

刘艳玲, 刘朋虎, 李晶, 等. 不同栽培原料对灵芝生长及其子实体营养品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (5): 609–616.
LIU Y L, LIU P H, LI J, et al. Growth and Chemical Composition of *Ganoderma lucidum* as Affected by Cultivation Substrates [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (5): 609–616.

不同栽培原料对灵芝生长及其子实体营养品质的影响

刘艳玲^{1,2}, 刘朋虎¹, 李晶¹, 王彤², 齐彬², 林冬梅¹, 林占熺^{1*}

(1. 国家菌草工程技术研究中心, 福建 福州 350010;
2. 福建农林大学生命科学学院, 福建 福州 350010)

摘要:【目的】探讨菌草栽培灵芝的理论依据和实践模式。【方法】分别以木屑、五节芒、芒萁、巨菌草等为栽培原料熟料袋式栽培灵芝, 研究灵芝菌丝满袋时间、原基形成时间、生物转化率及营养成分, 比较不同菌草和木屑栽培灵芝生长情况。采用国标通用方法对灵芝子实体营养成分、氨基酸成分和重金属含量进行测定, 比较不同栽培原料对灵芝子实体营养成分的影响。【结果】4种配方的菌丝满袋时间和原基形成时间无显著差异, 配方C(五节芒48%、芒萁30%、麦麸20%、石膏2%)子实体产量(27.03g)和生物转化率(13.52%)均略高于对照组(A配方即木屑配方), 但无显著性差异; 配方B(五节芒78%、麦麸20%、石膏2%)和配方D(芒萁30%、巨菌草48%、麦麸20%、石膏2%)粗蛋白显著高于木屑配方($P<0.05$), 配方C粗蛋白含量略高于木屑配方, 但无显著性差异; 配方C多糖含量($12.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、三萜含量($1.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)高于对照组木屑配方($10.2\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.80\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 4种配方子实体中的氨基酸总量基本一致, 且4种配方子实体重金属含量均符合国家标准以及绿色食品标准。【结论】菌草作为灵芝栽培基质与木屑作为灵芝栽培基质相比具有成本低、来源足等优越性, 为菌草栽培灵芝提供了理论依据。
关键词: 灵芝; 菌草配方; 子实体; 营养成分; 重金属

中图分类号: S 567.31 文献标志码: A 文章编号: 1008-0384 (2022) 05-0609-08

Growth and Chemical Composition of *Ganoderma lucidum* as Affected by Cultivation Substrates

LIU Yanling^{1,2}, LIU Penghu¹, LI Jing¹, WANG Tong², QI Bin², LIN Dongmei¹, LIN Zhanxi^{1*}

(1. National Engineering Research Center of JUNCAO Technology, Fuzhou, Fujian 350010, China; 2. Life Science College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350010, China)

Abstract: 【Objective】 Growth and chemical composition of fruiting bodies of *Ganoderma lucidum* cultivated with varied substrates were studied. 【Method】 Sawdust, *Miscanthus floridulus*, *Dicranopteris dichotomy*, and/or Gaint Juncao grass were used as the main ingredients in formulating substrates for cultivating *G. lucidum* in bags. The hyphae filling time, biotransformation rate, and contents of nutrients and heavy metals in fruiting bodies were compared between the experimental and the conventional sawdust cultivations. Nutrients and heavy metals in fruiting body were determined using the national standard methods. 【Result】 No significant difference in the time taken for hyphae to fill the bag or primordium formation due to substrate formulation differentiation was observed. The fruiting body yield of 27.03 g and biotransformation rate of 13.52% under Formula C that consisted of 48% *M. floridulus*, 30% of *D. dichotomy*, 20% of wheat bran, and 2% of gypsum were slightly, but not significantly, higher than those of control. Under Formula B (78% *M. floridulus*, 20% wheat bran, and 2% gypsum) or Formula D (30% *D. dichotomy*, 48% giant Juncao, 20% wheat bran, and 2% gypsum), the fruiting bodies harvested had significantly higher crude protein than control ($P<0.05$), but not under Formula C. The content of $12.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ on polysaccharides and $1.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ on triterpene in the fruiting bodies grown on Formula C (48% *M. floridulus*, 30% *D. dichotomy*, 20% wheat bran, and 2% gypsum) were significantly higher than those of control at $10.20\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ and $0.80\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. The differently formulated substrates resulted in basically same amounts of amino acids in the mushrooms but

收稿日期: 2021-10-15 初稿; 2022-04-09 修改稿
作者简介: 刘艳玲 (1981-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食药菌栽培 (E-mail: yanlingl@fafu.edu.cn)
* 通信作者: 林占熺 (1943-), 男, 研究员, 研究方向: 菌草应用与推广 (E-mail: wenzilyla@126.com)
基金项目: 福建农林大学学科交叉融合发展先导专项 (XKJC-712021030); 福建省科技计划重大专项 (2021NZ029009)

below the safety limits of heavy metals according to the National Food Safety Standards and Green Food Standards.

【Conclusion】Juncao appeared to provide significant advantages as a substrate for *G. lucidum* cultivation over sawdust.

Key words: *Ganoderma lucidum*; Juncao formula; fruiting body; nutritional components; heavy metals

0 引言

【研究意义】灵芝 [*Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Krast] 是担子菌纲多孔菌科灵芝属真菌, 含三萜类化合物、多糖类、核苷类、生物碱类、氨基酸类等多种药理活性物质, 是一种食药同源的名贵的药材。随着人工栽培灵芝规模的不断扩大, 传统栽培原料所用到的林木资源日渐紧缺, 栽培灵芝原料价格应势而起, 因此寻找新的可利用原料是解决产业发展的关键。菌草是指可用做栽培食(药)用菌的野生和人工种植的草本植物的统称^[1]。利用优质、高产的菌草代替木屑、棉籽壳等常规栽培原料栽培灵芝, 亦可为灵芝生长提供所需营养的主要基质, 并可一定程度地缓解“菌林矛盾”^[2]。【前人研究进展】由于自然、人为等因素导致森林生态系统退化, 森林资源日渐匮乏, 木屑等一些常规栽培原料成本的增加, 以及熟料栽培模式的日益成熟, 作物秸秆^[3]、玉米芯^[4-5]、蔗渣^[6]、中药渣^[7]、菌糟^[8-9]以及药用植物^[10-11]等都可开发作为食药菌的栽培原料。早在 1983 年, 福建农林大学林占熺研究员开始利用巨菌草、象草、斑茅、类芦、五节芒、芒萁等高大的草本植物进行菌草栽培食药菌的研究。近年来, 利用菌草或菌草代料栽培食药菌相关研究亦越来越多, 比如菌草栽培平菇^[12-13]、灰树花^[14]、灵芝^[15-17]、银耳^[18]、秀珍菇^[19]、黑木耳^[20]、猴头菇^[21]等多种食药菌。林树钱等^[22]筛选出菌草栽培灵芝子实体提取多糖肽的最优条件, 发现利用菌草栽培灵芝子实体除了多糖肽主要的理化性质与段木栽培的灵芝相似外, 多糖肽的含量亦比段木栽培灵芝的多糖肽含量高; 林志彬等^[23]人研究发现, 菌草栽培的灵芝在免疫活性和药效方面都能替代段木灵芝。结果表明, 这些菌草不仅可以替代杂木屑栽培和段木栽培灵芝, 而且周期短、出芝快、产量高, 栽培出的灵芝有效药用成分高^[1]。【本研究切入点】在已筛选出 50 多种适合栽培食药菌的菌草中, 五节芒、芒萁属于野生草本植物, 在已筛选出的栽培食药菌的菌草配方中是非常重要的组分^[2], 亦是目前国家菌草工程技术研究中心栽培灵芝的主要组分; 巨菌草是一种可用于栽培多种食药菌、高产、抗逆性强、适应性广且高产的狼尾草属植物。目前, 巨菌草作为推广应用最为广泛的一种菌草,

具有生长快、生物量大等优势, 与传统木屑栽培以及研究中心常用的五节芒、芒萁相比, 其作为主要栽培基质栽培食药菌的效果如何, 有待深入探讨。【拟解决的关键问题】本文分别以木屑、五节芒、芒萁、巨菌草等菌草为灵芝的主要栽培原料, 对比不同菌草栽培原料对灵芝生长状况、子实体产量及子实体营养成分, 为进一步探讨袋栽灵芝过程中栽培基质对灵芝生长的作用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

灵芝 [*Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Krast] G0801 菌株, 由国家菌草工程技术研究中心菌种保藏实验室提供。将短期保存于 4 ℃ 冰箱的 G0801 菌株, 在无菌条件下将其接种在无菌马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (PDA) 培养基上活化。

1.2 材料及试剂

木屑、麸皮和石膏购于农贸市场, 巨菌草、五节芒、芒萁均为福建农林大学菌草工程技术研究中心旗山校区基地种植, 粉碎、晒干后使用。

1.3 供试培养基的制备

1.3.1 母种 PDA 培养基 培养基配方: 土豆 200 g, 葡萄糖 20 g, 蛋白胨 2 g, KH_2PO_3 1.5 g, MgSO_4 0.5 g, 琼脂 20 g, 蒸馏水 1000 mL。

1.3.2 栽培种培养基 麦粒种: 麦粒 (煮熟) 89%, 草粉 10%, 碳酸钙 1%。

1.3.3 栽培实验培养基配制 栽培基质按表 1 所示配置。配方 A 是木屑配方 (本试验中对照组), B、C、D 组则分别是以菌草为主的配方, 以下分别简称为五节芒配方、五节芒+芒萁配方和巨菌草配方。

按表 1 将栽培原料各成分混合均匀。选用 23 cm×42 cm×0.03 cm 的聚乙烯袋, 每袋装湿料 1000 g, 121 ℃ 灭菌 5 h, 冷却至室温后, 无菌条件下每袋按盖面接接种接入栽培种, 每个配方装袋 100 袋。

1.4 培养条件及栽培方法

灵芝菌丝生长阶段培养条件为: 28 ℃, 避光, 湿度 50%~60%; 出芝阶段培养条件为光照 800 lx, 湿度 90%, 温度 27 ℃, 整个栽培过程均在国家菌草工程技术研究中心人工气候室内完成。

1.5 数据记录

栽培期间观测记录污染菌袋数、菌丝满袋时

表 1 栽培基质配方
Table 1 Differently formulated substrates for *G. lucidum* cultivation

配方编号 Formulation No.	杂木屑 Sawdust/ %	五节芒 <i>Miscantus floridulus</i> / %	芒萁 <i>Dicranopteris dichotomy</i> / %	巨菌草 Gaint juncao/ %	麸皮 Bran/ %	石膏 Gypsum/ %
A (CK)	78	—	—	—	20	2
B	—	78	—	—	20	2
C	—	48	30	—	20	2
D	—	—	30	48	20	2

间、原基形成时间，采收第一茬灵芝后，称量灵芝子实体鲜质量，计算每袋平均产量；然后将第一茬采收的灵芝子实体烘干至恒重，根据公式计算生物转化率。生物转化率/%=(子实体干质量/栽培原料干质量)×100。

1.6 子实体营养物质含量及活性成分的测定

预处理：将收获新鲜灵芝子实体烘干，然后用植物粉碎机加工粉碎备用。

子实体营养物质的测定指标及测定方法如下：粗脂肪含量测定按照 GB 5009.6—2016^[24]，粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5—2016^[25]，粗纤维测含量测定参照 GB/T 5009.10—2003^[26]，粗灰分含量测定参照 GB 5009.4—2016^[27]，氨基酸的含量测定参照 GB 5009.124—2016^[28]，镉含量的测定参照 GB 5009.15—2014^[29]；铅含量的测定参照 GB 5009.12—2017^[30]；砷含量的测定参照 GB 5009.11—2014^[31]；汞含量的测定参照 GB 5009.17—2021^[32]。

灵芝多糖提取、测定方法：称取烘干粉碎的灵

芝子实体样品，料液比 m (灵芝样品): V (水)=1:60，100 ℃ 浸提 2 h，浸提 2 次，过滤，将滤液合并，绘制标准曲线，利用苯酚硫酸法测定多糖含量^[33]。

三萜提取和含量测定参照 Chen Y 等^[34]的方法。

1.7 数据处理

将收集的数据用 SPSS 23.0 软件对试验数据进行统计分析，采用 ONE WAY ANOVA 进行方差分析和显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同原料栽培灵芝对灵芝生长及子实体产量的对比

不同配方对灵芝生长的影响见表 2，木屑、五节芒、五节芒+芒萁、巨菌草 4 种配方的污染率分别是 8%、5%、4% 和 11%，100 袋中有效袋数均在 89 袋及以上。4 种配方之间的菌丝满袋时间和原基形成时间均不存在显著性差异 ($P>0.05$)，其中五节芒配方菌丝满袋时间和原基形成时间均是 4 个配方中最短；与木屑配方相比，其他 3 种配方的子实体收获时间均极显著降低 ($P<0.01$)；五节芒配方的子实体的菌柄长度 (2.69 cm) 和菌盖直径 (11.61 cm) 均显著小于其他 3 种配方，而其他 3 种配方之间无显著差异，其中五节芒+芒萁配方的菌柄长度和菌盖直径最大，分别是 3.59 cm 和 13.13 cm。在 4 种配方中，五节芒+芒萁配方的灵芝子实体产量最高 (27.03 g·袋⁻¹)，五节芒配方子实体产量最低 (17.02 g·袋⁻¹)，且显著低于其他 3 种配方 ($P<0.05$)；五节芒配方的生物转化率是 4 种配方中最低 (8.51%)，五节芒+芒萁

表 2 不同配方栽培料对灵芝生长的影响
Table 2 Effect of differently formulated substrates on growth of *G. lucidum*

测定指标 Measurement index	木屑配方 Formula A	五节芒配方 Formula B	五节芒+芒萁配方 Formula C	巨菌草配方 Formula D
污染率 Contamination rate/%	8%	5%	4%	11%
菌丝满袋时间 Full hyphae period/d	36.30±3.12 a	33.80±2.04 a	35.20±1.28 a	35.70±1.84 a
原基形成时间 Primordium formation time/d	56.40±1.26 a	54.70±3.12 a	54.80±1.43 a	55.20±2.17 a
子实体收获时间 Fruit body harvest time/d	102.30±2.74 Aa	89.60±3.57 Cd	91.40±2.92 BCc	93.80±1.96 Bb
菌柄长度 Stipe length/cm	3.47±0.35 a	2.69±0.28 b	3.59±0.54 a	3.48±0.32 a
菌盖直径 Cap diameter/cm	12.49±1.98 a	11.61±1.03 b	13.13±1.16 a	12.51±1.27 a
子实体产量 Fruit body yield/ (g·袋 ⁻¹)	25.67±1.43 a	17.02±1.16 b	27.03±3.22 a	25.37±4.35 a
生物转化率 Biotransformation rate/%	12.84±0.65 ab	8.51±0.50 c	13.52±0.46 a	12.69±0.66 b

表格中数值均为平均值±SD， $n=50$ ；不同大写字母代表具有极显著差异 ($P<0.01$)，不同小写字母代表具有显著差异 ($P<0.05$)。
Data are shown as mean ±SD, $n=50$; those with different capital letters represent significant differences at $P<0.01$; those with different lowercase letters at $P<0.05$.

配方生物转化率最高（13.52%），显著高于五节芒和巨菌草配方，但与木屑配方相比无显著性差异。

2.2 不同菌草栽培原料子实体营养成分含量的对比

4 种不同配方为原料栽培的子实体主要成分如表 3 所示，由表 3 可知，4 种配方子实体的粗脂肪和灰分含量均无明显差异，其中五节芒配方子实体粗脂肪和灰分含量最低；木屑配方子实体粗纤维含量最高，显著高于五节芒配方（ $P<0.05$ ）；3 种菌草

配方子实体中的粗蛋白和多糖含量均高于木屑配方，其中五节芒和巨菌草配方灵芝子实体粗蛋白显著高于木屑配方（ $P<0.05$ ）；五节芒+芒萁和巨菌草配方的多糖显著高于木屑配方（ $P<0.05$ ）；且 3 种菌草配方栽培的灵芝子实体三萜含量均显著高于木屑组（ $P<0.05$ ），其中巨菌草配方三萜含量比木屑高 27.28%。

表 3 不同配方栽培料对灵芝子实体营养成分的影响
Table 3 Effect of differently formulated substrates on nutrients in *G. lucidum* fruiting body

营养成分 Nutrient composition	木屑配方 Formula A	五节芒配方 Formula B	五节芒+芒萁配方 Formula C	巨菌草配方 Formula D
粗脂肪 Crude fat/%	3.45±0.21 a	2.83±0.04 a	3.26±0.06 a	2.97±0.06 a
粗蛋白 Crude protein/%	13.57±0.06 b	15.33±0.95 a	14.67±0.12 ab	15.23±0.85 a
粗纤维 Crude fiber/%	40.86±0.39 a	32.01±1.89 b	40.13±1.05 a	40.12±0.85 a
灰分 Ash content/%	2.53±0.23 a	2.35±0.09 a	2.58±0.15 a	2.47±0.37 a
多糖 Polysaccharide/ (mg·g ⁻¹)	10.20±0.15 c	11.40±2.46 bc	12.10±0.58 b	14.30±0.72 a
三萜 Triterpene/ (mg·g ⁻¹)	0.80±0.05 b	0.98±0.02 a	1.01±0.03 a	1.13±0.02 a

表中数值为平均值±SD， $n=10$ ；不同上标字母代表数值间的差异显著（ $P<0.05$ ）。
Data are shown as mean±SD, $n=10$; those with different lowercase letters indicate significant differences at $P<0.05$.

2.3 灵芝子实体中氨基酸含量

不同菌草配方对灵芝子实体中氨基酸含量的影响见表 4，4 种配方的灵芝子实体均检测到 17 种氨基酸，其中 7 种必需氨基酸（Essential amino acid, EAA）均包括在内。配方 A、B、C、D 的氨基酸总量分别为 11.342%、11.759%、12.262%、12.050%，必需氨基酸总占比分别为 55.669%、54.137%、53.262%、52.224%。

2.4 灵芝子实体中重金属含量

灵芝子实体中重金属检测结果见表 5，4 种配方栽培的灵芝子实体砷、铅、汞、镉等重金属含量均符合国家标准以及绿色食品标准。

3 讨论

牧草和野草被作为原料栽培食药菌，从 1996 年开始已有报道，林占熺提出了以草代木、以草代粮的概念，为解决菌林矛盾和菌粮矛盾提供了一条新的思路和途径^[35]。近年来，利用草料栽培食用菌的报道亦逐渐增多，比如：利用香根草栽培毛木耳^[36]、黄蒿草栽培鸡腿菇^[37]、五节芒栽培杏鲍菇^[38]、百喜草栽培金针菇^[39]、牧草栽培金针菇^[40]等研究均

证实了以草代木栽培食用菌的可行性。而随着人民生活水平的提高和灵芝保健作用的了解，灵芝类保健品和灵芝相关食品的需求也处于逐渐增加的趋势，同时灵芝栽培技术逐渐成熟，使得灵芝产品普及度也逐渐升高。

林占熺研究员自 1987 年开始利用芒萁、五节芒、类芦、斑茅、菅、象草、巨菌草、芦竹等高大的草本植物栽培灵芝，到目前为止，筛选出 15 种栽培灵芝菌草常用配方^[2]。本文选择筛选出的 15 种配方中的五节芒、芒萁、巨菌草为主要栽培原料栽培灵芝，并与木屑配方做比较，研究结果表明 3 种菌草配方菌丝满袋时间和原基形成时间与木屑配方并无显著差异，但 3 种菌草配方菌丝满袋时间略短于木屑配方，而原基形成时间相差无几；三种菌草配方的子实体收获时间均明显缩短，子实体产量除了五节芒配方显著低于其他配方外，五节芒+芒萁配方和巨菌草配方的子实体产量与对照组木屑配方没有差异，其中五节芒+芒萁配方略高于木屑配方。研究结果表明，在林占熺研究员以五节芒+芒萁配方为主的灵芝栽培理论前提下，以五节芒为主以及以芒萁和巨菌草配方栽培灵芝亦是可行的，且五节芒配

表 4 不同栽培原料对灵芝子实体氨基酸含量的影响
Table 4 Effect of differently formulated substrates on amino acids in *G. lucidum* fruiting body (单位: %)

氨基酸种类 Amino acids	木屑配方 Formula A	五节芒配方 Formula B	五节芒+芒萁配方 Formula C	巨菌草配方 Formula C
天门冬氨酸 Aspartic acid	1.029	0.987	1.034	1.007
苏氨酸* Threonine	0.691	0.694	0.701	0.653
丝氨酸 Serine	0.568	0.595	0.561	0.593
谷氨酸 Glutamic acid	1.237	1.106	1.315	1.324
脯氨酸 Proline	0.538	0.501	0.537	0.487
甘氨酸 Glycine	0.563	0.541	0.572	0.512
丙氨酸 Alanine	0.671	0.648	0.637	0.642
胱氨酸 Cystine	0.020	0.021	0.023	0.019
缬氨酸* Valine	2.063	2.135	2.194	2.116
蛋氨酸* Methionine	1.297	1.268	1.294	1.283
异亮氨酸* Isoleucine	0.513	0.525	0.564	0.531
亮氨酸* Leucine	0.746	0.742	0.759	0.721
酪氨酸 Tyrosine	0.317	0.304	0.321	0.309
苯丙氨酸* Phenylalanine	0.423	0.426	0.437	0.418
赖氨酸* Lysine	0.581	0.576	0.582	0.571
组氨酸 Histidine	0.324	0.285	0.319	0.296
精氨酸 Arginine	0.403	0.405	0.412	0.397
氨基酸总量 Total Amino acid	11.342	11.759	12.262	12.050
必需氨基酸总量 EAA	6.314	6.366	6.531	6.293
必需氨基酸总量占比 The proportion of EAA	55.669	54.137	53.262	52.224

*表示必需氨基酸。
* essential amino acids.

方、五节芒+芒萁配方和巨菌草配方的生长情况和生物转化率相当。这一结果与杨丽秋等^[15]利用菌草栽

培灵芝的研究结果相比, 该生物转化率略低。灵芝生长与品种、温度、湿度、光质、光照、二氧化碳浓度、栽培原料和栽培方式等诸多因素^[41-46]相关, 推测该试验中所用菌株、栽培原料配比、栽培环境等均可直接影响灵芝生长以及子实体的产量。因此, 找出最优栽培原料配比、最优栽培环境等亦是今后菌草栽培灵芝中重点研究方向。

配方 C (五节芒 48%、芒萁 30%、麸皮 20%、石膏 2%) 栽培的灵芝在产量、生物转化率、粗蛋白、多糖含量、氨基酸含量均高于对照木屑配方。3 种菌草配方子实体中的灵芝多糖和三萜含量显著高于木屑配方, 这与林树钱^[22]、杨丽秋^[15]等的研究结果一致。食(药)用菌子实体多糖均具有免疫、解毒和抗血凝等作用, 有研究表明, 灵芝菌糟菌丝体多糖具有提高畜禽免疫力和提高生产性能的作用^[47-48]。苏德伟等^[49]以菌草栽培的 15 种食药两用菌为试验材料分析其氨基酸组成成分和营养价值评价结果表明, 菌草栽培的食药两用菌品种味觉氨基酸和药用氨基酸含量丰富, 有望在特色风味产品的开发以及现代中医、中药领域发挥潜力。李波等曾报道, 选择适宜的菌草代替常规栽培原料可提高食用菌子实体产量, 改善食用菌品质, 有利于提升食药两用菌的食用价值, 同时可降低生产成本^[50]。此外, 通过农艺性状结合子实体产量以及灵芝子实体中的主要活性成分分析, 五节芒+芒萁配方和巨菌草配方的子实体产量与木屑配方相当, 且 3 种菌草配方栽培的灵芝子实体中的活性成分——灵芝多糖和三萜含量均高于木屑配方; 加之与林木资源相比, 五节芒、芒萁、巨菌草等菌草具有生长期短、生物量累积快(尤其巨菌草的生物量每 667m² 可达 10~15t) 的特点, 代替木屑作为灵芝栽培原料可避免食药两用菌栽培过程中木材消耗过大而造成的环境恶化问题。因此, 利用生长期短、生物量累积快的菌草代替或者部分替代传统栽培灵芝的木屑是一个很好的探索方向, 如何尽可能地利用和突显这一优势也是今后利用菌草栽培食药两用菌相关研究中的重点。

表 5 灵芝子实体重金属含量
Table 5 Content of heavy metals in *G. lucidum* fruiting body

重金属 Heavy metal	木屑配方 Formula A	五节芒配方 Formula B	五节芒+芒萁配方 Formula C	巨菌草配方 Formula D	国家标准 National Standard	绿色食品标准 Green food standard
砷 As	0.30	0.12	0.11	0.25	≤1.00	≤0.50
铅 Pb	0.08	0.52	0.46	0.50	≤2.00	≤1.00
汞 Hg	0.02	0.03	0.03	0.03	≤0.20	≤0.10
镉 Cd	0.18	0.17	0.16	0.18	≤1.50	≤1.00

目前,工农业生产中均存在重金属污染问题,且诸多研究表明植物或多或少都会吸附土壤中的重金属,比如前文提到的香根草^[51]、百喜草^[52]等。同样,食药菌对重金属已有一定程度的累积作用。谢宝贵等研究结果表明,灵芝对砷、铅、汞、镉等重金属有一定的富集能力^[53]。童金华等^[54]研究表明菌草栽培的灵芝同样对砷、铅、汞、镉等重金属有一定的富集作用,但重金属含量均低于灵芝行业标准。本试验重金属测定结果显示,3种菌草配方子实体重金属含量均符合国家绿色食品要求。其中,菌草3种配方的砷含量均略低于木屑配方,而铅和汞的含量却高于木屑配方,镉含量几乎无明显区别。在菌草生长过程中以及利用菌草栽培灵芝的生长过程中,均会有一定程度重金属累积,因此,在选择菌草种植地、栽培灵芝的菌草以及栽培灵芝其他原料时,务必考虑重金属问题。

食药菌生产规模不断扩大、菌林矛盾、原料短缺等问题导致灵芝生产成本大幅提高,同时也制约着产业的可持续发展。而菌草作为可再生资源,生产工艺绿色环保,且菌草栽培食药菌亦有工厂化趋势^[19],因此,菌草替代部分木屑、棉籽壳等其他常规原料栽培灵芝有广阔的发展前景,且市场前景、经济效益和市场价值均十分可观。

4 结论

本文中,菌草配方的菌丝生长速度、菌丝满袋时间和原基形成时间与木屑配方相比,均无显著差异,五节芒+芒萁配方子实体产量和生物转化率均略高于木屑配方,但无显著性差异;五节芒配方和芒萁+巨菌草配方粗蛋白显著高于木屑配方,五节芒+芒萁配方粗蛋白含量略高于木屑,但无显著性差异;五节芒+芒萁多糖含量显著高于木屑配方;四种配方子实体中的氨基酸总量基本一致,且子实体中重金属含量均符合国家标准以及绿色食品标准。综上所述,菌草作为灵芝栽培基质与木屑作为灵芝栽培基质相比具有成本低、来源足等优越性,且品质几乎与木屑无异,但若栽培出子实体产量更高、品质更好的灵芝,相关配方还需进一步优化,转化机理有待进一步研究,为菌草代替段木栽培灵芝提供更科学的理论支撑。

参考文献:

- [1] 林占熺,林辉.菌草学[M].2版.北京:中国农业科学技术出版社,2003:9-10.
- [2] 林占熺.菌草学[M].3版.北京:国家行政学院出版社,2013.
- [3] 伦志明,郭文学,马怀良,等.作物秸秆栽培灵芝试验研究[J].食用

菌,2011,33(5):24-25.

- LUN Z M, GUO W X, MA H L, et al. Experimental study on cultivation of *Ganoderma lucidum* with straw [J]. *Edible Fungi*, 2011, 33(5):24-25. (in Chinese)
- [4] 魏雅冬,李艳芳,戴明,等.玉米芯和玉米秸栽培灵芝、猴头及榆黄蘑配方研究[J].*陕西农业科学*,2017,63(7):12-14.
- WEI Y D, LI Y F, DAI M, et al. Study on the formula of cultivating *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus* and *Pleurotus citrinopileatus* with corn cob and corn stalk [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 63(7):12-14. (in Chinese)
- [5] 陈丽艳,杨晓旭,綦菲,等.灵芝菌发酵基质的条件优化及菌质活性物质的分析[J].*中国实验方剂学杂志*,2014,20(8):106-109.
- CHEN L Y, YANG X X, QI F, et al. Optimal conditions for fermentation of *Ganoderma lucidum* and analysis of the active components of the new fungal substance [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2014, 20(8):106-109. (in Chinese)
- [6] 赵风云,杨鑫,黄淑君,等.以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝酶活性及其营养对比研究[J].*现代食品科技*,2015,31(1):84-89.
- ZHAO F Y, YANG X, HUANG S J, et al. Comparison of enzyme activity and nutrients of *Ganoderma lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(1):84-89. (in Chinese)
- [7] 夏伯阳,夏振华,庞盼盼,等.中药渣栽培灵芝的基质配方研究[J].*农村经济与科技*,2021,32(8):28-30.
- XIA B Y, XIA Z H, PANG P P, et al. Study on the substrate formula of *Ganoderma lucidum* cultivation with traditional Chinese medicine residue [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2021, 32(8):28-30. (in Chinese)
- [8] 张国广,王丽霞,占凌云,等.杏鲍菇菌糠提取液对4种食用菌菌丝生长影响[J].*中国食用菌*,2009,28(5):19-20,23.
- ZHANG G G, WANG L X, ZHAN L Y, et al. Effect of spent substrate of *Pleurotus eryngii* on the mycelia growth of four edible fungi [J]. *Edible Fungi of China*, 2009, 28(5):19-20,23. (in Chinese)
- [9] 李挺,宋斌,林敏,等.真姬菇菌糠提取液对5种食用菌的化感作用[J].*中国食用菌*,2013,32(1):38-40.
- LI T, SONG B, LIN M, et al. Allelopathy of spent substrate extract of *Hypsizygus marmoreus* on five edible fungi[J]. *Edible Fungi of China*, 2013, 32(1):38-40. (in Chinese)
- [10] 陈学强.厚朴木质部栽培食药菌的研究[D].雅安:四川农业大学,2010.
- CHEN X Q. The study on cultivation of edible and medicinal fungi using xylem of *magnolia officinalis* [D]. Yaan: Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [11] 郭耀辉,罗霞,余梦瑶,等.中药非药用部位栽培灵芝的活性成分及药效变化[J].*微生物学报*,2011,51(6):764-768.
- GUO Y H, LUO X, YU M Y, et al. Active ingredients and efficacies of *Ganoderma lucidum* cultivated on non-medicinal parts of Chinese medicinal herbs [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2011, 51(6):764-768. (in Chinese)
- [12] 薛志香,曾峰,曹秀明,等.鲜菌草栽培平菇配方筛选[J].*北方园艺*,2019(6):147-150.

- XUE Z X, ZENG F, CAO X M, et al. Medium formulae screening for *Pleurotus ostreatus* cultivation with fresh Juncao [J]. *Northern Horticulture*, 2019 (6): 147–150. (in Chinese)
- [13] 王永娇. 菌草代料栽培平菇试验初报 [J]. *农业科技与信息*, 2021 (7): 45–46, 53.
- WANG Y J. Preliminary report on cultivation of *Pleurotus ostreatus* with grass as substitute [J]. *Agricultural Science-technology and Information*, 2021 (7): 45–46, 53. (in Chinese)
- [14] 曹秀明, 蔡杨星, 林占熿. 菌草栽培灰树花子实体多糖的研究 [J]. *北方园艺*, 2006 (2): 158–165.
- CAO X M, CAI Y X, LIN Z X. Polysaccharides in the fruit body of *Grifola frondosa* cultivated with Juncao [J]. *Northern Horticulture*, 2006 (2): 158–165. (in Chinese)
- [15] 杨丽秋, 范锦琳, 刘欣怡等. 菌草对灵芝生长状况及营养成分的影响 [J]. *福建农业学报*, 2017, 32 (5): 508–511.
- YANG L Q, FAN J L, LIU X Y, et al. Effects of grass-substrates on growth and nutrients of *Ganoderma lucidum* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 32 (5): 508–511. (in Chinese)
- [16] 林兴生, 林占熿, 林辉, 等. 菌草鹿角灵芝新菌株栽培特性及活性成分分析 [J]. *四川大学学报 (自然科学版)*, 2020, 57 (1): 181–185.
- LIN X S, LIN Z X, LIN H, et al. Analysis of cultivation characteristics and active components of the new strain of antler-shape *Ganoderma lucidum* with Juncao [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2020, 57 (1): 181–185. (in Chinese)
- [17] 林应兴. 菌草灵芝研究现状与前景 [J]. *北方园艺*, 2006 (2): 142–147.
- LIN Y X. Research status and prospection on Juncao *Ganoderma lucidum* [J]. *Northern Horticulture*, 2006 (2): 142–147. (in Chinese)
- [18] 林兴生, 王泽辉, 马运龙, 等. 鲜菌草工厂化栽培银耳物质转化特性研究 [J]. *四川大学学报 (自然科学版)*, 2021, 58 (5): 138–144.
- LIN X S, WANG Z H, MA Y L, et al. Study on characteristics of matter transformation of tremella fuciformis in factory cultivation with fresh Juncao [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2021, 58 (5): 138–144. (in Chinese)
- [19] 刘朋虎, 曾维源, 林占熿. 巨菌草工厂化栽培秀珍菇技术初探 [J]. *食用菌*, 2021, 43 (2): 54–55.
- LIU P H, ZENG W Y, LIN Z X. Preliminary study on industrialized cultivation of *Pleurotus ostreatus* with giant fungus [J]. *Edible fungi*, 2021, 43 (2): 54–55. (in Chinese)
- [20] 历建梅. 菌草替代木屑代料栽培黑木耳试验 [J]. *中国林副特产*, 2021, 174(5): 25–26.
- LI J M. Experiment on cultivating *Auricularia auricula* with grass instead of sawdust [J]. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2021, 174(5): 25–26. (in Chinese)
- [21] 薛变丽, 李武辉, 李波, 等. 绿洲一号菌草栽培猴头菇配方比较试验 [J]. *食用菌*, 2021, 43 (4): 40–42.
- XUE B L, LI W H, LI B, et al. Comparative experiment on substrate formula for cultivating *Hericium erinaceus* with giant grass "Lyuzhou No. 1" [J]. *Edible Fungi*, 2021, 43 (4): 40–42. (in Chinese)
- [22] 林树钱, 王赛贞, 刘斌, 等. 段木灵芝与代料灵芝的化学成分的研究 II. 主要营养成分、孢子、多肽、油脂成分 [J]. *海峡药学*, 2005, 17(4): 88–90.
- LIN S Q, WANG S Z, LIU B, et al. Studies on chemical components of wood log cultivated and tube-cultivated *Ganoderma lucidum* II nutritional components spore colypeptides fat components [J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2005, 17(4): 88–90. (in Chinese)
- [23] CAO L Z, LIN Z B. Comparison of the effects of polysaccharides from wood-cultured and bag-cultured *Ganoderma lucidum* on murine spleen lymphocyte proliferation *in vitro* [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2003, 38 (2): 92–97.
- [24] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [25] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [26] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [28] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中镉的测定: GB 5009.15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [30] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铅的测定: GB 5009.12—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [31] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定: GB 5009.11—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [32] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定: GB 5009.17—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [33] 张志军, 刘建华, 李淑芳, 等. 灵芝多糖含量的苯酚硫酸法检测研究 [J]. *食品工业科技*, 2006 (2): 193–195.
- ZHANG Z J, LIU J H, LI S F, et al. Determination of polysaccharides content in *Ganoderma lucidum* by Phenol-Sulfuric acid method [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2006 (2): 193–195. (in Chinese)
- [34] CHEN Y, XIE M Y, GONG X F. Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum* [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 8(1): 162–170.
- [35] 林占熿. 菌草代木代粮栽培食用菌保护森林资源 [J]. *福建水土保持*, 2004 (6): 15–17.
- LIN Z X. Cultivation of edible fungi with grass instead of wood and grain to protect forest resources [J]. *Fujian Soil and water conservation*, 2004 (6): 15–17. (in Chinese)
- [36] 林辉, 罗海凌, 林占熿. 香根草栽培毛木耳的研究 [J]. *食用菌*, 2004 (6): 14–15.

- LIN H, LUO H L, LIN Z X. Study on cultivation of *Auricularia polytricha* by *Vetiveria zizanioides* [J]. *Edible Fungi*, 2004 (6): 14–15. (in Chinese)
- [37] 王振坤, 李富得, 田军, 等. 黄蒿草粉栽培鸡腿菇试验 [J]. *食用菌*, 2006, 28(5): 33.
- WANG Z K, LI F D, TIAN J, et al. Experiment on cultivation of *Coprinus comatus* with *Artemisia annua* powder [J]. *Edible Fungi*, 2006, 28(5): 33. (in Chinese)
- [38] 刘叶高. 五节芒栽培杏鲍菇等三种珍稀食用菌试验研究 [J]. *现代园艺*, 2006 (7): 4–5.
- LIU Y G. Experimental study on the cultivation of three rare edible fungi, such as *Pleurotus eryngii* with five awns [J]. *Modern Horticulture*, 2006 (7): 4–5. (in Chinese)
- [39] 唐祥宁, 卞国强, 张木, 等. 百喜草栽培金针菇试验 [J]. *中国食用菌*, 2001, 20(4): 10–12.
- TANG X N, BIAN G Q, ZHANG M, et al. Studies on cultivating *Flammulina velutipes* with *Paspalum notatum* [J]. *Edible Fungi of China*, 2001, 20(4): 10–12. (in Chinese)
- [40] 苏水金, 陈楚银, 苏德成, 等. 牧草栽培金针菇试验研究 [J]. *福建水土保持*, 1997, 9(3): 57–60.
- SU S J, CHEN C Y, SU D C, et al. Experimental study on cultivation of *Flammulina velutipes* with forage [J]. *Fujian Soil and Water Conservation*, 1997, 9(3): 57–60. (in Chinese)
- [41] 宋婷婷, 张作法, 范丽军, 等. 不同类型灵芝品种的农艺性状、显微结构以及功能成分的比较 [J]. *菌物学报*, 2020, 39 (1): 34–41.
- SONG T T, ZHANG Z F, FAN L J, et al. Comparison of agronomic characteristics, microstructures and phytochemical content of fruiting body and spore of four cultivated varieties of *Ganoderma lingzhi* [J]. *Mycosystema*, 2020, 39 (1): 34–41. (in Chinese)
- [42] 潘静, 朱长俊, 郑雨晴, 等. 浅析外在因素对灵芝品质的影响 [J]. *南方农业*, 2021, 15 (26): 11–13.
- PAN J, ZHU C J, ZHENG Y Q, et al. Analysis on the influence of external factors on the quality of *Ganoderma lucidum* [J]. *South China Agriculture*, 2021, 15 (26): 11–13. (in Chinese)
- [43] 梅锡玲. 光质对灵芝生长、内源植物激素及三萜酸影响研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2014.
- MEI X L, 2014. Effect of light quality on growth endogenous phytohormone and triterpenic acid of *Ganoderma lucidum*[D]. Beijing: Peking Union Medical College Hospital, 2014. (in Chinese)
- [44] 姚珂, 韩嘉钰, 贺黎铭, 等. 空气中CO₂浓度对灵芝三萜的影响及其分子机制研究 [J]. *中国食用菌*, 2018, 37 (6): 44–49.
- YAO K, HAN J Y, HE L M, et al. Effect of CO₂ concentration in air on triterpene of *Ganoderma lucidum* and its molecular mechanism [J]. *Edible Fungi of China*, 2018, 37 (6): 44–49. (in Chinese)
- [45] 叶丽秀, 周明, 程薇, 等. 不同原料栽培的灵芝品质比较 [J]. *食用菌*, 2008, 30 (6): 52–53.
- YE L X, ZHOU M, CHENG W, et al. Quality comparison of *Ganoderma lucidum* cultivated with different raw materials [J]. *Edible Fungi*, 2008, 30 (6): 52–53. (in Chinese)
- [46] 刘松洁, 郑林用, 许晓燕, 等. 培养基原料和配方对不同生产方式下灵芝品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39 (6): 3674–3676.
- LIU S J, ZHENG L Y, XU X Y, et al. Effect of kinds and formula of medium on quality of *Ganoderma lucidum* produced by different methods [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39 (6): 3674–3676. (in Chinese)
- [47] LIU Y L, MEI L, LI J, et al. Effect of JUNCAO-cultivated *Ganoderma lucidum* spent mushroom substrate-hot water extract on immune function in mice [J]. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 2018, 17 (2): 261–267.
- [48] 刘艳玲, 李卫东, 林冬梅, 等. 菌草灵芝菌糟提取物对免疫力低下小鼠抗氧化能力的影响 [J]. *福建农林大学学报 (自然科学版)*, 2015, 44 (3): 303–307.
- LIU Y L, LI W D, LIN D M, et al. Serum antioxidant activity of hot water extract of spent mushroom substrate from *Ganoderma lucidum* cultivated by Juncao evaluated using an immune-deficient mouse model [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2015, 44 (3): 303–307. (in Chinese)
- [49] 苏德伟, 林辉, 宋飞飞, 等. 菌草栽培食 (药) 用菌的氨基酸组成及营养价值评价 [J]. *中国食用菌*, 2021, 40 (2): 62–70.
- SU D W, LIN H, SONG F F, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of edible and medicinal fungi cultivated by Juncao [J]. *Edible Fungi of China*, 2021, 40 (2): 62–70. (in Chinese)
- [50] 李波, 刘朋虎, 王义祥, 等. 以草代料栽培食用菌的相关技术与主要物质转化机制研究进展 [J]. *福建农业学报*, 2015, 30 (1): 90–97.
- LI B, LIU P H, Wang Y X, et al. Utilization of herbage for and material transformation in edible fungi cultivation [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30 (1): 90–97. (in Chinese)
- [51] 许钟丹, 郝俊, 陈超, 等. 香根草种植年限对煤矿石山土壤重金属的吸收与富集能力 [J]. *西南农业学报*, 2020, 33 (6): 1241–1246.
- XU Z D, HAO J, CHEN C, et al. Effects of different planting years of *Vetiveria zizanioides* on its absorption and enrichment capacity for soil heavy metals in coal gangue piles [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33 (6): 1241–1246. (in Chinese)
- [52] 夏汉平, 束文圣. 香根草和百喜草对铅锌尾矿重金属的抗性与吸收差异研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1121–1129.
- XIA H P, SHU W S. Resistance to and uptake of heavy metals by *Vetiveria zizanioides* and *Paspalum notatum* from lead/zinc mine tailings [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1121–1129. (in Chinese)
- [53] 谢宝贵, 刘洁玉. 重金属在三种食用菌中的累积及对其生长的影响 [J]. *中国食用菌*, 2005, 24(2): 35–38.
- XIE B G, LIU J Y. Effects of heavy metals of Pb, Cd, Hg and As on the growth of three edible fungus [J]. *Edible Fungi of China*, 2005, 24(2): 35–38. (in Chinese)
- [54] 童金华, 林应兴, 李晶, 等. 菌草灵芝提取物的危害及控制措施 [J]. *福建农林大学学报 (自然科学版)*, 2015, 44 (6): 634–638.
- TONG J H, LIN Y X, LI J, et al. Hazard and control measures of Juncao *Ganoderma lucidum* extract [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2015, 44 (6): 634–638. (in Chinese)

(责任编辑: 吴宇琳)