



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

2024.07

森林保护、修复、管理指南

——协同应对气候变化与保护生物多样性



本指南是“气候与生物多样性协同增效的森林保护、修复、管理指南研究”项目的成果，该项目是由中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所、自然资源保护协会（NRDC）合作完成。我们向为本报告提出意见与建议的专家表示诚挚的感谢，他们是中国工程院院士刘世荣；北京师范大学葛剑平教授；中国绿色碳汇基金会刘家顺秘书长；中国林业科学研究院张会儒研究员、雷相东研究员、臧润国研究员、王成研究员；北京林业大学李俊清教授、孙建新教授、武曙红教授。此外，感谢中国科学院植物研究所刘晓娟研究员、乔治奥古斯特哥廷根大学 Yevgeniya Korol 博士、四川大学缪宁副教授对本报告案例的贡献。

作者：

中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所 张远东、丁易、于澎涛、王晓

东北林业大学 王晓春

中国林科院热带林业实验中心 明安刚

自然资源保护协会 华宁、曾楠



中国林业科学研究院

森林生态环境与自然保护研究所

Ecology and Nature Conservation Institute Chinese Academy of Forestry

中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所（简称中国林科院森环森保所）成立于1998年，由森林生态环境研究所和森林保护研究所合并而来，为独立法人事业单位，现有职工179人。研究所以建设和保护中国森林生态系统、应对全球气候变化、促进国家生态安全和可持续发展为总目标，以森林生态系统为主要对象，通过不同时空尺度和多学科联合，重点开展森林生态系统结构与功能规律、森林生物多样性保护、生态修复和森林健康维护的基础研究、应用基础研究和技术开发及科研成果推广。

更多信息，请访问：<http://www.ifeep.cn/>



自然资源保护协会

NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于1970年。NRDC拥有700多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员40多名。NRDC主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。

更多信息，请访问：<http://www.nrdc.cn/>

封面图片 ©Freepik

执行摘要

气候变化和生物多样性丧失是两大全球性热点问题。气候变化是导致生物多样性丧失的重要因素之一，而生物多样性下降则会降低生态系统固碳能力。这种恶性循环不仅加剧了气候变化的影响，还使生态系统面临更大的风险。要解决气候变化和生物多样性丧失的双重危机，必须开展二者协同增效的生态系统保护与修复。森林是陆地生态系统的主体，对森林进行科学管理，使之协同应对气候变化与保护生物多样性，已经成为新时代林业可持续发展的基石。

中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所 (ENCI-CAF) 与自然资源保护协会 (NRDC) 合作，组织专家开展研究并撰写了《森林保护、修复、管理指南——协同应对气候变化与保护生物多样性》（以下简称“指南”）。本指南在文献综述和深入的案例分析基础上，使用综合归纳方法，总结了促进气候与生物多样性协同增效的森林管理核心原则和主要措施。

一、分级分类保护，保护和修复相结合，实施森林可持续经营

健康、完整的森林生态系统是减缓气候变化和提升生物多样性的基石，要分级分类开展科学保护，实施物种、生境、生态系统和景观的综合保护。在严格保护的同时，应结合现代科学知识和当地传统知识，对退化森林生态系统进行科学修复，要开展山水林田湖草沙一体化保护和修复。通过分类经营、分区施策，开展森林全周期多功能经营，保持森林生产力，维持及提高森林多功能性，提高其对气候变化的韧性。

二、采用基于自然的解决方案

基于自然的解决方案 (NbS)，旨在通过保护、恢复、可持续管理和利用生物多样性和生态系统功能来应对各种环境、社会和经济挑战，同时提供人类福祉和生物多样性效益。对于原始林，要严格保护；对于退化次生林，要通过保护母树、补播补植乡土树种、抚育间伐等人工辅助天然更新措施促进其正向演替。森林修复过程中要充分利用原生树种的天然更新潜力。

三、保护和修复生态系统食物链完整性

生态系统食物链的完整性直接影响到生态系统的整体功能和稳定性。要维持森林掠食者种群的足够数量，保护食物网中的关键种，保留木质残体；要实施森林景观恢复，保证生境多样性及连通性；要借助自然力量修复生态系统及其过程，实现营养级联，提升景观的荒野程度。要加强生态系统监测和评估，实施生态系统综合管理，推广生态教育，制定严格的生态保护政策。

四、整合遗传、物种和群落多样性，提升生态系统多功能性和韧性

生物多样性包括遗传、物种和生态系统三个层次，要统筹考虑三个层次并加以整合。生物多样性高的森林生态系统不仅具有较高的服务功能，而且具有更强的气候韧性。要在纯林中补植乡土树种，人工辅助天然更新；要加强栖息地恢复和廊道修复，提升森林作为野生动物栖息地的功能。

五、森林景观恢复

森林景观恢复需要参照本地适宜的生态系统，使用恰当方法确定恢复热点区域和优先区域，充分平衡景观中各类生态系统的恢复；恢复过程中要按照自然植被分布规律，优先选择适宜本地的修复措施、技术和乡土物种，需要特别关注动物在退化景观中促进种子传播的功能，以及动物栖息地的扩散限制和连通性。森林景观恢复必须适应修复区域的社会经济条件。

六、综合森林管理和适应性管理

综合森林管理是将生物多样性保护整合到可持续森林管理中，通过权衡生态系统不同要素之间的相互关系，协同各种经营管理措施和各参与方的利益，使得森林经营管理的生态、经济和社会效益最大化。目前综合森林管理已经成为欧洲森林保护、经营和利用的主导模式。在气候变化背景下，国际上提倡采用适应性管理。由于未来的气候情景存在不确定性，森林恢复过程中要对关键指标、恢复轨迹和中间状态进行监测，并根据监测结果和气候变化情景进行森林经营管理措施的调整，以达到恢复适应未来气候的森林生态系统。

七、多方参与和多部门协作

要将政府机构、非政府环保组织、私营企业、当地社区和科研机构都纳入到森林保护和管理的决策过程中；多方参与可以提高决策的透明度和公正性，同时确保各种观点和需求得到充分考虑。要推动各政府部门之间的合作，共同制定和执行森林政策。要确保森林保护措施与经济发展目标相协调，同时考虑到社会和文化因素，避免政策冲突。要开展不同学科专家之间的协作，统筹规划编制、方案实施和监测评估。

八、促进气候和生物多样性协同增效的政策和资金机制

应对气候变化和保护生物多样性是全球两大热点和难点，与之对应的政策措施往往相互影响，需要构建一个整合性的政策框架，将二者视为相互依存、相互影响的组成部分。要打破政策壁垒，形成合力；注重公平与可持续，确保政策实施过程中的利益共享和风险共担。

现有筹资机制在促进二者协同增效方面存在局限性。要探讨多元化筹资来源；提出创新性的筹资方式和激励机制；加强政策制定者与筹资机构之间的沟通与合作，建立信息共享和合作机制，促进政策与筹资之间的良性互动和协同发展。

目录

执行摘要.....01

前言.....04

一、分级分类保护，保护和修复相结合，实施森林可持续经营.....05

二、采用基于自然的解决方案.....07

三、保护和修复生态系统食物链完整性.....09

四、整合遗传、物种和群落多样性，提升生态系统多功能性和韧性.....11

五、森林景观恢复.....13

六、综合森林管理和适应性管理.....15

七、多方参与和多部门协作.....17

八、促进气候和生物多样性协同增效的政策和资金机制.....19

参考文献.....21

前言

气候变化和生物多样性丧失是两大全球性热点问题。气候变化是导致生物多样性丧失的重要驱动因素之一，会影响物种数量、改变物种的分布格局、加剧栖息地丧失和破碎化等。生物多样性下降会降低生态系统稳定性，影响其碳汇能力。要解决气候变化和生物多样性丧失双重危机，必须将二者协同应对，核心手段就是全面系统地开展生态系统保护与修复。

森林是陆地生态系统的主体，也是最大的物种库和碳储库，在生物多样性保护、水源涵养、气候调节、固碳释氧、水土保持等方面，发挥着不可替代的作用。对森林生态系统进行科学保护、修复和管理，使之协同应对气候变化与保护生物多样性，成为新时代林业可持续发展的基石。

我国经多年持续造林绿化，森林面积大幅增长，人工林面积居世界第一，不但改善了生态环境，也为全球森林资源增长和应对气候变化做出了重大贡献。但是，我国森林资源结构不合理，总体质量不高，功能不强。人工乔木林中纯林占比达 80.98%^[1]，树种单一，结构简单。天然林则以次生林为主，萌生矮林比例高。气候变化背景下，火灾、旱灾和病虫害等风险增高，减缓和适应气候变化能力不足，生物多样性不高，难以提供高质量的野生动植物栖息地。这些问题严重阻碍了我国林业的高质量发展。

我国森林资源结构、质量、功能等方面的诸多问题，是多年重造林轻管理、重速度轻质量的累积结果，这与过去长期的林业发展指导思想和科技水平及经费投入低有关。在追求快速绿化的思想指引下，造林的多功能目标定位不明确，大多数防护林的营造和管理仍未脱离用材林的思路和技术框架；同时造林树种单一，又以速生先锋树种为主，在树种选择、空间配置、整地造林等环节很少关注保护生物多样性和应对气候变化。

十八大以后，我国将尊重自然、顺应自然、保护自然作为核心理念纳入了生态文明建设进程。为实现应对气候变化和保护生物多样性的双重目标，需要不断提升森林保护修复和管理的理念、技术和方法，制定适应新时代林业发展的政策。为此，我们总结了国内外资料和案例，编制该指南，以期气候与生物多样性协同增效的森林保护、修复和管理工作提供借鉴。

一、分级分类保护，保护和修复相结合，实施森林可持续经营

健康、完整的森林生态系统是减缓气候变化和提升生物多样性的基石。二者协同增效的首要原则是分级分类保护，保护和修复结合，实施森林可持续经营。

森林保护

(1) 分级分类开展科学保护。

不同地区森林、不同类型森林对协同增效的贡献可能差别巨大，需要综合考虑森林的生态脆弱性和干扰机制、生态区位重要性、生物多样性和独特性、林地生产力等因素，对不同森林实施分级分类保护。天然林是森林资源的主体和精华，也是无数野生动植物、微生物物种的栖息地，要优先保护天然林，降低天然林损失和退化率。对于国家重要生态功能区内的公益林，要严格保护。

(2) 实施物种、生境、生态系统和景观的综合保护。

传统森林保护多以植被保护为主，气候与生物多样性协同增效的森林保护更强调包含物种、生境的森林生态系统和景观的保护。通过维持、恢复森林生态系统的完整性、稳定性和多样性，采取综合保护措施。

森林修复

在严格保护的同时，应结合现代科学知识和当地传统知识，对退化森林生态系统进行科学修复。对于生态服务为主导功能的森林，要补植乡土树种、促进天然更新，优化林内木质残体和有蹄类动物数量，增强森林生态功能；对于以林产品生产为主导功能的森林，要结合培育珍贵树种、大径级林木开展修复，以便充分挖掘林地生产潜力。要开展山水林田湖草沙一体化保护和修复。

森林可持续经营

通过分类经营、分区施策，开展森林全周期多功能经营，保持森林生产力，维持及提高生物多样性、水源涵养能力和碳汇功能，保障森林应对气候变化的韧性；森林作业需至少设置 15% 面积以上的保留区，这些区域应包含关键生境和生态廊道；采用目标树经营，实行择伐作业，维持恒续林¹状态。

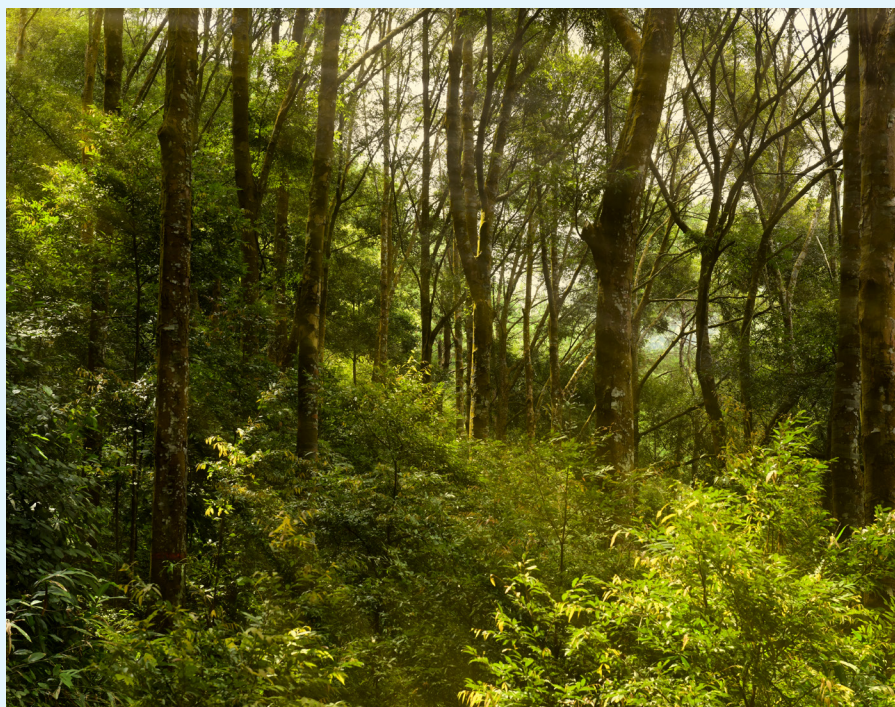
1 恒续林：由多个立地适应的树种组成的、结构多样而蓄积丰富的、有达到目标直径的优势林木并具有天然更新能力、能长期稳定并采用择伐作业的混交异龄林。

案例：中国林科院热带林业实验中心森林可持续经营

中国林科院热带林业实验中心位于广西凭祥，前期森林以马尾松、杉木、桉树人工纯林为主，通过多功能近自然森林经营技术，将人工纯林或混交同龄林逐步导向以珍贵树种为主、由多个树种组成的异龄复层混交林，培育珍贵树种大径级优质用材林，实现森林可持续经营。

先对桉树纯林进行皆伐，再在桉树萌芽林里套种降香黄檀、格木，营建桉树和珍贵树种的异龄混交林。降香黄檀、格木幼树因有桉树林遮阴庇护，形成了良好的干形。桉树林引入固氮珍贵树种降香黄檀、格木后，提升了土壤氮及其有效性，改善了土壤微生物及酶活性，不仅促进桉树生产力的提升，同时减少桉树约 40% 施肥量，节约了经营成本。珍贵树种与桉树行带状混交充分利用了边缘效应，桉树生长量同比增加 15% 以上。连续经营两茬萌芽林后伐除桉树，利用降香黄檀、格木及周边其他树种的天然更新，逐步形成以降香黄檀、格木为主的多树种异龄复层近自然林。

通过对中龄马尾松和杉木人工纯林进行强度间伐，保留长势旺盛、高大健壮的松杉优良木，在林冠下补植红锥、格木、香梓楠、灰木莲等乡土珍贵树种。松杉人工纯林近自然化改造后，示范林内树木生长环境显著改善，乔木、灌木、草本、菌类等物种越来越丰富：马尾松林群落物种由 46 种增加到了 71 种，灌木层物种由 34 种增加到 47 种。与未改造林分相比，马尾松林平均胸径增加了 110%，目标树平均胸径增加了 89.7%，大叶栎和灰木莲树高和胸径的年平均生长量分别超过了 1.5 米和 1.5 厘米。



照片来源：明安刚，中国林科院热林中心

对红锥、火力楠、格木等珍贵树种采用近自然经营方式，每亩选择 6-8 株目标树，定向培育目标胸径 60 厘米以上的优质大径材，最终形成以珍贵树种为主的大径材多功能近自然林，实现森林可持续经营。40 多年来，热带林业实验中心建立了红锥、火力楠、格木等乡土珍贵树种大径材多功能森林经营试验示范林 10 万余亩。



图 1 热带林业实验中心珍贵树种可持续经营（上：桉树林下补植降香黄檀形成混交林；左下：火力楠目标树经营；右下：红锥大径材培育）
照片来源：明安刚, 中国林科院热林中心

二、采用基于自然的解决方案

基于自然的解决方案（Nature-based Solutions, NbS），旨在通过保护、恢复、可持续管理和利用生物多样性和生态系统功能来应对各种环境、社会和经济挑战，同时提供人类福祉和生物多样性效益。对于原始林，要严格保护；对于退化次生林，要通过保护母树、补播补植乡土树种、抚育间伐等人工辅助天然更新措施促进其正向演替。原生乡土树种和顶级树种²具有强大的适应性，更容易在次生林中恢复其原有地位；即使在引种的人工纯林中，只要附近有原生乡土树种和顶级树种的种源存在，这些树种就会大量自然侵入，并随着时间推移，日益明显地呈现出更替所引树种的趋势。这种天然的更新潜力和生产力，必须在森林修复实践中加以充分利用。

2 顶级树种：指在森林演替过程中最终出现的稳定群落中的冠层树种，通常具有种子大、幼苗耐庇荫、生长慢、寿命长等生长对策（K 对策），是森林植物群落的建群种。

案例：东北林业大学帽儿山实验林场“栽针保阔”森林修复技术

东北林业大学林学院从上世纪 60 年代以来，在帽儿山实验林场建立了多种类型的“栽针保阔”实验林分。通过在次生阔叶林中栽植演替后期的针叶林树种，充分发挥自然更新及生产潜力，克服其天然更新障碍，缩短演替进程；避免了人工红松纯林的主干顶端分叉和过早结实现象。1987 年，以“栽针保阔”为核心的“天然次生林经营技术研究”获国家科技进步二等奖。目前，上世纪实施“栽针保阔”的实验林已形成阔叶红松中龄林，林相为复层异龄混交林（图 1），生态功能更加完备、结构更加稳定，生物多样性得到恢复，每公顷蓄积量达 216.3 立方米，比临近的次生阔叶林高 40% 以上（表 1）。



图 2 帽儿山林场“栽针保阔”实验林 照片来源：张远东,中国林科院森环森保所

表 1：栽针保阔与其他次生林、红松纯林的比较

样地	坡向	坡度	坡位	林木组成	年龄	株数 /ha	蓄积 m ³ /ha
7	NW	10	中	5 红松 2 杨 I 白 I 椴 I 黄 + 色、水	40	1930	216.30*
30	SW	15	中	7 杨 I 柞 I 胡 I 椴 + 色、榆	30	947	126.16
49	SW	12	中	7 杨 2 柞 I 椴 + 色、水、榆	35	883	136.02
56	SW	20	中	6 杨 2 柞 I 椴 I + 色、榆、黄	32	1616	137.54
105	NW	23	中	6 山杨 3 柞 I 椴	35	1609	196.03
I	SE	11	中	10 红松	22	2030	126.48
II	SE	7	中	10 红松	23	2480	111.50

样地 7 为“栽针保阔”实验林，* 其中红松蓄积 51.54 m³，阔叶树蓄积 164.76 m³，样地 30，49，56 和 105 为临近的次生阔叶林，样地 I 和 II 为人工红松纯林。红松：*Pinus koraiensis*；杨：山杨，*Populus davidiana*；白：白桦，*Betula platyphylla*；椴：紫椴，*Tilia amurensis*；黄：黄檗，*Phellodendron amurense*；色：色木，*Acer pictum*；水：水曲柳，*Fraxinus mandshurica*；柞，蒙古栎，*Quercus mongolica*；胡：胡桃楸，*Juglans mandshurica*；榆：*Ulmus pumila*。

三、保护和修复生态系统食物链完整性

生态系统食物链的完整性直接影响到生态系统的整体功能和稳定性。一个健康的食物链能够确保能量和物质在生态系统中的有效传递和循环，维持生态系统的平衡和稳定。森林动植物种类繁多，相互交错构成复杂的食物网，具有陆地上最为复杂的食物链，为大量植物、动物和其他生物创造了生存条件和生活的物质基础。

保护和修复方法包括：

- (1) 森林修复和生物多样性保护：针对已受损的森林生态系统，通过人为干预，恢复其原有的结构和功能，包括恢复食物链的完整性。维持掠食者种群的足够数量，保证其遗传多样性；保护食物网中的关键种，保留木质残体，增加微生境多样性；实施森林景观恢复，保证生境多样性及连通性。
- (2) 再野化和荒野化：依靠自然力量修复生态系统及其过程，提升景观的荒野程度；通过食物链物种间由上向下的震荡影响，实现促进生态系统正向发展的营养级联³，在保护物种的同时也修复了生态系统。

此外，还需制定一系列管理措施，包括：

- (1) 制定严格的生态保护政策：通过立法手段，明确生态保护的目标和任务，规范人类活动对生态系统的影响。
- (2) 加强生态系统监测和评估：建立完善的生态系统监测体系，定期对生态系统的状态和变化进行评估，为生态保护提供数据支持。
- (3) 推广生态教育：通过宣传教育，提高公众对生态系统完整性的认识和重视程度，形成全社会共同参与生态保护的良好氛围。
- (4) 实施生态系统综合管理：将生态系统视为一个整体，进行跨部门、跨领域的综合管理，确保各项保护措施协调性和有效性。

3 营养级联，一种由顶端捕食者的增加或移除引发的生态现象，涉及食物链中捕食者和猎物相对数量的相互变化，往往引起生态系统结构和营养循环的巨大变化。

案例：建立东北虎豹国家公园，保护和修复森林生态系统食物链完整性

我国是世界上虎的发源地，也是世界上虎亚种和豹亚种分布最多的国家。虎豹种群的健康稳定，体现了食物链和生态过程的完整，意味着特定自然生态系统还保持原真性和完整性，标志着整个自然生态系统健康稳定，生态服务功能正常发挥。东北虎的“消失”则意味着生态系统的失衡。由于栖息地破坏等各种问题，上世纪 90 年代末，我国境内分布的野生东北虎数量已不足 20 只。随着天然林保护工程的实施，我国东北虎豹的栖息地得到逐步恢复，种群数量也稳步上升。尽管如此，这两个物种依然面临着可能灭绝的危险，其主要威胁因素有：1) 栖息地破碎化严重，种群分布区隔离，特别是全球仅有的两个东北虎种群在俄罗斯境内相互隔离，种群基因交流困难；2) 东北虎豹分布区内，食物链不完整，猎物种类不全，分布不均匀，虎豹偏好猎物密度偏低。

为保护东北虎豹种群资源及其所在的自然生态系统，2016 年，《东北虎豹国家公园体制试点方案》通过审批，2021 年，东北虎豹国家公园正式设立，通过建设大空间尺度的东北虎豹自然保护网络，促进我国东北虎豹栖息地质量的全面提升，实现护地斑块连接网络，建设国际和国内廊道。此外，通过生态修复工程措施和生物多样性保护，恢复其原有的结构和功能，包括恢复食物链的完整性和多样性。具体措施包括：1) 建设野生东北虎豹稳定栖息地。东北虎豹国家公园在建设伊始，就划出横跨吉林、黑龙江两省的连片区域，实施森林植被修复、核心区生产生活退出、虎豹迁移扩散廊道建设和野生动物保护等工程，恢复自然生态系统原真性和完整性，解决虎豹栖息地破碎化问题。2) 食物链完整性建设。保护野生东北虎豹不只是保护单一物种，更要保护好连通的栖息地、健康的植被结构和完整的食物链。近年来，实施了工矿产业退出、控制人为活动增量、持续开展清山清套行动，并通过一系列的野生动物补饲及食源地改造，为野生动物提供了可靠食物来源，为东北虎豹进一步的生存繁衍提供有力保障。

经过建设，东北虎豹国家公园内的森林斑块向外扩展，原生乡土和顶级树种的天然更新增加，森林生物多样性增加，森林蓄积量增长 5.2%。监测数据显示，仅在 2016 年至 2020 年试点期间，有蹄类种群明显恢复，黄喉貂、獐等珍稀物种呈增长态势，食物链完整性得到进一步恢复。东北虎豹国家公园成立后，东北虎幼崽存活至成年的比例从 33% 提高到了超过 50%。在超过 1.4 万平方公里的东北虎豹国家公园内，自 2017 年起，野生东北虎和东北豹数量分别新增 23 只和 18 只。



图 3 雪地中的东北虎 图片来源：iStock

四、整合遗传、物种和群落多样性，提升生态系统多功能性和韧性

生物多样性是生物（动物、植物、微生物）与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和，包括遗传、物种和生态系统三个层次。森林是生物多样性最为丰富的陆地生态系统，生物多样性的不同层次均能够影响森林生态系统的物质循环和能量流动，从而同时对生态系统固碳、养分积累、水分固持、稳定性等多个生态系统功能（即多功能性）发挥作用。

近年来基于森林生态系统的野外观测和实验已经证明，多样性高的森林生态系统不仅具有较高的生态系统功能，而且在应对干旱等气候变化方面具有更高的韧性。因此，通过保护生物多样性来提升生态系统多功能性和韧性，是森林保护、修复和管理中的需要优先考虑的途径，是基于自然解决途径中重要的环节，也是实现联合国生态系统恢复十年目标和昆明 - 蒙特利尔全球生物多样性框架“30×30”目标的核心。

在森林保护、修复和管理中，通过生物多样性提升生态系统多功能性和韧性的主要途径包括：

- (1) 在纯林中补植乡土树种，人工辅助天然更新，开展森林景观恢复，构建以提升生物多样性为核心的生态修复技术体系；
- (2) 优化森林生态系统生物多样性保护空间格局，加强自然保护地建设等就地保护措施，维护和提高生态系统的多样性；
- (3) 构建完备的生物多样性保护监测体系和保护成效评估体系；
- (4) 创新生物多样性可持续利用机制，加强生物资源开发和可持续利用技术研究；
- (5) 强调不同生物多样性层次的保护，充分考虑遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性在不同时空尺度上对保护、修复和管理的作用。例如通过乡土树种或者框架树种开展生态修复，可以选择不同母树繁育的幼苗个体增加遗传多样性，选择多个树种混交提高物种多样性，或者选择不同的修复区域或空间配置提升生态系统多样性。
- (6) 通过对森林进行科学的修复和管理，增强森林作为野生动物栖息地的功能，特别是在气候变化影响下，为野生动物提供庇护所、食物和繁殖地。

案例：通过增加物种多样性提升中国亚热带森林生态功能修复质量^[2-4]

保护生物多样性，生态系统修复是基础。如何运用生物多样性基础理论来指导森林修复实践是森林生态系统管理的核心内容。中国亚热带森林生物多样性与生态系统功能实验研究平台（简称 BEF-China）由中国 - 德国 - 瑞士三方科研人员于 2008 年联合建立，是全球首个在亚热带森林开展的生物多样性与生态系统功能实验平台。平台包含建立在钱江源国家公园的 27 个天然林比较实验样地 (CSPs)，以及毗邻的江西德兴新岗山的两个占地约 50 公顷的人工林主实验样地。实验旨在研究亚热带森林生物多样性对生态系统功能的影响及机制。通过 60 个树种进行了不同的组合，在 50 公顷的试验地中种植了 30 万棵树。通过长期监测发现，物种丰富度能够显著提高林分生产力；功能性状的多样性是提升生态系统功能的关键，而且也进一步增加了森林群落稳定性。因此在开展森林生态修复的过程中，不仅仅要考虑树种的组合，也要同时考虑一些关键性状的组合。



图 4 江西德兴新岗山森林生态系统 照片来源：刘晓娟，中国科学院植物研究所

五、森林景观恢复

森林景观恢复（FLR）是对砍伐或退化后的森林景观恢复其生态功能并增强该地区人类福祉的一个长期的过程。森林景观恢复不仅被普遍认为是一种规模化恢复生态完整性的重要手段，同时从全球到地方层面都能助力改善社区生计、促进经济发展、维护粮食和燃料生产、保障水安全，以及增强气候变化的适应和缓解能力。

森林景观恢复需要参照本地适宜的生态系统，使用恰当方法确定恢复热点区域和优先区域，充分平衡景观中各类生态系统的恢复；按照自然植被分布规律，遵循以水定绿、量水而行原则，宜保则保、宜乔则乔、宜灌则灌、宜草则草、宜湿则湿、宜荒则荒；优先选择适宜本地的修复措施、技术和乡土物种，避免大规模使用单一物种；森林景观恢复要再去适应性管理以确保长期的恢复力；在恢复过程中，需要特别关注促进退化景观中的动物的种子传播功能，以及动物栖息地的扩散限制和连通性。

森林景观恢复必须适应修复区域的社会经济和生物物理环境。恢复策略需要考虑社会经济、生态和气候要素的差异以及它们之间的权衡和协同；需要明确森林恢复为当地社区带来的价值，以及社区实现这些价值的能力。成功的森林景观恢复要具有前瞻性，专注于加强景观的复原力，并随着社会需求的变化或新挑战的出现，来调整和进一步优化生态产品和服务。

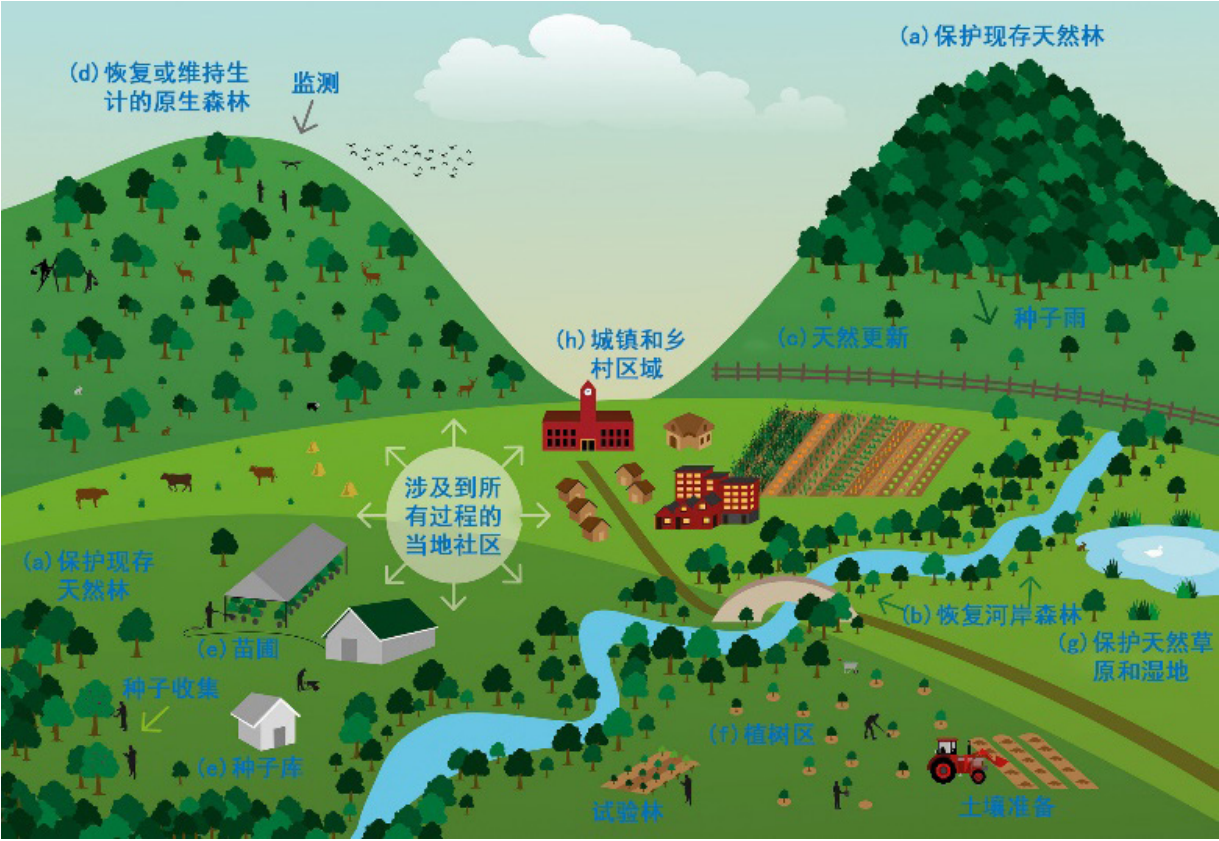


图 5 森林景观恢复示意图 [5]

案例：非洲卢旺达森林景观恢复

卢旺达国土面积 2.6 万平方公里，人口 1330 万，约 76% 土地用于农业，90% 的耕地坡度在 5% 至 55% 之间，40% 耕地面临严重侵蚀风险。森林退化、侵蚀、土壤肥力降低和破坏性降雨是最常见的环境问题。2011 年开始森林景观恢复，设置的雄心目标是 2020 年恢复退化土地和森林 200 万公顷。具体措施包括：通过保护和恢复现有天然林来恢复毁林土地，保护坡顶森林和坡度大于 55% 的森林，在重要和生态敏感地区建立防护林；控制森林周边缓冲区种植外来植物，改良管理不善的桉树林和种植园；在森林之间建立保护廊道，通过侵蚀控制和防火技术提升林地管理；坡度 20%-55% 的耕地退耕，将农业景观转为农林业景观。通过森林景观恢复，普遍扭转了卢旺达土地退化，显著提升了生态产品和服务，增强了对气候变化的适应能力和韧性，减少滑坡等灾害，改善了粮食安全和农村收入。至 2022 年，卢旺达的森林覆盖率已从 2010 年的 10.7% 增加到 30.4%^[6]。



图 6 卢旺达森林景观恢复

照片来源：IUCN Rwanda country office

六、综合森林管理和适应性管理

不同国家、地区和行业对于森林管理概念及其内涵的理解差异较大，生态学者强调森林结构与功能的稳定性、系统性，而行业管理部门偏重资源及其生产功能，《联合国气候变化框架公约》将其定义为可持续地实现森林相关的生态、经济和社会功能。

森林管理是实现森林多种效益最大化的主要措施。然而，追求单一生产功能的传统经营措施弱化了其他生态功能，并对森林景观结构和生物多样性产生负面影响。全球 80% 以上的森林由于人类活动而出现不同程度的退化，进而影响到人类福祉。为了实现多功能的协同共赢，需要优化森林管理策略。由于全球绝大多数森林都受到不同程度的人为干扰，因此森林管理必须更多考虑人为因素的影响。

传统的森林分类经营在区域或管理单元尺度上可以发挥多种生态功能，但忽视了林分尺度上多功能的发挥；而且分类经营在生物多样性提升方面相对薄弱，对社区参与、各方利益需求、传统文化知识利用等方面的考虑较少。近年来，欧洲提出的协调人与森林关系的综合森林管理（Integrative Forest Management, IFM）概念逐渐得到科学界和各国政府管理部门的认可。综合森林管理是将生物多样性保护整合到可持续森林管理中，通过权衡生态系统不同要素之间的相互关系，协同各种经营管理措施和各参与方的利益，使得森林经营管理的生态、经济和社会效益最大化。目前综合森林管理已经成为欧洲森林保护、经营和利用的主导模式。

在气候变化背景下，国际上提倡采用适应性管理（Adaptive Management）。由于未来的气候情景存在不确定性，森林恢复要求预设恢复目标及恢复路径，在恢复过程中要对关键指标、恢复轨迹和中间状态进行监测，并根据监测结果和气候变化情景进行森林经营管理措施的调整，以达到恢复适应未来气候的森林生态系统。

由于日益增长的林产品需求与森林保护之间的矛盾，如何通过森林管理平衡保护与发展，使森林可持续发挥生态、经济和社会效益是森林管理面临的巨大挑战。因此，新时代森林管理应该通过人类干预实现可持续地森林资源永续利用和生态功能协同提升，意味着一方面要确保森林生态系统健康和生物多样性，一方面要提升森林生态系统自我更新能力。

案例：马达加斯加 Sava 地区热带香草农林复合经营

马达加斯加 Sava 地区是全球生物多样性最丰富和最特有的区域之一。香草种植为马达加斯加农民带来了巨大的经济效益，刺激了香草种植的扩大。近年来，由于香草种植的用地需求而导致的毁林广泛存在。马达加斯加在过去 60 年中失去了 44% 的原始森林，亟需找到一种既能满足香草种植的用地需求，确保农民收益，又能避免毁林，实现生物多样性保护的有效途径。实践表明在休耕地上种植香草混农林可以在恢复生物多样性的同时，为农民带来收益。在休耕地上种植香草混农林为热带地区农业发展提供了一个实现高产量和高生物多样性相结合的双赢方案。虽然，香草混农林的管理可以提高产量和生物多样性，实现马达加斯加的经济发展和生态保护双赢提供了巨大的机会，有助于在保证社区收益的前提下实现热带生物多样性热点地区的生态恢复目标。



图 7 马达加斯加在休耕地上种植的香草混农林^[7]

七、多方参与和多部门协作

多方参与：包括政府机构、非政府环境保护组织、私营企业、当地社区和科研机构在内的所有利益相关方都参与到森林保护和管理的决策过程中。多方参与可以提高决策的透明度和公正性，同时确保各种观点和需求得到充分考虑。

多部门协作：指不同政府部门之间的合作，例如林业部门、环境保护部门、财政部门和土地规划部门等，共同制定和执行森林保护政策。跨部门的合作有助于整合资源，以确保森林保护措施与经济发展目标相协调，同时考虑到社会和文化因素，避免政策冲突，提高执行效率。

不同学科专家之间的协作

规划编制阶段：在森林保护和修复的规划阶段，生态学家可以通过对生态系统结构和功能的理解，提出保护优先区域和关键生态过程的建议。保护生物学家可以提供关于物种多样性和濒危物种保护的重要信息，帮助确定保护的物种和栖息地。林学家则可以提供森林资源的分布、生长规律和可持续发展的科学依据，确保规划的可行性和经济效益。

方案实施阶段：在实施过程中，多学科专家的协作可以确保各种管理措施的科学性和有效性。如生态学家可以指导如何通过自然恢复和人工辅助措施来提高生态系统的恢复能力。保护生物学家可以监督物种保护项目的实施，确保物种得到有效保护。林学家则可以指导森林经营活动，确保森林资源的可持续利用。

监测评估阶段：在项目完成后，多学科专家团队可以通过长期监测和科学研究来评估保护和修复措施的效果。生态学家可以评估生态系统服务功能的变化，保护生物学家可以监测物种多样性和种群动态，林学家可以评估森林资源的变化和利用效率。

案例：多方参与保护加拿大北方森林

北方森林（Boreal forest），覆盖了北美、俄罗斯和北欧斯堪的纳维亚地区的辽阔土地，是地球上最大的陆地生物圈储备之一。这片广袤的森林不仅是数百万动植物物种的家园，也是全球气候调节的重要组成部分。北方森林在固碳释氧和保持全球气候稳定方面起着至关重要的作用。此外，森林中的湿地和湖泊系统对全球淡水资源也有显著贡献。

然而，北方森林正面临着多重威胁。商业伐木、矿产开采、石油和天然气开发以及气候变化正在导致森林面积的迅速减少和生态系统的破坏。这不仅影响了当地的生物多样性，也削弱了森林碳汇功能，加剧了全球变暖的危机。加拿大是北方森林的主要分布区域之一。2011 至 2020 年，加拿大平均每年有 76.2 万公顷的森林被砍伐，其中约 85% 为皆伐^[8]，具有极高生物多样性和碳汇功能的北方森林就在其中。

为应对这些问题，自然资源保护协会（NRDC）通过科学研究、政策倡导和公众教育，推动加拿大地方政府、原住民和社区、环保组织、企业以及公众共同参与到北方森林的保护行动之中。政府通过推动立法和政策改革，限制对北方森林的商业开采活动：例如实施严格的环境评估程序和设立保护区，确保关键生态区域免受开发威胁。在加拿大有超过 600 个原住民社区仍然依靠北方森林获取食物、衣物、药物和住所，他们有强烈的保护意愿，并在可持续管理森林方面拥有世代相传的传统知识。大量采购林产品的企业，则需要通过供应链的转型，避免采购涉及北方森林采伐的产品，转而使用回收材料或可持续替代纤维；公众对于北方森林保护意识的提高有助于企业选择其它更可持续的产品，从而推动企业转型。

地方政府、原住民和社区、环保组织、企业以及公众共同参与的合作模式不仅提升了北方森林保护的效果，也确保了在应对复杂保护问题时的科学性、全面性和可持续性。



图 8 加拿大北方森林及其伐区景观 照片来源：River Jordan for NRDC

八、促进气候和生物多样性协同增效的政策和资金机制

应对气候变化和保护生物多样性近年来一直是全球两大热点和难点环境问题，与之对应的政策措施往往相互影响。但目前，我国应对气候变化和保护生物多样性相关职能分散在多个部门，这导致在政策实施过程中，可能出现目标冲突或资源浪费的情况。同时，现有的筹资机制在促进气候和生物多样性协同增效方面存在一些局限性。首先，资金来源相对单一，主要依赖于政府财政拨款和国际援助。这种筹资方式不仅限制了资金的规模和可持续性，还可能导致资金分配不均和效率低下。其次，现有的筹资机制往往缺乏灵活性和创新性，难以适应不同地区和不同项目的实际需求。

为了促进气候和生物多样性的协同增效，我们需要构建一个整合性的政策框架。这一框架应基于以下理念和原则：首先，坚持生态系统整体性的观点，将气候和生物多样性视为相互依存、相互影响两部分；其次，强调跨部门、跨领域的合作与协调，打破政策壁垒，形成政策合力；最后，注重公平与可持续，确保政策实施过程中的利益共享和风险共担。

森林修复是一个漫长的过程，需要政策保证连续性，并需要持续的人力和资金投入。由于森林提供的主要是生态公益产品，难以获得直接经济收入，为此需要创新筹资机制，包括：

- (1) 探讨多元化的筹资来源和渠道。为了弥补现有筹资机制的局限性，需要探索多元化的筹资来源和渠道。这包括：利用公共资金，如政府预算、国际援助等；引导私人资本投入，如通过税收优惠、政策激励等方式吸引企业和社会资本参与；发展绿色金融和气候债券等创新金融工具，拓宽资金来源；加强与国际组织和其他国家的合作，共同筹集资金。
- (2) 提出创新性的筹资方式和激励机制。在筹资方式上，借鉴一些创新性的做法：实施生态补偿机制，对保护和恢复生态系统给予经济补偿；发展基于市场的筹资机制，如排放权交易、生物多样性权益交易等；利用数字技术提升筹资效率和透明度，如建立区块链平台用于资金追踪和管理。在激励机制方面，可以考虑建立奖励机制，对在气候和生物多样性保护方面取得显著成效的项目和地区给予奖励；同时，加大对违法行为的处罚力度，提高违法成本。
- (3) 此外，应加强政策制定者与筹资机构之间的沟通与合作，建立信息共享和合作机制，促进政策与筹资之间的良性互动和协同发展。

案例：川西北清洁发展机制造林再造林（CDM-AR）碳汇项目的实践

四川省是林业大省，林地面积和森林蓄积都居全国第3位，发展森林碳汇具有巨大优势。早在2009年，四川省大渡河造林局与北京山水自然保护中心合作，开发“四川西北部退化土地造林再造林项目”，成为中国首个在国际碳市场实现交易的CDM森林碳汇项目，该项目被称作“熊猫碳汇项目”，利用社会各界对生物多样性和气候变化问题的关注，在大熊猫栖息地，通过植树造林的方式营造“生命走廊”，项目产生的熊猫碳汇将用于抵消项目参与者的碳足迹。该项目成为全球第一个成功注册的基于气候、社区、生物多样性标准的CDM造林再造林项目。

该项目在四川理县、茂县、北川、青川和平武5个汶川地震重灾县造林2251.8公顷，首期20年预计可实现减排量46万吨的二氧化碳当量。以现价每吨二氧化碳5美元计算，共可换取外汇230万美元。植树造林和造林地管护给当地居民带来了劳务收入；人工林建成后，不仅可以改善土地退化，提高水土保持能力，帮助构建长江上游生态屏障，而且碳汇收益将促进当地农民增收。



图9 四川清洁发展机制
碳汇项目造林

照片来源：Ning Miao
for ENCI

参考文献

- [1] 国家林业和草原局 . 中国森林资源报告 2014-2018[M]. 北京 : 中国林业出版社 , 2019.
- [2] Bongers FJ, Schmid B, Bruelheide H, et al. Functional diversity effects on productivity increase with age in a forest biodiversity experiment[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2021, 5(12):1594-603.
- [3] Huang Y, Chen Y, Castro-Izaguirre N, et al. Impacts of species richness on productivity in a large-scale subtropical forest experiment[J]. *Science*, 2018, 362(6410):80-3.
- [4] Schnabel F, Liu X, Kunz M, Barry KE, Bongers FJ, Bruelheide H, Fichtner A, Härdtle W, Li S, Pfaff CT, Schmid B. Species richness stabilizes productivity via asynchrony and drought-tolerance diversity in a large-scale tree biodiversity experiment[J]. *Science advances*, 2021, 7(51):eabk1643.
- [5] Sacco A D, Hardwick K A, Blakesley D, et al. Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits[J]. *Global Change Biology*, 2021, 27: 1328-1348.
- [6] Florencia Sarmiento, Cristina Larrea, Andreas Oeschger, et al. Measures to Enhance Forest Conservation and Reduce Deforestation: Viewpoints and lessons from producing countries [R]. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, 2024.
- [7] Osewold, J., Korol, Y., Osen, K., et al. Support trees in vanilla agroforests of Madagascar: diversity, composition and origin [J]. *Agroforestry Systems*, 2022, 96(4): 717-730.
- [8] Canadian Council of Forest Ministers. Harvest National Forestry Database. 2023. <http://nfdp.ccfm.org/en/data/harvest.php>.



NRDC 北京代表处

地址：北京市朝阳区泰康金融大厦 1706

电话：+86 (10) 5332 1910



 关注我们