

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.04.010

核桃木代替传统菌材对天麻产量的影响

王丽, 田茂娟, 张念念, 吴跃开, 邱建生

贵州省林业科学研究院, 贵阳 550005

摘要: 本研究采用随机区组试验设计, 以经济树种核桃木为菌材, 壳斗科菌材栗木和青冈为对照, 分别设置 5 种不同菌材组合, 在贵州省赫章县进行仿野生栽培红杆天麻和乌杆天麻, 分析不同菌材对天麻产量的影响, 以探讨核桃代替壳斗科植物栽培天麻的可行性。结果表明, 以核桃木和传统菌材混合栽培天麻, 蜜环菌菌丝生长速度较快, 菌丝粗壮, 覆盖度高。不同菌材对红杆天麻和乌杆天麻产量的影响有明显差异。两种天麻变型对菌材的偏好不同, 乌杆天麻在核桃木与传统菌材混合栽培下有较高产量, 而红杆天麻在青冈木菌材栽培下产量较高。利用核桃木与传统菌材混合栽培天麻, 在一定程度上能提高天麻的产量和菌材的生物转化率。因此, 在实际生产中, 以核桃木作为菌材栽培天麻是可行的。

关键词: 天麻; 核桃木菌材; 传统菌材;
生物转化率; 产量

中图分类号: S567.23

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)04-0077-08

The Yield of *Gastrodia elata* with Walnut Wood Compared to Traditional Substrates

WANG Li, TIAN Maojuan, ZHANG Niannian,
WU Yuekai, QIU Jiansheng

Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550005, China

Abstract: To evaluate the feasibility of cultivation of *Gastrodia elata* Bl. with walnut wood as an alternative to traditional materials, the field cultivation of *Gastrodia elata* Bl. with walnut wood and traditional cultivation substrates was carried out in Hezhang in Guizhou Province. The results showed that the mycelium of *Armillariella mellea* in mixed substrate of walnut with tra-

收稿日期: 2023-07-20

基金项目: 贵州省科技计划项目“贵州林下经济研究创新能力建设”(黔科合服企[2020]4010)。

作者简介: 王丽, 硕士, 主要从事植物病理学研究。

通信作者: 邱建生, 研究员。

ditional materials developed faster with thicker and stronger mycelium and higher coverage. There were differences in the effects of different materials on the yield of *Gastrodia elata* Bl. f. *elat* and *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow. The two types of *Gastrodia elata* have different preferences for substrates. The yield of *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* was higher than *Gastrodia elata* Bl. f. *elat* by culture with mixed substrates of walnut with tradition materials. The use of walnut combined with traditional substrates can improve the yield of *Gastrodia elata* Bl and increase the bioconversion rate of the substrates under certain conditions. Results of this study showed that walnut materials could be used for the cultivation of *Gastrodia elata* as an alternative to traditional substrates.

Key words: *Gastrodia elata* Blume; walnut cultivation materials; traditional cultivation materials; bioconversion rate; yield

天麻(*Gastrodia elata* Blume)为多年生腐生草本,在分类上属兰科(Orchidaceae)天麻属,其地下根状茎是我国传统中药,为国家公布的34种名贵药材之一^[1-3]。天麻主要成分是天麻素(Gastrodin),在临床上应用广泛,可用来治疗多种疾病,如椎基底动脉供血不足、缺血性脑卒中、血管神经性头痛、眩晕、高血压、糖尿病、脑中风、认知障碍和脑萎缩等^[4-6]。研究表明,天麻和蜜环菌之间存在特殊的共生关系,天麻除了开花结实期外,蜜环菌对天麻幼麻的形成、营养器官的更新及营养生长转向生殖生长都起决定性作用^[7-8]。因此,蜜环菌生长的好坏,与天麻产量一定程度上呈正相关。菌材又是促进蜜环菌生长的主要营养源,蜜环菌侵入菌材后,吸收树材营养,供应天麻生长,且材质不同的菌材,提供营养程度有所不同(图1)^[9-10]。通常培养蜜环菌的菌材要选择木质坚实、容易接菌的树木,传统的栽培材料以壳斗科(Fagaceae)的栗木、栎树、青冈木资源为主^[11-13],人工种植天麻每年要消耗大量的壳斗科天然林资源。随着天然林保护工程的实施及生态林业的建设,菌材来源受到很大限制,传统菌材的成本不断上升,寻求菌材成为天麻栽培研究中一项重要而紧迫的任务。

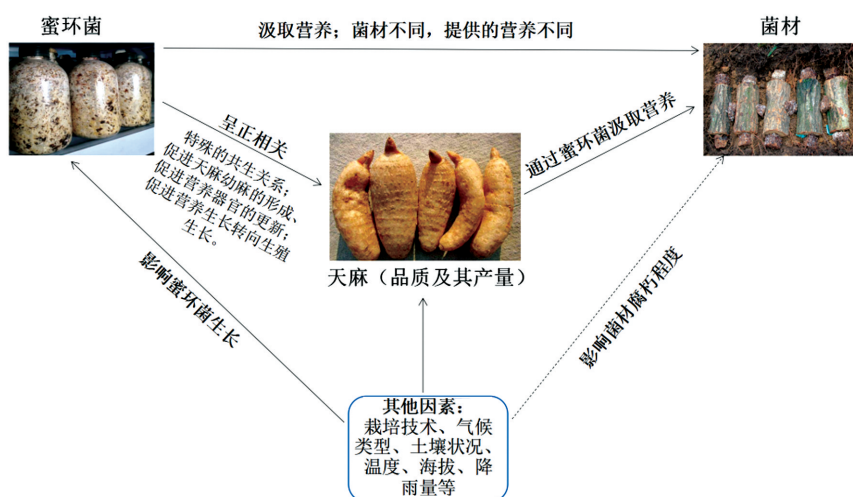


图1 天麻生长与蜜环菌和菌材之间的关系图

在天麻栽培中,利用其他树种或当地丰富树种资源来进行栽培,可取得一定成效。林亲雄等^[14]利用杨树菌材栽培蜜环菌天麻,发现杨树菌材天麻更高产,但天麻素含量没有显著提高;朱忠等^[15]利用甘肃省丰富的冬剪苹果树枝资源培养蜜环菌和栽培天麻,并获得成功,为利用当

地丰富木材资源栽培天麻提供了参考. 何勋贵等^[16]利用桑树枝条成功栽培天麻; 容丽华等^[17]研究了菌材用量、树种、麻种用量与天麻变型不同组合搭配对天麻产量的影响, 发现以亮叶桦和响叶杨作为菌材栽培天麻是可行的.

核桃是贵州省人民脱贫致富、振兴农村经济的支柱产业之一, 但本地区核桃产业近年来存在品种老化、病虫害严重、核桃树不结果等诸多问题, 致使核桃树被大量砍伐, 砍下的核桃树不能很好地利用, 导致资源大量浪费. 如果能开发利用这一资源, 既能培养蜜环菌, 又能扩大天麻栽培的原料来源, 还能降低天麻的生产成本, 变废为宝, 对发展天麻种植和保护森林资源、改善生态环境都具有重大的意义. 贵州省人工种植天麻主要为仿野生栽培形式^[18], 其中菌材主要采用就地取材方式, 在生产实践中很少使用核桃木栽培天麻. 迄今为止, 未见使用核桃木菌材替代传统栎树、栗树菌材栽培天麻全面系统的研究. 为综合评估核桃木菌材替代传统菌材栽培天麻的可行性, 本研究开展了核桃木菌材替代传统菌材栽培天麻的试验研究, 全面评价核桃木栽培天麻的产量、质量和效益, 以为规模化利用项目实施过程中产生的核桃剩余物提供理论与技术支持.

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省毕节市威宁县天麻山天麻示范基地, 东经 104°10'28"~105°01'23", 北纬 26°46'12"~27°28'18", 海拔 2 108~2 160 m, 选择地势平坦或缓坡地带不易积水的砂壤土地作为试验地, 林分类型主要为杂灌. 赫章县属暖温带温凉春干夏湿气候区, 气温日差较大, 年差较小, 年均气温 10~20 ℃, 年均降雨量 785.5~1 068 mm, 降雨主要集中在 6~8 月, 占全年降雨量的 55%, 全年平均降水日 174 d, 日照时数 1 260.8~1 548.3 h, 无霜期 210~250 d. 光照条件较好, 太阳辐射较高. 土壤为黄棕壤, 全 N: 3.05 g/kg; 全 P: 0.94 g/kg; 全 K: 11.13 g/kg, 微生物 C: 273.98 mg/kg, 速效氮: 182.06 mg/kg, 速效磷: 1.00 mg/kg.

1.2 试验材料

试验种麻为乌杆天麻(*Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow)和红杆天麻(*Gastrodia elata* Bl. f. *elata*), 由威宁县天麻山天麻示范基地提供. 蜜环菌菌株由毕节市平山镇菌种公司提供. 菌材树种为青冈木、栗木、核桃木, 菌材具体情况如表 1 所示.

表 1 栽培天麻的菌材种类

树种	树龄/年	菌材直径/cm	菌材长度/cm
青冈木	5~7	10±2	35±2
栗木	4~6	10±2	35±2
核桃木	3~5	10±2	35±2

1.3 试验方法

1.3.1 试验组设计

试验采用随机区组设计的试验方案, 根据单因素试验原则, 共设置 5 种模式菌材处理, 分别为核桃木、栗木、青冈木、核桃木×栗木、核桃木×青冈木, 每个处理重复 5 次, 即 5 穴, 每

穴长×宽×深为 0.8 m×0.8 m×0.5 m, 其中麻种用量 250 g/穴, 麻种重 8~10 g.

1.3.2 试验方法

选用 3 种树种的树干, 按直径 (10 ± 2) cm, 长 (35 ± 2) cm 的规格截取木材. 2021 年 8 月在试验地内按照指定规格挖穴, 将菌材棒排列于种植穴内, 按照蜜环菌菌包: 断木重量为 1: 10 的比例来培养蜜环菌菌材. 待蜜环菌生长至菌材的 80% 时下种麻, 选择紧靠蜜环菌生长的部位放入种麻, 注意种麻的芽向上摆放, 便于种麻向上生长, 每 2 个菌材间紧密摆放 3~4 个种麻, 接下来用砂壤土填棒间缝隙, 窝顶覆土 10 cm, 穴顶盖一层厚约 5 cm 的落叶. 控制每穴使用的菌材, 天麻麻种的数量与重量基本一致. 日常管理工作注意遮阴覆盖、排水及灌溉措施, 促进天麻正常生长. 分别于 2021 年 9 月 5 日(栽培后 30 d)、2021 年 10 月 5 日(栽培后 60 d)、2021 年 11 月 5 日(栽培后 91 d)、2022 年 3 月 5 日(栽培后 211 d)和 2022 年 5 月 15 日(栽培后 282 d)观察天麻生长情况, 并在采收期取各处理样 5 穴并进行测产及品质分析.

1.3.3 试验数据测定

1) 栽培期间调查: 根据蜜环菌的生物学特性, 间隔一定时间后进行随机取样, 观察蜜环菌在不同菌材上生长的速度、菌丝生长情况、天麻种麻的发芽情况.

2) 收获数据采集: 采收期挖开种植穴, 按种植穴为单位统计成品麻(鲜重 >50 g)、米麻(鲜重 <50 g)的数量与鲜重.

3) 菌材的生物转化率: 以穴为单位统计天麻的平均产量, 采用下列公式计算菌材的生物转化率:

$$\text{生物转化率} = \text{每穴天麻的平均产量(kg)} / \text{每穴新菌材的平均质量(kg)} \times 100\%$$

4) 折干率: 天麻品质的评价指标之一, 天麻的含水量与天麻变型、菌材种类、土壤状况、气候类型、植被及当年的降水量均有关系^[9].

5) 天麻素含量测定: 采用液相色谱分析法. 称取研磨好样品粉末约 0.5 g, 置于 15 mL 离心管中, 加入 80% 甲醇 5 mL, 涡旋混匀 1 min, 超声提取 30 min, 4 000 r/min 离心 10 min, 将上清液转移至新的离心管中, 重复提取一次, 合并两次上清液, 涡旋混匀, 用 0.22 微孔滤膜过滤, 取续滤液即得供试品溶液. 色谱条件: 检测器为 VWD; C18 色谱柱为 250·4.6 mm; 0.5 μ m 柱温为 30 $^{\circ}$ C; 波长为 220 nm; 流动相为乙腈: 0.1% 磷酸=4: 96(V: V); 流速为 1 mL/min; 进样量为 20 μ L.

1.4 数据处理与统计学分析

本研究数据采用 SPSS 软件进行方差分析及显著性差异分析, $p < 0.05$ 表示数据比较差异具有统计学意义.

2 结果与分析

2.1 蜜环菌在菌材上的生长速度和天麻感菌速度比较

由试验结果可知, 在菌材栽培后 30 d, 蜜环菌菌丝均已发芽, 不存在明显差异; 但随着栽培时间的推移, 核桃木与传统菌材混合模式下的蜜环菌菌丝生长较快, 传菌速度快, 覆盖度较大; 在栽培 211 d 时, 菌丝覆盖率达 80%. 其次, 3 种单一菌材模式下, 青冈木栽培模式下的菌丝生长速度、覆盖度高于核桃木和栗木. 菌丝生长速度混合菌材快于单一菌材(青冈木 $>$ 核桃木=栗木). 在栽培 211 d 时, 已有种麻发芽, 但发芽率较低. 在栽培 282 d 时, 除去破损或者坏掉不能发芽的种麻, 不同菌材模式下种麻的发芽率均超过 60%, 乌杆天麻和红杆天麻的发芽率依

次为混合菌材=青冈木>核桃木≥栗木. 由此可见, 在其他条件一致的情况下, 天麻的发芽率与蜜环菌菌丝的生长速度, 覆盖度呈正相关; 且核桃木与传统菌材混合模式下, 蜜环菌的生长速度和天麻的发芽率均高于单一菌材(表 2).

表 2 蜜环菌在菌材上的生长速度和天麻发芽时间

菌材	栽培后 30 d	栽培后 60 d	栽培后 91 d	栽培后 211 d	栽培后 282 d (乌杆天麻)	栽培后 282 d (红杆天麻)
核桃木	菌丝萌发	菌丝覆盖率 25%	菌丝覆盖率 45%	菌丝覆盖率 70%	发芽率 65%	发芽率 65%
栗木	菌丝萌发	菌丝覆盖率 20%	菌丝覆盖率 35%	菌丝覆盖率 65%	发芽率 60%	发芽率 65%
青冈木	菌丝萌发	菌丝覆盖率 25%	菌丝覆盖率 45%	菌丝覆盖率 75%	发芽率 75%	发芽率 75%
核桃木×栗木	菌丝萌发	菌丝覆盖率 28%	菌丝覆盖率 45%	菌丝覆盖率 80%	发芽率 80%	发芽率 75%
核桃木×青冈木	菌丝萌发	菌丝覆盖率 28%	菌丝覆盖率 45%	菌丝覆盖率 80%	发芽率 80%	发芽率 75%

2.2 不同菌材模式栽培天麻的产量分析

由试验结果可知, 5 种菌材模式栽培乌杆天麻单穴平均产量总体趋势与前期蜜环菌生长速度结果相一致, 均为混合菌材优于单一菌材. 核桃木和混合菌材模式下的菌材单穴产量均高于传统菌材模式, 由高到低依次为核桃木×栗木、核桃木×青冈木、核桃木、栗木、青冈木, 分别为 2.205 kg, 2.050 kg, 1.812 kg, 1.760 kg 和 1.719 kg. 由此可见, 一定条件下, 乌杆天麻的产量与蜜环菌的生长情况及覆盖度呈正相关. 栽培红杆天麻单穴产量由高到低依次为青冈木、核桃木×栗木、核桃木×青冈木、栗木、核桃木, 单穴产量分别为 2.049 kg, 1.922 kg, 1.911 kg, 1.899 kg 和 1.886 kg, 核桃木与传统菌材混合栽培红杆天麻的单穴产量处于居中位置, 高于栗木和核桃木栽培的单穴产量. 由于两种天麻变型对菌材的偏好不同, 5 种菌材模式栽培天麻的单穴平均产量趋势不一致, 在适宜环境和条件下, 乌杆天麻在核桃木与传统菌材混合模式下栽培容易获得高产, 红杆天麻在青冈木栽培下更容易获得高产, 且两种天麻在核桃木与传统菌材混合模式下的单穴产量均高于核桃木.

2.3 不同菌材天麻产量与生物转化率比较

根据每穴鲜麻的产量和菌材质量计算菌材生物转化率, 结果显示, 5 种菌材模式栽培天麻的菌材生物转化率总体趋势与其单穴产量一致. 栽培乌杆天麻的菌材生物转化率结果表现为混合菌材优于单一菌材, 从高到低依次是核桃木×青冈木、核桃木×栗木、核桃木、栗木、青冈木, 具体为 11.46%, 11.36%, 11.26%, 10.49%和 10.36%. 根据试验结果可知, 核桃木与传统菌材混合栽培条件下乌杆天麻的菌材生物转化率较高, 且核桃木菌材的生物转化率高传统菌材(青冈木和栗木); 而栽培红杆天麻的菌材生物转化率总体趋势与乌杆天麻不一致, 由高到低依次为青冈木、核桃木×栗木、栗木、核桃木×青冈木、核桃木, 分别为 12.20%, 12.16%, 12.14%, 11.77%和 11.25%. 对于红杆天麻, 青冈木的菌材生物转化率最高, 其次是核桃木与传统菌材混合, 单一核桃木菌材的生物转化率最低. 同一栽培条件, 红杆天麻的菌材生物转化率均高于乌杆天麻(表 3).

表3 不同菌材天麻产量与生物转化率比较

栽培菌材	平均鲜重/kg		生物转化率/%	
	乌杆天麻	红杆天麻	乌杆天麻	红杆天麻
核桃木	1.812±0.147a	1.886±0.992a	11.260±0.105a	11.250±0.005a
栗木	1.760±0.046a	1.899±0.058a	10.490±0.005a	12.140±0.071a
青冈木	1.719±0.208a	2.049±0.142a	10.360±0.011a	12.200±0.007a
核桃木×栗木	2.205±0.129a	1.922±0.043a	11.360±0.006a	12.160±0.006a
核桃木×青冈木	2.050±0.759a	1.911±0.082a	11.460±0.005a	11.770±0.008a

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.4 不同菌材模式下成品麻的折干率比较

试验结果显示,两种天麻的折干率区别较大.对于乌杆天麻,不同菌材模式栽培条件下的折干率之间无明显差异,从高到低依次是核桃木、核桃木×青冈木、栗木、青冈木、核桃木×栗木,分别为28.72%,25.76%,24.31%,22.10%和20.75%。乌杆天麻在核桃木栽培条件下的折干率最高,其次是核桃木与青冈木混合菌材,均高于传统菌材栗木和青冈木对照组.而红杆天麻的折干率从高到低依次是栗木、核桃木、核桃木×栗木、核桃木×青冈木、青冈木,分别为21.15%,20.55%,18.50%,18.34%和17.17%,核桃木栽培红杆天麻的折干率较高,仅略低于栗木,且核桃木与传统菌材混合模式下,折干率均高于青冈木(图2)。因此,核桃木和混合菌材栽培天麻是可行的,经数据对比,乌杆天麻的折干率均高于红杆天麻。

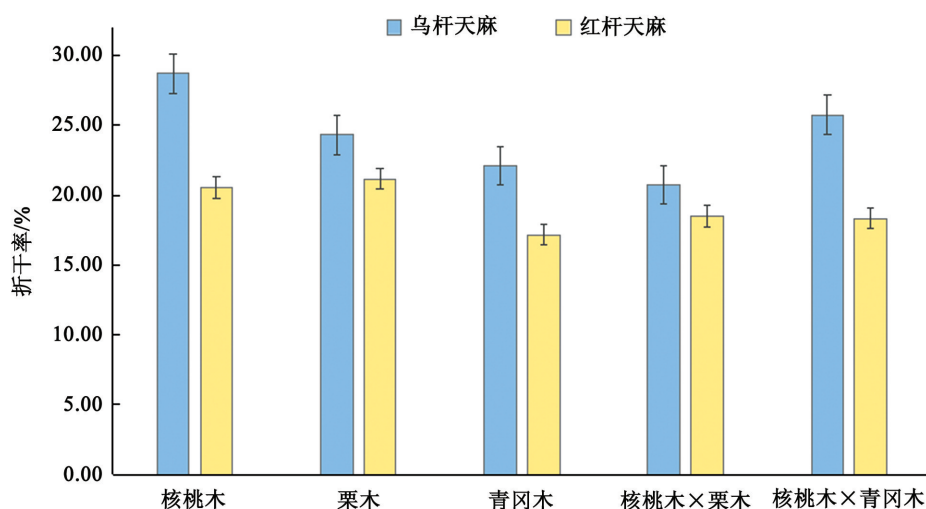


图2 不同菌材不同天麻类型成品麻的折干率

2.5 不同菌材栽培天麻的天麻素含量比较

天麻素为天麻主要的活性成分之一,天麻的天麻素含量与遗传、生态环境、栽培方式、菌材种类、降雨量等因素都有关系.本试验通过液相色谱分析法计算不同菌材模式下成品麻的天麻素含量,结果发现,乌杆天麻素含量混合菌材高于单一菌材,从高到低依次为核桃木×青冈木、核桃木×栗木、青冈木、核桃木、栗木,混合菌材栽培天麻的天麻素含量分别为368.074 $\mu\text{g/g}$ 和340.111 $\mu\text{g/g}$,高于其他对照组;其次是青冈木菌材,天麻素含量为300.528 $\mu\text{g/g}$;而核桃木栽培乌杆天麻的天麻素含量为125.176 $\mu\text{g/g}$,略高于栗木菌的109.808 $\mu\text{g/g}$.由此可见,

利用核桃木和传统菌材混合栽培乌杆天麻天麻素含量较高,天麻的品质较好。

5 种菌材栽培红杆天麻的天麻素含量之间不存在显著差异,从高到低依次为核桃木、核桃木×栗木、青冈木、栗木、核桃木×青冈木,核桃木栽培红杆天麻的天麻素含量为 193.265 μg ,高于其他对照组,其余 4 个处理组的天麻素含量相差不大,依次为 116.337 μg , 114.197 μg , 103.517 μg 和 101.060 μg . 综合分析,乌杆天麻的天麻素含量均高于红杆天麻(表 4)。

表 4 不同菌材栽培天麻的天麻素含量比较

栽培菌材	乌杆天麻			红杆天麻		
	样品重/g	峰面积	含量/($\mu\cdot\text{g}^{-1}$)	样品重量/g	峰面积	含量/($\mu\cdot\text{g}^{-1}$)
核桃木	0.662 8	197.280 6	125.176	0.591 6	271.019 7	193.265
栗木	0.620 6	162.443 9	109.808	0.561 7	138.934 3	103.517
青冈木	0.634 6	450.564 4	300.528	0.555 6	151.398 1	114.197
核桃木×栗木	0.641 5	515.129 1	340.111	0.582 1	161.440 6	116.337
核桃木×青冈木	0.609 2	529.350 6	368.074	0.586 2	141.510 0	101.060

3 结论与讨论

本研究结果表明,核桃木和传统菌材混合栽培天麻,蜜环菌菌丝生长速度较快,覆盖度较高,天麻感菌早,生长期长,这也是混合菌材栽培乌杆天麻单穴产量和生物转化率较高的重要原因,特别是栽培乌杆天麻,混合菌材栽培条件下,天麻素含量远高于其他对照组. 且以核桃木为菌材栽培乌杆天麻,菌丝的生长速度、天麻发芽率及单穴产量和生物转化率均高于传统菌材(青冈木和栗木),鲜麻的天麻折干率和天麻素含量较高. 因此,表明核桃木菌材是栽培乌杆天麻的合适材料,在实际生产中,用核桃木或核桃木与传统菌材混合作为菌材来栽培乌杆天麻是可行的。

以 5 种菌材模式栽培红杆天麻,红杆天麻的天麻产量和菌材生物转化率表现为混合菌材优于核桃木单一菌材;但成品麻的折干率和天麻素含量结果与之相反,核桃木单一菌材优于混合菌材,从侧面反映了天麻的折干率和天麻素含量还受其他外界因素影响,如土壤性质、人为干预、栽培技术等. 红杆天麻和乌杆天麻之间的生理差异致使它们偏好的菌材不相同,乌杆天麻在核桃木与传统菌材混合栽培下产量较高,而红杆天麻在青冈木和核桃木×栗木菌材栽培下有较高产量。

核桃木菌材成本比传统菌材低,栽培天麻生物转化率较高,与传统菌材混合栽培天麻的天麻素含量和折干率较高,是栽培天麻适宜的菌材. 用核桃树栽培天麻开启了核桃采伐利用的新途径,大大减少了林木资源的浪费,从根本上解决了大规模栽培天麻的材料来源问题,避免了种植天麻大量消耗天然林资源而产生的生态环境问题。

蜜环菌菌丝是天麻赖以生长的营养来源,其生长良好是天麻栽培获得高产的关键,蜜环菌菌株的生长速度与其对天麻产量的影响呈正相关,而蜜环菌的生长速度与菌材种类有密切关系,相关研究发现,菌材用量和麻种用量需要保持平衡,才有利于天麻生物量的积累^[19-23]. 因此,后续研究可试验核桃木菌材与传统菌材的混合比例、蜜环菌用量与麻种用量 3 者之间的最优比例,以实现天麻高产. 目前,栽培天麻可利用蜜环菌和菌材碎末混合作为菌棒进行直接栽培,减少林木资源的损失,对于核桃间伐材可试验新的栽培方式进行天麻种植,做到“废物利用”,实现核桃木剩余物的生态价值和经济价值。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志: 第18卷[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2018.
- [3] 谢宗万. 中药材品种论述—上册 [M]. 2版. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [4] 赵辉. 天麻素的临床应用进展 [J]. 海峡药学, 2009, 21(6): 29-31.
- [5] OJEMANN L M, NELSON W L, SHIN D S, et al. Tian Ma, an Ancient Chinese Herb, Offers New Options for the Treatment of Epilepsy and other Conditions [J]. Epilepsy & Behavior, 2006, 8(2): 376-383.
- [6] XU J, GUO S. Retrospect on the Research of the Cultivation of *Gastrodia Elata* Bl, a Rare Traditional Chinese Medicine [J]. Chinese Medical Journal, 2000, 113(8): 686-692.
- [7] 张维经, 李碧峰. 天麻与蜜环菌的关系 [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1980, 22(1): 57-62, 111.
- [8] NING Z, BAI X F, LV J T, et al. Study on Symbiotic Mechanism between *Gastrodia Elata* Blume and *Armillaria Mellea* in Tissue Culture System [J]. Medicinal Plant, 2010(10): 91-95.
- [9] 杨志兵, 陈代雄, 陈京元, 等. 杨树菌材与传统菌材栽培天麻的实验研究 [J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2011, 30(3): 42-44.
- [10] KIKUCHI G, HIGUCHI M, MOROTA T, et al. Fungal symbiont and cultivation test of *Gastrodia elata* blume (Orchidaceae)[J]. Journal of Japanese Botany, 2008, 83(2): 88-95.
- [11] 杨兴成, 马风伟, 王瑞. 天麻人工栽培技术研究进展 [J]. 山西农经, 2018(16): 81.
- [12] 陈金兰, 孟凡胜. 天麻人工栽培技术 [J]. 农村科学实验, 2002(3): 30.
- [13] 易思荣, 肖波, 黄娅, 等. 中药材天麻的现代栽培技术研究进展 [J]. 中国现代中药, 2013, 15(8): 677-679.
- [14] 林亲雄, 林正保, 杨志兵. 杨树菌材栽培天麻的质量研究 [J]. 中药材, 2011, 34(12): 1827-1829.
- [15] 朱忠, 张瑞芳. 苹果树枝栽培天麻研究初报 [J]. 甘肃农业科技, 2005(6): 51-52.
- [16] 何勋贵, 车敏, 杨志刚. 桑枝条栽培天麻试验研究 [J]. 云南农业科技, 2008(S1): 15.
- [17] 容丽华, 蔡传涛. 不同菌材对天麻(*Gastrodia elata*)产量的影响 [J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(6): 761-766.
- [18] 曲宏国. 天麻仿野生栽培 [J]. 新农业, 2003(5): 16-17.
- [19] 季宁, 李玉. 不同蜜环菌菌株对乌天麻产量的影响 [J]. 菌物研究, 2008, 6(4): 231-233.
- [20] 胥献宇, 唐馨香, 邓泽声. 略论影响天麻产量形成的内因 [J]. 中国食用菌, 1998, 17(2): 13-15.
- [21] 卢进, 刘玉亭, 吴中应. 天麻产量与蜜环菌材和种源的关系 [J]. 四川农业科技, 1991(1): 35.
- [22] 彭述敏, 陈玉惠, 敖新宇. 蜜环菌与菌材不同组合对昭通乌天麻种子萌发及生长的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(3): 47-50, 54.
- [23] 王秋颖, 郭顺星, 关凤斌. 不同来源蜜环菌对天麻产量影响的研究[J]. 中草药, 2001, 32(9): 839-841.

责任编辑 苏荣艳