

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0598

金耳生物学特性、栽培技术和多糖功效的研究进展

王能爽¹, 田爽¹, 马庆芳¹, 张丕奇¹, 马世玉², 马银鹏¹

(1. 黑龙江省科学院微生物研究所 哈尔滨 150010; 2. 黑龙江黑臻生物科技有限公司 黑龙江绥化 152300)

摘要: 金耳是一种具有较高营养价值和药用价值的珍稀食用菌, 对金耳的形态特征、生活史、交配型、生长条件等生物学特性进行了介绍; 总结了金耳的主要栽培方式袋料栽培和椴木栽培的技术要点及优缺点, 同时阐明了金耳多糖调节血糖、增强免疫力、抗氧化等功效, 以为金耳的生物学研究、栽培技术及金耳多糖的应用提供依据。

关键词: 金耳; 生物学特性; 栽培技术; 多糖

中图分类号: S646

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)05-014-06

Research progress on biological characteristics, cultivation techniques and polysaccharide efficacy of *Naematelia aurantialba*

WANG Nengshuang¹, TIAN Shuang¹, MA Qingfang¹, ZHANG Piqi¹, MA Shiyu², MA Yinpeng¹

(1. Institute of Microbiology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150010, Heilongjiang, China; 2. Heilongjiang Heizhen Biotechnology Co., LTD., Suihua 152300, Heilongjiang, China)

Abstract: *Naematelia aurantialba* is a rare edible fungus with high nutritional and medicinal value, in this paper, the morphological characteristics, life history, mating type, growth conditions and other biological characteristics of auriculus were introduced; the key points and advantages and disadvantages of the main cultivation methods of *Naematelia aurantialba* were summarized: Bag culture and basswood culture. At the same time, the effects of *Naematelia aurantialba* polysaccharide on regulating blood sugar, enhancing immunity and anti-oxidation were expounded. In order to provide a basis for the biological research, cultivation technology and application of polysaccharides of *Naematelia aurantialba*.

Key words: *Naematelia aurantialba*; Biological characteristics; Cultivation technique; Polysaccharide

金耳(*Naematelia aurantialba*), 又名脑耳、金黄银耳、黄耳、黄木耳、茂若色尔布(藏名), 其分类地位为真菌界(Fungi)担子菌门(Basidiomycota)银耳纲(Tremellomycetes)银耳目(Tremellales)耳包革科(Naemateliaceae)耳包革属(*Naematelia* Fr.)^[1]。金耳色泽亮丽, 新鲜时为橙黄色至橘红色, 干后橙黄色至金黄色; 鲜时子实体半球形, 干后收缩, 坚硬, 基本保持原状。

金耳的分布区域较为广泛, 野生金耳主要生长在海拔 1800~3200 m 的山区, 通常生长于夏秋两季, 在亚洲、欧洲、南美洲、北美洲和大洋洲均有野生金耳生长。在我国, 野生金耳主要生长在云南、四川、贵州、西藏、湖北、福建和江西等省份。金耳喜好生长在阔叶林、针阔叶林中, 尤其是在壳斗科、桦木科等阔叶树的朽木上^[2]。野生金耳的数量十分

稀有^[3], 近年来, 在我国四川、陕西、浙江、宁夏、甘肃等地区人工种植金耳已经形成规模, 并且取得了较高的经济效益。

金耳营养丰富, 含有人体所必需的蛋白质、胶质物、氨基酸、纤维素、胡萝卜素、多种维生素和矿物质等营养成分, 同时含有多糖、黄酮、麦角硫因等活性物质。研究表明, 金耳在降血糖、降血脂、保肝、抗氧化、抗血栓、抗辐射等方面有明显的作^[4], 还有化痰、止咳、调气、定喘和益心肺等药用价值, 临床能够治疗心脑血管疾病, 以及气喘、高血压、高血脂、肝炎和体虚等疾病^[5]。经常食用金耳可以有效地预防疾病发生, 延缓衰老, 是一种理想的高级营养滋补品。近些年人们对金耳的食用价值和药用价值愈了解和重视, 对金耳的需求日益增长, 因此金耳的高质量大规模栽培十分必要。金耳菌

收稿日期: 2024-09-27; 修回日期: 2024-12-24

基金项目: 黑龙江省重点研发计划(2022ZX02B08)

作者简介: 王能爽, 女, 在读硕士研究生, 主要从事食用菌菌种选育和栽培技术研究。E-mail: wangnengshuang222@163.com

通信作者: 马银鹏, 男, 副研究员, 主要从事食用菌生物活性物质研究。E-mail: myp19870315@163.com

与毛韧革菌的伴生关系,毛韧革菌为金耳吸收栽培料的营养^[6],金耳需要毛韧革菌才能生长发育成子实体。金耳这种特殊的生理特性,在栽培过程中很容易出现只生长毛韧革菌的情况,此外,金耳在栽培过程中还存在转色困难和易烂耳等问题。因此金耳的育种和栽培难度较大,鉴于此,笔者对金耳的生物学性状、栽培技术和多糖功效等方面近年来的研究进展进行综述,以期为工厂化栽培金耳技术水平的提高及金耳产业健康蓬勃发展提供参考。

1 金耳的生物学特性

1.1 形态特征

黄年来等^[7]研究发现,金耳的形态分为菌丝体和子实体两部分,菌丝体包括位于金耳子实体表面的胶质化的金耳菌丝和位于子实体核心部位的毛韧革菌菌丝。武倩^[8]研究发现,金耳菌丝直径为2.5~5.0 μm ,有锁状联合,在PDA(马铃薯琼脂培养基)平板上,菌落中央为淡黄色,周围呈白色,气生菌丝旺盛;毛韧革菌的菌丝直径初生为15~20 μm ,有环状锁状联合。吴锡鹏等^[9]研究发现,金耳菌丝在无菌条件即在菌种瓶中可以生于金耳子实体的表面,当和粗毛硬革菌丝生长在一起时,可以长成短而密的气生菌丝,白色或淡黄色,料面上的组织块可变成胶质的脑状的金耳基。

金耳子实体体型偏大,呈现出不规则脑状、大肠状或半球形;具有狭窄的基部,没有明显的柄,直径在0.2~1.5 cm之间,高度在2~6 cm之间^[10]。田果廷等^[11]研究发现,金耳子实体是异质的,是由金耳和毛韧革菌组成的复合体。子实体散生或聚生,表面为平滑状态,长至成熟初期,耳基部楔形,颜色由淡黄色变成金黄色,内部为黄白色。上下凹凸不平,形成如脑状或不规则的裂瓣状,内部组织充实,中期至后期,裂瓣有深有浅;后期,组织呈纤维状,甚至变成空壳,子实体颜色变成鲜艳的橙色、金黄色、甚至橘红色;药用和美容的产品接近白色^[12]。

1.2 生活史

金耳的生活史较复杂,生长发育循环系统经历时间较长。在金耳子实体表面担孢子经过发育成熟,萌发产生芽管,芽管延伸形成初生菌,其发育初期为单核细胞,发育过程由隔膜把每个核隔开,形成了每个细胞只含有一个细胞核的多细胞的菌丝,成为单核菌丝,不同性别但有亲和性的单核菌丝相互结合后,形成双核菌丝,经过长时间的发育,分化形成金耳原基,再经过发育形成幼耳,幼耳发育成

熟成为金耳子实体^[13]。用自然弹射法收集的担孢子会在培养基表面形成雾面孢子印,以芽殖的方式进行酵母状分生孢子进行繁殖。但由于单一的金耳菌丝体的生长十分缓慢,其间必须由寄生真菌毛韧革菌的参与,毛韧革菌分解纤维素和木质素的能力较强,为金耳提供营养,才能使其正常发育,金耳与毛韧革菌为伴生关系,两者之间的亲和性有专一性,因此,野生金耳十分稀少^[14]。

1.3 交配型

金耳隶属于四极性异宗结合真菌。曹瑶等^[15]通过收集成熟金耳担孢子,将两两孢子分离物进行杂交配对,通过三轮杂交试验,确认金耳单孢分离物具有4种交配型,表明金耳属于四极性异宗结合真菌,通过与毛韧革菌共培养证明担孢子交配形成的双核体 $A_1A_2B_1B_2$ 与毛韧革菌共培养才能生长发育成子实体。沈真辉等^[16]基于金耳基因组测序及转录组测序,获得了金耳交配型位点的分子遗传学结构,鉴定到了A和B交配型位点,为了解金耳A和B交配型位点基因数量、基因结构以及交配型基因分子标记的开发奠定了基础。

1.4 生长条件

1.4.1 营养条件 金耳生长发育过程中需要大量的营养物质,碳源是金耳生长所必需的营养物质之一,对碳源的需求量最大,缺少碳源金耳不能正常生长。关于母种培养基的碳源,刘书畅等^[10]研究发现,金耳母种以半乳糖为碳源时,子实体长势旺,生长周期较短;碳源为葡萄糖时,菌丝生长速度仅次于果糖。高昱昕^[2]研究发现,金耳母种以葡萄糖作碳源时,菌丝长势最旺盛;其次为麦芽糖;最差为乙酸钠、乙醇等。目前国内研究者通常都以葡萄糖作为金耳母种培养基的碳源,所以葡萄糖是金耳母种培养基的最佳碳源。

关于金耳深层发酵培养基的碳源,汪虹等^[17]研究表明,玉米粉为最佳碳源;董昌金^[18]研究表明,以玉米粉作碳源时,金耳深层液体发酵菌丝干质量最大,其次为麸皮,碳源为红薯时,菌丝体产量最低。对比试验结果,玉米粉为液体发酵的最佳碳源。对比其他食用菌液体发酵的最佳碳源,黑木耳最佳碳源为葡萄糖,菌丝体产量最大^[19];金针菇最佳碳源为赤砂糖^[20],蛹虫草最佳碳源为蔗糖^[21]。由此可以看出,不同食用菌深层发酵的最佳碳源存在差异。

氮源是金耳生长发育过程中不可或缺的重要物质,金耳对氮源的需求小于碳源。关于母种培养基的氮源,刘书畅等^[10]研究发现,金耳母种最佳氮源

为酒石酸胺。高显昕^[2]研究发现,金耳母种以蛋白胨为氮源时,菌丝生长速率最大,可能是金耳菌株及试验条件的差异造成的。而目前国内大多数研究者把蛋白胨作为母种培养基的氮源,所以暂且将蛋白胨作为母种培养基的最佳氮源。

关于金耳深层发酵培养基的氮源,董昌金^[18]研究表明,氮源为蛋白胨时,金耳菌丝干质量最大,最适蛋白胨添加量为0.6%。康林芝等^[22]研究也表明,以添加量为0.6%的蛋白胨为氮源,菌丝体生长量最大。对比其他食用菌液体发酵的最佳氮源,黑木耳最佳氮源为蛋白胨^[19],金针菇最佳氮源为豆奶宝^[20],蛹虫草最佳氮源为蛋白胨^[21]。由此可得出,蛋白胨是大多数食用菌液体发酵的最佳氮源。

金耳生长还需要一定的无机盐和维生素类物质。高显昕^[2]研究发现,维生素B₁、维生素C、叶酸对金耳母种菌丝的生长有明显的促进作用,维生素B₂和烟酸的促进作用不明显;赤霉素和IAA对金耳母种菌丝的生长也有显著的促进作用。杨学英^[23]研究表明,生长因子对金耳生物量影响不大,各生长因子之间也无明显差异。因此得出金耳的生长需要少量的无机盐和维生素类物质,对生长因子的需求不如碳源和氮源大,维生素在细胞中作为辅酶参加能量的转移和代谢。在其他食用菌生长过程中,不同生长因子在不同食用菌的生长过程中作用不同,维生素B₁、维生素C等对口蘑的菌丝长势作用不明显^[24],而卷须猴头母种培养基最佳生长因子为赖氨酸,菌丝生长最快^[25]。

1.4.2 环境条件 金耳属于中温型真菌,生长发育过程对温度的要求较高。郑淑芳等^[26]研究发现,金耳母种在PDA培养基上生长的温度范围较广,5~35℃均可生长,最适温度为25~27℃,原种和栽培种的最适温度为23~26℃。

子实体生长的温度范围为18~23℃,其中22℃是子实体的最适生长温度。温度低于18℃则生长缓慢,高于34℃则子实体干涸,待潮湿时还能继续生长^[10]。

金耳生长阶段对湿度的要求较高,湿度影响金耳子实体分化、生长和品质。张林^[27]研究发现,金耳菌丝生长阶段,培养基质的含水量以料:水=1:1.2~1.5左右为宜,含水量低,菌丝生长稀疏,长耳困难。子实体生长的空气湿度为85%~90%。吴锡鹏等^[9]研究发现,湿度低于80%,子实体易干枯。在菌丝体分化阶段,适宜空气湿度为80%~95%,低于70%子实体停止生长并萎缩,高于90%容易烂耳^[3]。

金耳菌丝生长的培养料pH范围较广,pH为3~6都能生长。丁湖广^[3]研究发现,菌丝最适pH为5.0~6.5。康林芝等^[22]研究发现,金耳最适菌丝生长pH为5.0,菌丝生物量达到最大值8.2 g·L⁻¹。郑淑芳等^[26]研究发现,金耳子实体最适pH为6.0~6.5,酸碱的过量都会对子实体的发育形成造成阻碍。

金耳菌丝生长阶段不需要光照,金耳栽培袋培养一般避光培养。金耳在原基分化和子实体形成阶段则需要一定时长和强度的光照。张林^[27]研究发现,80~150 lx的光照度最合适,子实体生长快,适宜的光照可以促进子实体的颜色加深,呈现橙红色。刘欣等^[28]研究表明,光照度为400~600 lx,子实体分化程度最佳,色泽艳丽,品质优良。

金耳生长发育过程中还需要新鲜的空气,在菌丝生长阶段对二氧化碳不敏感,只需要间断适量的通风即可,缺少氧气或者过多的二氧化碳,会导致菌丝体生长速度缓慢,甚至出现异常形态^[29]。在子实体生长阶段尤其需要大量的氧气,需要频繁的通风来保证子实体的生长发育,如果通风不足,会导致子实体发白,而不是金色^[30]。

2 金耳的栽培方式

野生金耳产量较低,主要原因是金耳是金耳菌与毛茛苳菌的复合体,是由两种菌共生形成的,其次适合金耳发菌的树种高山栎较少。1980年以前,金耳不能人工栽培,在云南、四川每年生长少量野生金耳,满足不了市场需求。1983年,刘正南等^[29]率先完成了金耳的引种驯化、椴木栽培和袋料栽培,使金耳成为批量商品化生产的新菌种,实现了人工代栽。现在,金耳在四川、陕西、浙江、宁夏、甘肃等地已经形成规模化人工种植。

2.1 袋料栽培法

袋料栽培法是人工栽培金耳的主要方法。袋料栽培基质为金耳的生长发育提供营养,栽培基质的成分、含量及比例影响金耳的产量、生长周期和外观特征。1983年,刘正南等^[29]首次进行金耳的袋料栽培,1986年,经过大量栽培试验,获得了与野生金耳相同的香橙黄色金耳,标志着袋料栽培技术取得初步的成功。

袋料栽培的关键因素:(1)金耳菌种:岳万松等^[31]研究发现,保存金耳菌种时采用第一代母种为宜,菌龄过大易感染杂菌;培养料适宜pH为5.5~6.5。(2)配方:田果廷等^[11]研究发现,最佳母种配方为:马铃薯(去皮)200 g、磷酸二氢钾3 g、蔗糖30 g、

硫酸镁 1.5 g、琼脂 20 g、水 1000 mL;最佳原种配方:中药渣 90%、玉米粉 6%、蔗糖 2%、磷酸二氢钾 1%、石膏 1%。(3)接种方式:钟冬季等^[32]先在穴内底部接入毛韧革菌的木屑菌种,再接入 1 cm 左右的金耳子实体碎屑,一般采用组织分离法获得子实体。(4)环境条件:培养菌丝阶段要采用控温控湿措施,调节金耳和粗毛硬革菌之间的关系,使金耳菌丝旺盛生长,积累足够的养分,以利出耳。菌丝体培养温度(22±2)°C,空气相对湿度 50%~70%,黑暗条件培养 CO₂ 浓度≤0.2%;子实体培养温度(18±2)°C,空气相对湿度 85%~95%,光照度 600 lx,光照时间 12 h·d⁻¹,CO₂ 浓度≤0.15%为适宜条件^[33]。田霄等^[34]研究发现,金耳幼耳抗病性差,在开袋后易感染木霉、青霉等真菌病原菌,因此要求培养料灭菌彻底,再优化出菇管理;同时还要协调好金耳出耳期的湿度与通风,保持空气相对湿度在 85%~95%,随时监测出菇房内 CO₂ 浓度,做到每天定时通风换气。

常见的金耳袋料栽培配方存在不同程度的差异。高昱昕等^[33]研究发现,配方为麸皮 10.30%、豆粕 2.29%、玉米粉 9.15%、木屑 49.57%、棉籽壳 26.69%、生石膏 1%、蔗糖 1%时,每袋可产金耳子实体 264.62 g。杨学英^[23]研究发现,配方为棉籽壳 78%、麸皮 18%、玉米粉 2%、石膏 1%、硫酸镁 0.5%、磷酸二氢钾 0.5%时,金耳子实体产量和生物学效率高。田果廷等^[35]研究表明,配方为中药渣 9.8%、玉米粉 8%、蔗糖 1%、石膏粉 1%、磷酸二氢钾 1%时,生物学效率达 55%。尚陆娥等^[36]研究发现,配方为桉树 80%、木屑 0%、麦麸 17%、石灰 1%、石膏 1% 和普钙 1%时,金耳菌丝长势好,子实体分化率高,耳形好,子实体品相优良。

2.2 椴木栽培法

椴木栽培也属于人工栽培金耳的方式之一。杨林等^[37]研究发现,椴木金耳栽培季节安排在秋冬春为宜,气温 15~30 °C。

椴木栽培的关键因素:(1)椴木选择:首先选用品质良好的椴木,其中以黄栌和麻栌等最好。椴木直径一般选用粗 8~15 cm、长 1~2 m、树龄为 5~10 a (年)的幼树为好,选用的椴木以长在阳面、土壤肥沃、植物生长稀疏的地段为优,这样的椴木养分充足、出耳率高。可根据各地气温和菌种制备情况而确定椴木的采伐。(2)接种:当气温稳定到 10 °C时,最适接种,椴木砍伐后因水分流失,应在 15 d 内完成接种,否则易出现杂菌感染、出耳率下降^[38]。(3)出耳管理:汪欣等^[39]研究发现,在砍伐后随即接种,

最好用打孔接种法,为了空气的流通,不必将空穴塞满,接种后成井字形堆放,用薄膜和树枝覆盖表面进行发菌,发菌期要求 1~2 d 浇水 1 次,15 d 左右翻堆 1 次,在自然条件下的发菌过程中,木腐菌等杂菌会从椴木上长出,这是正常的现象;出耳时起“人”字形架,盖上薄膜并每天浇水、透气。待成熟后采摘,晒干保存。

游金坤等^[40]研究发现,金耳的椴木栽培和袋料栽培营养成分有所差异,袋料金耳栽培得到的子实体多糖、蛋白质以及钾等矿物质元素含量更高,脂肪含量更低,袋料栽培的金耳更健康、更有营养。金耳椴木栽培存在周期长、生物转化率低、人工成本高等缺点,因此使用椴木栽培金耳的菇农也日益减少。在许多食用菌研究者几十年的努力下,对袋料配方不断优化,袋料栽培含有更多的营养成分,尤其是丰富的氮源,为金耳提供的营养更加全面;并且袋料栽培法有利于环境保护。

3 金耳多糖的功效

金耳中含有较高含量的阿拉伯糖醇^[41],还含有丰富的膳食纤维、多酚和多肽等物质^[42],具有提高机体免疫力、保肝、止咳平喘、抗氧化、抗肿瘤等生物学功效^[43]。金耳的孢子和子实体中多糖含量均较高^[44],金耳多糖具有调节血糖、增强免疫、抗氧化等多种功效^[45],多糖是金耳的主要活性成分之一。

3.1 调节血糖

糖尿病是一种常见的内分泌病,利用真菌发酵进行药物的生产成为治疗糖尿病的有效手段。朱欣华等^[46]研究发现,液体深层发酵的金耳菌丝体多糖可明显降低高血糖大鼠的血糖葡萄糖含量。张雯等^[47]通过将金耳菌丝体多糖给高血糖大鼠灌胃 7 d,发现金耳菌丝体多糖可以有效降低高血糖大鼠的血糖水平。苏槟楠等^[48]通过给高血糖小鼠灌大剂量金耳发酵液 14 d,发现能明显控制高血糖小鼠的摄食量和饮水量,从而降低小鼠的血糖含量。邓云霞^[49]研究发现,金耳胞外多糖具有较强的羟基自由基清除能力,能够抑制蛋白质非酶糖基化,试验证明大剂量灌胃金耳胞外多糖能显著抑制高血糖小鼠体内的糖异生作用,从而降低小鼠血糖含量。邓超等^[50]通过液体发酵法获得金耳发酵液多糖,给四氧嘧啶诱导的糖尿病模型小鼠灌高剂量多糖溶液 14 d,可显著降低小鼠血糖含量。

3.2 增强免疫力

增强免疫功能是金耳多糖的主要的生物活性

之一,不同产地、不同方法获得的金耳多糖,都能够增强小鼠腹腔巨噬细胞的吞噬功能以及小鼠抗体的生成能力^[51]。杜秀菊^[52]经超滤和层析分离获得金耳子实体多糖,通过刺激小鼠淋巴细胞,发现金耳多糖对小鼠脾淋巴细胞增殖有促进作用。任丽蓉等^[53]研究发现,金耳多糖对环磷酰胺诱导免疫低下的小鼠起到免疫保护作用,能够促进小鼠饮食,有效提高小鼠血液内白细胞、淋巴细胞的数量,促进小肠组织分泌性免疫球蛋白A的分泌。Du等^[54]研究发现,经过硫化的金耳子实体多糖能增强多糖免疫刺激活性,促进小鼠淋巴细胞增殖。

3.3 抗氧化

机体能够自然地产生自由基,体内自由基的产生和消除是处于平衡状态的,随着年龄的增长,这种平衡被慢慢破坏,原因是抗氧化酶类系统的弱化,导致自由基过量,直接损伤各种生物膜,从而导致多种疾病的发生或者衰老^[51]。邓超等^[50]研究发现,随着金耳发酵液多糖质量浓度的增加,其对DPPH自由基清除能力呈现较为明显的升高趋势。李飞寰^[55]研究发现,金耳多糖对DPPH、羟基、ABTS等3种自由基的清除能力均呈一定剂量的剂量依赖性,清除率分别为56.49%、62.45%、85.98%。王宣东^[56]利用酶辅助提取金耳多糖并进行分离纯化,也表明多糖的抗氧化能力在一定的浓度梯度内随浓度的增加而增强,与样品剂量呈正相关。

3.4 其他

金耳还具有抗辐射、抗炎、促进造血功能^[57]、抗凝血、抗血栓^[58-59]、保肝^[60]、改善神经功能^[61]、止咳平喘、改善记忆力等生物活性。金耳还有提高试验动物血浆蛋白和血红蛋白数量的作用^[57]。

多糖作为金耳最主要的活性成分,几十年来国内外对金耳多糖的研究成果较多,市场上关于金耳的应用也主要依赖于金耳多糖的功效展开,比如制备食品添加剂^[62]、化妆品^[63]、饮料^[64]和药品等。金耳有广阔的应用前景,在开发新药和食品领域还有更多的工作可以做。

4 展望

金耳含有丰富的氨基酸、蛋白质、维生素、尼克酸等营养成分,营养价值颇高,国内外食用菌专家对其关注度越来越高,对其营养成分、栽培技术、生物活性、应用开发的研究越来越多,并都取得一定的成果。目前,金耳的人工栽培技术不断完善,工厂化栽培规模越来越大。利用分子生物学手段筛

选和创制出优良的金耳菌株用于工厂化栽培,保证金耳菌种的遗传稳定性,并不断优化金耳优良菌株的袋料配方,扩大金耳的生产规模。金耳富含多糖、多酚、黄酮、多肽等功效成分,有关金耳多糖应用的相关研究较多,对其他成分的研究报道较少,应利用现代精密仪器和现代生物技术手段对金耳的有效成分充分开发研究,确定功效成分理化性质、作用机制和构效关系,充分应用在食品、药品和化妆品等领域,延伸金耳的产业链条,从而提升金耳的附加值。

参考文献

- [1] 杨林雷,李荣春,曹瑶,等.金耳的学名及分类地位考证[J].食用菌,2020,28(4):252-255.
- [2] 高显昕.金耳袋料栽培关键技术研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [3] 丁湖广.金耳特性及高产优质栽培技术[J].北京农业,2006(10):20-21.
- [4] 汪虹.金耳药理活性及其多糖结构研究进展[J].食用菌学报,2005,12(4):53-56.
- [5] 熊谱成.几种有开发价值的新药用菌[J].专业户,2004(4):43.
- [6] 曹瑶,杨林雷,李荣春,等.金耳培养物的物种组成及营养运输关系[J].食用菌学报,2022,29(2):48-53.
- [7] 黄年来,吴经纶.金耳菌种分离法初步研究[J].食用菌,1983(6):1-2.
- [8] 武倩.金耳有效菌种鉴定及制备技术研究[D].河北保定:河北农业大学,2024.
- [9] 吴锡鹏,程新强.金耳高产栽培技术研究[J].中国食用菌,1993(3):27-29.
- [10] 刘书畅,李荣春,马布平,等.金耳菌种生产技术研究[J].中国食用菌,2019,38(9):94-99.
- [11] 田果廷,赵丹丹,赵永昌.金耳有效菌种的制备技术研究[J].西南农业学报,2010,23(5):1620-1624.
- [12] 叶彬.金耳菌种的分子鉴定及出菇实验[D].福州:福建农林大学,2013.
- [13] FAN J, CHU Z Z, LI L, et al. Physicochemical properties and microbial quality of *Tremella aurantialba* packed in antimicrobial composite films[J]. Molecules, 2017, 22(3):500.
- [14] 唐松明,何俊,张小雷,等.金耳栽培技术研究进展[J].中国食用菌,2018,37(4):1-4.
- [15] 曹瑶,沈真辉,杨林雷,等.采用单孢杂交技术判定金耳极性[J].食用菌学报,2024,31(1):38-44.
- [16] 沈真辉,曹瑶,李梦杰,等.基于基因组数据解析金耳A和B交配型位点结构[J].菌物学报,2024,43(2):16-17.
- [17] 汪虹,瞿伟菁,曹群华.金耳的液体发酵研究[J].食用菌学报,2003,10(4):29-33.
- [18] 董昌金.金耳菌丝体液体深层发酵和多糖提取研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):342-344.
- [19] 周超,马银鹏,包旭翔,等.响应面法优化黑木耳液体菌种发酵配方及条件[J].山西农业科学,2023,51(6):653-662.
- [20] 黄春燕,宫志远,刘路明,等.不同碳氮源对金针菇液体菌种培

- 养的影响[J]. 山东农业科学, 2020, 52(11): 138-140.
- [21] 钟鑫荣, 白伟娟, 周春梅, 等. 蛹虫草液体发酵培养基的响应面法优化及其抗氧化活性测定[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2023, 35(4): 414-421.
- [22] 康林芝, 林小乔, 金磊, 等. 金耳深层发酵培养基筛选和条件优化研究[J]. 食用菌, 2019, 41(2): 13-15.
- [23] 杨学英. 金耳液体种及袋料栽培技术研究[D]. 陕西汉中: 陕西理工大学, 2021.
- [24] 徐子昕, 胡宝, 李东晓, 等. 一株野生口蘑的鉴定及生物学特性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(17): 171-177.
- [25] 潘长滢, 王玉珊, 黄秋月, 等. 卷须猴头菌的鉴定及生物学特性研究[J]. 浙江农业学报, 2024, 36(10): 2229-2237.
- [26] 郑淑芳, 刘正南. 金耳的生物学性状研究[J]. 食用菌, 1987(2): 25-26.
- [27] 张林. 金耳栽培技术[J]. 农村实用技术, 2005(11): 37-38.
- [28] 刘欣, 刘虹, 赵照林, 等. 金耳栽培条件的初步研究[J]. 中国食用菌, 2019, 38(5): 15-17.
- [29] 刘正南, 郑淑芳. 金耳的生理特性及有效优良菌种的制备原理[J]. 中国食用菌, 1995(5): 10-11.
- [30] 刘正南, 郑淑芳, 张洪, 等. 金耳代料栽培及转色机制[J]. 食用菌, 1990(1): 24-25.
- [31] 岳万松, 李雪松, 刘绍雄, 等. 金耳栽培常见问题及对策探讨[J]. 中国食用菌, 2022, 41(8): 80-85.
- [32] 钟冬季, 钟秀媚. 金耳栽培技术[J]. 食用菌, 2008, 30(4): 50-51.
- [33] 高昱昕, 栗硕, 舒斌, 等. 金耳袋料栽培基质配方优化[J]. 西北农业学报, 2021, 30(7): 1046-1052.
- [34] 田霄, 汪威, 田云霞, 等. 代料栽培金耳出耳期易感染真菌病害多样性初探[J]. 食用菌, 2020, 42(2): 68-71.
- [35] 田果廷, 陈卫民, 苏开美, 等. 金耳代料栽培技术研究[J]. 食用菌学报, 2012, 19(1): 43-46.
- [36] 尚陆娥, 刘春丽, 李建英, 等. 用桉树木屑培养金耳菌种试验[J]. 现代食品, 2019, 12(23): 96-98.
- [37] 杨林, 刘润叶. 金耳椴木栽培技术[J]. 四川农业科技, 2021(10): 26-27.
- [38] 桂明英, 浦春翔, 杨红. 金耳人工段木栽培中的关键技术[J]. 中国食用菌, 2000, 19(5): 25-27.
- [39] 汪欣, 刘平, 孙朴. 金耳人工栽培技术研究[J]. 食用菌, 1989(5): 32-33.
- [40] 游金坤, 伍娟霞, 邓雅元, 等. 金耳椴木栽培与代料栽培营养成分与风味特征分析比较[J]. 中国食用菌, 2020, 39(11): 89-94.
- [41] ZHOU S, TANG Q J, ZHANG Z, et al. Nutritional composition of three domesticated culinary-medicinal mushrooms: *Oudemansiella sudmuisida*, *Lentinus squarrosulus*, and *Tremella aurantialba*[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2015, 17(1): 43-49.
- [42] 韩志强, 杨慧珍, 李光乐, 等. 金耳的营养成分分析及其在食品工业中的应用[J]. 现代食品, 2023, 29(16): 118-120.
- [43] 王斐斐, 郑永标. 金耳的化学成分、生物活性及产品开发生态进展[J]. 食药用菌, 2022, 30(5): 356-361.
- [44] SUN T, WANG R, SUN D, et al. High-efficiency production of *Tremella aurantialba* polysaccharide through basidiospore fermentation[J]. Bioresource Technology, 2020, 318: 124268.
- [45] YAN Y H, WANG M T, CHEN N, et al. Isolation, structures, bioactivities. application and future prospective for polysaccharides from *Tremella aurantialba*: A review[J]. Frontiers in Immunology, 2022, 13: 1091210.
- [46] 朱欣华, 瞿伟菁, 王熠非. 金耳菌丝体多糖对SD大鼠降血糖作用机制研究[C]//动物学专辑—上海市动物学会1999年年会论文集, 1999.
- [47] 张雯, 瞿伟菁, 张晓玲, 等. 金耳菌丝体多糖降血糖作用研究[J]. 营养学报, 2004(4): 300-303.
- [48] 苏槟楠, 王常青, 韩建欣, 等. 金耳发酵液对糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J]. 中国食用菌, 2006(5): 43-44.
- [49] 邓云霞. 金耳胞外多糖的结构分析及其生物学活性的探讨[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [50] 邓超, 付海田, 尚京迎, 等. 金耳发酵液多糖的制备、分析及生物活性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(1): 67-73.
- [51] 高观世, 侯波, 吴素蕊, 等. 金耳多糖化学与生物活性研究进展及对研究的思考[J]. 中国食用菌, 2007(4): 8-10.
- [52] 杜秀菊. 金耳子实体多糖的分离纯化、结构鉴定、分子修饰和生物活性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [53] 任丽蓉, 樊莹润, 李泽林, 等. 金耳多糖对环磷酰胺诱导免疫低下小鼠的保护作用[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(9): 85-90.
- [54] DU X J, ZHANG J S, YANG Y, et al. Purification, chemical modification and immunostimulating activity of polysaccharides from *Tremella aurantialba* fruit bodies[J]. Journal of Zhejiang University- Science B, 2010, 11(6): 437-442.
- [55] 李飞寰. 金耳多糖的制备、表征及其抗氧化活性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [56] 王宣东. 金耳多糖的提取、分离和纯化及抗氧化活性的研究[D]. 山东聊城: 聊城大学, 2018.
- [57] 谢红, 刘春卉, 苏槟楠, 等. 金耳 8254 的营养价值和药理研究[J]. 中国食用菌, 2000(6): 39-41.
- [58] 牛四坤, 王飞燕. 金耳菌丝体发酵物抗凝血活性研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2012, 26(1): 75-78.
- [59] 刘春卉, 谢红, 苏槟楠, 等. 金耳菌丝发酵产物抗血栓的生物活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2003(4): 289-292.
- [60] 孟丽君, 赵玉明, 刘芝华, 等. 金耳糖肽胶囊的基础药理学研究[J]. 食用菌学报, 2000, 7(3): 31-36.
- [61] 申高梅, 赵虹, 党雁华, 等. 金耳胶囊对脑血管病的治疗作用[J]. 脑与神经疾病杂志, 1997(3): 183-185.
- [62] 高观世, 郑跃玲, 李云生. 金耳粗多糖的制备及其在面包生产中的应用[J]. 食品科学, 2002(2): 83-85.
- [63] 黄楚明, 黄楚杰, 黄楚佳. 一种金耳多糖提取物及其在化妆品中的应用: CN201610916887.8. [P]. 2017-03-15.
- [64] 苏槟楠, 谢红, 刘春卉, 等. 低糖型金耳饮料口感调配研究初探[J]. 太原科技, 2003(6): 75-76.