

毛竹林下套种黑皮鸡枞对林分生长及土壤养分的影响

刘 淼², 蔡春菊^{1,2}, 赵建诚³, 王 一^{1,2}, 范少辉^{1*}

(1. 国际竹藤中心国家林业和草原局/北京市共建竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102; 2. 四川长宁竹林生态系统国家定位观测研究站, 四川 宜宾 644000; 3. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: [目的]探究毛竹林下套种黑皮鸡枞对林分生长及土壤养分的影响。[方法]在毛竹林下套种黑皮鸡枞 (*Oudemansiella raphanipes*), 设置三种基质 (A: 25%木屑+75%竹屑、B: 50%木屑+50%竹屑、C: 75%木屑+25%竹屑), 以传统经营毛竹林为对照 (CK), 研究毛竹林下套种黑皮鸡枞后竹林生长和土壤养分变化规律。[结果]A、B、C 三种基质套种黑皮鸡枞后, 毛竹林成竹率和新竹胸径均显著高于 CK。与对照相比, 套种样地土壤 pH 值显著升高, 有效缓解了土壤酸化; 土壤全磷、全钾、有效磷、速效钾较对照显著增加, 综合评价发现套种样地土壤质量指数均高于对照。[结论]毛竹林下套种黑皮鸡枞显著促进了成竹和新生竹生长, 提高了土壤养分和土壤综合质量, 对竹林生长和土壤养分有积极影响, 75%木屑+25%竹屑基质对竹林生长和土壤养分的促进作用最明显。

关键词: 大球盖菇; 毛竹林; 基质; 土壤养分

中图分类号: S718.5 文献标识码: A

Effects of interplanting *Oudemansiella raphanipes* under *Phyllostachys edulis* forest on forest growth and soil nutrients

LIU-Miao¹, CAI-Chun-ju^{1,2}, ZHAO-Jian-cheng³, WANG-Yi^{1,2}, FAN-Shao-hui^{1*}

(1. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration/Beijing for Bamboo & Rattan Science and Technology, International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 2. Changning Bamboo Forest Ecosystem Research Station, Yibin, Sichuan 644000, China; 3. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract: [Objective] To explore the effects of interplanting *Oudemansiella raphanipes* under *Phyllostachys edulis* forest on forest growth and soil nutrients. [Method] In this paper, *Oudemansiella raphanipes* was interplanted under the *Phyllostachys edulis* forest, three substrates were designed for *Oudemansiella raphanipes* cultivation (A: 25% wood shavings + 75% bamboo shavings, B: 50% wood shavings + 50% bamboo shavings, C: 75% wood shavings + 25% bamboo shavings), the traditionally managed bamboo forests were used as a control (CK), the influence of interplanting *Oudemansiella raphanipes* under the *Phyllostachys edulis* forest on bamboo growth and soil nutrient changes were analyzed. [Results] The results showed that the rate of grown bamboos and DBH of A, B, and C were significantly higher than those of CK. Compared with the control, the soil pH of the interplanting plot increased, and soil acidification eased. Soil total phosphorus, total potassium, available phosphorus, and available potassium increased significantly compared with the control. It was found that the soil quality index of the interplanting plots was higher than that of CK. [Conclusion] In summary, interplanting *Oudemansiella raphanipes* under *Phyllostachys edulis* forest significantly promotes bamboos and the growth of new bamboos, improves soil nutrients and comprehensive soil quality, and has a positive effect on the growth of the bamboo forests and soil nutrients, the substrate of 75% wood shavings + 25% bamboo shavings promotes the growth of bamboo forests and soil nutrients the most.

Key words: *Oudemansiella raphanipes*; *Phyllostachys edulis* forest; substrate; soil nutrient

基金项目: “十四五”国家重点研发计划“重要竹藤种质生物质形成的地理分异”(2021YFD2200501)

作者简介: 刘淼 (1995-), 女, 硕士研究生, 从事竹林培育研究。Email: lium19950111@163.com。*通信作者: 范少辉 (1962-), 男, 博士, 研究员, 从事竹藤资源培育理论与技术研究。Email: fansh@icbr.ac.cn。

毛竹 (*Phallstachys edulis*) 是我国重要的生态经济竹种。近年来, 随着劳动力成本的逐年上升和笋竹加工业的萎缩, 传统单一的毛竹林经营收益大幅度下降, 竹农经营的积极性和效益受到严重影响^[1], 而且随着毛竹林经营技术的发展和经营水平的进步, 竹材和竹笋产量已达到较高水平, 经济产出增长率下降, 限制了竹林资源培育及竹产业的高质量发展^[2]。立体复合经营为解决毛竹林经营中存在的问题提供了有效途径^[3-4]。竹菌复合经营是一种见效快、经济效益高的竹林立体复合经营模式, 毛竹林套种食用菌后残余基质与菌渣的分解会对土壤养分含量产生影响^[5]。毛竹生长所需的养分主要来自于土壤, 因此土壤养分对毛竹生长发育起关键作用^[6]。然而, 现有的竹菌复合经营大多以经济效益为主要目标, 相关研究也集中在通过套种食用菌提升竹林产品产量和质量等方面^[7-11], 且这些研究只是短周期的, 缺乏连续性试验, 关于套种食用菌对毛竹林土壤养分的影响及其与竹林生长和土壤养分间的关系等尚不明确。因此, 研究不同基质下毛竹林下套种黑皮鸡枞 (*Oudemansiella raphanipes*) 对林分生长和土壤养分的影响, 可为竹菌立体高值化经营模式筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省德清县莫干山镇筏头乡瑶坞村 (30°32'53.89"N, 119°55'1.27"E), 属亚热带季风气候, 降水量丰富, 年平均降水量为 115.367mm, 年平均气温为 16.97°C, 土壤类型以红壤土为主^[12]。试验林为集中连片的毛竹纯林, 1度、2度、3度竹各占 1/3, 大小年明显, 均为传统经营模式, 采取人工经营管理措施, 包括竹林内灌木草本清除、采挖春笋和冬笋、采伐竹材, 未进行施肥。

1.2 试验设计与处理

采用随机区组试验设计, 以不套种食用菌的样地作为对照, 清除林下杂草、灌木, 于 2019 年 1 月 11 日采伐立竹, 调整竹林郁闭度为 0.7 左右, 在试验林中设置 3 组固定样地, 每组相隔 100m, 每组固定样地分设 3 块 20m×20m 样地 (四周有深 0.5m 隔离沟), 分别铺设三种生产上常用的的基质 (A: 25%木屑+75%竹屑、B: 50%木屑+50%竹屑、C: 75%木屑+25%竹屑), 在样地内沿水平带走向挖长 20m, 宽 0.4m, 深 0.2m 的畦, 每个重复畦相隔 0.5m, 畦上铺设基质, 采用单层铺料, 将发酵后的基质铺于整好的畦面, 第 1 层基质厚度为 3~5 cm, 第 2 层播种捏碎成直径为 1.0~1.5 cm 的菌种, 第 3 层基质厚度为 3~5 cm, 最后覆土 3~5cm 以保湿保温, 在出菇阶段雨水不充足时及时加湿^[13], 每平方米基质用量为 4kg, 菌种 2 包。同时每组固定样地设置 1 块四周有深 0.5m 隔离沟的 20m×20m 对照样地 (CK)。黑皮鸡枞种植开始时间为 2020 年 3 月 12 日, 于当年 5 月上旬开始采收, 6 月中旬采收结束。样地概况见表 1。

表 1 样地概况

Table 1 General information of sample plots

处理 Treatment	密度 Density /(PCS·hm ⁻²)	平均胸径 Mean DBH /cm	平均高 Mean height /m
CK	1943±69	9.34±0.47	14.22±1.26
A	2067±90	9.14±0.15	15.08±1.65
B	2017±88	9.30±0.52	14.67±1.32
C	2038±75	9.41±0.45	14.72±1.59

1.3 取样及指标测定

于 2021 年 4 月至 5 月毛竹出笋期统计样地内所有春笋, 记录出笋数量、退笋数量; 于 11 月对所有新竹进行每木检尺, 记录新生竹数量、胸径。

在套种样地中, 避开铺设基质的种植畦, 用土钻按照 S 型采取 5 个样点 0-20cm 土层的土壤, 土壤样品除去杂质混合后编号带回实验室, 每份重量约为 1kg, 测定其土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾; 土壤 pH 的测定采用电位法, 土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法, 全氮含量的测定采用凯氏定氮法, 碱解氮含量的测定采用碱解扩散法, 全磷含量的测定采用钼锑抗比色法, 有效磷含量的测定采用 HCl-H₂SO₄ 浸提法, 全钾含量的测定采用 NaOH 熔融法, 速效钾含量的测定采用火焰光度法^[14]。采样时间见表 2。

表 2 采样时间
Table 2 Sampling time

编号 Number	采样时间 Sampling time	间隔时间 Interval time
I	2020年7月12日	套种后4个月
II	2020年11月13日	套种后8个月
III	2021年3月17日	套种后12个月

1.4 数据处理

数据整理和图表制作通过 Excel2016 软件完成, 通过 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析、Duncan 分析、相关性分析和最小显著性检验, 土壤综合评价采用主成分分析法。

1.4.1 土壤测定指标的标准化处理 参照范少辉等的方法^[15], 由于各评价指标实测数据的量纲不同, 首先对各指标进行无量纲化处理, 采用离差标准化法, 即将各评价指标的实测值减去该指标的最小值, 然后除以该指标的极差, 得到其在 0-1 之间的无量纲值 (即隶属度), 详见公式 (1)。

$$F(X_i) = (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (1)$$

式中: $F(X_i)$ 为隶属度值, X_{ij} 为第 i 项因子平均值, X_{imax} 为第 i 项因子中的最大值, X_{imin} 为第 i 项因子中的最小值, i 为评价指标的个数。

1.4.2 土壤质量综合指数计算 运用 SPSS26.0 软件进行主成分分析得到主成分的载荷矩阵, 并计算各主成分因子贡献率、累积贡献率和公因子方差。根据因子提取条件, 提取并保留特征值大于 1 的主成分, 然后, 根据负荷量从 8 个指标中筛选出对土壤质量影响较大的指标进行土壤质量综合评价。根据各因子的作用大小, 利用公因子方差确定权重, 详见式 (2)。

$$W_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

式中: W_i 为第 i 个指标的权重, C_i 为第 i 个指标的公因子方差, i 为评价指标的个数。

根据筛选出的评价指标的隶属度和权重, 采用加权综合指数法和模糊数学中的加乘法则, 计算毛竹林不同套种模式土壤质量综合指数, 详见式 (3)。

$$F = \sum_{i=1}^n W_i \times F(X_i) \quad (3)$$

式中: F 为土壤质量综合指数, W_i 为各土壤因子的权重, $F(X_i)$ 为各土壤因子的隶属度值, i 为评价指标的个数。

2 结果与分析

2.1 毛竹林套种黑皮鸡枞对出笋和新竹质量的影响

表 3 不同处理毛竹出笋成竹特征

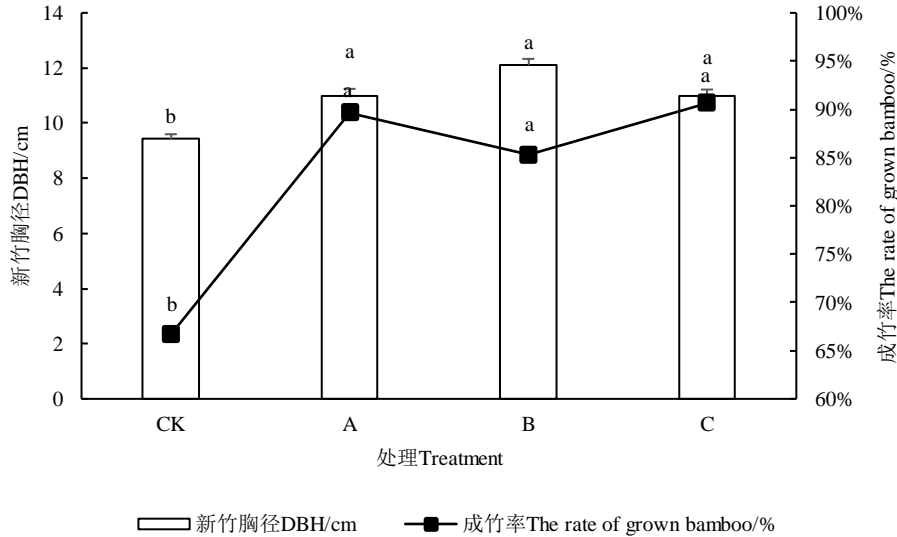
Table 3 Quantitative characteristics of bamboo shoots from different treatments

处理 Treatment	出笋数 Number of shoots / (PCs · hm ²)	退笋数 Number of shoots returned / (PCs · hm ²)	成竹数 Number of grown bamboos / (PCs · hm ²)
CK	2333±144.34a	150±15.24a	2183±146.49a
A	2505±142.56a	38±5.98a	2467±136.71a
B	2937±250.00a	94±5.69a	2843±125.26a
C	2765±303.64a	56±6.12a	2709±173.41a

注: CK: 对照; A: 25%木屑+75%竹屑; B: 50%木屑+50%竹屑; C: 75%木屑+25%竹屑; a: 表示不同处理之间不存在差异。Note: CK: control; A: 25% wood shavings + 75% bamboo shavings; B: 50% wood shavings + 50% bamboo shavings; C: 75% wood shavings + 25% bamboo shavings; a: There is no difference at different treatments.

如表 3 所示, 套种样地与对照样地相比, 出笋数、退笋数、成竹数均表现为差异不显著 ($P>0.05$)。

如图 1 所示, 不同套种模式间新竹成竹率表现为 $C > A > B > CK$, C 样地成竹率最大为 90.63%, 各处理间成竹率差异显著 ($P < 0.05$)。不同套种模式间新竹胸径表现出 $B > A > C > CK$, 差异显著 ($P < 0.05$)。最大为 12.10cm, 较对照样地 9.43cm 增加了 2.67cm, 增加了 28.31%。对胸径分析发现, 套种黑皮鸡枞样地均显著高于对照样地 ($P < 0.05$)。



注: CK: 对照; A: 25%木屑+75%竹屑; B: 50%木屑+50%竹屑; C: 75%木屑+25%竹屑; ab: 表示不同处理之间存在差异。Note: CK: control; A: 25% wood shavings + 75% bamboo shavings; B: 50% wood shavings + 50% bamboo shavings; C: 75% wood shavings + 25% bamboo shavings; ab: There are differences at different treatments.

图 1 不同处理毛竹林新竹胸径、成竹率

Figure 1 The rate and DBH of grown bamboo in different treatments of Moso forests

2.2 毛竹林套种黑皮鸡枞对土壤养分的影响

毛竹林套种黑皮鸡枞后不同时期土壤养分的动态变化见图 2。

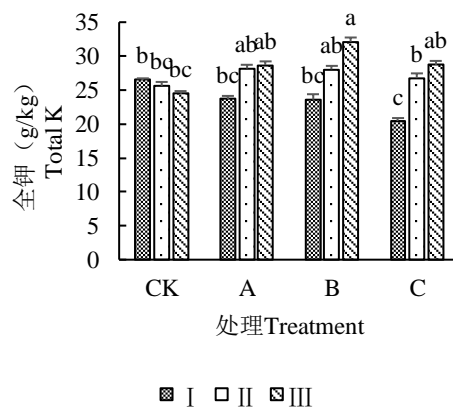
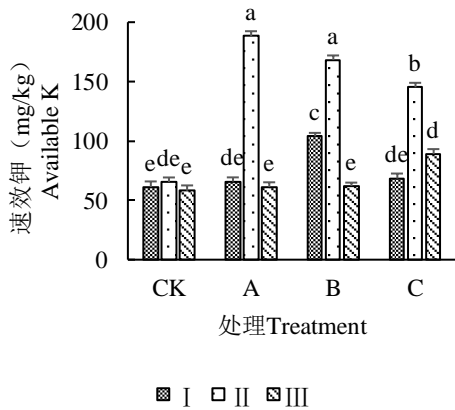
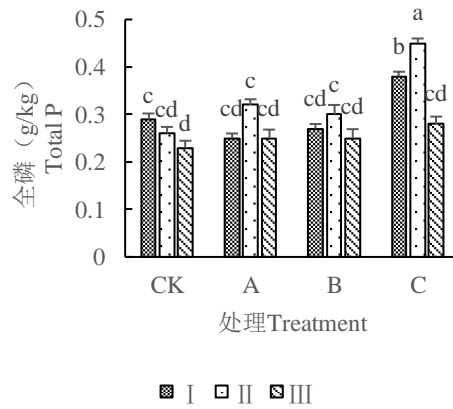
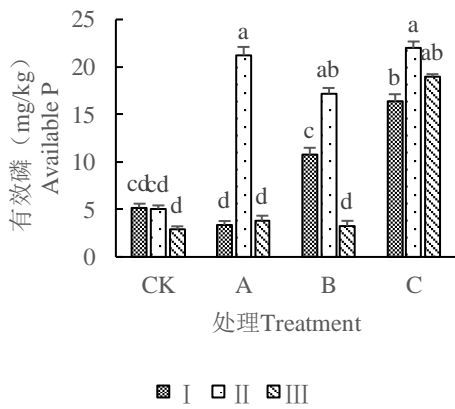
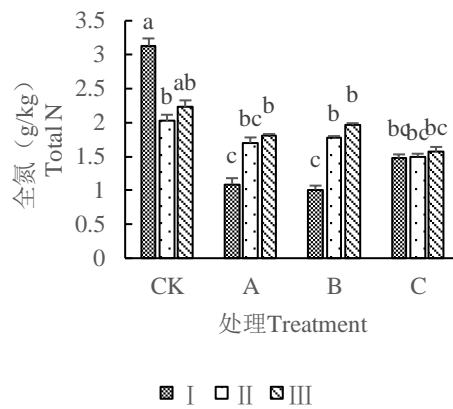
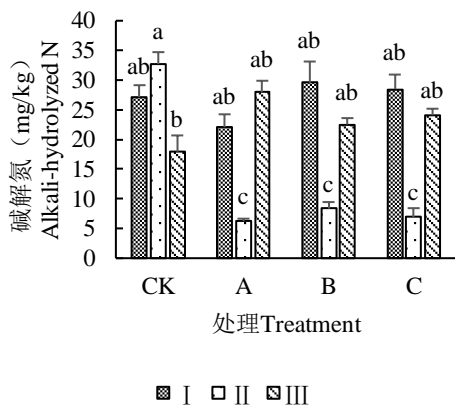
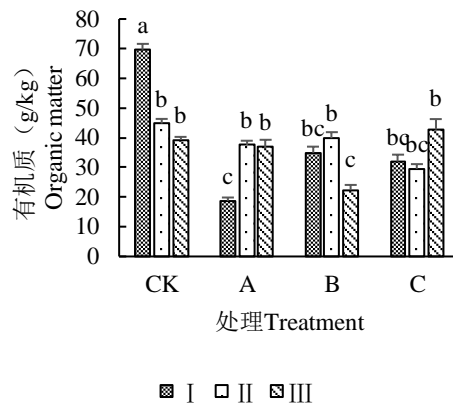
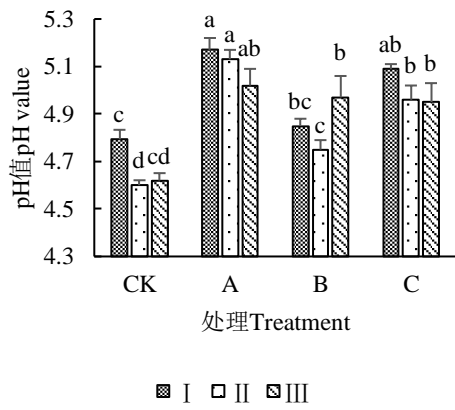
方差分析表明, 各处理毛竹林的土壤 pH 值差异显著 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 土壤 pH 表现为 A、C 处理均呈现降低趋势, 且均以套种后 4 个月的最高。A、B、C 处理在各时期均显著高于同时期的 CK, 套种黑皮鸡枞后土壤酸化得到改善。

各处理间土壤有机质含量差异显著 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 土壤有机质表现为 A、B 处理均呈现先升高后降低趋势, 且均以套种后 8 个月的最高。A、B 处理在各时期均显著低于同时期的 CK, C 处理在套种后 12 个月土壤有机质含量最高, 比对照显著增加 8.88%。

各处理毛竹林的土壤碱解氮差异显著 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 表现为 A、C 处理均呈现先降低后升高趋势, 且均在套种后 8 个月显著低于对照, 在套种后 12 个月显著高于对照; 各处理毛竹林的土壤全氮差异显著 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 表现为 A、B、C 处理均呈现升高趋势, 且在各时期均显著低于对照。

不同处理间毛竹林的土壤有效磷、全磷含量存在显著差异 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 土壤有效磷、全磷表现为 A、B、C 处理均呈现先上升后下降的趋势, 均以套种后 8 个月的最高, 且套种后 8 个月、12 个月均显著高于同时期的对照。

各处理间土壤速效钾含量差异显著 ($P < 0.05$)。随着时间增加, A、B、C 处理均表现为先上升后下降的趋势, 均以套种后 8 个月的最高, 且套种后各时期均显著高于同时期的对照。土壤全钾含量在各处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。随着时间增加, 土壤全钾表现为 A、B、C 处理均呈现上升趋势, 且均以套种后 12 个月的最高, 套种后 8 个月、12 个月均显著高于同时期的对照。。



注: CK: 对照; A: 25%木屑+75%竹屑; B: 50%木屑+50%竹屑; C: 75%木屑+25%竹屑; ab: 表示不同处理之间存在差异。Note: CK: control; A:

25% wood shavings + 75% bamboo shavings; B: 50% wood shavings + 50% bamboo shavings; C: 75% wood shavings + 25% bamboo shavings; ab: There are differences at different treatments.

图2 不同时期套种毛竹林土壤养分的变化

Figure 2 Changes of soil nutrients in Moso forests in different periods

2.3 毛竹林套种黑皮鸡枞土壤质量综合评价

由表4可知，F1、F2、F3前3个主成分的特征值大于1，其累积贡献率为81.473%，几乎包含了原始数据的全部信息量。第一主成分的特征值为3.335，据此可知8个指标对土壤质量的影响由大到小表现为 $X_5 > X_6 > X_7 > X_2 > X_4 > X_1 > X_8 > X_3$ ，从中筛选出对土壤质量影响最大的4个因子，分别为有机质(X_2)、有效磷(X_5)、全磷(X_6)和速效钾(X_7)。

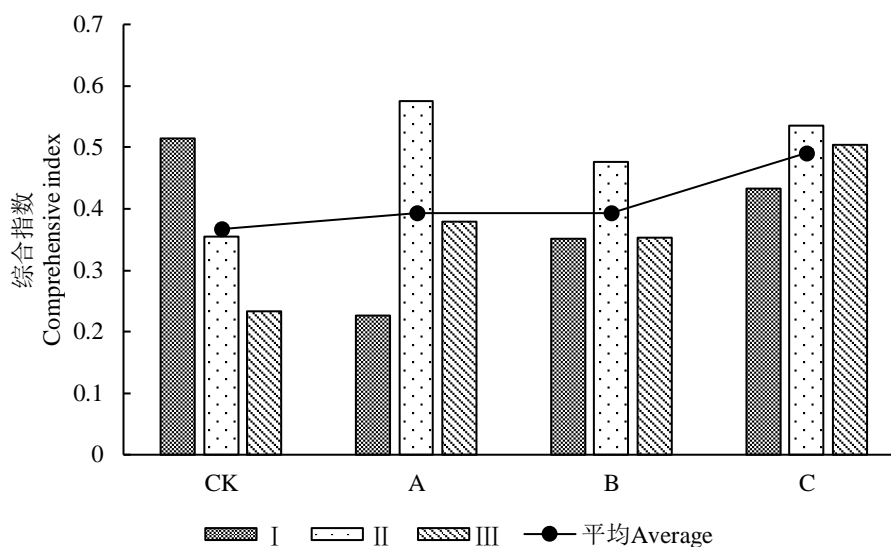
表4 毛竹林土壤理化性质指标因子分析正交旋转后前3个主成分的载荷矩阵、各因子公因子方差及权重

Table 4 Rotated principal component matrix, communality and weight of each indicator were analyzed by factor analysis of soil physical and chemical properties index factors of Moso plantations

指标 Indicator	主成分因子负荷量 Principal component factor load			公因子方差 Communality	权重 Weight
	F1	F2	F3		
X_1	-0.007	-0.333	0.038	0.575	0.088
X_2	0.123	0.464	-0.145	0.876	0.134
X_3	-0.241	0.008	-0.298	0.814	0.125
X_4	0.021	0.39	0.123	0.844	0.130
X_5	0.331	0.043	-0.129	0.89	0.137
X_6	0.308	0.071	-0.323	0.784	0.120
X_7	0.293	0.024	0.157	0.864	0.133
X_8	-0.039	-0.025	0.707	0.87	0.133
特征值 Eigenvalue	3.335	1.950	1.232		
贡献率 Rate of contribution/%	41.689	24.379	15.405		
累积贡献率 Accumulating contribution/%	41.689	66.068	81.473		

注： X_1 .pH; X_2 .有机质; X_3 .碱解氮; X_4 .全氮; X_5 .有效磷; X_6 .全磷; X_7 .速效钾; X_8 .全钾。Note: X_1 . pH; X_2 . Organic matter; X_3 . Alkali-hydrolyzed nitrogen; X_4 . Total nitrogen; X_5 . Available phosphorus; X_6 . Total phosphorus; X_7 . Available potassium; X_8 . Total potassium.

不同套种模式毛竹林土壤质量综合指数随时间的变化趋势如图3所示。土壤质量与毛竹林下套种黑皮鸡枞基质种类有较大关系，各套种模式毛竹林土壤质量综合指数大小顺序为 C (0.491) > A (0.394) = B (0.394) > CK (0.367)，套种后毛竹林土壤质量综合指数均高于CK，套种黑皮鸡枞可以提高毛竹林土壤质量。在套种后8个月、12个月，A、B、C处理土壤质量综合指数均高于CK。



注: CK: 对照; A: 25%木屑+75%竹屑; B: 50%木屑+50%竹屑; C: 75%木屑+25%竹屑。Note: CK: control; A: 25% wood shavings + 75% bamboo shavings; B: 50% wood shavings + 50% bamboo shavings; C: 75% wood shavings + 25% bamboo shavings.

图3 不同处理毛竹林土壤质量综合指数

Figure 3 The soil quality comprehensive index of Moso plantations with different treatment

3 讨论

本研究中三种基质 (A: 25%木屑+75%竹屑; B: 50%木屑+50%竹屑; C: 75%木屑+25%竹屑) 黑皮鸡枞套种模式均促进了出笋、成竹和新竹胸径的增加, 这一研究结果表明, 毛竹林下套种黑皮鸡枞对毛竹生长起促进作用, 这与应国华^[16]等的研究结果一致。与对照样地相比, 套种样地内进行了种植沟耕挖, 为笋竹生长提供了疏松的空间, 这使得春笋与新竹生长所需自然条件优于对照毛竹林, 李翀等^[17]研究发现适当的经营管理措施可以有效改善竹林立地条件, 提高毛竹生理代谢活动能力, 进而对笋竹的后续生长产生影响。

毛竹林采笋伐竹且枯枝落叶较少导致土壤养分回归减少, 套种黑皮鸡枞后基质菌渣的腐解可以补充土壤氮、磷、钾等元素, 改善毛竹的生长环境, 提高毛竹林生产力。研究区位于亚热带, 土壤酸性强^[18], 本研究发现与对照相比, 套种黑皮鸡枞后土壤酸化程度减轻, 这与杨顺强^[19]等对葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 林下栽培不同食用菌的研究结果一致。本研究中 A、B、C 处理在不同时期与对照相比土壤有效磷、全磷、速效钾和全钾含量显著增加, 与龚臣^[20]等、柳霖^[21]等的研究结果一致, 菌渣、基质和毛竹林枯枝落叶混合分解产生促进作用, 增加了营养元素的释放^[22]。本研究中套种后 8 个月、12 个月的土壤氮、磷、钾含量普遍高于套种后 4 个月, 这可能是由于毛竹是大径竹种, 养分消耗量大, 毛竹产量提高后从土壤中吸收的养分也增加, 随着时间的增加, 基质与分解产生的养分增加了土壤肥力^[23], 表层土壤速效养分含量最高, 造成土壤养分增加^[24]。土壤中基质和菌渣的分解转化是一个长期过程, 因此基质和菌渣对土壤养分含量的转化速率和影响机理有待进一步试验。

不同处理土壤质量综合评价结果为 $C > A = B > CK$, 且在套种后 8 个月、套种后 12 个月套种黑皮鸡枞的毛竹林土壤质量综合指数均高于 CK, 套种黑皮鸡枞能够持续改善毛竹林土壤质量, 这与以往研究结果相同^[25-26], 但以往研究仅探讨了食用菌采收完成阶段土壤的变化, 不能反映套种食用菌对土壤质量的长期影响, 本研究说明套种黑皮鸡枞后土壤养分的长期变化对土壤质量的变化产生持续影响, 改善了土壤质量^[27]。本研究仅从土壤 pH 和养分等方面探讨套种后土壤质量的变化, 不能充分反映套种黑皮鸡枞对土壤质量的影响, 今后还需从林下植被、土壤生物和环境因子等方面进行综合评价, 为毛竹林下套种黑皮鸡枞提供更加科学的依据。

4 结论

综上所述,套种黑皮鸡枞能促进毛竹林生长,减轻土壤酸化程度,提高土壤养分和土壤质量,75%木屑+25%竹屑基质对竹林生长和土壤养分的促进作用最明显。在本研究中,仅对毛竹林套种黑皮鸡枞后4个月、8个月、12个月的毛竹生长与土壤养分指标特征进行了探讨,黑皮鸡枞套种基质选择与套种轮作期的相关研究将成为后续研究的重点。

参 考 文 献

- [1] 范少辉,刘广路,苏文会,等. 竹林培育研究进展[J]. 林业科学研究, 2018, 31(01): 137-144.
- [2] 李延军,许 斌,张齐生,等. 我国竹材加工产业现状与对策分析[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 2-7.
- [3] 萧江华. 中国竹林经营学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 樊艳荣,陈双林. 商品竹林植物型复合经营理论与实践及其研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 2012, 31(1): 57-62.
- [5] 温广蝉,叶正钱,王旭东,等. 菌渣还田对稻田土壤养分动态变化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 82-86.
- [6] 夏传格,宁 晨,罗赵慧,等. 不同年龄毛竹林养分分布及生物循环特征[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3715-3725.
- [7] 蔡春菊,范少辉,刘广路,等. 竹林复合经营研究和发展现状[J]. 世界竹藤通讯, 2018, 16(5): 47-52.
- [8] 李 林,郭红艳,孙晓杰,等. 利用大豆秸秆和玉米秸秆栽培灵芝[J]. 食用菌学报, 2021, 28(4): 15-19.
- [9] 洪 沛,舒黎黎,李天来,等. 光环境对食用菌生长发育的影响[J]. 食用菌学报, 2021, 28(4): 108-115.
- [10] 童 龙,李红艳,刘小明,等. 不同栽培基料对竹荪农艺性状和主要营养成分的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(3): 30-36.
- [11] 柳丽萍,钱文春,占鹏飞,等. 不同基质和干燥方法对大球盖菇营养成分的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(2): 8-13.
- [12] 王正兴,李 芳. 浙江毛竹叶绿素野外测量与实验室分析数据集(2018)[J]. 全球变化数据学报(中英文), 2019, 3(2): 194-199.
- [13] 王 楠,张余华,李建安,等. 林下栽培大球盖菇的油茶木屑基质配方筛选试验[J]. 经济林研究, 2022, 40(1): 95-103.
- [14] 刘唯佳,毛昆明,唐祺超,等. 菌渣替代部分化肥养分施用对土壤养分含量及稻麦产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2021, 39(3): 323-330, 340.
- [15] 范少辉,赵建诚,苏文会,等. 不同密度毛竹林土壤质量综合评价[J]. 林业科学, 2015, 10(1): 1-9.
- [16] 应国华,吕明亮,何 林,等. 毛竹林下栽培棘托竹荪对笋竹及土壤的影响[J]. 浙江林业科技, 2014(6): 65-67.
- [17] 李 翀,周国模,施拥军,等. 毛竹林老竹水平和经营措施对新竹发育质量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2243-2254.
- [18] MO J M, BROWN S, XUE J H, et al. Response of litter decomposition to simulated N deposition in disturbed, rehabilitated and mature forests in subtropical China [J]. Plant Soil, 2006, 282(1/2): 135-151.
- [19] 杨顺强,程立君,赵启君,等. 葡萄林下栽培不同食用菌的效应[J]. 西北农业学报, 2020, 29(7): 1045-1050.
- [20] 龚 臣,王旭东,倪幸等. 长期菌渣化肥配施对稻田土壤活性有机碳组分和有效养分的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(2): 252-260.
- [21] 柳 霖,高 峰,韩 宁,等. 基于黑木耳菌渣的生菜栽培基质研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(4): 492-506.
- [22] 任立宁,刘世荣,蔡春菊,等. 川南地区毛竹和林下植被芒箕细根分解特征[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7638-7646.
- [23] 苏小飞,郑 笑,马 力,等. 毛竹生产力与土壤营养元素的关系[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, 49(2): 192-198.
- [24] 汪庆兵,李泽波,张建锋,等. 浙北毛竹林地表径流氮磷流失特征[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9): 2471-2477.
- [25] 陆 娜,宋吉玲,闫 静. 竹-菇套种模式对毛竹林土壤的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(10): 1717, 1720.
- [26] 王 波,沈 泉,朱 炜,等. 套种棘托竹荪对毛竹林土壤理化性质、磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(4): 28-32.
- [27] 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等. 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2297-2307.