等 2016; 马列等 2019)。本研究成功对该药用真菌进行驯化栽培,发现并成功筛选适合出菇的最优配方: 栎木 70%, 玉米芯 20%、辅料 10% (辅料配比为麦麸 60%, 玉米粉 15%, 蔗糖 10%, 石膏 10%, KH_2PO_4 2.5%, MgSO_4 2.5%), 不同药用真菌栽培基础碳源、氮源、微量元素成分较相似(刘春静等 2005),但香樟范氏孔菌对栎木较青睐,其主要原因可能与栎木木质素含量较高有关。

农林秸秆是食药菌栽培的常用成分之一。马列等(2019)采用秸秆为主要栽培基质种植香栓菌,其菌丝生长快速,但后续发育停滞,菌丝不再继续分化。本研究以大麻秸秆为主配方显示: 菌丝生长速度最快,但未结出子实体; 唐晓莉和马云飞(2010)对大麻秸秆开展化学组分测定,发现大麻秸秆的综纤维素含量为 79.91%, 酸不溶木质素含量为 19.16%, 木质素含量较少; 香樟范氏孔菌是木生真菌(Chen *et al.* 2020), 本研究以大麻秸秆为主配方不能结出子实体,其原因可能是由于大麻秸秆含较低的木质素,不能为香樟范氏孔菌子实体发育提供足够的营养补给。

有的药用菌子实体发育需要低温刺激,例如香栓菌(马列等 2019),而本研究中的香樟范氏孔菌子实体无需低温刺激便可实现子实体发育成熟,生成的子实体具子实层体,但未见菌盖,其

微观结构特征与野生香樟范氏孔菌性状一致, 子实体宏观特征差异的原因可能与其生长条件, 如昼夜温差、温度、湿度、营养条件等有关。

槐耳与香樟范氏孔菌分类地位较近(Chen *et al.* 2020), 槐耳次生代谢产物主要成分为多糖类, 其药用功能及价值体现在抗肿瘤、抗氧化等药效, 其单味药物及提取物作为癌症辅助治疗药物用于原发性肝癌的治疗(王雨曦和袁海生 2021), 香樟范氏孔菌为我国本土新物种, 其形态学与分子系统发育学研究已清晰明确(Chen *et al.* 2020), 其次生代谢产物可能与槐耳较为接近, 需要进一步深入研究。

[REFERENCES]

- Chen JZ, Yang X, Zhao CL, 2020. *Vanderbylia cinnamomea* sp. nov. from southwestern China. *Mycotaxon*, 135: 371-382
- Cui BK, Li HJ, Ji X, Zhou JL, Song J, Si J, Dai YC, 2019. Species diversity, taxonomy and phylogeny of Polyporaceae (Basidiomycota) in China. *Fungal Diversity*, 97: 137-302
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29(1): 1-21 (in Chinese)
- Dong CH, Liu QZ, Zhang JJ, 2017. Research progress on important edible and medicinal fungi in China over the last decade. *Journal of Microbiology*, 37(4): 1-9 (in Chinese)
- Feng XF, Zhao N, Sun ZY, Li J, Chen YH, Yang B, 2020. Study on the 3 kinds of edible fungi culture with the wood residues of *Gastrodia elata*. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 40(4): 163-168 (in Chinese)
- Gao Y, Li Y, 2013. Selected biological characteristics and artificial cultivation of *Polyporus brumalis*. *Acta Edulis Fungi*, 20(2): 25-27 (in Chinese)
- Guo L, Wang YW, Zhang SB, Liu S, Wang XL, Liu GQ, 2021. A preliminary study on co-fermentation of *Sanghuangporus lonicericola* and *Cordyceps militaris* to produce fungal polysaccharides. *Mycosystema*, 40(4): 965-976 (in Chinese)
- Li C, Wang XL, Chen T, Wang W, Yang QF, 2020. *Trametes robiniophila* Murr. in the treatment of breast cancer. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 128: 110254
- Li WJ, Dong CH, Liu XZ, Li QP, Xia JM, Liang L, 2016. Research advances in artificial cultivation of Chinese cordyceps. *Mycosystema*, 35(4): 375-387 (in Chinese)
- Liu CJ, Zhang XY, Dai YC, Wei YL, 2005. Artificial culture of *Phellinus baumii*. *Mycosystema*, 24(4): 306-309 (in Chinese)
- Ma L, Bao HY, Han Y, Hu RW, Bau T, Li Y, 2019. Cultivation and biological characteristics of *Trametes suaveolens*. *Mycosystema*, 38(2): 187-194 (in Chinese)
- Song X, Li Y, Zhang H, Yang Q, 2015. The anticancer effect of huaier. *Oncology Reports*, 34: 12-21
- Tang XL, Ma LF, 2010. Physical properties and chemical composition of a hemp core. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 27(5): 794-798 (in Chinese)
- Tang XM, Feng YL, Guo X, Ma M, Chen ZQ, Wu SR, 2019. Current situation and development trend of edible medicinal fungi in China. *Northern Horticulture*, 2019(8): 148-153 (in Chinese)
- Wang H, Chen CB, Zhang B, Tong XD, Wang SM, Li Y, 2019. Antioxidant activities and extraction technique optimization of crude polysaccharides from the fruiting body of *Floccularia luteovirens*. *Mycosystema*, 38(10): 1681-1688 (in Chinese)
- Wang H, Qian K, Si J, Cui BK, 2021. Research advances on polysaccharides from sanghuang. *Mycosystema*, 40(4): 895-911 (in Chinese)
- Wang T, Bao HY, Bau T, Li Y, 2016. Biological characteristics and cultivation of *Inonotus hispidus* parasitizing on *Ulmus macrocarpa* var. *mongolica*. *Mycosystema*, 35(6): 694-704 (in Chinese)
- Wang YX, Yuan HS, 2021. Research progress on chemical constituents and anti-tumor effects of Huaier (*Vanderbylia robiniophila*). *Mycosystema*, 40(3): 411-422 (in Chinese)
- Wu F, Yuan HS, Zhou LW, Yuan Y, Cui BK, Dai YC, 2020. Polypore diversity in South China. *Mycosystema*, 39(4): 653-681 (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98: 1-76
- Zhao Y, Liu Y, 2018. A mechanistic overview of herbal medicine and botanical compounds to target transcriptional factors in breast cancer. *Pharmacological Research*, 130: 292-302

[附中文参考文献]

- 戴玉成, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员瑗, 司静, 2021. 中

- 国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. 菌物学报, 40(4): 770-805
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. 菌物学报, 29(1): 1-21
- 董彩虹, 刘奇正, 张娇娇, 2017. 近十年中国重要食药菌研究进展. 微生物学杂志, 37(4): 1-9
- 冯小飞, 赵宁, 孙紫宇, 李俊, 陈玉惠, 杨斌, 2020. 利用天麻废弃菌材栽培 3 种食用菌的试验. 西南林业大学学报(自然科学版), 40(4): 163-168
- 高源, 李玉, 2013. 冬生多孔菌生物学特性及驯化. 食用菌学报, 20(2): 25-27
- 郭璐, 王雅葳, 张少冰, 刘帅, 王晓玲, 刘高强, 2021. 忍冬桑黄和蛹虫草共发酵联产真菌多糖初步研究. 菌物学报, 40(4): 965-976
- 李文佳, 董彩虹, 刘杏忠, 李全平, 夏金明, 梁蕾, 2016. 冬虫夏草培植技术研究进展. 菌物学报, 35(4): 375-387
- 刘春静, 张晓阳, 戴玉成, 魏玉莲, 2005. 鲍氏层孔菌培养条件的研究. 菌物学报, 24(4): 306-309
- 马列, 包海鹰, 韩玉, 胡日瓦, 图力古尔, 李玉, 2019. 香栓菌的驯化栽培及生物学发育特征. 菌物学报, 38(2): 187-194
- 汤昕明, 冯云利, 郭相, 马明, 陈正启, 吴素蕊, 2019. 我国食药菌栽培现状分析及展望. 北方园艺, 2019(8): 148-153
- 唐晓莉, 马灵飞, 2010. 大麻秆芯的物理性质和化学组分. 浙江林学院学报, 27(5): 794-798
- 王豪, 钱坤, 司静, 崔宝凯, 2021. 桑黄类真菌多糖研究进展. 菌物学报, 40(4): 895-911
- 王欢, 陈长宝, 张波, 佟希丹, 王淑敏, 李玉, 2019. 响应面法优化黄绿卷毛菇子实体多糖的提取工艺及其体外抗氧化活性研究. 菌物学报, 38(10): 1681-1688
- 王婷, 包海鹰, 图力古尔, 李玉, 2016. 寄生于蒙古黄榆上的粗毛纤孔菌生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 35(6): 694-704
- 王雨曦, 袁海生, 2021. 槐生拜尔孔菌(槐耳)的化学成分及其抗肿瘤活性研究进展. 菌物学报, 40(3): 411-422
- 吴芳, 袁海生, 周丽伟, 员媛, 崔宝凯, 戴玉成, 2020. 中国华南地区多孔菌多样性研究. 菌物学报, 39(4): 653-681