

药用灵芝种质选育、栽培工艺及品质调控研究进展

钱布 雷冰照

黄冈市农业科学院 湖北 黄冈 438000

【摘要】 灵芝是我国传统名贵药用真菌，富含灵芝多糖、三萜类、甾醇类等活性成分，具有扶正固本、抗氧化、调节免疫等药用功效，在中医药健康产业中占据重要地位。近年来，随着大健康产业快速发展，药用灵芝市场需求持续攀升，优质种质匮乏、栽培工艺粗放、品质稳定性差等产业问题日益凸显，制约了灵芝产业标准化、高品质发展。本文系统综述药用灵芝种质资源筛选与选育技术、规范化栽培工艺体系、关键品质调控机制的研究进展，梳理传统选育与现代分子育种、常规栽培与生态智能栽培的技术迭代成果，总结温度、光照、基质、水肥等环境因子对灵芝活性成分积累的调控规律，分析当前产业存在的技术短板，并对未来种质创新、工艺优化、精准提质的发展方向进行展望，旨在为药用灵芝优质种源培育、标准化栽培、品质精准调控及产业高质量发展提供理论参考与技术支撑。

【关键词】 药用灵芝；种质选育；栽培工艺；品质调控；活性成分；研究进展

1 引言

灵芝（*Ganoderma lucidum*）为多孔菌科灵芝属药用真菌，是我国药食同源的经典名贵中药材，应用历史悠久。现代药理学研究证实，灵芝所含灵芝多糖、三萜类化合物、氨基酸、微量元素等活性物质，具备调节机体免疫、抗炎抗氧化、保肝护肾、改善代谢等多种药理活性，广泛应用于药品、保健品、功能性食品等领域，产业经济价值显著。随着大众健康意识提升，药用灵芝规模化栽培面积持续扩大，人工栽培已成为市场原料供给的核心渠道。

种质资源是灵芝产业发展的核心基础，优质菌种直接决定灵芝的长势、抗性与品质；栽培工艺是保障灵芝稳产提质的关键环节，规范化、精细化栽培可有效规避畸形菇、产量偏低、品质不均等问题；而品质调控技术则是提升灵芝药用价值、实现产品优质优价的核心支撑。当前我国灵芝栽培存在种质资源同质化严重、特色优质种质稀缺、传统栽培模式粗放、环境调控不精准、活性成分积累不稳定等问题，部分产区仍沿用老旧菌种与传统栽培方式，导致灵芝多糖、三萜等核心药用成分含量参差不齐，产品品质难以标准化，严重制约产业规范化升级。

为系统梳理药用灵芝产业技术体系研究成果，本文整合近年来国内外灵芝种质选育、栽培工艺优化、品质调控相关研究

成果，归纳各类技术的应用优势与不足，总结品质形成的关键调控因子，展望产业技术发展趋势，为药用灵芝种质创新、绿色高效栽培、品质精准提升及产业化高质量发展提供科学依据。

2 药用灵芝种质资源与选育技术研究进展

2.1 种质资源现状

我国灵芝种质资源丰富，野生灵芝广泛分布于长江流域、华南、西南等林区，包含赤芝、紫芝、松杉灵芝等多个药用品种，其中赤芝为人工主栽药用品种，药用价值最优。长期以来，我国灵芝栽培种源多依赖引进品种或人工分离驯化品种，种质同质化问题突出，特异性、优质性种质资源储备不足。同时，野生灵芝资源过度采挖、生境破坏，导致优质野生种质资源锐减，种质资源保护与创新利用迫在眉睫。目前国内科研机构已逐步开展野生灵芝种质资源收集、鉴定与保存工作，建立种质资源圃与菌种资源库，为种质选育提供基础材料支撑。

2.2 主要种质选育技术

灵芝种质选育是提升产量、抗性与药用品质的核心手段，随着生物技术迭代升级，灵芝选育从传统人工驯化选育逐步向诱变选育、杂交选育、分子精准育种方向发展，技术精准度与选育效率大幅提升，各类选育技术特点及应用效果如表1所示。

表1 药用灵芝主要选育技术及应用特点

选育技术类型	技术原理	优势特点	应用效果
人工驯化选育	采集野生灵芝菌株，通过组织分离、孢子分离进行人工栽培驯化，筛选适应性优良菌株	操作简单、成本低、稳定性强，保留野生种质优良性状	适配大田栽培，是早期菌种选育的核心方式，可提升菌株环境适应性
物理诱变选育	利用紫外线、 ⁶⁰ Co 辐射、航天诱变等物理手段诱导菌株基因突变	突变率高、育种周期短，可快速获得优质变异株	选育出高多糖、高抗逆新品种，如航天诱变灵芝优质品系
杂交选育	选择优良亲本进行单核菌丝杂交，整合双亲优良性状	性状聚合性强，可同步优化产量与品质	培育出早熟、高产、高活性成分的杂交新品种
分子育种	基于分子标记、基因编辑技术，靶向筛选优质功能基因菌株	精准度高、定向选育、规避性状分离，育种效率极高	实现种源精准改良，培育高三萜、高多糖专用药用菌株



人工驯化选育是最基础的选育方式，我国自 20 世纪 60 年代实现野生灵芝人工驯化栽培以来，该技术长期应用于菌种规模化繁育。诱变育种可快速突破种质固有性状，航天育种、辐射诱变已成功培育出多个抗逆性强、活性成分含量高的灵芝新品系。杂交育种可有效聚合双亲优势，解决单一品种性状短板，是目前人工选育的主流技术。而现代分子精准育种技术，可直接靶向筛选药用品质相关功能基因，彻底改变传统随机选育的弊端，成为当前灵芝种质创新的核心发展方向。

3 药用灵芝规范化栽培工艺研究进展

3.1 主流栽培模式工艺对比

目前药用灵芝人工栽培主要分为椴木栽培、代料栽培、林下仿野生栽培三种模式，不同栽培模式的工艺流程、生长环境、产量及品质差异显著，适配不同生产场景与品质需求。椴木栽培以天然壳斗科原木为基质，模拟野生生长环境，菌丝发育充分，灵芝活性成分积累量最高，药用品质最优，但栽培周期长、成本偏高；代料栽培以木屑、棉籽壳、玉米芯等工农业废料为基质，成本低、周期短、产量稳定，适合规模化量产，但整体药用品质略低于椴木栽培；林下仿野生栽培依托林区自然环境，兼顾生态性与品质优势，是近年来绿色栽培的主推模式。

表 2 不同灵芝栽培模式工艺及品质效益对比

栽培模式	核心工艺要点	栽培周期/d	产量稳定性	药用品质
椴木栽培	原木选材、灭菌接种、菌丝培养、覆土出芝、分期采收	180~220	中等	最优，多糖、三萜含量高
代料栽培	基质配比、拌料装袋、高压灭菌、无菌接种、大棚培育	90~120	优良	中等，成分含量稳定
林下仿野生栽培	林区选址、林下整地、椴木埋土、自然养护、适时采收	150~190	良好	优良，接近野生灵芝品质

配图说明：柱状图对比三种栽培模式的灵芝多糖、三萜平均含量，直观体现不同栽培工艺的品质差异。

3.2 关键栽培工艺优化进展

传统灵芝栽培存在基质配比随意、温湿度管控粗放、通风光照不合理等问题，易导致菌丝生长缓慢、出芝不齐、畸形菇多发。近年来，栽培工艺逐步向标准化、精细化、智能化升级。基质配比方面，研究优化了木屑、麸皮、玉米芯的最佳配比比例，搭配适量无机盐，可显著提升菌丝活力与养分积累效率；环境管控方面，明确了菌丝生长期与出芝期的差异化环境参数，菌丝适宜温度 25~28℃、避光保湿培养，出芝期适宜温度 22~25℃、适度散射光照、良好通风条件，可有效促进子实体分化生长。

同时，智能栽培技术逐步应用于灵芝生产，通过物联网设备实时监测棚内温湿度、二氧化碳浓度、光照强度，实现自动化喷淋、通风、遮阳调控，彻底解决传统人工管控精度不足的问题，大幅提升灵芝整齐度与产量稳定性。此外，绿色栽培工艺逐步普及，全程禁用化学农药、化肥，采用物理防虫、生物抑菌技术，有效规避农药残留问题，保障灵芝产品安全合规。

4 药用灵芝品质调控技术研究进展

灵芝药用品质核心取决于多糖、三萜类等活性成分的积累量，其合成与积累受种质特性、栽培基质、环境因子、生育期管理等多重因素调控，精准调控各项因子是实现灵芝提质增效的关键。

4.1 基质养分对品质的调控作用

栽培基质是灵芝生长的养分来源，基质碳氮比、微量元素含量直接影响活性成分合成。适宜的碳氮比可促进菌丝养分积累，为子实体生长与次生代谢产物合成提供物质基础；基质中适量的钾、钙、镁等微量元素，可激活灵芝体内代谢酶活性，显著提升三萜类、多糖合成效率。研究表明，壳斗科椴木基质养分均衡，更适配灵芝次生代谢产物合成，是高品质灵芝栽培的最优基质；代料栽培中优化有机辅料配比，可有效缩小与椴木栽培的品质差距。

4.2 环境因子对品质的调控效应

光照、温度、湿度、通风是调控灵芝品质的关键环境因子。出芝期适度散射光照可促进灵芝色素合成与三萜类物质积累，光照不足易导致子实体徒长、活性成分含量下降；昼夜适度温差可刺激灵芝次生代谢，提升多糖积累量；良好的通风条件可降低棚内湿度，减少杂菌污染，同时促进气体交换，保障代谢过程顺畅。水分管理遵循“前期保湿促生长、后期控水促积累”的原则，成熟期适度控水可有效提升药用成分含量，优化灵芝品质。

4.3 采收期对品质的影响

采收时间直接决定灵芝最终品质，采收过早子实体发育不完全，活性成分积累不足；采收过晚灵芝老化、孢子散落，多糖与三萜含量回落，品质下降。适宜采收期为灵芝子实体完全展开、边缘泛黄、菌盖硬化、孢子即将成熟散落阶段，此时各类活性成分积累量达到峰值，药用品质最优。统一标准化采收是保障灵芝批次品质一致的重要举措。

5 产业现存问题

综合现有研究与生产现状，当前药用灵芝产业仍存在诸多短板。一是优质种质创新不足，同质化菌种泛滥，高活性成分、

高抗逆性专用药用菌种稀缺,种质自主创新能力薄弱;二是栽培标准化程度偏低,部分小农户栽培工艺粗放,基质配比、环境管控不规范,导致产量与品质稳定性差;三是品质调控技术碎片化,缺乏全生育期精准调控体系,活性成分定向提质技术尚未普及;四是产学研融合不足,基础研究成果向生产一线转化效率低,优质高产栽培技术推广覆盖面有限。

6 发展展望

未来药用灵芝产业发展将聚焦种质创新、工艺升级、精准提质、产业标准化四大方向。种质选育方面,依托分子育种、

基因编辑等现代生物技术,定向培育高多糖、高三萜、抗逆性强的专用药用新品种,打破种质同质化瓶颈,实现种源自主可控;栽培工艺方面,大力推广林下仿野生栽培、智能设施栽培模式,完善标准化栽培技术规程,实现规模化、绿色化、智能化生产;品质调控方面,构建全生育期精准调控技术体系,明确不同生育期养分、环境最优参数,实现活性成分定向积累与品质精准提升;产业发展方面,强化产学研协同创新,加快科研成果落地转化,推动灵芝栽培、加工、品质检测全链条标准化,助力药用灵芝产业高质量、规范化、品牌化发展。

参考文献:

- [1] 刘春燕,王晶,张跃廷.灵芝种质资源选育及创新研究进展[J].中国食用菌,2023,42(08):1-6.
- [2] 方扬辉,郑梅霞,毛方华.南方林下特色药材优质种源与高效栽培技术研究进展[J].福建农业科技,2025,56(09):76-82.
- [3] 李明杰,陈艳,周娟.不同栽培模式对灵芝产量及活性成分含量的影响[J].中药材,2024,47(03):521-525.
- [4] 王浩,刘敏.灵芝人工栽培工艺优化与品质调控机制研究[J].北方园艺,2024(12):143-148.
- [5] 张磊,赵阳.药用真菌灵芝品质影响因子及提质技术研究进展[J].中国农学通报,2023,39(25):112-117.
- [6] 陈阳,王丽.灵芝诱变育种与分子育种技术应用研究进展[J].农业科技通讯,2024(07):156-159.
- [7] 周敏,陈明.环境因子对灵芝次生代谢产物积累的调控效应[J].中草药,2025,56(02):589-595.
- [8] 邱德文,李建明.药用灵芝标准化栽培及品质提升技术体系构建[J].中国中药杂志,2023,48(11):2890-2895.