



秀珍菇研究进展

刘凌云¹ 周宇¹ 陈华² 翁伯琦^{2,3} 林冬梅¹ 刘朋虎^{*1} 江枝和⁴

1 福建农林大学园艺学院 国家菌草工程技术研究中心 福建 福州 350002

2 福建省农业科学院农业生态研究所 福建 福州 350003

3 福建省红壤山地农业生态过程重点实验室 福建 福州 350003

4 福建省农业科学院土壤与肥料研究所 福建 福州 350003

摘要: 秀珍菇起源于印度, 经驯化后由中国台湾引入内地, 其口感鲜美, 具有丰富的营养价值及抗肿瘤活性物质。近年来产业规模日益增大, 具有很好的发展前景。本文从秀珍菇栽培技术、遗传育种、品质、药理功能、采后保鲜及废弃菌渣再利用等方面综述秀珍菇的研究现状及进展, 以期为今后秀珍菇产业的健康发展提供参考和理论依据。

关键词: 秀珍菇, 遗传育种, 栽培技术, 采后保鲜

Research progress of *Pleurotus geesteranus*

LIU Ling-Yun¹ ZHOU Yu¹ CHEN Hua² WENG Bo-Qi^{2,3} LIN Dong-Mei¹

LIU Peng-Hu^{*1} JIANG Zhi-He⁴

1 College of Horticulture, National Engineering Research Center of JUNCAO Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China

2 Institute of Agricultural Ecology, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China

3 Fujian Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Red Soil Hilly Region, Fuzhou, Fujian 350003, China

4 Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China

Abstract: *Pleurotus geesteranus* originated in India and was introduced into Chinese mainland from Taiwan province after domestication. Its taste is delicious, with rich nutritional value and anti-tumor active substances. In recent years, its industrial scale is increasing, and it has a good development prospect. In this paper, the research status and progress of *P. geesteranus* were reviewed from the aspects of cultivation technology, genetics and breeding, quality and pharmacological function, postharvest preservation and spent mushroom substrate. It will provide reference and theoretical basis for the healthy development of *P. geesteranus* industry in the future.

Keywords: *Pleurotus geesteranus*, Genetics and breeding, Cultivation technology, Postharvest fresh-keeping

Foundation items: Spark Program of Fujian Provincial Department of Science and Technology (2019S0050); Fuzhou Modern Mushroom Program in 2019

***Corresponding author:** Tel: 86-591-83789223; E-mail: phliu1982@163.com

Received: 22-05-2020; **Accepted:** 25-08-2020; **Published online:** 15-09-2020

基金项目: 福建省科技厅星火计划(2019S0050); 2019年福州市现代菌业项目

*通信作者: Tel: 0591-83789223; E-mail: phliu1982@163.com

收稿日期: 2020-05-22; 接受日期: 2020-08-25; 网络首发日期: 2020-09-15

秀珍菇(*Pleurotus geesteranus*)作为侧耳科侧耳属的真菌, 口感鲜美, 富含丰富的营养物质、蛋白质、微量元素、氨基酸及维生素^[1]。秀珍菇的菌丝体及子实体中的多糖不仅可以提高人体免疫力, 还具有抗肿瘤的功能, 对酒精性肝病具有较好的抗氧化和保护作用^[2]。

秀珍菇原产于印度南部查摩省, 1974 年被菌物学家 Jandiaik C. L 驯化成功, 20 世纪 90 年代末被福州日胜食品有限公司林俊仁先生从中国台湾引进, 在罗源县试种 150 万袋获得成功, 在福建、浙江、河南、山东、安徽、江苏等地开始较大面积栽培^[3-4]。随着栽培面积的增加, 科研人员也开始了一系列的研究工作。近些年来, 秀珍菇的研究主要集中在栽培技术、优良菌种的选育、品质的分析检测、药理功能、采后保鲜和废菌渣再利用等方面。本文将近些年来秀珍菇的研究现状进行综述, 为秀珍菇产业发展及科研人员的研究提供参考。

1 栽培技术

常规栽培秀珍菇的培养料配方通常是以木屑和棉籽壳为主, 工厂化栽培的企业会根据企业特点使用不同的栽培料配方。张翠娥等^[5]指出目前灌南县秀珍菇生产企业成熟配方为: (1) 杂木屑 20%, 棉籽壳 40%, 麦麸 28%, 玉米芯 10%, 轻质碳酸钙 1%, 石灰 1%; (2) 杂木屑 25%, 棉籽壳 50%, 麦麸 23%, 轻质碳酸钙 1%, 石灰 1%。常规栽培配方都是在此基础上进行微调改良, 由于近些年棉籽壳价格的提高导致成本增加, 研究人员将研究重心放在了所在地区农业废弃物再利用栽培秀珍菇上。一方面可以降低制袋成本, 另一方面实现了资源整合再利用。这种研究对于生态保护具有极深刻的意义, 在秀珍菇上农业废弃物再利用应用的较多也较为广泛, 各个地区都在因地制宜, 选择适合当地使用的农业废弃物进行栽培秀珍菇。

Zhang 等^[6-7]用山核桃壳及油茶壳代替棉籽壳栽培, 结果表明: 加入山核桃壳对菌丝生长有促

进作用, 能够提高产量、生物效率和粗纤维、灰分、氨基酸含量。隆海玉等^[8]利用草菇菌渣栽培秀珍菇, 从而得出: 以草菇菌渣 50%、杂木屑 32%、麦麸 15%、过磷酸钙 1%、石膏 1%、石灰 1% 配方栽培的秀珍菇第一潮生物学效率最高, 达到 20.3%, 其菌丝生长速度达 7.3 mm/d。刘明等^[9]利用金针菇菌渣设置 5 个不同的配方, 结果表明: 金针菇菌渣 40%、棉籽壳 50%、麸皮 10% 的经济效益最高, 更适合生产。曲玲等^[10]等结果表明: 芦笋秸秆 40%、玉米芯 30%、木屑 10%、麸皮 13%、豆粕 3%、石灰 3%、石膏 1% 栽培秀珍菇生物学效率及投入产出比最为适宜, 其生物学效率为 65.03%, 投入产出比为 1:5.16, 较 70% 玉米芯成本降低 13.70%。Chen 等^[11]以水葫芦为原料代替木屑栽培秀珍菇, 对秀珍菇子实体产量、氨基酸和重金属含量进行了测定, 结果表明: 当水葫芦和木屑比例相等时, 秀珍菇产量和氨基酸含量最高且重金属含量未超标。陈红霞等^[12]以竹屑替代棉籽壳, 结果表明: 木屑 58%、竹屑 27%、棉籽壳 3%、麸皮 10%、石灰 2% 的配方较好, 生物学效率为 65.4%。卢政辉^[13]利用巨菌草设置了 10 个配方栽培秀珍菇, 结果表明: 巨菌草 15%、棉籽壳 25%、陈化木屑 45%、麸皮 15% 单产较高, 单袋利润较高, 而且能通过以草代木解决滥砍滥伐问题, 实现生态可持续发展。安颖等^[14]以芡实壳粉碎料为试验材料进行栽培, 从而得出: 棉籽壳 30%、芡实壳 45%、麦麸 15%、木屑 1%、磷肥 1%、石膏 1%、糖 1% 的配方下, 芡实壳不仅可以实现废弃物再利用, 而且能够降低生产中的成本, 还能有效地减少秀珍菇子实体内的棉酚残留, 这对于生态友好型食用菌的发展具有极其重要的意义。

2 遗传育种与分子生物学

遗传育种主要有 6 种较为常用的选育方式, 分别是选择育种、杂交育种、自交育种、原生质体融合育种、诱变育种及基因工程育种^[15]。秀珍

菇传统的育种方式主要是选择育种及自交育种,随着科研水平的高速发展,原生质体融合育种、诱变育种及基因工程育种更受科研人员的青睐,因为这3种育种方式较传统的育种方式能够在更短的时间得到较多的变异品种,极大地加快了育种的进程,也可以有目的地筛选目标变异品种,有利于获得更优良的菌株。

秀珍菇是由双因子控制的四极性异宗配合担子菌,这也就使得秀珍菇的变异性较强,较易获得新菌株,因其具有锁状联合,在形态学上便于区分。黄良水等^[16]利用从罗源引进的秀珍菇品种进行批量生产,选择表现型较好的子实体进行组织分离,经过系统的自然筛选,最终培育出了适合当地生产、高产、优质、抗逆性强的秀珍菇新菌株青秀2号,新菌株的生物学效率为64%,比原菌株增产6.3%,而且种性稳定。李碧琼等^[17]通过对15个秀珍菇菌株的菌丝生长状况、生育期、子实体产量和生物学性状等进行比较,筛选出6个生长状况良好、生育期适中、产量较高和生物学性状较好的优良菌株作为秀珍菇杂交亲本。Avin等^[18]首次在秀珍菇杂交育种中引入配合力、遗传力等概念,对原基期、产量等12个目标性状的配合力和杂种优势进行分析,同时估计遗传方差分量、遗传力等遗传参数,并通过形态学特征和PCR-RFLP鉴定杂交子。张俊玲等^[19]以秀珍菇商业菌株“3108”为亲本进行自交,通过对子代群体各性状综合分析,从中选育出生长快、产量高、菇盖厚且不易碎、柄粗长、抗杂和抗逆性强、栽培周期短等优良性状的秀珍菇新菌株“申秀1号”,前三潮菇平均单袋产量为334 g,生物学效率高达74%,比亲本菌株增产7.1%,而且种性稳定;经ISSR (inter-simple sequence repeat)鉴定表明,该菌株具有自身特异性。张亚青等^[20]采用原生质体紫外诱变育种方法进行高产 γ -氨基丁酸的秀珍菇菌株选育工作,突变株 γ -氨基丁酸含量较出发菌株最多提高了196.3%和237.8%。

崔晓等^[21]采用正交试验法研究影响秀珍菇原生质体制备和再生的条件,结果表明:秀珍菇菌丝在改良液体PD培养基中摇瓶培养5 d,以0.6 mol/L甘露醇为稳渗剂,在2.5%溶壁酶、30 °C条件下水浴4 h,得到的原生质体浓度最大,为 4.23×10^7 个/mL。在TB3再生培养基中采用单层混菌法接种原生质体其再生率最大,为2.35%。孙晓瑞等^[22]以秀珍菇单核菌丝为材料,用溶壁酶进行原生质体的制备,结果表明:菌龄为8 d菌丝体,以0.6 mol/L甘露醇+10 mmol/L Tris-HCl为稳渗剂,酶解温度29 °C、酶浓度1.6%的条件下酶解160 min,原生质体产量达到 3.5×10^7 CFU/mL,原生质体再生率达到1.4%。李光环^[23]选用“中农袖珍”为材料,结果表明:以0.6 mol/L蔗糖做稳渗剂,取0.04 g菌丝、浓度为2%的溶壁酶酶解液中35 °C酶解2 h,菌龄8 d,获得原生质量为 2.4×10^7 个/mL。张鹏等^[24]以刺芹侧耳双核菌株和秀珍菇单孢菌株为亲本分别制备原生质体,50 °C水浴20 min热灭活后,两菌株原生质体进行融合(25% PEG融合剂、pH 8.0、30 °C水浴下融合20 min),通过锁状联合和拮抗试验得到一株融合子,经RAPD、ISSR分子标记证明融合子含有双亲遗传物质。张鹏^[25]将筛选出来的杏鲍菇及秀珍菇作为亲本菌株,单亲灭活后利用PEG进行融合,最终获得一株融合子R1-16,通过分子标记证明R1-16具有双亲的特异条带,是真正的融合子,并对融合子进行了简单的遗传分析。

本课题组长期以来致力于秀珍菇的新品种选育与高效栽培技术等方面的研究,并对选育出的新品种的氨基酸、蛋白质等营养物质进行了研究,以期秀珍菇辐射育种研究提供科学依据。通过研究不同剂量 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射对秀珍菇子实体氨基酸、蛋白质营养等价值的影响,测定子实体各类氨基酸含量,应用主成分分析和综合得分得出1.25 kGy的 ^{60}Co 辐射剂量为较佳剂量,辐射量为

1.00 kGy 处理的秀珍菇子实体蛋白质营养价值最高^[26-27]。王伟科等^[28-29]构建秀珍菇高质量 cDNA 文库, 采用 Illumina 高通量测序技术对秀珍菇菌丝体和子实体进行转录组测序, 并利用生物信息学方法开展基因表达谱的研究以及功能基因的预测, 对秀珍菇转录组的 UniGene 进行了生物学通路的注释和预测, 结果表明部分 UniGene 与糖类代谢、氨基酸代谢、信号传导、翻译相关通路有关。周烁红^[30]通过 Tail RCR 技术克隆了秀珍菇 *csl* 基因(*Pleurotus pulmonarius csl-1*, *Ppctl-1*), 以 RPL14 基因作参考基因, 荧光定量检测 *Ppctl-1* 基因在营养菌丝期、冷处理 12 h、原基期、珊瑚期和子实体期等不同发育时期的相对表达量, 结果表明 *Ppctl-1* 在菌丝经过 5 °C 12 h 冷处理之后的表达量最高, 表明其有可能被冷刺激诱导表达并在子实体形成的过程中起重要作用。

3 采后保鲜

秀珍菇富含丰富的营养物质, 味道鲜美且具有一定的药用价值, 因此备受人们青睐, 但由于其不耐贮藏, 采后极易引起褐变、腐烂等, 严重影响其食用价值和商品价值, 因此研究人员开始注重贮藏保鲜技术的研究^[31]。张艳君^[32]对秀珍菇褐变的原因进行了探究, 探讨不同预冷方式、贮藏温度、气调包装对秀珍菇贮藏品质的影响, 结果表明: 真空预冷处理效果较佳, 在 -1 ± 0.5 °C 环境中, 秀珍菇呼吸强度明显受到抑制, 5% O₂+25% CO₂ 气体条件下贮藏 23 d 后, 秀珍菇仍能较好地保持其商品价值和食用品质。张晓玉^[33]研究表明: 20 °C 贮藏时, 在贮藏 1 d 后 H⁺-ATP 酶、Ca²⁺-ATP 酶、SDH 酶(琥珀酸脱氢酶)活性降低, CCO 酶(细胞色素氧化酶)活力在贮藏 2 d 后也迅速降低, 低温降低能量代谢酶的活性、减少能量消耗, 延长了秀珍菇的贮藏期。王蕾等^[34]通过不同蓄冷剂与秀珍菇质量比对秀珍菇进行模拟贮藏(室温 24±2 °C)与模拟运输实验(气温 2-25 °C), 结果表明: 应用蓄冷剂能够有效保持秀珍菇的品质特

征、延缓质量损失, 维持秀珍菇表面色泽、细胞膜透性、超氧化物歧化酶活力、过氧化氢酶活力, 保持表面细胞结构完整性, 抑制丙二醛和过氧化氢积累。宋金耀等^[35]以贮藏期间的质量损失率、呼吸强度、电导率及感官指标为观测项目, 研究了不同浓度(0.1%、0.2%、0.5%和 1%)的壳聚糖保鲜剂对秀珍菇的保鲜效果, 试验结果表明: 0.2%壳聚糖保鲜剂(18-20 °C)能有效延长食用菌的贮藏时间, 有利于保证商品品质。童爱均等^[36]通过生物信息与分子生物学手段, 克隆到一个秀珍菇可靠的乙烯受体基因 *PpuETR1*, 该基因在 1-MCP 处理后表达量受到了明显的抑制, 在贮藏期间均呈下调表达, 这从分子水平说明 1-MCP 抑制了乙烯受体基因的表达, 从而减缓了乙烯信号通路对秀珍菇成熟衰老作用的反应时间。陈蔚辉等^[37]研究不同套袋包装对秀珍菇保鲜效果的影响, 结果表明: 微气孔袋的保鲜效果最好, 保鲜期达 10 d, 其失重和褐变程度低, 呼吸作用和蒸腾作用明显被抑制, 蛋白质、有机酸、维生素 C 和可溶性固形物等营养成分均能较好地保存。

4 品质及药理功能

品质及药理功能是衡量食用菌营养价值的重要指准。秀珍菇富含丰富的营养物质及抗肿瘤活性物质。近些年, 科研人员对秀珍菇氨基酸含量、活性物质、缓解酒精性肝炎及抗肿瘤物质进行了系列的研究。陈惜燕等^[38]采用高效液相色谱-蒸发光散射检测法(HPLC-ELSD)对秀珍菇的游离氨基酸组成及含量进行了测定, 结果表明秀珍菇含有大量的鲜味游离氨基酸(Glu、Gly、Asp), 所以其味道鲜美。韩建东等^[39]研究表明: 秀珍菇子实体中粗蛋白、粗纤维、总糖含量较高, 粗脂肪含量较低, 17 种氨基酸含量丰富。俞涛^[40]研究表明: 栽培料中加硒的栽培方式会显著影响子实体中的硒含量, 而且在一定浓度范围内, 随着浓度升高, 硒含量持续升高, 同时试验发现秀珍菇 169 品种较另外 2 个品种而言, 其子实体的硒含量

更高,充分说明了秀珍菇富硒能力较强。

景彦萍^[41]通过对秀珍菇子实体营养成分及其抗氧化性分析,结果表明:秀珍菇子实体可以在一定程度上增强小鼠血清和肝脏中 T-AOC、SOD 和 GSH-Px 活力,减少血清和肝脏中的 MDA 含量。吕建敏等^[42]使用 H22 荷瘤小鼠模型,发现小鼠腋部接种 H22 瘤株 3 d 后即出现明显肿块,病理切片观察结果显示模型组小鼠肿瘤细胞呈椭圆形且排列密集,表明肿瘤模型建立成功;研究还发现低、中、高剂量秀珍菇均具有的抑瘤效果,秀珍菇中、高剂量组抑瘤率分别达到 47.47% 和 48.80%,已接近阳性药 CTX 的抑瘤效果 (55.08%),符合抗肿瘤中草药有效性的标准(抑瘤率>30%)要求,从病理切片上也观察到荷瘤小鼠经秀珍菇处理后出现了肿瘤细胞坏死且坏死区域明显增加现象,充分验证了秀珍菇的抑瘤效果。Song 等^[43-44]研究了秀珍菇菌丝体多糖对急性酒精性肝病的抗氧化和保肝作用,结果表明:大鼠肝脏的多项指标均有不同程度的改善,炎症性因子水平下降、减少脂质堆积、防止氧化应激、改善炎症症状,通过肝脏组织病理学证实了秀珍菇菌丝体多糖对小鼠急性酒精性肝病有一定的缓解作用,表明秀珍菇菌丝体多糖具有治疗酒精性肝炎的潜力,秀珍菇菌丝体可作为一种功能性食品预防酒精性肝炎及其并发症的天然药物。

5 废菌渣再利用

随着秀珍菇栽培规模的不断扩大,废弃菌渣也日益增多,废弃菌渣不仅给环境带来了一定的危害,而且造成了一定的资源浪费,所以近些年来秀珍菇废弃菌渣的再利用得到了科研工作者的关注^[45]。废弃菌渣再利用主要有以下几个方面:菌渣栽培别的菌菇、菌渣发酵做基肥、菌渣饲料化、菌渣资源化利用^[46-48]。万水霞等^[49]将秀珍菇菌渣处理后以不同比例栽培双孢蘑菇,结果表明:与常规配方相比,具有菌丝生长快、产量高、成本低等优点,并且随着菌渣比例的增加菌

丝生长速度有增加的趋势;其中,在培养基培养料中加入 30% 秀珍菇菌渣栽培双孢蘑菇,生物学效率达 63%,比常规栽培料高出 10%,说明菌渣用于双孢蘑菇生产是可行且有良好效果。杨霞等^[50]探究不同比例腐熟及新鲜秀珍菇菌渣替代市售基质(松树皮)作为栽培基质对霍山石斛生长的影响,结果表明:菌渣腐熟后 pH 及电导率升高,严重影响石斛的成活率,而新鲜菌渣的总孔隙度、持水孔隙度是影响存活率及根长根数的主要因子。

6 前景展望

相较于其他食用菌,我国驯化栽培秀珍菇的历史较为短暂,所以关于秀珍菇的研究也较少。但是秀珍菇具有极好的经济效益和市场前景,已经引起越来越多科研人员的关注。综合研究现状及产业发展的瓶颈问题,提出今后的研究重点:(1) 优良新品种的选育。经过努力,近年来科研人员选育了一些秀珍菇新品种,但是目前还未找到各地均适合的高产新菌株,部分地区仍然使用中国台湾的品种,而且不少地方已经出现菌株退化。(2) 栽培技术有待于进一步提升。相较于平菇,秀珍菇转化率偏低。近年来,各地也进行了工厂化栽培秀珍菇的探索,但是未能大面积推广。今后可以从原料、配方筛选、液体菌种的研发、工厂化栽培技术等方面进一步提高秀珍菇的栽培技术。(3) 保鲜及加工技术。研究出更好的保鲜方法,延长货架期。根据秀珍菇对心脏、肥胖、糖尿病等的调节功能,开发出更多具有保健功效的秀珍菇产品。(4) 秀珍菇菌渣再利用相较于别的食用菌菌渣再利用研究得较少,研究空间极大,亟待科研人员深入系统的研究。

REFERENCES

- [1] Lei JG, Liu PH, Jiang ZH, et al. Safety evaluation of heavy metals and pesticide residues and nutrient analysis of a new mutant strain of *Pleurotus geesteranus*[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(9): 1741-1745 (in Chinese)

- 雷锦桂, 刘朋虎, 江枝和, 等. 秀珍菇新菌株营养成分及其重金属与农药残留量分析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1741-1745
- [2] Wang Q, Li H, Chen TT, et al. Yield, polysaccharides content and antioxidant properties of *Pleurotus abalonus* and *Pleurotus geesteranus* produced on asparagus straw as substrate[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 134: 222-226
- [3] Yang AL. Large scale and high yield cultivation techniques of *Pleurotus geesteranus* in Luoyuan County[J]. Edible Fungi, 2019, 41(5): 51-54,57 (in Chinese)
杨爱玲. 罗源县秀珍菇规模化高产栽培技术[J]. 食用菌, 2019, 41(5): 51-54,57
- [4] Lin H. The current situation and development countermeasure of *Pleurotus geesteranus* industry in Luoyuan County, Fujian[D]. Fuzhou: Master's Thesis of Fujian Agriculture and Forestry University, 2012 (in Chinese)
林辉. 福建罗源县秀珍菇产业现状与发展对策探讨[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2012
- [5] Zhang CE, Sun H, Zhao SG. High efficiency cultivation technology of *Pleurotus geesteranus*[J]. Agricultural Development and Equipments, 2018(3): 158,156 (in Chinese)
张翠娥, 孙红, 赵书光. 秀珍菇高效栽培技术[J]. 农业开发与装备, 2018(3): 158,156
- [6] Zhang JP, Li XB, Ying Y, et al. Effect of *Carya cathayensis* sarg shell substrate on yield and nutrient amount of *Pleurotus geesteranus*[J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2019, 7(11): 11-23
- [7] Zhang JP, Li XB, Ying Y, et al. Effects of the *Camellia oleifera* shell substrate on the yield and nutritional composition of *Pleurotus geesteranus*[J]. Agricultural Sciences, 2019, 10(10): 1298-1311
- [8] Long HY, Cheng LX. Study on the cultivation of *Pleurotus ostreatus* with the residue of *Volvariella volvacea*[J]. Rural Science & Technology, 2019(3): 55-57 (in Chinese)
隆海玉, 程隆祥. 利用草菇菌渣栽培秀珍菇的研究[J]. 农村科技, 2019(3): 55-57
- [9] Liu M, Xiao ZT, Qiu YM, et al. Utilization of industry-cultivated *Flammulina velutipes* spent compost as substrate for *Pleurotus geesteranus* cultivation[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2016, 43(10): 48-52 (in Chinese)
刘明, 肖自添, 邱耀明, 等. 利用金针菇渣栽培秀珍菇试验[J]. 广东农业科学, 2016, 43(10): 48-52
- [10] Qu L, Wan LC, Ren HX, et al. Cultivating *Pleurotus cornucopiae* in Asparagus straw[J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(10): 29-32 (in Chinese)
曲玲, 万鲁长, 任海霞, 等. 芦笋秸秆栽培秀珍菇试验[J]. 农学学报, 2019, 9(10): 29-32
- [11] Chen XX, Jiang ZH, Chen X, et al. Use of biogas fluid-soaked water hyacinth for cultivating *Pleurotus geesteranus*[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(7): 2397-2400
- [12] Chen HX, Long Q, Zhang S, et al. Study on *Pleurotus geesteranus* cultivating with bamboo dust instead of cotton seed hull[J]. Edible Fungi of China, 2019, 38(9): 29-32,58 (in Chinese)
陈红霞, 龙琦, 张生, 等. 利用竹屑代替棉籽壳栽培秀珍菇的研究[J]. 中国食用菌, 2019, 38(9): 29-32,58
- [13] Lu ZH. Screening of culture formulation of *Pleurotus pulmonarius* using *Pennisetum* spp. as substitute[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2018(4): 19-22 (in Chinese)
卢政辉. 巨菌草代料栽培秀珍菇配方筛选试验[J]. 福建农业科技, 2018(4): 19-22
- [14] An Y, Wei YH, Wang HX, et al. Cultivation formulas for *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* using foxnut shells[J]. Northern Horticulture, 2019(23): 141-145 (in Chinese)
安颖, 魏云辉, 王洪秀, 等. 芡实壳栽培平菇与秀珍菇培养基配方试验[J]. 北方园艺, 2019(23): 141-145
- [15] Mhlaba ZB, Mashilo J, Shimelis H, et al. Progress in genetic analysis and breeding of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray): a review[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 237: 112-119
- [16] Huang LS, Xu LS, Hong JL, et al. The breeding and application of new strain Qingxiu 2 of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Edible Fungi of China, 2011, 30(2): 20-21 (in Chinese)
黄良水, 徐立胜, 洪金良, 等. 秀珍菇新菌株青秀 2 号的选育与应用[J]. 中国食用菌, 2011, 30(2): 20-21
- [17] Li BQ, Chen ZM, Lin JY, et al. Screening of hybrid parent on *Pleurotus geesteranus*[J]. Edible Fungi of China, 2015, 34(4): 16-20 (in Chinese)
李碧琼, 陈政明, 林俊扬, 等. 秀珍菇杂交亲本筛选试验[J]. 中国食用菌, 2015, 34(4): 16-20
- [18] Avin FA, Bhassu S, Rameeh V, et al. Genetics and hybrid breeding of *Pleurotus pulmonarius*: heterosis, heritability and combining ability[J]. Euphytica, 2016, 209(1): 85-102
- [19] Zhang JL, Zhang LJ, Li L, et al. Inbreeding and selection of new strain Shenxiu-1 of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Microbiology China, 2015, 42(8): 1539-1548 (in Chinese)
张俊玲, 章炉军, 李亮, 等. 自交选育秀珍菇新菌株“申秀 1 号”[J]. 微生物学通报, 2015, 42(8): 1539-1548
- [20] Zhang YQ, Zhang X, Fu JW, et al. Breeding of GABA-rich *Pleurotus geesteranus* strains through an ultraviolet ray-mediated protoplast mutagenesis method[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2019, 31(3): 198-205 (in Chinese)

- 张亚青, 张羨, 付佳伟, 等. 原生质体紫外诱变法选育高产 γ -氨基丁酸秀珍菇菌株[J]. 浙江科技学院学报, 2019, 31(3): 198-205
- [21] Cui X, Cong QQ, Wang QW, et al. Study on the separation and regeneration of *Pleurotus pulmonarius* protoplast[J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(5): 44-48 (in Chinese)
崔晓, 丛倩倩, 王庆武, 等. 秀珍菇原生质体高效制备与再生研究[J]. 中国食用菌, 2018, 37(5): 44-48
- [22] Sun XR, Chen BW, Zhang XL, et al. Optimization of preparation conditions of *Pleurotus geesterani* monocaryon mycelia protoplast[J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(4): 70-76 (in Chinese)
孙晓瑞, 陈博文, 张小林, 等. 秀珍菇单孢子菌株原生质体制备条件的优化[J]. 生物技术通报, 2018, 34(4): 70-76
- [23] Li GH. Study on protoplast preparation regeneration and fusion of different *Pleurotus* varieties[D]. Handan: Master's Thesis of Hebei University of Engineering, 2018 (in Chinese)
李光环. 侧耳属不同品种原生质体制备再生及融合技术的应用研究[D]. 邯郸: 河北工程大学硕士学位论文, 2018
- [24] Zhang P, Gong LF, Zhu J, et al. Fusion of *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus geesteranus* protoplasts and identification of fusant[J]. Acta Edulis Fungi, 2013, 20(3): 1-5 (in Chinese)
张鹏, 龚玲凤, 朱坚, 等. 刺芹侧耳与秀珍菇细胞融合及融合子的鉴定[J]. 食用菌学报, 2013, 20(3): 1-5
- [25] Zhang P. Technical research of protoplast fusion between *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus pulmonarius*[D]. Fuzhou: Master's Thesis of Fujian Agriculture and Forestry University, 2012 (in Chinese)
张鹏. 杏鲍菇与秀珍菇融合育种技术研究[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2012
- [26] Wang ZR, Jiang ZH, Yan Z, et al. The principal component analysis of all kinds of amino acids' effect in *Pleurotus geesteranus* caused by ^{60}Co - γ ray radiation mutagenesis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(24): 54-57 (in Chinese)
王正荣, 江枝和, 鄢铮, 等. ^{60}Co - γ 射线辐射诱变秀珍菇的各类氨基酸效应的主成分分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(24): 54-57
- [27] Weng BQ, Jiang ZH, Lei JG, et al. Effect of ^{60}Co radiation on nutritional value of protein in the fruit bodies of *Pleurotus geesteranus*[J]. Acta Laser Biology Sinica, 2010, 19(2): 184-188 (in Chinese)
翁伯琦, 江枝和, 雷锦桂, 等. ^{60}Co 辐射对秀珍菇子实体蛋白质营养水平的影响[J]. 激光生物学报, 2010, 19(2): 184-188
- [28] Wang WK, Song JL, Yan J, et al. Transcriptome sequencing and analysis of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2019, 42(2): 292-299 (in Chinese)
王伟科, 宋吉玲, 闫静, 等. 秀珍菇转录组测序和初步分析[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(2): 292-299
- [29] Wang WK, Song JL, Lu N, et al. Cloning and expression of the *PpFBD1* involved in primordium formation of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(1): 93-97 (in Chinese)
王伟科, 宋吉玲, 陆娜, 等. 秀珍菇原基形成相关基因 *PpFBD1* 的克隆与表达研究[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(1): 93-97
- [30] Zhou SH. Cloning and expression analysis of the *Ppchl-1* gene related to change-temperature fruiting from *Pleurotus pulmonarius*[D]. Jinhua: Master's Thesis of Zhejiang Normal University, 2016 (in Chinese)
周烁红. 秀珍菇变温结实相关 *Ppchl-1* 基因的克隆及表达分析[D]. 金华: 浙江师范大学硕士学位论文, 2016
- [31] Shi JY, Gao LP, Wang Q, et al. The latest research advances in preservation technology of edible fungi[J]. The Food Industry, 2017, 38(6): 278-282 (in Chinese)
史君彦, 高丽朴, 王清, 等. 食用菌保鲜技术的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 278-282
- [32] Zhang YJ. Study on browning reason and keeping freshness technique of *Pleurotus geesteranus*[D]. Fuzhou: Master's Thesis of Fujian Agriculture and Forestry University, 2013 (in Chinese)
张艳君. 秀珍菇褐变原因及保鲜技术方法研究[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2013
- [33] Zhang XY. Effects of different temperature storage on physiology, taste component and energy metabolism of *Pleurotus geesteranus*[D]. Shenyang: Master's Thesis of Shenyang Agricultural University, 2017 (in Chinese)
张晓玉. 贮藏温度对秀珍菇采后生理、呈味物质及能量代谢的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学硕士学位论文, 2017
- [34] Wang L, Yu LF, Li JH, et al. Cell membrane injury and enzyme activity of *Pleurotus geesteranus* during simulated storage and transportation with cool-storage agent[J]. Food Science, 2019, 40(1): 270-277 (in Chinese)
王蕾, 俞凌峰, 李君豪, 等. 基于蓄冷剂模拟贮运的秀珍菇细胞膜损伤和酶活力变化[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 270-277
- [35] Song JY, Xu Y, Xie ZL, et al. Effects of chitosan on the preservation of *Pleurotus geesteranus*[J]. Edible Fungi of China, 2015, 34(5): 68-71, 75 (in Chinese)
宋金耀, 徐银, 谢振林, 等. 不同浓度壳聚糖保鲜剂对秀珍菇的保鲜效果[J]. 中国食用菌, 2015, 34(5): 68-71, 75
- [36] Tong AJ, Li L, Zhong QG, et al. Cloning of ethylene receptor gene from *Pleurotus geesteranus* and its expression in preservation of 1-MCP[J/OL]. Genomics and Applied

- Biology, 2019[2020-05-06] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.Q.20190228.1704.006.html> (in Chinese)
童爱均, 李凌, 钟千贵, 等. 秀珍菇乙烯受体基因克隆及其在 1-MCP 保鲜处理下的表达[J/OL]. 基因组学与应用生物学, 2019[2020-05-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.Q.20190228.1704.006.html>
- [37] Chen WH, Zhuo HY. Effect of different bagging on the fresh-keeping effect of post harvest *Pleurotus geesteranus*[J]. Edible Fungi, 2006, 28(3): 49-50 (in Chinese)
陈蔚辉, 卓海燕. 不同套袋包装对采后秀珍菇保鲜效果的影响[J]. 食用菌, 2006, 28(3): 49-50
- [38] Chen XY, Pu P, Kang JQ, et al. Comparison of composition and content of free amino acids in eight kinds of edible mushrooms[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2017, 45(5): 183-190 (in Chinese)
陈惜燕, 蒲鹏, 康靖全, 等. 8 种食用菌游离氨基酸的组成及含量比较[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(5): 183-190
- [39] Han JD, Wan LC, Yang P, et al. Effects of *Pleurotus eryngii* spent substrate on the growth and nutritional components of *Pleurotus pulmonarius*[J]. Mycosystema, 2014, 33(2): 433-439 (in Chinese)
韩建东, 万鲁长, 杨鹏, 等. 刺芹侧耳菌渣对肺形侧耳(秀珍菇)生长和营养成分的影响[J]. 菌物学报, 2014, 33(2): 433-439
- [40] Yu T. The research on the enrichment of selenium in *Pleurotus geesteranus* and its effect on yield and quality[D]. Hefei: Master's Thesis of Anhui Agricultural University, 2016 (in Chinese)
俞涛. 硒元素在秀珍菇中的富集研究及其对产量和品质的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学硕士学位论文, 2016
- [41] Jing YP. Analysis of nutritional components and antioxidant activities of fruit bodies of three edible mushrooms[D]. Taiyuan: Master's Thesis of Shanxi University, 2019 (in Chinese)
景彦萍. 三种食用菌子实体的营养成分及抗氧化性分析[D]. 太原: 山西大学硕士论文, 2019
- [42] Lyu JM, Gong JY, Liu SW. Anti-tumor activities of *Pleurotus geesteranus* fruit body powder on H22 tumor-bearing mice[J]. Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica, 2020, 28(2): 216-223 (in Chinese)
吕建敏, 龚金炎, 刘士旺. 秀珍菇粉对 H22 荷瘤小鼠体内抗肿瘤作用研究[J]. 中国实验动物学报, 2020, 28(2): 216-223
- [43] Song XL, Liu ZH, Zhang JJ, et al. Antioxidative and hepatoprotective effects of enzymatic and acidic-hydrolysis of *Pleurotus geesteranus* mycelium polysaccharides on alcoholic liver diseases[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 201: 75-86
- [44] Song XL, Shen Q, Liu M, et al. Antioxidant and hepatoprotective effects of intracellular mycelium polysaccharides from *Pleurotus geesteranus* against alcoholic liver diseases[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 114: 979-988
- [45] Chen ST, Li MJ, Li RC. Present research on comprehensive utilization of edible fungi on fungal chaff[J]. Northern Horticulture, 2011(19): 152-154 (in Chinese)
陈世通, 李梦杰, 李荣春. 食用菌菌糠综合利用的研究现状[J]. 北方园艺, 2011(19): 152-154
- [46] Liu JK, Wu SZ, Cheng HT, et al. Advances in utilization of spent mushroom substrates plant growing medium[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(1): 191-198 (in Chinese)
刘景坤, 吴松展, 程汉亭, 等. 食用菌菌渣基质化利用研究进展[J]. 热带作物学报, 2019, 40(1): 191-198
- [47] Yang HM, Wang Y. Progress in the application of edible mushroom residue as animal feed[J]. China Herbivore Science, 2018, 38(5): 48-50,67 (in Chinese)
杨红梅, 王瑜. 食用菌菌渣在动物饲料应用中的研究进展[J]. 中国草食动物科学, 2018, 38(5): 48-50,67
- [48] Li ZP, Yu CX, Huang JC, et al. Cultivation of *Volvariella volvacea* using spent mushroom substrates[J]. Acta Edulis Fungi, 2016, 23(1): 27-30 (in Chinese)
李正鹏, 余昌霞, 黄建春, 等. 三种食用菌菌渣部分替代废棉栽培草菇[J]. 食用菌学报, 2016, 23(1): 27-30
- [49] Wan SX, Zhu HF, Li F, et al. Research on *Agaricus bisporus* cultivation by utilizing the spent culture medium of *Pleurotus geesteranus*[J]. Edible Fungi of China, 2009, 28(4): 20-22 (in Chinese)
万水霞, 朱宏斌, 李帆, 等. 利用秀珍菇菌渣栽培双孢蘑菇的试验[J]. 中国食用菌, 2009, 28(4): 20-22
- [50] Yang X, Wu SZ, Liu JK, et al. Application effects of *Pleurotus geesteranus* substrate on *Dendrobium huoshanense* cultivation[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(3): 449-456 (in Chinese)
杨霞, 吴松展, 刘景坤, 等. 秀珍菇菌渣在霍山石斛栽培基质上的应用效果分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(3): 449-456