

野生巨大侧耳生物学特性及驯化栽培

李曼玲^{1,2}, 朱安红^{2,3}, 马国营², 屈直², 卢雪花², 马海霞^{2,4,5*}, 刘振东^{1*}

1 西藏农牧学院食品科学学院, 西藏 林芝 860000

2 中国热带农业科学院热带生物技术研究所 海南省热带微生物资源重点实验室, 海南 海口 571101

3 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

4 海南热带农业资源研究院 海口市食药菌种质资源保护与利用重点实验室, 海南 海口 571101

5 崇左市食药菌种质资源保护与利用重点实验室, 广西 崇左 532100

摘要: 本文采用形态学观察和ITS序列分析对采自安徽齐云山的一株野生侧耳菌株AH150进行分离鉴定, 鉴定结果为巨大侧耳 *Pleurotus giganteus*。采用单因素和正交试验筛选该菌株菌丝最适生长的碳源、氮源、温度及 pH, 在此基础上进行驯化栽培。结果表明: 菌丝生长的最适碳源为果糖, 最适氮源为蛋白胨, 最适温度为 30 °C, 最适 pH 为 8, 其在最适条件下表现为相对生长速率快、菌丝粗壮浓密等特征。驯化出菇试验中, 出菇栽培的基质为杂木屑 52%、玉米芯 25%、麦麸 20%、石灰 2%和石膏 1%, 40–45 d 黑暗培养菌包长满菌丝, 覆土后空气湿度保持在 80%以上, 第 11 天出现原基, 后加大空气湿度至 85%–90%, 4–5 d 长出子实体。研究结果将为菌株 AH150 的开发利用提供重要参考。

关键词: 巨大侧耳; 食药菌资源; 生物学特性; 驯化栽培

[引用本文]

李曼玲, 朱安红, 马国营, 屈直, 卢雪花, 马海霞, 刘振东, 2025. 野生巨大侧耳生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 44(3): 240255

Li ML, Zhu AH, Ma GY, Qu Z, Lu XH, Ma HX, Liu ZD, 2025. Biological characteristics and domestication of wild *Pleurotus giganteus*. Mycosystema, 44(3): 240255

资助项目: 海南省重点研发计划-海南国家公园研究院资助项目(ZDYF2023RDYL01, KY-24ZK02); 五指山市生态科技特派员项目(WZSKTPXM202211); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1630052022003)

This work was supported by the Hainan Institute of National Park and Hainan Province Science and Technology Special Fund (ZDYF2023RDYL01, KY-24ZK02), the Ecological Science and Technology Project of Wuzhishan City (WZSKTPXM202211), and the Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund for Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (1630052022003).

*Corresponding authors. E-mail: MA Haixia, mahaixia@itbb.org.cn; LIU Zhendong, liu304418091@126.com

Received: 2024-09-06; Accepted: 2024-10-12

Biological characteristics and domestication of wild *Pleurotus giganteus*

LI Manling^{1,2}, ZHU Anhong^{2,3}, MA Guoying², QU Zhi², LU Xuehua², MA Haixia^{2,4,5*},
LIU Zhendong^{1*}

1 School of Food Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, Xizang, China

2 Hainan Key Laboratory of Tropical Microbe Resources, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan, China

3 School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 Haikou Key Laboratory for Protection and Utilization of Edible and Medicinal Fungi, Hainan Institute for Tropical Agricultural Resources, Haikou 571101, Hainan, China

5 Congzuo Key Laboratory for Protection and Utilization of Edible and Medicinal Fungi, Congzuo 532100, Guangxi, China

Abstract: A wild strain AH150 of *Pleurotus* collected from Qiyun Mountain of Anhui Province was isolated and identified as *Pleurotus giganteus* based on morphological observation and ITS sequence analyses. The suitable carbon source, nitrogen source, temperature and pH for the mycelial growth were screened by single factor and orthogonal test. The results showed that the optimum carbon source and nitrogen source were fructose and peptone respectively. Under the optimum temperature of 30 °C and optimum pH of 8, the relative growth rate was the fastest and the mycelium was most robust and dense. The substrate for domesticated cultivation was sawdust 52%, corn cob 25%, wheat bran 20%, lime 2% and gypsum 1%. After spawning and covering soil, the air humidity was kept at more than 80%. The primordium appeared on the 11th day. Under humidification of 85%–90%, the fruiting body appeared in 4–5 d. This research provides a reference for extended development and utilization of *P. giganteus* AH150.

Keywords: *Pleurotus giganteus*; edible and medicinal fungal resources; biological characteristics; domestication and cultivation

巨大侧耳 *Pleurotus giganteus* (Berk.) Karun. & K.D. Hyde 为中高温型食药菌种类, 隶属于担子菌门 Basidiomycota、蘑菇纲 Agaricomycetes、蘑菇目 Agaricales、侧耳科 Pleurotaceae (Karunarathna *et al.* 2012)。因其脆滑独特的口感又得名“猪肚菇”(董洪新等 2010)。野生巨大侧耳主要分布在中国的广东、福建、湖南、海南、浙江和云南等省, 以及东南亚和大洋洲等热带及亚热带地区(戴玉成等 2010), 在斯里兰卡也有记录。

巨大侧耳营养价值较高, 富含蛋白质(方汝滔 2014)、氨基酸(郭霞等 2015)及微量元素(王土金 2011), 此外, 其药用价值也不容忽视, 含

有多糖(唐青 2009)、核糖核酸酶(Wang & Ng 2004)及阿魏酸酯酶(干玉娟等 2007)等生物活性物质, 通过巨大侧耳提取物干预, 小鼠表现出免疫力增强、抗疲劳、耐缺氧能力延长, 且在清除超氧阴离子自由基、羟基自由基、DPPH 自由基及还原能力等方面表现出较好的性能(唐青 2009; Wu *et al.* 2019)。

因蘑菇丰富的营养价值及药用价值, 使得食药菌产业走向蓬勃发展的新篇章, 但野生蘑菇资源始终是有限的, 且采集具有一定地域与季节的局限性, 故野生大型真菌驯化栽培显得尤为重要, 是食药菌产业的重要来源(戴玉成 2023; 李婉莹等 2023)。研究表明, 巨大侧耳分解纤维

素、半纤维素、木质素能力较强,人工栽培对生长营养源无专性要求,可在木屑、甘蔗渣、棉籽壳、稻草等培养料上正常生长(蔡毅生 2009; 陈克华等 2017)。食药菌种质资源、栽培生理是食药真菌产业发展的重要物质基础,也是食药菌研究的热点领域(戴玉成 2022)。本研究以采集自安徽齐云山的一株野生巨大侧耳为研究对象,在形态学及分子生物学鉴定的基础上,开展生物学特性研究,并以杂木屑(52%)、玉米芯(25%)和麦麸(20%)为主要原料进行驯化栽培试验,以期实现农业废弃物的资源化利用,同时发掘新的巨大侧耳种质资源,为新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验地概况

齐云山区在安徽省休宁县西北部,位于118°07'E、29°50'N,属皖南低山丘陵地带,主体海拔585 m。该地区属中亚热带湿润季风气候,常年温暖湿润,雨量充沛,自然条件较优越,年均气温16.2℃,最冷月(1月)平均气温3.7℃,最热月(7月)平均气温27.9℃,年均降水量1613.7 mm,日照时数1931 h,无霜期231 d,初霜日于11月9日左右,终霜日于3月21日左右(叶玉明和胡毅 2018)。齐云山特有的地形地貌和气候特征为野生食用菌的繁衍提供了得天独厚的环境条件。

1.1.2 子实体

2022年7月28日,菌株子实体采集于安徽省黄山市休宁县齐云山,采集编号为AH150。

1.1.3 培养基

PDA 固体培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,蛋白胨 2 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,蒸馏水定容至 1 000 mL, pH 自然;碳源培养基:琼脂 20 g,蛋白胨 2 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,碳源 20 g,1.0 L 水;

氮源培养基:琼脂 20 g,葡萄糖 20 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,氮源 2 g,1 000 mL 水。

1.2 方法

1.2.1 组织分离及纯化

采用组织分离法对样本子实体进行菌种分离。首先,用70%乙醇棉球擦洗菌盖及菌柄,进行表面消毒,在灭菌环境下,将子实体从菌柄基部向菌盖处撕开,用灼烧后的镊子夹取菌盖与菌柄之间的菌肉组织。然后,将其放入事先准备好的PDA固体培养基(9 cm培养皿)中,置于25℃培养箱中黑暗培养,标记为AH150。待菌丝直径达到2 cm后,进行纯化培养(杜萍等 2020)。

1.2.2 菌种鉴定

采用真菌基因组提取试剂盒分别对巨大侧耳的子实体和菌丝体进行基因组DNA提取。采用通用引物ITS5和ITS4(ITS5: 5'-GGAAGTAA AAGTCGTAACAAGG-3'; ITS4: 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')进行rDNA ITS片段的PCR扩增。扩增体系为50 μL,包含20 μL去离子水、25 μL MasterMix (Dye)、ITS5和ITS4引物各1 μL、DNA原液3 μL。PCR反应条件:94℃预变性4 min;94℃变性40 s,55℃退火50 s,72℃延伸1 min,35个循环;72℃反应10 min。将PCR扩增产物送到北京擎科生物科技有限公司进行测序,将测序结果在NCBI数据库中进行BLAST,在基因库中寻找与本次测序序列相似度高的序列,确定所鉴别的食用菌名称和相关菌种信息(刘晓婷 2015; 方志荣等 2022)。

1.2.3 单因素实验

采用微生物平板培养法,通过测定不同温度、碳源、氮源、pH培养基上的菌丝长势、菌落直径、菌落形成时间、菌落长势、菌丝生长速度等指标来研究不同培养基配方对巨大侧耳菌丝生长的影响。将低温保存的菌种接种到固体培养基(9 cm培养皿PDA)上,待菌丝直径达到8 cm时,用内径为9 mm的打孔器将菌丝接种到不同

的培养基上。并采用十字交叉划线法标记 1 次菌落直径,持续标记 3 次,记录菌丝日均长速和菌丝长度。每个配方 8 个重复,注意记录污染情况,及时清理被污染的平板(路子佳 2010; 张晓宇等 2019)。

菌丝生长速度(cm/d)=菌落半径(cm)/菌丝生长时间(d)

碳源实验:以零添加碳源为空白对照,分别以麦芽糖、甘露醇、乳糖、淀粉、蔗糖、果糖和葡萄糖为供试碳源制作培养基,灭菌后将 15 mL 不同碳源培养基分别倒入 9 cm 培养皿,待凝固接种后,置于 25 °C 恒温培养箱进行黑暗培养。

氮源实验:以零添加氮源为空白对照,分别以酵母粉、硝酸铵、硝酸钾、硝酸钠、氯化铵、尿素和蛋白胨为供试氮源制作培养基。灭菌后将 15 mL 不同氮源培养基分别倒入 9 cm 培养皿,待凝固接种后,置于 25 °C 恒温培养箱进行黑暗培养。

温度实验:无菌条件下,将灭菌后的 15 mL PDA 固体培养基倒入 9 cm 培养皿,待凝固接种后分别置于 15、20、25、30、35 和 40 °C 恒温培养箱进行黑暗培养。

pH 实验:用 1 mol/L NaOH 和 1 mol/L HCl 将 PDA 固体培养基 pH 调为 5、6、7、8、9 共 5 个梯度,制成 pH 培养基后进行灭菌。灭菌后将 15 mL 不同 pH 的培养基分别倒入 9 cm 培养皿,待凝固接种后,置于 25 °C 恒温培养箱进行黑暗培养。

1.2.4 正交实验

根据单因素实验结果,选取碳源、氮源、温度和 pH 这 4 个影响因素,各因素选取 3 个最佳水平,建立 4 因素 3 水平正交试验(表 1),每个处理重复 6 次(史红鸽等 2020)。

1.2.5 驯化栽培

母种制作:在超净工作台中用无菌手术刀切取长满巨大侧耳菌丝的小块培养基,用镊子夹取放入事先准备好的 PDA 固体培养基(9 cm 培养皿)中,待菌丝长至 8 cm,待用。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 The orthogonal test factors				
水平 Level	A 碳源 Carbon source	B 氮源 Nitrogen source	C 温度 Temperature (°C)	D pH
1	淀粉 Starch	蛋白胨 Peptone	20	7
2	蔗糖 Sucrose	酵母粉 Yeast	25	8
3	果糖 Fructose	尿素 Urea	30	9

栽培袋制作:栽培配方选用杂木屑 52%、玉米芯 25%、麦麸 20%、石灰 2%、石膏 1%,含水量调至 60%–65%,装入 18 cm × 36 cm 聚丙烯袋中,每袋湿重 1.5 kg, pH 值为 12, 121 °C 灭菌 2 h, 无菌冷却至 30 °C 以下接种,将母种培养基平均划分为 8 块,每块接入一个栽培袋进行黑暗培养。菌丝达到生理成熟后进行覆土栽培。本试验采用脱袋覆土和袋内覆土两种栽培方式。选择中层沙质壤土(地下 20 cm 以上)的土样,在水泥地上暴晒 2 d,再用 1% 的石灰水调节土样至含水量 65% 备用。脱袋覆土需在大棚内挖出一个 15–20 cm 的土坑,将去掉塑料袋的菌包横放于坑内,喷洒石灰水上清液后覆土,厚度约 2–4 cm。覆土结束后,需再次喷洒石灰水上清液,以抑制其他杂菌生长。袋内覆土时去除菌包的盖子将袋口敞开,将菌袋内残留的培养基及原基等杂质清理后,敞开袋口,喷洒石灰水上清液后进行覆土,厚度约为 2–4 cm,覆土后再次喷洒石灰水上清液,同时注意遮阴。接种后放入培养室黑暗培养,设 50 袋平行。观察记录菌丝生长情况、满袋时间及菌株原基形成时间,每个菌袋采摘 10 个子实体,记录单朵重量及菌盖重量。将子实体从中间切开,直尺测量巨大侧耳子实体的菌盖厚度、菌褶厚度及菌柄长度。采摘记录出菇期间两潮菇产量,统计生物学效率(GB/T 12728-2006)。

生物学效率=两潮菇总产量/培养料干重×100%。

1.3 数据处理

采用 SPSS 21.0 软件数据处理系统对试验数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 鉴定

2.1.1 形态学鉴定

菌株 AH150 子实体中等至大, 单生或群生(图 1A), 以枯枝腐木及落叶为主要营养来源, 是木腐菌。接种至 PDA 培养皿上, 菌丝呈白色丝状(图 1B)且生长速度较快。菌盖直径 4–23 cm, 菌肉白色, 中间较厚、边缘较薄, 菌褶白至浅黄色, 密而等长。菌盖幼时扁半球形至近扁平, 中央下凹, 逐渐呈漏斗状至碗状; 采摘期为浅漏斗状, 表面呈褐色或棕黄色, 至菌盖中央向下凹陷颜色愈深且分裂有鳞片状, 菌盖边缘内卷至伸展, 附有白色孢子, 孢子印白色(图 1C)。菌柄与菌盖同色, 长 3–30 cm, 中生实心, 近似圆柱形。显微镜下观察担孢子呈椭圆型或卵圆型(图 1D)。以形态学为依据初步判定为巨大侧耳。

2.1.2 分子生物学鉴定

对菌株 AH150 的 rDNA-ITS 序列进行分析, 电泳检测结果显示片段大小为 750 bp 左右。将获得的野生巨大侧耳的 ITS 序列提交至 GenBank 获得登录号 PQ157446。在 NCBI 线上数据库进行 BLAST 同源性对比, 与登录号 KP793688.1 (*Pleurotus giganteus*) 的菌株相似性达 99.51%。

结合形态学特征, 鉴定分离菌种为巨大侧耳 *P. giganteus*。

2.2 生物学特性

2.2.1 不同碳源对巨大侧耳菌丝生长发育的影响

7 种碳源均可被巨大侧耳菌丝所利用, 说明巨大侧耳 AH150 对碳源利用较广。以葡萄糖、甘露醇、乳糖为碳源时, 菌丝生长速度慢, 菌落稀疏, 仅能维持基本生长, 对菌丝生长具有抑制作用, 淀粉、果糖、蔗糖、麦芽糖对菌丝生长则有促进作用(图 2, 表 2)。当以淀粉为碳源时, 巨大侧耳菌丝生长速度最快, 日均生长速度达 0.67 cm/d, 与其他碳源相比具有显著差异。按照菌丝生长速率顺序为淀粉>蔗糖>果糖>麦芽糖>无碳源>葡萄糖>甘露醇>乳糖。以果糖为碳源时菌丝长势最好, 菌丝健壮而浓密, 菌丝边缘整齐。结合菌丝日均生长速度与长势, 确定适宜巨大侧耳菌丝生长碳源为淀粉 $[(0.67\pm0.11)$ cm/d]、蔗糖 $[(0.51\pm0.12)$ cm/d]和果糖 $[(0.47\pm0.05)$ cm/d]。

2.2.2 不同氮源对巨大侧耳菌丝生长发育的影响

7 种氮源均可被巨大侧耳菌丝所利用, 不同氮源条件下菌丝生长有差异(图 3, 表 3), 巨大侧耳 AH150 的菌丝日均生长速率从快到慢依次为蛋白胨>酵母粉>尿素>硝酸钾>对照>硝酸钠>硝酸铵>氯化铵。与空白对照相比, 以蛋白胨、酵母粉、尿素、硝酸钾为氮源时, 对菌丝的生长发育具有促进作用, 以硝酸钠、硝酸铵、氯化铵

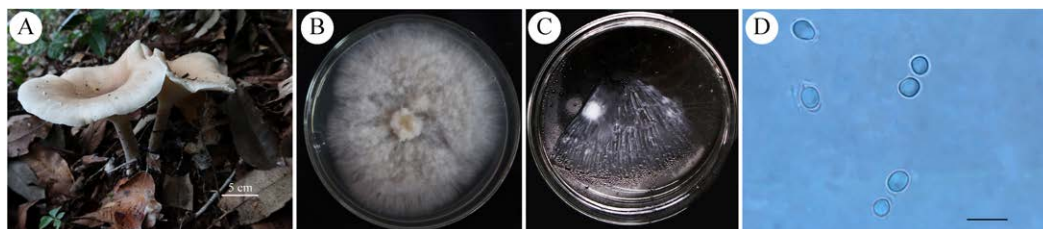


图 1 巨大侧耳的形态特征 A: 野生巨大侧耳子实体; B: 菌落形态; C: 孢子印; D: 担孢子. 标尺=10 μ m

Fig. 1 The morphology of *Pleurotus giganteus*. A: Wild fruiting bodies; B: A colony; C: Spore print; D: Basidiospores. Bar=10 μ m.

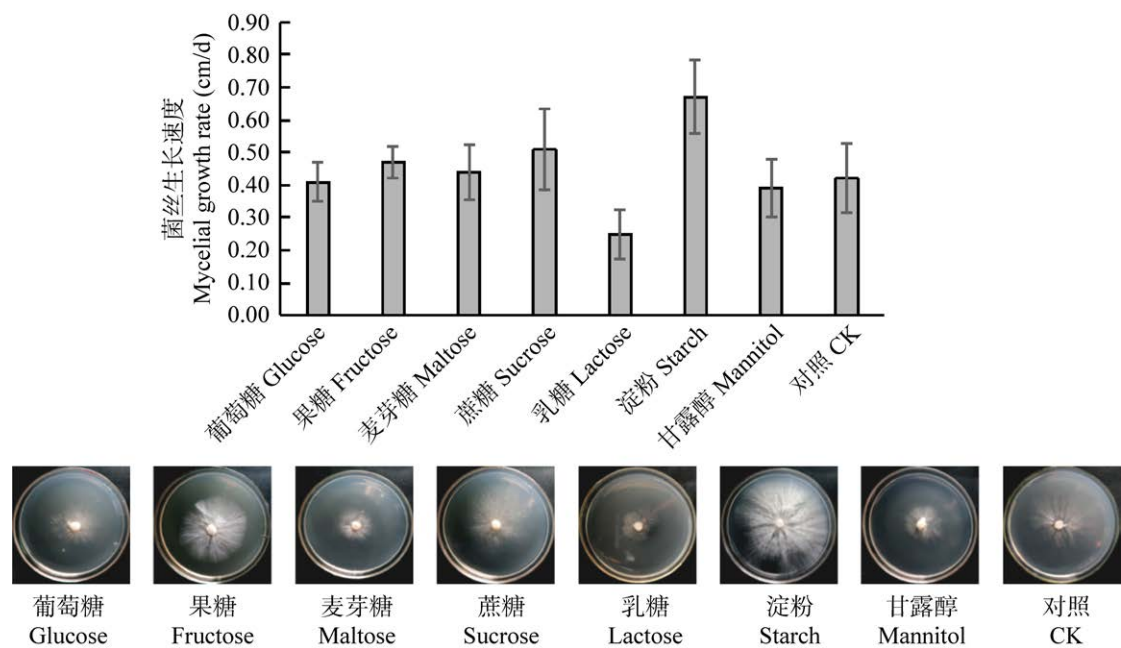


图 2 不同碳源对巨大侧耳菌丝生长的影响
Fig. 2 Effects of different carbon sources on the mycelial growth of *Pleurotus giganteus*.

表 2 不同碳源对巨大侧耳菌丝生长的影响
Table 2 Effects of different carbon sources on the mycelial growth of *Pleurotus giganteus*

碳源	生长速率	差异显著性		菌丝长势
Carbon source	Growth rate (cm/d)	Significant difference		Mycelial growth vigor
		<i>P</i> <0.05	<i>P</i> <0.01	
葡萄糖 Glucose	0.41±0.06	b	BC	++
果糖 Fructose	0.47±0.05	b	B	+++
麦芽糖 Maltose	0.44±0.08	b	B	++
蔗糖 Sucrose	0.51±0.12	b	B	++
乳糖 Lactose	0.25±0.08	c	C	++
淀粉 Starch	0.67±0.11	a	A	++
甘露醇 Mannitol	0.39±0.09	b	BC	++
对照 CK	0.42±0.11	b	BC	+

注：同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)；结果表示为平均值±标准差；－，不生长；+，菌丝稀疏；++，菌丝一般；+++，菌丝浓密. 下同
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05), different capital letters in the same column indicate very significant difference (P<0.01). The results are expressed as mean ± standard deviation; － Indicate nonviable; + Indicate sparse; ++ Indicate moderate; +++ Indicate dense. The same below.

为氮源对菌丝生长表现出抑制作用。故确定适宜氮源为蛋白胨、酵母粉和尿素，日均生长速度分别为(0.5±0.02)、(0.48±0.04)和(0.44±0.04) cm/d。
2.2.3 不同温度对巨大侧耳菌丝生长发育的影响
温度是影响菌丝生长发育的重要因素,巨大侧耳在 15–30 °C下均能生长,生长速度先随温度

的升高而增加,到达最适温度后,随着温度的升高,其生长速度下降(图 4, 表 4)。生长速度从大到小排序为 25 °C>30 °C>20 °C>15 °C>35 °C= 40 °C, 其中 25 °C时生长速度最快,为(0.64± 0.07) cm/d,长势最好,为最适生长温度;温度为 35 °C和 40 °C时菌丝无法生长。

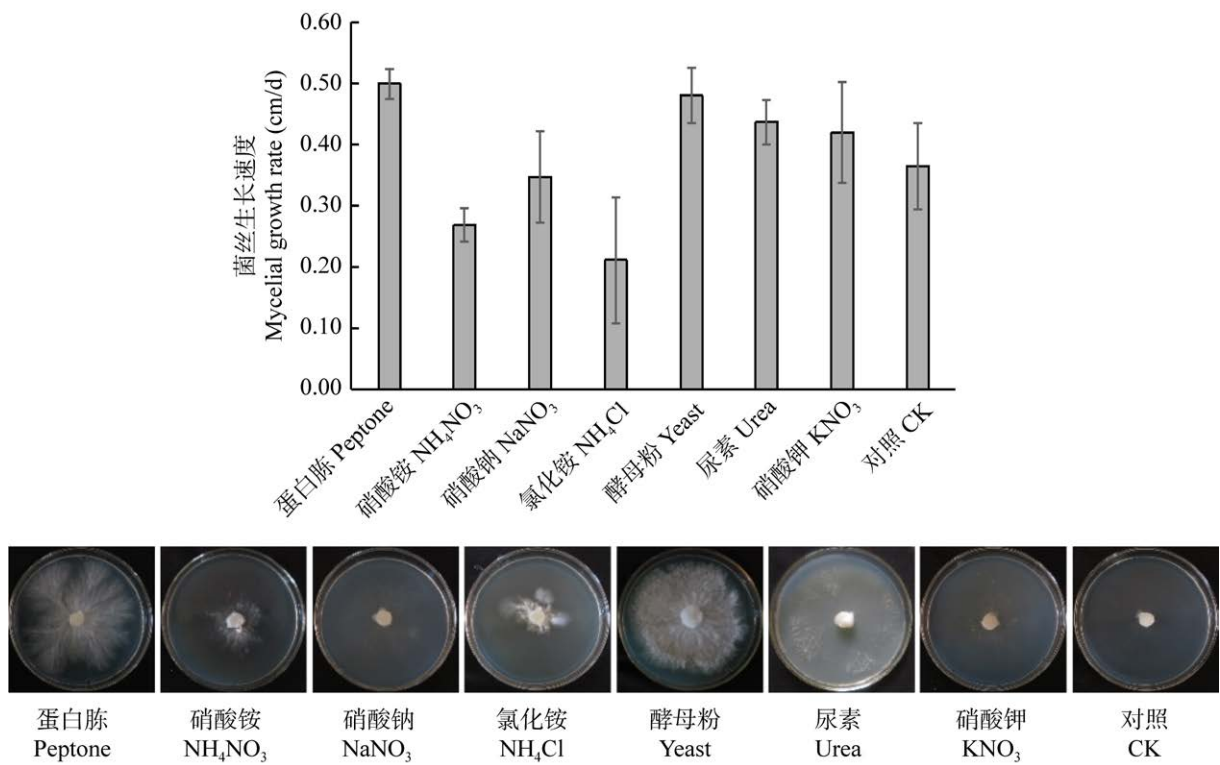


图 3 不同氮源对巨大侧耳菌丝生长的影响
Fig. 3 Effects of different nitrogen sources on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*.

表 3 不同氮源对巨大侧耳菌丝生长的影响
Table 3 Effects of different nitrogen sources on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*

氮源 Nitrogen source	生长速率 Growth rate (cm/d)	差异显著性 Significant difference		菌丝长势 Mycelial growth vigor
		P=0.05	P=0.01	
		a	A	
蛋白胨 Peptone	0.50±0.02	a	A	+++
硝酸铵 NH_4NO_3	0.27±0.03	d	DE	++
硝酸钠 NaNO_3	0.35±0.07	c	CD	+
氯化铵 NH_4Cl	0.21±0.10	d	E	+++
酵母粉 Yeast	0.48±0.04	b	AB	+++
尿素 Urea	0.44±0.04	bc	ABC	+
硝酸钾 KNO_3	0.42±0.08	bc	ABC	+
对照 CK	0.37±0.07	c	BCD	+

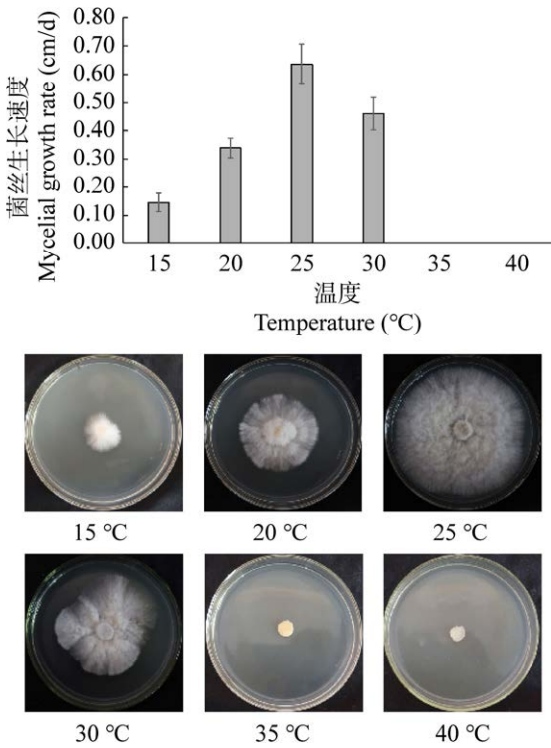


图 4 不同温度对巨大侧耳菌丝生长的影响
Fig. 4 Effects of different temperature on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*.

表 4 不同温度对巨大侧耳菌丝生长的影响
Table 4 Effects of different temperature on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*

温度 Temperature (°C)	生长速率 Growth rate (cm/d)	差异显著性 Significant difference		菌丝长势 Mycelial growth vigor
		P=0.05	P=0.01	
15	0.14±0.03	d	D	++
20	0.34±0.04	c	C	+++
25	0.64±0.07	a	A	+++
30	0.46±0.06	b	B	+++
35	0.00	e	E	—
40	0.00	e	E	—

2.2.4 不同 pH 对巨大侧耳菌丝生长发育的影响
菌丝在不同 pH (5, 6, 7, 8, 9)下均能生长, 在 pH 为 7、8 和 9 时, 其长势较好, 生长速度较快, 日均生长速度分别为(0.65±0.05)、(0.69±0.03)、(0.70±0.08) cm/d (图 5, 表 5), 由此说明野生巨大侧耳 AH150 适宜生长的 pH 环境为中至弱碱性。

2.3 正交实验

根据单因素实验结果, 挑选促进菌丝生长最好的碳源、氮源、温度和 pH 这 4 个因子进行 3 水平正交试验优化, 得到巨大侧耳 AH150 的最佳营养源(表 6, 图 6), 碳源均值由大到小依次排序为 X3>X2>X1, 氮源均值由大到小依次排序为 X1>X2>X3, 温度均值由大到小依次排序为 X3>X1>X2, pH 均值由大到小依次排序为 X2>X3>X1。综合分析, 得到最佳组合为 A3B1C3D2, 即果糖、蛋白胨、30 °C和 pH 8, 此培养基上的菌丝生长速度和长势均为最佳。正交试验方差分析结果表明(表 7), 氮源的 *F* 值最高, 其后依次是碳源、pH 和温度; 4 个因素的 *P* 值中温度的 *P* 值小于 0.05, 表明其差异性显著, 说明温度对菌丝生长速度影响显著。碳源、氮源和 pH 的 *P* 值小于 0.01, 表明其差异性极显著, 说明碳源、氮源和 pH 对菌丝生长速度影响极显著。

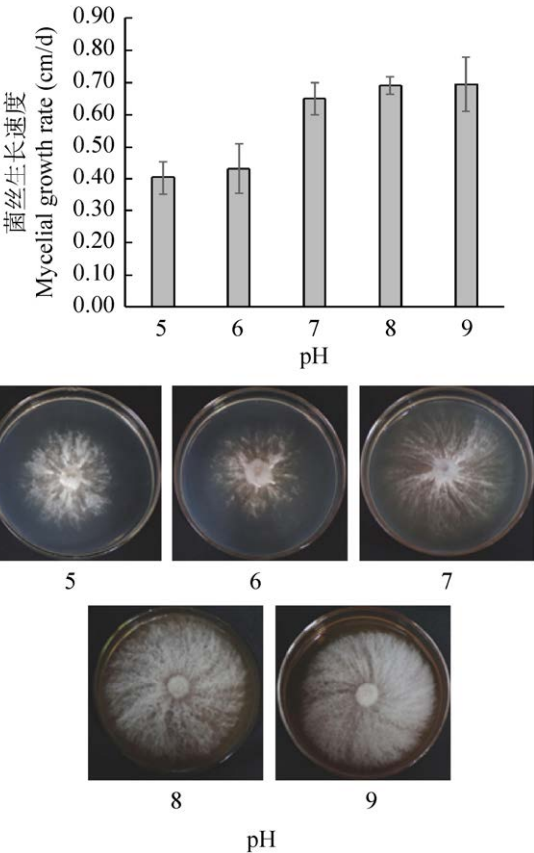


图 5 不同 pH 对巨大侧耳菌丝生长的影响
Fig. 5 Effects of different pH on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*.

表 5 不同 pH 对巨大侧耳菌丝生长的影响
Table 5 Effects of different pH on mycelial growth of *Pleurotus giganteus*

pH	生长速率 Growth rate (cm/d)	差异显著性 Significant difference		菌丝长势 Mycelial growth vigor
		P=0.05	P=0.01	
5	0.40±0.05	b	B	++
6	0.43±0.08	b	B	++
7	0.65±0.05	a	A	++
8	0.69±0.03	a	A	++
9	0.70±0.08	a	A	+++

2.4 驯化栽培

2.4.1 发菌管理

接种后, 放入黑暗且通风的环境中培养, 空气相对湿度 60%–65%。2 d 后, 菌丝开始萌发, 40–45 d 菌丝长满袋。满袋后, 继续培养 3–5 d, 菌丝达到生理成熟, 移至室外进行覆土出菇管理。

表 6 巨大侧耳菌丝生长正交试验结果

Table 6 The results of orthogonal test for mycelial growth of *Pleurotus giganteus*

	碳源 Carbon source	氮源 Nitrogen source	温度 Temperature (°C)	pH	生长速率 Growth rate (cm/d)	菌丝长势 Mycelial growth vigor
A	1 (淀粉) Starch	1 (蛋白胨) Peptone	1 (20)	1 (7)	0.47±0.01	++
B	1 (淀粉) Starch	2 (酵母粉) Yeast	2 (25)	2 (8)	0.52±0.03	++
C	1 (淀粉) Starch	3 (尿素) Urea	3 (30)	3 (9)	0.19±0.03	+
D	2 (蔗糖) Sucrose	1 (蛋白胨) Peptone	2 (25)	3 (9)	0.60±0.03	+
E	2 (蔗糖) Sucrose	2 (酵母粉) Yeast	3 (30)	1 (7)	0.53±0.03	+
F	2 (蔗糖) Sucrose	3 (尿素) Urea	1 (20)	2 (8)	0.22±0.02	+
G	3 (果糖) Fructose	1 (蛋白胨) Peptone	3 (30)	2 (8)	0.77±0.04	+++
H	3 (果糖) Fructose	2 (酵母粉) Yeast	1 (20)	3 (9)	0.72±0.07	+++
I	3 (果糖) Fructose	3 (尿素) Urea	2 (25)	1 (7)	0.26±0.02	++
T1	1.18	1.83	1.41	1.25		
T2	1.34	1.78	1.38	1.52		
T3	1.75	0.66	1.49	1.50		
X1	0.39	0.61	0.47	0.42		
X2	0.45	0.59	0.46	0.51		
X3	0.58	0.22	0.50	0.50		
R	0.57	1.16	0.11	0.27		
因素主次	A3	B1	C3	D2		
Factors of priority						
优水平	A3B1C3D2					
Excellent level						

表 7 正交试验方差分析

Table 7 The variance analyses of orthogonal experiment

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F	P	显著性
Source	Sum of squares	df	Mean square			Significance
碳源	0.283	2	0.142	121.971	0.000	P<0.01
Carbon source						
氮源	1.451	2	0.726	624.986	0.000	P<0.01
Nitrogen source						
温度	0.010	2	0.005	4.406	0.019	P<0.05
Temperature						
pH	0.075	2	0.038	32.504	0.000	P<0.01
误差	0.042	36	0.001			
Error						

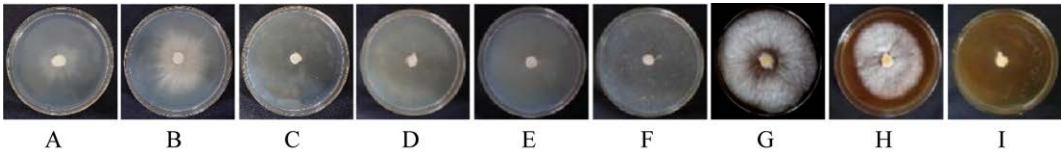


图 6 巨大侧耳在正交试验下菌丝的生长情况
Fig. 6 The results of mycelial growth of *Pleurotus giganteus* under orthogonal test.

2.4.2 出菇管理

本试验采用脱袋覆土和袋内覆土两种栽培方式。选择中层沙质壤土(地下 20 cm 以上)的土样，在水泥地上暴晒 2 d，再用 1%的石灰水调节土样至含水量 65%备用。脱袋覆土需在大棚内挖出一个 15–20 cm 的土坑，将去掉塑料袋的菌包横放于坑内，喷洒石灰水上清液后覆土，厚度约 2–4 cm。覆土结束后，需再次喷洒石灰水上清液，以抑制其他杂菌的生长。袋内覆土时去除菌包的盖子将袋口敞开，将菌袋内残留的培养基及原基等杂质清理后，敞开袋口，喷洒石灰水上清液后进行覆土，厚度约为 2–4 cm，覆土后再次喷洒石灰水上清液，同时注意遮阴。

前期每天喷水 2–3 次，11 d 左右长出原基。出现原基后加大喷水，保持空气湿度 90%左右，经 4 d 左右，第 1 潮菇子实体可以采收。巨大侧耳原基为棒状，子实体出菇初中期为灰褐色，表面附有鳞片；待子实体菌盖平整稍向上曲时采摘，成熟后菌盖向上卷曲呈碗状且颜色变淡呈棕褐色(图 7)。

AH150 产量达(210.38±37.89) g/袋，商品菇生物转化率(两潮)为 40.07%，子实体较大，为深褐色杯状，菌盖重量大于单朵重量[(56.97±35.41) g]的一半，达(29.27±16.77) g，菌盖厚度为(2.15±0.41) cm，菌褶厚度为(0.44±0.11) cm，菌柄长度为(5.91±2.45) cm。



图 7 不同栽培方式下不同时期巨大侧耳 AH150 子实体 A: 脱袋覆土；B: 袋内覆土

Fig. 7 The fruiting bodies at different stages of *Pleurotus giganteus* AH150 under different cultivation modes. A: Uncasing, covering soil; B: Casing, covering soil.

3 讨论

当今市场人工栽培食用菌品种种类尚少,无法满足市场需求,致使野生食用菌价格居高不下。野生食用菌人工驯化栽培,为食用菌市场注入了新力量,具备较好的市场前景。

齐云山野生巨大侧耳生长于 7–8 月,单生或群生于草地或枯枝落叶层,通过组织分离对野生巨大侧耳子实体进行分离纯化,成功获得野生巨大侧耳菌种 AH150。

为探究该野生巨大侧耳菌丝最佳生长条件及培养环境,以巨大侧耳菌丝生长速度及长势为依据,开展生物学特性单因素实验及正交实验。单因素实验确定该野生巨大侧耳菌丝生长适宜碳源为淀粉、蔗糖和果糖;适宜氮源为酵母粉、尿素和蛋白胨;在 20、25 及 30 °C 下菌丝生长速度及长势均较好;菌丝生长偏好中至弱碱性环境,在 pH 为 7、8 和 9 时均较适宜。在单因素的基础上建立 L₉(3⁴)四因素三水平进行正交实验,确定最优组合为 A3B1C3D2,即碳源为果糖,氮源为蛋白胨,温度为 30 °C 及 pH 为 8。在生长发育过程中,不同物种甚至同一物种的不同菌株所需要的营养和环境是不同的,与 9 种侧耳,即泡囊侧耳 *Pleurotus cystidiosus* (李

蝶等 2015)、亚侧耳 *Pleurotus serotius* (韩振 2023)、菌核侧耳 *Pleurotus tuber-regium* (王军芳等 2023)、栎生侧耳 *Pleurotus dryinus* (Wei et al. 2020)、吉氏侧耳 *Pleurotus geesteranus* (刘宏宇和丁野 2022)、淡红侧耳 *Pleurotus djamor* (蔡志英等 2023)、肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* (羊晨等 2022)、盖囊侧耳 *Pleurotus cystidiosus* (肖自添等 2023)、冷杉侧耳 *Pleurotus abieticola* (罗智檜等 2020)的菌丝最佳生长条件和生长环境进行对比(表 8),巨大侧耳菌丝生长最适碳源为果糖,与其余 9 种侧耳最适碳源有所不同,其中吉氏侧耳(刘宏宇和丁野 2022)最适碳源为葡萄糖,与巨大侧耳相似,均为单糖,这可能是由于单糖代谢路径直接且能量效率高,易被菌丝体利用;相比无机氮源,巨大侧耳与其他 7 种侧耳更偏好有机氮源(酵母粉、豆粉、牛肉浸膏、蛋白胨、麦芽浸粉),这可能是由于有机氮源含有更多的无机盐和生长因子,丰富的微量元素能促进菌丝体生长,吉氏侧耳(刘宏宇和丁野 2022)能较好利用有机氮源(豆粉)与无机氮源(硝酸钠),栎生侧耳(Wei et al. 2020)能较好利用无机氮源(硝酸钠);环境条件在真菌菌丝生长发育过程中占重要地位,温度较低时,酶活性受抑制但不至失活,故实验室常在低温环境(–4 °C)下保存菌

表 8 巨大侧耳与其他侧耳属真菌菌丝最适培养条件、营养源的对比
Table 8 A comparison of optimal culture conditions and nutrient sources of *Pleurotus giganteus* and other *Pleurotus* species

种类 Species	碳源 Carbon source	氮源 Nitrogen source	温度 Temperature (°C)	pH
泡囊侧耳 <i>Pleurotus cystidiosus</i>	淀粉 Starch	酵母粉 Yeast	30	7.0
亚侧耳 <i>P. serotius</i>	麦芽糖 Maltose	麦芽浸粉 Malt extract powder	25	7.0
菌核侧耳 <i>P. tuber-regium</i>	蔗糖 Sucrose	蛋白胨 Peptone	35	7.0
栎生侧耳 <i>P. dryinus</i>	麦芽糖 Maltose	硝酸钠 NaNO ₃	22	9.0
吉氏侧耳 <i>P. geesteranus</i>	葡萄糖 Glucose	豆粉和硝酸钠 Bean powder and NaNO ₃	25–30	9.0
淡红侧耳 <i>P. djamor</i>	淀粉 Starch	酵母粉 Yeast	26	-
肺形侧耳 <i>P. pulmonarius</i>	蔗糖 Sucrose	酵母粉 Yeast	25	6.0~7.0
盖囊侧耳 <i>P. cystidiosus</i>	麦芽糖 Maltose	牛肉膏 Beef paste	25–30	7.0~9.0
冷杉侧耳 <i>P. abieticola</i>	淀粉 Starch	豆粉 Soybean flour	25	7.0
巨大侧耳 <i>P. giganteus</i>	果糖 Fructose	蛋白胨 Peptone	25–30	8

种, 温度升高至适宜温度, 菌丝体代谢旺盛, 生长繁殖较快, 巨大侧耳在 25–30 °C 时, 能充分利用培养基中的营养物质, 达到最快生长速度。温度继续增加时, 菌丝体内的酶活性受到影响, 抑制生长繁殖速度, 菌丝体量开始下降, 温度过高时, 可能会丧失酶活性, 甚至导致营养体细胞死亡, 与泡囊侧耳(李蝶等 2015)、吉氏侧耳(刘宏宇和丁野 2022)、亚侧耳(韩振 2023)、淡红侧耳(蔡志英等 2023)、肺形侧耳(羊晨等 2022)、冷杉侧耳(罗智檣等 2020)及盖囊侧耳(肖自添等 2023)相似, 最适温度在 25–30 °C 之间; 适宜 pH 条件下, 蛋白质代谢旺盛, 菌丝体生长快速, pH 过高或过低时, 蛋白质会发生不可逆变性, 酶活性受到影响, 本研究最适 pH 为 8, 与盖囊侧耳(肖自添等 2023)的最适范围相似。表明不同侧耳种类间营养及环境需求具有一定的特异性和一致性。

巨大侧耳为木腐菌, 能较好利用纤维素、半纤维素和木质素, 冯邦朝和凌小环(2023)以“大杯伞 130”为研究对象, 栽培料以杂木屑、桉树木屑和麦麸为主, 收集 1 潮菇, 其生物转化率达 26.54%。马洁等(2018)以玉米芯和麸皮为主要原料, 进行巨大侧耳栽培, 采收 3–4 潮菇, 生物转化率为 82.3%, 表明添加玉米芯更适宜巨大侧耳生长。本实验选取杂木屑、玉米芯及麦麸为主要栽培基质, 两潮菇产量达(210.38±37.89) g/袋, 生物转化率为 40.07%。由于巨大侧耳菌柄纤维化严重, 食用价值低于菌盖, AH150 菌盖重量大于单朵重量[(56.97±35.41) g]的一半, 达(29.27±16.77) g, 菌盖厚度为(2.15±0.41) cm, 食用价值高。本研究结果为热带特色食用菌巨大侧耳资源开发利用、新品种选育提供了重要的基础材料和数据参考。

作者贡献

李曼玲: 论文构思、数据管理、调查、撰

写; 朱安红: 验证、审核; 马国营: 提供实验材料、菌种; 屈直: 数据管理; 卢雪花: 提供实验材料、菌种; 马海霞、刘振东: 指导论文写作。

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]

- Cai YS, 2009. Study on the technologies for year-round cultivation and processing of *Clitocybe maxima*—a case study in Zhangzhou City, Fujian Province. MS Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. 1-41 (in Chinese)
- Cai ZY, Ma Q, Dai LM, Su HP, Liu YX, Shi YP, Li LL, Xiong YL, Mu HJ, 2023. Isolation, identification and artificial cultivation of a wild *Pleurotus ostreatus* strain. Southern Journal of Agriculture, 54(12): 3514-3526 (in Chinese)
- Chen JC, Shen HS, Tang BS, Yang JJ, 2005. Techniques of high-yield cultivation and processing for *Clitocybe maxima*. Edible Fungi of China, 24(5): 32-33 (in Chinese)
- Chen KH, Lu CX, Chen ZM, 2017. Cultivation technique for new variety of *Clitocybe maxima* 'Puxun No.1'. Fujian Agricultural Science and Technology, 2017(5): 39-40 (in Chinese)
- 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: 151-156 (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 HX, Cai DH, Li Y, 2010. Research status and prospect of *Panus giganteus*. Edible Fungi of China, 29(3): 3-6 (in Chinese)
- Du P, Tu H, Jiang JY, Cui BK, Dai YC, 2020. Molecular identification and biological characteristics of wild *Paxillus ammoniaevirescens*. Forest Research, 33(3): 146-155 (in Chinese)
- Fang RT, 2014. Extraction, purification and antioxidant activity of the polysaccharides from the stem of *Clitocybe maxima*. MS Thesis, Fujian Agriculture and

- Forestry University, Fuzhou. 1-70 (in Chinese)
- Fang ZR, Qing Y, He XL, Naige RG, 2022. Identification and biological characters of two wild *Lentinula* strains. Northern Horticulture, 2022(6): 107-113 (in Chinese)
- Feng BC, Ling XH, 2023. Introduction and cultivation experiment of high temperature *Clitocybe maxima* 130. Agriculture and Technology, 43(21): 81-85 (in Chinese)
- Gan YJ, Zeng YB, Mei WL, Dai HF, 2007. Isolation and identification of chemical constituents from *Lentinus giganteus*. Chinese Journal of Medicinal Chemistry, 17(2): 104-107 (in Chinese)
- Guo X, Xue WQ, Tan YN, Wang RH, Tan Y, 2015. Effect of corn cob on the yield of *Panus giganteus* (Berk.) Corner and the content of its main nutrients. Food and Fermentation Industries, 41(1): 70-73 (in Chinese)
- Han Z, 2023. Isolation, identification, biological characteristics and artificial domestication of a wild *Pleurotus ostreatus*. MS Thesis, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Lhasa. 1-43 (in Chinese)
- Karunarathna Samantha C, Yang ZL, Raspé Olivier Ko Ko Thida W, Vellinga Else C, Zhao RL, Bahkali AH, Chukeatirote Ekachai, Degreef Jerome, Callac Philippe, Hyde Kevin D, 2012. *Lentinus giganteus* revisited: new collections from Sri Lanka and Thailand. Mycotaxon, 118(1): 57-71
- Li D, Wu H, Li HY, Lei YX, Liu B, 2015. Domestication and cultivation of wild *Pleurotus cystidiosus* and ITS molecular indentification. Northern Horticulture, 2015(4): 143-146 (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 Y, Gao YQ, Lin RB, Jia BG, Wang ZA, Jia X, 2023. Isolation and identification of wild *Stropharia rugosoannulata* from Liupan Mountain, and preliminary exploration of its biological characteristics. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023(7): 108-112 (in Chinese)
- Liu HY, Ding Y, 2022. Study on the law of nutrient utilization and the characteristics of *Pleurotus ferulae*. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 41(1): 56-63 (in Chinese)
- Liu XT, Guo JF, Wang SY, Li YJ, Na R, 2015. Identification of wild edible fungi in Inner Mongolia by rDNA-ITS method. Edible and Medicinal Mushrooms, 23(5): 301-306 (in Chinese)
- Lu ZJ, 2010. Preliminary study on high-temperature biogas fermentation with edible fungi residue and isolation of methanogenic bacteri. MS Thesis of Northeast Agricultural University, Tai'an. 1-39 (in Chinese)
- Luo ZH, Niu X, Wei SL, Yu HP, Zhang B, Li Y, 2020. Biological characteristics and cultivation conditions of *Pleurotus abieticola* from Qilian Mountains, northwestern China. Mycosystema, 39(9): 1741-1749 (in Chinese)
- Ma J, Zhao H, Li B, Xu JJ, Sun CQ, Xu D, 2018. High-yield cultivation technology of *Pleurotus giganteus* using corn cob bag materials. Edible Fungi, 40(2): 65-66 (in Chinese)
- Shi HG, Wei YC, Ban XH, Li JY, 2020. Optimization of culture medium of *Lentinus edodes* by orthogonal design. Northern Horticulture, 2020(19): 129-133 (in Chinese)
- Tang Q, 2009. Study on isolation, purification and biological activity of polysaccharides from *Clitocybe maxima* Quél. MS Thesis, Guizhou University, Guiyang. 1-56 (in Chinese)
- Wang H, Ng TB, 2004. Isolation of a new ribonuclease from fruiting bodies of the silver plate mushroom *Clitocybe maxima*. Peptides, 25(6): 935-939
- Wang JF, Song GY, Gao Y, Song ZK, Ma HX, 2023. Biological characteristics and domestic cultivation of wild *Pleurotus tuber-regium*. Mycosystema, 42(1): 395-407 (in Chinese)
- Wang TJ, 2011. Detection and analysis of micronutrient in six edible fungi. Edible Fungi, 33(6): 59, 64 (in Chinese)
- Wei Z, Tolgor B, Shoji O, Yukio O, 2020. Biological characteristics and cultivation of the wild edible mushroom *Pleurotus dryinus*. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 65 (1): 35-44
- 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
- Xiao ZT, He HQ, Peng YY, Liu M, Xu J, 2023. Identification and domestication of a wild *Pleurotus cystidiosus*. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 45(6): 108-115 (in Chinese)
- Yang C, Tu J, Zhai Y, Yin WY, Zeng LB, Wei BY, 2022. Preliminary study on mycelial growth characteristic and artificial cultivation of a wild strain of *Pleurotus pulmonarius*. Edible Fungi of China, 41(10): 18-25 (in Chinese)
- Ye YM, Hu Y, 2018. Discussion on the development value of geological resources in Mount Qiyun Geopark. Proceedings of the 33rd annual meeting of the branch of tourism geoscience and geoparks of the Chinese Geological Society and the symposium on the establishment and tourism development of Wansheng

District Global Geoparks. China Forestry Publishing House, Beijing. 4 (in Chinese)

Zhang XY, Bau T, Li Y, 2019. Biological characteristics and cultivation of *Auricularia fibrillifera*. *Mycosystema*, 38(7): 1099-1110 (in Chinese)

[附中文参考文献]

蔡毅生, 2009. 大杯蕈周年栽培与加工技术研究. 中国农业科学院硕士论文, 北京. 1-41

蔡志英, 马茜, 戴利铭, 苏海鹏, 刘一贤, 施玉萍, 李岚岚, 熊延林, 穆洪军, 2023. 1株野生红侧耳菌株分离鉴定及人工驯化栽培. *南方农业学报*, 54(12): 3514-3526

陈君琛, 沈恒胜, 汤葆莎, 杨加金, 2005. 大杯蕈高产栽培及加工利用技术. *中国食用菌*, 24(5): 32-33

陈克华, 卢翠香, 陈政明, 2017. 大杯蕈新品种“莆蕈 1号”栽培技术. *福建农业科技*, 2017(5): 39-40

戴玉成, 2022. 中国食药真菌研究发展的新趋势. *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: 151-156

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

董洪新, 蔡德华, 李玉, 2010. 猪肚菇的研究现状及展望. *中国食用菌*, 29(3): 3-6

杜萍, 涂慧, 蒋佳颖, 崔宝凯, 戴玉成, 2020. 野生 *Paxillus ammoniavirescens* 菌的分子鉴定及生物学特性研究. *林业科学研究*, 33(3): 146-155

方汝滔, 2014. 大杯蕈菇柄多糖的提取纯化及抗氧化性研究. 福建农林大学硕士论文, 福州. 1-70

方志荣, 清源, 何晓兰, 乃戈日优, 2022. 两株野生微香菇属 (*Lentinula*) 真菌的鉴定和生物学特性. *北方园艺*, 2022(6): 107-113

冯邦朝, 凌小环, 2023. 高温猪肚菇大杯伞 130 引种栽培试验. *农业与技术*, 43(21): 81-85

干玉娟, 曾艳波, 梅文莉, 戴好富, 2007. 大杯香菇化学成分分离与鉴定. *中国药物化学杂志*, 17(2): 104-107

郭霞, 薛婉秋, 谭亚男, 汪仁会, 谭英, 2015. 玉米芯对巨大革耳产量及营养成分含量的影响. *食品与发酵工业*, 41(1): 70-73

韩振, 2023. 一株野生地生亚侧耳的分离鉴定、生物学特性及人工驯化栽培研究. 西藏农牧学院硕士论文, 林

芝. 1-43

李蝶, 吴浩, 李红玉, 雷雨霞, 刘斌, 2015. 野生泡囊侧耳的鉴定及其驯化栽培. *北方园艺*, 2015(4): 143-146

李婉莹, 高磊, 吴芳, 豆志鹏, 2023. 中国蘑菇类食药真菌近十年驯化栽培研究进展. *菌物学报*, 42(10): 2011-2024

李颖, 高有钱, 林戎斌, 贾宝光, 王正安, 贾旭, 2023. 六盘山野生大球盖菇分离鉴定及生物学特性初探. *农业科技通讯*, 2023(7): 108-112

刘宏宇, 丁野, 2022. 秀珍菇营养利用规律探索及出菇特性研究. *山地农业生物学报*, 41(1): 56-63

刘晓婷, 郭九峰, 王淑妍, 李亚娇, 那日, 2015. 用 rDNA-ITS 方法鉴别内蒙古多种野生食用菌. *食用菌*, 23(5): 301-306

路子佳, 2010. 高温菌糠沼气发酵的初探及产甲烷菌的分离. 东北农业大学硕士论文, 泰安. 1-39

罗智檣, 牛鑫, 魏生龙, 于海萍, 张波, 李玉, 2020. 采自祁连山的冷杉侧耳生物学特性及栽培条件探索. *菌物学报*, 39(9): 1741-1749

马洁, 赵辉, 李彪, 徐建俊, 孙传齐, 徐德, 2018. 玉米芯袋料高产栽培猪肚菇技术. *食用菌*, 40(2): 65-66

史红鸽, 魏银初, 班新河, 李九英, 2020. 正交实验法优化香菇母种培养基. *北方园艺*, 2020(19): 129-133

唐青, 2009. 猪肚菇水溶性多糖分离纯化和生物活性的研究. 贵州大学硕士论文, 贵阳. 1-56

王军芳, 宋国月, 高悦, 宋子坤, 马海霞, 2023. 野生菌核侧耳生物学特性及驯化栽培. *菌物学报*, 42(1): 395-407

王土金, 2011. 六种食用菌中微量元素的检测分析. *食用菌*, 33(6): 59, 64

肖自添, 何焕清, 彭洋洋, 刘明, 徐江, 2023. 一株野生盖囊侧耳的鉴定与驯化栽培. *特产研究*, 45(6): 108-115

羊晨, 涂镜, 翟杨, 尹文银, 曾粮斌, 魏宝阳, 2022. 一株野生肺形侧耳的菌丝生长特性及人工栽培初探. *中国食用菌*, 41(10): 18-25

叶玉明, 胡毅, 2018. 齐云山地质公园地质资源开发价值的探讨. 中国地质学会旅游地质与地质公园研究分会. 中国地质学会旅游地质与地质公园研究分会第 33 届年会暨重庆万盛世界地质公园创建与旅游发展研讨会论文集. 北京: 中国林业出版社. 4

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