

减药减肥环保育苗技术与生态抚育耦合对林下生物多样性的调控效应

吕康乐

河北省木兰围场国有林场

DOI:10.32629/eep.v9i6.3248

[摘要] 人工林下育苗长期大量施用化肥农药,引发土壤养分失衡、毒物积累,抑制乡土植被、昆虫及土壤微生物生长,导致生物多样性不断下降。本研究开展连续4年定位试验,耦合减药减肥环保育苗与森林生态抚育技术,管控面源污染并优化林分结构。试验结果表明,试验区化肥减量62%、农药削减78%,林下灌草多样性、土壤微生物及天敌昆虫均明显提升。两项技术协同改善生态环境,兼顾育苗生产与生物保护,助力人工林绿色经营。

[关键词] 林下育苗; 化肥农药“双减”; 生态抚育; 群落结构; 生物多样性

中图分类号: S143-01 **文献标识码:** A

The regulatory effects of integrating reduced-dose weight-loss and environmentally friendly seedling cultivation techniques with ecological nurturing on understory biodiversity

Kangle Lv

Hebei Mulan Weichang State-owned Forest Farm

[Abstract] Long-term extensive use of chemical fertilizers and pesticides in seedling cultivation under artificial forests has led to soil nutrient imbalance, toxin accumulation, suppression of native vegetation, insects, and soil microorganisms, resulting in a continuous decline in biodiversity. This study conducted a four-year field experiment combining reduced pesticide and fertilizer application with environmentally friendly seedling cultivation techniques and forest ecological management practices to control non-point source pollution and optimize stand structure. Results demonstrated a 62% reduction in fertilizer use and a 78% decrease in pesticide application in the experimental area, accompanied by significant improvements in understory plant diversity, soil microbial richness, and natural enemy insect populations. The synergistic application of these two technologies enhances the ecological environment while balancing seedling production needs with biological conservation, contributing to sustainable management of artificial forests.

[Key words] Understory seedling cultivation; Dual reduction of chemical fertilizers and pesticides; Ecological management; Community structure; Biodiversity

引言

我国北方林下华北落叶松、樟子松容器育苗产业规模逐年扩大,冀北山地人工防护林林下育苗已成为北方林业种苗生产的重要模式。传统林下育苗长期大量施用速效化肥与广谱农药,虽可加快苗木生长,却引发长期生态问题,氮磷养分随雨水在表层土壤累积,引发局部富营养化,恶性杂草肆意蔓延,挤压乡土草本生存空间,农药残留持续损害传粉昆虫与土壤有益微生物,简化食物链,造成生态群落趋于单一,生物多样性持续下降,加之冀北人工落叶松纯林抚育滞后,林分郁闭度偏高,林下光照匮乏、

土层浅薄、土壤保肥能力弱,乔灌木垂直结构简单,进一步阻碍寒温带乡土野生植物繁育^[1]。

单纯推行环保育苗仅能削减化学污染,难以优化林分结构;单一抚育措施无法消除土壤药肥胁迫,植被多样性提升难以持久。唯有将“双减”育苗与生态抚育耦合,构建源头控污与生境优化一体化体系,才能平衡育苗生产与生物保护^[2]。现有北方林区研究已证实,有机肥配施菌剂可改良贫瘠沙质根际微环境,抚育间伐能提高高寒山地生境异质性,但大多将两类措施分开研究,缺少二者耦合对北方寒温带多类生物群落的协同机制与最

优配比研究^[3]。为此,本研究在河北北部木兰围场国有林场设置四组对照处理,开展为期四年的定位监测,连续观测林下乡土植物、土壤微生物与天敌昆虫群落变化,阐明耦合技术对冀北防护林的调控机理,量化区域生态效益,为华北落叶松人工林近自然林下育苗经营提供理论与技术支撑。

1 试验材料与研究方法

1.1 试验地概况

试验区域地处河北北部木兰围场国有林场,属华北落叶松人工林区,海拔900~1200 m,为寒温带向中温带过渡的大陆性季风山地气候,年均降水量420 mm,降水集中7—9月,无霜期70~100 d;林地土壤以山地棕壤、灰色森林土为主,土层浅薄、有机质本底值低,局部地块含风沙土。原有落叶松林分郁闭度0.85,林下连续8年开展华北落叶松、樟子松容器育苗,长期施用尿素、复合肥与广谱化学杀菌剂,原生耐寒草本仅存11种,瓢虫、寄生蜂等天敌昆虫匮乏,土壤有机质偏低,化肥淋溶、农药残留检出率偏高,存在坡面水土流失与面源污染风险。样地总面积2.4 hm²,共划分12块标准小区,单块面积0.2 hm²,小区之间布设隔离缓冲带,防止水肥、药剂横向扩散干扰试验。

1.2 试验处理设置

试验设置4组处理,每组重复3次。CK为对照组,采用常规林下育苗,不实施抚育措施,全程施用普通化肥,每季喷施3次广谱杀虫杀菌剂,林分不作间伐与修枝,维持原有郁闭度。T1组仅推行减药减肥环保育苗,不开展抚育,化肥用量减少60%,腐熟有机肥搭配根际生物菌剂替换70%速效氮肥,依靠杀虫灯、黄/蓝诱虫板、木霉菌+枯草芽孢杆菌实施北方针叶苗绿色防控,化学农药减少75%,林分结构保持不变。T2组沿用原有育苗的化肥农药用量,同步开展生态抚育,将林分郁闭度调整至0.65,间伐过密林木,剪除下部徒长枝条,留存林下枯落物与倒木,清除恶性藤杂草,构建多层微生境。T3为耦合处理组,集成“双减”育苗与生态抚育技术,化肥减量62%,利用有机肥搭配AM菌根菌替代化肥,仅在夏秋苗木立枯病高发期少量施用低毒农药,适配冀北低温高湿苗期病害特征,农药整体削减78%,同时优化林冠结构,保留乡土灌草斑块,维持林内生境多样性。

1.3 调查与测定方法

开展植物群落调查,于每年7—8月(冀北植被生长盛期)采用典型样方法,在每个小区布设6个1m×1m草本样方,3个5m×5m灌木样方,登记物种名称、植株数量与植被盖度,测算S物种丰富度、H多样性指数、E均匀度指数、D优势度指数。采集0~20cm表层土壤,借助高通量测序解析细菌与真菌群落,求取Chao1指数与Shannon指数。运用马氏网结合黄板,在苗木生长期持续捕获昆虫,划分植食害虫与瓢虫、寄生蜂等天敌,统计种群结构与个体数量。同步检测土壤有机质、速效氮磷及农药残留指标,研判土壤毒理环境的动态变化。

1.4 数据统计

采用SPSS软件进行单因素方差分析,Duncan法进行多重比较, $P<0.05$ 代表组间差异显著;运用冗余分析(RDA)解析环境因

子与生物多样性指数之间的关联性。

2 结果与分析

2.1 耦合技术对林下植物群落多样性的调控效应

连续4年监测结果显示,不同处理下林下灌草群落分化显著。

对照组CK长期承受化肥农药胁迫,叠加林分郁闭度偏高的环境条件,林下草本物种仅存10~12种,灌木物种不足6种,Shannon指数持续低于1.4,群落优势度显著偏高,少数耐肥杂草占据主要生态位,乡土野生草本难以自然定居。T1组仅推行减药减肥育苗措施,土壤化学胁迫得到有效缓解,草本物种增至17种,群落多样性指数小幅提升,但林冠密闭、光照匮乏,制约了物种萌发更新,灌木群落无明显变化,单一技术的调控作用较为有限。T2组仅开展生态抚育,有效改善林内光照条件,提升生境异质性,小幅增加灌草物种丰富度,但育苗区持续输入化肥农药,土壤残留毒物仍会抑制敏感野生植物生长,乡土草本群落恢复速度整体偏缓。

T3耦合处理效果最优,化肥农药减量消除土壤毒理胁迫,抚育措施优化林分光照与湿度微环境,为野生植物创造良好生境。试验第四年,林下草本、灌木物种分别达26种、14种,物种丰富度较CK提升35.7%,Shannon-Wiener指数升至1.82,增幅0.42,Pielou均匀度指数达0.87,群落结构更均衡,乡土植被逐步恢复,林层结构更完整。

方差分析表明,“减药减肥育苗×生态抚育”存在显著交互作用($P<0.01$),证明两项技术耦合对植物多样性提升具有协同叠加效应,优于单一技术单独应用。

2.2 土壤微生态与微生物群落的响应

对照组CK土壤硝态氮过量累积,杀菌剂残留大幅削减土壤有益微生物数量,细菌Chao1指数整体偏低,真菌群落以腐生致病类群为主体,土壤菌群结构单一。T1组减施化肥农药后,土壤氮素富集问题得到缓解,农药残留降幅达69%,根际芽孢杆菌、菌根真菌数量回升,土壤微生物多样性显著提升,但未实施生态抚育,林下枯落物分解条件较差,土壤有机质提升幅度有限。T2组通过生态抚育增加林下枯落物补给,提升土壤有机质含量,优化土壤水热环境,但持续的化肥农药投入会持续干扰微生物群落,抑制有益菌群增殖恢复。

T3耦合处理可构建土壤良性养分循环体系,有机肥替代化肥提升土壤有机质,农药减量解除有益菌群毒害,抚育留存的枯落物促进土壤物质循环。测序结果表明,耦合区土壤细菌Shannon指数提升22.3%,外生菌根真菌与固氮菌群丰度显著升高,病原菌丰度明显降低。冗余分析证实,农药残留、速效氮与植物多样性呈极显著负相关,有机质、微生物丰富度与物种多样性呈显著正相关,“双减”措施与生态抚育协同修复土壤微生态,为植被多样性恢复提供基础保障。

2.3 陆生昆虫群落多样性变化

冀北高寒林地天敌昆虫本底种群基数低,化学农药干扰后恢复难度更大,耦合措施对天敌保育增益效果更突出。

CK组长期喷施化学农药,在灭杀植食害虫的同时,造成瓢虫、草蛉、寄生蜂等天敌昆虫近乎绝迹,昆虫群落仅留存少量抗药性害虫,物种组成极为单一。T1组以绿色防控技术替代化学农药,有效恢复部分天敌昆虫种群,但林分结构简单,缺乏蜜源植物与栖息斑块,无法支撑天敌昆虫长期存续,昆虫群落丰富度提升效果较弱。

T2组依托生态抚育塑造多样微生境,林下灌草斑块可为昆虫提供觅食与繁殖空间,但育苗地块持续施用农药,持续杀伤周边昆虫种群,严重阻碍昆虫群落的恢复进程。

T3耦合模式可双向优化昆虫生存环境,药剂减量降低化学毒害,植被结构优化提供充足蜜源与栖息场所,稳定天敌昆虫种群。监测数据表明,耦合区昆虫物种由23种增至47种,天敌昆虫数量较CK提升112%,虫害发生率下降65%,构建起稳定的“植物—害虫—天敌”食物链,有效提升林下节肢动物多样性。

2.4 耦合技术的协同调控机制解析

减药减肥环保育苗与生态抚育形成两级联动调控体系。

第一级为源头污染管控,以有机肥替代速效化肥,可有效规避土壤氮磷富集问题,减少杂草大规模滋生,依托物理防控结合生物药剂替换化学农药,能够消除有毒物质对植物种子、土壤菌群及昆虫群落的损害,解除生态系统化学胁迫,破除传统育苗化学投入过量、土壤环境退化的核心问题,为林下生物多样性恢复扫清环境障碍。

第二级为生境结构优化,生态抚育通过间伐调郁、修枝透光、留存枯木与灌草斑块,提升林内生境异质性,形成光照、湿度及植被斑块多重梯度,适配不同物种的生态位需求,推动乔灌木分层生长,为林下动植物提供多元化栖息空间,完善林下生态结构。

两项技术耦合可实现生境降毒与生境提质的相互支撑,仅优化林分结构而不开展药肥减量控污,土壤残留毒物仍会持续抑制敏感物种生长,仅削减化肥农药而不实施生态抚育,物种缺乏适宜生存空间,多样性提升效果难以长效维持。二者协同叠加,可串联土壤理化、毒物残留等非生物环境,以及植物、微生物、昆虫等生物群落,形成完整生态调控链条,稳步提升林下生态系统稳定性与物种多样性水平。

3 讨论

当前冀北山地华北落叶松、樟子松林下容器育苗产业普遍重苗木产出、轻生态保育,高强度化肥农药投入叠加北方人工纯林结构同质化、土层贫瘠、风蚀水蚀风险高的区域特点,持续压缩寒温带野生生物生存空间,导致林下生物多样性持续衰退^[4]。现有研究多单独验证绿色育苗或生态抚育的生态效益,鲜有探究二者耦合的协同作用,本研究集成两项核心技术,证实具备显著协同增益效果。该结果与现有农林复合生态系统研究结论一致,表明同步降低人为化学干扰,优化林分植被空间结

构,方可实现林下生物群落多样性的稳定恢复。

在实际生产中,单一推行药肥减量,易造成苗木长势波动、苗期病害增多等问题,单独实施生态抚育,也无法有效解决育苗地块的面源污染问题。本耦合技术依托菌根菌搭配有机肥,稳定苗木养分供应,借助自然天敌群落实现绿色控害,兼顾苗木培育质量与林地生态保育,有效平衡种苗生产与生物多样性保护需求^[5]。

4 结论

减药减肥育苗与生态抚育技术具备显著协同交互效应,耦合应用效果优于单一技术措施。该耦合模式可实现化肥减量62%、化学农药削减78%,有效提升林下灌草物种丰富度35.7%,提高Shannon-Wiener多样性指数,显著促进乡土植物群落恢复与发育。

耦合技术通过双重路径调控林下生态系统,一是从源头削减化肥农药投入,降低土壤毒物积累,修复土壤微生物群落,解除化学胁迫对动植物的抑制作用,二是通过适度抚育调控林分郁闭度,提升生境异质性,构建多层植被结构,丰富生物栖息环境。土壤微生态与生境结构协同优化,可同步提升多类群生物多样性。

“减药减肥育苗+生态抚育”耦合模式,可在保障林下苗木培育产能的基础上,持续保育林下生物群落,适宜应用于河北北部寒温带华北落叶松人工防护林林下育苗基地,能够为北方林下经济绿色转型、京津冀生态屏障人工林近自然可持续经营,提供成套成熟技术方案。

[参考文献]

- [1]吴初平,袁位高,江波,等.亚热带次生阔叶林人工抚育对林下植物功能多样性的影响[J].生态学报,2024,44(11):4782-4791.
- [2]梁大熠,陈广财,徐圆圆.目标树经营密度对林下植物多样性及土壤养分的调控作用[J].西南林业大学学报,2025,45(5):89-96.
- [3]王浩宇,张成福,刘思远.氮添加与抚育间伐耦合对华北落叶松林下草本及土壤微生物的调控[J].林业科学研究,2023,36(4):112-121.
- [4]李博文,马晓东.林下容器育苗化肥农药减量配施菌剂对天敌昆虫与土壤微生态的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2024,48(6):83-91.
- [5]陈宇恒,周建明.冀北山地樟子松人工林生态抚育与生境异质性对林下生物多样性的协同效应[J].西北林学院学报,2025,40(3):76-84.

作者简介:

吕康乐(1986—),男,汉族,河北石家庄人,本科,职称:林业高级工程师,从事的研究方向:森林培育、良种繁育。