

不同液体培养基质与模式对星孢寄生菇生长发育的影响

彭泽琴, 唐荣平, 周会明, 王 婷, 肖龙滨, 王 颖, 朱远爱, 崔羽彤, 李贤林

(滇西科技师范学院生物技术与工程学院 云南临沧 677000)

摘要: 为探究星孢寄生菇的生长发育过程及其与基质的关系, 采用液体摇瓶与静置发酵的方法, 分析了 12 种发酵基质对该菇个体发育的影响。结果表明, 木屑基质上该菇在摇瓶培养中菌丝萌发和菌球形成的时间长且经静置培养后所有子实体上布满厚垣孢子的周期最短(14 d), 而鸡粪基质上周期最长, 棉籽壳、黑豆、香菇以及灰肉红菇基质上子实体发育最为正常。发酵液 pH 从菌丝生长期至厚垣孢子形成期逐渐增加, 其体积逐渐减小且在不同基质上因发育时期的不同差异较大。菇类与黑豆有利于该菇摇瓶发酵阶段生物量的积累, 棉籽壳与菌糠可以促进静置发酵阶段的生物量, 木屑、灵芝及菌糠有利于提高其绝对生物学效率与菌球形成率。综上所述, 营养因子的变化直接影响星孢寄生菇的形态发生、菌体转化、厚垣孢子形成等生长发育过程, 研究结果可为加快其他珍稀菇类的开发利用进程提供理论参考。

关键词: 星孢寄生菇; 液体基质; 摇动培养; 静置培养; 个体发育

中图分类号: S646.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-2871(2023)12-085-08

Effects of different liquid fermentation matrix and modes on the growth and development of *Asterophora lycoperdoides*

PENG Zeqin, TANG Rongping, ZHOU Huiming, WANG Ting, XIAO Longbin, WANG Ying, ZHU Yuan'ai, CUI Yutong, LI Xianlin

(School of Biotechnology and Engineering, West Yunnan University, Lincang 677000, Yunnan, China)

Abstract: To explore the growth and development process of *Asterophora lycoperdoides* and its relationship with matrix, the effects of 12 culture matrix on its the ontogenetic development were analyzed using the liquid shake flask and static fermentation. The results showed that the time of mycelium germination and ball formation of *A. lycoperdoides* was long in shake flask culture on sawdust matrix, and the cycle of all fruiting bodies covered with chlamydo spores was the shortest (14 d) after static culture, while the cycle on the chicken manure matrix was the longest. The fruiting bodies on the matrix of cottonseed husk, black beans, *Lentinus edodes* and *Russula griseocarnosa* matrix were the most normal. The pH value of the culture liquid increased gradually from mycelial growth period to chlamydo spore formation period, and its volume decreases gradually and varies greatly in different matrix due to different development period. Mushrooms and black beans are conducive to the accumulation of its biomass in the shake flask fermentation stage, cottonseed husk and fungus chaff can promote the biomass in the static culture stage, sawdust, *Ganoderma lucidum* and fungus chaff are conducive to improve the absolute biological efficiency and the formation rate of mycelium balls. In conclusion, the changes of nutritional factors directly affect the growth and development process and results of *A. lycoperdoides*, such as morphogenesis, thallus transformation, and chlamydo spore formation, which provides a theoretical reference for accelerating the development and utilization of other rare mushrooms.

Key words: *Asterophora lycoperdoides*; Liquid matrix; Shaking culture; Static culture; Ontogeny

星孢寄生菇(*Asterophora lycoperdoides*)是一种兼有寄生与腐生营养方式的寄生菇属(*Asterophora*)真菌, 既寄生于红菇属真菌黑菇(*Russula adusta*)、

稀褶黑菇(*R. nigricans*)、密褶黑菇(*R. densifolia*)等变黑且腐烂的子实体菌盖中央、菌褶及菌柄之上并拥有担孢子与厚垣孢子两大孢子体系, 又在人工培

收稿日期: 2023-05-27; 修回日期: 2023-09-11

基金项目: 云南省地方本科高校(部分)基础研究联合专项面上项目[2019FH001(-059)]

作者简介: 彭泽琴, 女, 副教授, 研究方向为大型真菌种质资源开发利用。E-mail: 53748551@qq.com

通信作者: 周会明, 男, 副教授, 主要从事食用菌驯化、遗传及栽培研究工作。E-mail: 632243530@qq.com

培养基比普通菇类更容易栽培出菇^[1-2]。营养生理是众多野生珍稀菇类人工驯化解决的首要问题,个体发育是菇类营养生理在菌体转化与形态发生不同阶段的直观体现,独特的营养方式又是菇类基于遗传特性对外界营养胁迫的一种生存适应性,因此,独特的星孢寄生菇是研究担子菌个体发育的理想材料,探究营养因子变化对其个体发育的影响,有助于弄清该菇生长发育过程及其与基质的关系,同时也为弄清其他腐生与寄生野生菇类营养需求机制提供有利的理论参考。

目前,针对星孢寄生菇的种质资源评价^[3]、形态学分类^[4]、亲缘关系分析^[5]等研究报道居多,而有关营养生理的研究比较滞后。王建东等^[6]采用固体基质培养法对其基础培养基、碳氮源、pH 以及温度仅进行了初步试验,然而,目前诸多野生菇类生长环境遭到人为破坏^[7]且未受到有效保护与利用^[8],菇类个体发育因缺乏合适的材料已成为食用菌领域研究的难点^[9],且受外界条件^[10-14]与内在因素^[15-16]的影响极为显著。因此,针对星孢寄生菇个体发育与营养基质关系的研究,寻找影响菇体驯化出菇的营养障碍,对开发其他珍稀菇类有重要的参考意义。

菇类的个体发育过程受营养条件影响较大^[17-19]。液体培养比固体培养更容易观察和测定菇类菌丝体的生长变化情况。笔者基于星孢寄生菇容易培养出菇的特性,采用液体摇动与静置培养相结合的方法,分析了营养变化对该菇整个生活史中菌丝生长期、子实体形成期、厚垣孢子形成期3个重要时期生长发育过程的影响,以期对其他珍稀大型真菌的开发利用提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 星孢寄生菇保存于云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所,菌株编号:YAASM4665。新鲜的水葫芦采集于滇西科技师范学院人工湖,灵芝、荷叶离褶伞、香菇由食用菌课题组提供新鲜完整子实体和灵芝菌糠,剩余添加材料均购买于云南省临沧市批发市场。

1.1.2 培养基 以基础培养基(马铃薯 200 g、蔗糖 20 g、水 1 L, pH 自然)为对照配方 1,添加经 200 目筛且 80 °C 下烘干处理的水葫芦(配方 2)、木屑(配方 3)、棉籽壳(配方 4)、鸡粪(配方 5)、黑豆(配方 6)、菌糠(配方 7)、灵芝(配方 8)、荷叶离褶伞(配方

9)、香菇(配方 10)、野生香菇(配方 11)、灰肉红菇(配方 12)的超细粉各 3 g 依次制备成液体培养基配方,取 100 mL 培养液分装于 250 mL 的三角瓶中,每处理 9 次重复,采用封口膜及 4 层报纸封口,121 °C 下灭菌 30 min,冷却至 30 °C 左右接种。

1.2 方法

1.2.1 菌株活化与接菌 试验于 2022 年 5 月在滇西科技师范学院食用菌实训室内进行。将该菇母种在室温下培养 6 d,然后接种于 PSA(马铃薯 200 g、蔗糖 20 g、琼脂 20 g、水 1 L, pH 自然)培养基平板中,于 25 °C 下培养 7 d。在无菌操作下取 5 块直径 5 mm 的同心圆菌落接入上述液体培养基内^[20]并将摇瓶置于摇床内在 25 °C 下静置培养。

1.2.2 液体摇动培养 摇瓶静置培养 24 h 后,调节摇床转速,在 150 r·min⁻¹ 下进行摇动培养,记录菌丝萌发和菌球形成的时间(d)。培养 12 d 后,每组随机选取 3 个摇瓶,测定菌丝形成期培养液的体积(mL)、pH、颜色、气味,菌球颜色、形状、气味、数量(个·mL⁻¹)、直径(mm)及生长速度(mm·d⁻¹)。将菌球(培养液经 5 层纱布过滤)在 80 °C 下烘干至恒质量,然后称质量即菌球生物量(mg·mL⁻¹)^[21]。菌球形成率/%=菌球干质量/基质干质量×100。

1.2.3 液体静置培养 在培养物经摇动培养 12 d 后转为静置培养,记录其表面原基、菌膜、菇蕾、幼菇、厚垣孢子初期(第一朵子实体出现厚垣孢子)、厚垣孢子中期(超过 1/2 的子实体出现厚垣孢子)、厚垣孢子后期(全部子实体出现厚垣孢子)形成时间(d)。当菌液表面出现 10~25 个子实体时,随机选取 3 瓶培养物,测定子实体形成期上述各项参数,菌膜与子实体生物量的测定方法与菌球生物量相同,生物量=菌球生物量+菌膜生物量+子实体生物量,绝对生物学效率/%=子实体鲜质量/基质干质量×100。当培养物表面所有子实体均出现厚垣孢子时为厚垣孢子形成期,测定参数同 1.2.2。

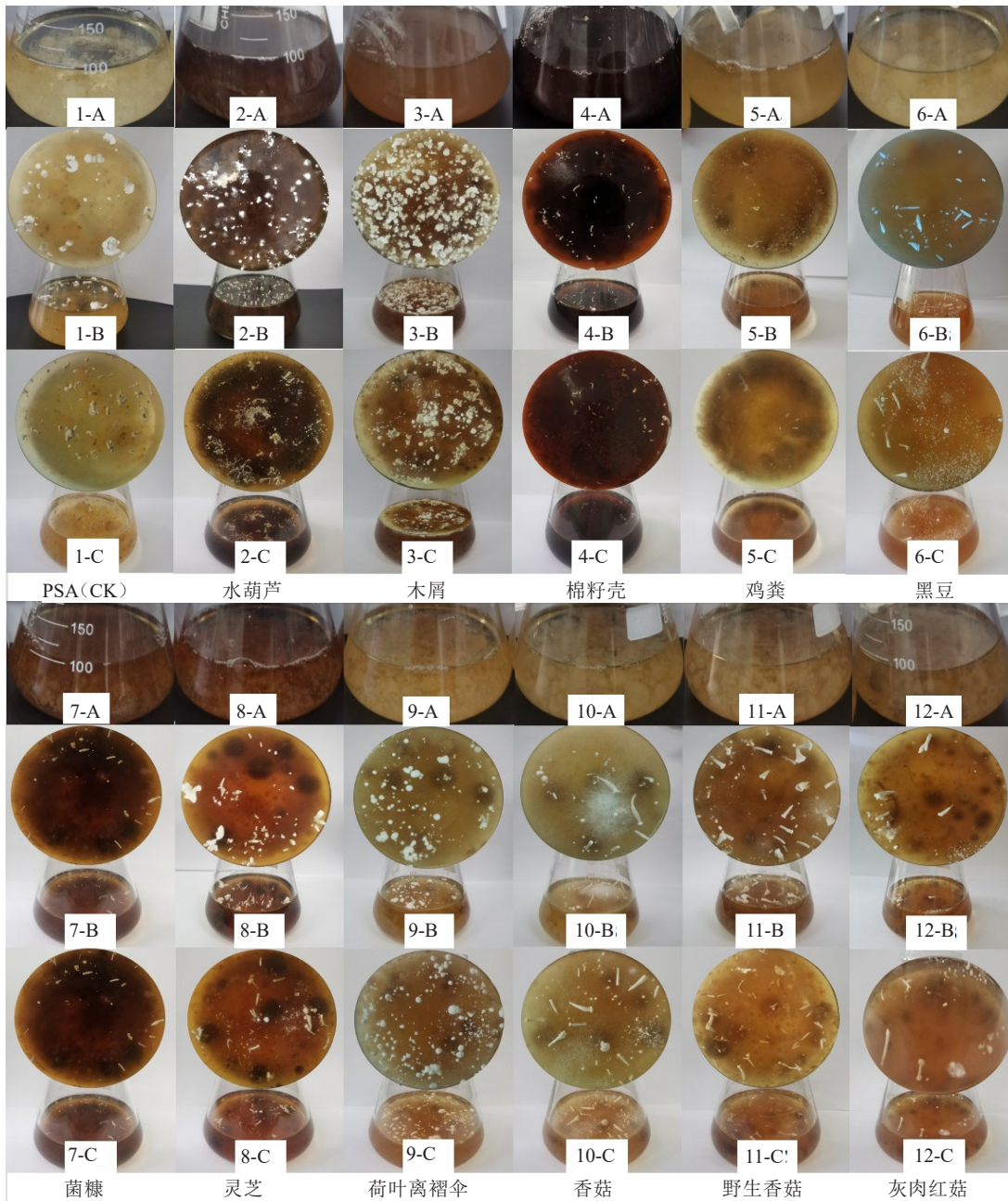
1.3 统计分析

采用 SPSS 19.0 统计软件对上述试验结果进行差异显著性分析^[22]。

2 结果与分析

2.1 不同液体基质对星孢寄生菇个体发育的影响

由图 1 可知,不同基质对该菇 3 个发育时期的培养液色泽、菌球、菌膜等生长特征、周期、颜色及气味影响较大。添加棉籽壳、黑豆、香菇以及灰肉



注：“1~12”代表配方编号，其中“A、B、C”分别代表菌丝生长期、子实体形成期、厚垣孢子形成期。

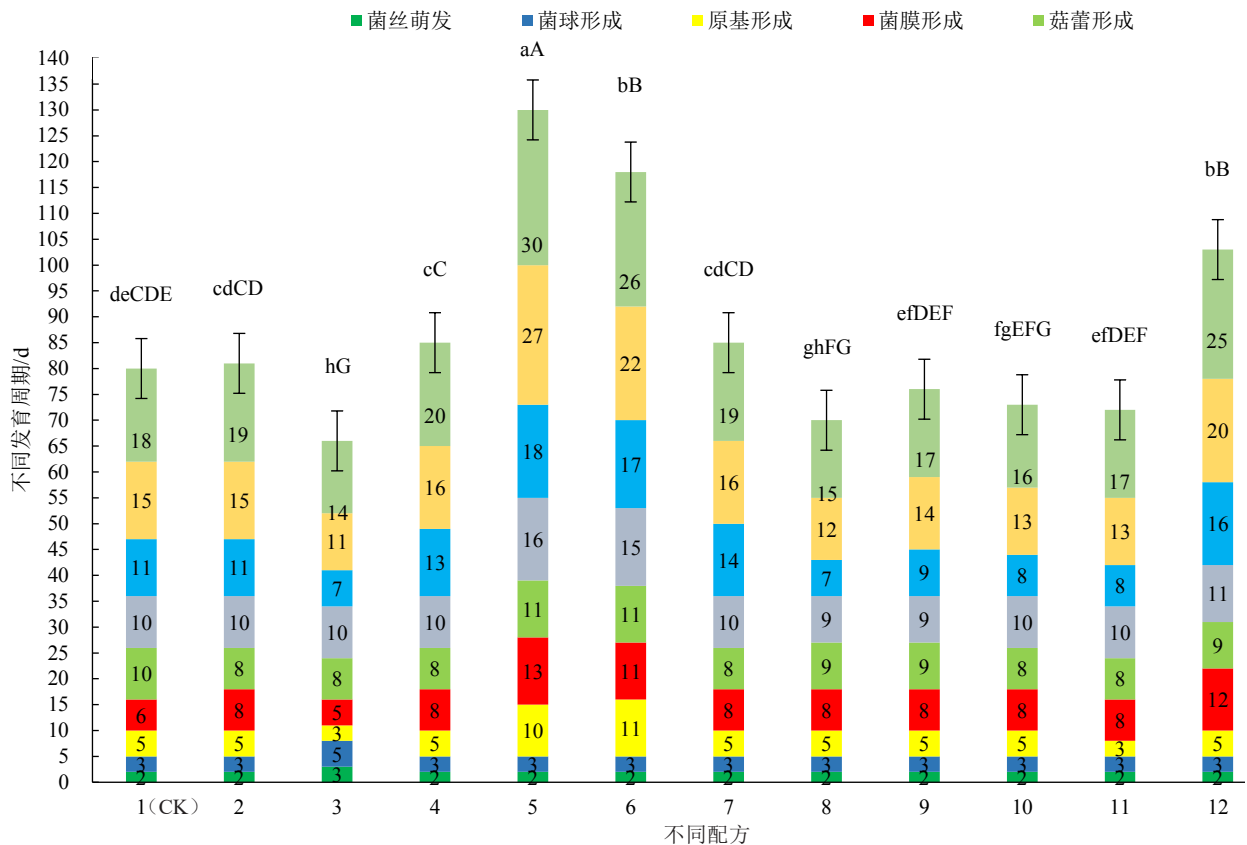
图1 不同基质对星孢寄生菇发育特征的影响

Fig. 1 Effects of different matrix on the developmental characteristics of *Asterophora lycoperdoides*

红菇的基质上该菇子实体发育正常,其余基质上均出现不同程度的畸形菇,以木屑与荷叶离褶伞基质畸形菇最为严重。培养液多为淡黄色、腐木味或菇香味;菌球以枯茶色、腐木味、球形略多,但添加木屑、棉籽壳、菌糠的基质中菌球为椭圆形;菌膜在子实体形成期主要为亚麻色与淡黄色,厚垣孢子形成期以香色、亚麻色及练色为主,添加黑豆的基质上为淡黄色,添加荷叶离褶伞与野生香菇的基质上为亚麻色,添加菇类的基质上以亚麻色居多;子实体在其形成期以灰白色、菇香味为主,少数为白色、无

味;厚垣孢子形成期以肌色为主,部分乳白色、灰白色及象牙色,菇香味,添加黑豆的基质上为灰白色,越到后期其菇香味越明显。

液体摇动培养阶段,与对照相比,除添加木屑的基质不利于该菇菌丝萌发(3 d)和菌球形成(5 d)外,在其他基质上菌丝萌发(2 d)和菌球形成(3 d)的时间相同(图2)。液体静置培养阶段,该菇在不同基质上从原基形成至所有子实体上出现厚垣孢子的周期由长至短依次为添加鸡粪、黑豆、灰肉红菇、棉籽壳、菌糠、水葫芦、对照、荷叶离褶伞、野生



注:不同大写字母和小写字母分别表示在 0.01 与 0.05 水平差异显著。下同。

图2 不同基质对星孢寄生菇发育周期的影响

Fig. 2 Effect of different matrix on the development cycle of *Asterophora lycoperdoides*

香菇、香菇、灵芝、木屑的基质。与对照相比,添加木屑的基质最有利于缩短原基、菌膜、菇蕾等农艺性状的形成时间,尤其是所有子实体上布满厚垣孢子的周期最短(14 d),其次是灵芝、香菇、野生香菇基质,而添加鸡粪的基质上,该菇上述农艺性状的形成时间最长,其中厚垣孢子布满所有子实体的周期达到 30 d,与其余配方相比呈极显著差异,其次是黑豆、灰肉红菇、棉籽壳。

2.2 不同液体基质对星孢寄生菇培养液 pH 与体积的影响

由表 1 可知,不同基质灭菌后 pH 发生了不同程度的下降,其中对照降低幅度最小。接菌后,菌丝生长期培养液 pH 除对照降低外,其余配方均快速上升;子实体形成期至厚垣孢子形成期,其 pH 保持缓慢上升的趋势,除添加鸡粪、黑豆的基质外,厚垣孢子形成期菇类基质(配方 8~12)pH 均大于其余配方,该菇在添加灰肉红菇的基质上接种后其 pH 提高最快且在 3 个时期均最高,分别为 8.49、8.53、8.61,在菌丝生长期、子实体形成期、厚垣孢子形成期 pH 最低分别为对照、添加菌糠、棉籽壳的基质,

分别为 6.08、7.45、7.70。

该菇接菌后培养液总体积(100.00 mL)随着个体发育的推进逐渐减少,其中菌丝生长期在添加野生香菇的基质上体积减少最多(10.00 mL),在菌糠基质上减少最小(7.00 mL);子实体形成期在添加香菇的基质上体积减少最多(19.00 mL),在棉籽壳和菌糠基质上减少最小(11.00 mL);厚垣孢子形成期在添加菌糠的基质上体积减少最多(19.97 mL),在对照上减少最小(14.67 mL)。在菌丝生长期菌糠培养液总体积最大,为 93.00 mL;在子实体形成期棉籽壳与菌糠培养液总体积最大,为 89.00 mL;在厚垣孢子形成期对照培养液总体积最大,为 85.33 mL,均与添加荷叶离褶伞与野生香菇基质呈极显著差异,3 个时期培养液总体积最小的分别为添加野生香菇、香菇、菌糠的培养基,分别为 90.00、81.00、80.03 mL。

2.3 不同液体基质对星孢寄生菇菌球直径、数量及生长速度的影响

由表 2 可知,该菇菌球数量在菌丝生长期、子实体形成期、厚垣孢子形成期分别以添加荷叶离褶

表1 不同基质对星孢寄生菇培养液 pH 与体积的影响

Table 1 Effect of different matrix on pH and volume of culture liquid of *Asterophora lycoperdoides*

配方	灭菌前 pH	灭菌后 pH	菌丝生长期		子实体形成期		厚垣孢子形成期	
			体积/mL	pH	体积/mL	pH	体积/mL	pH
1(CK)	6.28	6.25	91.00±0.50 bcBC	6.08	86.00±1.00 cdCD	7.72	85.33±1.15 aA	7.77
2	6.23	5.98	91.00±1.73 bcBC	7.73	88.00±1.50 abAB	7.75	84.33±2.52 aABC	7.93
3	5.86	5.78	90.33±2.08 cC	7.45	86.00±1.32 cdCD	7.52	84.67±1.15 aAB	7.80
4	6.21	6.06	92.00±1.73 abAB	7.53	89.00±1.50 aA	7.52	80.33±0.58 deEF	7.70
5	6.95	6.76	90.33±1.53 cC	7.93	88.00±2.78 abAB	8.09	85.00±0.00 aA	8.19
6	6.41	6.28	92.00±2.65 abAB	8.03	88.00±1.80 abAB	8.37	82.67±0.58 bcBCD	8.45
7	5.42	5.25	93.00±1.00 aA	7.02	89.00±2.50 aA	7.45	80.03±2.05 eF	7.88
8	5.73	5.51	91.00±1.00 bcBC	7.69	87.00±1.32 bcBC	7.70	84.00±1.00 abABC	8.05
9	6.29	6.15	91.00±2.00 bcBC	7.47	85.00±0.87 deDE	7.95	81.33±0.58 cdeDEF	8.30
10	6.26	5.98	92.00±1.00 abAB	8.03	81.00±1.50 fF	8.16	82.33±2.89 cCDE	8.36
11	6.23	6.04	90.00±1.50 cC	7.78	85.00±0.87 deDE	8.10	81.67±1.15 cdDEF	8.35
12	6.14	6.02	92.00±1.73 abAB	8.49	84.00±1.50 eE	8.53	82.67±1.53 bcBCD	8.61

表2 不同液体基质对星孢寄生菇菌球直径、数量及生长速度的影响

Table 2 Effect of different liquid matrix on diameter, quantity and growth rate of mycelium ball of *Asterophora lycoperdoides*

配方	菌丝生长期			子实体形成期			厚垣孢子形成期		
	数量/ (个·mL ⁻¹)	菌球直径/ mm	生长速度/ (mm·d ⁻¹)	数量/ (个·mL ⁻¹)	菌球直径/ mm	生长速度/ (mm·d ⁻¹)	数量/ (个·mL ⁻¹)	菌球直径/ mm	生长速度/ (mm·d ⁻¹)
1(CK)	4.70	2.04	0.23±0.01 dD	23.00	1.42	0.07±0.01 deDE	3.60	1.75	0.02±0.00 fE
2	10.30	1.08	0.12±0.01 hH	25.20	1.21	0.06±0.01 efEF	8.42	3.60	0.09±0.01 bB
3	4.20	2.60	0.37±0.03 aA	5.20	1.03	0.05±0.01 fgFG	1.55	4.13	0.11±0.02 aA
4	20.70	1.25	0.14±0.01 gG	26.00	0.85	0.04±0.00 ghGH	1.25	2.76	0.07±0.01 dCD
5	6.10	2.54	0.29±0.02 bB	0.13	5.44	0.18±0.03 aA	3.40	2.75	0.07±0.02 dCD
6	22.30	1.80	0.20±0.03 eE	0.10	0.88	0.03±0.00 hH	3.15	2.93	0.07±0.01 dCD
7	14.00	1.53	0.17±0.01 fF	11.40	1.79	0.09±0.01 bcBC	3.50	3.43	0.09±0.01 bB
8	9.30	1.33	0.15±0.01 gFG	28.70	0.74	0.04±0.00 ghGH	2.87	3.16	0.08±0.01 cBC
9	29.20	1.37	0.15±0.02 gFG	28.30	1.72	0.08±0.01 cdCD	5.15	3.25	0.08±0.02 cBC
10	4.60	2.44	0.27±0.02 bBC	1.90	1.64	0.08±0.02 cdCD	8.40	2.40	0.06±0.01 eD
11	13.40	2.29	0.25±0.01 cC	35.20	1.38	0.07±0.01 deDE	3.70	3.11	0.08±0.01 cBC
12	6.70	2.41	0.27±0.03 bBC	3.20	3.00	0.10±0.02 bB	4.00	3.70	0.09±0.02 bB

伞、野生香菇、水葫芦的基质上最多,分别为 29.20、35.20、8.42 个·mL⁻¹,在添加木屑、黑豆、棉籽壳基质上最少,分别为 4.20、0.10、1.25 个·mL⁻¹。菌球直径在各期分别以添加木屑、鸡粪、木屑的基质上发育最大,分别为 2.60、5.44、4.13 mm,在水葫芦、灵芝、对照基质上最小,分别为 1.08、0.74、1.75 mm。菌球的生长速度在各期分别以添加木屑[(0.37±0.03)mm·d⁻¹]、鸡粪[(0.18±0.03)mm·d⁻¹]、木屑[(0.11±0.02)mm·d⁻¹]的基质上最快,且与其余配方相比呈极显著差异,在添加水葫芦[(0.12±0.01)mm·d⁻¹]、黑豆[(0.03±0.00)mm·d⁻¹]、对照[(0.02±0.00)mm·d⁻¹]基质上的菌球生长速度最慢。

总之,该菇菌球数量在添加荷叶离褶伞的基质

上均值最多,鸡粪基质上菌球数量均值最少,菌球直径与生长速度在添加鸡粪的基质上均值最大,棉籽壳基质上均值均最小。

2.4 不同液体基质对星孢寄生菇菌膜与子实体的影响

由表 3 可知,该菇菌膜厚度在子实体形成期以添加灵芝的基质上最大(5.00 mm),添加木屑的基质上最小(1.20 mm),厚垣孢子形成期以添加棉籽壳的基质上最大(4.50 mm),添加木屑的基质上最小(2.33 mm)。菌膜生长速度在子实体形成期、厚垣孢子形成期分别以添加灵芝[(1.67±0.09)mm·d⁻¹]、鸡粪[(0.21±0.03)mm·d⁻¹]的基质上最大,除棉籽壳、灰肉红菇基质外,均与其余配方呈显著差异,但均

表3 不同液体基质对星孢寄生菇菌膜与子实体的影响

Table 3 Effect of different liquid matrix on mycelium film and fruiting body of *Asterophora lycoperoides*

配方	子实体形成期			厚垣孢子形成期		
	菌膜厚度/mm	生长速度/(mm·d ⁻¹)	子实体数量/(个·mL ⁻¹)	菌膜厚度/mm	生长速度/(mm·d ⁻¹)	子实体数量/(个·mL ⁻¹)
1(CK)	4.00	0.80±0.01 dD	0.27	3.50	0.15±0.01 efDE	0.69
2	3.00	1.00±0.02 cC	0.14	4.00	0.18±0.02 bcdABCD	0.60
3	1.20	0.20±0.01 hH	0.33	2.33	0.09±0.01 gF	1.03
4	4.00	1.33±0.04 bB	0.22	4.50	0.20±0.06 abAB	0.24
5	2.00	0.29±0.02 gG	0.08	3.50	0.21±0.03 aA	0.13
6	3.00	0.33±0.01 fgFG	0.25	3.00	0.16±0.02 defCDE	0.26
7	3.00	1.00±0.05 cC	0.33	3.00	0.14±0.01 fE	0.34
8	5.00	1.67±0.09 aA	0.37	3.67	0.17±0.01 cdeBCDE	0.47
9	2.00	0.67±0.02 eE	0.04	3.00	0.14±0.01 fE	0.54
10	3.00	1.00±0.04 cC	0.36	3.33	0.15±0.02 efDE	0.38
11	3.00	1.00±0.03 cC	0.49	3.50	0.16±0.01 defCDE	0.54
12	3.00	0.38±0.02 fF	0.12	3.50	0.19±0.03 abcABC	0.22

在木屑基质上最小。该菇子实体数量在各期以添加野生香菇(0.49个·mL⁻¹)、木屑(1.03个·mL⁻¹)的基质上最多,以添加荷叶离褶伞(0.04个·mL⁻¹)、鸡粪(0.13个·mL⁻¹)的基质上最少。

总之,该菇菌膜厚度与生长速度在添加灵芝的基质上均值最大,木屑基质上最小,子实体数量在添加木屑的基质上均值最多,鸡粪基质上最少。

2.5 不同液体基质对星孢寄生菇生物量、菌球形成率及绝对生物学效率的影响

由表4可知,该菇生物量在菌丝生长期以添加野生香菇的基质上最大[(5.60±0.11)mg·mL⁻¹],其次是黑豆基质[(5.52±0.11)mg·mL⁻¹],与其余配方呈

极显著差异,而对照基质上该值最小,与其余配方呈极显著差异;生物量在子实体形成期、厚垣孢子形成期分别以添加棉籽壳[(6.47±0.47)mg·mL⁻¹]、菌糠[(6.10±0.76)mg·mL⁻¹]的基质上最大,除荷叶离褶伞基质外,均与其余配方呈显著差异,而在对照基质上均最小。菌球形成率在菌丝生长期、子实体形成期、厚垣孢子形成期分别以添加黑豆(4.41%)、灵芝(3.00%)、菌糠(2.35%)的基质上最大,在添加鸡粪(2.40%)、对照(0.71%)、对照(0.64%)的基质上最小。绝对生物学效率在后2个时期分别以添加木屑(6.59%)、灵芝(7.73%)的基质上最大,在鸡粪(0.35%)、棉籽壳(0.25%)

表4 不同液体基质对星孢寄生菇生物量、菌球形成率及绝对生物学效率的影响

Table 4 Effect of different liquid matrix on biomass, mycelium ball formation rate and absolute biological efficiency of *Asterophora lycoperoides*

配方	菌丝生长期		子实体形成期			厚垣孢子形成期			生物量均值(mg·mL ⁻¹)
	生物量/(mg·mL ⁻¹)	菌球形成率/%	生物量/(mg·mL ⁻¹)	菌球形成率/%	绝对生物学效率/%	生物量/(mg·mL ⁻¹)	菌球形成率/%	绝对生物学效率/%	
1(CK)	2.67±0.11 iH	2.42	1.71±0.34 hG	0.71	4.25	1.71±0.30 eE	0.64	1.59	2.03±0.25 eF
2	4.45±0.23 fE	3.51	4.19±0.33 dD	2.29	5.72	4.93±0.95 cBC	2.30	2.39	4.52±0.50 cD
3	3.49±0.13 gF	2.72	4.81±0.15 cC	2.30	6.59	4.86±0.35 cBC	2.27	6.38	4.39±0.21 cD
4	3.34±0.17 gF	2.66	6.47±0.47 aA	1.34	2.18	5.56±0.40 bAB	1.80	0.25	5.12±0.35 aA
5	3.08±0.14 hG	2.40	2.94±0.19 gF	1.51	0.35	4.04±1.08 dD	1.74	0.49	3.35±0.47 dE
6	5.52±0.11 aA	4.41	3.21±0.53 fF	0.89	1.41	4.61±1.01 cCD	1.56	0.92	4.45±0.48 cD
7	4.62±0.22 deCDE	3.72	3.70±0.31 eE	2.16	1.03	6.10±0.76 aA	2.35	1.21	4.81±0.43 bC
8	4.58±0.22 efDE	3.62	5.37±0.31 bB	3.00	3.43	4.57±0.38 cCD	2.20	7.73	4.84±0.30 bBC
9	4.83±0.08 cBC	3.81	3.77±0.24 eE	1.85	1.82	5.86±0.95 abA	2.11	0.33	4.82±0.42 bC
10	5.02±0.22 bB	4.01	4.59±0.65 cC	1.07	0.79	4.97±0.93 cBC	1.83	0.47	4.86±0.60 bABC
11	5.60±0.11 aA	4.37	4.68±0.49 cC	1.90	3.04	5.01±0.49 cBC	1.73	1.01	5.10±0.36 aAB
12	4.75±0.18 cdCD	3.79	3.68±0.52 eE	1.47	0.97	4.91±0.56 cBC	1.81	0.50	4.45±0.42 cD

的基质上最小。

总之,该菇生物量在添加棉籽壳的基质上均值最大,对照最小;菌球形成率在添加灵芝的基质上均值最大,对照最小;绝对生物学效率在添加木屑的基质上均值最大,在添加鸡粪的基质上均值最小。

3 讨论与结论

菇类生长发育的基础是营养基质^[23-26],其原基的发生是基于特定营养条件下菌丝对外界胁迫的响应,子实体的发育是遗传物质、营养条件及外界环境共同互作的结果。

试验表明,星孢寄生菇在不同基质上的农艺性状、培养物体积、培养液 pH 等差异较大,添加棉籽壳、黑豆、香菇和灰肉红菇有利于该菇在液体培养下子实体的形成,上述结果可能与基质养分利用、氮素含量、有机酸分泌等因素有关。

菇类在营养生长与生殖生长两个阶段利用的养分种类不同,前者以无氮浸出物为主,后者则通过胞外酶降解大分子物质(纤维素、半纤维素、木质素等)为主^[27]。氮素在基质中通过促进菇类菌丝细胞中酶、辅酶、核酸等^[28]物质合成的数量进而影响其新陈代谢与营养元素的吸收转化速度。因此,基质中的养分利用和氮素含量不同会影响该菇类的形态发生特征和菌体转化速度,最终影响其农艺性状和培养物体积。基质 pH 的变化主要与有机酸产生有关,且有机酸分泌受多种因素的影响^[29-31]。基质加热、菇体代谢、代谢产物互相反应等可能是该菇培养液 pH 存在差异的主要原因。同时,棉籽壳含有丰富的无氮浸出物(39.5%)和粗纤维(34.5%)^[32],黑豆素有“植物蛋白之王”的美誉且蛋白质(36.1%)和碳水化合物(23.3%)含量高^[33],添加上述两种物质均能满足该菇的养分需求,促进其子实体发育。香菇与灰肉红菇极有可能与黑红菇^[2]一样其菇体中的某些物质对星孢寄生菇的子实体的形成有促进作用。此外,菌株种类、灭菌时间、培养时间等是否是改变上述试验结果的因素之一有待进一步研究。

在 12 种培养基质与 2 种培养模式下,星孢寄生菇的个体发育与农艺性状存在一定程度的差异。棉籽壳、黑豆、香菇、灰肉红菇 4 种基质有利于该菇子实体的发育。与对照相比,鸡粪、黑豆、灰肉红菇、棉籽壳能显著延长该菇生命周期,而木屑、灵芝、香菇、野生香菇则相反。在摇瓶发酵阶段,黑

豆、野生香菇、香菇、荷叶离褶伞、灰肉红菇和灵芝能够提高该菇的生物量。在静置发酵阶段,棉籽壳和菌糠更有利于该菇生物量的积累。在添加木屑的基质上,该菇的绝对生物学效率最高;在添加灵芝的基质上,该菇的菌球形成率最高。总之,笔者的研究为进一步探究星孢寄生菇的发育机制以及其他珍稀菇类的驯化提供了理论参考。

参考文献

- [1] MCMEEKIN D. Basidiocarp formation in *Asterophora lycoperdoides*[J]. Mycologia, 1991, 83(2): 220-223.
- [2] HOMMA H, SHINOYAMA H, TANIBE M, et al. Fruiting-body formation, cultivation properties, and host specificity of a fungicolous fungus, *Asterophora lycoperdoides*[J]. Mycoscience, 2006, 47(5): 269-276.
- [3] AKATA I, UZUN Y. Macrofungi determined in Uzungöl Nature Park (Trabzon)[J]. Trakya University Journal of Natural Sciences, 2017, 18(1): 15-24.
- [4] NANIR S P. Diversity of fleshy mushroom in Sangola taluka, Solapur district, Maharashtra (India) [J]. European Journal of Pharmaceutical and Medical Research, 2017, 4(11): 424-428.
- [5] HOFSTETTER V, REDHEAD S A, KAUFF F, et al. Taxonomic revision and examination of ecological transitions of the *Lyophyllaceae* (Basidiomycota, Agaricales) based on a multigene phylogeny[J]. Cryptogamie Mycologie, 2014, 35(4): 399-425.
- [6] 王建东, 赵建, 张杰, 等. 星孢寄生菇出菇培养及生物活性初探[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2004, 41(1): 198-202.
- [7] 张焱珍, 周会明, 白玉英, 等. 一株临沧野生灵芝的鉴定与驯化栽培[J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2176-2182.
- [8] 张云龙. 一株野生食用菌鉴定及其生物学特性研究[D]. 河北邯郸: 河北工程大学, 2020.
- [9] 图力古尔, 宋超, 李玉. 月夜菌 *Omphalotus japonicus* 子实体个体发育[J]. 菌物学报, 2010, 29(1): 132-137.
- [10] 侯占山, 邹亚杰, 杜芳, 等. 不同光照时间对杏鲍菇生长发育的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(1): 89-95.
- [11] 龚光禄, 杨通静, 陈娅娅, 等. 凹凸棒土对姬松茸生长发育及出菇的影响[J]. 中国食用菌, 2021, 40(4): 32-37.
- [12] 洪沛, 舒黎黎, 李天来, 等. 光环境对食用菌生长发育的影响[J]. 食用菌学报, 2021, 28(4): 108-115.
- [13] 闫静, 王伟科, 袁卫东, 等. 温度对秀珍菇生长发育及胞外酶活性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(2): 161-167.
- [14] 张耀玲, 孙瑞泽, 李珍, 等. 白灵菇生长发育的光效应研究[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(5): 32-34.
- [15] 宋志强, 丁祥, 唐贤, 等. 松乳菇子实体两个发育时期的转录组分析[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(2): 337-347.
- [16] 袁鹏宇, 崔凤仙, 周国平, 等. 可栽培食用菌子实体发育相关的调控基因研究进展[J]. 中国食用菌, 2020, 39(2): 1-6.
- [17] 刘鑫, 侯若琳, 任亚倩, 等. 寄生枣树的野生粗毛纤孔菌菌丝培养及其子实体大米栽培条件[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(6): 1283-1289.

- [18] 宋林丽,邢晓科,郭顺星.大型真菌子实体发生的形态学过程及调控机制[J].菌物学报,2018,37(6):671-684.
- [19] 余昌霞,陈明杰,李传华,等.不同培养基质对草菇营养成分及呈味物质的影响[J].菌物学报,2018,37(12):1731-1740.
- [20] 周会明,赵永昌,柴红梅,等.杨柳田头菇 YAAS711 菌株 F1 子代胞外酶活性分析[J].中国农业科学,2019,52(20):3672-3684.
- [21] 宋吉玲,袁卫东,周祖法,等.桑黄菌液体培养过程中酶活及多糖含量变化规律[J].菌物学报,2020,39(2):352-361.
- [22] 刘朋虎,陈华,李波,等.镉胁迫对姬松茸菌丝生理指标与镉吸收的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(8):1675-1682.
- [23] 谢敏英.营养因子变化对真姬菇子实体发育的影响[D].南京:南京农业大学,2010.
- [24] 罗影,关永强,祁正祥,等.外源营养因子对巴尔喀什蘑菇菌丝的影响[J].新疆农业科学,2021,58(1):133-142.
- [25] 陈晨伟,丁榕,彭柳城,等.外源营养物质对菌丝体生物质材料的生长研究及其性能表征[J].农业工程学报,2021,37(21):295-302.
- [26] 马璐,杨驰,肖冬来,等.基质碳氮比对广叶绣球菌生长发育的影响[J].菌物学报,2021,40(12):3196-3213.
- [27] 李楠.吉林省黑木耳优质高效栽培技术的研究[D].长春:吉林农业大学,2008.
- [28] 宋琪,王烁翔,于鲁萌.不同添加物对金针菇几种胞外酶活性的影响[J].食用菌,2017,39(4):10-14.
- [29] 秦娜,周翔宇,王丽娟,等.黑曲霉菌株柠檬酸合成酶基因的敲除及功能分析[J].微生物学通报,2020,47(6):1740-1752.
- [30] 张德龙,李淑林,陆瑞利,等.培养时间对蛹拟青霉(*Paecilomyces militaris*)菌丝体中代谢产物的影响[J].微生物学报,2012,52(12):1477-1488.
- [31] 张国利,吴光宗,王光远,等.花脸香蘑8个菌株液体菌种比较研究[J].中国食用菌,2019,38(11):13-16.
- [32] 边银丙.食用菌栽培学[M].3版.北京:高等教育出版社,2017.
- [33] 秦琦,张英蕾,张守文.黑豆的营养保健价值及研究进展[J].中国食品添加剂,2015,(7):145-150.