



代月婷

吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心讲师，菌类作物专业博士。主要从事食药菌种质资源的评价、多组学研究、功能基因挖掘验证以及新品种选育等研究。以侧耳、木耳等类群为代表，基于多组学联合分析，揭示了菌类作物的适应性进化、遗传分化以及驯化的遗传基础。

四株野生毛木耳的生物学特性分析及驯化栽培

杨阳^{1,2}, 胡爽¹, 付永平¹, 李玉¹, 李勤奋², 代月婷^{1*}

1 吉林农业大学 食药菌教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118

2 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101

摘要: 优质菌种是食用菌产业持续健康发展的基础。毛木耳野生种质资源丰富, 可作为新种质创制和品种选育的重要来源。为丰富毛木耳的育种材料, 本研究以采自中国、俄罗斯和赞比亚 3 个国家的 4 株野生木耳菌株为材料, 进行了基于内转录间隔区序列(ITS)的分子系统发育鉴定、生物学特性分析及出菇品比试验。结果表明: 4 株野生木耳菌株均为毛木耳; 菌丝体最适碳源各不相同, 最适氮源为酵母粉或氯化铵, 最适 pH 为 7-9, 最适温度为 25-30 °C; 所有菌株均可驯化出菇, 其中赞比亚菌株 III 的发菌速度最快, 且第一茬鲜重高于国内栽培菌株(V 和 VI), 俄罗斯菌株 I 最先产生原基。本研究获得的 4 株野生毛木耳菌株, 在营养需求、出菇形态、产量和生育期等农艺性状上均存在差异, 为毛木耳育种工作提供了新的资源。

关键词: 种质资源; 碳氮源; 生物学转化率; 生育期; 选育

[引用本文]

杨阳, 胡爽, 付永平, 李玉, 李勤奋, 代月婷, 2023. 四株野生毛木耳的生物学特性分析及驯化栽培. 菌物学报, 42(1): 383-394
Yang Y, Hu S, Fu YP, Li Y, Li QF, Dai YT, 2023. Biological characteristics and domestication cultivation of four wild *Auricularia cornea* strains. Mycosystema, 42(1): 383-394

资助项目: 国家重点研发计划(2021YFD1600401); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1630042022003, 1630042022020); 海南省自然科学基金(322QN365)

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFD1600401), the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (1630042022003, 1630042022020), and the Natural Science Foundation of Hainan Province (322QN365).

*Corresponding author. E-mail: daiyueting18@163.com

ORCID: YANG Yang (0000-0002-6060-3212)

Received: 2022-06-08; Accepted: 2022-07-01

Biological characteristics and domestication cultivation of four wild *Auricularia cornea* strains

YANG Yang^{1,2}, HU Shuang¹, FU Yongping¹, LI Yu¹, LI Qinfen², DAI Yueting^{1*}

1 China Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

2 Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan, China

Abstract: High-quality spawn are the foundation for the sustainable and healthy development of edible mushroom industry. The wild germplasm resources of *Auricularia cornea* are quite abundant, which can be used as an important source of new germplasm creation and variety breeding. In order to enrich the germplasm resources of *A. cornea*, four wild *Auricularia* strains collected from China, Russia and Zambia were used as materials to carry out molecular identification based on internal transcribed spacer sequence (ITS), biological characteristics analysis, and cultivation evaluation experiments. All of the four wild *Auricularia* strains were identified as *A. cornea*. The optimal carbon source for each strain was different, but the optimum nitrogen source was identically yeast powder or ammonium chloride. The optimum pH was 7–9 and the optimum temperature was 25–30 °C. All strains can be domesticated to produce fruiting bodies. Among the studied strains, the strain III from Zambia showed the fastest growth rate, and its fresh weight of the first crop was higher than that of domestic cultivated strains (V and VI). The strain I from Russia was the earliest to produce primordia. These four wild *A. cornea* strains obtained are different in agronomic characters, such as nutritional requirements, morphology, yield, and growth period, and hopefully they can be used as new resources for breeding new varieties of *A. cornea*.

Keywords: germplasm resources; carbon and nitrogen source; biological efficiency; growth stages; selective breeding

毛木耳 *Auricularia cornea* Ehrenb.是我国广泛栽培的木耳属物种之一(李玉等 2015; 戴玉成和杨祝良 2018; 谭伟等 2018), 其营养丰富, 并具有促进血液循环、抗氧化和抗肿瘤等药用功能(Wu *et al.* 2019), 深受消费者喜爱, 是一种重要的食药菌(戴玉成等 2010; 姚清华等 2018)。我国毛木耳的人工栽培始于 1975 年, 并在 20 世纪 80 年代初进入快速发展时期(张丹和郑有良 2004)。国内的人工栽培毛木耳主要分为 3 大类: 一类是黄背木耳, 其主栽区为四川省、河南省; 一类是白背木耳, 其主栽区为福建省; 还有一类新兴品种是玉木耳, 由于产

量高、营养丰富, 耳片温润如玉, 在国内多地都有栽培(李婧 2011; 任梓铭等 2018)。然而, 目前毛木耳的菌种市场相当混乱, 菌种同物异名、异物同名现象严重, 同时老化、退化菌种也流入生产, 菌种来源有限等问题严重制约了毛木耳产业的可持续发展(贾定洪等 2010; 伍虹蓉 2012; 姚方杰等 2019)。随着毛木耳栽培的不断推广, 新的毛木耳种质资源需求愈加迫切。

毛木耳野生资源丰富, 在南北美洲、欧洲、亚洲、非洲和大洋洲都有发现, 在国内的 31 个省(区、市)均有分布(Wu *et al.* 2014,

2021)。研究人员发现，食药菌的野生资源具有表型丰富、适应性强、多态性高、抗杂抗逆能力强、生育期短和品质优良等特点(卢东升和杨华 2001; Sun *et al.* 2020)。林海清(1996)对采集的野生毛木耳进行驯化，获得了段木和代料栽培均高产的菌株；刘俊娇(2019)通过野生驯化栽培，筛选到 3 株高产、优质、耐高温的木耳新菌株；姚方杰等(2020)将野生菌株与国内主栽菌株杂交，培育出 5 株海南省适栽的高产优质毛木耳新菌株。可见，通过野生菌株驯化或作为亲本进行杂交选育，可有效丰富毛木耳的栽培种质资源，是解决毛木耳菌种相似度高、品质欠佳等问题的有效途径之一。

因此，本研究以获取性状优良的毛木耳种质资源为目标，对采自中国、俄罗斯和赞比亚 3 个地域的 4 株野生木耳菌株进行分子生物学鉴定，明确菌株的分类学地位；依据单一变量原则，对 4 个野生菌株的生物学特性进行分析，筛选各菌株菌丝体的最适生长条件；并选取国内 2 个栽培菌株作为对照，评价野生菌株出菇的农艺性状。本研究结果可为不同来源的毛木耳野生菌株的驯化栽培提供参考，同时为毛木耳育种工作提供丰富的种质资源。

1 材料与方法

1.1 菌株收集和鉴定

1.1.1 菌株来源

本研究以采自亚洲中国、非洲赞比亚和欧洲俄罗斯的 4 株野生木耳菌株为实验材料，同时以国内 2 株栽培毛木耳菌株为对照(表 1)。其中，栽培菌株 V 的出菇特点是“出耳温度 10–35 °C，朵型完整，耳片厚实，大而紧凑，鲜耳紫红；耐温性好，高温耳不易烂”，菌株 VI 的出菇特点是“11–36 °C 出耳，鲜耳紫红色，叠生平展，耳片厚，产量高，高温朵型完整，不卷边，高温高湿不易烂耳”。所有菌株

保存在吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心。

1.1.2 菌株鉴定

采用基因组 DNA 提取试剂盒提取 4 株木耳菌株的 DNA，并通过 1% 的琼脂糖凝胶电泳和紫外分光光度计检测 DNA 浓度与纯度。以木耳 DNA 为模板，对其内转录间隔区(internal transcribed spacer, ITS)片段进行 PCR 扩增，扩增引物选取通用引物 ITS1 和 ITS4 (Branco *et al.* 2015)。PCR 产物由北京鼎国昌盛生物技术公司测序。测序结果提交到国家微生物科学数据中心 NMDC (<http://nmcdc.cn/>)，并在 NCBI 中进行 BLAST 序列比对(<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)。

表 1 毛木耳菌株信息
Table 1 Information of *Auricularia cornea* strains

菌株编号	原始名称	来源	类型
Strain No.	Original name	Source	Type
I	CCMJ2985	Vladivostok, Russia	Wild
II	CCMJ2896	Jilin, China	Wild
III	CCMJ2831	Lusaka, Zambia	Wild
IV	CCMJ2903	Shanxi, China	Wild
V	CCMJ2543	Shandong, China	Cultivated
VI	CCMJ2544	Shandong, China	Cultivated

1.2 生物学特性试验

依据单一变量原则，分别对碳源、氮源、pH 和温度 4 个生长因子进行研究，旨在获得野生毛木耳菌株菌丝培养的最适条件。基础培养基(1 000 mL)：20 g 葡萄糖，2 g 酵母粉，3 g 磷酸二氢钾，1.5 g 硫酸镁，15 g 琼脂。碳源筛选试验分别以可溶性淀粉、麦芽糖、葡萄糖、蔗糖和糊精粉为碳源，对照组不加碳源，以酵母粉为固定氮源，pH 自然，接种后 25 °C 恒温暗培养；氮源筛选试验分别以蛋白胨、酵母粉、氯化铵、磷酸氢二胺和尿素为氮源，对照组不加氮源，以葡萄糖为固定碳源，pH 自然，接种后 25 °C 恒温暗培养；pH 试验使用基础培养

基, 用 1 mol/L 的盐酸和氢氧化钠调节 pH 分别为 5、6、7、8 和 9, 对照组 pH 自然, 接种后 25 °C 恒温暗培养(Song *et al.* 2018; 谢孟乐等 2018); 温度试验使用基础培养基, pH 自然, 接种后置于 15、20、25、30 和 35 °C 培养箱培养。以上均将直径 7 mm 的菌种块接种在培养基的正中央, 每组设 3 次重复。待菌丝萌发后, 采用交叉法计算菌丝生长速度, 并观察菌丝生长状态(黎倩等 2016; 宋冰等 2017)。试验数据用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

1.3 驯化栽培试验

将毛木耳菌株在 PDA 培养基上活化, 25 °C 恒温暗培养 7 d, 接种至麦粒培养基中(小麦 98%、石灰 1%、石膏 1%, 含水量 65%)。待菌丝爬满麦粒, 接种到木屑培养基中(粗木屑 78%、麦麸 20%、石灰 1%、石膏 1%, 含水量 65%)。前期菌包在 24–26 °C 黑暗条件下培养, 高温有利于菌丝尽快恢复和定植, 观察并记录菌丝浓密程度和满袋时间。待菌丝长至菌袋 80% 左右, 菌丝已完成定植, 菌丝生长迅速且内部产热, 适当降温至 22 °C, 有利于菌丝生长。菌丝满袋后, 为保证菌丝生物量, 同时防止菌丝老化, 降至 20 °C 后熟 7 d。用打孔器打孔, 并转入湿度 40% 左右的无菌出菇室中进行恢复生长。待打孔处长出洁白粗壮的菌丝后, 调节白天温度 24–26 °C, 夜晚降至 22 °C, 湿度从 70% 逐渐升到 85%, 每天上午 10 点通风 1 h, 并进行 12 h 的散射光处理。在控制湿度、光照和温差刺激条件下, 统计原基形成时间。原基分化期, 每天 8 h 的直射光照射, 控制湿度 85%–90% 并加大通风。耳片伸展期, 每天进行 2 次干湿交替喷水, 直至子实体成熟。在耳片采收前停止加水, 防止过湿采收不易晾干及污染(李黎 2017; 孟秀秀 2017)。

1.4 出菇品比试验

为充分评价 4 株野生毛木耳菌株的出菇特

性, 选取国内 2 个栽培菌株为对照, 在相同条件下进行出菇试验。统计和分析栽培过程中的主要农艺性状, 包括菌丝满袋天数(d)、菌丝长势、原基形成天数(d)、出菇产量(g)和耳片形态等(陈影等 2009)。菌丝满袋天数(d): 从接种到菌丝长满菌袋的天数。菌丝长势: 菌丝浓密程度(++++)、菌丝浓密(+++), 菌丝较密(++), 菌丝较稀疏(+), 菌丝稀疏(+)。原基形成天数(d): 从催芽到原基形成的天数。

2 结果与分析

2.1 菌株鉴定

通过基因组提取、ITS1/ITS4 (650 bp) PCR 扩增和基因组测序, 获得了 4 株野生木耳菌株的 ITS 序列, 序列号为 NMDCN00011EM、NMDCN00011EN、NMDCN00011EO 和 NMDCN00011EP。在 NCBI 进行序列比对表明, 4 个菌株的 ITS 序列与已公布的毛木耳 ITS 序列的相似性都达到 99% 以上。因此, 将 4 株野生木耳菌株鉴定为毛木耳 *Auricularia cornea*。

2.2 野生毛木耳的生物学特性

2.2.1 菌丝生长最适碳源

4 株野生毛木耳在 5 种供试碳源培养基上均可生长, 但长速和长势存在不同程度的差异(图 1)。菌株 I 在麦芽糖和蔗糖培养基上菌丝长势相同, 长速最快且两者间无显著差异, 因此其最适碳源为麦芽糖和蔗糖; 菌株 II 在可溶性淀粉培养基上长速最快, 但菌丝相对稀疏, 其次是蔗糖、葡萄糖, 综合菌丝长速和长势确定葡萄糖为其最适碳源; 菌株 III 在可溶性淀粉、麦芽糖和蔗糖培养基上生长较快, 但在可溶性淀粉培养基上长势最好, 因此其最佳碳源为可溶性淀粉; 菌株 IV 在可溶性淀粉和糊精粉培养基上长速最快, 但在糊精粉上菌丝更浓密, 因此糊精粉为其最适碳源。比较发现, 各菌株菌丝在不添加碳源的对照组培养基上, 菌丝长速

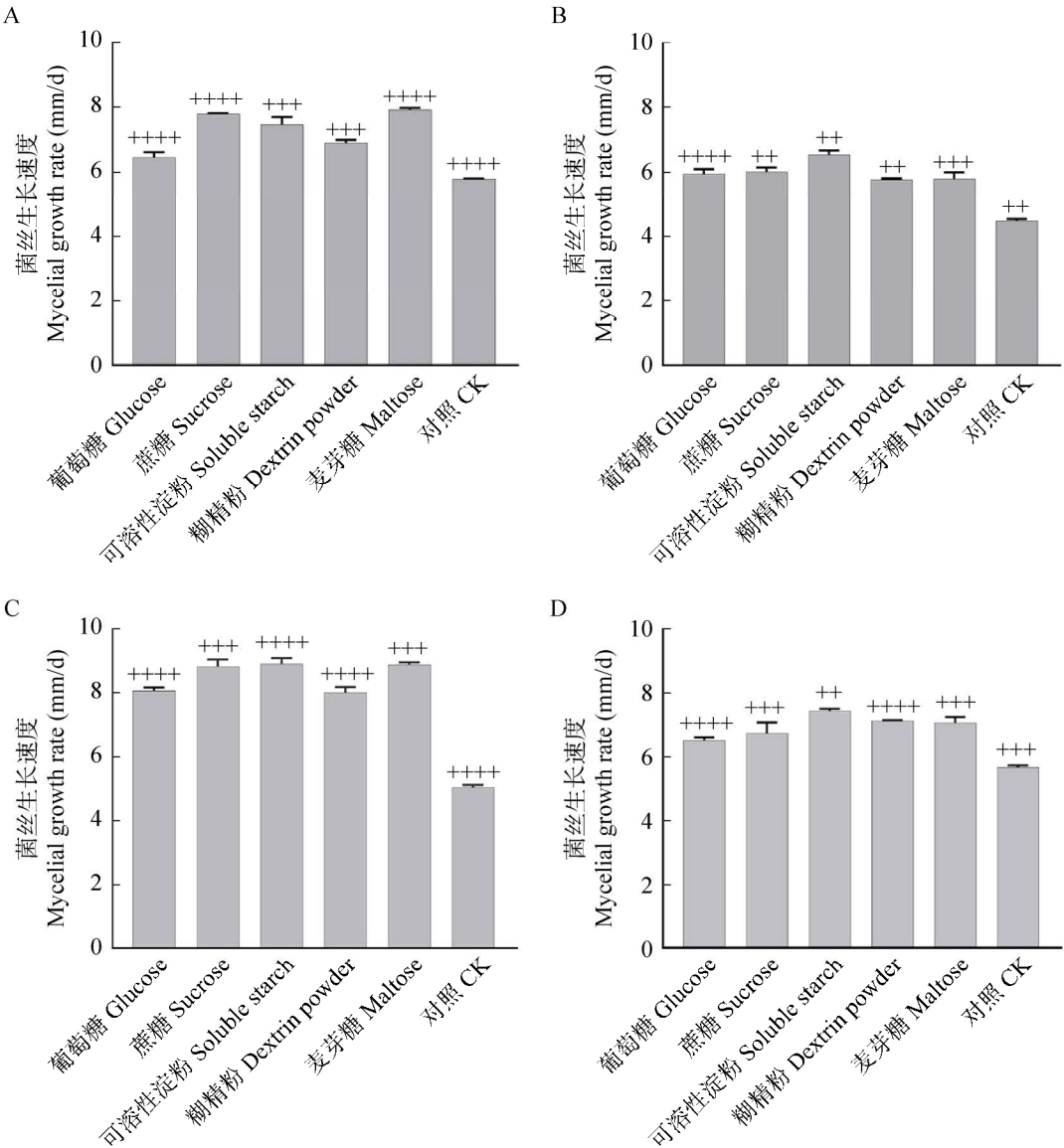


图 1 不同碳源对毛木耳菌株菌丝生长的影响 A: 菌株 I. B: 菌株 II. C: 菌株 III. D: 菌株 IV. 数据为 3 次重复的平均值±标准误差. ++++: 菌丝浓密; +++: 菌丝较密; ++: 菌丝较稀疏; +: 菌丝稀疏. 下同

Fig. 1 The effects of different carbon sources on mycelial growth of *Auricularia cornea*. A: Strain I. B: Strain II. C: Strain III. D: Strain IV. The data is the mean value and standard deviation of 3 times repetition. ++++: Mycelia dense; +++: Mycelia comparatively dense; ++: Mycelia comparatively sparse; +: Mycelia sparse. The same below.

均为最慢且长势较差，但最适碳源各不相同。与其他菌株相比，菌株 III 在 5 种供试碳源上的长速均为最快，且整体长势也最好。

2.2.2 菌丝生长最适氮源

4 株野生毛木耳在磷酸氢二铵培养基上均不能生长，因而其不能作为毛木耳菌株的供试

氮源(图 2)。菌株 I 在供试氮源为酵母粉和氯化铵时，菌丝长速最快且两者间无显著差异，长势均为最好，因此其最适氮源为酵母粉和氯化铵；菌株 II 的菌丝在酵母粉和尿素培养基上生长最快，但在酵母粉培养基上致密性更好，因此酵母粉为其最适氮源；菌株 III 在酵母粉培养

基上长速最快且长势最好，因此酵母粉为其最适氮源；菌株Ⅳ在酵母粉培养基上菌丝长速最快且浓密，因此其最适氮源也为酵母粉。比较发现，4株毛木耳菌株在不添加氮源的供试培养基上，菌丝长速缓慢，且明显稀疏接近透明。它们的最适氮源大致相同，除菌株Ⅰ的最适氮源为酵母粉和氯化铵外，其他菌株均为酵母粉。与其他菌株相比，菌株Ⅰ在5种供试氮源上长速最快，且长势最好。

2.2.3 菌丝生长最适 pH

菌株Ⅰ在 pH=7、8 或 9 的培养基上菌丝生长最快，但 pH=9 时菌丝更浓密，因此其最适 pH 为 9；菌株Ⅱ在 pH=7 的培养基上菌丝生长最快且较浓密，因此其最适 pH 为 7；菌株Ⅲ在 pH=7、8 或 9 的培养基上菌丝生长最快，且菌丝长势差异不大(图 3)，因此菌株Ⅲ的最适 pH 为 7-9；菌株Ⅳ在 pH=8 时菌丝生长最快，但菌丝较稀疏，其次是 pH=6、7 或 9，综合长速

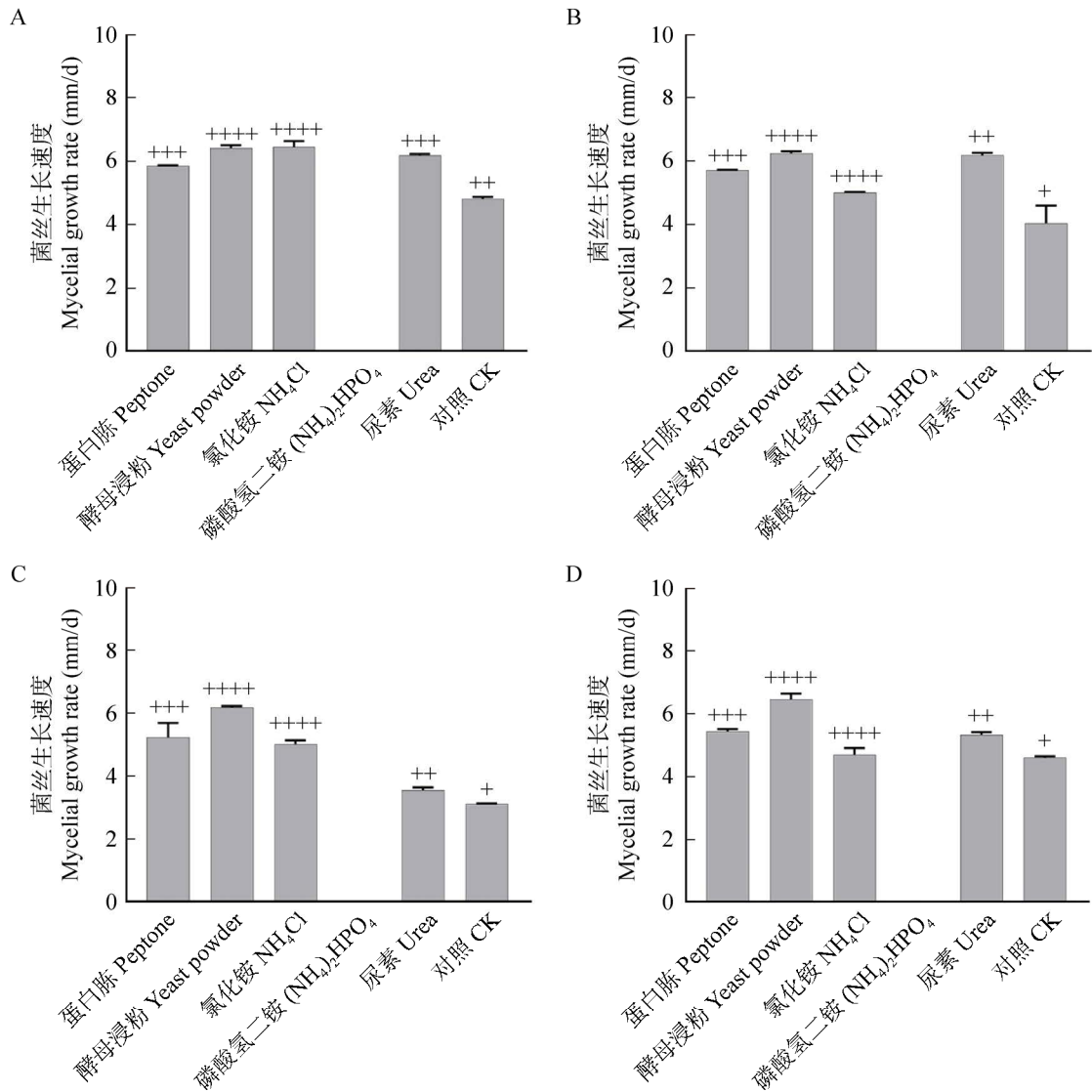


图 2 不同氮源对毛木耳菌株菌丝生长的影响 A：菌株Ⅰ. B：菌株Ⅱ. C：菌株Ⅲ. D：菌株Ⅳ

Fig. 2 The effects of different nitrogen sources on mycelial growth of *Auricularia cornea*. A: Strain I . B: Strain II . C: Strain III. D: Strain IV. The data is the mean value and standard deviation of 3 times repetition.

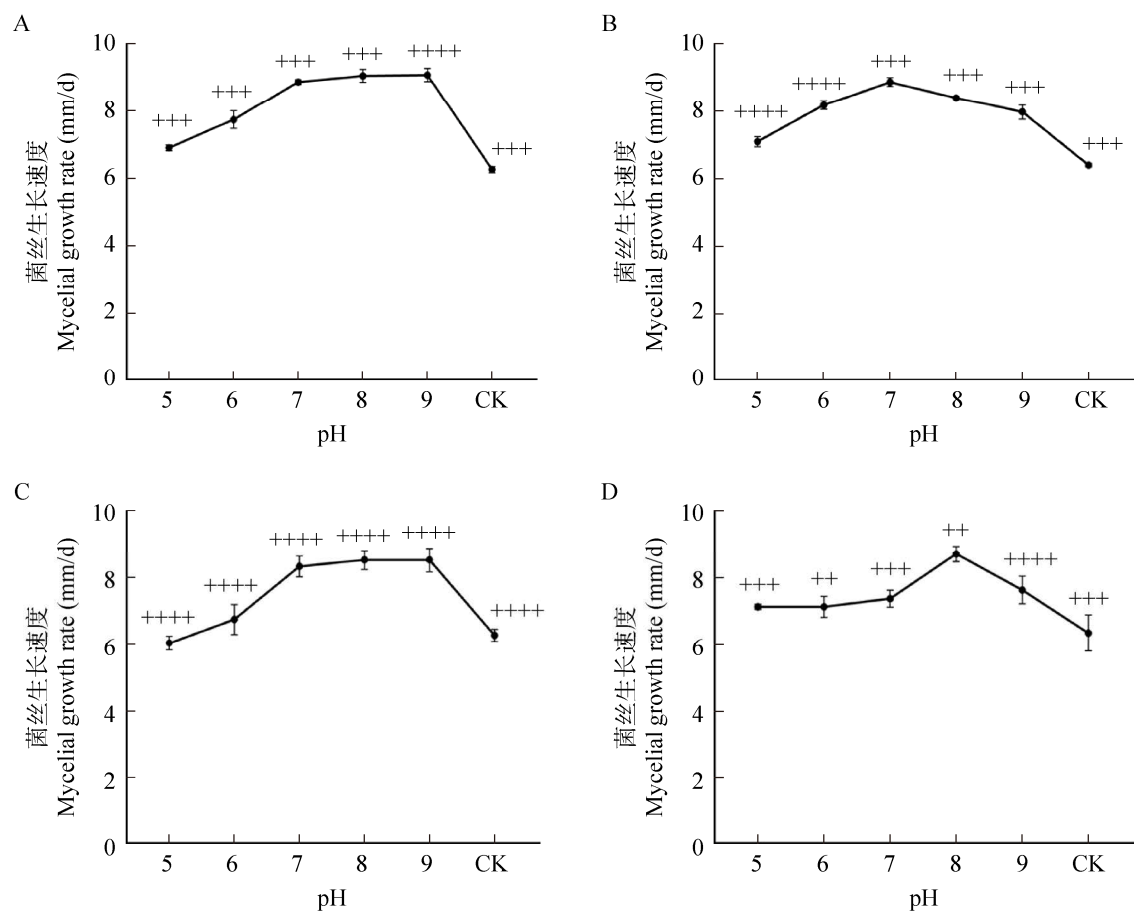


图 3 不同 pH 对毛木耳菌株菌丝生长的影响 A: 菌株 I . B: 菌株 II . C: 菌株 III . D: 菌株 IV
Fig. 3 Mycelium growth on different pH culture medium of *Auricularia cornea*. A: Strain I . B: Strain II . C: Strain III . D: Strain IV .

和长势确定其最适 pH 为 9。比较发现，4 株毛木耳的最适生长条件偏碱性(pH=7-9)，且在该范围内，菌株 I 的长速优于其他菌株。

2.2.4 菌丝生长最适温度

随着温度的升高，4 个菌株的菌丝长速均呈现先增高后下降的趋势，最适生长温度为 25-30 ℃ (图 4)。当培养温度为 25 ℃ 时，菌株 III 的菌丝长速最快且长势较好，25 ℃ 可作为其最适温度；当培养温度为 30 ℃ 时，菌株 I、II、IV 的菌丝生长速度最快，因此它们的最适温度为 30 ℃；当温度为 35 ℃ 时，4 个菌株的菌丝长速急剧下降，菌丝稀疏且菌落形状不规则。比较发现，当培养温度高于 25 ℃ 时，菌株 III 的菌丝长速始终高于其他 3 个菌株，其中

25 ℃ 时最为明显，但是在 15 ℃ 和 20 ℃ 时，其菌丝长速显著低于其他菌株。

2.3 驯化栽培结果

4 株野生毛木耳，在以木屑为主料的栽培基质中均可正常生长和驯化出菇。各菌株的菌丝满袋时间和原基出现时间存在差异(图 5A)。菌丝满袋时间分别是 23 (I)、28 (II)、20 (III) 和 25 d (IV)，其中菌株 III 的生长速度最快，接近两个栽培种的速度(V, 19 d; VI, 18 d)，且菌丝相对其他菌株更加洁白浓密(图 5B)。打孔恢复后进行催芽，栽培菌株 V、VI 在第 10 天、第 12 天依次开始出现原基，野生菌株中菌株 I 最先出现原基(14 d)，其他菌株出现原基的时间依次为 17 (III)、19 (II) 和 25 d (IV) (图 5C)。

各菌株发育成熟的耳片形态亦有所不同。野生菌株 I 的耳片在幼时近浅喇叭状，成熟时颜色偏黑色，表面具有丰富的白色短绒毛，边缘颜色浅，褶皱不明显，背面近锈褐色；菌株 II 的耳片幼时近浅喇叭状，成熟时颜色为灰黑色，表面具有丰富的白色短绒毛，几乎无褶皱，背面灰黄褐色；菌株 III 的耳片近红褐色，具白色短绒毛，边缘绒毛丰富且近白色，耳片具褶皱，背部绒毛呈深锈褐色；菌株 IV 的耳片偏黑色，表面具白色近簇状绒毛，边缘绒毛更丰富，几乎无褶皱，背面绒毛白色至黄褐色；

栽培菌株 V、VI 的耳片均为单片生长(图 5D)。

从出菇整齐度来看，野生菌株 III 的整齐性最好，之后依次为菌株 I、II 和 IV。采摘第一茬耳片发现，虽然野生菌株相对栽培种菌株的整齐度稍差，但野生菌株 III 的耳片鲜重为 302 g/kg (干重 26.83 g/kg)，高于栽培菌株 V (鲜重 243.5 g/kg，干重 23.08 g/kg) 和 VI (鲜重 273.92 g/kg，干重 24.52 g/kg)。其他 3 株菌株的一茬产量依次是菌株 I (鲜重 198.64 g/kg，干重 21.45 g/kg)、菌株 II (鲜重 162.88 g/kg，干重 13.68 g/kg)、菌株 IV (鲜重 113.45 g/kg，干重 11.11 g/kg)。

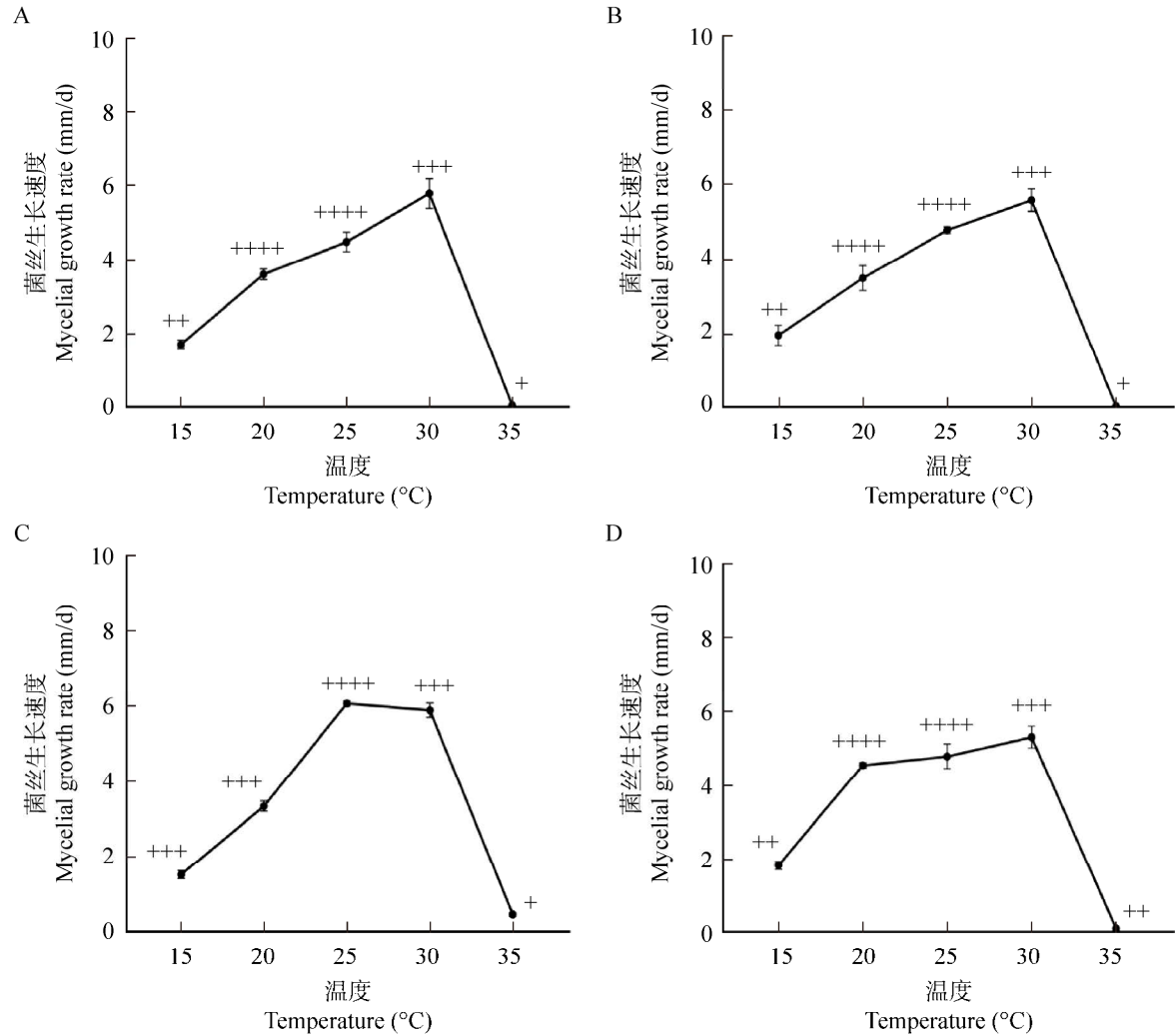


图 4 不同培养温度对毛木耳菌株菌丝生长的影响 A: 菌株 I . B: 菌株 II . C: 菌株 III. D: 菌株 IV
Fig. 4 Mycelium growth at different culture temperatures of *Auricularia cornea*. A: Strain I . B: Strain II . C: Strain III. D: Strain IV.

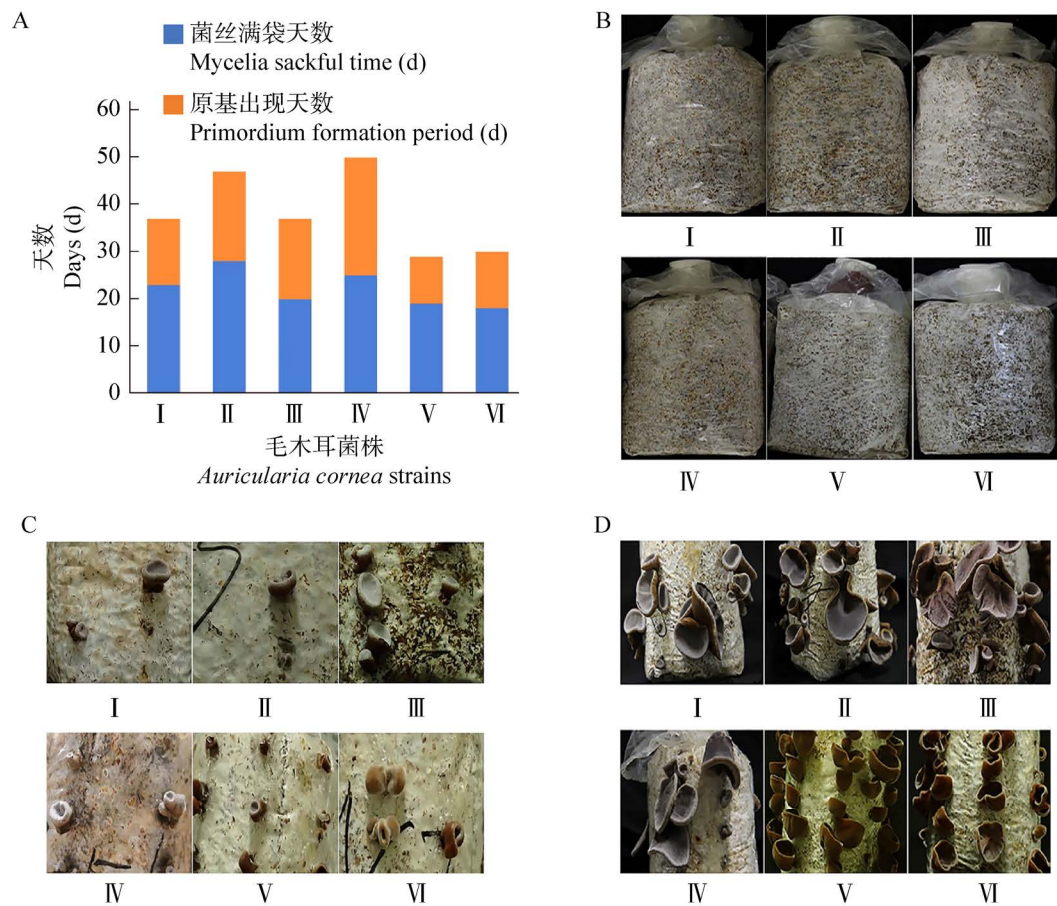


图 5 毛木耳的农艺性状比较 A: 生育期比较. B: 菌丝形态. C: 原基分化期. D: 成熟期
Fig. 5 A comparison of agronomic characters of *Auricularia cornea* strains. A: A comparison of growth period. B: Hyphal morphology. C: Primordial differentiation period. D: Mature period.

3 讨论

本试验以采自不同生态区域的野生毛木耳菌株为材料,从菌丝体生物学特性和野生驯化两方面进行研究,以期为毛木耳的育种工作提供材料。研究发现,多数毛木耳菌株对单糖和双糖的利用效果普遍优于多糖,其中葡萄糖是毛木耳菌株的最佳碳源(王谦等 2007)。但本研究中 4 株野生毛木耳菌株的最适碳源各不相同,分别为麦芽糖和蔗糖(I)、葡萄糖(II)、可溶性淀粉(III)和糊精粉(IV),说明毛木耳对碳源的利用范围非常广泛。同时,这一结果可能与野生菌株的不同生长环境相关,气候及植被差异导致菌丝体代谢水平不同,对碳源的偏好性和代谢进程发生变化(王颖等 2018; 李慧等

2020)。氮源筛选试验中,除菌株 I 的最适氮源为酵母粉和氯化铵外,其他 3 株毛木耳的最适氮源均为酵母粉。毛木耳对有机氮的利用普遍优于无机氮,可能与有机氮中提供的维生素、微量元素等营养物质相关(胡佳君等 2019; 梁逸等 2021)。菌株 I 采自俄罗斯,对无机氮的利用优于其他菌株,可能与其地域环境中的氮素水平相关(谢帆 2016)。所有菌株菌丝生长的最适 pH 值均在 7-9,可见野生毛木耳的菌丝体喜好在偏碱性条件下生长,这与刘俊娇(2019)开展的非洲木耳种质资源生物学研究结果相符。4 株毛木耳菌株的最适温度为 25-30 ℃,菌株 III 在高温条件下菌丝长速高于其他菌株,但低温时菌丝长速较慢,与其来源地非洲赞比亚

的热带性气候相符。

在驯化栽培试验中, 4 株野生毛木耳在常规木屑栽培配方(木屑 78%、麦麸 20%、石灰 1%、石膏 1%)中均可成功出菇。为更好地评价野生毛木耳菌株的出菇性状, 与国内 2 株栽培菌株进行出菇品比。结果显示, 采自俄罗斯的菌株 I 和采自赞比亚的菌株 III 在菌丝生长速度(23 d 和 20 d)和原基形成(14 d 和 17 d)时间上具有明显优势, 可用作毛木耳短生育期菌种选育的优势材料。其中, 菌株 I 最快出现原基, 但在生长过程中原基分化较慢, 推测该出菇条件对菌株 I 并不完全适合, 后期可进一步优化其最适出菇条件。各野生菌株相对栽培菌株的整齐度稍差, 可能与其第一次驯化栽培相关。但比较子实体鲜重发现, 野生菌株中菌株 III 的第一茬耳片鲜重高于栽培菌株 V 和 VI。可见, 野生菌株 III 不仅原基形成时间短, 耳片产量也较高, 值得进一步开发。综合评价发现, 4 株野生毛木耳在菌丝生长速度、原基形成时间以及子实体形态等农艺性状上存在不同程度的差异, 说明本研究获得了多样性丰富的毛木耳菌株。近年来, 我国研究人员利用丰富的野生资源, 对包括毛木耳在内的木耳进行了新品种选育, 在一定程度上推进了木耳产业的发展(叶雷等 2020; 杨亚永等 2021; 姚春馨等 2021)。本研究获得的毛木耳新菌株, 也将为今后毛木耳的新品种选育提供新资源和数据参考。

致谢

感谢东北师范大学谢孟乐为本试验提供毛木耳标本以及在菌株鉴定中给予的指导, 感谢陕西省柞水县政府在毛木耳栽培中提供栽培条件和帮助。

[REFERENCES]

Branco S, Gladieux P, Ellison CE, Kuo A, LaButti K, Lipzen A, Grigoriev IV, Liao HL, Vilgalys R, Peay KG, Taylor

- JW, Bruns TD, 2015. Genetic isolation between two recently diverged populations of a symbiotic fungus. *Molecular Ecology*, 24(11): 2747-2758
- Chen Y, Yao FJ, Liu GJ, Wang HY, Liu LJ, Lu W, 2009. Study on agronomic characters diversity of *Auricularia auricula* culture germplasm resources. Abstracts of the Annual Meeting 2009 Mycological Society of China, 130-131 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2018. Notes on the nomenclature of five important edible fungi in China. *Mycosystema*, 37(12): 1572-1577 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bao T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29: 1-21 (in Chinese)
- Hu JJ, Ma A, Meng LS, Xu S, Cheng GH, Zhang B, Li Y, 2019. Biological characteristics and domestication cultivation of *Spongipellis spumeus*. *Genomics and Applied Biology*, 38(7): 3082-3089 (in Chinese)
- Jia DH, Zheng LY, Wang B, Peng WH, Gan BC, Huang ZQ, 2010. Analysis of 22 *Auricularia polytricha* strains with ISSR markers. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23(5): 1595-1598 (in Chinese)
- Li H, Li XM, Yao QZ, Li Q, 2020. Biolog-ECO analysis of rhizosphere soil microbial community characteristic of five different plants in two different grasslands. *Microbiology China*, 47(9): 2947-2958 (in Chinese)
- Li J, 2011. Mon-mon mating and genetic analysis of *Auricularia polytricha*. Master Thesis, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou. 1-94 (in Chinese)
- Li L, 2017. Studies on optimized incubation and production process of rope spawn for white strain of *Auricularia cornea*. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-53 (in Chinese)
- Li Q, Huang ZQ, Li W, Li Y, He XL, 2016. Identification and biological characters of two wild *Pleurotus* strains. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 29(5): 1209-1213 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC, 2015. Atlas of Chinese macrofungal resources. Zhongyuan Farmers Publishing House, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Liang Y, Dai D, Rao G, Li D, Yu H, Zhang B, Li Y, 2021. Biological characteristics, domestic cultivation and antioxidant activities of *Fomitopsis ostreiformis*. *Mycosystema*, 40(8): 2074-2086 (in Chinese)
- Lin HQ, 1996. *Auricularia cornea* 978 and its cultivation. *Edible Fungi*, 2: 15-16 (in Chinese)
- Liu JJ, 2019. Biological research and domestication cultivation of African *Auricularia* fungus germplasm resources. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-83 (in Chinese)

- Lu DS, Yang H, 2001. Study on biology and domestication of *Auricularia polytricha* in Zhengyang area. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 14(2): 189-191 (in Chinese)
- Meng XX, 2017. Evaluation of *Auricularia heimuer* germplasm resources and establishment of the query system. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-72 (in Chinese)
- Ren ZM, Fang HY, Meng XX, Zhang KT, Dai JJ, Li SJ, Li ZW, Li X, 2018. Breeding of a new white *Auricularia cornea* Ehrenb “white wood ear”. Molecular Plant Breeding, 16(3): 954-959 (in Chinese)
- Song B, Fu YP, Guo YX, Li CT, Zhang ZW, Li Y, 2017. Identification and biological characteristics of a wild *Pleurotus* sp. Northern Horticulture, 24: 182-188 (in Chinese)
- Song B, Ye JQ, Sossah FL, Li CT, Li D, Meng LS, Xu S, Fu YP, Li Y, 2018. Assessing the effects of different agro-residue as substrates on growth cycle and yield of *Grifola frondosa* and statistical optimization of substrate components using simplex-lattice design. AMB Express, 8(1): 46
- Sun L, Fu YH, Yang Y, Wang XX, Cui WJ, Li D, Yuan XH, Zhang ZW, Fu YP, Li Y, 2020. Genomic analyses reveal evidence of independent evolution, demographic history, and extreme environment adaptation of Tibetan Plateau *Agaricus bisporus*. Frontiers in Microbiology, 10: 1786
- Tan W, Miao RY, Zhou J, Li XL, Yan SJ, Huang ZQ, Zhang B, 2018. Advances in cultivation techniques of *Auricularia cornea*. Acta Edulis Fungi, 25(1): 1-12 (in Chinese)
- Wang Q, Yin HF, Cai XC, Bai YK, Li MY, 2007. Studies on the nutrition demands of *Auricularia polytricha*. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 27(5): 79-82 (in Chinese)
- Wang Y, Zong N, He NP, Zhang JJ, Tian J, Li LT, 2018. Soil microbial functional diversity patterns and drivers along an elevation gradient on Qinghai-Tibet, China. Acta Ecologica Sinica, 38(16): 5837-5845 (in Chinese)
- Wu F, Tohtirjap A, Fan LF, Zhou LW, Alvarenga RLM, Gibertoni TB, Dai YC, 2021. Global diversity and updated phylogeny of *Auricularia* (Auriculariales, Basidiomycota). Journal of Fungi, 7(11): 933
- Wu F, Yuan Y, Malysheva VF, Du P, Dai YC, 2014. Species clarification of the most important and cultivated *Auricularia* mushroom “Heimuer”: evidence from morphological and molecular data. Phytotaxa, 186: 241-253
- 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
- Wu HR, 2012. Rejuvenation of *Auricularia polytricha*. Master Thesis, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou. 1-90 (in Chinese)
- Xie F, 2016. Organic component analysis study for the potassium chloride of potassium nitrate production raw material. Master Thesis, Xiangtan University, Xiangtan. 1-46 (in Chinese)
- Xie ML, Yang Y, Liu Y, Zhang JW, Li D, Zhang B, Ji RQ, Li Y, 2018. Biological characteristics and domestication cultivation of *Ischnoderma resinosum*. Acta Edulis Fungi, 25(4): 51-55, 141 (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, Wang H, Yao Y, Sun YM, Tian GT, 2021. A new *Auricularia heimuer* cultivar ‘Gaoyuanyuner 2’. Mycosystema, 40(6): 1586-1588 (in Chinese)
- Yao FJ, Huang CY, Kong XH, Wang P, Lu LX, Fang M, Zhang YM, 2019. Application of SSR markers in evaluating the genetic diversity of *Auricularia cornea* germplasm resources. Mycosystema, 38(12): 2122-2132 (in Chinese)
- Yao FJ, Sun WJ, Lu LX, Wang P, Lu J, Zhang YM, 2020. Breeding of superior hybrid strains of *Auricularia cornea*. Edible Fungi of China, 39(11): 18-21 (in Chinese)
- Yao QH, Chen GP, Yan SA, Lin XX, Lin Q, 2018. Nutritional analysis and evaluation of two varieties of *Auricularia polytricha*. Acta Nutrimenta Sinica, 40(2): 197-199 (in Chinese)
- Ye L, Zhou J, Tan W, Zhang WP, Zhang B, Zhang XP, Li XL, 2020. A new *Auricularia cornea* cultivar ‘Haoyang Huangbei 1’. Mycosystema, 39(12): 2383-2385 (in Chinese)
- Zhang D, Zheng YL, 2004. An introduction of the current studies on basidiomycete fungus *Auricularia polytricha*. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 17(5): 129-134 (in Chinese)

[附中文参考文献]

- 陈影, 姚方杰, 刘桂娟, 王海英, 刘黎军, 陆伟, 2009. 黑木耳栽培种质资源的农艺性状多样性研究. 中国菌物学会 2009 学术年会论文摘要集, 130-131
- 戴玉成, 杨祝良, 2018. 中国五种重要食用菌学名新注. 菌物学报, 37(12): 1572-1577
- 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: 1-21
- 胡佳君, 马敖, 孟灵思, 徐帅, 程国辉, 张波, 李玉, 2019. 松软毡被孔菌生物学特性及驯化栽培. 基因组学与应用生物学, 38(7): 3082-3089

- 贾定洪, 郑林用, 王波, 彭卫红, 甘炳成, 黄忠乾, 2010. 22 个毛木耳菌株的 ISSR 分析. 西南农业学报, 23(5): 1595-1598
- 李慧, 李雪梦, 姚庆智, 李强, 2020. 基于 Biolog-ECO 方法的两种不同草原中 5 种不同植物根际土壤微生物群落特征. 微生物学通报, 47(9): 2947-2958
- 李婧, 2011. 毛木耳单孢杂交及遗传分析. 福建农林大学硕士论文, 福州. 1-94
- 李黎, 2017. 玉木耳绳索菌种培养条件与生产工艺优化研究. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-53
- 黎倩, 黄忠乾, 李伟, 李玉, 何晓兰, 2016. 两株野生侧耳属菌株鉴定及生物学特性研究. 西南农业学报, 29(5): 1209-1213
- 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 图力古尔, 戴玉成, 2015. 中国大型菌物资源图鉴. 郑州: 中原农民出版社. 1-1351
- 梁逸, 戴丹, 饶固, 李丹, 于寒, 张波, 李玉, 2021. 牡蛎形拟层孔菌生物学特性、驯化栽培及抗氧化活性. 菌物学报, 40(8): 2074-2086
- 林海清, 1996. 白背毛木耳 978 及其栽培要点. 食用菌, 2: 15-16
- 刘俊娇, 2019. 非洲木耳种质资源生物学研究及驯化栽培. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-83
- 卢东升, 杨华, 2001. 正阳毛木耳生物学及驯化研究. 信阳师范学院学报(自然科学版), 14(2): 189-191
- 孟秀秀, 2017. 黑木耳种质资源评价及查询系统的建立. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-72
- 任梓铭, 方宏阳, 孟秀秀, 张阔谭, 代俊杰, 李寿建, 黎智文, 李晓, 2018. 白色毛木耳新品种“玉木耳”的选育. 分子植物育种, 16(3): 954-959
- 宋冰, 付永平, 郭昱秀, 李长田, 张志武, 李玉, 2017. 一株野生侧耳属菌株的鉴定及生物学特性. 北方园艺, 24: 182-188
- 谭伟, 苗人云, 周洁, 李小林, 闫世杰, 黄忠乾, 张波, 2018. 毛木耳栽培技术研究进展. 食用菌学报, 25(1): 1-12
- 王谦, 尹红芳, 蔡喜存, 白彦坤, 李满意, 2007. 毛木耳菌丝体的营养生长条件. 河北大学学报(自然科学版), 27(5): 79-82
- 王颖, 宗宁, 何念鹏, 张晋京, 田静, 李良涛, 2018. 青藏高原高寒草甸不同海拔梯度下土壤微生物群落碳代谢多样性. 生态学报, 38(16): 5837-5845
- 伍虹蓉, 2012. 毛木耳菌种复壮技术研究. 福建农林大学硕士论文, 福州. 1-90
- 谢帆, 2016. 硝酸钾生产原料氯化钾中有机成分分析研究. 湘潭大学硕士论文, 湘潭. 1-46
- 谢孟乐, 杨阳, 刘源, 张进武, 李丹, 张波, 冀瑞卿, 李玉, 2018. 松脂皱皮孔菌生物学特性及驯化栽培研究. 食用菌学报, 25(4): 51-55, 141
- 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, 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
- 姚方杰, 黄程远, 孔祥会, 王鹏, 鲁丽鑫, 方明, 张友民, 2019. SSR 标记在毛木耳种质资源遗传多样性研究中的应用. 菌物学报, 38(12): 2122-2132
- 姚方杰, 孙文娟, 鲁丽鑫, 王鹏, 陆甲, 张友民, 2020. 毛木耳优良杂交菌株的选育. 中国食用菌, 39(11): 18-21
- 姚清华, 陈国平, 颜孙安, 林香信, 林虬, 2018. 两种木耳营养分析与评价. 营养学报, 40(2): 197-199
- 叶雷, 周洁, 谭伟, 张文平, 张波, 张笑萍, 李小林, 2020. 毛木耳‘昊阳黄背 1 号’的选育报告. 菌物学报, 39(12): 2383-2385
- 张丹, 郑有良, 2004. 毛木耳(*Auricularia polytricha*)的研究进展. 西南农业学报, 17(5): 129-134