

高速路防护林构建中固氮植物的生态功能提升机理与群落调控策略

谷加存 张霖山

东北林业大学, 中国·黑龙江 哈尔滨 150001

摘要: 构建高速路防护林在缓解生态破坏、提升环境品质方面意义重大, 固氮植物凭借其固氮增肥、抗逆护土等功能, 成了关键配置, 研究围绕其在防护林体系里发挥的功用, 解析生物固氮、根际微生物调控及群落互作等促进生态功能提升的机理, 拟定混交配置、生态位优化及人工干预等调控举措, 就适应性不足、结构不稳固等问题而言, 创建群落可持续性发展途径, 为增强防护林系统稳定性及提升生态服务效能提供技术支撑。

关键词: 高速路防护林; 固氮植物; 生态功能; 群落调控; 生物固氮机制

Mechanisms for Enhancing Ecological Functions of Nitrogen-Fixing Plants and Community Regulation Strategies in the Construction of Highway Shelterbelts

Jiacun Gu Linshan Zhang

Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract: Constructing highway protective forests is crucial for mitigating ecological damage and enhancing environmental quality. Nitrogen-fixing plants, with their nitrogen fixation, fertilization, stress resistance, and soil protection functions, have become a key component. Research focuses on their roles in the protective forest system, exploring mechanisms that enhance ecological functions through biological nitrogen fixation, rhizosphere microbial regulation, and community interactions. Measures such as mixed planting configurations, optimization of ecological niches, and artificial interventions are proposed to address issues like insufficient adaptability and unstable structure. This research aims to create sustainable development pathways for communities, providing technical support to enhance the stability of protective forest systems and improve ecological service efficiency.

Keywords: highway shelterbelt; nitrogen-fixing plants; ecological functions; community regulation; biological nitrogen fixation mechanism

0 前言

高速公路迅猛拓展对沿线生态系统形成持续搅扰, 在生态修复中, 充当缓冲带的防护林承担关键功能, 固氮植物借助自身独有的氮素转化及土壤改良能力, 成为增进防护林质量与性能的要害物种, 在生态文明建设逐步深入推进之际, 亟待探求适应多样环境的配置策略及功能增强途径, 利用机制剖析与群落调控路径的综合, 形成稳定高效的防护林体系, 不仅可为实现生态恢复目标助力, 也为区域绿色发展提供可重复利用的生态解决办法。

1 高速路防护林固氮植物应用现状与生态功能

高速路防护林中常见固氮植物包括豆科刺槐、胡枝子、紫穗槐、沙棘和白三叶等, 其分布受气候、土壤影响, 沙棘适应干旱半干旱地带, 白三叶适应湿润地带, 它们与根瘤菌共生固氮以提升土壤有效氮含量, 根系代谢产物活化磷、钾等元素, 残体还田可改善土壤结构与微生物活性, 在瘠薄区域有生态重建价值^[1]。固氮植物抗逆性强, 凭借发达根系减

少水土流失, 与共生微生物协作维持养分自供, 还能与伴生植物形成互利群落, 增强防护林系统生态韧性, 为高速路沿线生态修复与绿色走廊构建提供支撑。

2 固氮植物生态功能提升的关键机制

2.1 生物固氮作用与养分循环机制

固氮植物与根瘤菌、固氮放线菌等共生微生物构成稳定共生体, 把大气氮气转化为氨态氮, 合成有机氮化合物用于代谢或转入土壤, 成为土壤有效氮来源。高速路防护林系统中, 生物固氮既为自身供氮, 又通过凋落物分解与根际渗漏改善周围植物氮营养, 带动群落氮素积累。生物固氮还促进磷、硫等养分协同释放, 提高土壤养分可利用度, 完善循环体系, 土壤氮水平提升使微生物群落结构改变、数量与活性增强, 加快有机质分解, 推动碳氮耦合循环, 为防护林持续稳定运行提供物质基础与生态动力。

2.2 根系分泌物对土壤微生物的调控机制

固氮植物根系分泌物含生物活性物质如有机酸、多酚

类、糖类和酶类,可作用于根际土壤微生物丰度、多样性及竞争协作关系,调控微生态系统功能,高速路防护林中,其通过提升共生固氮菌、解磷菌、纤维素分解菌等有益微生物活性,加速养分转化、提高土壤肥力;分泌物抑菌特性能够抑制土传病原菌繁殖,构建健康根际微生物群落,干旱、贫瘠等环境胁迫下,根分泌物分布与成分产生变化,诱导微生物响应机制,增强固氮植物抗逆性与生态适应性,助力边坡、弃土区等极端环境的生态恢复。

2.3 群落物种互作增强固氮效率的协同机制

固氮植物通过增加土壤可利用氮为邻近植物创造更优生长条件,伴生植物则通过根系分布和蒸腾作用改善土壤结构与水气动态,为固氮植物及其共生微生物提供适宜生态位^[2]。部分伴生植物分泌刺激物促进根瘤菌活性或根瘤形成,间接提升固氮潜力,混交群落垂直层次分布实现光照资源优化分配,降低种间竞争压力,利于固氮植物稳定固氮,长期演替中,这种协同机制既增强群落生产力与养分保持能力,也为防护林在多变环境下的长期生态服务功能提供保障。

3 高速路防护林群落调控的核心策略

3.1 混交林模式下固氮植物的配置技术

合理混栽固氮植物与非固氮植物,能推动固氮能力空间扩散及资源互补利用,配置时应充分考量各树种对光照、水分及土壤类型的适应状况,优先挑选根系分布深浅搭配、冠层结构层次清晰的植物组合,于下层搭配白三叶等草本固氮植物,中层采用胡枝子、紫穗槐等灌木类的固氮种,于中上层引入刺槐、洋槐这类固氮乔木,经由垂直空间分层,降低种间竞争程度,提高资源利用效率。不同树种生长周期与生理活动的节奏需错位调整,防止群体生长高峰碰头引发资源争抢,应合理布置配置林的种植密度与间距,预留足够的空间便于根瘤形成与微生物开展活动,以维持固氮过程的平稳,混交林配置还需结合区域降水量、地形坡度等制定与当地情况相符的方案,促使固氮植物发挥出固氮的功效,又可跟其他物种建立起良性的生态互动联系,增进防护林系统功能的完整性与持续度。

3.2 基于生态位互补的群落结构优化

固氮植物在群落中充当“养分供给者”,其根际活动与生物固氮能力为伴生植物营造营养优势,依据生态位互补原则,可将光照、水分、土壤质地等环境要素需求差异显著的植物种组合于同一群落,最大程度减少资源利用重叠,进而增强群落生产稳定性,固氮植物多为速生种,适宜与深根性、喜阴的非固氮乔灌木配植,既降低地表竞争,又形成地上一地下空间协同利用^[3]。群落优化还需考量植物的生长节律、病虫害敏感性和凋落物化学组成等生态位因素,实现功能位动态平衡,通过配置功能性多样的物种组合,如固氮、耐旱、抗风种类交错搭配,可提升群落对外界扰动的适应能力,推动多功能群落构建,在此结构中,固氮植物的生态贡

献被有效放大,成为维持防护林生态网络稳定性的核心节点,为高速公路沿线生态恢复提供坚实基础。

3.3 人工干预促进固氮植物与伴生种共生

人工干预涵盖定向种植、根际接种、营养调控和生境营建等技术手段,种植初期通过合理配置群落成员,借助固氮植物提供的氮素营养改善邻近植物生长状况,提升群落整体初始发育速度,基于此可采用定向根际接种技术,将高效根瘤菌或促生菌株接入特定固氮植物根部,提高根瘤形成率与固氮效率,强化其对周围植物的支持作用。可利用生态基肥调节土壤养分结构,适当补充磷、钾等关键元素,满足固氮植物与共生种的协同需求,人工设置遮阴、保水、抗风的微生境设施,也有助于调控局部生态条件,创造利于多物种共存的群落结构,后期需结合生长监测动态调整植物间距和种群比例,预防种间压制,维持共生平衡。

4 固氮植物应用的现存问题与调控路径

4.1 物种适应性与抗逆性瓶颈

当前应用中部分固氮植物存在环境适应性不足问题,尤其在高温干旱、土壤贫瘠及重金属污染区域,部分豆科植物生长滞缓、固氮效率降低,根瘤形成率低下,严重制约其生态效益发挥,一些品种在原产地表现优良,但引种后因气候、水文或土壤 pH 偏离最适条件,出现生长不良甚至枯死现象。固氮植物对共生微生物依赖性较高,土壤若缺乏特定菌株,植物即便成活也难以建立有效固氮体系,进而影响群落养分循环与生态稳定,气候变化导致极端气象频发,部分固氮植物抗旱、抗寒、抗盐碱能力需进一步强化,需通过地方化驯化选育、耐逆基因挖掘、菌根共生系统强化等手段,突破物种适应性与抗逆性技术瓶颈,提升其在多变与边缘生境中的生态适应能力,实现高速路防护林在不同生态区的广域适用与持续高效运行。

4.2 群落稳定性维持的技术挑战

固氮植物多属速生种类,早期生长优势显著,易在群落中占据主导地位,致使其他植物种类因竞争压力衰退,降低物种多样性与系统韧性;随时间推移,固氮植物若缺乏更新机制或群体老化,可能出现种群空档,引发群落整体结构失衡。群落结构异质性不足也制约微生境形成,造成土壤水分、光照和养分资源分布不均,影响群体健康^[4]。人为干扰减少后,维持多物种长期共存、促进正向互作并抑制外来杂草侵占,仍缺乏系统动态调控技术,当前造林设计多为静态配置,缺少周期性群落监测与演替干预机制,导致后期维护难度增加,未来需构建以生态功能为导向的群落演替调控模型,通过物种轮作、群落更新、微环境调节等手段动态维持群落稳定性,实现固氮植物与伴生种长期共存和系统协同^[5]。

4.3 长期生态效益评估体系的构建需求

当前评估体系多关注初期造林成效,如成活率、覆盖率、短期氮素积累量等,缺少对长期生态过程的系统跟踪与定量

评估,尤其在群落演替、土壤微生物群落重建、生物多样性演化及生态系统服务提升等方面,缺乏统一指标体系和监测标准,难以准确衡量固氮植物在不同区域、不同配置模式下的持续贡献。受监测周期、技术手段和经费投入限制,许多项目未形成完整生态数据库,生态效益难以量化与比较,阻碍区域间经验推广与优化,建立科学且可操作的长期评估体系,需涵盖生物、土壤、水文、气象等多维指标,融合遥感监测、地面调查与模型模拟等手段,并结合人工智能分析技术,实现对防护林生态效益的动态追踪和预测,为政策制定与工程管理提供精确数据支撑与反馈机制。

5 结语

高速路防护林构建时,固氮植物能起到固氮增肥、优化土壤、提升抗逆性能等多重生态功效,借助构建科学合理的配置模式、优化生物群落结构、开展人工干预手段,可大幅增进其生态效益与系统的稳定水平,鉴于适应性瓶颈与长

期管理的困境,应健全物种选育、群落演替调控以及效益评估的体系,实现固氮功能与生态恢复协同提升,将机制作为核心,把策略当作支撑,促进防护林系统朝着功能多元、结构稳定、持续高效的方向迈进,为交通沿线的生态安全筑牢坚实后盾。

参考文献:

- [1] 盛丹,王茜.铁路沿线绿廊建设与环境整治探索——以沪汉蓉高速铁路荆州段为例[J].智能建筑与智慧城市,2023(3):90-92.
- [2] 张前进,陈永生,刘华,等.合肥环城高速公路防护林带土壤重金属污染及主要树种富集能力[J].生态学杂志,2021,40(6):1775-1782.
- [3] 周怡.江苏省高速公路周边土壤重金属污染特征及风险评估研究[D].扬州:扬州大学,2020.
- [4] 林伟.高速公路外围防护林带绿化模式应用[J].福建建材,2019(10):77-79.
- [5] 马腾飞.配施有机肥促进稻麦轮作系统土壤生物固氮的微生物机制[D].南京:南京农业大学,2022.