

一株临沧覆土栽培盖囊菇高温品种可控环境因子优化研究

洪 鹏, 和 敏, 周会明*, 张焱珍, 卯明娟, 王 瑞, 马凯云, 邓 云

滇西科技师范学院生物技术与工程学院, 云南临沧 677000

摘 要: 在马铃薯蔗糖琼脂培养基的基础上, 采用单因素与 $L_{16}(4^5)$ 正交优化试验的方法, 研究 5 种环境条件对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响。结果表明: 盖囊菇菌丝体在温度 10~30 °C、琼脂浓度 0.5%~3.0%、pH 4.00~10.00、培养皿直径 60~100 mm、光照时间 0~24 h 的范围内均能生长, 其中在温度 25 °C、琼脂浓度 3.0%、pH 5.80、培养皿直径 100 mm、黑暗条件下菌丝体生长最快。盖囊菇孢梗束在 15~30 °C 温度范围内均能形成, 其余环境条件与其菌丝体相同, 在温度 27 °C、琼脂浓度 2.0%、pH 8.00、培养皿直径 100 mm、光照时长 24 h 下孢梗束形成数量最多。正交优化试验表明, 盖囊菇菌丝体生长最适环境条件组合为: 温度 25 °C、琼脂浓度 3.0%、pH 5.80、培养皿直径 100 mm、光照时长 0 h; 其孢梗束形成最适环境条件为: 温度 25 °C、琼脂浓度 2.0%、pH 8.00、培养皿直径 100 mm、光照时长 14 h。总之, 环境条件对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响较大且存在交互作用。

关键词: 盖囊菇; 正交试验; 可控环境因子; 菌丝体生长; 孢梗束形成

中图分类号: S646.2 文献标识码: A

Optimization of Controllable Environmental Factors of a High-temperature Variety of *Pleurotus cystidiosus* Cultivated by Soil Covering in Lincang, Yunnan, China

HONG Peng, HE Min, ZHOU Huiming*, ZHANG Yanzhen, MAO Mingjuan, WANG Rui, MA Kaiyun, DENG Yun

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

Abstract: In this paper, on the basis of potato sucrose agar medium, the single factor and $L_{16}(4^5)$ orthogonal optimization experiments were used to study the effects of 5 environmental factors on the mycelial growth and coremium formation of *P. cystidiosus*. The results showed that the mycelium of *P. cystidiosus* could grow in the range of temperature 10–30 °C, agar concentration 0.5%–3.0%, pH 4.00–10.00, petri dish diameter 60–100 mm, and light time 0–24 h. The mycelium grew the fastest under the conditions of temperature 25 °C, agar concentration 3.0%, pH 5.80, petri dish diameter 100 mm and dark conditions. The coremium of *P. cystidiosus* can be formed in the range of temperature 15–30 °C, and the other environmental conditions were the same as that of its mycelium. The number of coremium formation was the largest under pH 8.00, petri dish diameter 100 mm and light duration of 24 h. The orthogonal optimization test showed that the optimum environmental conditions for mycelium growth of *P. cystidiosus* were temperature 25 °C, agar concentration 3.0%, pH 5.80, petri dish diameter 100 mm, and dark conditions. The optimum environmental conditions for its coremium formation were temperature 25 °C, agar concentration 2.0%, pH 8.00, petri dish diameter 100 mm, and light duration 14 h. In a word, the environmental conditions had a great influence on the mycelium growth and coremium formation of *P. cystidiosus*, and there was an interaction.

Keywords: *Pleurotus cystidiosus*; orthogonal test; controllable environmental factors; mycelium growth; coremium formation

收稿日期 2022-08-01; 修回日期 2022-10-17

基金项目 云南省教育厅科学研究基金项目 (No. 2022J1018); 国家食用菌产业技术体系资助项目 (No. CARS-20)。

作者简介 洪 鹏 (2000—), 男, 硕士, 研究方向: 食用菌驯化、栽培及产品开发。*通信作者 (Corresponding author): 周会明 (ZHOU Huiming), E-mail: 632243530@qq.com。

DOI 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.10.017

盖囊菇 (*Pleurotus cystidiosus* O.K. Mill.) 又名盖囊侧耳、泡囊侧耳, 是侧耳科、侧耳属真菌, 多分布于中国台湾、云南、浙江等地, 是一种高温木腐菌, 其肉质肥嫩可口, 菌柄粗壮, 含有多种氨基酸和维生素, 除包括人体必需的 8 种氨基酸外, 还含有维生素 B₁、维生素 B₂、烟酸等^[1], 颇受消费者喜爱。因此, 盖囊菇具有重要的经济价值, 对该菇进行驯化研究对其开发利用意义较大。关于盖囊菇的相关文献报道较少, 主要研究在种质资源驯化栽培^[2-4]、活性化学成分开发^[5]、原生质体融合^[6]、系统发育分析^[7-8]、生物活性^[9-12]等方面, 与其他市场常见人工栽培食用菌相比, 该菇具有地域性强、栽培技术不完善以及生长环境特殊等特点, 导致其大规模推广滞后且受到严重的阻碍, 培育地域性品种成为该菇商品化的发展趋势。

生理特性的研究是大型真菌驯化栽培的前提, 本研究以一株采集于云南省临沧市的覆土栽培盖囊菇高温品种为材料, 从该菇的可控环境条件入手, 基于单因素试验的基础上采用正交优化试验的方法研究不同温度、琼脂浓度、酸碱度、氧气、光照等因素对盖囊菇菌丝体生长及孢梗束形成的影响, 为后续该菇在本市及其它地域的覆土栽培品种林下推广提供一定理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试菌株 覆土栽培盖囊菇高温品种菌株由滇西科技师范学院食用菌课题组提供。

1.1.2 PSA 培养基 马铃薯 20%, 蔗糖 2%, 琼脂 1.5%, 水 1 L, pH 自然。

1.2 方 法

1.2.1 菌株活化与接菌 将盖囊菇菌丝试管从冰箱中取出放入室温中培养 7 d 左右, 然后转接至活化培养基中 (菌块直径为 5 mm^[13], 下同), 在 25 °C 下培养。待长满后转接至 PSA 平板培养基中, 25 °C 下培养观察并记录。

1.2.2 生物学特性 (1) 温度试验。以 PSA 为基础培养基, 第一次先设置 0、5、10、15、20、25、30、35、40 °C 的温度梯度进行试验, 并测定培养基灭菌前后的 pH。在第一次温度梯度的基础上缩小温度梯度进行第二次试验, 设置 19、21、23、25、27、29 °C 的温度梯度。2 次试验中每个温度梯度均设置 4 个重复, 培养皿型号为 70 mm。接菌后, 记录菌丝萌发

时间 (d)、孢梗束形成时间 (d) 以及培养时间 (d), 待菌丝长至培养皿总面积约 2/3 时, 采用交叉法测量菌落直径, 计算生长速度 (mm/d)^[14], 记录菌落颜色、菌落生长势 (“+++” 表示浓密健壮, “++” 表示较浓密, “+” 表示生长 “-” 表示不生长)^[15-16]、孢梗束形成数量 (个)、下同。

(2) 琼脂浓度试验。以 PSA 为基础培养基, 通过控制琼脂浓度来控制含水量, 设置 0.2%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 的琼脂浓度梯度进行试验, 每个梯度设置 4 个重复, 在最适温度下培养。

(3) 酸碱度试验。以最适琼脂浓度 PSA 为基础培养基, 设置 pH 为 4.00、4.50、5.00、5.20、5.40、5.60、5.80、6.00、6.20、6.40、6.60、6.80、7.00、7.50、8.00、8.50、9.00、9.50、10.00 的梯度进行试验^[17]。用 0.1% 氢氧化钠溶液和 0.1% 氯化氢溶液调节培养基的 pH, 每个梯度设置 4 个重复, 在最适培养温度下培养。

(4) 氧气试验。以最适琼脂浓度、酸碱度的 PSA 为基础培养基, 通过控制培养皿的直径来控制含氧量。试验中共设置培养基型号为 60、70、90、100 mm 的 4 个梯度, 每个梯度设置 4 个重复, 在最适温度和光照下培养。

(5) 光照试验。以最适琼脂浓度和酸碱度 PSA 作为基础培养基, 设置 24 h 光照、12 h 光照、24 h 黑暗的梯度进行试验^[18], 使用功率为 5 w 的白色灯管在 37 cm×50 cm×15 cm 的空间内进行照射, 且照射距离为 15 cm; 每个梯度设置 4 个重复, 在最适温度下培养。

1.2.3 正交优化试验 根据盖囊菇菌丝的温度、琼脂浓度、酸碱度、氧气、光照单因素试验结果, 设置 L₁₆(4⁵) 以菌丝体生长速度为指标的正交试验因素与水平 (表 1), 以孢梗束形成数量为指标的正交试验因素与水平 (表 2)。

1.3 数 据 处 理

所有数据采用交叉法进行测量, 所得结果均为 3 次重复, 采用 SPSS 19.0 统计软件 Duncan's 法进行数据统计分析^[19]。

2 结 果 与 分 析

2.1 温度对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响

2.1.1 5 °C 温度梯度试验 由表 3 可知, 盖囊菇

表 1 正交试验因素与水平 (菌丝体)
Tab. 1 Orthogonal test factor and level (mycelium)

水平 Level	因素 Factor				
	A 琼脂浓度 Agar concentration/%	B pH	C 温度 Temperature/°C	D 培养皿直径 Petri dish diameter/mm	E 光照时长 Lighting time/h
1	1.5	5.40	23	60	0
2	2.0	5.60	25	70	10
3	2.5	5.80	27	90	14
4	3.0	6.00	29	100	24

表 2 正交试验因素与水平 (孢梗束)
Tab. 2 Orthogonal test factor and level (coremium)

水平 Level	因素 Factor				
	A 琼脂浓度 Agar concentration/%	B pH	C 温度 Temperature/°C	D 培养皿直径 Petri dish diameter/mm	E 光照时长 Lighting time/h
1	1.5	7.50	25	60	0
2	2.0	8.00	27	70	10
3	2.5	8.50	29	90	14
4	3.0	9.00	31	100	24

表 3 5 °C 温度梯度下菌丝体生长与孢梗束形成
Tab. 3 Mycelium development and coremium formation under 5 °C temperature gradient

处理 Treatment/°C	菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate/(mm·d ⁻¹)	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
0	0	16	—	0.00	0.00±0.00 ^{fE}	0	0.00±0.00 ^{eE}
5	0	16	—	0.00	0.00±0.00 ^{fE}	0	0.00±0.00 ^{eE}
10	12	16	+	2.50	0.16±0.24 ^{eE}	0	0.00±0.00 ^{eE}
15	3	16	++	12.00	0.75±0.65 ^{dD}	5	6.00±0.82 ^{dD}
20	2	16	++	31.25	1.95±0.14 ^{cC}	3	13.50±1.29 ^{cC}
25	1	16	+++	61.38	3.84±0.15 ^{aA}	2	39.50±2.38 ^{aA}
30	1	16	+++	34.00	2.13±0.10 ^{bB}	2	18.75±1.70 ^{bB}
35	0	16	—	0.00	0.00±0.00 ^{fE}	0	0.00±0.00 ^{eE}
40	0	16	—	0.00	0.00±0.00 ^{fE}	0	0.00±0.00 ^{eE}

注: 生长速度和孢梗束数量为 4 个重复的平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: The growth rate and the number of coremium are mean±SD of 4 replicates. Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

在 10~30 °C 下菌丝均能生长且颜色均为白色 (图 1)。在温度范围 10~25 °C, 其菌丝生长速度随温度的升高而加快, 25 °C 时, 盖囊菇的菌丝生长速度最快, 为(3.84±0.15)mm/d, 且菌丝长势最好, 与其他温度处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。其次是 20 °C 和 30 °C 温度处理, 而 30 °C 时菌丝长势比 20 °C 浓密 (图 1)。盖囊菇孢梗束

在 15~30 °C 内均能形成, 在温度范围 15~25 °C, 其孢梗束形成数量随温度的升高而增多, 25 °C 时, 形成数量最多, 为(39.50±2.38)个/皿, 且与其他温度处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。2.1.2 2 °C 温度梯度试验 由表 4 可知, 当温度在 25 °C 时, 盖囊菇的生长速度最快, 为(3.25±0.36)mm/d, 在 25 °C 和 27 °C 的菌落直径和菌丝生长速度与其

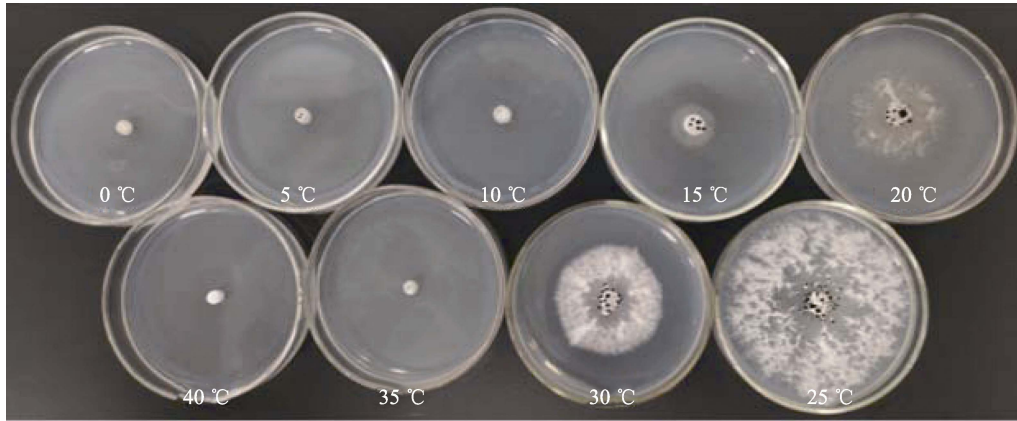


图 1 5 °C 温度梯度下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况

Fig. 1 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under 5 °C temperature gradient

表 4 2 °C 温度梯度下菌丝体生长与孢梗束形成

Tab. 4 Mycelium development and coremium formation under 2 °C temperature gradient

处理 Treatment/°C	菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate /(mm·d ⁻¹)	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
19	2	14	++	19.50	1.39±0.15 ^{dC}	4	1.50±1.29 ^{dC}
21	2	14	++	33.38	2.39±0.15 ^{eB}	4	11.50±2.08 ^{aA}
23	2	14	++	41.50	2.96±0.06 ^{abA}	3	3.25±1.70 ^{cC}
25	1	14	+++	45.50	3.25±0.36 ^{aA}	2	9.50±1.29 ^{bB}
27	1	14	++	45.17	3.23±0.22 ^{aA}	2	11.75±2.08 ^{aA}
29	1	14	+++	40.88	2.92±0.11 ^{bA}	2	11.25±2.06 ^{aAB}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P < 0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P < 0.01$).

他温度处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。盖囊菇孢梗束在 27 °C 时，形成数量最多 (图 2)，为(11.75±2.08)个/皿，且与其他温度处理相比在 0.05 水平上有显著差异。

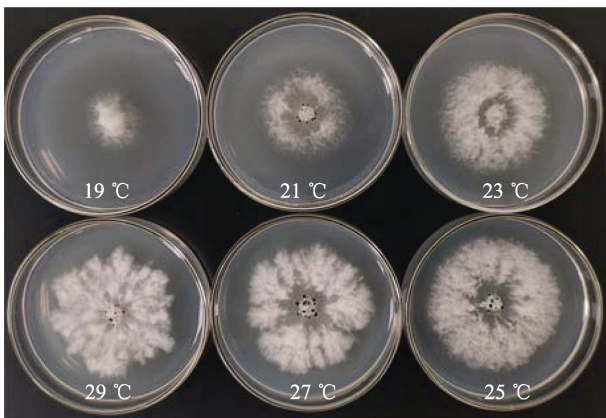


图 2 2 °C 温度梯度下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况

Fig. 2 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under 2 °C temperature gradient

2.2 琼脂浓度对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响

由表 5 可知，盖囊菇菌丝体在琼脂浓度为 0.5%~3.0% 的范围内均能生长，在该范围内琼脂浓度与菌丝生长速度成正比，在 3.0% 时菌丝生长速度最快，为(2.96±0.16)mm/d，相比于其他琼脂浓度有极显著的差异，且菌丝健壮浓密 (图 3)；其孢梗束在 0.5%~3.0% 内均能形成，在 2.0% 时，孢梗束数量最多，为(29.75±0.96)个/皿，与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。

2.3 酸碱度对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响

由表 6 可知，盖囊菇在 pH 为 4.00~10.00 下菌丝均能生长，在 4.00~6.00 范围内，其菌丝生长速度随 pH 的增加而增加，当 pH 增加到 5.40 时，菌丝生长速度趋于平缓，当 pH 大于 7.00 时，菌丝生长速度开始下降。在 pH 为 5.80 时菌丝生长速度最快，为(3.50±0.16)mm/d，pH 为 5.80 在 0.05

表 5 不同琼脂浓度下菌丝体生长与孢梗束形成
Tab. 5 Mycelium development and coremium formation under different agar concentration

琼脂浓度 Agar concentration/%	菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate / $(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
0.50	1	15	++	26.40	1.76±0.18 ^{cC}	2	12.50±1.29 ^{dC}
1.00	1	15	++	28.55	1.90±0.21 ^{cBC}	3	14.75±0.96 ^{dC}
1.50	1	15	++	37.33	2.49±0.41 ^{bAB}	3	19.25±0.96 ^{EB}
2.00	1	15	+++	36.75	2.45±0.46 ^{bAB}	4	29.75±0.96 ^{AA}
2.50	1	15	++	39.43	2.63±0.22 ^{abA}	3	22.50±1.29 ^{BB}
3.00	1	15	+++	44.33	2.96±0.16 ^{aA}	4	19.75±1.25 ^{bcB}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

表 6 不同 pH 下菌丝体生长与孢梗束形成
Tab. 6 Mycelium development and coremium formation under different pH

pH	培养基 Culture medium		菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	灭菌前 Before Sterilization	灭菌后 After Sterilization	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter /mm	生长速度 Growth rate / $(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
4.00	4.00	4.98	3	9	++	9.88	1.10±0.41 ^{hijHIJ}	5	7.75±0.96 ^{eE}
4.50	4.50	5.14	2	9	++	19.25	2.14±0.42 ^{cdefDEFG}	5	1.00±0.82 ^{iI}
5.00	5.00	5.42	2	9	++	15.38	1.71±0.55 ^{efghFGH}	5	5.75±1.26 ^{fgEFG}
5.20	5.20	5.90	2	9	+++	20.33	2.26±0.37 ^{cdeCDEFG}	4	5.00±0.82 ^{gFGH}
5.40	5.40	5.75	2	9	++	27.88	3.10±0.48 ^{abABC}	6	5.25±0.96 ^{gFG}
5.60	5.60	6.18	2	9	++	23.63	2.63±0.08 ^{bcBCDE}	4	4.50±1.29 ^{gGH}
5.80	5.80	5.99	2	9	+++	31.50	3.50±0.16 ^{aA}	3	5.00±1.41 ^{ghFGH}
6.00	6.00	5.84	2	9	+++	28.38	3.15±0.39 ^{abABCDE}	4	11.00±1.41 ^{dD}
6.20	6.20	6.18	2	9	+++	16.67	1.85±0.10 ^{defEFGH}	4	10.00±0.82 ^{dD}
6.40	6.40	6.15	2	9	+++	23.25	2.58±1.03 ^{bcBCDE}	4	10.25±0.96 ^{dD}
6.60	6.60	6.30	2	9	+++	24.25	2.70±0.06 ^{bcAB}	4	7.00±1.41 ^{eEF}
6.80	6.80	6.58	2	9	++	21.38	2.38±0.25 ^{cdBCDEF}	5	6.25±0.96 ^{efEFG}
7.00	7.00	6.50	2	9	+++	25.00	2.78±0.92 ^{bcABCD}	5	6.25±0.50 ^{efEFG}
7.50	7.50	6.95	2	9	++	12.63	1.40±0.18 ^{ghiGHI}	4	15.75±0.96 ^{bB}
8.00	8.00	7.60	2	9	+	13.55	1.51±0.19 ^{fghiGHI}	4	20.75±1.71 ^{aA}
8.50	8.50	7.19	2	9	+	9.00	1.00±0.09 ^{ijFHIJK}	4	13.50±1.29 ^{cC}
9.00	9.00	7.64	2	9	+	6.00	0.67±0.09 ^{jkIJK}	4	4.50±1.29 ^{gGH}
9.50	9.50	7.38	2	9	+	2.80	0.31±0.06 ^{kJK}	5	2.75±0.50 ^{hHI}
10.00	10.00	7.33	2	9	+	1.60	0.18±0.05 ^{kk}	5	1.25±0.96 ^{hiI}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

和 0.01 水平上相较于其他 pH 有显著差异；其孢梗束在 pH 范围为 4.00~10.00 均能形成，在 pH 为

8.0 时，孢梗束数量最大（图 4），为(20.75±1.71) 个/皿，与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上相

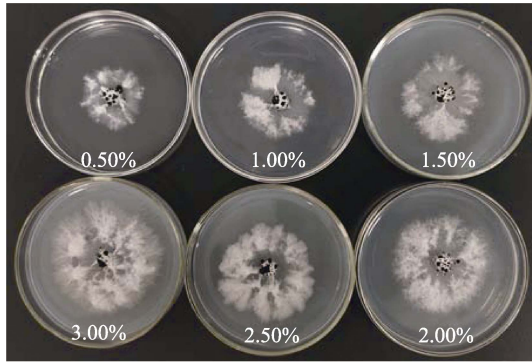


图 3 不同琼脂浓度下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况
Fig. 3 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different agar concentration

较于其他 pH 有极显著差异。

2.4 氧气对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响

由表 7 可知，盖囊菇在培养皿直径为 60~100 mm 内，其菌丝体均能生长且孢梗束均能形成（图 5）。当培养皿规格为 100 mm 时，菌丝生长速度最快，孢梗束数量最多，分别达到(3.31±0.40)mm/d、(24.50±2.08)个/皿，与其他处理相比

在 0.05 水平上均有显著差异，且菌丝健壮浓密。

2.5 光照对盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的影响

由表 8 可知，盖囊菇在光照时间为 0~24 h 内菌丝均能生长，其菌丝生长速度随光照时长的增加而减小，当光照时长为 0 h 连续黑暗时，盖囊菇的菌丝生长速度最快，为(2.79±0.15)mm/d，与其他光照处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异，且菌丝健壮浓密（图 6）；盖囊菇孢梗束在 0~24 h 内均能形成，其孢梗束数量随光照时长的增加而增加，在 24 h 连续光照时，形成数量最多，为(19.67±1.15)个/皿，且与其他光照处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异，但菌丝较稀疏。

2.6 正交试验结果

2.6.1 以菌丝体生长速度为指标的正交试验 (1) 正交组合对菌丝体生长与孢梗束形成的影响。由表 9 可知，盖囊菇在所有的正交组合上菌丝均能生长，在正交组合 15 上，盖囊菇的菌丝生长速度最快，为(3.56±0.62)mm/d（表 10），与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异，且菌丝健壮浓密

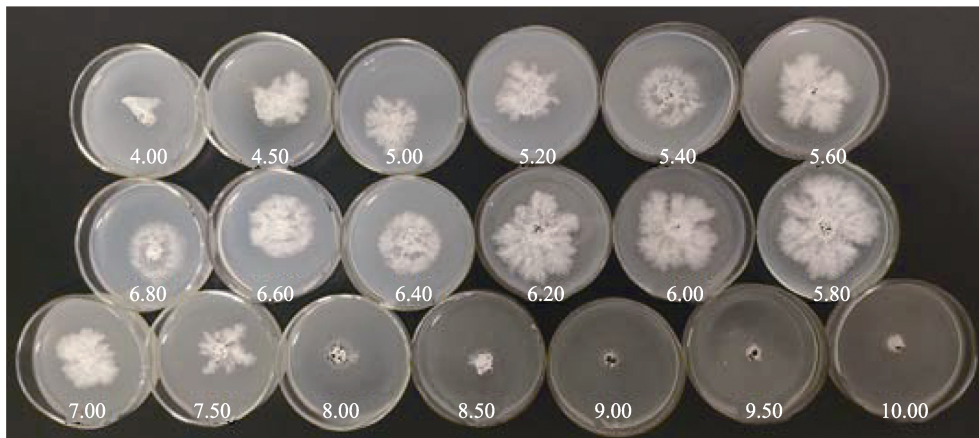


图 4 不同 pH 下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况
Fig. 4 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different pH

表 7 不同含氧量下菌丝体生长与孢梗束形成

Tab. 7 Mycelium development and coremium formation under different oxygen content

培养皿直径 Petri dish diameter/mm	菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate /(mm·d ⁻¹)	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
60	2	10	+++	29.45	2.95±0.18 ^{bA}	3	15.00±2.16 ^{cB}
70	2	10	+++	29.89	2.99±0.28 ^{bA}	3	19.75±2.22 ^{bAB}
90	2	10	+++	29.92	2.99±0.14 ^{bA}	3	22.75±2.63 ^{abA}
100	2	10	+++	33.08	3.31±0.40 ^{aA}	3	24.50±2.08 ^{aA}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ），不同大写字母表示处理间差异极显著（ $P<0.01$ ）。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

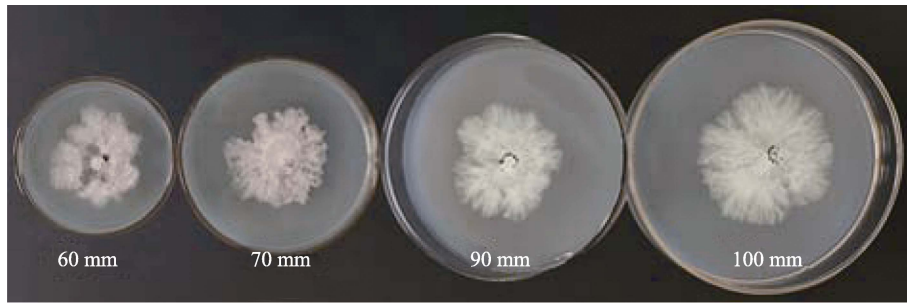


图 5 不同含氧量下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况

Fig. 5 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different oxygen content

表 8 不同光照时间下菌丝体生长与孢梗束形成

Tab. 8 Mycelium development and coremium formation under different light duration

光照时间 Light duration/h	菌丝体 Mycelium					孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate / (mm·d ⁻¹)	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
24	2	12	+	19.67	1.64±0.17 ^{bb}	3	19.67±1.15 ^{aA}
12	2	12	+	21.56	1.80±0.07 ^{bb}	3	14.67±1.53 ^{bb}
0	2	12	+++	33.44	2.79±0.15 ^{aA}	3	10.33±2.08 ^{cC}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

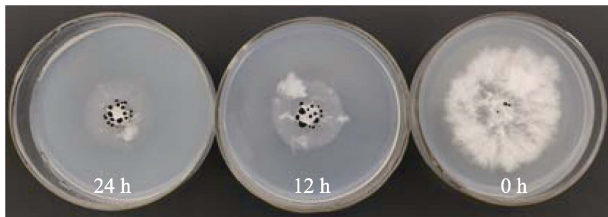


图 6 不同光照时间下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况

Fig. 6 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different light duration

盖囊菇孢梗束在所有的正交组合上均能形成，在正交组合 5 上，形成数量最多，为(21.50±2.08)个/皿（表 9），与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。

(2) 极差分析与验证试验。由表 10 极差 R 值可知，温度、琼脂浓度、酸碱度、氧气、光照 5 个因素对盖囊菇菌丝生长速度的影响顺序为：光照>温度>琼脂浓度>酸碱度>氧气，极差分析 ($A_4B_3C_2D_4E_1$, $A_4B_3C_2D_2E_1$) 与显著性分析 ($A_4B_3C_2D_4E_1$) 最优组合结果不一致。经验证试验，该菌在组合 $A_4B_3C_2D_4E_1$ 培养基上其菌丝生长速度最大，达到(4.14±0.51)mm/d，其余参数结果均相同。因此，最优组合为 $A_4B_3C_2D_4E_1$ ，即琼脂浓度为 3.0%、pH 为

5.80、温度为 25 °C、培养皿大小为 100 mm、光照时长为 0 h。

2.6.2 以孢梗束形成数量为指标的正交试验 (1) 正交组合对孢梗束形成数量的影响。由表 11 可知，盖囊菇在琼脂浓度为 1.5%~3.0%、pH 为 7.50~9.00、温度为 25~31 °C、培养皿大小为 60~100 mm、光照时长为 0~24 h 时菌丝均能生长，当为 3.0%、pH 为 8.50、24 h 黑暗、培养皿大小为 100 mm 时，盖囊菇的菌丝生长速度最快，为(3.65±0.52)mm/d，与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异，且菌丝健壮浓密（图 8）。盖囊菇孢梗束在琼脂浓度为 1.5%~3.0%、pH 为 7.50~9.00、温度为 25~31 °C、培养皿大小为 60~100 mm、光照时长为 0~24 h 内均能形成，在琼脂浓度为 2.0%、pH 为 5.4、温度为 25 °C、24 h 光照、培养皿大小为 90 mm 时，形成数量最多，为(48.75±8.18)个/皿（表 12），与其他处理相比在 0.05 和 0.01 水平上有极显著差异。

(2) 极差分析与验证试验。由表 12 极差分析可知，温度、琼脂浓度、酸碱度、氧气、光照 5 个因素对盖囊菇孢梗束形成的影响顺序为：温度>氧气>琼脂浓度>光照>酸碱度，极差分析 ($A_4B_2C_1D_4E_2$) 与显著性分析最优组合 6 ($A_2B_2C_1D_4E_3$) 不同，经

表 9 正交组合下菌丝体生长与孢梗束形成
Tab. 9 Mycelium development and coremium formation under orthogonal combinations

试验号 Test No.	菌丝体 Mycelium				孢梗束 Coremium	
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	形成时间 Formation time/d	数量 Quantity
1	3	8	++	17.50	5	11.75±0.96 ^{ghIJ}
2	2	8	++	16.50	5	14.50±0.58 ^{efFGHI}
3	2	8	+	13.09	5	13.75±0.96 ^{fgFGHI}
4	2	8	+	12.08	4	17.25±0.96 ^{cdBCDE}
5	2	8	+	14.25	6	21.50±2.08 ^{aA}
6	2	8	+	11.33	4	16.25±0.96 ^{cdeCDEFG}
7	2	8	+	13.89	3	16.50±2.65 ^{cdeCDEF}
8	2	8	++	24.34	4	10.00±1.41 ^{hJ}
9	2	8	+	14.00	4	17.75±0.96 ^{bBCD}
10	2	8	++	17.17	4	13.25±0.96 ^{fgGHI}
11	2	8	+	11.33	4	15.25±1.26 ^{defDEFGHI}
12	2	8	+	13.42	5	13.00±0.82 ^{fgHI}
13	2	8	+	13.75	5	17.25±2.22 ^{cdBCDE}
14	2	8	+	12.92	4	19.75±2.22 ^{abAB}
15	2	8	+++	28.50	4	17.00±0.82 ^{cdBCDE}
16	2	8	+	12.58	4	18.50±1.29 ^{bcBC}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

表 10 以菌丝体生长速度为指标的极差分析
Tab. 10 Range analysis table with mycelium growth rate as index

试验号 Test No.	因素 Factors						菌丝体生长速度 Mycelium growth rate/(mm·d ⁻¹)
	A 琼脂浓度 Agar concentration/%	B pH	C 温度 Temperature/°C	D 氧气 Oxygen	E 光照 Light		
1	1	1	1	1	1	2.19±0.17 ^{cC}	
2	1	2	2	2	2	2.06±0.13 ^{cdCDE}	
3	1	3	3	3	3	1.64±0.40 ^{eDEF}	
4	1	4	4	4	4	1.51±0.12 ^{eF}	
5	2	1	2	3	4	1.78±0.11 ^{deCDEF}	
6	2	2	1	4	3	1.42±0.13 ^{eF}	
7	2	3	4	1	2	1.74±0.05 ^{deCDEF}	
8	2	4	3	2	1	3.04±0.21 ^{bB}	
9	3	1	3	4	2	1.75±0.09 ^{deCDEF}	
10	3	2	1	3	1	2.15±0.40 ^{cCD}	
11	3	3	4	2	4	1.42±0.09 ^{eF}	
12	3	4	2	1	3	1.68±0.11 ^{eCDEF}	
13	4	1	4	2	3	1.72±0.12 ^{deCDEF}	
14	4	2	3	1	4	1.61±0.16 ^{eEF}	
15	4	3	2	4	1	3.56±0.62 ^{aA}	
16	4	4	1	3	2	1.57±0.11 ^{eEF}	
K ₁	7.40	7.44	7.33	7.22	10.94		
K ₂	7.98	7.24	9.08	8.24	7.12		
K ₃	7.00	8.36	8.04	7.14	6.46		

续表 10 以菌丝体生长速度为指标的极差分析
Tab. 10 Range analysis table with mycelium growth rate as index (continued)

试验号 Test No.	因素 Factors					菌丝生长速度 Mycelium growth rate/(mm·d ⁻¹)
	A 琼脂浓度 Agar concentration/%	B pH	C 温度 Temperature/°C	D 氧气 Oxygen	E 光照 Light	
K ₄	8.46	7.80	6.39	8.24	6.32	
k ₁	1.85	1.86	1.83	1.81	2.74	
k ₂	2.00	1.81	2.27	2.06	1.78	
k ₃	1.75	2.09	2.01	1.79	1.62	
k ₄	2.12	1.95	1.60	2.06	1.58	
极差	0.37	0.28	0.67	0.27	1.16	
主次顺序	E > C > A > B > D					
优水平	A ₄	B ₃	C ₂	D ₂ , D ₄	E ₁	
优组合	A ₄ B ₃ C ₂ D ₄ E ₁ , A ₄ B ₃ C ₂ D ₂ E ₁					

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P < 0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P < 0.01$).



图 7 不同正交组合下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的菌丝体生长情况

Fig. 7 Mycelium growth of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different orthogonal combinations



图 8 不同正交组合下盖囊菇菌株在 PSA 平板中的培养情况

Fig. 8 Cultivation of *P. cystidiosus* strains in PSA plate under different orthogonal combinations

进一步验证试验,该菌在组合 A₄B₂C₁D₄E₂ 培养基上孢梗束形成数量最大,达到(49.00±3.46)个/皿,但在组合 A₂B₂C₁D₄E₃ 上其生长速度最大[(3.26±0.45)mm/d],其余参数结果均相同。因此,最优组合为 A₄B₂C₁D₄E₂,即琼脂浓度 2.0%、pH 为 8.00、温度 25 °C、培养皿直径为 100 mm、光照时长为 14 h。

3 讨论

本试验用平板固体培养的方式,采用单因素和正交优化试验来探究 5 种可控环境因子对一株临沧覆土栽培盖囊菇高温品种菌丝体生长和发育

及原基分化的影响。

结果显示,盖囊菇菌丝体生长与孢梗束形成的温度范围分别为 10~30 °C、15~30 °C,二者在所有琼脂浓度、pH、氧气、光照处理上也均发育,其中单因素试验二者最适环境因子除氧气(培养皿直径 100 mm)相同外,温度(25、27 °C)、琼脂浓度(3.0%、2.0%)、pH(5.80、8.00)、光照(0、24 h)各不相同,正交优化试验组合除温度均为 25 °C 外,其他环境因子与单因素结果完全一致。

上述盖囊菇菌丝体生长的温度范围与郭禧淑等^[2]、严泽湘^[20]、贺新生等^[21]研究结果一致。该

表 11 正交组合下菌丝体生长与孢梗束形成
Tab. 11 Mycelium development and coremium formation under orthogonal combinations

试验号 Test No.	菌丝体 Mycelium					孢梗束形成时间 Coremium formation time/d
	萌发时间 Germination time/d	培养时间 Culture time/d	生长势 Growth potential	菌落直径 Colony diameter/mm	生长速度 Growth rate/(mm·d ⁻¹)	
1	3	13	++	27.59	2.12±0.08 ^{cdDEF}	3
2	2	13	++	27.84	2.14±0.05 ^{cdDEF}	2
3	2	13	+	28.50	2.19±0.04 ^{cdDEF}	2
4	4	13	+	11.34	0.87±0.32 ^{hi}	4
5	2	13	+	26.25	2.02±0.24 ^{deDEFG}	2
6	2	13	++	27.42	2.11±0.11 ^{cdDEF}	2
7	2	13	+	22.11	1.70±0.03 ^{efgFGH}	2
8	2	13	+++	39.92	3.07±0.11 ^{bB}	2
9	2	13	+	31.92	2.46±0.17 ^{cCD}	2
10	2	13	+	20.92	1.61±0.09 ^{deGH}	3
11	3	13	+	24.17	1.86±0.21 ^{defEFGH}	3
12	2	13	++	29.09	2.24±0.52 ^{cdDE}	2
13	2	13	+	19.01	1.46±0.14 ^{gH}	3
14	2	13	++	28.26	2.18±0.11 ^{cdDEF}	2
15	2	13	+++	47.42	3.65±0.52 ^{aA}	2
16	2	13	++	37.50	2.89±0.18 ^{bBC}	2

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

表 12 以孢梗束形成数量为指标的极差分析
Tab. 12 Range analysis table with number of coremium formation as index

试验号 Test No.	因素 Factors					孢梗束数量 Coremium quantity
	A 琼脂浓度 Agar concentration/%	B pH	C 温度 Temperature/°C	D 氧气 Oxygen	E 光照 Light	
1	1	1	1	1	1	26.00±6.48 ^{efCD}
2	1	2	2	2	2	28.00±1.83 ^{cdefBCD}
3	1	3	3	3	3	30.25±3.95 ^{cdefBCD}
4	1	4	4	4	4	21.50±3.11 ^{fd}
5	2	1	2	3	4	24.50±10.41 ^{efCD}
6	2	2	1	4	3	48.75±8.18 ^{aA}
7	2	3	4	1	2	28.33±4.03 ^{cdefBCD}
8	2	4	3	2	1	27.50±4.36 ^{defCD}
9	3	1	3	4	2	37.25±3.40 ^{bcdABC}
10	3	2	1	3	1	27.25±6.08 ^{defCD}
11	3	3	4	2	4	27.25±11.00 ^{defCD}
12	3	4	2	1	3	28.25±1.71 ^{cdefBCD}
13	4	1	4	2	3	23.25±7.14 ^{efD}
14	4	2	3	1	4	33.50±5.45 ^{bcdBCD}
15	4	3	2	4	1	37.75±8.10 ^{b^cABC}
16	4	4	1	3	2	41.25±3.59 ^{abAB}

续表 12 以孢梗束形成数量为指标的极差分析
Tab. 12 Range analysis table with number of coremium formation as index (continued)

试验号 Test No.	因素 Factors					
	因素 Factors	孢梗束数量 Coremium quantity	因素 Factors	孢梗束数量 Coremium quantity	因素 Factors	孢梗束数量 Coremium quantity
K ₁	105.75	111.00	143.25	116.08	118.50	
K ₂	129.08	137.00	118.5	106.25	134.83	
K ₃	120.00	123.58	128.25	123.25	130.50	
K ₄	135.75	118.50	100.33	145.25	106.75	
k ₁	26.44	27.75	35.81	29.02	29.63	
k ₂	32.27	34.25	29.63	26.56	33.71	
k ₃	30.00	30.90	32.06	30.81	32.63	
k ₄	33.94	29.63	25.08	36.31	26.69	
极差	7.50	6.50	10.73	10.06	7.02	
主次顺序		C > D > A > E > B				
优水平	A ₄	B ₂	C ₁	D ₄	E ₂	
优组合	A ₄ B ₂ C ₁ D ₄ E ₂					

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P < 0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P < 0.01$).

菇菌丝生长最适温度与 DAWIDOWICZ 等^[22]研究结果相同，但与 HOA 等^[23] (28 °C) 的与李蝶等^[3] (27.5 °C) 的不符。该菇菌丝生长 pH 的范围与李蝶的研究结果一致，其最适 pH 与贺新生研究结果相同，而与 DULAY 等^[24] (7.00)、郭禧淑等 (6.00~6.50)、严泽湘 (6.00~6.50) 等研究结果不同。氧气浓度与盖囊菇菌丝生长速度成正比，黑暗情况下更有利于菌丝生长，该结果与贺新生的研究相同。目前，盖囊菇孢梗束的研究极少且仍处于形态学观察阶段，其它方面未见报道，环境条件对其影响较大。

因此，本试验结果与前人的研究存在部分差异，导致出现上述结果极有可能与菌株的遗传多样性有关，同一品种但不同来源其生物学特性存在一定的差异，如和耀威等^[25]与陈绪涛等^[26]分别对不同来源的黑木耳、皱环球盖菇菌株均开展了温度试验，在不同的温度梯度下菌株间温度的变化趋势与最适温度均存在不同程度的差异。此外，培养基质种类、试验设备型号、人员操作技术等因素均可能引起试验结果的差异。

总之，在摸清临沧覆土栽培盖囊菇高温品种可控环境条件的基础上，一方面，继续采用本试验的培养方式，有必要对该菇的营养生理^[27]、不同生育阶段酶活^[28]、液体发酵技术^[29]等进行系统的研

究；另一方面，采用培养料培养方式，对该菇进行可控环境条件^[30]、栽培^[31]、产品加工^[32]、孢梗束形成机理等方面的研究，为该菇的林下推广与应用鉴定基础。

参考文献

- [1] 郭成金. 蕈菌生物学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2014.
GUO C J. Mushroom Biology[M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2014. (in Chinese)
- [2] 郭禧淑, 黄骥. 盖囊侧耳生物学特性及其栽培技术研究[J]. 福建农业科技, 1988(3): 9-11.
GUO X S, HUANG Q. Study on biological characteristics and cultivation techniques of *Pleurotus cystidiosus*[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 1988(3): 9-11. (in Chinese)
- [3] 李蝶, 吴浩, 李红玉, 雷雨霞, 刘斌. 野生泡囊侧耳的鉴定及其驯化栽培[J]. 北方园艺, 2015(4): 143-146.
LI D, WU H, LI H Y, LEI Y X, LIU B. Domestication and cultivation of wild *Pleurotus cystidiosus* and its molecular identification[J]. Northern Horticulture, 2015(4): 143-146. (in Chinese)
- [4] 孙立南. 盖囊侧耳高产优质栽培技术初探[J]. 中国食用菌, 1994(3): 35-36.
SUN L N. A preliminary study on high yield and high quality cultivation technology of *Pleurotus cystidiosus*[J]. Edible

- Fungi of China, 1994(3): 35-36. (in Chinese)
- [5] 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 H Y. 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. (in Chinese)
- [6] 梁枝荣, 赵良启. 凤尾菇和盖囊侧耳原生质体非对称融合的研究[J]. 菌物系统, 1999(4): 440-444. LIANG Z R, ZHAO L Q. A study of polarized protoplast fusion between *Pleurotus sajorcaju* and *Pleurotus cystidiosus*[J]. Mycosystema, 1999(4): 440-444. (in Chinese)
- [7] 马富英, 罗昌昌. 28SrDNA PCR-RFLP 分析在侧耳属系统发育研究中的应用[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 201-205. MA F Y, LUO X C. Phylogeny of *Pleurotus* inferred from PCR-RFLP of 28S ribosomal DNA[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(3): 201-20. (in Chinese)
- [8] 郑和斌. 核 rDNA ITS 序列在侧耳属分子分类学上的应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005. ZHEN H B. The application in molecular taxonomy of Genus *Pleurotus* based on rDNA ITS sequences[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [9] PANDA B C, MAITY P, NANDI A K, PATTANAYAK, M, MANNA D K, MONDAL S, TRIPATHY S, ROY S, ACHARYA K, ISLAM S S. Heteroglycan of an edible mushroom *Pleurotus cystidiosus*: structural characterization and study of biological activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 95: 833-842.
- [10] GARCIA K, GARCIA C J, BUSTILLOS R, DULAY R M. Mycelial biomass, antioxidant, and mycoactives of mycelia of abalone mushroom *Pleurotus cystidiosus* in liquid culture[J]. Journal of Applied Biology & Biotechnology, 2020, 8(2): 94-97.
- [11] TAO Q Q, MA K, BAO L, WANG K, HAN J J, ZHANG J X, HUANG C Y, LIU H W. New sesquiterpenoids from the edible mushroom *Pleurotus cystidiosus* and their inhibitory activity against α -glucosidase and PTP1B[J]. Fitoterapia, 2016, 111: 29-35.
- [12] ROSSIANA N, MAYAWATIE B, AMALIA A N. Activity test of *Pleurotus ostreatus* Jacq and *Pleurotus cystidiosus* O. K. Mill as antibacteria against *Escherichia coli* Migula[J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2017, 23(4): 3306-3308.
- [13] 杜忠伟, 胡志强, 亢学平, 李建, 王旭, 王鑫. 一株野生猴头菇生物学特性及农艺形状研究[J]. 中国林副特产, 2020(1): 19-20. DU Z W, HU Z Q, KANG X P, LI J, WANG X, WANG X. Study on biological characteristics and agronomic shape of a wild *Hericium erinaceus*[J]. Forest By-product and Speciality in China, 2020(1): 19-20. (in Chinese)
- [14] 窦晓丽, 胡文静, 刘凡, 林彩英, 李克梅. 新疆 2 种苜蓿叶斑病病原菌主要生物学特性[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(10): 1863-1870. DOU X L, HU W J, LIU F, LIN C Y, LI K M. Biological characteristics of pathogens causing of two alfalfa leaf spot in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(10): 1863-1870. (in Chinese)
- [15] 张焱珍, 周会明, 白玉英, 柴红梅, 古广红, 赵娅通, 田利波, 卵明娟. 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. ZHANG Y Z, ZHOU H M, BAI Y Y, CHAI H M, GU G H, ZHAO Y T, TIAN L B, MAO M J. Identification and domestication cultivation of a wild-type *Ganoderma lingzhi* strain from Lincang, Yunnan[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(11): 2176-2182. (in Chinese)
- [16] 何俊, 罗宗龙, 邓瑞民, 苏开美, 李树红, 苏鸿雁. 野生柳生金针菇和金针菇的分离, 生物学特性及驯化栽培[J]. 菌物学报, 2022, 41(4): 630-646. HE J, LUO Z L, DENG R M, SU K M, LI S H, SU H Y. Isolation, biological characteristics and domestication of wild *Flammulina rossica* and *F. filiformis*[J]. Mycosystema, 2022, 41(4): 630-646. (in Chinese)
- [17] 梁倩倩, 宋利茹, 牛鑫, 席亚丽, 冯九海, 曹选莉, 贺宇杉, 祝建烜, 魏生龙. 絮缘蘑菇生物学特性及驯化栽培[J]. 菌物学报, 2020, 39(7): 1301-1311. LIANG Q Q, SONG L R, NIU X, XI Y L, FENG J H, CAO X L, HE Y S, ZHU J X, WEI S L. Biological characteristics and domestic cultivation of *Agaricus subfloccosus*[J]. Mycosystema, 2020, 39(7): 1301-1311. (in Chinese)
- [18] 侯占山. 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. HOU Z S. Effects of different illumination times on growth and development of *Pleurotus eryngii*[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2021, 27(1): 89-95. (in Chinese)
- [19] 刘朋虎, 陈华, 李波, 王义祥, 翁伯琦. 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. LIU P H, CHEN H, LI B, WANG Y X, WENG B Q. Effects of cadmium stress on mycelium physiological indexes and cadmium absorption in *Agaricus brasiliensis*[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, 39(8): 1675-1682. (in Chinese)
- [20] 严泽湘. 盖囊菇栽培技术[J]. 农业研究与应用, 2003(2): 27-29. YAN Z X. Cultivation technique of *Pleurotus cystidiosus*[J]. Agricultural Research and Application, 2003(2): 27-29. (in Chinese)

- Chinese)
- [21] 贺新生, 候大斌. 野生蕈菌生物学特性与栽培技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
HE X S, HOU D B. Biological characteristics and cultivation techniques of wild mushrooms[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [22] DAWIDOWICZ L, JASIŃSKA A, SIWULSKI M. The effect of selected cultivation factors on the growth of mycelium of *Pleurotus cystidiosus* Miller[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2018, 46(1): 156-160.
- [23] HOA H T, WANG C L. The effects of temperature and nutritional conditions on mycelium growth of two oyster mushrooms(*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*)[J]. Mycobiology, 2015, 43(1): 14-23.
- [24] DULAY R, RAY K, HOU C T. Optimization of liquid culture conditions of Philippine wild edible mushrooms as potential source of bioactive lipids[J]. Biocatalysis & Agricultural Biotechnology, 2015, 4(3): 409-415.
- [25] 和耀威, 黄静, 向准, 熊雪, 李鹏, 杨彝华. 引种黑木耳菌株菌丝体基础生物学特性研究[J]. 农业与技术, 2022, 42(9): 10-14.
HE Y W, HUANG J, XIANG Z, XIONG X, LI P, YANG Y H. Study on the basic biological characteristics of the mycelium of the introduced *Auricularia auricula* strain[J]. Agriculture and Technology, 2022, 42(9): 10-14. (in Chinese)
- [26] 陈绪涛, 章炉军, 孙鹏, 胡文君, 王瑞娟, 张美彦, 魏云辉, 王洪秀, 胡佳, 熊泽亚. 我国主栽皱环球盖菇菌株遗传多样性及栽培特性[J]. 菌物学报, 2021, 40(12): 3081-3095.
CHEN X T, ZHANG L J, SUN P, HU W J, WANG R J, ZHANG M Y, WEI Y H, WANG H X, HU J, XIONG Z Y. Genetic diversity and cultivation characteristics of the main cultivars of *Stropharia rugosoannulata* in China[J]. Mycosystema, 2021, 40(12): 3081-3095. (in Chinese)
- [27] 李鹏, 熊雪, 张贵合, 陶文广, 向准, 王晶, 刘忠玄, 黄静. 冬小包脚菇的鉴定及其菌丝生长最佳营养条件研究[J]. 种子, 2022, 41(5): 51-59.
LI P, XIONG X, ZHANG G H, TAO W G, XIANG Z, WANG J, LIU Z X, HUANG J. Research on the identification of the *Volvariella brumalis* strain and its optimal culture conditions of its hyphae[J]. Seed, 2022, 41(5): 51-59. (in Chinese)
- Chinese)
- [28] 闫静, 王伟科, 袁卫东, 陆娜, 宋吉玲, 周祖法. 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.
YAN J, WANG W K, YUAN W D, LU N, SONG J L, ZHOU Z F. Effects of temperature on the growth, development and extracellular enzyme activities of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2020, 46(2): 161-167. (in Chinese)
- [29] 熊雪, 李鹏, 张贵合, 向准, 陶文广, 周光艳, 何耀威. 不同栽培基质诱导对香菇液体发酵产漆酶活性的影响[J]. 生物技术通报, 2021, 37(12): 50-59.
XIONG X, LI P, ZHANG G H, XIANG Z, TAO W G, ZHOU G Y, HE Y W. Effects of different cultivation substrates on the laccase activities of *Lentinula edodes* during liquid fermentation[J]. Biotechnology Bulletin, 2021, 37(12): 50-59. (in Chinese)
- [30] 谭昊, 苗人云, 刘天海, 唐杰, 杜大兵, 韩海涛, 杨海军, 林松, 黄忠乾, 彭卫红. 成都平原地区梯棱羊肚菌人工栽培生态环境参数范围及变化规律[J]. 西南农业学报, 2021, 34(1): 27-39.
TAN H, MIAO R Y, LIU T H, TANG J, DU D B, HAN H T, YANG H J, LIN S, HUANG Z Q, PENG W H. Ranges and dynamics of environmental factors for *Morchella importuna* cultivation in Chengdu plain area[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(1): 27-39. (in Chinese)
- [31] 高洋, 张波, 叶建强, 张金喙, 王冶, 李玉. 腐木生硬柄菇生物学特性及驯化[J]. 食用菌学报, 2018, 25(1): 34-37.
GAO Y, ZHANG B, YE J Q, ZHANG J Y, WANG Z, LI Y. Mycelial growth characteristics and artificial cultivation of *Ossicaulis lignatilis*[J]. Acta Edulis Fungi, 2018, 25(1): 34-37. (in Chinese)
- [32] 王纯, 戴艳军, 孙玥, 李雪玲, 梁进. 不同品种菌菇加工脆片适宜性评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(4): 171-175, 238.
WANG C, DAI Y J, SUN Y, LI X L, LIANG J. Suitability evaluation for processing chips from different mushroom varieties[J]. Food and Machinery, 2021, 37(4): 171-175, 238. (in Chinese)