

退化林地植被恢复过程中生物多样性演替规律研究

王海宁 周伟
陕西省太白林业局 陕西 宝鸡 721600

摘要：本文系统梳理了退化林地植被恢复的基本概念与类型，深入探讨了植被恢复过程中物种多样性、功能多样性和系统发育多样性三个维度的演替规律。研究发现，退化林地在自然恢复或人工干预下，生物多样性通常呈现“先快速上升、后趋于稳定”的非线性变化趋势，但具体路径受初始退化程度、干扰历史、气候条件及恢复策略等多重因素调控。文章进一步分析了影响生物多样性演替的关键驱动机制。最后，基于演替规律的认知，提出了优化退化林地植被恢复实践的科学建议，强调应采取“近自然、低干预、高韧性”的恢复理念，注重乡土物种筛选、功能群配置与生态系统整体功能提升，以实现生物多样性保护与生态系统服务协同增效的目标。

关键词：退化林地；植被恢复；生物多样性；群落演替；生态修复；功能多样性

引言

森林生态系统是陆地生态系统重要部分，提供木材、水源涵养等关键服务，也是生物多样性重要载体。但受多重人为与自然干扰，全球大量林地退化。中国生态脆弱区广，退化林地问题突出，西南石漠化区、黄土高原等地，林地生产力下降等问题制约区域生态安全与可持续发展。在此背景下，退化林地植被恢复是扭转生态恶化、重建健康生态系统的有效途径。植被恢复是复杂生态演替过程，生物多样性是衡量生态系统健康稳定的核心指标，其变化反映恢复成效。虽已有大量研究关注退化林地植被恢复技术与效果评估，但对生物多样性多维演替规律及驱动机制缺乏系统整合。传统研究多关注单一指标，忽视功能多样性和系统发育多样性的价值。且不同恢复模式对生物多样性演替路径的影响机制不清晰，需理论深化与实践指导。

1 退化林地的界定与植被恢复类型

1.1 退化林地的概念与分类

退化林地是指由于自然或人为干扰导致其结构、功能和服务能力显著低于潜在生态状态的林地生态系统。其主要特征包括：植被覆盖度降低、优势树种衰退、土壤肥力下降、水土保持能力减弱、生物多样性丧失等。根据退化成因与程度，可将退化林地分为轻度退化（如次生林）、中度退化（如疏林地、灌丛化林地）和重度退化（如裸岩地、严重侵蚀地）。

1.2 植被恢复的主要模式

目前，退化林地的植被恢复主要采用以下三种模式：（1）自然恢复：通过封山育林、减少人为干扰等方式，依靠生态系统自身恢复力实现植被重建。该模式成本低、生态兼容性好，适用于轻中度退化区域。（2）

人工促进恢复：在自然恢复基础上，辅以适度的人工干预，如补植乡土树种、清除入侵物种、改善土壤条件等，加速演替进程。（3）人工造林：在重度退化或自然恢复潜力极低的区域，通过大规模种植乔木或灌木进行植被重建。该模式见效快，但易导致物种单一、生态系统脆弱等问题。不同恢复模式对生物多样性演替路径具有显著影响，需根据退化类型与区域生态本底进行科学选择。

2 生物多样性演替的多维表征

生物多样性不仅指物种数量的多少，更包含物种间的功能差异与进化关系。在植被恢复过程中，应从以下三个维度综合评估其演替规律。

2.1 物种多样性演替

物种多样性是最直观的指标，通常用物种丰富度（S）、均匀度（J）、Shannon-Wiener指数（H'）和Simpson指数（D）衡量。研究表明，在退化林地恢复初期（0-10年），先锋物种（如一年生草本、速生灌木）迅速占据空缺生态位，物种丰富度快速上升；中期（10-30年），竞争排斥作用增强，部分先锋种被淘汰，而多年生草本、灌木及乔木幼苗逐渐侵入，群落垂直结构复杂化，物种多样性达到峰值；后期（> 30年），群落趋于顶级状态，物种组成相对稳定，多样性可能略有下降但维持在较高水平^[1]。例如，在中国南方红壤丘陵区的退化马尾松林恢复研究中，封育10年后草本层物种数较退化初期增加2.3倍，灌木层和乔木层也显著恢复；而在黄土高原的退耕地恢复序列中，物种多样性在恢复15-20年时达到平台期，此后变化平缓。

2.2 功能多样性演替

功能多样性反映物种在资源利用、生长策略、繁殖

方式等方面的差异，常用功能丰富度（FRic）、功能均匀度（FEve）、功能离散度（FDis）和Rao二次熵等指标量化。功能多样性高的群落通常具有更强的资源利用效率、抗干扰能力与生态系统多功能性。在恢复初期，群落功能特征趋同（如高比叶面积SLA、低木材密度、快速生长策略），功能多样性较低；随着演替进行，不同生活型（草本、灌木、乔木）、不同养分利用策略（固氮植物、深根植物）、不同繁殖方式（风媒、虫媒、动物传播）的物种共存，功能空间填充度提高，功能多样性显著增强。例如，在云南干热河谷退化林地恢复中，引入豆科固氮树种（如银合欢）显著提升了群落的氮循环功能多样性，并促进了伴生植物的生长。

2.3 系统发育多样性演替

系统发育多样性衡量群落中物种间的进化距离，常用平均成对系统发育距离（MPD）和最近种间距离（MNTD）等指标。高系统发育多样性通常意味着群落包含更多远缘类群，可能增强生态系统对环境变化的抵抗力与恢复力。研究发现，退化林地恢复过程中，系统发育结构常从“聚集”（近缘种共存，受环境过滤主导）向“发散”（远缘种共存，受竞争排斥主导）转变^[2]。初期由于环境胁迫强（如干旱、贫瘠），仅少数适应恶劣条件的近缘类群（如同属灌木）存活；随环境改善，生态位分化增强，远缘物种得以共存，系统发育多样性提升。这一过程在热带次生林恢复中尤为明显，如哥斯达黎加的研究显示，恢复30年的次生林系统发育多样性已接近原始林的90%。

3 影响生物多样性演替的关键驱动机制

3.1 土壤环境的改善

土壤是植被恢复的基础载体。退化林地常伴随土壤有机质流失、pH失衡、养分贫瘠、微生物群落简化等问题。恢复过程中，植被覆盖增加促进凋落物积累，微生物（如放线菌、真菌）活性提升，土壤团粒结构形成，肥力逐步改善，为更多物种定植创造条件。研究表明，土壤全氮、有效磷含量与物种多样性呈显著正相关（ $r > 0.6, p < 0.01$ ）。

3.2 微生境异质性增加

随着植被结构复杂化（如形成多层次冠层、枯立木、倒木、林窗、苔藓层等），微生境多样性显著提升。这种空间异质性为不同生态位需求的物种（如喜阴蕨类、腐生真菌、地衣、昆虫、小型哺乳动物）提供多样化栖息地，促进 α 多样性（局域多样性）与 β 多样性（群落间差异）同步增加，进而提升区域 γ 多样性。

3.3 种间互作网络重构

恢复过程中，植物-传粉者、植物-菌根真菌（AMF/ECM）、植物-种子传播者（鸟类、啮齿类）等互作网络逐步重建。健康的互作网络可增强群落稳定性，促进稀有物种维持^[3]。例如，外生菌根真菌的恢复可显著提升壳斗科、松科等木本植物幼苗的水分与养分吸收效率，提高其在竞争中的存活率。

3.4 外来物种入侵风险

值得注意的是，恢复初期空缺生态位易被外来入侵植物（如紫茎泽兰、飞机草、加拿大一枝黄花）占据，这些物种往往具有强竞争力与化感作用，抑制乡土物种更新，导致生物多样性下降甚至生态系统功能退化。因此，恢复过程中需建立早期预警与快速响应机制，加强入侵物种监测与防控。

4 典型案例分析

4.1 中国南方马尾松退化林恢复

在江西千烟洲生态试验站，通过封山育林与补植阔叶树种（如木荷、栲树、青冈），退化马尾松林在20年内逐步演替为针阔混交林。物种丰富度提升40%，功能多样性指数提高35%，土壤有机碳含量翻倍，鸟类与昆虫多样性同步恢复，生态系统碳汇功能显著增强。

4.2 云南元江干热河谷植被重建

针对极端干旱与石漠化问题，当地采用“乡土灌木（余甘子、车桑子）+豆科乔木（银合欢、山合欢）”复合配置模式，5年内植被覆盖率达70%以上，物种多样性显著高于单一桉树或松树造林模式，且系统发育多样性更高，表明群落进化历史更丰富，抗旱能力更强。

4.3 国际经验：哥斯达黎加次生林恢复

哥斯达黎加以《森林法》和PES（生态系统服务付费）政策激励退耕还林，30年内次生林面积增加50%。长期监测显示，恢复30年后的次生林在物种组成上已接近原始林的80%，功能群结构完整，碳储量恢复至原始林的90%，印证了自然恢复的巨大潜力与政策驱动的有效性。

5 基于演替规律的退化林地植被恢复策略优化

5.1 坚持“近自然”恢复理念

在退化林地恢复中，应优先考虑依靠自然更新能力实现植被恢复；当自然恢复进程缓慢或受阻时，可辅以人工促进措施，如点状补植、种子撒播等，而非大规模整地和单一树种密植。关键在于识别区域原生植被类型及其演替序列，选择与当地气候、土壤、水文条件高度匹配的乡土物种作为恢复基础。例如，在亚热带地区可优先引入壳斗科、樟科等演替中后期优势种，避免盲目使用速生外来树种（如桉树、杨树），从而保障恢复群落的长期稳定性和生态适应性。

5.2 构建多功能物种组合

单一物种构成的林分难以支撑复杂生态功能。基于功能多样性理论，在补植设计中应构建包含多种生态功能群的复合群落：如豆科固氮植物（如紫穗槐、刺槐）可提升土壤氮素水平；深根系植物（如栎类、松类）有助于改善土壤结构并增强抗旱能力；蜜源植物（如忍冬、梾木）吸引传粉昆虫，促进生物链重建；果实类植物（如山茱萸、野樱桃）则为鸟类和小型哺乳动物提供食物资源。这种多功能物种组合不仅能加速生态系统的正向演替，还能增强其对气候变化和病虫害的抵御能力，同时提升碳汇、水源涵养、生物多样性保育等多重生态系统服务。

5.3 强化土壤-植被协同修复

土壤是植被恢复的基础，而植被又反作用于土壤改良，二者构成互馈关系。退化林地常伴随土壤贫瘠、结构板结、有机质流失等问题。因此，恢复过程中需同步实施土壤修复措施：如施用腐熟有机肥或堆肥以提升养分含量；种植绿肥作物（如紫云英、苜蓿）增加覆盖度并固氮；保留或适度归还枯枝落叶层，促进微生物活动与腐殖质形成^[4]。此外，可通过设置微地形（如鱼鳞坑、水平阶）减少水土流失，营造有利于种子萌发和幼苗定植的小环境。只有实现土壤健康与植被恢复的协同推进，才能为生物多样性的系统性恢复奠定坚实基础。

5.4 建立长期监测与适应性管理机制

植被恢复是一个跨越数年甚至数十年的动态过程，不同演替阶段对管理措施的需求各异。因此，应在典型区域设立固定恢复样地，定期监测关键指标，包括物种组成变化、群落结构（如盖度、高度、多度）、功能属性（如比叶面积、种子传播方式）及土壤理化性质（如pH、有机质、酶活性）。基于监测数据，实施适应性管理：如在早期阶段控制竞争性强的先锋草本或入侵物种；中期适时进行疏伐，调节光照与空间资源分配；后期则减少人为干预，促进顶级群落自然形成。这种“监测—评估—调整”的闭环管理模式，可显著提高恢复成

效的可持续性。

5.5 融入景观尺度规划

孤立的恢复斑块难以维持长期生态功能。应将退化林地恢复纳入区域生态网络整体布局，结合生态廊道、生态节点和缓冲区建设，打通物种迁移与基因流动的通道。例如，在破碎化严重的丘陵地区，可通过恢复林带连接孤立林斑，形成连续的栖息地网络；在城乡交错带，则可构建多功能绿色基础设施，兼顾生态、游憩与文化功能。景观尺度的统筹规划不仅提升局部恢复效果，更能增强区域生态系统的连通性、韧性和生物多样性整体水平。

6 结语

退化林地植被恢复是一个复杂的生态演替过程，生物多样性在此过程中呈现多维度、非线性的动态变化。物种多样性通常经历“上升—稳定”阶段，功能多样性与系统发育多样性则更能反映群落功能重建与进化潜力。土壤环境改善、微生境异质性增加及种间互作网络重构是驱动生物多样性恢复的核心机制，而外来物种入侵则是潜在风险。未来退化林地恢复实践应超越“绿化”表象，转向“生态功能重建”与“生物多样性提升”并重的目标。通过科学识别演替规律，采取近自然、低干预、高韧性的恢复策略，构建结构合理、功能完善、生物多样性丰富的森林生态系统，方能真正实现“绿水青山就是金山银山”的生态愿景。

参考文献

- [1] 李琳.生态修复下退化林地植被恢复技术分析[J].花木盆景,2025,(10):103-104.
- [2] 张佳丽.“双碳”背景下西北地区林地退化现状及修复措施[J].农村科学实验,2024,(24):45-47.
- [3] 左美丽.中国北部地区退化林地林分结构与自然更新[J].林业和草原机械,2021,2(06):9-12.
- [4] 曹希荣.退化林地的造林绿化恢复技术和效果评估[J].中国林业产业,2024,(08):64-65.