

中国蘑菇类食药菌近十年驯化栽培研究进展

李婉莹¹, 高磊², 吴芳^{1*}, 豆志鹏^{3*}

1 北京林业大学 生态与自然保护学院微生物研究所, 北京 100083

2 西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所, 西藏 拉萨 850000

3 中国林业科学研究院, 北京 100091

摘要: 近年来, 随着生物技术和现代工业技术的进步, 我国食药菌产业快速发展, 人们对食药菌的利用越来越广泛, 食药菌的品种结构明显提高。本文综述了近 10 年我国蘑菇类食药菌驯化栽培最新的研究进展, 对我国近 10 年新成功驯化栽培的 33 种蘑菇类食药菌物种名录进行了整理; 同时总结了这些新的食药菌品种生长的最适温度、最适 pH、最佳碳源、氮源以及最佳栽培料等生物学特性和驯化栽培条件, 为我国食药菌产业的快速发展提供了重要的基础资源和技术支撑。

关键词: 食药菌; 生物学特性; 栽培条件

[引用本文]

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

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

Research progress of edible and medicinal mushroom domesticated and cultivated in China during the last 10 years

LI Wanying¹, GAO Lei², WU Fang^{1*}, DOU Zhipeng^{3*}

1 Institute of Microbiology, School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

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

3 Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China

Abstract: In recent years, with advances in biotechnology and modern industrial technology, the industry of edible and medicinal fungi has been developed rapidly in China. Edible and medicinal

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

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

*Corresponding authors. E-mail: WU Fang, fangwubjfu2014@bjfu.edu.cn; DOU Zhipeng, douzhipeng@caf.ac.cn

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

Received: 2023-05-15; Accepted: 2023-06-12

fungi have been utilized more and more extensively and their varietal structure has been greatly improved. This review summarizes the latest research progress of edible and medicinal mushrooms domesticated and cultivated in China during the last ten years. A checklist of 33 edible and medicinal mushrooms that have been successfully domesticated and cultivated in China in recent ten years was sorted out, and the biological characteristics and cultivation conditions of these mushrooms, including the optimal growth temperature, pH, carbon source, nitrogen source, and substrate, etc., are summarily introduced.

Keywords: edible and medicinal fungi; biological characteristics; cultivation conditions

狭义的蘑菇是指隶属于真菌界 Fungi, 担子菌门 Basidiomycota, 蘑菇纲 Agaricomycetes, 蘑菇目 Agaricales, 蘑菇科 Agaricaceae, 蘑菇属 *Agaricus* L. 的部分物种。根据《GB/T12728—2006 食用菌术语》规定, 蘑菇(mushroom)是指大型真菌, 其主要是以担子菌门 Basidiomycota 为主, 此外也包括少量的子囊菌门 Ascomycota (张金霞等 2006)。其主要生长在活立木或倒木及树桩上, 大多数蘑菇是腐生菌, 人工驯化栽培的潜力较大, 也有不少生长在林地上的伞菌类的菌根菌, 由于其独特的营养方式, 使其人工驯化的难度较高(吴春玲等 2008; 戴玉成 2012)。

蘑菇根据用途可划分为食用菌、药用菌、有毒菌和用途未知菌 4 大类, 目前全球约有 2 300 多种食药菌(Boa 2004), 我国已有描述的食用菌已经超过 1 000 种(戴玉成等 2010, 2021; Zhou et al. 2021, 2023), 其中包括 500 多种驯化栽培难度较大的菌根食用菌(魏杰等 2021)。当前我国已成功大规模人工栽培的食用菌有 70–80 种, 并有 50 余种已投入商业化规模栽培, 主要包括香菇 *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler、双孢蘑菇 *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach、糙皮侧耳 *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.、金针菇 *Flammulina filiformis* (Z.W. Ge, X.B. Liu & Zhu L. Yang) P.M. Wang et al. (戴玉成和杨祝良 2018)、黑木耳 *Auricularia heimuer* F. Wu et al.、毛木耳 *Auricularia cornea* Ehrenb. (吴芳和戴玉成 2015)、银耳 *Tremella fuciformis* Berk. 和羊肚菌 *Morchella esculenta* (L.) Pers. 等

(董娇等 2019)。

蘑菇的代谢产物中含有多糖, 其中包括几丁质、 β -葡聚糖及甘露聚糖等几种不可被人体消化的糖类, 这些成分具有促消化、降血糖及调节血脂的功能, 并且它们在总糖含量中占据较大比例, 因此许多蘑菇具有极高的药用价值(戴玉成和杨祝良 2008; Wang et al. 2014; Wu et al. 2019); 此外, 相较于牛肉、鸡蛋等高蛋白食物, 蘑菇具有更低的脂肪含量, 并且其氨基酸比例符合优质蛋白质标准, 因此蘑菇具有极大的营养价值(李泰等 2021; 罗晓莉等 2021)。由于蘑菇极高的营养价值及药用价值, 因此当今食药菌产业蓬勃发展, 但野生蘑菇采集具有一定的局限性, 且自然资源有限, 因而野生大型真菌驯化栽培仍是食药菌产业的重要来源。为了开发更多的蘑菇资源, 我国许多研究者不断进行探索、创新, 致力于挖掘更多具有高食药价值的、可驯化栽培投入商业化生产的蘑菇。戴玉成(2023)总结了近年来我国多孔菌驯化栽培研究的最新进展, 本文对近十年来我国新成功驯化栽培的 33 种除多孔菌以外的野生蘑菇类食药菌物种名录进行了整理, 同时总结了这些物种生长的最适温度、最适 pH、最佳碳源、氮源以及最佳栽培料等生物学特性和驯化栽培条件。

1 丁香蘑菇 *Agaricus padanus* Lancon.

胡日瓦和图力古尔(2019)对丁香蘑菇进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝培养的最适碳源为麦芽糖, 最适氮源为酵母粉, 最适无机盐为

硫酸镁, 最适生长因子为蘑菇汁, 最适温度为 25 °C, 最适 pH 为 6.0; 栽培料以草炭土为主料按 3:1 配比分别与羊粪、牛粪、发酵料、草木灰等混合, 含水量为 60%–65%、发菌温度为 20–25 °C、pH 为 6.5–7.5, 暗培养 33–50 d 出现原基, 菇蕾出现后温度保持 17.5–22.0 °C, 湿度 90%–95%, 用散射光刺激, 袋栽可成功出菇, 覆土栽培出菇率较低。

2 中国美味蘑菇 *Agaricus sinodeliciosus* Zhuo R. Wang & R.L. Zhao

李传华等(2018)对中国美味蘑菇进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝生长的最适碳源为葡萄糖, 最适氮源为大豆蛋白胨, 最适温度为 25 °C, 最适 pH 为 6.0–7.0; 其最佳栽培料配方为芦苇 62.5%、干家畜粪 31.25%、尿素 1.25%、过磷酸钙 1.25%、碳酸氢铵 1.25%、石灰粉 2.5%, 含水量 60%左右、23–25 °C 条件下暗培养约 38 d 满袋, 之后进行出菇处理, 调整温度至 20–23 °C、湿度 85%–90%, 弱光培养 10–15 d 后产生原基, 暗光培养 5–8 d 后子实体成熟可采收, 生物学效率 38.5%; 此外, 中国美味蘑菇是目前蘑菇属发现的唯一无需覆土即可出菇的物种。

3 絮缘蘑菇 *Agaricus subfloccosus* (J.E. Lange) Hlaváček

梁倩倩等(2020)对絮缘蘑菇进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝生长的最适碳源为蔗糖, 最适氮源为硝酸钾, 最适无机盐为硫酸镁, 最适维生素为 VB₁₂, 最适温度为 16 °C, 最适 pH 为 6.0; 培养料为木屑 79%、高粱籽 5%、玉米粉 5%、石膏 1%、麸皮 10%, 16 °C 暗培养至满袋之后覆土, 出菇温度 14 °C、湿度 85%, 95–110 d 可发育为成熟子实体, 并可持续采收 3–5 潮菇。

4 奥氏蜜环菌 *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink

陈鹏等(2023)对奥氏蜜环菌进行了驯化栽

培研究, 发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖, 最适氮源为蛋白胨, 最适生长因子为 VB₁, 最适生长温度为 25 °C, 最适 pH 为 6.0; 栽培料为木屑 75.5%、麦麸 20%、玉米粉 2%、豆粕 2%、石灰 0.5%、石膏 1%, 含水量 60%左右、温度 22 °C 暗培养, 50–60 d 满袋, 出菇阶段温度 18 °C、湿度 60% 条件下 10 d 左右形成原基, 提高湿度 2–3 d 后形成子实体; 栽培中应尽量选择碳氮比较高的基质配方, 此外栽培料中木屑的粗细配比对子实体的产量和质量也有较大影响。

5 皱木耳 *Auricularia delicata* (Mont. ex Fr.) Henn.

钱可晴等(2020)对皱木耳进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖, 最适氮源为酵母浸粉, 最适温度为 28 °C, 最适 pH 为 6.0; 栽培料为片状阔叶树木屑 40%、粉状阔叶树木屑 37.5%、麸皮 11%、玉米芯 10%、石膏 1%、石灰 0.5%, 含水量 58%–60%、pH 为 7、28 °C 条件下暗培养 20 d 后满袋, 之后保持温度 22–28 °C、湿度 85%–90%, 8 d 后形成原基; 原基分化阶段, 保证通风良好、温度 20–26 °C、湿度 90%左右, 干湿交替, 15 d 后子实体成熟, 每包干重 55–60 g; 出耳阶段菌包划“V”字型小口出耳的商品形状好于“一”字型。

6 脆木耳 *Auricularia fibrillifera* Kobayasi

张晓宇等(2019)对脆木耳进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝培养最适碳源为麦芽糖, 最适氮源为牛肉粉, 最适无机盐添加量为 1.5% PO₄³⁻、1% Mg²⁺, 最适生长因子为玉米汁, 最适温度为 33 °C; 最佳栽培料为木屑 78%、麸皮 20%、石膏粉 1%、石灰粉 1%, 含水量 65% 可发育为成熟子实体, 发菌温度为 22 °C, 40 d 左右满袋, 出菇阶段先提高湿度直至形成原基后将湿度控制在 70%左右。

7 泰国木耳 *Auricularia thailandica* Bandara & K.D. Hyde

Bandara *et al.* (2015, 2017)对泰国木耳进行了驯化栽培研究,发现其最佳栽培料为橡树木屑 79%、米糠 20%、硫酸钙 1%,含水量 65%左右、28 °C暗培养 56.4 d 左右满袋,出菇阶段温度为 28 °C,湿度为 85%–95%,原基形成后约 14.2 d 子实体成熟,生物效率为 17.1%±2.8%。

8 短毛木耳 *Auricularia villosula* Malysheva

Zhang *et al.* (2018)对短毛木耳进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为蔗糖,最适氮源为豆粉,最适无机盐为 0.5% PO_4^{3-} ,最适生长因子为马铃薯汁,最适温度为 30 °C, pH 为 8.0;最佳栽培料为木屑 78%、麸皮 20%、石灰 1%、石膏 1%,含水率 65%左右可发育为成熟子实体,发菌温度为 20–25 °C,通风避光培养 15 d 后满袋,出菇阶段温度保持 22–30 °C,湿度 80%–90%。

9 铅青褶伞 *Chlorophyllum molybdites* (G. Mey.) Massee

林群英等(2012)对铅青褶伞进行了驯化栽培研究,发现其最佳栽培料配方为稻草 88.3%、花生麸 4.6%、尿素 0.7%、硫酸铵 1.1%、石膏 0.9%、石灰 1.8%、磷酸二氢钾 1.8%、多菌灵 0.9%,堆置发酵 20 d,分层撒混播并覆膜在 25 °C条件下避光培养 25 d,菌丝长满 2/3 时覆土,15 d 后移至室外,控制温度 25–30 °C、空气相对湿度 80%–95%直至出菇,整个生长周期约 70–80 d;铅绿褶菇是南方常见毒蘑菇,但其子实体中的活性物质具有极高的药用价值。

10 芳香杯伞 *Clitocybe fragrans* (With.) P. Kumm.

顾丹丹等(2022)对芳香杯伞进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为蔗糖,最适氮源为酵母浸粉,最适碳氮比为 40:1,最适无机盐为硫酸镁,最适温度为 19–25 °C,最适 pH 为 5.0–5.5,最适光照条件为黑暗;栽培料为

二次发酵过的粪草培养料 98%、石膏 1%、葡萄糖 1%,含水量 55%条件下,43–50 d 形成原基,7–8 d 后分化成子实体;栽培芳香杯伞时应在较低的温度下进行发菌。

11 柳生田头菇 *Cyclocybe salicaceicola* (Zhu L. Yang *et al.*) Vizzini

刘绍雄等(2019)对柳生田头菇进行了驯化栽培研究,发现栽培料为杂木屑 77%、麦麸 20%、石灰 1%、石膏 1%、普钙 1%,含水量 60%–65%、25 °C避光培养 30 d 后满瓶,之后调整湿度为 85%–90%、温度约 20 °C散光照射 5 d 左右产生菇蕾,之后将温度提高至 23–25 °C保持通风进行出菇管理,每瓶平均产量为 102.97 g,生物学效率为 51.49%;瓶栽并进行搔菌处理出菇整齐,而袋栽会导致畸形菇。

12 芬娜金针菇 *Flammulina fennae* Bas

张智等(2017)对芬娜金针菇进行了驯化栽培研究,发现栽培料为棉籽壳 50%、木屑 38%、麸皮 10%、碳酸钙 2%,温度 25 °C左右、湿度 60%–70%暗培养 28 d 满袋,出菇阶段提高空气湿度,约 25 d 完成采收,生物效率为 72.8%;其栽培性状稳定,适合扩大栽培。

13 柳生金针菇 *Flammulina rossica* Redhead & R.H. Petersen

何俊等(2022)对柳生金针菇进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为麦芽浸粉,最适氮源为豆饼粉,最适无机盐为碳酸钙,最适生长温度为 24 °C,最适 pH 为 6.0;最佳栽培料为阔叶树木屑 79%、麦麸 18%、石膏 1%、白糖 2%,含水量 50%–55%、24 °C恒温条件下菌丝 17 d 满袋,出菇阶段湿度 80%–90%条件下 16 d 产生原基,之后增加通风和空气湿度刺激子实体形成,12 d 后子实体成熟,单朵干重 0.03–0.51 g,可持续采收 1–2 潮;人工栽培子实体相较于野生子实体出菇整齐、食用口感好,适合商业化栽培生产。

14 多洼马鞍菌 *Helvella lacunosa* Afzel.

徐莉娜(2019)对多洼马鞍菌进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖,最适氮源为酵母浸膏,最适无机盐为硫酸镁,最适生长温度为 25 °C,最适 pH 为 6.5;其最佳栽培料为松木屑 40%、棉籽壳 50%、麸皮 8%、葡萄糖 1%、石膏 1%,含水量 65%、pH 6.0–7.0,约 65 d 满袋、34 d 产生原基,平均生长速度为(4.32±1.54) mm/d,子实体产量和生物学效率分别为 23.24 g/袋和 4.56%;该菌株虽可实现人工栽培,但栽培子实体与野生子实体性状具有显著差异且生物转化率较低,因此人工栽培工艺有待进一步改良。

15 芦苇拟蜡伞 *Hygrophoropsis phragmiticola* L.T. Ban & Meng Zhou

该种是近期发表的一个新种(杨红澎等 2022)。左鑫等(2022)对芦苇拟蜡伞进行了驯化栽培研究,发现最佳栽培料为稻草 52%、麦麸 20%、芦苇腐殖质 24%、蛭石 4%,含水量 56%左右,最佳装袋量为 200 g,于 29 °C 温箱恒温培养,最佳的出菇方式是浅盘出菇,出菇阶段温度 25 °C、湿度 85%–90%条件下培养 10 d 后开始出菇,出菇转化率为 20%左右,该菌株不适宜覆土,易造成菌袋污染影响原基产生;人工栽培子实体农艺性状优良,具有高商品价值,因此适宜进行驯化栽培。

16 暗褐离褶伞 *Lyophyllum loricatum* (Fr.) Kühner

郑秋霞等(2015)对暗褐离褶伞进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为麦芽糖,最适氮源为蛋白胨,最适生长因子为 0.05%的肌醇,最适生长温度为 25 °C,最适 pH 为 5.5;栽培料为杂木屑 78%、麸皮 20%、石膏 1%、过磷酸钙 1%,含水量 60%–65%、25 °C 条件下暗培养,满袋后调整温度 20–22 °C、湿度 90%并适当光照可成功获得成熟子实体。

17 白大环柄菇 *Macrolepiota albuminosa* (Berk.) Pegler

谭永忠等(2015)对白大环柄菇进行了驯化栽培研究,发现其最佳栽培料配方为棉籽壳 39%、稻草 40%、麸皮 17%、玉米粉 2%、石膏 2%,含水量为 65%、pH 为 7.3 可成功出菇,25 °C 条件下暗培养,40 d 满袋后进行出菇处理,调整温度至 15–26 °C、湿度 90%–95%,脱袋覆土,平均每袋产量为 121.8 g,生物学效率 43.5%。

18 小羊肚菌 *Morchella deliciosa* Fr.

孟俊龙等(2012)对小羊肚菌进行了驯化栽培研究,发现其最佳母种培养基配方为马铃薯 200 g/L、葡萄糖 20 g/L、琼脂 20 g/L、KH₂PO₄ 3 g/L、MgSO₄ 0.5 g/L、杨树根际土 25 g/L、蛋白胨 2 g/L,最佳原种培养基为大米 98%、杨树根际土 2%,含水量 55%可出菇,23–25 °C 条件下暗培养,出菇期相对湿度 85%并进行 48 h 强光刺激,能形成多而大的菌核,并形成少量菇蕾;虽然出菇率和子实体生长较差,但省去了覆土过程,为人工栽培提供了途径。

19 欧氏羊肚菌 *Morchella oweri* X.H. Du

贺国强等(2020)对欧氏羊肚菌进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为乳糖,最适氮源为蛋白胨和黄豆粉,最适生长温度为 25 °C,最适 pH 为 8.0;栽培料为木屑 65%、小麦 30%、腐殖土 3%、石膏 1%、白灰 1%,含水量 60%,温度 20 °C、空气湿度 60%条件下暗培养 20 d 后满袋,播种 55–70 d 产生原基,调整土壤含水量至 20%、温度 10–12 °C,5–8 d 原基分化,15–20 d 子实体成熟采收第一潮菇,鲜菇平均产量 1.235 kg/m²;该种栽培子实体肉质脆嫩且产量高于羊肚菌属其他种,因此具有较高的商业化价值。

20 木生硬柄菇 *Ossicaulis lignatilis* (Pers.) Redhead & Ginns

高洋等(2018)对木生硬柄菇进行了驯化栽培

培研究,发现其菌丝培养最适碳源为蔗糖或糊精,最适氮源为蛋白胨或酵母浸粉,最适生长温度为 25 °C,最适 pH 为 7.0–8.0;最佳栽培料为杨树木屑 78%、玉米粉 20%、石灰 1%、石膏 1%,含水量为 60%–62%、温度 24–26 °C 条件下 25 d 满袋,继续培养 10 d 后覆土栽培出菇,温度 20–22 °C、空气相对湿度 95% 条件下 13 d 后长出菇蕾,20 d 后形成子实体,绝对生物学转化率为 2.02%;此外该菌为木腐菌,在木腐培养料中无法形成菇蕾,但在覆土培养的条件下出菇,所以对该菌的培养料和出菇条件还需进一步研究。

21 热带小奥德蘑 *Oudemansiella canarii* (Jungh.) Höhn.

王守现等(2013)对热带小奥德蘑进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适生长温度为 28 °C,最适 pH 为 8.5;栽培料为棉籽壳 50%、木屑 30%、麸皮 18%、石灰 2%,含水量 65%–70%、温度 23–25 °C 条件下暗培养 22 d 满袋,之后进行搔菌及低温刺激 5–7 d 后进行出菇管理,出菇阶段温度 20–25 °C、湿度 80%–90%,5–7 d 产生原基,3–5 d 后子实体成熟可采收,可持续采收 4–5 潮,潮次间隔 7 d 左右,生物学效率为 122.7%±5.1%;该菌种人工驯化栽培的成功丰富了奥德蘑品种资源,同时由于该菌无需覆土即可出菇,所以更适合作为规范化生产用菌。

22 厚褶小奥德蘑 *Oudemansiella crassifolia* Corner

史钊等(2019)对厚褶小奥德蘑进行了驯化栽培研究,发现最佳栽培料为杂木屑 58%、棉籽壳 30%、麸皮 10%、碳酸钙 2%,在含水量 65%、温度 24–26 °C 条件下暗培养 20 d 后满袋,继续培养 15–16 d 进行出菇处理,调整至室温 25–28 °C、湿度 85%–90%,整个栽培周期约 39.4–43.8 d,出菇 3–4 潮,平均产量每棒 (267.08±20.41) g,生物学转化率为 79.15%;相

较于野生子实体,栽培子实体具有更优良的农艺性状,因此适宜进行驯化栽培。

23 拟黏小奥德蘑 *Oudemansiella submucida* Corner

李传华等(2012)对拟黏小奥德蘑进行了驯化栽培研究,发现其菌丝最适生长温度为 23 °C,生长湿度范围为 75%–95%;栽培料为木屑 35%、棉籽壳 35%、麸皮 23%、玉米粉 5%、石膏 1%、红糖 1%,含水量 65%,20 °C 避光条件下发菌,25–37 d 后满袋,之后进行出菇管理,调整湿度至 80%–99%,20 °C 恒温培养 15 d 后将温度降低至 10 °C,低温培养 1–2 d 后继续进行 20 °C 恒温培养,约 3–9 d 后产生原基,之后提高湿度至 95%–99%,3–4 d 后子实体成熟,采收两潮菇,平均产量 0.124 kg/棒,头潮菇生物学效率达 96.1%,二潮菇生物学效率 49%。

24 冬荪鬼笔 *Phallus dongsun* T.H. Li et al.

李政(2022)对冬荪鬼笔进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖和果糖,最适氮源为蛋白胨、酵母浸粉和牛肉膏,最适碳氮比为 10:1–20:1,最适温度为 25–28 °C,最适 pH 为 5.0;其最佳栽培料碳氮比为 60:1–70:1,最佳栽培料配方为木屑 68%、麦麸 30%、石膏粉 1%、蔗糖 1%,料水比 1:1.2,25 °C 暗培养 65 d 满袋,覆含水量 50% 的草炭土 40 d 后形成菇蕾,80–90 d 后子实体成熟,生物学效率 17%。

25 超短裙鬼笔 *Phallus ultraduplicatus* X.D. Yu et al.

李政等(2021)对超短裙鬼笔进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖,最适氮源为蛋白胨,最适碳氮比为 20:1–40:1,最适温度为 25–28 °C,最适 pH 为 5.0–7.0;其最佳栽培料碳氮比为 60:1,最佳栽培料配方为木屑 80%、麦麸 18%、石膏粉 1%、蔗糖 1%,料水比 1:1.2,发菌温度为 25 °C,避光培养 75 d 后满袋,覆土栽培 25 d 后形成菇蕾,30–45 d 后

子实体成熟,生物学效率为34%。

26 柠檬鳞伞 *Pholiota limonella* (Peck) Sacc.

蔡婧等(2021)对柠檬鳞伞进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为麦芽糖和蔗糖,最适氮源为硝酸钾,最适生长温度为25℃,最适pH为7.0;最佳栽培料为阔叶树木屑80%、麸皮19%、石膏1%,含水量60%、室温24–26℃条件下暗培养约60d满袋,出菇阶段置于温度10–22℃、相对湿度>90%的环境,25–30d产生原基,35–40d后子实体成熟,每袋产量为(72.04±13.38)g,平均生物学效率为24.01%;鳞伞属部分物种具有毒性无法食用,目前该种尚未被记载有毒,其食用性有待进一步考证。

27 拟翘鳞伞 *Pholiota squarrosoides* (Peck) Sacc.

王守现等(2014)对拟翘鳞伞进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为葡萄糖,最适氮源为酵母浸粉,最适碳氮比为20:1,最适生长因子为维生素B₁,最适生长温度为28℃,最适pH为7.0;培养料为棉籽壳60%、木屑18%、麦麸15%、玉米粉5%、石膏1%、石灰1%,含水量60%–65%、温度23–25℃、空气湿度50%–60%条件下暗培养25d左右满袋,之后搔菌并低温处理3–5d,出菇阶段温度调整至20–25℃、湿度80%–90%,20–22d可产生原基,原基分化6–8d后即可采收第一潮菇,两潮菇生产周期约75–87d,生物学效率51.29%;该菌栽培子实体生物转化率高、营养价值高,但原基产生时间较长,可考虑与形态特征较近的同属近缘种黄伞进行杂交。

28 黄毛黄侧耳 *Phyllotopsis nidulans* (Pers.) Singer

金宇昌和李玉(2012)对黄毛黄侧耳进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为果糖,最适氮源为蛋白胨,最适碳氮比为30:1,最适生长温度为25℃,最适pH为6.0;最佳栽培

料为硬杂木屑39%、玉米芯39%、麦麸20%、石灰1%、石膏1%,含水量60%、25℃暗培养(48±4.5)d满袋,出菇阶段温度22–24℃、湿度85%–95%,生物转化率37.8%。

29 冷杉侧耳 *Pleurotus abieticola* R.H. Petersen & K.W. Hughes

罗智檜等(2020)对冷杉侧耳进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适碳源为玉米粉,最适氮源为豆粉,最适碳氮比为40:1,最适温度为25℃,最适pH为7.0;最佳栽培料为棉籽壳70%、木屑15%、麸皮15%、石膏1%、轻质碳酸钙1%,含水量60%条件下25℃避光培养45–50d后,再保持湿度90%进行变温处理,5–8d形成原基,7–9d后分化成子实体;人工栽培子实体与野生子实体在形态特征上有一定差异且略大于野生子实体,因此适宜进行驯化栽培。

30 中柄侧耳 *Pleurotus centralis* X.D. Yu et al.

陈政明等(2013)对中柄侧耳进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适温度25℃,最适pH为6.0;其最佳栽培料配方为木屑20%、玉米芯60%、麸皮16%、石灰2%、CaCO₃2%,含水量65%、pH中性或弱碱性,30d满袋,出菇期最适温度25–28℃,湿度80%–95%,并加以适当散射光,每袋产量为273.9g,生物转化率68.5%,春秋两季皆可栽培;培养料经过发酵更适宜该菌种栽培,但要防止腐熟过度透气性变差,同时栽培过程中要保持温度在20℃以上,以免影响农艺性状。

31 卵孢侧耳 *Pleurotus placentodes* (Berk.) Sacc.

牛玉蓉等(2017)对卵孢侧耳进行了驯化栽培研究,发现其菌丝培养最适生长温度为24℃,最适pH为7.0–7.5;栽培料为棉籽壳50%、苹果树木屑30%、麸皮18%、石灰2%,含水量65%–70%、温度23–25℃,暗培养30d

左右满袋后继续培养 20–25 d, 搔菌后进行出菇管理, 降低温度至 12–18 °C, 控制空气相对湿度 80%–90%, 从接种到第一潮子实体采收约 64–71 d, 可持续采收 3–5 潮, 生物学效率为 31.4%±3.5%; 袋栽培需要后熟处理, 该物种具有耐低温特性, 适宜进行人工栽培。

32 网顶光柄菇 *Pluteus umbrosus* (Pers.) P. Kumm.

丁野等(2017)对网顶光柄菇进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝培养最适碳源为可溶性淀粉, 最适氮源为酵母浸粉和尿素, 最适生长温度为 25 °C, 最适 pH 为 5.0; 栽培料为阔叶树木屑 78%、麦麸 20%、石灰 1%、石膏 1%, 温度 25 °C 条件下暗培养可以成功形成子实体, 但栽培周期对其出菇品质具有较大影响。

33 团炭角菌 *Xylaria hypoxylon* (L.) Grev.

张清卿等(2020)对团炭角菌进行了驯化栽培研究, 发现其菌丝培养最适碳源为果糖, 最适氮源为酵母浸膏, 最适生长温度为 23 °C, 最适 pH 为 6.0; 栽培料为木屑 78%、麸皮 21%、蔗糖 1%和石膏粉 1%, 栽培料中央打孔处理, 含水量 60%、pH 自然、25 °C暗培养发菌, 15 d 满袋后降低温度并提高湿度, 40–55 d 形成原基, 10 d 后可采收第一潮菇, 生物学效率为 9.18%; 栽培料不做打孔处理产量差异不大但栽培周期稍长。

除上述已成功驯化的蘑菇类食药菌外, 孟庆国等(2021)对杨树口蘑 *Tricholoma populinum* J.E. Lange 也进行了驯化栽培试验, 但经过出菇管理仅能产生与子实体原基相似的菌丝形态, 并不能形成真正子实体; 刘玉芳(2016)对巴尔喀什蘑菇 *Agaricus balchaschensis* Samgina & G.A. Nam 进行的驯化栽培研究也发现同样情况, 采用不同培养方式菌丝均能顺利萌发并形成扭结菌丝, 但无法形成子实体; 此外, 凡启超(2016)对松乳菇 *Lactarius deliciosus* (L.) Gray 的

驯化试验也仅有部分处理菌丝爬出土壤, 但并未凝结成子实体; 修翠娟(2012)对蒙古口蘑 *Tricholoma mongolicum* S. Imai 也进行了人工驯化栽培试验, 结果表明菌丝熟料上生长良好, 但覆土后无法爬土, 进而无法出菇。

尽管我国已经实现对糙皮侧耳 *Pleurotus ostreatus*、双孢蘑菇 *Agaricus bisporus* 和木耳 *Auricularia heimuer* 等进行了广泛的栽培并且产量非常高, 但是研究者们依然对这些物种的野生资源进行驯化栽培研究, 同时开展其属内其他相关物种的新品种选育等工作, 这些研究结果对于改善已有蘑菇栽培品种结构和新品种开发利用提供了重要研究基础和技术支撑(杨杰等 2018; 康曼和韩建荣 2021; 邹明等 2023)。

据统计, 10 年前我国已经成功驯化栽培的蘑菇类食药菌种类中主要的属包括侧耳属 *Pleurotus* (Fr.) P. (17 种)和蘑菇属 *Agaricus* (11 种)等, 木耳属 *Auricularia* Bull. (2 种)和小奥德蘑属 *Oudemansiella* Speg. (1 种)的物种相对较少; 近 10 年新增加的 33 种成功驯化的蘑菇类食药菌物种分别隶属于 20 个属, 其中木耳属 *Auricularia* (4 种)、侧耳属 *Pleurotus* (3 种)、蘑菇属 *Agaricus* (3 种)和小奥德蘑属 *Oudemansiella* (3 种), 其他属相对较少(2 种或 1 种); 平均每年成功驯化栽培 3 种以上, 这些新增加的种类为我国食药菌产业提供了丰富的基础资源。

33 种新成功驯化栽培的蘑菇类食药菌中有 25 种对菌丝生长的最适碳源、氮源、温度和 pH 值进行了研究, 最适碳源主要有葡萄糖(7 种)、蔗糖(5 种)和麦芽糖(麦芽浸粉)(5 种), 最适氮源为酵母浸粉(9 种)、蛋白胨(8 种)和豆粉(4 种)。最适温度为 25 °C 的有 12 种、25–30 °C 有 6 种、16–25 °C 有 6 种、30 °C 以上的有 1 种, 说明多数种类适合 25 °C 条件下生长。上述蘑菇种类真菌最适 pH 值范围较广, 其中大部分种类喜偏酸性(pH 5.0–7.0), 有 15 种, 5 种喜偏碱性(pH 7.0–

8.5)、3 种喜中性(pH 7.0),说明多数蘑菇类食药药用菌嗜酸性。

另外,33 种蘑菇类食药药用菌中有 22 种为木腐菌,其余生长于林地上或草腐,说明近年来主要对木腐类食药药用菌驯化栽培进行了研究;通过对上述不同物种的栽培料配方进行对比分析发现,针对木腐类真菌,其栽培料配方多以木屑为主,辅以麸皮、玉米芯等;而生长于林地上或草腐类真菌也大多是以木屑作为栽培料主要成分,但也可选择稻草、棉籽壳或粪草混合培养料,这些研究结果为我国食药药用菌驯化培养和栽培研究提供重要参考。

过去研究者们对于蘑菇类食药药用菌的研究大多集中在农艺性状及栽培繁育(戴玉成 2003;安琪等 2015;陈绪涛等 2021;姜宁等 2021;姜婉竹等 2021;戚元成等 2021;汪乔等 2021;王瑞娟等 2023)、活性成分及药用价值(涂小曼等 2021;郭东东等 2022;李春怡和王晓岩 2022;颜蜜等 2022)、区系分化及多样性分析(刘新锐等 2021;武英达等 2021, 2022;曹槟等 2022;李挺等 2023;田诗义等 2023)、系统发育(娜琴和图力古尔 2020;高利慧等 2021;刘祈猛等 2021;Yuan *et al.* 2021;Liu *et al.* 2022)等。近 10 年来随着我国研究者对于野生蘑菇的人工驯化栽培研究不断深入,越来越多的蘑菇投入商业生产中,极大地提高了我国食药药用菌的产量,促进了我国食药药用菌产业的快速发展。上述近 10 年 33 种新成功驯化栽培的蘑菇类食药药用菌中,许多种类都具有极高的食药药用价值,比如柳生金针菇 *Flammulina rossica* 胞外粗多糖可明显增加血清中各种细胞因子的表达,通过增强细胞和体液免疫功能起到抗肿瘤作用(朱宴妍等 2015);厚褶小奥德蘑 *Oudemansiella crassifolia* 菌丝体水提液对羟自由基的清除能力是维生素 C 的 1.81 倍,具有较强的抗氧化能力(史钊等 2019);冬荪鬼笔

Phallus dongsun 的菌托中含有丰富的蛋白质、粗纤维及氨基酸,且含有 8 种人体必需氨基酸,具有较强 ABTS 自由基和 DPPH 自由基清除能力(郑秀艳等 2022),这些物种都具有广阔的商业化应用前景。

[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(4): 761-771 (in Chinese)
- Bandara AR, Chen J, Karunarathna S, Hyde KD, Kakumyan P, 2015. *Auricularia thailandica* sp. nov. (Auriculariaceae, Auriculariales) a widely distributed species from Southeastern Asia. *Phytotaxa*, 208(2): 147-156
- 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
- Boa ER, 2004. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people. *Non-woodforest Products*, 17: 1-147
- 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 B, Lin RK, Liu DM, Zhao RL, 2022. Diversity of the 'reed mushrooms' and prediction of potential geographic distribution of *Agaricus sinodeliciosus*. *Mycosystema*, 41(2): 190-203 (in Chinese)
- Chen P, Song J, Guo P, Ji RQ, 2023. Biological characteristics of three *Armillaria* species from Northeast China and artificial cultivation of *A. ostoyae*. *Mycosystema*, 42(1): 297-311 (in Chinese)
- Chen XT, Zhang LJ, Sun P, Hu WJ, Wang RJ, Zhang MY, Wei YH, Wang HX, Hu J, Xiong ZY, 2021. Genetic diversity and cultivation characteristics of the main cultivars of *Stropharia rugosoannulata* in China. *Mycosystema*, 40(12): 3081-3095 (in Chinese)
- Chen ZM, Peng JP, Lu CX, Qiu CJ, Li BQ, Lin JY, Zheng YD, 2013. Domestication and cultivation of *Pleurotus centralis* sp. nov. ined., a new strain of *Clitocybe maxima*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 34(12): 2358-2362 (in Chinese)
- Dai YC, 2003. The new knowledge on the medicinal fungus-*Phellinus baumii*. *Chinese Traditional and Herbal*

- Drugs, 34: 94-95 (in Chinese)
- Dai YC, 2012. Pathogenic wood-decaying fungi on woody plants in China. *Mycosystema*, 31(4): 493-509 (in Chinese)
- Dai YC, 2023. Research progress on polypore domesticated cultivation in China. *Journal of Fungal Research*, 21(1): 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, Yang ZL, 2018. Notes on the nomenclature of five important edible fungi in China. *Mycosystema*, 37(12): 1572-1577 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (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)
- Ding Y, Wang X, Li Y, Zhang B, 2017. Selected biological characteristics and artificial cultivation of *Pluteus umbrosus*. *Northern Horticulture*, 2017(15): 136-140 (in Chinese)
- Dong J, Zhang L, Tai LM, Zhou X, 2019. Analyzes on the actualities of the strain and cultivation standards for edible fungi. *Edible Fungi of China*, 38(11): 98-101 (in Chinese)
- Fan QC, 2016. The study on nitrogen ion beam breeding and artificial cultivation of *Lactarius deliciosus*. Master Thesis, Anhui University, Hefei. 1-45 (in Chinese)
- Gao LH, Bao DP, Xu Z, Li Y, Lu H, Tan YS, Shang XD, Chen HY, Wang RJ, Wu YY, 2021. Construction of core collection and DNA fingerprinting of *Flammulina filiformis* based on genetic diversity analysis. *Mycosystema*, 40(12): 3214-3230 (in Chinese)
- Gao Y, Zhang B, Ye JQ, Zhang JY, Wang Y, Li Y, 2018. Mycelial growth characteristics and artificial cultivation of *Ossicaulis lignatilis*. *Acta Edulis Fungi*, 25(1): 34-37 (in Chinese)
- Gu DD, Shi LY, Liu HX, Zhang JX, Yao QG, Wang LA, 2022. Biological characteristics and cultivation of *Clitocybe fragrans*. *Mycosystema*, 41(4): 647-657 (in Chinese)
- Guo DD, Lei JY, Liu RZ, Peng ZJ, Chang MC, Geng XR, Meng JL, Feng CP, 2022. Digestion and fermentation characteristics of alkaloid polysaccharide from *Clitocybe squamulosa* fruiting body *in vitro*. *Mycosystema*, 41(1): 78-87 (in Chinese)
- He GQ, Wei JK, Wu SJ, Hu XY, Zhao HK, Deng DJ, 2020. Domesticated cultivation research on a wild *Morchella* sp. *Edible Fungi of China*, 39(7): 10-15 (in Chinese)
- He J, Luo ZL, Deng RM, Su KM, Li SH, Su HY, 2022. Isolation, biological characteristics and domestication of wild *Flammulina rossica* and *F. filiformis*. *Mycosystema*, 41(4): 630-646 (in Chinese)
- Hu RW, Bau T, 2019. Biological characteristics and domestication cultivation of wild edible fungus *Agaricus padanus*. *Northern Horticulture*, 2019(1): 143-149 (in Chinese)
- Jiang N, Yu CX, Dong HR, Zhou F, Li ZP, Li Y, 2021. Effects of illumination of different lights on agronomic traits and texture quality of fruiting bodies of *Lentinula edodes*. *Mycosystema*, 40(12): 3169-3181 (in Chinese)
- Jiang WZ, Yao FJ, Fang M, Lu LX, Zhang YM, Ma XX, Yin LL, Sun X, Liu LJ, Zhou S, 2021. Numerical evaluation of the main agronomic traits of the germplasm resources of *Gloeostereum incarnatum*. *Mycosystema*, 40(12): 3143-3156 (in Chinese)
- Jin YC, Li Y, 2012. Selected biological characteristic and artificial cultivation of *Phyllotopsis nidulans*. *Acta Edulis Fungi*, 19(2): 35-38 (in Chinese)
- Kang M, Han JR, 2021. Artificial cultivation of a wild-type strain of *Agaricus bisporus*. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 44(6): 1221-1226 (in Chinese)
- Li CH, Liu PP, Zhao CS, Jia W, Li TH, Li ZP, Chen MJ, 2018. *Agaricus sinodeliciosus*: one wild species of *Agaricus* cultivated successfully without casing. *Mycosystema*, 37(5): 595-605 (in Chinese)
- Li CH, Zhang LJ, Zhang MY, Xu Z, Shang XD, Tan Q, 2012. Domestication and cultivation of *Oudemansiella submucida*. *Acta Edulis Fungi*, 19(3): 45-48 (in Chinese)
- Li CY, Wang XY, 2022. Anti-diabetic effects of fungal polysaccharides extracted from *Pholiota adiposa* on streptozotocin-induced diabetic mice. *Mycosystema*, 41(7): 1112-1122 (in Chinese)
- Li T, Lu SJ, Sun JM, Xu ZQ, Qi J, Liu P, Huang JZ, 2021. Analysis and evaluation of nutritional constituents of 26 common edible fungi. *Edible Fungi of China*, 40(12): 66-72 (in Chinese)
- Li T, Zhou P, Li TH, Wang M, Deng WQ, 2023. Community structures and influencing factors of soil fungi associated with typical vegetations in Nanling Mountains. *Mycosystema*, 42(2): 456-467 (in Chinese)
- Li Z, 2022. The cultural characteristic and ontogeny of three species of *Phallus*. Master Thesis, Ludong University, Yantai. 1-101 (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)
- Liang QQ, Song LR, Niu X, Xi YL, Feng JH, Cao XL, He YS, Zhu JX, Wei SL, 2020. Biological characteristics and

- domestic cultivation of *Agaricus subfloccosus*. Mycosystema, 39(7): 1301-1311 (in Chinese)
- Lin QY, Zhong YJ, Deng WQ, Huang H, Li TH, 2012. Domestication of *Chlorophyllum molybdites*. Acta Edulis Fungi, 19(3): 42-44 (in Chinese)
- Liu QM, Song HY, Chen RX, Chen MH, Zhai ZJ, Zhou JP, Gao Y, Hu DM, 2021. Species concept of *Cyclocybe chaxingu*, an edible mushroom cultivated in China. Mycosystema, 40(5): 981-991 (in Chinese)
- Liu SX, Li JY, Liu CL, Wang MY, Luo XK, Zhang WS, 2019. Study on isolation, identification and cultivation of a wild strain of *Agrocybe salicicicola*. Northern Horticulture, 43(9): 142-147 (in Chinese)
- Liu XR, Ye LY, Zhang LJ, Xie BG, Wu XP, 2021. Mating type analyses of cultivated *Pleurotus pulmonarius* in China. Mycosystema, 40(12): 3109-3117 (in Chinese)
- Liu YF, 2016. Study on artificial domestication and cultivation technology of *Agaricus balchaschensis*. Master Thesis, Xinjiang Agricultural University, Urumqi. 1-99 (in Chinese)
- Liu ZB, Wu YD, Zhao H, Lian YP, Wang YR, Wang CG, Mao WL, Yuan Y, 2022. Outline, divergence times, and phylogenetic analyses of Trechisporales (Agaricomycetes, Basidiomycota). Frontiers in Microbiology, 13: 818358
- Luo XL, Zhang SS, Cao JJ, Zhang WS, 2021. Analysis of nutritional components and evaluation of protein nutritional value of three kinds of gelatinous edible fungi in Yunnan. Science and Technology of Food Industry, 42(14): 328-333 (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)
- Meng JL, Yang J, Chang MC, Feng CP, Cheng HY, 2012. Primary study on artificial cultivation of *Morchella deliciosa*. Edible Fungi of China, 31(4): 14-15 (in Chinese)
- Meng QG, Chi JL, Zhu WW, 2021. Strain isolation and domestication of *Tricholoma populinum* J. Lange. Edible Fungi of China, 40(6): 18-22 (in Chinese)
- Na Q, Bau T, 2020. Ten new records of *Mycena* from China. Mycosystema, 39(9): 1783-1808 (in Chinese)
- Niu YR, Song S, Liu Y, Huang ZX, Rong CB, Zhao S, Wang SX, 2017. Biological characteristics and domestication of *Pleurotus placentodes*. Acta Edulis Fungi, 24(2): 1-4 (in Chinese)
- Qi YC, Ma L, Zhang RX, Wen Q, Shen JW, 2021. Effects of mechanical damage on the primordium formation of *Pleurotus ostreatus*. Mycosystema, 40(5): 1170-1179 (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)
- Shi C, Hu HP, Mo WP, Liu YC, Xie YZ, 2019. Cultivation and antioxidant activity of *Oudemansiella crassifolia*. Acta Edulis Fungi, 26(4): 78-83 (in Chinese)
- Tan YZ, Wang HC, Dai X, Ran JS, Chen JZ, 2015. Study on artificial domestication cultivation formula of *Termitomyces albuminosus* and *Pleurotus citrinipileatus*. Northern Horticulture, 2015(17): 124-126 (in Chinese)
- Tian SY, Dong WT, Ye JW, Xiong H, Yuan DY, Zou F, 2023. Diversity of ectomycorrhizal fungi in three *Castanea mollissima* plantations in krasnozem region of Hunan Province. Mycosystema, 42(3): 677-691 (in Chinese)
- Tu XM, Xie GB, Tang L, Deng KJ, Xie LY, 2021. Chemical composition of *Morchella sextelata* (Pezizales, Ascomycota). Mycosystema, 40(8): 2134-2147 (in Chinese)
- Wang Q, Wang XF, Yang XJ, Guo YF, Zhou T, Zhu MJ, Wang L, 2021. Effects of culture substrates on nutritional and flavor components of *Pleurotus pulmonarius*. Mycosystema, 40(12): 3182-3195 (in Chinese)
- Wang RJ, Lu H, Xu Z, Song CY, Tan Q, Liu JY, Shang XD, 2023. Breeding of a new *Flammulina filiformis* cultivar 'Shangyan 1820' by single spore hybridization. Mycosystema, 42(2): 597-608 (in Chinese)
- Wang SX, Liu Y, Xu F, Zhao S, Wang LQ, Geng XL, Meng LL, 2013. Domestication and cultivation of *Oudemansiella canarii*. Acta Edulis Fungi, 20(1): 31-34, 111 (in Chinese)
- Wang SX, Yang Q, Liu Y, Xu F, Sun MJ, Wang LQ, Zhao S, 2014. Analysis of domestication, cultivation and nutritional components *Pholiota squarrosoides*. Journal of Northeast Agricultural University, 45(7): 66-72 (in Chinese)
- Wang XM, Zhang J, Wu LH, Zhao YL, Li T, Li JQ, Wang YZ, 2014. A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China. Food Chemistry, 151: 279-285
- Wei J, Gao W, Huang CY, 2021. A checklist of edible ectomycorrhizal mushrooms in China. Mycosystema, 40(8): 1938-1957 (in Chinese)
- Wu CL, Wu XP, Liu Q, Zheng QP, Xiang SN, 2008. Discussion on the domestication and utilization of mycorrhizal fungi. Edible Fungi of Zhejiang, 91(3): 30-31 (in Chinese)
- Wu F, Dai YC, 2015. Notes on the nomenclature of the *Auricularia auricula-judae* complex. Mycosystema, 34(4): 604-611 (in Chinese)
- 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 YD, Man XW, Yuan Y, Dai YC, 2022. Species diversity, distribution and composition of polypores occurring in botanical gardens in China. *Biodiversity Science*, 30(7): 22213 (in Chinese)
- Wu YD, Mao WL, Yuan Y, 2021. Comparison of polypore floras and diversity from temperate to subtropical forest zones in China. *Biodiversity Science*, 29(10): 1369-1376 (in Chinese)
- Xiu CJ, 2012. Separation and artificial domestication of wild *koumo* mushroom (*Tricholoma gambosum*). *Journal of Microbiology*, 32(3): 98-100 (in Chinese)
- Xu LN, 2019. Identification, artificial cultivation and fermentation technology of a wild *Helvella*. PhD Dissertation, Shanxi University, Taiyuan. 1-150 (in Chinese)
- Yan M, Teng CL, Tao H, Yang HB, Sun XH, Tan H, 2022. Protective effects of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide on alcoholic liver injury in rats. *Mycosystema*, 41(2): 291-302 (in Chinese)
- Yang HP, Zhou M, Wu G, Ban LT, 2022. A new and edible species of *Hygrophoropsis* (Boletales, Basidiomycota) from North China. *Mycosystema*, 41(2): 181-189 (in Chinese)
- Yang J, Liu H, Zhao ZL, Wang H, Zhang Y, Liu X, Xiao JC, 2018. Biological characteristics and domestication of wild *Auricularia auricula* Aa-015. *Edible Fungi of China*, 37(3): 22-24 (in Chinese)
- Yuan Y, Chen JJ, Korhonen K, Martin F, Dai YC, 2021. An updated global species diversity and phylogeny in the forest pathogenic genus *Heterobasidion* (Basidiomycota, Russulales). *Frontiers in Microbiology*, 11: 596393
- Zhang JX, Luo XC, Jia SM, Huang NL, Huang CY, Zheng SY, 2006. Terms of edible mushroom. GB/T12728-2006 (in Chinese)
- Zhang QQ, Li CH, Yang RH, Deng CY, Yang JY, 2020. Biological characteristics of *Xylaria hypoxylon*: a rare and medicinal macro-fungi from Tibet area. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 35(5): 862-870 (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
- Zhang Z, Tan WP, Liu YC, Mo WP, Huang LH, Huang ZY, Chen DM, Hu HP, Yu RL, 2017. Isolation, identification and cultivation of a wild-type *Flammulina fennae*. *Acta Edulis Fungi*, 24(1): 45-49 (in Chinese)
- Zheng QX, Jiang MS, Ying SQ, Wu XP, 2015. Study of wild *Lyophyllum* sp. about ITS sequence analysis and biological characteristics. *Genomics and Applied Biology*, 34(1): 106-111 (in Chinese)
- Zheng XY, Huang L, Wang P, Chen X, Chen GX, 2022. Evaluation of nutritional values and antioxidant capacities of *Dictyophora rubrovalvata* volva and *Phallus impudicus* L. volva. *Journal of Food Safety and Quality*, 13(13): 4374-4382 (in Chinese)
- Zhou M, Ji XH, Liu HG, Miller K, Yuan Y, Vlasák J, 2023. Two new species of Hymenochaetaceae from tropical Asia and America. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12: 1100044
- Zhou M, Wang CG, Wu YD, Liu S, Yuan Y, 2021. Two new brown rot polypores from tropical China. *Mycosystema*, 40(2): 173-197
- Zhu YY, Wang R, Wei W, Zhu XY, Wang YQ, Wang Q, 2015. Anti-tumor and immunomodulatory effects of exopolysaccharides from *Flammulina rossica* on H22 tumor-bearing mice. *Mycosystema*, 34(4): 772-778 (in Chinese)
- Zou M, Li F, Lu XX, Zhao JX, Jin RX, Qu T, 2023. Isolation, identification and domestication of a wild *Pleurotus ostreatus*. *Edible and Medicinal Mushrooms*, 31(1): 63-67, 76 (in Chinese)
- Zuo X, Zhao XR, Liu J, Wang YQ, Wang YY, Liu XZ, 2022. Optimization of batch cultivation conditions of wild *Hygrophoropsis* sp. in Tianjin Qilihai. *Edible Fungi of China*, 41(5): 32-36 (in Chinese)

[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(4): 761-771
- 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
- 曹槟, 林汝楷, 刘冬梅, 赵瑞琳, 2022. 野生食用菌“茺菇”的物种多样性及中华美味蘑菇适生区预测. *菌物学报*, 41(2): 190-203
- 陈鹏, 宋佳, 郭璞, 冀瑞卿, 2023. 中国东北地区三种蜜环菌的生物学特性及奥氏蜜环菌人工培养. *菌物学报*, 42(1): 297-311
- 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, 2021. 我国主栽皱环球盖菇菌株遗传多样性及栽培特性. *菌物学报*, 40(12): 3081-3095
- 陈政明, 彭建平, 卢翠香, 邱春锦, 李碧琼, 林俊扬, 郑永德, 2013. 猪肚菇新种中柄侧耳人工驯化栽培技术

- 研究. 热带作物学报, 34(12): 2358-2362
- 戴玉成, 2003. 药用担子菌——鲍氏层孔菌(桑黄)的新认识. 中草药, 34: 94-95
- 戴玉成, 2012. 中国木本植物病原木材腐朽菌研究. 菌物学报, 31(4): 493-509
- 戴玉成, 2023. 中国多孔菌驯化栽培研究最新进展. 菌物研究, 21(1): 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, 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, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员媛, 司静, 2021. 中国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. 菌物学报, 40(4): 770-805
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文安华, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. 菌物学报, 29(1): 1-21
- 丁野, 王旭, 李玉, 张波, 2017. 网顶光柄菇生物学特性及驯化栽培. 北方园艺, 2017(15): 136-140
- 董娇, 张琳, 邵丽梅, 周汐, 2019. 我国食用菌菌种标准及栽培标准现状分析. 中国食用菌, 38(11): 98-101
- 凡启超, 2016. 野生松乳菇 N^+ 离子束诱变育种及人工栽培研究. 安徽大学硕士论文, 合肥. 1-45
- 高利慧, 鲍大鹏, 徐珍, 李燕, 陆欢, Tan Yee Shin, 尚晓冬, 陈洪雨, 王瑞娟, 吴莹莹, 2021. 基于遗传多样性构建金针菇的核心种质群体及分子身份证. 菌物学报, 40(12): 3214-3230
- 高洋, 张波, 叶建强, 张金旻, 王冶, 李玉, 2018. 腐木生硬柄菇生物学特性及驯化. 食用菌学报, 25(1): 34-37
- 顾丹丹, 史玲玉, 刘红霞, 张金秀, 姚清国, 王立安, 2022. 芳香杯伞生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 41(4): 647-657
- 郭东东, 雷佳钰, 刘荣柱, 彭志杰, 常明昌, 耿雪冉, 孟俊龙, 冯翠萍, 2022. 体外模拟鳞杯伞子实体碱溶性多糖的消化与酵解特性. 菌物学报, 41(1): 78-87
- 贺国强, 魏金康, 吴尚军, 胡晓艳, 赵海康, 邓德江, 2020. 一种野生羊肚菌的驯化栽培研究. 中国食用菌, 39(7): 10-15
- 何俊, 罗宗龙, 邓瑞民, 苏开美, 李树红, 苏鸿雁, 2022. 野生柳生金针菇和金针菇的分离、生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 41(4): 630-646
- 胡日瓦, 图力古尔, 2019. 丁香蘑菇野生菌株的生物学特性及驯化栽培. 北方园艺, 2019(1): 143-149
- 姜宁, 余昌霞, 董浩然, 周峰, 李正鹏, 李玉, 2021. 不同光质光照对香菇子实体农艺性状与质构品质的影响. 菌物学报, 40(12): 3169-3181
- 姜婉竹, 姚方杰, 方明, 鲁丽鑫, 张友民, 马晓旭, 尹莉岚, 孙旭, 刘丽佳, 周帅, 2021. 榆耳种质资源主要农艺性状的数量评估. 菌物学报, 40(12): 3143-3156
- 金宇昌, 李玉, 2012. 黄毛黄侧耳的生物学特性和驯化栽培. 食用菌学报, 19(2): 35-38
- 康曼, 韩建荣, 2021. 一株野生双孢蘑菇的驯化栽培研究. 山西大学学报(自然科学版), 44(6): 1221-1226
- 李传华, 刘培培, 赵春生, 贾薇, 李泰辉, 李正鹏, 陈明杰, 2018. 无需覆土的蘑菇属食用菌——中国美味蘑菇. 菌物学报, 37(5): 595-605
- 李传华, 章炉军, 张美彦, 徐珍, 尚晓冬, 谭琦, 2012. 野生拟粘小奥德蘑驯化和栽培研究. 食用菌学报, 19(3): 45-48
- 李春怡, 王晓岩, 2022. 多脂鳞伞多糖提取物对链脉佐菌素诱导糖尿病小鼠抗糖尿病活性. 菌物学报, 41(7): 1112-1122
- 李泰, 卢士军, 孙君茂, 徐泽群, 戚俊, 刘鹏, 黄家章, 2021. 26 种常见市售食用菌营养成分分析及评价. 中国食用菌, 40(12): 66-72
- 李挺, 周平, 李泰辉, 旺姆, 邓旺秋, 2023. 南岭典型植被土壤真菌群落结构与影响因素. 菌物学报, 42(2): 456-467
- 李政, 2022. 鬼笔类真菌三个种的培养特性及个体发育研究. 鲁东大学硕士论文, 烟台. 1-101
- 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
- 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, 2020. 絮缘蘑菇生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 39(7): 1301-1311
- 林群英, 钟月金, 邓旺秋, 黄浩, 李泰辉, 2012. 铅绿褶菇的驯化. 食用菌学报, 19(3): 42-44
- 刘祈猛, 宋海燕, 陈润秀, 陈明辉, 翟志军, 周健平, 高扬, 胡殿明, 2021. 我国主栽食用菌茶薪菇的物种概念. 菌物学报, 40(5): 981-991
- 刘绍雄, 李建英, 刘春丽, 王明月, 罗孝坤, 张微思, 2019. 一株野生柳生田头菇菌株分离鉴定及驯化栽培. 北方园艺, 43(9): 142-147
- 刘新锐, 叶丽云, 张黎杰, 谢宝贵, 吴小平, 2021. 我国肺形侧耳栽培菌株交配型分析. 菌物学报, 40(12): 3109-3117
- 刘玉芳, 2016. 巴尔喀什黑伞人工驯化栽培技术研究. 新疆农业大学硕士论文, 乌鲁木齐. 1-99
- 罗晓莉, 张沙沙, 曹晶晶, 张微思, 2021. 云南 3 种胶质食用菌营养成分分析与蛋白质营养价值评价. 食品工业科技, 42(14): 328-333
- 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
- 孟俊龙, 杨杰, 常明昌, 冯翠萍, 程红艳, 2012. 小羊肚菌人工栽培初报. 中国食用菌, 31(4): 14-15
- 孟庆国, 池景良, 朱巍巍, 2021. 杨树口蘑菌种分离和驯化. 中国食用菌, 40(6): 18-22
- 娜琴, 图力古尔, 2020. 中国小菇属十个新记录种. 菌物

- 学报, 39(9): 1783-1808
- 牛玉蓉, 宋爽, 刘宇, 黄振兴, 荣成博, 赵爽, 王守现, 2017. 卵孢侧耳生物学性状及驯化. 食用菌学报, 24(2): 1-4
- 戚元成, 马琳, 张瑞霞, 文晴, 申进文, 2021. 机械损伤对糙皮侧耳原基形成的影响. 菌物学报, 40(5): 1170-1179
- 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
- 史钊, 胡惠萍, 莫伟鹏, 刘远超, 谢意珍, 2019. 厚褶小奥德蘑栽培及其抗氧化活性. 食用菌学报, 26(4): 78-83
- 谭永忠, 王慧超, 戴玄, 冉景盛, 陈今朝, 2015. 鸡枞菌/榆黄蘑的驯化栽培配方试验. 北方园艺, 2015(17): 124-126
- 田诗义, 董文统, 叶佳伟, 熊欢, 袁德义, 邹锋, 2023. 湖南红壤区三个林龄板栗园外生菌根真菌多样性. 菌物学报, 42(3): 677-691
- 涂小曼, 谢光波, 唐岚, 邓科君, 谢丽源, 2021. 六妹羊肚菌的化学成分. 菌物学报, 40(8): 2134-2147
- 汪乔, 王祥锋, 杨晓君, 郭玉峰, 周婷, 朱孟娟, 王丽, 2021. 不同栽培基质对肺形侧耳营养成分及呈味物质的影响. 菌物学报, 40(12): 3182-3195
- 王瑞娟, 陆欢, 徐珍, 宋春艳, 谭琦, 刘建雨, 尚晓冬, 2023. 单孢杂交选育金针菇新品种‘上研 1820’. 菌物学报, 42(2): 597-608
- 王守现, 刘宇, 许峰, 赵爽, 王兰青, 耿小丽, 孟莉莉, 2013. 热带小奥德蘑培养与驯化. 食用菌学报, 20(1): 31-34, 111
- 王守现, 杨琼, 刘宇, 许峰, 孙满吉, 王兰青, 赵爽, 2014. 尖鳞环锈伞的驯化栽培及营养成分分析. 东北农业大学学报, 45(7): 66-72
- 魏杰, 高巍, 黄晨阳, 2021. 中国菌根食用菌名录. 菌物学报, 40(8): 1938-1957
- 吴春玲, 吴锡鹏, 柳青, 郑巧平, 项寿南, 2008. 刍议菌根菌的驯化利用问题. 浙江食用菌, 91(3): 30-31
- 吴芳, 戴玉成, 2015. 黑木耳复合群中种类学名说明. 菌物学报, 34(4): 604-611
- 武英达, 满孝武, 员媛, 戴玉成, 2022. 中国各省植物园中多孔菌种类、分布和组成. 生物多样性, 30(7): 222-13
- 武英达, 茆卫琳, 员媛, 2021. 我国寒温带至亚热带森林多孔菌区系和多样性比较. 生物多样性, 29(10): 1369-1376
- 修翠娟, 2012. 野生口蘑菌种分离及人工驯化. 微生物学杂志, 32(3): 98-100
- 徐莉娜, 2019. 一株野生马鞍菌的分类鉴定、人工栽培及发酵工艺研究. 山西大学博士论文, 太原. 1-150
- 颜蜜, 滕春丽, 陶会, 杨鸿波, 孙晓红, 谭红, 2022. 红托竹荪多糖对大鼠酒精性肝损伤的保护作用. 菌物学报, 41(2): 291-302
- 杨红澎, 周萌, 吴刚, 班立桐, 2022. 中国北方拟蜡伞属一个可食用的新种. 菌物学报, 41(2): 181-189
- 杨杰, 刘虹, 赵照林, 王华, 张勇, 刘欣, 萧晋川, 2018. 野生黑木耳菌株 Aa-015 生物学特性与驯化. 中国食用菌, 37(3): 22-24
- 张金霞, 罗信昌, 贾身茂, 黄年来, 黄晨阳, 郑素月, 2006. 食用菌术语. GB/T12728-2006
- 张清卿, 李传华, 杨瑞恒, 邓春英, 杨靖亚, 2020. 西藏地区一珍稀药用菌——上升炭角菌生物学特性研究. 云南农业大学学报(自然科学), 35(5): 862-870
- 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
- 张智, 谭武平, 刘远超, 莫伟鹏, 黄龙花, 黄志勇, 陈冬梅, 胡惠萍, 于荣利, 2017. 一株野生芬娜金针菇菌株的鉴定与驯化栽培. 食用菌学报, 24(1): 45-49
- 郑秋霞, 蒋木杉, 应顺秋, 吴小平, 2015. 一株野生离褶伞菌株的 ITS 序列分析及其生物学特性的研究. 基因组学与应用生物学, 34(1): 106-111
- 郑秀艳, 黄磊, 王培, 陈曦, 陈光贤, 2022. 红托竹荪菌托和冬荪菌托的营养价值评价及抗氧化能力分析. 食品安全质量检测学报, 13(13): 4374-4382
- 朱宴妍, 王瑞, 魏巍, 朱相杨, 王永强, 王琦, 2015. 柳生金针菇胞外粗多糖对小鼠肝癌 H22 移植性肿瘤的抑制作用和免疫功能调节的研究. 菌物学报, 34(4): 772-778
- 邹明, 李峰, 鲁欣欣, 赵建选, 靳荣线, 屈涛, 2023. 一株野生平菇的分离鉴定及驯化栽培. 食药菌, 31(1): 63-67, 76
- 左鑫, 赵雪如, 刘江, 王雨青, 王瑜玥, 刘西周, 2022. 天津七里海珍稀野生茸蘑批量栽培条件优化. 中国食用菌, 41(5): 32-36