

天麻废旧菌材利用研究现状与前景展望

黄明¹ 秦鹏² 桂爱琴³ 黎宇⁴ 李晖⁴ 李军章⁴ 王宵⁴

(1. 宜昌市夷陵区森林资源保护中心 宜昌 443100; 2. 夷陵区下堡坪林业管理站 宜昌 443100;
3. 罗田县林业局 罗田 436600; 4. 湖北省林业科学研究院 武汉 430075)

摘要: 天麻废旧菌材的丢弃和低效处理导致资源浪费和火灾隐患等问题日益突出, 高效利用研究迫在眉睫。本研究分析了天麻废旧菌材的主要来源和特点, 探究了天麻废旧菌材的利用及研究现状, 并从生态修复利用、生物质燃料和绿色复合材料开发等方面进行了展望, 为天麻废旧菌材进一步高效利用提供了理论基础。

关键词: 天麻; 废旧菌材; 生态修复; 复合材料; 生物质燃料

中图分类号: S567.239 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3020(2024)02-0057-05

Research Status and Prospect on Utilization of Wasted Fungus Materials of *Gastrodia elata*

Huang Ming¹ Qin Peng² Gui Aiqin³ Li Yu⁴ Li Hui⁴ Li Junzhang⁴ Wang Xiao⁴

(1. Yiling District Forest Resources Protection Center Yichang 443100;
2. Yiling District Xiabaoping Forestry Management Station Yichang 443100;
3. Luotian Forestry Bureau Luotian 436600; 4. Hubei Academy of Forestry Wuhan 430075)

Abstract: The resource waste and fire hazards caused by the waste and inefficient treatment of wasted fungus material of *Gastrodia elata* were becoming increasingly prominent, and the research on efficient utilization was urgent. This paper analyzed the main sources and characteristics of wasted fungus materials of *G. elata*, explored the research status of utilization of wasted fungus materials of *G. elata*, and prospected from the aspects of ecological restoration and utilization, biomass fuel preparation and green composite material preparation, which provided a theoretical basis for the further development of utilization of wasted fungus materials of *G. elata*.

Key words: *Gastrodia elata*; wasted fungus materials; ecological restoration; composite material; biomass fuel

天麻(*Gastrodia elata*)属于兰科植物, 别名赤箭、定风草、独摇芝、明天麻^[1]。天麻应用历史悠久, 与灵芝(*Ganoderma lucidum*)、人参(*Panax ginseng*)、冬虫夏草(学名地蚕 *Stachys geobombycis*)一样是我国的传统中药材, 是国家公布的 34 种名贵药材品种之一^[2]。天麻除国内市场需求量较大以外, 还畅销韩国、日本及东南亚各国。随着以天麻为原料的中成药及保健品的不断开发使用, 天麻的市场需求量逐年递增。据不完全统计, 全国有 100 多个厂家生产天麻制剂, 中成药多达 100 多种, 天麻的年出口量 200~300 t, 社会需求量已升

至 1 800~2 000 t 左右。随着需求量的增加, 野生天麻已经不能满足供应需要, 人工栽培天麻成为天麻供应的主要途径^[3]。

在人工栽培天麻的过程中, 菌材间接为天麻提供生长所需的营养物质^[4]。天麻与蜜环菌属于共生关系, 蜜环菌侵染天麻之后, 天麻通过蜜环菌从菌材中获得营养^[5]。随着人工栽种天麻规模的扩大, 天麻菌材的使用量也急剧增加。按照天麻种植的调查数据, 为保证天麻栽培的产量, 栽培 1 hm² 天麻需要耗费约 15 t 菌材。以湖北省罗田县为例, 该地区每年种植天麻 150 hm² 左右, 需使用菌

* 收稿日期: 2023-08-14; 修回日期: 2023-10-27

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目“采用杨树菌材的天麻栽培技术推广与示范”(鄂[2022]TG12 号)。

作者简介: 黄明(1971—), 男, 工程师, 主要从事林业产业发展相关工作。

王宵为通讯作者。

材 2 250 t, 菌材栽培过天麻后丢弃, 浪费量巨大。

废旧菌材中蜜环菌含量较高, 不能直接粉碎还田, 目前还没有较好的循环利用途径。在天麻挖掘之后大部分废旧菌材便被遗弃在林地, 多数菌材中还含有大量的纤维素和木质素, 既造成了木材资源浪费还存在潜在的生态、安全隐患^[6-8]。如何利用好天麻种植废旧菌材, 减少菌材浪费一直是天麻产区面临的重要问题之一。本文从天麻废旧菌材的来源及特点出发, 总结现阶段天麻废旧菌材资源化利用的现状和分析利用前景, 以期为天麻废旧菌材资源化高效利用提供参考。

1 天麻废旧菌材的来源及特点

1.1 天麻废旧菌材的来源

在天麻栽培过程中, 天麻生长需要通过蜜环菌来获取营养物质。某些木材能为蜜环菌菌丝提供生长空间, 支撑并固定蜜环菌实体, 还能为其菌丝提供稳定的营养物质, 这些木材统称为菌材^[9,10]。天麻菌材主要使用小径材, 直径一般在 6~10 cm, 选用耐腐性能较好的菌材树种直径只要需 6 cm 左右, 选用耐腐性能较差的树种则需要直径大于 6 cm^[11,12]。天麻菌材要求不含油质的树种, 材质坚硬且耐腐蚀性强, 主要有壳斗科、桦木科、松柏科、杉科、十齿花科、蔷薇科、山茱萸科等^[13-15]。

为保证天麻的品质和产量, 每种植一茬天麻需要更换新菌材, 种植天麻后被更换的菌材即为天麻废旧菌材^[16]。大部分废旧菌材质地坚硬, 形态基本完整, 没有被蜜环菌充分消耗, 存在一定程度上的资源浪费。

1.2 天麻废旧菌材的主要特点

天麻废旧菌材含有大量蜜环菌, 蜜环菌在生长过程中产生的中间产物和未分解完全的木材组分。研究表明, 蜜环菌生长发育中分泌的主要胞外酶有漆酶、木聚糖酶和纤维素酶等, 残留在天麻废旧菌材中^[17]。

蜜环菌细胞通过胞外酶将菌材中的木质纤维素分解后转为营养物质, 满足生长发育的需要, 从而为天麻生长提供营养^[18]。木质纤维素是植物细胞壁的主要成分, 主要包含木质素、纤维素和半纤维素。不同品种的蜜环菌株对木质素、纤维素和半纤维素的利用率存在明显差异^[19]。大部分蜜环菌对这三种成分的利用率从高到低为: 纤维素>木

质素>半纤维素。研究表明, 我国常见的 8 种蜜环菌的木腐能力处于中下水平, 种植天麻后的废旧菌材还有较大利用空间。天麻废旧菌材中的半纤维素、木质素消耗较少, 纤维素也未消耗完全, 能够进行二次利用。

从主要营养成分的变化上来看, 天麻菌材中的蛋白质成分含量明显比新菌材低。以青冈作为菌材种植乌天麻为例, 新旧菌材的水分差异不显著, 总蛋白质和可溶性蛋白含量差异显著, 使用前的菌材总蛋白质和可溶性蛋白含量明显高于废旧菌材, 新菌材的总蛋白质含量比废旧菌材高 0.55%~1.74%, 新菌材的可溶性蛋白质含量比废旧菌材高 8.66~10.70 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[20]。

天麻菌材的粗脂肪、粗纤维含量以及菌材的 pH 值在新旧菌材中也存在明显差异。粗脂肪含量和粗纤维含量是菌材利用价值的重要指标, 菌材的 pH 值对天麻繁殖影响较大^[21]。天麻废旧菌材在被蜜环菌利用后, 其粗脂肪含量下降, 粗纤维含量占比变高, 酸性增强(pH 值变小)。杨雄等研究发现青冈在种植乌天麻后, 废旧菌材的粗纤维剩余量较多(约为 70%), 废旧菌材的酸性成分增加^[22]。天麻废旧菌材可用于种植粗脂肪利用少、粗纤维消耗量大且耐酸的食用菌。

2 天麻废旧菌材利用研究现状

天麻废旧菌材一般直接作为燃料燃烧或者弃置在田边, 回收较少, 综合利用率较低。将废旧菌材直接燃烧还存在一定火灾隐患, 容易造成大气污染^[23]。弃置于田边的废旧菌材因残留菌丝, 容易滋生细菌, 会对环境造成二次污染, 有潜在的生态安全隐患。这两种处理方式既污染环境又浪费资源, 不利于现代林业的可持续发展, 实现天麻废旧菌材资源化高效利用是目前天麻生产区亟需解决的问题。

天麻废旧菌材结构疏松, 残留植物纤维和营养物质, 能作为栽培基质来种植木腐性食用菌, 现阶段天麻废旧菌材的利用研究主要集中在培育食用菌方面。

2.1 袋料栽培

食用菌的栽培袋料主要包括木屑、玉米芯、秸秆、棉籽壳、稻壳、麦麸等, 以及少量的石灰、石膏等矿质辅料(约 1%~2%)^[24]。利用天麻废旧菌材作为袋料基质培育平菇(*Pleurotus ostreatus*)、黑木

耳 (*Auricularia auricula*) 和香菇 (*Lentinula edodes*) 具有一定的生产价值^[25]。通过袋料栽培试验发现,平菇、黑木耳和香菇均能在天麻废旧菌材配制的基质上正常生长和分化出菇。以天麻废旧菌材(含量 90%)为袋料主要基质时,这三种木腐菌的子实体产量较低。在基质配方中添加 30% 的玉米芯后,平菇、黑木耳和香菇菌丝体生长速率和子实体产量都得到了显著的提高^[23]。

利用天麻种植废旧菌材已经成功实现了平菇、木耳和香菇等食用菌的栽培,但是废旧菌材的营养物质存在一定量的消耗,需要明确其中各种营养物质的减少和缺失情况。用单一的天麻废旧菌材培养大球盖菇(*Stropharia rugosoannulata*)时,大球盖菇菌丝的生长发育和子实体的形成较差,需调节培养基中碳源和氮源的营养比例^[26]。因此,需在补齐营养物质的基础上制定更为科学的废旧菌材栽培基质配方,确保食用菌稳产和增收。现阶段天麻种植废旧菌材内各项营养物质的变化情况及基质配方的研究还是空白^[27-29]。

2.2 麻菌轮作

天麻废旧菌材可用于生产菌种或栽培冬荪(*Phallus dongsun*)、竹荪(*Dictyophora indusiata*)、猪苓(*Ployporus umbellatus*)等食用菌,实现天麻—食用菌轮种^[30,31]。蜜环菌主消耗菌材中的纤维素和木质素,冬荪菌则主要消耗半纤维素^[32]。种植天麻后,蜜环菌主要侵入菌材维管形成层外的组织,形成层以内的大部分组织还未消耗,冬荪菌可以大量侵入维管形成层,继续消耗形成层内的营养物质。蜜环菌和冬荪菌可以差异性利用菌材中的不同成分。

然而,研究发现天麻废旧菌材中的蜜环菌对很多食用菌有抑制作用,需要筛选出对蜜环菌化感能力有一定抗性的食用菌品种,而常见的附加值较高的食用菌对蜜环菌抗性较差^[33]。此外,在麻菌轮作中,天麻废旧菌材中的蜜环菌与食用菌的菌丝争夺营养的问题较为严重^[34]。以冬荪菌为例,虽然有研究指出蜜环菌与冬荪菌共培养会导致冬荪菌明显抑制蜜环菌的生长,但在实际生产中却发现有天麻废旧菌材和空窝栽培致使冬荪出现绝产的现象^[35]。由此可见,大规模使用天麻废旧菌材栽培食用菌还是存在较大风险。

3 天麻废旧菌材利用前景展望

天麻废旧菌材中的微生物及酶类对污染物具

有一定的降解作用,作为活性材料,可以对土壤和水体污染进行修复^[36]。天麻废旧菌材中木材组分未完全分解,热值较高,具有燃烧的潜能,可以进一步开发作为燃料和能源材料^[37]。天麻废旧菌材作为轻质多孔的生物基材料,具有多孔吸声材料、缓冲包装材料和保温材料所需的基本特征^[38]。天麻废旧菌材利用可以从生态修复利用、生物质燃料制备和复合材料制备等方面进行进一步研究及利用。

3.1 生态修复

天麻废旧菌材中含有的漆酶、木聚糖酶和纤维素酶等酶类物质对多环芳烃(PAHs)和酚类等污染物具有较好的降解作用^[39-42]。漆酶粗酶液能有效降解水中的氯酚类化合物,分解效率高、操作简单、适用范围广并对环境友好^[43]。漆酶对土壤中的 DDT 各组分和 DDTs 降解率随着时间延长而升高,在第 15 天达到最高峰后至第 25 天处于基本稳定状态^[44]。杨彬彬等发现漆酶、纤维素酶和半纤维素酶对有机物污染土壤中的土霉素、毒死蜱、2,4,5-三氯酚等多种有机污染物可以有效降解,从而实现土壤修复^[45]。

3.2 生物质燃料

天麻废旧菌材含有丰富的木质纤维素,是制作生物炭和活性炭的优良材料。蜜环菌在生长过程中主要消耗半纤维素,因而废旧菌材中半纤维素含量较低,纤维素和木质素得以富集。纤维素和木质素富集有利于天麻废旧菌材在热解过程中成炭^[46]。天麻废旧菌材的成分与菌渣类似,可以参考菌渣的利用模式,研究天麻废旧菌材作为生物质能源制取沼气或用作生物燃料,减少废旧菌材囤积引起的环境污染,同时节约燃料成本^[47-48]。

3.3 绿色复合材料

目前,已有部分真菌菌丝/植物纤维基复合材料被应用于包装领域,例如香菇菌丝-木屑复合材料具有良好的缓冲和吸声性能^[49],灵芝或云芝(*Trametes versicolor*)与阔叶木屑的复合材料具有较好的隔热性能^[50]。天麻废旧菌材含有丰富的菌丝体(蜜环菌)和植物纤维(木材纤维),有利于制备菌丝体基复合材料,因此,今后可以进一步探索天麻废旧菌材制备具有特定功能的绿色复合材料。例如,天麻废旧菌材中含有的蜜环菌菌丝具有天然的粘合作用,能与菌材中的植物纤维一起,在添加

淀粉、发泡剂、交联剂和其他助剂的基础上进行发泡,制成绿色、环保、且兼具木材、塑料优点的植物纤维发泡材料^[51]。今后将进一步对天麻废旧菌材进行发泡工艺及机理研究,以期使其性能与发泡聚苯乙烯相当,从而可以取代发泡聚苯乙烯,作为缓冲包装材料应用于包装领域,从而降低塑料制品对环境造成的污染,并且有利于保护森林资源、降低产品成本,还具有优异的木质感、美观、耐腐蚀和强度高优点。

4 结论

我国是天麻种植大国,天麻产量呈增长态势,天麻菌材的使用量急剧增加。对天麻废旧菌材进行利用研究,不仅减少了废旧菌材乱堆乱放造成的环境的污染,还能提升森林资源利用率。

天麻废旧菌材资源充足,但是在有效利用上存在较多问题。虽然成功使用天麻废旧菌材作为基质栽培出部分食用菌,但营养成分缺失情况、蜜环菌对其他食用菌的化感作用和不同树种废旧菌材的成分差异等还需要进一步研究。天麻废旧菌材研究涉及生态、环境和能源等多学科交叉融合,后期可以在生态修复利用、生物质燃料制备和绿色复合材料制备等方面深入研究,实现天麻废旧菌材的综合资源化利用。开展天麻废旧菌材利用研究,提高天麻废旧菌材综合利用效率,有利于天麻产业的转型升级,具有良好的经济效益和生态效益。

参 考 文 献

- [1]周元.天麻生物学特性研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2005.
- [2]国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2015.
- [3]毕宁,周聿,周应书,等.光皮桦作为天麻菌材树种的优劣分析[J].现代农业科技,2017(17):87-88.
- [4]田玉桥,邱小燕,肖深根,等.不同菌材对雪峰天麻产量和品质的影响[J].中成药,2022,44(3):1017-1021.
- [5]郭耀辉,范中菡,李晓,等.天麻的研究进展[J].食药菌,2014,22(3):137-139.
- [6]陈向东,兰进,丁鉴云.不同树种树枝对蜜环菌生长的影响[J].中药材,2005,28(4):259-261.
- [7]马勋静,田治蛟,戴堃,等.昭通天麻产业发展中菌材的探析[J].园艺与种苗,2017,37(8):35-38.
- [8]马勋静,田治蛟,顾盼,等.浅析昭通市以天麻为主的中药材产业发展[J].云南农业,2018(10):45-46.
- [9]ZHANG W,LI B. The biological relationship of *Gastrodia elata* and *Armillaria mellea* [J]. *Acta Bot Sin*,1980,22(1):57.
- [10]YUAN Y,JIN X,LIU J,*et al*. The *Gastrodia elata* genome provides insights into plant adaptation to heterotrophy[J]. *Nat Commun*,2018,9(1):1615.
- [11]白祖云.昭通市天麻菌材树种选择研究[J].林业调查规划,2018,43(5):149-152,159.
- [12]任思竹,陈青君,程继鸿,等.蜜环菌对15种不同树种枝条的侵染效果[J].中国农学通报,2014,30(22):69-73.
- [13]申爱荣,谭云,谭著明,等.菌材树种对天麻产量和品质的影响[J].湖南林业科技,2021,48(2):1-10.
- [14]谭云,谭著明,唐树元,等.基于天麻产量和品质的菌材优劣评价[J].中药材,2022,45(2):284-287.
- [15]毕宁,周聿,周应书,等.光皮桦作为天麻菌材树种的优劣分析[J].现代农业科技,2017(17):87-88.
- [16]余昌俊,王绍柏,刘雪梅.天麻产业可持续发展的障碍与途径[J].中国食用菌,2008,27(4):51.
- [17]CHEN Y J,CHEN C C,HUANG H L. Induction of apoptosis by *Armillaria mellea* constituent *armillarikin* in human hepatocellular carcinoma [J]. *Oncotargets Ther*,2016,9:4773-4783.
- [18]杨静,桂阳,黄万兵,等.不同蜜环菌菌株对木质纤维素利用率研究[J].北方园艺,2015(11):133-137.
- [19]王传华,杨惠麟,曾玉洁,等.我国八种蜜环菌的木腐特性[J].菌物学报,2023(9):1929-1941.
- [20]杨雄,赵长林.昭通乌天麻新旧菌材3种主要成分变化分析[J].贵州林业科技,2022,50(2):16-19.
- [21]刘国库,杨太新,吴和平,等.蜜环菌菌材高效培养体系的建立[J].中药材,2016,39(9):1952-1955.
- [22]杨雄,赵长林.昭通乌天麻新旧菌材的营养成分变化分析[J].东南园艺,2021,9(3):15-19.
- [23]冯小飞,赵宁,孙紫宇,等.利用天麻废弃菌材栽培3种食用菌的试验[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(4):163-168.
- [24]郭远,宋爽,高琪,等.食用菌菌渣资源化利用进展[J].食用菌学报,2022,29(2):103-114.
- [25]张金霞,陈强,黄晨阳,等.食用菌产业发展历史、现状与趋势[J].菌物学报,2015,34(4):524-540.
- [26]唐玉凤,杨成翠,包刘媛,等.不同栽培基质对大球盖菇产量和品质的影响[J].昭通学院学报,2023,45(5):27-32.
- [27]沈盟,郑巧平,姚祥坦.林果废弃物栽培食用菌研究进展[J].食用菌,2018,40(4):1-4,7.
- [28]林国智.中国食用菌产业化发展探析[J].北方园艺,2015(3):163-164.
- [29]张进强,周涛,郭兰萍,等.天麻-冬荪轮种模式的生态效益研究[J].中国中药杂志,2020(3):457-462.
- [30]徐娇,欧小宏,江维克,等.天麻-冬荪轮种模式对土壤

- 微生物群落结构的影响[J]. 中国中药杂志, 2020(3): 463-471.
- [31] 杨杰, 张进强, 周涛, 等. 蜜环菌和冬荪菌侵染与降解菌材的比较研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(3): 472-477.
- [32] 张进强, 周涛, 江维克, 等. 天麻种植生产的生态循环利用模式分析[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2036-2041.
- [33] 杨杰. 天麻——冬荪轮种及循环利用菌材机制研究[D]. 贵阳: 贵州中医药大学, 2020.
- [34] 张进强, 江维克, 郭兰萍, 等. 天麻种植旧菌材的资源再利用探索[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(9): 2309-2314.
- [35] 王洋洋, 涂璇, 王传华, 等. 天麻栽培用蜜环菌的遗传多样性、生长和水解酶[J]. 菌物学报, 2020, 39(2): 265-279.
- [36] 程辉彩, 张丽萍, 崔冠慧, 等. 平菇菌糠发酵生产沼气技术研究[J]. 中国食用菌, 2010, 29(5): 46-49.
- [37] 李红丽. 基于杨木木屑和人造板废料的菌丝体复合材料制备工艺研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [38] LAU K L, TSANG Y Y, CHIU S W. Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples [J]. Chemosphere, 2003, 52(9): 1539-1546.
- [39] KOHG, PARK SH, KIM SH, *et al.* Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species[J]. Folia Microbiologica, 2005, 50(2): 103-106.
- [40] SINGH AD, ABDULLAH N, VIKINESWARY S. Optimization of extraction of bulk enzymes from spent mushroom compost[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2003, 78(7): 743-752.
- [41] MAYOLO DELOISA K, TREJO HERNÁNDEZ MDR, RITO PALOMARES M. Recovery of laccase from the residual compost of *Agaricus bisporus* in aqueous two-phase systems[J]. Process Biochemistry, 2009, 44(4): 435-439.
- [42] RAJAVAT AS, RAI S, PANDIYAN K, *et al.* Sustainable use of the spent mushroom substrate of *Pleurotus florida* for production of lignocellulolytic enzymes[J]. Journal of Basic Microbiology, 2020, 60(2): 173-184.
- [43] 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 等. 蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化[J]. 环境科学, 2012, (7): 2470-2474.
- [44] 赵月春, 付蓉, 莫测辉, 等. 漆酶修复土壤 DDT 污染的动力学研究[J]. 环境化学, 2008, 27(4): 476-480.
- [45] 杨彬彬, 夏颖, 夏黎明. 秸秆降解与土壤污染生物修复耦合过程的研究[J]. 高校化学工程学报, 2021, 35(5): 927-934.
- [46] HU W, HU J H, WANG H, *et al.* Experimental research on molding biomass's carbonization homogeneity [J]. Advanced Materials Research, 2013, 634-638(1): 759-763.
- [47] 饶曙, 李伟振, 姜洋, 等. 金针菇菌渣成型特性研究[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(2): 110-116.
- [48] 魏丹丹, 王昌梅, 刘健峰, 等. 平菇菌渣厌氧消化产气潜力[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2022, 45(4): 527-532.
- [49] 于博, 张显权, 邹莉, 等. 菌丝/木屑复合材料的性能[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(6): 95-98.
- [50] 于博. 真菌菌丝/木屑复合材料生物成型及性能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [51] 罗瑜莹, 肖生苓, 李琛, 等. 纤维多孔缓冲包装材料泡孔参数与其力学性能的关系[J]. 林业科学, 2017, 53(5): 116-124.

(编校: 唐 岚)