

文章编号:1673-887X(2026)06-0123-03

盐源县轻简化轮作模式下林下经济作物种植 对土壤肥力的动态影响

华尔子莫

(盐源县林业和草原局,四川 盐源 615700)

摘要 通过在盐源县建立长期定位试验区,采用不同轮作模式下的土壤取样与分析,研究轮作模式对土壤理化性状的动态影响。结果表明,相比传统轮作模式,轻简化轮作模式显著提高了土壤有机质、全氮和碱解氮等的含量,有效改善了土壤酸碱度,为当地林下经济作物的持续高产提供了良好的土壤肥力条件。

关键词 林下经济作物;轻简化轮作模式;土壤肥力;动态影响;盐源县

中图分类号 S714.8

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.041

The Dynamic Impact of Understory Economic Crops Cultivation under the Simplified Crop Rotation System on Soil Fertility in Yanyuan County

Hua'erzimo

(Yanyuan Forestry and Grassland Bureau, Yanyuan 615700, Sichuan, China)

Abstract: By establishing a long-term positioning experimental area in Yanyuan County and conducting soil sampling and analysis under different rotation patterns, this study investigated the dynamic effects of rotation patterns on soil physical and chemical properties. The results showed that compared with the traditional rotation pattern, the simplified rotation pattern significantly increased the contents of soil organic matter, total nitrogen, and available nitrogen, effectively improved the soil pH, and provided favorable soil fertility conditions for the continuous high yield of local forest-underground economic crops.

Key words: understory cash crops; simplified rotation pattern; soil fertility; dynamic effect; Yanyuan County

林下经济作物是指在森林或林地地下种植的各类经济作物,兼具生态保育与经济增收的双重价值^[1-2]。盐源县位于四川省西南部,属亚热带季风气候区,境内山地面积广阔,森林覆盖率高,林下资源丰富。近年来,随着种植年限的延长,长期单一种植模式导致的土壤肥力衰退、土壤酸化加剧、病虫害频发等问题逐渐凸显,严重制约了林下经济的可持续发展^[3-4]。因此,系统探究轻简化轮作模式下林下经济作物种植对土壤肥力的动态影响,为盐源县林下经济产业优化升级提供技术支撑,具有重要的现实意义与应用价值。

1 研究区概况

盐源县气候垂直差异显著,森林覆盖率达78%。当地主要林下经济作物包括当归、贝母、天麻等特色中药材,香菇、鸡油菌、块菌等食用菌,以及黑麦草、白三叶草等生态牧草。近年来,盐源县林下经济作物种植面积已达 $3.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,成为带动农户增收的核心产业

之一。但受长期单一化种植、田间管理粗放等因素影响,土壤有机质下降、氮素流失、土壤酸化等土壤肥力问题日益突出,亟须通过科学的轮作模式对土壤进行改良与调控,以改善当地林下土壤肥力。

2 研究方法

2.1 试验设计

2018年,经对盐源县实地考察后,挑选了一块生态条件高度趋同、极具代表性的林地,划出 1 hm^2 作为定位试验地块。此次试验设定了3种轮作方式,每种方式设置3个重复小区,每个小区面积 300 m^2 ,小区间设隔离带杜绝相互干扰。具体轮作模式设计为:CK(当归—休耕—贝母—休耕)、 T_1 (当归—贝母—天麻—黑麦草)、 T_2 (当归—香菇—贝母—白三叶草)。基于不同模式下林下作物的生态特性差异,开展连续6 a(2018年—2023年)的定位观测,系统探究不同轮作模式对土壤肥力关键指标的动态调控效应,阐明轻简化轮作模式改

收稿日期 2026-03-04

作者简介 华尔子莫(1999-),女,彝族,四川人,助理工程师,研究方向为林业。

良土壤肥力的内在机理。

2.2 土壤取样与分析

在各试验小区内按“S”形布设5个取样点,在2018年—2023年,每年5月(作物苗期)与11月(作物收获期),采集0~20 cm的表层土壤。土壤样品经自然风干、去除杂质后,过2 mm筛备用。采用重铬酸钾氧化—外加热法测定土壤有机质含量;凯氏定氮法测定土壤全氮含量;碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;电位法测定土壤pH值。通过SPSS26.0软件进行数据统计分析,明确不同轮作模式对土壤肥力指标的影响差异。

3 结果与分析

3.1 不同轮作模式对土壤有机质含量的动态影响

土壤有机质是维持土壤肥力的核心物质,其含量变化直接反映土壤碳库平衡状态与养分供给能力。不同轮作模式下土壤有机质平均含量对比见图1。

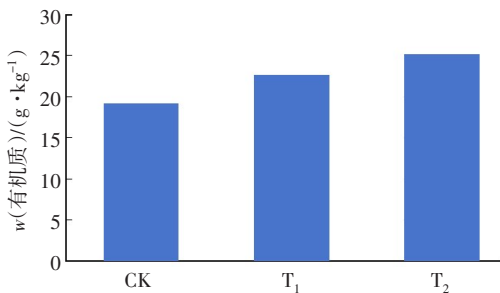


图1 不同轮作模式下土壤有机质平均含量对比图

Fig.1 Comparison chart of average soil organic matter content under different rotation patterns

由图1可知,传统轮作模式(CK)下,土壤有机质的质量分数约19.2 g/kg,年际间波动幅度仅2.8%,整体处于低水平稳定状态。这主要是因为传统模式中休耕周期较长,土壤碳输入来源单一且总量不足,难以实现有机质的有效积累。2种轻简化轮作模式均能显著促进土壤有机质积累,且提升效应逐年增强。其中:T₂的有机质平均质量分数达到25.3g/kg,相较于CK提升了31.8%;T₁的有机质平均质量分数为22.7 g/kg,较CK提升了18.2%。统计分析表明,T₁、T₂与CK之间的差异均达到P<0.05的显著水平。

轻简化轮作模式优化了作物配置结构,实现了土壤碳输入的连续性与多样性,故能显著提升土壤有机质含量。T₂中香菇栽培残留基质富含木质素、纤维素等有机碳组分,分解速率缓慢,利于腐殖质积累;白三叶草作为豆科牧草,根系发达且枯落物量大,能持续向土壤输入有机碳。T₁中的黑麦草生长迅速,生物量高,枯落物归还土壤后可快速补充有机碳;天麻与宿主植物形成的共生体系,也能通过根系分泌物增加土壤有机碳输入。相较于CK的周期性休耕,轻简化轮作模式缩短了土地闲置时间,通过多样化作物残体的持续归还,为土壤有机质积累提供了充足的物质来源,同时优

化了土壤微生物区系结构,提升了碳库固持效率。

3.2 不同轮作模式对土壤全氮含量的动态影响

土壤全氮含量是衡量土壤氮素储备能力的核心指标,其动态变化与轮作模式下氮素输入、转化及固持过程密切相关。不同轮作模式下土壤全氮含量的年际变化及统计分析结果见表1。

表1 不同轮作模式下土壤全氮含量年际变化及统计表

Tab.1 Interannual variations and statistics of total nitrogen content in soil under different rotation patterns

试验年份	w(全氮)/(g·kg ⁻¹)			较CK差异率/%	
	CK	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
2018	1.73 ± 0.06a	1.75 ± 0.05a	1.84 ± 0.07b	1.1	6.4
2019	1.71 ± 0.04a	1.83 ± 0.06b	1.96 ± 0.08c	7.0	14.6
2020	1.69 ± 0.05a	1.87 ± 0.04b	2.03 ± 0.06c	10.7	20.1
2021	1.68 ± 0.03a	1.90 ± 0.07b	2.07 ± 0.05c	13.1	23.2
2022	1.67 ± 0.04a	1.93 ± 0.05b	2.11 ± 0.07c	15.6	26.3
2023	1.66 ± 0.03a	1.98 ± 0.06b	2.15 ± 0.06c	19.3	29.5
平均值	1.70 ± 0.03a	1.88 ± 0.09b	2.06 ± 0.12c	10.6	21.2

注:数据为3次重复平均值±标准偏差,同列不同小写字母表示年度内处理间差异显著(P<0.05);差异率=[(处理组平均值-对照组平均值)/对照组平均值]×100%;下表同。

由表1可知,传统轮作模式下,土壤全氮质量分数6 a平均值为1.70 g/kg,年际变异系数为3.5%,整体呈现缓慢下降趋势。这是由于休耕期间,土壤氮素通过淋溶、挥发等途径流失,同时微生物矿化作用消耗了部分有机氮,而氮素补充不足所致。两种轻简化轮作模式均能显著提升土壤全氮含量,且提升效应随试验年限延长逐步增强。其中:T₂的提升效果更为显著,6 a全氮平均质量分数达到2.06 g/kg,较CK提高了21.2%,且各年度全氮质量分数均显著高于CK模式(P<0.05);T₁的6 a全氮平均质量分数为1.88 g/kg,较CK提高了10.6%,除2018年与CK差异不显著外,2019年—2023年各年度均存在显著差异(P<0.05)。

T₂的全氮提升效应显著,主要得益于豆科牧草与食用菌的协同作用。白三叶草可通过根瘤菌进行生物固氮,将空气中的氮气转化为土壤可利用氮素,同时其枯落物归还土壤后可补充有机氮;香菇栽培残留基质中的有机氮化合物易于被微生物分解,能快速为土壤补充有效氮。T₁中黑麦草根系发达,可有效吸收土壤深层氮素并归还表层土壤,减少氮素淋溶流失;天麻与宿主植物的共生体系能通过根系分泌物改善土壤微环境,提升固氮微生物活性,进而增强土壤氮素储备能力。

3.3 不同轮作模式对土壤碱解氮含量的动态影响

碱解氮是土壤中易被作物直接吸收利用的有效氮成分,其含量高低直接影响作物生长发育与产量形成,是衡量土壤氮素供应能力的关键指标。不同轮作模式下土壤碱解氮含量年际变化见图2。

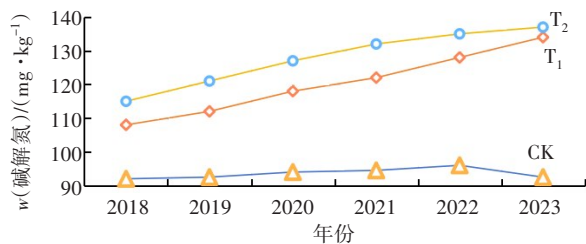


图2 不同轮作模式下土壤碱解氮含量年际变化图

Fig.2 Interannual variations of soil available nitrogen content under different rotation patterns

由图2可知,传统轮作模式下土壤碱解氮含量长期在90~96 mg/kg区间波动,6年平均质量分数93.5 mg/kg,年际变异系数仅2.4%,表明传统轮作模式下土壤氮素矿化效率低下,有效氮供应能力不足,难以满足林下经济作物生长需求。2种轻简化轮作模式均能显著提升土壤碱解氮含量,且提升效果随试验年限延长逐步凸显。其中:T₂的6年碱解氮平均质量分数达127.8 mg/kg,较CK提升了36.7%;T₁的6年碱解氮平均质量分数为120.3 mg/kg,较CK提升了28.7%。统计分析表明,T₁、T₂与CK之间的差异均达到 $P<0.05$ 的显著水平。

轻简化轮作模式提升土壤碱解氮含量的核心机制是多种作物残体进入土壤,使土壤有机质含量上升,为微生物生长繁殖提供了充足的碳源与能源,进而促进了土壤氮素矿化过程。土壤氮素矿化是微生物将有机氮转化为无机氮的过程,有机质含量的提升显著增加了土壤微生物生物量与活性,促进了氨化细菌、硝化细菌等功能微生物的繁殖,加速了有机氮的分解转化,提高了碱解氮含量。具体而言,T₂中香菇残留基质中的有机氮易被微生物分解,白三叶草枯落物分解过程中释放的有机酸可调节土壤微环境,进一步提升氮素矿化效率;T₁中黑麦草与天麻的根系分泌物能改善土壤微生物群落结构,增强氮素转化功能,为作物生长提供持续稳定的有效氮供应。

3.4 不同轮作模式对土壤pH值的动态影响

土壤pH值直接影响土壤养分有效性、微生物活性及作物生长适应性。盐源县林下土壤受亚热带季风气候、植被凋落物分解及长期种植药用作物的综合影响,天然呈偏酸性,土壤酸化会进一步降低养分有效性,抑制作物生长。不同轮作模式下土壤pH值的年际变化见表2。由表2可知,传统轮作模式下,土壤6年pH值平均为5.45,属于强酸性土壤,且呈现逐年缓慢下降趋势,2023年降至5.38。这主要是因为传统轮作模式中,作物吸收土壤中的碱基离子,同时凋落物分解释放有机酸,导致土壤氢离子积累,酸化程度加剧。2种轻简化轮作模式均能有效缓解土壤酸化趋势,且改善效果随试验年限延长逐步增强。其中:T₂的6年pH值平均为6.33,较CK提高了0.88;T₁的6年pH值平均为6.19,较CK提高了0.74,且2种轻简化模式与CK之间的差异均达到 $P<0.05$ 的显著水平。

表2 不同轮作模式下土壤pH值动态变化表

Tab.2 Dynamic changes in soil pH values under different rotation patterns

试验年份	土壤pH值			较CK提升值	
	CK	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
2018	5.52 ± 0.05a	5.65 ± 0.06b	5.76 ± 0.07c	0.13	0.24
2019	5.49 ± 0.04a	5.83 ± 0.05b	5.98 ± 0.06c	0.34	0.49
2020	5.46 ± 0.05a	6.05 ± 0.07b	6.21 ± 0.08c	0.59	0.75
2021	5.43 ± 0.04a	6.20 ± 0.06b	6.35 ± 0.07c	0.77	0.92
2022	5.40 ± 0.03a	6.28 ± 0.05b	6.42 ± 0.06c	0.88	1.02
2023	5.38 ± 0.04a	6.36 ± 0.06b	6.48 ± 0.07c	0.98	1.10
平均值	5.45 ± 0.04a	6.19 ± 0.13b	6.33 ± 0.16c	0.74	0.88

注:提升值=处理组平均值-对照组平均值。

轻简化轮作模式改善土壤pH值的核心原因在于引入了具有酸碱调节功能的作物。黑麦草、白三叶草等牧草的根系生长过程中会分泌少量碱性物质,可中和土壤中的氢离子;其凋落物分解过程中会释放钙、镁等碱基离子,这些离子可替代土壤胶体上吸附的氢离子,降低土壤酸度。此外,T₂中香菇栽培基质的pH值为6.6~7.1,残留基质进入土壤后可直接调节土壤酸碱度;同时,微生物代谢过程中产生的碳酸氢根离子也能中和土壤酸性。两种轻简化轮作模式将土壤pH值调节至6.0~6.5的弱酸性范围,这一范围不仅适宜当归、贝母等林下经济作物生长,还能提高土壤中磷、钾等养分的有效性,促进土壤微生物活性,形成土壤肥力提升的良性循环。

4 结语

本研究通过在盐源县建立长期定位试验,系统探究了轻简化轮作模式下林下经济作物种植对土壤肥力的动态影响。研究表明,与传统轮作模式相比,轻简化轮作模式能显著提升土壤有机质、全氮及碱解氮含量,有效缓解土壤酸化趋势,改善土壤肥力状况。其中,引入香菇和白三叶草的T₂(当归—香菇—贝母—白三叶草)对土壤肥力的改良效果最为显著。本研究结果为盐源县林下经济作物种植模式优化提供了科学依据,对提升当地林下经济产业效益、促进农业生态可持续发展具有重要指导意义。后续可进一步开展不同轻简化轮作模式的经济效益评估,为适宜模式的大面积推广应用提供更全面的技术支撑。

参考文献

[1] 梁栋材. 林下经济的模式及发展路径研究[J]. 棉花科学, 2025, 47(7): 137-139.

[2] 刘毅. 高效可持续的林下经济作物与本土树种协同种植模式探索[J]. 种子世界, 2025(10): 174-176.

[3] 刘华琪. 林下经济经营对森林生态系统服务功能及其权衡关系的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.

[4] 刘世杰, 何建勇, 黄晨, 等. 桉树连续种植对林下植被多样性和土壤肥力的影响[J]. 桉树科技, 2024, 41(4): 24-30.