

# 海南热带雨林国家公园的生态保护与恢复探讨

孙湘来<sup>1</sup>, 王露露<sup>2,3</sup>, 韩文涛<sup>1</sup>, 王 军<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>海南热带雨林国家公园管理局, 海南 海口

<sup>2</sup>中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南 海口

<sup>3</sup>中国热带农业科学海南热带农业资源研究院, 海南 海口

收稿日期: 2025年3月1日; 录用日期: 2025年3月22日; 发布日期: 2025年3月31日

## 摘 要

本文针对海南热带雨林生态保护和恢复中存在的问题, 参考和借鉴国内外其他学者的研究以及成功的案例经验, 结合具体实际情况, 探讨了未来应采取的措施, 为海南热带雨林的生态保护与恢复及开发利用等方面提供参考。研究表明, 存在的问题: 1、经济林种植影响热带雨林生态平衡; 2、生境破碎化导致热带雨林生态系统退化; 3、植物入侵及本土植物灾变威胁热带雨林生物多样性; 4、旅游等开发利用不利于热带雨林生态恢复。应采取的措施: 1、严格控制人为活动; 2、防范治理外来入侵植物和本土植物灾变; 3、合理制定植被生态恢复规划和方案; 4、弘扬民族传统文化, 促进生物多样性保护; 5、加强科普宣教, 提升保护意识。文中重点探讨了在不同生境下植被恢复的具体措施, 即建群植物恢复法、先锋树种恢复法、立体复合恢复法和辅助自然再生修复法, 旨在探索生态恢复的技术和模式, 为海南热带雨林的正向和快速演替提供参考。

## 关键词

热带雨林, 国家公园, 生态保护与恢复, 海南, 研究探讨

# Discussion on Ecological Protection and Restoration of Tropical Rain Forest in Hainan

Xianglai Sun<sup>1</sup>, Lulu Wang<sup>2,3</sup>, Wentao Han<sup>1</sup>, Jun Wang<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Hainan Tropical Rainforest National Park Bureau, Haikou Hainan

<sup>2</sup>Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou Hainan

<sup>3</sup>Hainan Academy of Tropical Agricultural Resource, CATAS, Hainan Haikou

Received: Mar. 1<sup>st</sup>, 2025; accepted: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2025; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 孙湘来, 王露露, 韩文涛, 王军. 海南热带雨林国家公园的生态保护与恢复探讨[J]. 林业世界, 2025, 14(2): 223-233. DOI: 10.12677/wjf.2025.142027

## Abstract

In view of the problems existing in the ecological protection and restoration of Hainan tropical rainforest, this paper referred to and drew on the research and successful case experiences of other scholars at home and abroad, and combined with the specific actual situation, discussed the measures that should be taken in the future, so as to provide reference for ecological protection, restoration, development and utilization of Hainan tropical rainforest. The results indicated that there are mainly following problems. 1. Economic trees such as rubber trees threaten the ecological environment of tropical rainforest. 2. Habitat fragmentation leads to rapid degradation of tropical rainforest ecosystem. 3. Plant invasion and native plant disaster threaten the biodiversity of tropical rainforest. 4. The contradiction in tourism development and utilization and so on is prominent. Therefore, the following measures are recommended: 1. Control human activities strictly. 2. Strengthen the prevention and control of plant invasion and native plant disaster. 3. Formulate reasonable vegetation ecological restoration plan and scheme. 4. Carry forward national traditional culture and promote biodiversity conservation. 5. Strengthen popular science education and publicity, and enhance protection awareness. This paper focuses on discussing the specific measures for the vegetation restoration of Hainan tropical rainforest under different environments and vegetation conditions, namely, the constructive plant restoration method, the pioneer tree species restoration method, the three-dimensional composite restoration method and assisted natural regeneration restoration method, in order to explore the technology and model, and provide reference for the positive and rapid succession of Hainan tropical rainforest.

## Keywords

Tropical Rainforest, National Park, Ecological Protection and Restoration, Hainan, Research and Discussion

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

海南热带雨林是我国最具代表性、连片面积最大、物种多样性最高的大陆性岛屿型热带雨林，是全球最濒危的灵长类动物——海南长臂猿唯一分布地，也是全球 34 个生物多样性热点地区之一，属于印度-马来雨林群系的一部分[1]。海南热带雨林不光属于海南，更属于全国和世界人民，不仅是基因库、水库、粮库、药库、钱库、文化库，更是碳库，特别是对我国华南地区的气候调节起到非常重要的作用。因此，在党中央和国务院的重视下，2021 年 10 月，习近平总书记在《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(COP15)领导人峰会上宣布，正式设立海南热带雨林国家公园等 5 个国家公园，标志着海南热带雨林国家公园作为第一批设立的国家公园进入全面建设阶段。自 2018 年开展国家公园试点以来，海南热带雨林国家公园取得了一些成效，如通过打通生态廊道，解决了自然保护区破碎化、孤岛化和人为割裂等问题[2]；人工促进修复受损天然林，雨林生态系统逐步恢复；海南长臂猿数量持续增长；相继颁布《海南热带雨林国家公园条例(试行)》《海南热带雨林国家公园特许经营管理办法》《海南热带雨林国家公园生态搬迁方案》《海南热带雨林国家公园内矿业退出工作方案》《海南热带雨林国家公园生态系统修复规划(2022~2030 年)》等多项制度、办法、规范和规划；开展生态搬迁；开展生态系统生产总值(GEP)核算

[3]; 构建“森林动态监测大样地 + 卫星样地 + 随机样地 + 公里网格样地”四位一体的热带雨林生物多样性监测系统[4]。

海南热带雨林国家公园前期虽然取得了一些成绩, 但仍然有诸多问题亟待解决, 就热带雨林生态保护与修复而言, 如过度依赖行政手段、公众参与度不高、外来入侵植物严重[5]。因此, 在理顺体制、政策指引、生态搬迁、智慧雨林建设等举措下, 以保护为前提, 通过科学性、针对性、分阶段、有步骤地开展海南热带雨林的恢复研究和实施。

恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、生态学过程与机理的学科[6]。恢复(restoration)是一个概括的术语, 它包含重建(rehabilitation)、复垦(reclamation)、改进(enhancement)、修复(remediation)、舒缓(mitigation)、重造(creation)、更新(regeneration)、再植(revegetation)、再造林(reforestation)、生态工程(ecological engineering)等[7]。植被恢复是恢复生态学的主体内容, 因为自然生态系统的恢复, 很大程度上是以植被的恢复为基础的[6]。在恢复生态学中, 通常假设一旦植被恢复到一定程度, 动物多样性和生态过程就会恢复[8]。然而, 研究表明, 动物恢复是一个复杂的过程, 受到许多生物和非生物因素的影响, 包括栖息地连通性、接近雨林和景观背景[9]-[12]。热带雨林具有脆弱性和不可恢复性, 自然干扰(火、台风、洪水等)和人为干扰(砍伐、放牧、采矿等)往往会造成热带雨林生态系统的快速退化。因此, 热带雨林的生态恢复是一项系统性、持久性、高难度的工程, 需要有决心、耐心和恒心来逐步完成。

国内外一些学者也从不同角度进行了雨林恢复方面研究, 也有一些成功的案例, 如西双版纳热带雨林下砂仁拔除后的生态恢复研究[13]; 西双版纳自然保护区热带季节雨林破坏后的恢复状况调查[14]; 西双版纳热带雨林的修复规划研究[15]; 雷州半岛热带季雨林修复方法研究[16]; 西双版纳橡胶林下恢复雨林树种的配置模式研究[17]; 西双版纳三达山热带雨林恢复规划探索[18]; 西双版纳热带雨林保护与修复探讨[19]。

目前关于海南热带雨林以及热带雨林国家公园范围内的生态修复方面的研究较少, 如按照“一核三区”的总体布局, 全范围开展海南岛国土空间生态修复, 将以热带雨林国家公园范围内的热带雨林为核心, 再拓展到万泉河流域、南渡江流域、昌化江流域下游三个陆域生态修复区, 以及关联的近岸海域海岛海岸[20]。如早期林区林场使用重复采伐、径级择伐和采育择伐等伐木技术, 对霸王岭片区热带山地雨林恢复, 次生林中物种多样性、群落结构和功能群组成的影响[21]。黄运峰等[22]和林灯[23]等研究了海南岛热带低地雨林刀耕火种耕地自然恢复过程中的群落构建, 通过比较不同恢复阶段的不同群落的物种组成, 揭示了热带雨林次生林演替过程中, 不同物种群落的构建规律、固碳释氧和涵养水源功能变化等。路兴慧[24]以热带雨林国家公园霸王岭片区中的低地雨林幼苗为研究对象, 探索林中幼苗的适应性和自然更新动态。结果表明, 霸王岭片区低地雨林范围的树种幼苗功能性状在恢复过程中存在显著差异, 对幼苗生物多样性在不同恢复阶段也存在着较明显的差异。邓福英[25]以热带雨林国家公园霸王岭片区作为热带山地雨林的典型区域, 按照喜光性、物种潜在高度、板根、木材密度、种子生物量、传播方式和是否落叶等 7 个特性功能, 将霸王岭片区内植物划分为不同类别的植物功能群, 结果表明, 山地雨林中乔木和灌木的相对较高; 以动物为媒介来传播种子的植物群落, 在热带山地雨林中相对多度较高; 其次是藤本和草本植物种类较多, 而附生和棕榈科植物很低。刘万德[26]以霸王岭片区热带季雨林为研究对象, 以植物生境、群落组成、结构及多样性特征为研究方向, 综合分析霸王岭片区热带季雨林中组成植物群落的物种主要功能性状、物种丰富度、物种多度——种多度关系以及生物量分配等物种生存状态, 随群落类型和环境条件的变化规律。

上述有关海南热带雨林生态修复方面仅从制度构建、空间布局、群落构建和生物多样性影响等方面开展一些研究, 不够系统深入, 特别是对于植被恢复的体系构建方面缺乏系统研究。本文将本着“天地

人一体”的自然发展理念,在前期保护的基础上,从生态恢复的基础,即植被恢复的视角,并借鉴国内外成功案例的经验,探索海南热带雨林生态修复的方案和具体措施,在保护与发展中寻找动态平衡,互为依托、相互促进,为海南国家公园发挥其国之天地的作用提供支撑。

## 2. 海南热带雨林保护与恢复存在的问题

### 2.1. 经济林种植影响热带雨林生态平衡

海南有较大面积的橡胶、热带果树、槟榔等经济林和桉树、马占相思、杉木等人工林。据统计,2020年橡胶林面积达543000万 $\text{hm}^2$ (814.5万亩)[27]。橡胶胶乳的70%以上的成分是水,橡胶树没有蓄水的功能,反而需要大量吸水。大规模毁林种胶的行为严重破坏了天然林涵养水源、防风固沙、净化空气、调节气候的功能,也破坏了生物物种的遗传、更新和生态平衡。橡胶林下没有灌木,几乎寸草不生,林木疏朗,空心化严重,生物多样性丧失殆尽,原生生态衰退加速,物种单一化,生态系统自我调节能力差。另外,橡胶树还排放的生物源挥发性有机化合物等,直接或间接造成了区域气候的改变,雨季释放量更高。截至2021年海南热带果树的种植面积为164833 $\text{hm}^2$ [28];截至2022年,海南槟榔的种植面积近18.17万 $\text{hm}^2$ [29];海南热带雨林国家公园范围内有人工林84003 $\text{hm}^2$ [3]。海南大面积热带水果、槟榔等热带作物和人工林的种植,增加了对热带雨林的人为干扰,化肥农药的使用更是对热带雨林生态系统(植物群落、土壤环境、动物栖息地等)造成了非常严重的影响。

### 2.2. 生境破碎化导致热带雨林生态系统退化

海南热带雨林国家公园虽然将原来的7个自然保护区连接成一个整体,但在五指山、鹦哥岭和黎母山片区之间的生态廊道仍然比较狭窄,特别是五指山与鹦哥岭之间的毛阳镇和番阳镇为居民聚集区,G9811高速公路、国道G224/G361、省道等不同等级道路分布于海南热带雨林国家公园内,截至2019年,公路长度为2835.9 km,道路密度高达0.664 $\text{km}/\text{km}^2$ [30]。研究表明,道路影响范围内的耕地、林地、草地面积减少,水域、灌木林地、其他林地(含果园)、建设用地面积增加,高速公路、国道、省道周边的其他林地(含果园)面积增幅最大;林地面积和林地斑块密度增加,但林地和耕地斑块的内部凝聚力指数下降,自然连通度降低,破碎化程度加剧。路网、水网、农田、人工林、撂荒地、居住区等人为干扰,使得热带雨林不断被破坏、分割、干扰,破碎化、片段化、岛屿化现象严重;生物生产、物质循环、能量流动、信息传递等功能的衰退;物种基因交流受阻,生物多样性大幅降低,进而导致热带雨林生态系统在物种保护、水土保持、气候调节等功能的退化[30]。

### 2.3. 外来植物入侵及本土植物灾变威胁热带雨林生物多样性

由于海南位于我国的南端,地处热带北缘,属热带季风海洋性气候,植物区系的热带成分总体比例最高[31],目前已经成为我国外来植物入侵的重灾区,也是我国植物入侵历史悠久、风险最高、种类最多、危害最大、面积最广的地区之一[32]。海南有入侵植物111种,归化种15种(分属34科84属),其中以菊科(Asteraceae)、豆科(Fabaceae)、禾本科(Poaceae)、苋科(Amaranthaceae)和大戟科(Euphorbiaceae)等植物为主,这些外来植物适应性强、生长迅速、繁殖体或种子数量大、萌发率高、极易扩散,已经成为危害生境的主要种类,如水葫芦(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)、飞机草(*Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Robinson)、假臭草(*Praxelis clematidea* R.M. King & H. Robinson)、白花鬼针草(*Bidens pilosa* var. *radiata* (Sch. Bip.) J.A. Schmidt)、含羞草(*Mimosa pudica* L.)、微甘菊(*Mikania micrantha* Kunth)、马缨丹(*Lantana camara* L.)、五爪金龙(*Ipomoea cairica* (L.) Sweet)和紫花大翼豆(*Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urban)等。2022年,海南多家科研单位正在开展全国外来入侵物种普查——海南入侵植物普查工作,据悉,海

南入侵植物数据将增加至 200 种以上。另外, 还有一些土著植物, 如金钟藤(*Merremia boissiana* (Gagnep.) Ooststr.) 危害程度不亚于外来入侵植物, 其在海南中部山区分布广泛, 面积已经超过 2000 hm<sup>2</sup>, 特别是对中低海拔次生林和人工残次林造成严重危害, 阻碍树木生长, 缩小了极小种群植物生存空间[33], 最终可能导致死亡, 甚至灭绝, 被称为“森林杀手”[34]。外来植物入侵及本土灾变植物在适宜的气温、水分及土壤等条件下可以大肆蔓延扩散, 形成面积较大的单优群落, 与热带雨林原生植物争光、争水、争肥, 许多植物还具有化感作用, 排斥其它植物的生存, 破坏野生动物的生存空间, 严重降低了热带雨林的生物多样性。

## 2.4. 旅游等开发利用不利热带雨林的恢复

海南热带雨林旅游景区分为五指山、霸王岭、尖峰岭、吊罗山及黎母山五大块, 热带雨林区域里的自然生态资源受到人为破坏影响虽然得以有效控制, 但发展与保护的矛盾仍然突出, 如不合理的旅游规划建设(旅游线路, 吃、住、行、游等配套基础设施、服务设施)的不断扩增、旺季景区承载力不足、生态环境保护意识淡薄等, 导致热带雨林景区的森林覆盖率降低、环境污染、伤害或干扰野生动植物等。截至 2022 年 8 月底, 公园内 9 座小水电站已全部完成退出, 22 座小水电站也已经整改 10 座, 并完成了《海南热带雨林国家公园内矿业退出工作方案》。但小水电的退出和整改需要一定时间周期, 并且水电站、采矿业等在早期已经对原生植被和动物栖息地造成破坏, 已经导致河道与地表裸露, 生物物种多样性降低, 这对生态环境造成的影响难以恢复。有研究表明, 从光板地逐渐恢复到次生季雨林约需 150 年左右的时间[6], 而由于采矿业造成的裸露岩石地表可能需要更长的时间。

## 3. 海南热带雨林保护与恢复措施探讨

### 3.1. 严格控制人为活动

退化热带雨林生态系统的恢复需要经历林窗阶段、建群阶段、成熟阶段, 使得森林成为各个结构阶段的空间镶嵌体[35], 在热带地区, 不停止人类活动, 难以完成循环过程, 封山育林也需要几十年, 甚至上百年才能完成上述演替[36]。各种次生森林生态系统经过采伐、反复垦殖、火烧、过度放牧、水土流失以及地方性气候变化, 在被抛荒以后, 由于正向演替受阻, 较长时间稳定在某些生活力强、耐火烧、耐贫瘠的植物占优势的次生演替的某一阶段, 甚而形成大面积受人类活动所控制的植物“顶级群落”[37], 而这些顶级群落的物种往往又以入侵植物和本土灾变植物为主。因此, 海南热带雨林要有重点、有针对性、按次序地控制核心区至一般控制区的人为活动, 1) 首先要逐步停止或退出所有的采矿、采砂、水电站等毁坏性项目; 2) 其次持续开展生态搬迁, 逐步消除或大幅减少人类活动痕迹(住房、道路及硬化的土地、退耕还林、污染问题等); 3) 再次合理设计和布局景区旅游线路、景区承载量等, 尽量减少对热带雨林的污染和干扰。

### 3.2. 加强植物入侵和本土植物灾变的防范与治理

随着海南国际旅游岛的建设和对外开放程度不断增加, 频繁的人类活动会加速外来入侵植物的扩散和传播, 为避免或减少外来入侵植物对热带雨林的负面影响, 1) 需要开展海南热带雨林外来入侵植物及本土灾变植物的调查, 并持续跟踪植物的种类、数量、分布、面积、扩散速率等重点指标, 针对重点物种、重点区域开展长期监测, 制定科学的防控方案, 提高防控和治理外来入侵植物的精准性和高效性; 2) 利用海南的岛屿的特性, 易于管控与隔离, 从海关、港口、码头等地的外源输入上下功夫, 加强入侵物种的检验检疫、防控和销毁, 并加强海南与各省市间的联动防控与应急反应; 3) 加强外来入侵植物的科学研究, 如入侵机制、发生规律、传播特性等, 建立健全预测预警、风险评估机制, 加强监测和防范体系

建设; 4) 加强科普宣传和教育培训, 让公众特别是基层工作者能够充分认识到入侵植物及本土灾变植物危害的重要性, 从源头上防范有意或非有意的引种, 在生产实践过程中有效地识别和清除入侵植物, 全力配合国家和政府有关部门做好防控工作, 为海南热带雨林的生态保护和恢复清除障碍。

### 3.3. 制定合理的植被生态恢复规划和方案

国家发改委、自然资源部发布的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021~2035 年)》明确指出海南省要开展退化热带雨林生态系统的生态恢复工作。然而, 缺少成熟适用的退化热带雨林的生态恢复技术和模式, 因此在今后海南热带雨林生态恢复中应把重点放在这一方面。在严格控制或协调人类对热带雨林生态保护和恢复负面活动的基础上, 1) 要加强人类活动对于热带雨林积极的举措, 做好管控与功能分区; 2) 制定科学合理的雨林恢复/修复措施方案; 3) 弘扬民族文化中有关保护生物多样性中积极的方面; 4) 大力加强科普宣传教育。

#### 3.3.1. 做好海南热带雨林各管控与功能区的划分

根据中共中央办公厅/国务院办公厅印发的《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》, 采取差别化管控, 核心保护区内原则上禁止人为活动, 一般控制区内限制人为活动。可参考借鉴国外国家公园的三元管孔分区模式, 即核心区、缓冲区和试验区(过渡区) [38], 可以适当的进行分区的再细化。除了在管控方面的分区, 还可考虑功能的分区, 国外国家公园功能分区的相关研究集中在自然资源保护与开发、管理体制构建、规划系统、生态系统演替等方面, 如美国采用 ORRRC 分区模式: 高密度游憩区、一般户外游憩区、自然环境区、特殊自然区、原始区、历史文化遗址等; 加拿大按照生态系统和文化资源保护的要求及游客体验与影响划分为: 保护区、荒野区、自然环境区、户外游憩区、公园服务区等; 日本依据保护对象重要程度和可开发利用强度划分为: 特别保护区、特别地域(I 级、II 级、III 级)、普通地域和海中公园地区等。海南热带雨林管控与功能区的划分要不仅局限于已经划定的热带雨林国家公园的范围, 在以生态保护优先的前提下, 综合科研、教育、游憩和带动社区发展等功能, 借鉴国外三元管控分区模式, 进一步细化功能分区, 如严格保护区、生态修复区、科研监测区、教育游憩区、传统利用区等 [39]。

#### 3.3.2. 海南热带雨林植被恢复措施

热带雨林修复是一个漫长而复杂的动态过程, 因此雨林植被的恢复重建应顺应环境的动态变化, 重在恢复生态系统的结构和功能, 采用多样的动态修复手段, 构建“局部修复-斑块修复-廊道修复-生态完善”修复的路线, 自然恢复与人工恢复相结合, 借助建群种植物、先锋植物、立体复合型和协助自然再生, 以重建热带雨林植被群落结构与系统, 提升物种多样性。在热带雨林的恢复过程中, 应根据 2022 年 10 月发布的《海南热带雨林国家公园优先保护物种名录》(正式版), 划定重点保护的物种和保护区域, 明确需要恢复的区域的阶段, 按照恢复生态学理论, 分阶段(林隙阶段-建群阶段-成熟阶段)地进行修复, 一般来说, 建群阶段最为重要。在热带雨林的恢复过程中, 针对不同的立地条件与类型, 植被恢复方式与重建模式也有所不同。立地条件的划分受到地形、地貌、气候、海拔、土壤、植被、湿度、人为活动等多项综合生态因子的共同作用 [40]。海南热带雨林植被按垂直地带性可分为: 低地雨林、山地雨林、高山云雾林和山顶灌丛 [41], 而受破坏、干扰最为严重的是热带低地雨林, 由于海拔高度较低(常 700~900 m 及以下), 人类活动频繁, 因此, 海南热带低地雨林将被作为人工恢复的重点。因此, 在热带雨林的植被恢复过程中应首先明确重点保护的物种和演替所处的阶段, 其次针对不同的立地条件和类型, 采取不同的恢复手段(人工恢复、自然恢复等), 逐步恢复热带雨林的生态功能。

自然恢复手段主要针对人为活动较少的次生林和较为成熟的热带雨林发育阶段, 而人工恢复可以加

速热带雨林的定向演替, 可从以下几个方面强调人工恢复的手段。

### 1. 建群植物恢复法

选用对热带雨林群落结构和环境形成有明显控制作用的优势植物作为群落建造者, 在短时间内构建热带雨林体系。该方法适宜于沟谷雨林, 由于沟谷特有的坡度、土壤及湿度等条件优势, 适宜各类沟谷雨林植物生长。具体而言可由龙脑香科(Dipterocarpaceae)的青梅/青皮(*Vatica mangachapoi* Bl.)、坡垒(*Hopea hainanensis* Merr. & Chun)和铁凌/无翼坡垒(*Hopea reticulata* Tardieu)等热带雨林标志性树种构建森林上层, 配以林下乔木层植物, 如细子龙(*Amesiodendron chinense* (Merr.) Hu)、蝴蝶树(*Heritiera parvifolia* Merr.)、红花天料木/母生(*Homalium ceylanicum* (Gardn.) Benth.)等及其他地被物种, 如棕榈科(Arecaceae)的轴榈属(*Licuala* Thunb.)、茜草科(Rubiaceae)的粗叶木属(*Lasianthus* Jack)和九节属(*Psychotria* Wall.)、紫金牛科(Myrsinaceae)的紫金牛属(*Ardisia* Swartz)和密花树属(*Rapanea* Aubl.)等。另外, 还可以辅以种植的木质藤本类植物, 如买麻藤属(*Gnetum* L.)、鸡血藤属(*Callerya* Endl.)、黄檀属(*Dalbergia* L. f.)等。如此按照热带雨林的层次精细化种植, 可在较短时间内形成植物种类丰富、层次复杂、郁闭度高的热带雨林体系, 从而逐步实现沟谷雨林的修复。

### 2. 先锋树种恢复法

热带雨林先锋树种占据生态演替早期生态位, 相对于其他雨林树种具有更强的适应能力[42], 对群落结构的更新和森林的演替具有重要作用。该方法适宜于山脊、断崖、林窗、人造光板地/荒地和种植条件恶劣的区域。可以利用热带先锋树种黄桐(*Endospermum chinense* Benth.)、中平树(*Macaranga denticulata* (Bl.) Muell. Arg.)、红毛山楠/毛丹(*Phoebe hungmoensis* S.K. Lee)、印度野牡丹(*Melastoma malabathricum* L.)、黑嘴蒲桃(*Syzygium bullockii* (Hance) Merr. & Perry)和沙坝冬青(*Ilex chamaensis* Merr.)等造林, 在较短时间内形成优势物种, 覆盖裸露和贫瘠的地表, 为后期其它热带雨林植物的生长提供有利的阴地和土壤条件。另外, 有研究表明, 藤本在干旱的森林环境中有着具有光截获、光合速率、水分利用和生长方面的优势, 具有较强的适应能力, 因此, 结合海南热带雨林的藤本植物, 可以选择省藤属(*Calamus* L.)、黄藤属(*Daemonorops* Bl.)、崖爬藤属(*Tetrastigma* (Miq.) Planch.)等植物配合种植, 可有利于快速提高该区域的生物多样性。

### 3. 立体复合恢复法

海南热带雨林国家公园内还存有 84003 hm<sup>2</sup> 的人工林, 由于人工林往往容易形成人为的单一树种, 并因化肥、农药的使用等, 使得林下植被基本被破坏殆尽, 生物物种多样性非常低。为了协调热带雨林保护及恢复与经济发展, 该方法主要适用于橡胶林、果树林、槟榔林、桉树林等人工经济林区的植被恢复。即在保留/部分保留的基础上, 逐步伐除海南热带雨林国家公园内的人工林, 并补植其他本土珍贵经济林木, 如土沉香(*Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng.)、降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T.C. Chen)、紫荆木(*Madhuca pasquieri* (Dubard) H.J. Lam)、油丹(*Alseodaphne hainanensis* Merr.)等, 结合生态农业(林养、林菜、林粮、林药等间作)、立体混种等方式构建复合型生态人工林, 如套种魔芋(*Amorphophallus konjac* K. Koch)、粗叶榕/五指毛桃(*Ficus hirta* Vahl)、美丽崖豆藤/牛大力(*Nanhaia speciosa* (Champ. ex Benth.) J. Compton & Schrire)、象草(*Pennisetum purpureum* Schum.)等, 养殖鸡、蚯蚓、蜂等。这一途径能显著增加区域生物多样性, 提升生态功能, 并可以在较短时间内产生经济效益。

### 4. 辅助自然再生修复法

该方法适用于仍然具备一定天然再生/更新能力的热带雨林, 在保护的基础上, 辅以适当的人工干预措施, 使之尽快演替成为符合海南热带雨林国家公园生态恢复目标的森林植被。这一方法的关键在于突破生态屏障, 加速自然演替过程, 减少杂草等干扰因素与树木的竞争。在水湿条件较好、次生林较多的区域, 在封育保护的前提下, 在林隙、林缘开展对海南热带雨林本土树种的人工收集播种, 移植实生苗, 苗圃繁育后种植单株或丛状补植幼苗, 如青梅、坡垒等; 在开阔地带设置动物(特别是鸟类和哺乳动物)的

休憩、繁育等活动场所，辅助热带雨林植物种子的散布；人工干预去除或限制入侵植物等非雨林植被的侵袭，为热带雨林树种幼苗期间提供有利的生存环境，以促成正向演替。该方法耗时较长，但具备成本低和技术简单等优势。

恢复热带雨林生物多样性的结果将取决于场地因素(现实条件和重建植被特征)、斑块大小(连续植被面积)、景观因素(重建植被与周围地区的关系)，因此，在恢复时应充分考虑以上因素，因地制宜，结合优先保护物种等因素，采取不同的修复方式和方法，如选择本土雨林树种构建植被；以沟谷雨林为廊道，辐射链接其他雨林植被斑块，逐步扩大范围等，旨在加速热带雨林的正向演替。

### 3.3.3. 海南热带雨林植被恢复效果评估

海南热带雨林植被恢复是一项长期而艰巨的任务，对恢复效果的评估需要结合多个维度和综合模型进行系统分析，主要包括以下几个方面：1. 土壤理化性质分析：通过测定土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷等关键养分指标，评估植被恢复对土壤肥力的影响[43]。例如亚马逊流域，区域内的植被恢复速度差异来源于土壤肥力的不同[44]。不同混交林与槟榔园的土壤养分差异，发现混交林可以显著提升土壤养分含量。此外，土壤水分、pH 值、容重等物理性质也是重要的参数[45]。2. 生物指标监测：对我国西部(西双版纳)热带雨林退化植物恢复潜力的生态学评估(2023)成果表明：可以通过以下三个方面来判断恢复效果和演替方向，一是植被群落结构：分析植被类型、群落演替阶段和物种多样性指标等，如可以通过调查天然次生林与人工混交林的物种组成判断恢复效果。二是种子库与幼苗库：通过调查土壤种子储存量、种子雨的输入量及幼苗密度，评估自然恢复潜力。例如玻利维亚热带干旱林中，刀耕火种弃耕地恢复速度就高于其它热带林植被恢复速度[46]。三是微生物指标：如对菌根分布的分析，可以反映微生物对植被生长的促进作用。3. 生态系统功能评估：一是固碳能力：通过植被生物量和土壤有机碳含量测算碳储量的变化。二是水文调节功能：检测土壤持水能力、地表径流等指标，评估生态服务恢复效果。4. 综合指数模型：一是主成分分析法(PCA)。用于多指标降维和综合评价，如通过 PCA 分析对 5 种养分指标赋权，得出沉香坡混交林的土壤综合评分最优[45]。二是德尔菲法(专家法)：结合专家经验构建评估体系，研究建立的植物恢复潜力指数，涵盖土壤、种子库、萌生能力等多个要素。5. 长期动态监测：通过定期重复调查植被覆盖度、植物多样性、土壤性质等指标，结合遥感技术跟踪恢复进程。例如比较不同恢复年限的次生林与人工林数据，明确恢复阶段的差异[45]。

### 3.4. 弘扬民族传统文化，促进生物多样性保护

海南是一个多民族聚居的省份，少数民族有 40 多个，其中以黎族和苗族为代表。海南热带雨林分布区多为黎族、苗族世代聚居的地方，约有 150 万人口，长期以来与山林打交道，形成独特的少数民族文化，如黎族的宗教信仰对保护生物多样性具有积极的作用，它们崇尚“万物有灵”，盛行图腾崇拜、自然崇拜和祖先崇拜，其中图腾崇拜中除了青蛙、蛇、鸟等动物外，还包括白藤(*Calamus tetradactylus* Hance)、芭蕉(*Musa basjoo* Siebold & Zuccarini)、木棉(*Bombax ceiba* L.)等植物，也将年份久远、高大粗壮的芒果树(*Mangifera indica* L.)、榕树(*Ficus microcarpa* L.f.)、土沉香树等视为神树或风水树，加以保护，禁忌砍伐与伤害。另外，黎族在其他生产方面也体现了可持续利用的特点，例如黎族人在“砍山栏”时有一套保护森林的烧山技术，砍伐的时候也只会把树木的细小枝叶砍下，并且不是无限量地开荒垦地。黎族民间也制定了封山育林的乡规民约[47]，根据山林种类、分布和当地群众的生活习惯，分期进行全封、半封和轮封制度，肆意毁坏山林的都要进行严厉的惩罚。

### 3.5. 加强科普教育与宣传，提升保护意识

大自然是人类之母，也是我们最好的老师，不仅是人类赖以生存的基础，也蕴含许多自然之道，人

类当以自然为师、以万物为友。科普教育要从孩童抓起,特别是对青少年,他们永远是未来雨林保护的中坚力量。以海南热带雨林国家公园4个管理片区为基础设立科普教育基地,争创海南省教育厅挂牌全省中小学科普教育基地、大学生实习基地等。由海南省林业局、热带雨林国家公园管理局、省教育厅、科研机构、团省委等单位联合开展中小学生走进热带雨林和生态保护宣传教育活动,把课堂放入自然中来,并长期开展研学实践、科普讲座、生态实验、科普展览;组织中小学生开展热带雨林知识竞赛、绘画、演讲、主题征文、摄影、夏令营等比赛和活动;印发相关的资料、图书、光盘、音频、视频、微课、课件等,鼓励和培养青少年学习雨林、热爱雨林、保护雨林、探索雨林的兴趣和意识。另外,还应充分发挥各单位及社会环境保护组织等的科普教育志愿者力量,扩大宣传和影响力。

#### 4. 结语

海南热带雨林国家公园自设立以来,从体制、制度、法律、法规等方面为生态保护与恢复及地方经济发展的走上正规作了大量工作,也获得了非常好的效果,但仍然有诸多问题亟待解决,如生境破碎化严重、人类活动密集、入侵植物及本土植物灾变严重、保护与利用矛盾突出、保护意识不强、公众参与度不高等,因此,需要进一步严格控制人为活动、制定合理的植被生态恢复规划和方案、弘扬民族文化,促进生物多样性保护、加强科普教育与宣传,提升保护意识,并在此基础之上,重点开展热带雨林的生态恢复与植被重建。在植被恢复与重建阶段以沟谷雨林为发展廊道,辐射连接其他雨林斑块,形成生态恢复网络,逐步增加区域内的生物多样性,从而促进热带雨林正向演替,最终实现热带雨林回归。热带雨林的生态恢复影响因素非常广泛,需要生态学、生理学、植物学、动物学、微生物学、化学、土壤学、分子生物学、栽培学和环境工程等多学科的参与,才能提出科学、合理的技术方案和恢复措施。

未来的热带雨林科研工作仍然需要加强,着力打造科研团队,吸引国内外优秀人才参与热带雨林的保护、恢复与可持续利用方面的研究与交流,进一步细分热带雨林生态保护和恢复的领域,并向热带雨林生物多样性形成机制、热带雨林植被修复模型构建、热带雨林微生物群落构建、热带雨林入侵植物的生物防治、退化热带雨林的生态恢复、热带雨林生态系统结构与功能的关系、基于大数据的热带雨林生态系统功能等研究领域侧重。

相信在不久的将来,在国家及地方政府的政策引导下,各部门、科研单位、生态投资以及公众的共同努力下,海南热带雨林国家公园必将踏上持续、快速、健康的发展之路,打造出“绿水青山就是金山银山”之海南示范基地,为国家乡村振兴事业和海南生态致富,为构建人与自然、保护与发展的和谐局面不断作出新的更大的贡献。

#### 基金项目

海南国家公园研究院(HINP)科研项目资助。

#### 参考文献

- [1] 张荣京,邢福武. 热带雨林的生态特点[J]. 生物学通报, 2007, 42(4): 21-23.
- [2] Zong, L. (2020) The Path to Effective National Park Conservation and Management: Hainan Tropical Rainforest National Park System Pilot Area. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 8, 225-229. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.11.009>
- [3] 陈宗铸,雷金睿,吴庭天,等. 国家公园生态系统生产总值核算——以海南热带雨林国家公园为例[J]. 应用生态学报, 2021, 32(11): 3883-3892.
- [4] 龙文兴,杜彦君,洪小江,等. 海南热带雨林国家公园试点经验[J]. 生物多样性, 2021, 29(3): 328-330.
- [5] 黄晓. 海南热带雨林生态修复制度研究[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2019: 1-32.
- [6] 彭少麟. 恢复生态学与热带雨林的恢复[J]. 世界科技研究与发展(21世纪青年学者论坛), 1997, 19(3): 58-61.

- [7] 任海, 王俊, 陆宏芳. 恢复生态学的理论与研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4117-4124.
- [8] Majer, J.D. (2009) Animals in the Restoration Process—Progressing the Trends. *Restoration Ecology*, **17**, 315-319. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2009.00528.x>
- [9] Grimbacher, P.S. and Catterall, C.P. (2007) How Much Do Site Age, Habitat Structure and Spatial Isolation Influence the Restoration of Rainforest Beetle Species Assemblages? *Biological Conservation*, **135**, 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.10.002>
- [10] Golet, G.H., Gardali, T., Hunt, J.W., Koenig, D.A. and Williams, N.M. (2011) Temporal and Taxonomic Variability in Response of Fauna to Riparian Restoration. *Restoration Ecology*, **19**, 126-135. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2009.00525.x>
- [11] Munro, N.T., Fischer, J., Barrett, G., Wood, J., Leavesley, A. and Lindenmayer, D.B. (2011) Bird's Response to Revegetation of Different Structure and Floristics—Are “Restoration Plantings” Restoring Bird Communities? *Restoration Ecology*, **19**, 223-235. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2010.00703.x>
- [12] Nakamura, A., Catterall, C.P., Kitching, R.L., House, A.P.N. and Burwell, C.J. (2008) Effects of Isolation on the Colonisation of Restored Habitat Patches by Forest-Dependent Arthropods of Soil and Litter. *Insect Conservation and Diversity*, **1**, 9-21. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2007.00002.x>
- [13] 高雷, 刘宏茂. 西双版纳热带雨林下砂仁拔除后的生态恢复研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 366-372.
- [14] 郭贤明, 张培松, 付双福, 等. 西双版纳自然保护区热带季节雨林破坏后的恢复状况调查[J]. 林业调查规划, 2006, 31(6): 66-70.
- [15] 段晓梅, 杨云, 李晶. 西双版纳热带雨林保护与修复规划研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10786-10787, 10791.
- [16] 谭铭智. 雷州半岛热带季雨林修复方法研究[J]. 乡村科技, 2017(12): 35-36.
- [17] 许林红, 李思广, 蒋云东, 等. 西双版纳橡胶林下回复雨林树种的配置模式研究[J]. 四川林业科技, 2019, 40(2): 32-35, 41.
- [18] Lao, B.L., Zhuo, W.D. and Zhu, R.Y. (2020) The Rebirth of Tropical Rainforest-Ecological Restoration Planning for Sanda Mountain of Xishuangbanna, China. *Landscape Architecture Frontiers*, **8**, 108-125. <https://doi.org/10.15302/j-laf-1-040012>
- [19] 吴学灿, 段禾祥, 杨靖. 西双版纳热带雨林保护与修复探讨[J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(5): 118-121.
- [20] 张箫, 牟雪洁, 王夏晖, 等. 国土空间生态修复分区研究——以海南岛为例[J]. 生态经济, 2021, 37(2): 183-189.
- [21] 丁易, 臧润国. 采伐方式对海南岛霸王岭热带山地雨林恢复的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(11): 1-5.
- [22] 黄运峰, 路兴慧, 臧润国, 等. 海南岛热带低地雨林刀耕火种耕地自然恢复过程中的群落构建[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 415-426.
- [23] 林灯. 刀耕火种和择伐后热带次生林恢复过程中生态系统服务功能的比较研究[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2016: 1-65.
- [24] 路兴慧. 海南岛热带低地雨林自然恢复过程中木本植物幼苗功能性状及增补动态[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012: 1-102.
- [25] 邓福英. 海南岛热带山地雨林植物功能群划分及生态关键种的确定[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007: 1-166.
- [26] 刘万德. 海南岛热带季雨林群落生态学研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009: 1-119.
- [27] 吴红萍, 金映虹, 陈喜蓉. 海南发展橡胶林下经济的现状、问题与对策[J]. 热带林业, 2022, 50(1): 10-14.
- [28] 王密. 2021年中国海南省水果种植面积、收获面积、水果产值及产量情况分析[DB/OL]. 产业信息网. <https://www.chyxx.com/industry/1116384.html>, 2022-07-11.
- [29] 陈李叶, 姚诚孙, 扶艳萍. 海南省槟榔产业发展的 SWOT 分析及思考[J]. 世界热带农业信息, 2024(10): 73-76.
- [30] 吴挺勋, 姚小兰, 任明迅. 海南热带雨林国家公园道路分布及其对景观完整性的影响[J]. 热带生物学报, 2022, 13(2): 101-111.
- [31] 朱华. 中国南部热带植物区系[J]. 生物多样性, 2017, 25(2): 204-217.
- [32] 郭亚男, 王瑞江. 华南地区外来入侵和归化植物分析[J/OL]. 热带亚热带植物学报. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1374.Q.20221013.1431.002.html>, 2022-10-13.
- [33] 孙湘来, 石绍章, 赵小迎, 等. 海南省极小种群野生濒危植物现状与保护对策[J]. 绿色科技, 2017(18): 11-13+38.
- [34] 梁玮莎, 方天松, 余海滨, 等. 金钟藤在中国的风险性分析[J]. 林业与环境科学, 2012, 26(3): 42-45.

- [35] Whitmore, T.C. (1989) Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. *Ecology*, **70**, 536-538.  
<https://doi.org/10.2307/1940195>
- [36] 许再富, 刘宏茂. 热带雨林退化生态系统生物多样性消失与修复探讨[J]. 云南植物研究, 1996, 18(4): 433-438.
- [37] 许再富, 陶国达, 禹平华, 等. 元江干热河谷山地五百年来植被变迁探讨[J]. 云南植物研究, 1985, 7(4): 403-412.
- [38] 黎国强, 孙鸿雁, 王梦君. 国家公园功能分区再探讨[J]. 林业建设, 2018(6): 1-5.
- [39] 孙鸿雁, 余莉, 蔡芳, 等. 论国家公园的“管控-功能”二级分区[J]. 林业建设, 2019(3): 1-6.
- [40] 杨清, 韩蕾, 陈进, 等. 西双版纳热带雨林的價值、保护现状及其对策[J]. 广西农业生物科学, 2006, 25(4): 341-348.
- [41] 杨小波, 陈宗铸, 李东海. 海南植被分类体系与植被分布图[J]. 中国科学: 生命科学(中国植被生态学专辑), 2021, 51(3): 321-333.
- [42] Krause, G.H., Koroleva, O.Y., Dalling, J.W. and Winter, K. (2001) Acclimation of Tropical Tree Seedlings to Excessive Light in Simulated Tree-Fall Gaps. *Plant, Cell & Environment*, **24**, 1345-1352.  
<https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00786.x>
- [43] Chazdon, R.L. (2003) Tropical Forest Recovery: Legacies of Human Impact and Natural Disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **6**, 51-71. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042>
- [44] Moran, E.F., Brondizio, E.S., Tucker, J.M., da Silva-Forsberg, M.C., McCracken, S. and Falesi, I. (2000) Effects of Soil Fertility and Land-Use on Forest Succession in Amazônia. *Forest Ecology and Management*, **139**, 93-108.  
[https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(99\)00337-0](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(99)00337-0)
- [45] 连菁菁. 海南热带雨林不同植被恢复模式下土壤养分含量特征研究[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南师范大学, 2024: 1-15.
- [46] Kennard, D.K. (2002) Secondary Forest Succession in a Tropical Dry Forest: Patterns of Development across a 50-Year Chronosequence in Lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, **18**, 53-66.  
<https://doi.org/10.1017/s0266467402002031>
- [47] 陈文辉. 黎族习惯法在森林环境保护中的作用[J]. 琼州学院学报, 2008, 15(4): 27-28.