

不同有机肥对灵芝生长及品质的影响研究

刘晓星, 李本丽, 范小虎*

(广西壮族自治区国有高峰林场, 南宁 530001)

摘要:【目的】探究不同有机肥对灵芝生长及品质的影响, 为经济种植提供更加科学的肥料选择依据, 进而优化种植结构。【方法】以某林场为试验地, 分别选用红灵芝和黑紫芝作为种植作物。其中, 红灵芝采用菌包种植方法, 黑紫芝采用菌棒种植方法, 按照种植方法进行菌木培养, 再将培养好的菌木种植到畦地中。使用腐熟苹果渣、牛粪、羊粪、麦麸、棉籽壳(A3中用到)和杂木屑(A3中用到)等原材料制备有机肥, 并分别编号为A1-A3, 按照设定的施肥时间和施肥量对种植区域进行施肥。设置不施加有机肥的种植区域, 将其设定为A4组。由此, 对两种灵芝的生长过程进行实时监测和数据采集。【结果】在分析灵芝的生长状况时, A2组的红灵芝菌盖直径为9.3 cm, 生物量为200 g/m², 黑紫芝菌盖直径为9.5 cm, 生物量为250 g/m², 均为最大值; 在分析灵芝品质时, A2组的红灵芝灰分含量为0.5%, 多糖含量为7.2 g/100 g, 三萜类化合物含量为3.52 mg/g; 黑紫芝灰分含量为0.3%, 多糖含量为4.6 g/100 g, 三萜类化合物含量为3.20 mg/g。【结论】A2组有机肥能够有效提高林下经济种植作物的产量和品质。

关键词: 有机肥; 灵芝生长; 品质影响; 经济种植; 施肥试验

中图分类号: S567.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)02-0085-08

Effects of Different Organic Fertilizers on the Growth and Quality of *Ganoderma lucidum*

LIU Xiao-xing, LI Ben-li, FAN Xiao-hu*

(Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm, Nanning 530001, China)

Abstract: Objective: To explore the effects of different organic fertilizers on the growth and quality of *Ganoderma lucidum*, thereby providing a scientific basis for fertilizer selection in understory economic planting and optimizing cultivation practices. [Methods] A forest farm was selected as the experimental site, with red *Ganoderma lucidum* (cultivated via fungal substrate bags) and black *Ganoderma lucidum* (cultivated via inoculated logs) as test crops. Fungal substrates were prepared according to respective cultivation methods and transplanted into field ridges. Three organic fertilizers (labeled A1-A3) were formulated using decomposed apple pomace, cow manure, sheep manure, wheat bran, cottonseed hulls (A3 only), and mixed wood chips (A3 only). Fertilization was applied to designated plots at predefined intervals and dosages, while a control group (A4) received no organic fertilizer. Growth parameters and quality indicators of both *Ganoderma lucidum* varieties were monitored and recorded throughout the trial. Results: The A2 treatment group exhibited optimal growth: red *Ganoderma lucidum* achieved a cap diameter of 9.3 cm and biomass of 200 g/m², while black *Ganoderma lucidum* reached 9.5 cm and 250 g/m², respectively. Quality analysis revealed that red *Ganoderma lucidum* in A2 contained 0.5% ash, 7.2 g/100 g polysaccharides, and 3.52 mg/g triterpenoids, whereas black *Ganoderma lucidum* contained 0.3% ash, 4.6 g/100 g polysaccharides, and 3.20 mg/g triterpenoids. Conclusion. Organic fertilizers of A2 significantly enhance both yield and quality of understory *Ganoderma lucidum* in economic cultivation systems.

Key words: Organic fertilizer; *Ganoderma lucidum* growth; Quality impact; Economic planting; Fertilization experiment

收稿日期: 2024-11-23

基金项目: 广西科技厅基金项目(桂科 AB21076019)

作者简介: 刘晓星(1972-), 男, 副高级林业工程师, 硕士, 从事林下经济种植研究。

通信作者: 范小虎, 男, 高级工程师, E-mail: fxz8988@163.com

在现代林下经济种植中,灵芝作为一种珍贵的药用真菌,凭借其丰富的药理活性和广阔的应用前景受到广泛关注。为了提高灵芝的产量和品质,优化种植结构,科学合理的选择和使用肥料显得尤为重要^[1]。近年来,随着人们对食品安全和环境保护意识的增强,有机肥因其能够改善土壤结构、提高土壤肥力、减少环境污染等优点,逐渐成为农业种植中的重要肥料选择^[2-3]。

关于不同有机肥对灵芝生长及品质的具体影响,目前尚缺乏系统的研究。已有的研究主要集中在单一有机肥对灵芝生长的影响,对于多种有机肥的比较研究以及有机肥对灵芝品质的影响则相对较少^[4-6]。因此,有必要开展针对不同有机肥对灵芝生长及品质影响的系统研究,以期在经济种植提供更加科学的肥料选择依据。

本研究以某林场为试验地,选用红灵芝和黑紫芝作为种植作物,通过制备不同种类的有机肥,并按照设定的施肥时间和施肥量对种植区域进行施肥,实时监测和采集灵芝的生长数据,旨在探究不同有机肥对灵芝生长及品质的影响,为优化种植结构、提高灵芝产量和品质提供科学依据。

1 试验地概况

试验以某林场为试验地,该林场地势复杂,海拔较高,最高海拔可达380 m,最低海拔为100 m。该地地理位置优越,气候呈现冬冷夏热的特点,降水丰富且主要集中在夏季,年平均气温在13.5~20.1 ℃^[7]。此外,该林场森林资源丰富,覆盖面积较大,拥有大片的珍贵树种,适合灵芝等多种作物的生长。基于该研究区域的土壤特性,筛选出相应的种植区域^[8]。

此外,该林场内水系丰富,拥有多条由山体汇水形成的溪流,水质清澈,能够满足多种作物的水分需求^[9-10]。林场内多条公路纵横交错,水路运输也十分便利。

2 材料与amp;方法

2.1 试验仪器设备

本次试验仪器设备如表1所示。

试验开展前,对表1仪器设备进行校准。试验过程中严格按照说明书进行操作,详细记录各项数据,确保测量结果的准确性与可靠性。

表 1 试验仪器设备
Table 1 Test equipment

试验设备	设备型号	生产厂家
台式酸度计	ZYpH-600A	武汉正元环境科技股份有限公司
全自动有机肥水分测定仪	LSD-S35B	厦门莱斯特科学仪器有限公司
全自动凯氏定氮仪	GK-600	山东格林凯瑞精密仪器有限公司
紫外可见分光光度计	LH-S700	北京连华永兴科技发展有限公司
电子天平	YP201N	上海皓庄仪器有限公司
光照培养箱	CCL-1X100	江苏新春兰科学仪器有限公司
生化培养箱	SPX-A100	上海仙象仪器仪表有限公司
有机肥取样器	BZBB	辽宁比逊石化科技有限公司

2.2 菌木培养及种植

本次试验主要是在种植区域分别种植红灵芝和黑紫芝,两种灵芝分别选用不同的种植方法^[11-13]。其中,红灵芝选用菌包种植,准备经过严格无菌处理的菌包量为800个,菌包由聚丙烯塑料袋制成,其内含有多种底料,如棉籽壳、玉米芯、麸皮和玉米面等。将其放置在温度为25 ℃的培养箱中培养。培养过程中,需要在菌包上划开两个小口,以便菌丝透气和生长^[14]。同时,将不滴水的毛巾包裹住整个菌包,再将其装入塑料袋

中,每3天喷水一次,直到菌丝完全长出。

黑紫芝选用菌棒种植,准备菌棒量为800个,将段木树种的原木切成长度为20 cm的木段,其含水量为42%^[15]。准备好上述菌棒后,需要对其进行灭菌处理。在灭菌时,将准备好的菌棒放入塑料袋中,利用锅炉的蒸汽加热至100 ℃,加热时间为24 h,由此完成对菌棒的初次灭菌处理。完成初次灭菌后,待菌棒进行冷却到30 ℃以下时,再对其进行二次消杀处理。消杀完成后,对其进行接种处理,接种量为250 g^[16]。完成

接种后,将其放置在发菌室,等待菌丝长满整个菌棒,其时间一般在 15 d 左右。

培养好菌木后,将其种植在相应的区域。种植畦地尺寸为 1.2 m×4 m,畦间设置 10 cm 宽的排水沟,确保灵芝生长环境湿润^[17-19]。在将菌埋放在畦地时,需要先将接种后的菌块和菌皮去除,

再用利刀划破菌袋,菌棒在埋放时,放置间距为 5 cm,埋放完成后,要将菌棒压实,覆土厚度为 2~3 cm^[20]。随后监测菌棒的生长情况。

2.3 有机肥的制备

根据作物需求,试验选用不同类型的有机肥。不同类型有机肥的比例如表 2 所示。

表 2 不同有机肥的制备配比
Table 2 Preparation ratios of different organic fertilizers

有机肥	腐熟苹果渣	牛粪	羊粪	麦麸	棉籽壳	杂木屑
A1	4	5	2	0	0	0
A2	1	2	6	1	0	0
A3	1	0.5	5.5	1	1	1

在制备有机肥时,牛粪作为主要的原材料,需要先对其进行预处理,将牛粪晾晒至半干状态,再将其粉碎,去掉其中的杂质,加入适量水进行混合,放置通风的地方 1~2 个月,确保牛粪能够腐熟^[21-22]。腐熟牛粪包含多种有机物质,能够满

足灵芝在生长过程中所需的各种营养元素。

2.4 有机肥在灵芝种植过程中的应用

依据灵芝的生长周期,施加相应的有机肥。施肥时,按照有机肥种类划分种植区域,在各区域内按计划施肥。其具体的施肥时间和施肥量见表 3。

表 3 有机肥的施肥时间和施肥量
Table 3 Fertilization time and amount of organic fertilizer

施肥时间	施肥量/kg·667 m ⁻²	
	红灵芝	黑紫芝
种植后 7 d	10	20
种植后 30 d	2 000	2 500
种植后 70 d	500	700
种植后 110 d	800	900

按照上述时间对种植的灵芝进行施肥。在施肥前,需要先对土壤进行松动处理,其松动深度为 25 cm,由此增强土壤的通气性。再将有机肥均匀撒在土壤里面,以免肥料长时间堆放在一起,出现某一处营养过剩的情况^[23-25]。完成施肥后,需要及时浇水,使肥料更快溶解到土壤,便于土壤和作物快速吸收。同时,浇水要适量,过多或过少都无法达到理想的效果。

3 数据监测及指标设定

在上述试验的基础上,设定 A4 组作为不施用有机肥的对照组,每组各 200 株菌木。试验过程中,实时监测上述 4 组的生长状况,记录灵芝的生长周期,并将监测到的数据进行汇总。

根据监测到的数据,对灵芝的生长状态进行

评估。选择以下几个指标。

3.1 萌发数量

将菌木种植在畦地后,对其进行挂牌跟踪记录,记录其萌发的新芽数量。

3.2 生长状况

在灵芝生长过程中,定期测量灵芝菌盖的直径,分析其生成速度。同时,通过测量灵芝的干重和鲜重,计算灵芝累积的生物量。

3.3 灵芝品质

分别测定灵芝的灰分含量、多糖含量、三萜类化合物含量。

3.3.1 灰分含量的测定

采用高温灼烧法测定灵芝的灰分含量。将选取的灵芝样品在高温下灼烧至恒重,然后称量灼烧后的残渣重量。根据残渣重量和样品重量的比

值,计算出灵芝的灰分含量。计算公式见式(1):

$$H_f = \frac{C_z}{Y_m} \dots\dots\dots (1)$$

式中, H_f 表示灵芝的灰分含量, C_z 表示灵芝在高温灼烧后的残渣重量, Y_m 表示选取的灵芝样品重量。

3.3.2 多糖含量的测定

采用分光光度法测定多糖含量。首先,从灵芝中提取出多糖,并测定其浓度。然后,根据多糖溶液的体积和浓度,计算出灵芝的多糖含量。计算公式见式(2):

$$K_d = \frac{C_d \times V_d}{Y_m} \dots\dots\dots (2)$$

式中, K_d 表示灵芝的多糖含量, C_d 表示灵芝多糖浓度, V_d 表示多糖溶液的体积, Y_m 表示选取

的灵芝样品重量。

3.3.3 三萜类化合物含量的测定

三萜类化合物是灵芝中的一种重要活性成分。本研究采用液相色谱法测定三萜类化合物含量。将灵芝样品进行提取和纯化,然后利用液相色谱仪进行分离和检测。根据检测得到的峰值面积和已知浓度的标准品进行对比,可以计算出灵芝中三萜类化合物的含量。

4 不同有机肥对灵芝生长及品质的影响分析

4.1 有机肥对灵芝萌发数量的影响

将灵芝种植在畦地后,统计12 d内的萌发情况。具体统计结果如图1所示。

由图1可知,将灵芝种植到畦地后,其萌发速

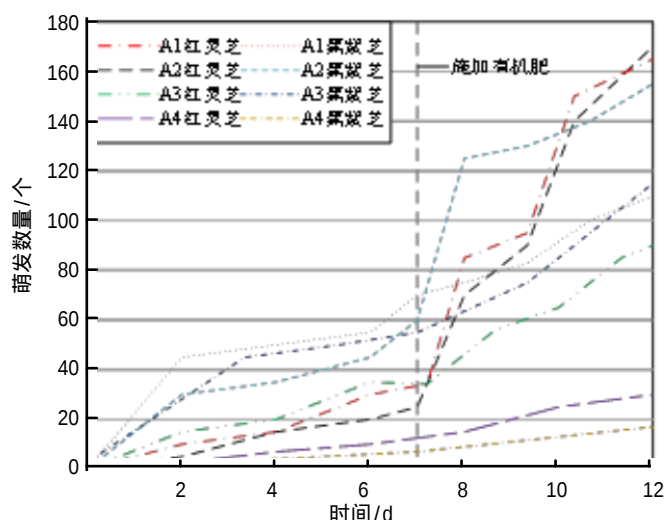


图1 种植后灵芝的萌发情况

Fig.1 Germination of *Ganoderma lucidum* after planting

度缓慢。在第7天加入有机肥后,其萌发数量上涨,其中,红灵芝的A1和A2组的萌发速度较快,其在12 d内的萌发率达到85.44%和86.35%;黑紫芝的A2组萌发速度较快,其萌发率为79.56%。这是因为A1、A2组羊粪和牛粪的占比较高,能够提供灵芝在萌发过程中所需要的营养物质,如氮、磷等,使其萌发率较高。

4.2 有机肥对灵芝生长状况的影响

灵芝在生长过程中,实时记录灵芝的菌盖直径。统计两种灵芝在不同施肥条件下的菌盖变化,具体如表4所示。

由表4可知,灵芝在种植7 d并未开盖,此时无法测量灵芝的菌盖直径。在第二次施肥后,两种灵芝均已开盖,两种灵芝均为A2组菌盖直径最

大。随着灵芝种植时间的增长,其菌盖直径也在不断增大。在种植110 d后,两种灵芝菌盖直径均达到最大值,其中,A2组的红灵芝菌盖直径为9.3 cm,A2组的黑紫芝菌盖直径为9.5 cm。这说明在A2施肥条件下,灵芝的生长状态较好。

从具体的菌盖实体上看,A2组的灵芝菌盖较大,A1组次之,其余两组的菌盖直径均较小。说明A2组的施肥更有利于灵芝的生长。

为更好地分析有机肥对灵芝生长状况的影响,需要计算灵芝的生物量。具体如表5所示。

由表5可知,在A2组施肥条件下,两种灵芝的生物量均为最高,其中,红灵芝的生物量为200 g/m²,黑紫芝的生物量为250 g/m²。这是因为A2组的牛粪和羊粪占比较高,能够满足灵芝在生长

表 4 不同施肥条件下灵芝菌盖直径
Table 4 Diameter of *Ganoderma lucidum* under different fertilization conditions

施肥条件	红灵芝菌盖直径/cm				黑紫芝菌盖直径/cm			
	7 d	30 d	70 d	110 d	7 d	30 d	70 d	110 d
A1	—	4.2	5.6	6.7	—	4.1	5.5	6.2
A2	—	5.8	7.4	9.3	—	5.9	7.3	9.5
A3	—	3.6	4.5	5.7	—	3.8	4.4	5.8
A4	—	2.1	3.3	5.2	—	2.2	4.3	5.4

表 5 两种灵芝的生物量
Table 5 Biomass of two kinds of *Ganoderma lucidum*

施肥条件	红灵芝生物量/g·m ⁻²	黑紫芝生物量/g·m ⁻²
A1	150	160
A2	200	250
A3	140	150
A4	80	100

过程中所需的营养物质,使其生长状况良好。
与之相比,A4组的两种灵芝无论是菌盖直径还是生物量,均处于最低水平,说明有机肥能促进灵芝生长。

4.3 有机肥对灵芝品质的影响
如图 2 所示,灵芝的灰分含量是衡量灵芝无机物质质量的重要指标,其含量越低,品质越好。在 3 种施肥条件下,两种灵芝的灰分含量相对于

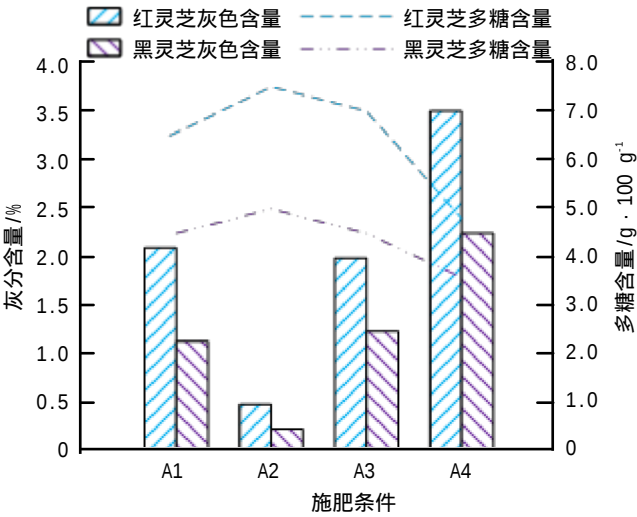
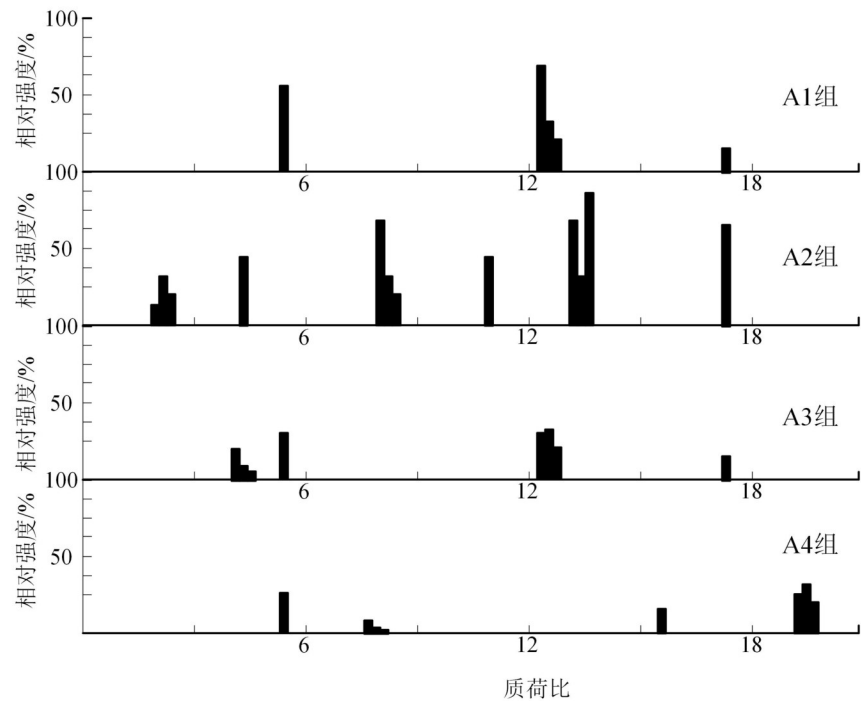


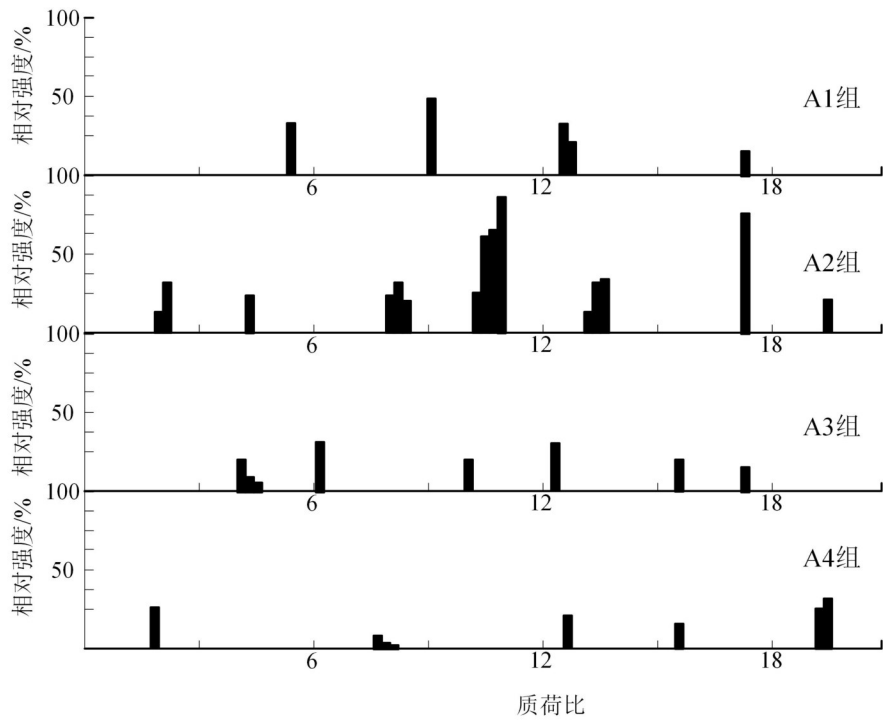
图 2 不同施肥条件下灵芝的灰分含量和多糖含量
Fig.2 Ash content and polysaccharide content of *Ganoderma lucidum* under different fertilization conditions

未施肥时均较低,其中,A2组两种灵芝的灰分含量分别为 0.5%、0.3%,其灰分含量较低。说明 A2 组施肥条件能够降低灵芝中的无机物的含量,进而提高灵芝的品质。
在分析两种灵芝的多糖含量时,A2组的多糖含量较高,其含量分别为 7.2 g/100 g 和 4.6 g/100 g。说明 A2 组施肥条件能够促进灵芝中多糖的合成和积累,进而提高灵芝的品质。

为进一步验证灵芝的品质,对两种灵芝的三萜类化合物的质谱图进行分析。具体如图 3 所示。
如图 3 所示,在两种灵芝的质谱图中,A2组中对于三萜类化合物的相对强度均高于其他组,这说明在该施肥条件下,三萜类化合物的含量较高,灵芝的品质较好。
结合以上质谱结果,量化红灵芝(A1、A2、A3、A4)、黑紫芝(A1、A2、A3、A4)的三萜类化合



(a)红灵芝的质谱图



(b)黑紫芝的质谱图

图3 不同施肥条件下灵芝的三萜类化合物质谱图

Fig.3 Triterpenoid compound mass spectra of *Ganoderma lucidum* under different fertilization conditions

物含量,如表6所示。

由表6可知,不同有机肥处理对红灵芝三萜类化合物含量的影响存在明显差异。其中,A2组的红灵芝三萜类化合物含量最高,达到3.52 mg/g,明显高于对照组A4的2.50 mg/g。这表明A2组的有机肥配比更有利于红灵芝三萜类化合物的积

累。相比之下,A1组和A3组的三萜类化合物含量虽然也高于对照组,但并未达到A2组的水平。因此,可以认为A2组的有机肥配比是红灵芝种植中较为理想的选择。对于黑紫芝而言,不同有机肥处理同样对其三萜类化合物含量产生较大影响。A2组的黑紫芝三萜类化合物含量最高,为

表6 不同施肥条件下灵芝的三萜类化合物含量
Table 6 Contents of triterpenoids in *Ganoderma lucidum* under different fertilization conditions

组别	三萜类化合物含量/mg·g ⁻¹	
	红灵芝	黑紫芝
A1	2.85±0.12	2.60±0.09
A2	3.52±0.15	3.20±0.11
A3	3.01±0.10	2.85±0.08
A4	2.50±0.11	2.35±0.07

3.20 mg/g,明显高于对照组 A4 的 2.35 mg/g。这一结果与红灵芝的数据分析相一致,进一步验证了 A2 组有机肥配比的优越性。同时,A1 组和 A3 组的三萜类化合物含量也呈现出高于对照组的趋势,但同样未达到 A2 组的水平。因此,可以认为 A2 组的有机肥配比同样适用于黑紫芝的种植。

综上所述,A2 组的有机肥配比在红灵芝和黑紫芝的种植中均表现出较高的三萜类化合物含量,是较为理想的肥料选择。

5 结 论

本研究通过对比不同种类的有机肥对红灵芝和黑紫芝生长及品质的影响,明确 A2 组有机肥能够明显促进两种灵芝的生长,提高品质。具体而言,A2 组有机肥处理下的红灵芝和黑紫芝在菌盖直径和生物量方面均达到最大值,同时,灵芝的灰分含量适中,多糖含量丰富,显示出良好的品质特性。该研究结果不仅验证了有机肥在林下经济种植中的有效性,更为灵芝种植提供了科学的肥料选择参考,有助于优化种植结构,提高灵芝的产量和品质,进而促进林下经济的可持续发展。

参考文献:

[1] 栗海鹏,杜武焰,吴涵茜,等.不同有机肥对煤矿复垦区土壤养分及细菌群落结构的影响[J].中国农业科学,2024,57(16):3207-3219.
LI H P, DU W Y, WU H Q, et al. Different manures affect soil nutrients and bacterial community structure in mining reclamation area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2024, 57 (16): 3207-3219. (in Chinese)
[2] 张继东,张亚雄,程伟,等.生物质炭和有机肥配施对苹果重茬育苗地土壤理化性质和微生物群落特征的影响[J].中国农业科技导报,2024,26(8):213-222.
ZHANG J D, ZHANG Y X, CHENG W, et al. Effects of com-

bined application of biochar and organic fertilizer on soil physicochemical properties and microbial community characteristics in apple recropping field[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(8): 213-222. (in Chinese)
[3] 李晟之,闫凤丹,李俊,等.有机肥替代部分化肥对葡萄生长和果实品质的影响[J].中国南方果树,2024,53(4):119-124.
LI S Z, YAN F D, LI J, et al. Effects of organic fertilizer replacing part of chemical fertilizer on grape growth and fruit quality [J]. South China Fruits, 2024, 53(4): 119-124. (in Chinese)
[4] 牛云梦,魏文良,王均艳,等.长期施用有机肥对土壤有机碳、全氮及腐殖质组分的影响[J].山东农业科学,2024,56(7):106-113.
NIU Y M, WEI W L, WANG J Y, et al. Effects of long-term application of organic fertilizer on soil organic carbon, total nitrogen and humus components[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2024, 56(7): 106-113. (in Chinese)
[5] 张敏,韩晓增,陆欣春,等.化肥有机肥配施对黑土团聚体稳定性及其富里酸结构的影响[J].干旱地区农业研究,2024,42(4):107-116.
ZHANG M, HAN X Z, LU X C, et al. Effects of combined application of chemical and organic fertilizers on the stability and fulvic acid structure of black soil aggregates[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(4): 107-116. (in Chinese)
[6] 倪惠菁,赵建诚,杨振亚,等.蚕沙有机肥对雷竹林土壤理化性质和酶活性的影响[J].东北林业大学学报,2024,52(9):109-114.
NI H J, ZHAO J C, YANG Z Y, et al. The effects of organic fertilizer derived from silkworm excrement on the soil physicochemical properties and enzyme activity of phyllostachys violascens 'prevernalis' forests[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2024, 52(9): 109-114. (in Chinese)
[7] 王蓓,李伟明,黄忠阳,等.化肥减施条件下木霉生物有机肥对茄子生长和品质的影响[J].土壤,2024,56(3):666-671.
WANG B, LI W M, HUANG Z Y, et al. Effects of Trichoderma bioorganic fertilizer on growth and quality of eggplant under fertilizer reduction[J]. Soils, 2024, 56(3): 666-671. (in Chinese)
[8] 赵诣,符昌武,刘毅,等.增施微藻和牛粪有机肥对土壤化学性质和细菌群落以及烤烟产质量的影响[J].云南农业大

- 学报(自然科学), 2024, 39(3): 172-181.
- ZHAO Y, FU C W, LIU Y, et al. Effects of adding microalgae and cow manure organic fertilizer on soil chemical properties and bacterial community, yield and quality of flue-cured[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Social Science), 2024, 39(3): 172-181. (in Chinese)
- [9] PARASNIS M S, DENG E, YUAN M, et al. Heavy metal remediation by dry mycelium membranes: approaches to sustainable lead remediation in water[J]. Langmuir, 2024, 40(12): 6317-6329.
- [10] 朱楠, 仇美华, 范新会, 等. 有机肥部分替代化肥对设施菜地蔬菜产量及土壤质量的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(6): 1004-1011.
- ZHU N, QIU M H, FAN X H, et al. Effects of partial substitution of chemical fertilizers with organic fertilizers on vegetable yield and soil quality in greenhouse vegetable fields[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2024, 40(6): 1004-1011. (in Chinese)
- [11] 孙子隽, 钟国兴, 张少搏, 等. 化肥减量配施有机肥对植烟土壤理化特性和微生物群落结构的影响[J]. 华北农学报, 2024, 39(3): 146-158.
- SUN Z J, ZHONG G X, ZHANG S B, et al. Effects of fertilizer reduction combined with organic fertilizer on physicochemical properties and microbial community structure of tobacco-growing soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2024, 39(3): 146-158. (in Chinese)
- [12] 张靖, 周琦, 王伟, 等. 增施有机肥对河西走廊设施沙质土质量及贝贝南瓜生长的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(6): 95-103.
- ZHANG J, ZHOU Q, WANG Y, et al. Effects of increased application of organic fertilizer on sandy soil quality and growth of Beibei pumpkin in Hexi Corridor[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(6): 95-103. (in Chinese)
- [13] 张晓慧, 郑改兰, 童敏之. 经济林种植户有机肥施用行为及影响因素分析——基于陕西省589户种植户调查数据[J]. 西北林学院学报, 2024, 39(3): 275-280.
- ZHANG X H, ZHENG G L, TONG M Z. Application behavior and influencing factors of organic fertilizer in non-timber product growers[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2024, 39(3): 275-280. (in Chinese)
- [14] 李新美, 齐红志, 何家帅, 等. 不同比例有机肥替代化肥对夏玉米氮肥利用率及 N_2O 排放的影响[J]. 河南农业科学, 2024, 53(5): 92-100.
- LI X M, QI H Z, HE J S, et al. Effects of different ratios of organic fertilizers substituting chemical fertilizers on nitrogen use efficiency and N_2O emissions in summer maize season[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(5): 92-100. (in Chinese)
- [15] 焦金铖, 安晓虎, 徐晨曦, 等. 有机肥配施荧光假单胞菌肥对玉米产量与复垦土壤磷素有效性的影响[J]. 农业工程学报, 2024, 40(9): 79-87.
- JIAO J C, AN X H, XU C X, et al. Effects of organic fertilizer combined with *Pseudomonas fluorescein* on maize yield and phosphorus activity in reclaimed soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(9): 79-87. (in Chinese)
- [16] XU Y, HU Y, JIN J, et al. Effects of *Ganoderma lucidum* cultivation in forests on soil organic carbon pool and microbial community physiological profiles[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2024, 54(8): 851-858.
- [17] POYERI W R, OHIMAIN E I. Cultivation, molecular identification and productivity assessment of a commercial strain and two wild strains of *Ganoderma* mushroom harvested from tree stumps in a rainforest at Ughowo, Benin City, Nigeria[J]. Journal of Applied Sciences & Environmental Management, 2024, 28(7): 2207-2215.
- [18] CORTINA-ESCRIBANO M, BARBERO-LÓPEZ A, KILPE-LÄINEN P, et al. Degradation of *Pinus sylvestris* and *Populus tremula* by laccate *Ganoderma* species[J]. Holzforschung: International Journal of the Biology, Chemistry, Physics, & Technology of Wood, 2024, 78(10): 581-585.
- [19] BAHARIM M S A, ADNAN N A, MOHD F A, et al. Optimization of machine learning classifier using multispectral data in assessment of *Ganoderma* basal stem rot (BSR) disease in oil palm plantation[J]. International Journal of Information Technology, 2023, 15(8): 4259-4273.
- [20] MATHUR M, MATHUR P. Ecological niche modelling of an industrially important mushroom- *Ganoderma lucidum* (Leys.) Karsten: A machine learning global appraisal[J]. Journal of Scientific and Industrial Research, 2023, 82(12): 1231.
- [21] XIA L, TAN X, WANG P, et al. Evaluation of two different treatments for larch logs as substrates to cultivate *Ganoderma tsugae* in the forest[J]. Life, 2024, 15(1): 39.
- [22] SHILPA A K, SHARMA A K, CHAUHAN M, et al. Plant growth promoting rhizobacteria, organic manures, and chemical fertilizers: impact on crop productivity and soil health of capsicum (*Capsicum annuum* L.) in North Western Himalayan region [J]. Journal of Plant Nutrition, 2024, 47(1/4): 448-467.
- [23] SHARMA A, SHARMA R, SEPEHYA S K A. Nanofertilizers: their effect on crop production and soil health[J]. Journal of Plant Nutrition, 2024, 47(13/16): 2716-2731.
- [24] VEOZZI T A, CARLOS F S, SCIVITTARO W B, et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions associated with the use of stabilized nitrogen fertilizers in subtropical paddy rice[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2025, 130(1): 145-157.
- [25] BANGRE J, SINHA N K, MOHANTY M, et al. Long-term impact of inorganic fertilizers and farmyard manure on soil quality and productivity in subtropical Vertisols under a soybean-wheat cropping system[J]. Land Degradation & Development, 2024, 35(14): 4257-4270.

(责任编辑:王 昱)