

亚东黑耳的生物学特性和驯化栽培

李婉莹¹, 阿布来提·托合提热结甫^{1,2}, 吴芳^{1*}, 高磊^{3*}

1 北京林业大学生态与自然保护学院 林木资源高效生产全国重点实验室, 北京 100083

2 石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子 832003

3 西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所, 西藏 拉萨 850000

摘要: 本文对分离自西藏自治区亚东县的亚东黑耳 *Exidia yadongensis* 菌株进行分子生物学鉴定, 开展生物学特性及驯化栽培研究。结果表明: 亚东黑耳菌丝生长的最适温度为 24 °C, 最适 pH 为 6, 最适碳源为麦芽糖, 最适氮源为酵母浸粉。在驯化出菇试验中, 出菇栽培基质为木屑 87%, 麸皮 8%, 豆粕 3%, 石灰 1%, 石膏 1%, 菌袋在 70 d 黑暗培养后长满菌丝, 菌丝稀疏。菌袋放置在亚东县野外环境下成功出耳, 但生长周期较长, 在 35 d 后开始出现原基, 在 62 d 后才开始出耳。研究结果为亚东黑耳的人工栽培和开发利用提供了重要参考。

关键词: 亚东黑耳; 温度; pH; 碳源; 氮源; 驯化栽培

[引用本文]

李婉莹, 阿布来提·托合提热结甫, 吴芳, 高磊, 2025. 亚东黑耳的生物学特性和驯化栽培. 菌物学报, 44(8): 250033

Li WY, Tohtirjap A, Wu F, Gao L, 2025. Biological characteristics and domestication of *Exidia yadongensis*. Mycosystema, 44(8): 250033

资助项目: 国家自然科学基金(32070006); 西藏自治区科技计划项目(XZ202201ZY0006N)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (32070006) and the Science and Technology Project of Xizang Autonomous Region (XZ202201ZY0006N).

*Corresponding authors. E-mail: WU Fang, fangwubjfu2014@bjfu.edu.cn; GAO Lei, gaoleilei3@163.com

ORCID: WU Fang (0000-0002-1455-6486)

Received: 2025-02-19; Accepted: 2025-03-03

Biological characteristics and domestication of *Exidia yadongensis*

LI Wanying¹, TOHTIRJAP Ablat^{1,2}, WU Fang^{1*}, GAO Lei^{3*}

1 State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 College of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China

3 Institute of Vegetables, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, Xizang, China

Abstract: The strain of *Exidia yadongensis* collected from Yadong County, Xizang, was isolated and identified by the molecular markers. Biological characteristics and artificial cultivation of the fungus were studied. The results showed that the optimal temperature, pH, carbon source and nitrogen source for mycelial growth were 24 °C, 6.0, maltose and yeast extract powder respectively. The substrate for domestication was wood chips 87%, bran 8%, soybean meal 3%, lime 1%, and gypsum 1%. Bagful mycelial colonization time was 70 days under dark culture. Under bag-culture condition in the wild environment of Yadong County, the primordia appeared in 35 days, and the fruiting bodies appeared in 62 days. The research provided new data for cultivation and utilization of *Exidia yadongensis*.

Keywords: *Exidia yadongensis*; temperature; pH value; carbon source; nitrogen source; domestication

木材腐朽菌是全球重要的生物资源,我国栽培的食药真菌绝大部分为木材腐朽菌,近年来我国许多重要的食药木材腐朽菌也实现了驯化栽培,如柠檬鳞伞 *Pholiota limonella* (Peck) Sacc., 香樟范氏孔菌 *Vanderbylia cinnamomea* C.L. Zhao, 东亚木层孔菌 *Phellinus orientoasiaticus* L.W. Zhou & Y.C. Dai, 亚高山绣球菌 *Sparassis subalpina* Q. Zhao *et al.*, 贝壳革耳 *Panus conchatus* (Bull.) Fr.等(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010; 蔡婧等 2021; 杨雄和赵长林 2022; 张旭等 2023; 葛彦宏等 2024; 王圣铨和张君丽 2024)。胶质类真菌是木材腐朽菌的一个重要类群,包括木耳、银耳、黑耳和花耳等,其中木耳和银耳中的一些种类已成功驯化,近年来也培育了多个新品种并实现了商业化栽培(李建等 2021; 杨亚永等 2021; 姚春馨等 2021, 2022; 张波等 2022; 张琪辉等 2022; 曹雪莲等 2023),但其他胶质类真菌还停留在资源挖掘和物种多样性等基础研究阶段(Fan *et al.* 2021; Lian *et al.*

2022; Zhou *et al.* 2022; Tohtirjap *et al.* 2023)。

亚东黑耳 *Exidia yadongensis* F. Wu *et al.*隶属于担子菌门 Basidiomycota、蘑菇纲 Agaricomycetes、木耳目 Auriculariales、木耳科 Auriculariaceae。黑耳属 *Exidia* Fr.物种在世界范围内广泛分布,目前共有 70 多种,在中国发现的有 10 种(叶晟懿 2020)。亚东黑耳是黑耳属中最重要的野生食用菌之一,主要产自西藏亚东地区,其味道鲜美、具有独特的香气、营养丰富,被誉为“植物肉、素中之荤”,深受当地人的喜爱,当地群众自古就有采食亚东黑耳的习惯和把该种作为滋补品送病人调养身体的习俗,是西藏地区重要的野生珍稀大型食用真菌(李兆坤等 2017; 毛绪强 2019; 松桂花等 2024)。亚东黑耳曾一度被误认为是木耳属 *Auricularia* 的一种,称为“亚东木耳”(毛绪强 2019)。熊卫萍等(2013)通过形态学和分子系统学明确了亚东黑耳为黑耳属的物种, Wu *et al.* (2020)基于多基因系统发育分析和形态学研究了来自东亚、欧洲和北美洲与亚东黑耳形态

相近的黑耳属真菌标本,发现碟形黑耳 *E. recisa* (Ditmar) Fr.是个复合种,包括了欧洲的碟形黑耳和浅波黑耳 *E. repanda* Fr.、北美洲的钝齿黑耳 *E. crenata* (Schwein.) Fr.和东亚地区的一个新种,即亚东黑耳,并将其正式命名为亚东黑耳。

亚东黑耳主要分布在青藏高原东南部地区,在本课题组对黑耳资源多样性调查时发现湖北省神农架也有亚东黑耳的分布,主要生长在蔷薇科植物的枯树枝上(Wu *et al.* 2020; Cui *et al.* 2025)。亚东黑耳中含有 18 种常见氨基酸,包含全部 8 种必需氨基酸,其粗蛋白含量与粮食作物接近,此外,从中提取出的亚东黑耳多糖还具有抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病等功能(陈洪雨等 2019; Tang *et al.* 2023)。李兆坤等(2017)对亚东黑耳菌丝的发酶条件进行了研究,发现可溶性淀粉、酵母浸粉和 CaCl_2 分别为亚东黑耳生长代谢的较佳碳源、氮源和无机盐。目前由于该物种野生资源的价格不断上涨,每公斤超过 4 000 元,采摘野生亚东黑耳已经成为当地农牧民增收的一个重要渠道,但是随着采摘力度的增加其产量逐年下降,野生资源被严重破坏,且尚未有其驯化栽培相关的研究报道,因此,探索其生物学特性并初步开展人工驯化栽培研究,对保护菌种种质资源、实现商业化推广具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株

本研究使用的供试菌株采自西藏自治区日喀则市亚东县及林芝市色季拉山的亚东黑耳子实体,该子实体经分子生物学及形态学(Wu *et al.* 2020)分析鉴定为亚东黑耳 *Exidia yadongensis*。菌株分离方法参照李晓等(2014)的组织块分离法,获得的供试菌株,保藏于北京林业大学和西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所菌种库。

1.1.2 培养基

碳源基础培养基:酵母浸粉 20 g,琼脂 20 g,磷酸二氢钾 1.5 g,硫酸镁 0.5 g,水 1 000 mL。氮源基础培养基:葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,磷酸

二氢钾 1.5 g,硫酸镁 0.5 g,水 1 000 mL。

1.2 生物学特性研究

1.2.1 不同温度对菌丝生长的影响

在直径为 5.5 cm 的 PDA 平板培养基中直接接种边长为 4 mm 的菌块,在 15、18、21、24 和 27 °C 条件下避光培养,每组 5 个培养皿。每天观察菌丝生长情况,采用十字交叉法测定菌落直径,直至其中一组菌丝长满平板,计算菌丝日均生长速度(祁亮亮等 2011; 孔怡等 2014; 李政等 2021)。

菌丝生长速度(mm/d)=菌落半径(mm)/培养时间(d)

1.2.2 不同 pH 对菌丝生长的影响

用 1 mol/L HCl 或 1 mol/L NaOH 调节 PDA 培养基 pH 为 5.0、6.0、7.0、8.0、9.0,在直径为 5.5 cm 的 PDA 平板培养基中直接接种边长为 4 mm 的菌块,在 24 °C 条件下避光培养,每组 5 个重复。

1.2.3 不同碳源对菌丝生长的影响

在基础培养基中分别加入 20 g 葡萄糖、蔗糖、淀粉、乳糖、麦芽糖作为碳源配制培养基,在直径为 5.5 cm 的培养基平板上接种边长为 4 mm 的菌块,在 24 °C 条件下避光培养,每组 5 个重复。

1.2.4 不同氮源对菌丝生长的影响

在基础培养基中分别加入 20 g 酵母浸粉、牛肉膏、硫酸铵、蛋白胨、尿素作为氮源配制培养基,在直径为 5.5 cm 的培养基平板上接种边长为 4 mm 的菌块,在 24 °C 条件下避光培养,每组 5 个重复。

1.3 栽培试验

1.3.1 原种制作

将亚东黑耳菌丝块(1.0 cm × 1.0 cm)转接于 PDA 培养基上,并置于 24 °C 恒温暗光培养。麦粒提前加水浸泡至无白芯,沥干后与木屑、石膏粉混匀,并用石灰粉调节 pH 至 7.0 左右,麦粒原种经 121 °C 高压灭菌 2 h。冷却后接种,每瓶接入 2 cm × 2 cm 的菌丝块,24 °C 恒温避光培养至菌丝长满,获得原种。

1.3.2 栽培种制作

栽培种制作参考敖成策等(2024)的方法,栽培袋配方为木屑 87%,麸皮 8%,豆粕 3%,石

灰 1%，石膏 1%，将主料和辅料充分混匀后加水翻拌，基质含水量为 65%左右。石灰粉调节 pH 至 8.0 左右装袋，采用规格为 17 cm × 35 cm × 0.04 mm 的聚丙烯袋子作为菌袋，装袋后在袋口套环，插入定型棒封口后 121 °C 高压灭菌 2 h。灭菌结束后待其冷却至室温接种，每袋接入 20 g 原种，后置于恒温养菌室 22 °C 避光培养。养菌室预先臭氧熏蒸消毒，菌丝培养期间定期消杀通风，防止缺氧影响菌丝生长。菌丝满袋后 18–20 °C 后熟培养 7–14 d。

1.3.3 打孔催芽

后熟后将菌袋置于阴凉处打孔，每袋约刺 180 个“—”字孔后置于阴凉通风处 7–14 d，此期间避免太阳光直射，让菌丝恢复生长。

1.3.4 野外出菇

8 月份在亚东县旦成拉观景台附近摆放菌袋露天式地摆出耳，菌袋之间间隔 10 cm，在自然条件进行出耳。

2 结果与分析

2.1 不同温度对菌丝生长的影响

接种后第 4 天，只有 21 °C 和 24 °C 培养的菌

丝萌发；接种后第 6–8 天，其他温度培养的菌丝开始萌发，15 °C 培养的菌丝萌发最晚。在 15–28 °C 的范围内，菌丝均能生长；当温度低于 24 °C 时，随着温度升高，菌丝的生长速度加快；实验范围内，24 °C 时菌丝生长速度达到最高值 (0.80±0.04) mm/d，菌丝浓密，之后随着温度升高，菌丝的生长速度逐渐降低(表 1，图 1)。15–21 °C 菌丝生长缓慢，但是菌丝浓密洁白。在 27 °C 培养时菌丝较为稀疏。结合菌丝生长速度和长势，最适温度为 24 °C。

2.2 不同 pH 对菌丝生长的影响

接种后第 5 天，亚东黑耳菌丝在 pH 5–9 的培养基上均能萌发生长。当 pH 值小于 6 时，菌丝生长速度呈递增趋势，pH 值为 6 时，菌丝生长速度最快，为(0.86±0.03) mm/d，菌丝洁白浓密，pH 值为 7 时菌丝生长速度下降，pH 为 9 时，菌丝生长速度达到最低值，为(0.38±0.05) mm/d，且菌丝较稀疏(表 2，图 2)。结合菌丝生长速度和长势，最适 pH 为 6。

2.3 不同碳源对菌丝生长的影响

亚东黑耳菌丝在含有不同碳源的 5 种培养基上均能生长，接种后 4–5 d 为菌丝适应期，菌丝长

表 1 不同温度对亚东黑耳菌丝生长的影响
Table 1 Effects of different temperature on mycelial growth of *Exidia yadongensis*

温度 Temperature (°C)	生长速度 Mycelial growth rate (mm/d)	菌丝长势 Mycelial growth vigor	菌落特征 Colony characteristics
15	0.46±0.05	+	洁白，粗密 White, dense
18	0.67±0.03	++	洁白，粗密 White, dense
21	0.71±0.03	++	洁白，粗密 White, dense
24	0.80±0.04	+++	洁白，粗密 White, dense
27	0.37±0.05	+	洁白，较密 White, less dense

注：数据为 5 次的平均值和标准差；+++表示菌丝生长势旺盛，++表示菌丝生长势一般，+表示菌丝生长势弱。下同
Notes: Values are the means ± SD (n=5); +++ indicates vigorous growth, ++ indicates moderate growth, + indicates weak growth. The same below.

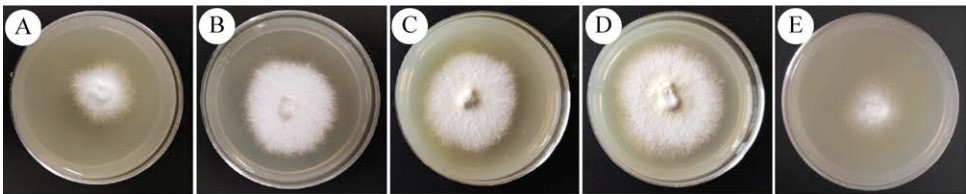


图 1 不同温度对亚东黑耳菌丝生长的影响
Fig. 1 Effects of different temperature on mycelial growth of *Exidia yadongensis*. A: 15 °C; B: 18 °C; C: 21 °C; D: 24 °C; E: 27 °C.

表 2 不同 pH 对亚东黑耳菌丝生长的影响
Table 2 Effects of different pH on mycelial growth of *Exidia yadongensis*

pH	生长速度 Mycelial growth rate (mm/d)	菌丝长势 Mycelial growth vigor	菌落特征 Colony characteristics
5	0.53±0.03	++	洁白，粗密 White, dense
6	0.86±0.03	+++	乳白，粗密 Opalescent, dense
7	0.77±0.02	+++	洁白，粗密 White, dense
8	0.65±0.11	+++	洁白，粗密 White, dense
9	0.38±0.05	++	洁白，粗密 White, dense

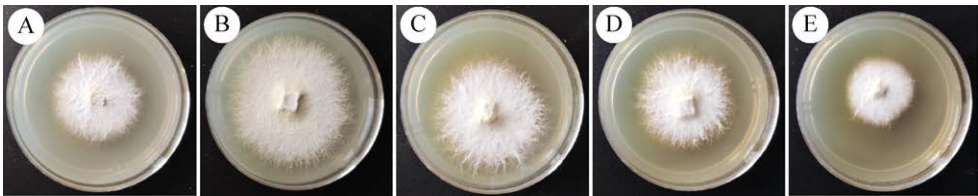


图 2 不同 pH 对野生亚东黑耳菌丝生长的影响
Fig. 2 Effects of different pH on mycelial growth of *Exidia yadongensis*. A: pH 5; B: pH 6; C: pH 7; D: pH 8; E: pH 9.

势非常缓慢，第 6 天菌丝开始萌发生长。碳源为乳糖时，菌丝生长速度最快，达(0.79±0.04) mm/d，但菌丝几乎透明，稀疏，长势弱；其次是麦芽糖 [(0.72±0.02) mm/d]，菌丝洁白，浓密；葡萄糖、蔗糖、淀粉菌丝生长速度相同[(0.66±0.04) mm/d]，其中碳源为葡萄糖时菌丝颜色乳白，最为浓密(表 3，图 3)。结合菌丝生长速度和长势，最适碳源为麦芽糖。

2.4 不同氮源对菌丝生长的影响

亚东黑耳菌丝在除尿素外的其余 4 种不同氮源的培养基上均能生长，氮源为尿素的培养基上菌丝几乎不生长。氮源为酵母浸粉时，菌丝生长速度最快，达(0.66±0.03) mm/d，菌丝长势较浓密，颜色乳白；其次是牛肉膏，生长速度为(0.59±0.02) mm/d，菌丝较密，颜色为淡黄色；硫酸铵和蛋白胨生长速度较慢(表 4，图 4)。结

表 3 不同碳源对亚东黑耳菌丝生长的影响
Table 3 Effects of different carbon source on the mycelial growth of *Exidia yadongensis*

碳源 Carbon source	生长速度 Mycelial growth rate (mm/d)	菌丝长势 Mycelial growth vigor	菌落特征 Colony characteristics
乳糖 Lactose monohydrate	0.79±0.04	+	透明，稀疏 Hyaline, sparse
麦芽糖 Maltose	0.72±0.02	+++	洁白，较密 White, less dense
淀粉 Starch	0.66±0.04	++	洁白，较密 White, less dense
葡萄糖 Glucose	0.66±0.02	+++	乳白，粗密 Opalescent, dense
蔗糖 Sucrose	0.66±0.02	+++	洁白，较密 White, less dense

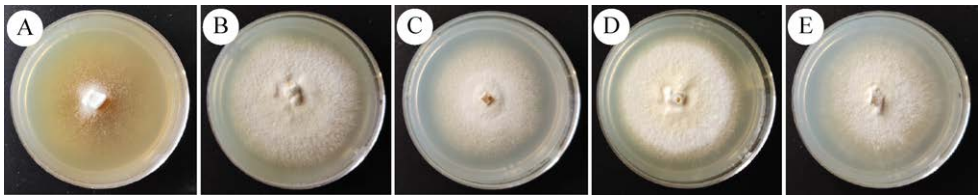


图 3 不同碳源对亚东黑耳菌丝生长的影响 A: 乳糖；B: 麦芽糖；C: 淀粉；D: 葡萄糖；E: 蔗糖
Fig. 3 Effects of different carbon source on the mycelial growth of *Exidia yadongensis*. A: Lactose monohydrate; B: Maltose; C: Starch; D: Glucose; E: Sucrose.

表 4 不同氮源对亚东黑耳菌丝生长的影响
Table 4 Effects of different nitrogen source on the mycelial growth of *Exidia yadongensis*

氮源	生长速度	菌丝长势	菌落特征
Nitrogen source	Mycelial growth rate (mm/d)	Mycelial growth vigor	Colony characteristics
酵母浸粉 Yeast extract powder	0.66±0.03	+++	乳白，粗密 Opalescent, dense
牛肉膏 Beef extract	0.59±0.02	++	淡黄，较密 Ochraceous, less dense
硫酸铵 Ammonium sulfate	0.51±0.04	+	透明，稀疏 Hyaline, sparse
蛋白胨 Peptone	0.48±0.03	+	淡黄，稀疏 Ochraceous, sparse
尿素 Urea	0	-	-

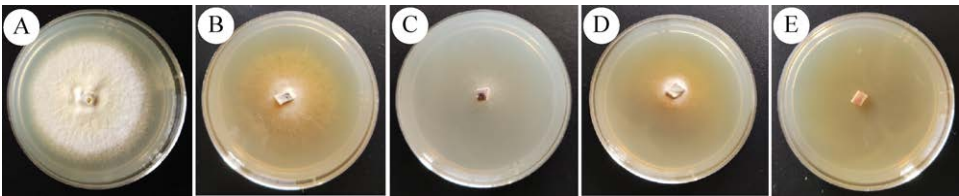


图 4 不同氮源对亚东黑耳菌丝生长的影响 A: 酵母浸粉; B: 牛肉膏; C: 硫酸铵; D: 蛋白胨; E: 尿素
Fig. 4 Effects of different nitrogen source on the mycelial growth of *Exidia yadongensis*. A: Yeast extract powder; B: Beef extract; C: Ammonium sulfate; D: Peptone; E: Urea.

合菌丝生长速度和长势，最适氮源为酵母浸粉。

2.5 驯化栽培结果

亚东黑耳使用阔叶树木屑作为主料进行栽培，菌袋接种后于养菌室 22 ℃避光培养，菌丝 70 d 满袋，较稀疏，后熟 10 d 后打孔养菌催芽

10 d，之后采用露天野外地摆式出耳。亚东黑耳菌棒打孔后原基形成缓慢且均一，原基分化期耳芽形态不规则、色深，随耳片发育颜色渐褪。经驯化栽培的耳片形态近似野生种，肥厚呈黑色，边缘全缘，无柄。各时期子实体形态详见图 5。

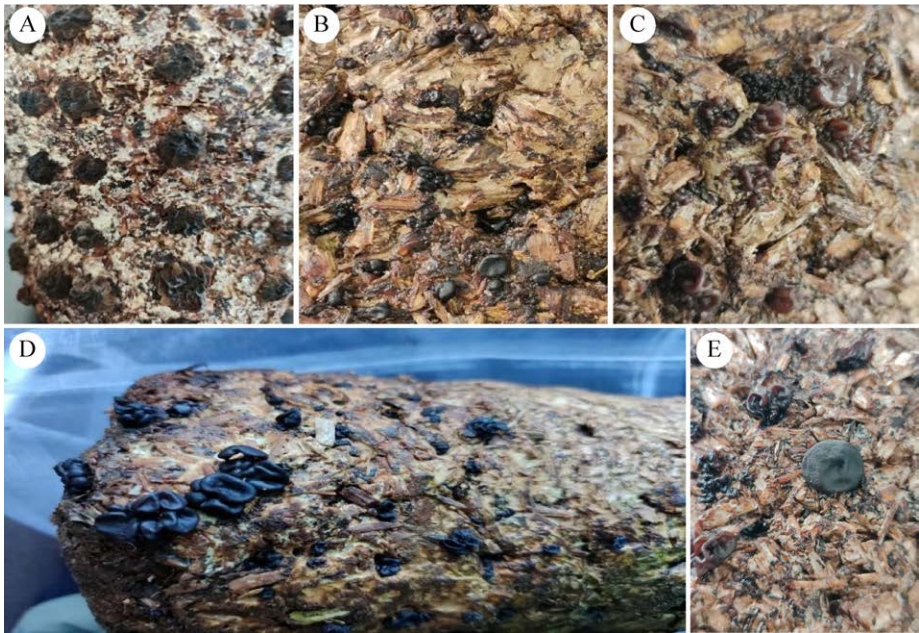


图 5 亚东黑耳驯化出菇子实体 A: 原基期; B–D: 原基分化期; E: 成熟期
Fig. 5 Domesticated fruiting bodies of *Exidia yadongensis*. A: Primordial period; B–D: Primordial differentiation period; E: Mature period.

3 讨论

本研究对采集自西藏自治区的亚东黑耳菌株进行生物学特性和驯化栽培研究,在实验设计范围内亚东黑耳菌丝生长的最适温度为 24 °C,最适 pH 为 6,最适碳源为麦芽糖,最适氮源为酵母浸粉。这与李兆坤等(2017)对亚东黑耳菌丝生长实验所得结果有较大差异,后者最适温度为 26 °C,最适 pH 为 7,该结果差异的产生可能与培养基种类不同有关,其试验所采用的是液体培养基并非固体培养基;后者可溶性淀粉作为碳源时菌丝更加粗壮致密,麦芽糖作为碳源时菌丝强度相对较弱,可能因为其试验周期更长,而可溶性淀粉作为大分子底物可为菌丝生长提供长效碳源,故出现此差异。由于本实验所设置的生长温度和 pH 梯度较大,其最适值可能在本实验得到的最适宜点范围附近,因此在今后的研究中应在本实验的基础上缩小梯度设置,同时增加多因素正交实验,进一步研究亚东黑耳菌丝的最适生长条件。

与黑木耳 *Auricularia heimuer* F. Wu *et al.* 和毛木耳 *Auricularia cornea* Ehrenb. 等胶质类真菌开展的生物学特性不同,我们的研究发现亚东黑耳更适应于偏中性的生长环境(pH 5.2–8.0),多数胶质类真菌为中高温型(25–33 °C),而亚东黑耳与银耳 *Tremella fuciformis* Berk. 的菌丝生长则偏好较低温度(22–24 °C),此外,不同种类胶质类真菌的最适碳氮源也不尽相同;在驯化栽培方面,胶质类真菌均以木屑作为栽培料主料(占比 40%–87%),并辅以麸皮、玉米芯等,含水量在 55%–65% 为宜,相较于其他胶质类真菌,亚东黑耳的出菇时间更长,且产量相对较低(Bandara *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2018; 张晓宇等 2019; 钱可晴等 2020; 张琪辉等 2022; 曹雪莲等 2023)。

本研究所使用的亚东黑耳菌株采集自西藏自治区高海拔地区,其生物学特性与高海拔环境存在显著适应性关联。亚东黑耳最适碳源为麦芽糖,以麦芽糖作为碳源时其生长速度快[(0.72±0.02) mm/d],菌丝长势强,前人对柠檬鳞伞、可

食灵芝 *Ganoderma esculentum* J. He & S.H. Li、近烟色离褶伞 *Lyophyllum pallidofumosum* Y.H. Ma *et al.* 等野生大型真菌研究也得出同样结论,与大多数真菌最适碳源为葡萄糖不一致,推测可能与野生菌株生长环境相关(蔡婧等 2021; 何俊等 2023; 李婉莹等 2023; 张巍镪等 2024)。最适氮源为酵母浸粉[(0.66±0.03) mm/d],前人对东亚木层孔、皱木耳 *Auricularia delicata* (Mont. ex Fr.) Henn.、亚弯柄灵芝 *Ganoderma subflexipes* B.K. Cui *et al.* 等其他野生真菌生物学特性研究时也报道过酵母浸粉为最佳氮源,这可能是与蛋白胨、硫酸铵、尿素等其他氮源相比酵母浸粉含有氨基酸、多肽、维生素及微量元素等更丰富的营养成分有关(安琪等 2015),同时也可能与亚东黑耳生长在西藏贫瘠高原环境中对复合营养的依赖相关(钱可晴等 2020; 张旭等 2023; 田润等 2024)。此外,亚东黑耳的最适温度(24 °C)和最适 pH (6)都与同样采集自西藏高海拔地区的亚高山绣球菌(最适温度为 21 °C,最适 pH 为 6.0–6.5)结论相似,都适应于较低的温度及弱酸性环境,其最适温度低于多数中低海拔真菌,这可能与西藏高海拔影响真菌生态习性从而使其产生低温偏好相关,而对弱酸性环境的偏好可能与西藏土壤呈弱酸性相关(葛彦宏等 2024)。

近年来我国对一些重要的食药用品材腐朽菌进行了驯化栽培研究,并取得重要进展,说明野生食药用品菌的驯化栽培正在成为菌物学研究领域的一个热点(戴玉成 2022, 2023; 杨雄和赵长林 2022; 李婉莹等 2023)。亚东黑耳作为西藏地区珍稀野生食用菌,其人工驯化栽培研究也备受关注。据了解,目前多家单位均在开展亚东黑耳的人工驯化栽培研究,但是因为其菌丝生长缓慢等原因,未能驯化栽培成功。本研究经过系统科学试验设计和摸索,初步实现了亚东黑耳在亚东县的野外条件下出耳,虽然产量尚未达到预期,但是对该品种的深度开发利用奠定了重要基础,也为其商业化生产提供了重要依据,对我国食药用品菌产业发展,特别是山区乡村振兴具有重要现实意义。

作者贡献

李婉莹：论文构思及撰写、文献调研、生物学特性试验；阿布来提·托合提热结甫：样品采集及生物学特性试验、数据处理；吴芳：提供实验材料、实验设计、论文修改及审核；高磊：亚东黑耳驯化及图片拍摄。

利益冲突

作者声明，该研究不存在任何潜在利益冲突的商业或财务关系。

[REFERENCES]

- An Q, Wu XJ, Wu B, Dai YC, 2015. Effects of carbon and nitrogen sources on lignocellulose decomposition enzyme activities in *Flammulina velutipes*. *Mycosystema*, 34: 761-771 (in Chinese)
- Ao CC, Suo HN, Tang SM, Li EX, Luo ZL, Li SH, 2024. Biological characteristics and domestication cultivation of wild *Auricularia thailandica*. *Edible Fungi of China*, 43(6): 18-28, 34 (in Chinese)
- Bandara AR, Karunarathna SC, Mortimer PE, Hyde KD, Khan S, Kakumyan P, Xu JC, 2017. First successful domestication and determination of nutritional and antioxidant properties of the red ear mushroom *Auricularia thailandica* (Auriculariales, Basidiomycota). *Mycological Progress*, 16: 1029-1039
- Cai J, Li SH, Li J, Li Y, Luo Y, Liu J, Xu ZY, Wang FJ, 2021. Biological characteristics and artificial cultivation of *Pholiota limonella*. *Acta Edulis Fungi*, 28(6): 61-67 (in Chinese)
- Cao XL, Chen Y, Peng WH, Wang D, Liu TH, Tang J, Jia DH, 2023. Three new cultivars of *Auricularia cornea*. *Mycosystema*, 42(12): 2481-2483 (in Chinese)
- Chen HY, Bao DP, Yang RH, Wang Y, Gao YN, Li Y, Wu YY, 2019. Amino acid profile and protein quality of *Exidia* sp. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 33(1): 81-87 (in Chinese)
- Cui YJ, Wu YD, Jiang YH, Zhu AH, Wu F, Liu HG, Dai YC, Yuan Y, 2025. Diversity of macrofungi in southeast Xizang 1. The wood-decay fungi. *Mycology*, <https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2379476>
- Dai YC, 2022. New trend of edible and medicinal fungi research in China—based on publications in *Mycosystema* during 2000–2021. *Journal of Fungal Research*, 20: 141-156 (in Chinese)
- Dai YC, 2023. Research progress on polypore domesticated cultivation in China. *Journal of Fungal Research*, 21(1/2/3): 151-156 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (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)
- Fan LF, Wu YD, Wu F, Dai YC, 2021. *Calocera tibetica* sp. nov. (Dacrymycetaceae, Dacrymycetales) from southwestern China. *Phytotaxa*, 500(2): 133-141
- Ge YH, He JQ, Han Z, Xu D, Liu HX, 2024. Biological characteristics and domestication cultivation of *Sparassis subalpina*. *Mycosystema*, 43(12): 240092 (in Chinese)
- He J, Li EX, Niu KY, Luo HM, Wu XQ, Su KM, Luo ZL, Li SH, 2023. Biological characteristics and domestication of *Ganoderma dianzhongense* and *G. esculentum*. *Acta Edulis Fungi*, 30(4): 21-30 (in Chinese)
- Kong Y, Wang P, Jin Y, Wu XL, Wang QW, Tang LN, An XR, 2014. Domestication and cultivation of a *Trametes versicolor* strain collected from Tai Mountain. *Acta Edulis Fungi*, 21(1): 21-24 (in Chinese)
- Li J, Zhang QS, Zhang H, Guo H, Peng CY, Fu JS, Xie BG, Tao YX, 2021. A new *Auricularia heimuer* cultivar ‘Nonghei No. 2’. *Mycosystema*, 40(12): 3386-3388 (in Chinese)
- Li WY, Gao L, Wu F, Dou ZP, 2023. Research progress of edible and medicinal mushroom domesticated and cultivated in China during the last 10 years. *Mycosystema*, 42(10): 2011-2024 (in Chinese)
- Li X, Meng XX, Dai YT, Li Q, Huang B, Hu X, 2014. One simple and fast method on *Auricularia auricula* tissue isolation. *Edible Fungi of China*, 33(6): 11-12 (in Chinese)
- Li Z, Liu Y, Wang JR, 2021. Culture condition optimization and domestication of *Phallus ultraduplicatus*. *Acta Edulis Fungi*, 28(6): 68-79 (in Chinese)
- Li ZK, Wang FH, Chen B, Jiang SP, Xu AG, 2017. Study on fermentation conditions of rare Yadong edible fungus in Qinghai-Xizang Plateau. *Journal of Food Science and Technology*, 35(2): 51-57 (in Chinese)
- Lian YP, Tohtirjap A, Wu Fang, 2022. Two new species of *Dacrymyces* (Dacrymycetales, Basidiomycota) from southwestern China. *Diversity*, 14(5): 379
- Mao XQ, 2019. Yadong-hei-mu-er: black pearl in *Auricularia*. *Agricultural Products Market Weekly*, 2019(5): 24-25 (in Chinese)
- Qi LL, An Y, Li Y, 2011. Selected biological characteristics and artificial cultivation of *Oudemansiella brunneomarginata*. *Acta Edulis Fungi*, 18(3): 35-38 (in Chinese)
- Qian KQ, Xu AR, Yang D, Li X, 2020. Biological

- characteristics and cultivation of a new variety of *Auricularia delicata*. *Acta Edulis Fungi*, 27(1): 36-41 (in Chinese)
- Song GH, Wang YW, Zhou ZL, Cao XZ, Luo SJC, De Y, Mao J, 2024. Study on characteristic aroma components in *Exidia* sp. *Food and Fermentation Industries*, 50(15): 306-314 (in Chinese)
- Tang Y, Miao YZ, Tan M, Ma QQ, Liu CY, Yang M, Li Q, 2023. Ultrasound assisted wall-breaking extraction and primary structures, bioactivities, rheological properties of novel *Exidia yadongensis* polysaccharide. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101: 106643
- Tian R, Chen LF, Zhao RX, Zeng NK, 2024. Biological characteristics and cultivation of *Ganoderma subflexipes*. *Mycosystema*, 43(10): 240087 (in Chinese)
- Tohtirjap A, Hou SX, Rivoire B, Gates G, Wu F, Dai YC, 2023. Two new species of *Exidia sensu lato* (Auriculariales, Basidiomycota) based on morphology and DNA sequences. *Frontiers in Microbiology*, 13: 1080290
- Wang SY, Zhang JL, 2024. Biological characterization and domestication of a wild *Panus conchatus* strain. *Mycosystema*, 43(12): 240152 (in Chinese)
- Wu F, Zhao Q, Yang ZL, Ye SY, Rivoire B, Dai YC, 2020. *Exidia yadongensis*, a new edible species from East Asia. *Mycosystema*, 39(7): 1203-1214
- Xiong WP, Wang L, Danzeng BM, Li GJ, Zhang WM, Wen HA, 2013. Taxonomic status of Yadong-hei-mu-er, a wild edible mushroom from Xizang. *Acta Edulis Fungi*, 20(1): 45-48 (in Chinese)
- Yang X, Zhao CL, 2022. Cultivation and biological characteristics of medical fungus *Vanderbylia cinnamomea*. *Mycosystema*, 41(1): 59-67 (in Chinese)
- Yang YY, Zhang QS, Li J, Huang Z, Qiu ZH, Yang B, Xie BG, Tao YX, 2021. A new *Auricularia heimuer* cultivar 'Nonghei 1'. *Mycosystema*, 40(12): 3383-3385 (in Chinese)
- Yao CX, Tian GT, Wang H, Yao Y, Sun YM, 2022. A new *Auricularia heimuer* cultivar 'Gaoyuanyuner 3'. *Mycosystema*, 41(2): 318-320 (in Chinese)
- Yao CX, Wang H, Yao Y, Sun YM, Tian GT, 2021. A new *Auricularia heimuer* cultivar 'Gaoyuanyuner 2'. *Mycosystema*, 40(6): 1586-1588 (in Chinese)
- Ye SY, 2020. Taxonomy and phylogeny of *Exidia s.l.* (Auriculariales) in China. MS Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. 1-74 (in Chinese)
- Zhang B, Ye L, Zhou J, Tan W, Li XL, 2022. A new *Auricularia cornea* cultivar 'Haoyanghuangbei 2'. *Mycosystema*, 41(1): 160-162 (in Chinese)
- Zhang QH, Liu JL, Li JH, Chen LD, Kong XQ, Sun SJ, 2022. A new *Tremella fuciformis* cultivar 'Xiuyin 1'. *Mycosystema*, 41(1): 163-165 (in Chinese)
- Zhang WD, Chen WM, Ma YH, Liu P, Zhao YC, 2024. Biological characteristics and domestication of *Lyophyllum pallidofumosum*. *Acta Edulis Fungi*, 31(5): 46-52 (in Chinese)
- Zhang X, Shi LY, Xie XJ, Wei TZ, Guo YB, Zhao SY, Li SM, Li GJ, 2023. Biological characteristics and domestication of *Phellinus orientoasiaticus*. *Mycosystema*, 42(4): 883-895 (in Chinese)
- Zhang XY, Bau T, Li Y, 2019. Biological characteristics and cultivation of *Auricularia fibrillifera*. *Mycosystema*, 38(7): 1099-1110 (in Chinese)
- Zhang YX, Bau T, Ohga S, 2018. Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild edible mushroom *Auricularia villosula*. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 63(1): 5-14
- Zhou HM, Liu HG, Gates GM, Wu F, Dai YC, Cooper JA, 2022. Phylogeny and diversity of the genus *Pseudohydnum* (Auriculariales, Basidiomycota). *Journal of Fungi*, 8(7): 658

[附中文参考文献]

- 安琪, 吴雪君, 吴冰, 戴玉成, 2015. 不同碳源和氮源对金针菇降解木质纤维素酶活性的影响. *菌物学报*, 34: 761-771
- 敖成策, 锁浩南, 唐松明, 李娥贤, 罗宗龙, 李树红, 2024. 野生泰国木耳的生物学特性及驯化栽培. *中国食用菌*, 43(6): 18-28, 34
- 蔡婧, 李世华, 李军, 李扬, 罗义, 刘杰, 徐章逸, 王锋尖, 2021. 柠檬鳞伞生物学特性与驯化栽培. *食用菌学报*, 28(6): 61-67
- 曹雪莲, 陈影, 彭卫红, 王迪, 刘天海, 唐杰, 贾定洪, 2023. 毛木耳三个新品种的选育报告. *菌物学报*, 42(12): 2481-2483
- 陈洪雨, 鲍大鹏, 杨瑞恒, 王莹, 高英女, 李燕, 吴莹莹, 2019. 亚东黑耳的氨基酸特征分析及蛋白质品质评价. *核农学报*, 33(1): 81-87
- 戴玉成, 2022. 中国食药真菌研究发展的新趋势——以《菌物学报》2000–2021 年发表论文分析. *菌物研究*, 20: 141-156
- 戴玉成, 2023. 中国多孔菌驯化栽培研究进展. *菌物研究*, 21(1/2/3): 151-156
- 戴玉成, 杨祝良, 2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. *菌物学报*, 27(6): 801-824
- 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
- 葛彦宏, 何建清, 韩振, 徐东, 刘海鑫, 2024. 亚高山绣球菌的生物学特性及驯化栽培. *菌物学报*, 43(12): 240092
- 何俊, 李娥贤, 牛开阳, 罗红梅, 吴晓隼, 苏开美, 罗宗

- 龙, 李树红, 2023. 滇中灵芝和可食灵芝生物学特性及驯化. 食用菌学报, 30(4): 21-30
- 孔怡, 王鹏, 金莹, 武晓亮, 王庆武, 唐丽娜, 安秀荣, 2014. 泰山云芝生物学特性与驯化. 食用菌学报, 21(1): 21-24
- 李建, 张祺锬, 张豪, 郭欢, 彭传尧, 傅俊生, 谢宝贵, 陶永新, 2021. 黑木耳‘农黑 2 号’的选育报告. 菌物学报, 40(12): 3386-3388
- 李婉莹, 高磊, 吴芳, 豆志鹏, 2023. 中国蘑菇类食用菌近十年驯化栽培研究进展. 菌物学报, 42(10): 2011-2024
- 李晓, 孟秀秀, 代月婷, 黎倩, 黄兵, 胡欣, 2014. 黑木耳简单快速组织分离新法. 中国食用菌, 33(6): 11-12
- 李兆坤, 王凤寰, 陈彬, 蒋思萍, 徐爱国, 2017. 青藏高原珍稀大型真菌亚东木耳菌丝发酵条件研究. 食品科学技术学报, 35(2): 51-57
- 李政, 刘宇, 王建瑞, 2021. 超短裙竹荪培养条件优化及其驯化. 食用菌学报, 28(6): 68-79
- 毛绪强, 2019. 亚东黑木耳: 木耳中的黑珍珠. 农产品市场周刊, 2019(5): 24-25
- 祁亮亮, 安颖, 李玉, 2011. 褐褶边小奥德蘑生物学特性及驯化栽培. 食用菌学报, 18(3): 35-38
- 钱可晴, 徐安然, 杨迪, 李晓, 2020. 木耳属新品种鹿肚耳的生物学特性和驯化. 食用菌学报, 27(1): 36-41
- 松桂花, 王怡文, 周志磊, 曹旭珍, 罗桑江才, 德央, 毛健, 2024. 亚东黑木耳特征香气物质研究. 食品与发酵工业, 50(15): 306-314
- 田润, 陈丽芳, 赵润祥, 曾念开, 2024. 亚弯柄灵芝的生物学特性及其驯化栽培. 菌物学报, 43(10): 240087
- 王圣铨, 张君丽, 2024. 一株野生贝壳革耳的生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 43(12): 240152
- 熊卫萍, 王磊, 白玛丹增, 李国杰, 章卫民, 文华安, 2013. 西藏“亚东黑木耳”的分类地位研究. 食用菌学报, 20(1): 45-48
- 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
- 杨亚永, 张祺锬, 李建, 黄珍, 邱卓涵, 杨彬, 谢宝贵, 陶永新, 2021. 黑木耳‘农黑 1 号’的选育报告. 菌物学报, 40(12): 3383-3385
- 姚春馨, 田果廷, 王晖, 姚远, 孙跃明, 2022. 黑木耳‘高原云耳 3 号’的选育报告. 菌物学报, 41(2): 318-320
- 姚春馨, 王晖, 姚远, 孙跃明, 田果廷, 2021. 黑木耳‘高原云耳 2 号’的选育. 菌物学报, 40(6): 1586-1588
- 叶晟懿, 2020. 中国广义黑耳属分类及系统发育研究. 北京林业大学硕士论文, 北京. 1-74
- 张波, 叶雷, 周洁, 谭伟, 李小林, 2022. 毛木耳‘吴阳黄背 2 号’的选育报告. 菌物学报, 41(1): 160-162
- 张琪辉, 刘佳琳, 李佳欢, 陈利丁, 孔旭强, 孙淑静, 2022. 银耳‘绣银 1 号’的选育报告. 菌物学报, 41(1): 163-165
- 张巍镫, 陈卫民, 马渊浩, 刘萍, 赵永昌, 2024. 近烟色离褶伞生物学特性及驯化. 食用菌学报, 31(5): 46-52
- 张晓宇, 图力古尔, 李玉, 2019. 脆木耳生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 38(7): 1099-1110
- 张旭, 史路瑶, 谢雪娇, 魏铁铮, 郭耀宾, 赵士仪, 李守勉, 李国杰, 2023. 东亚木层孔菌生物学特性及驯化. 菌物学报, 42(4): 883-895