

 国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



海南岛热带林生物多样性 及其形成机制

蒋有绪 王伯荪 臧润国 金建华 廖文波 等著

ife

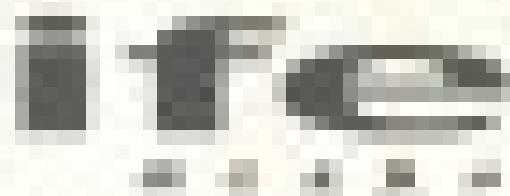
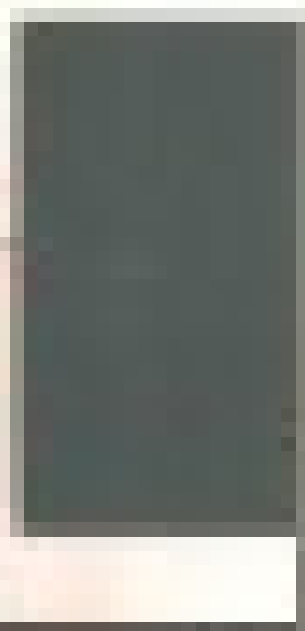
科学出版社

中国科学院昆明植物研究所
KUNMING INSTITUTE OF BOTANY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

中国科学院昆明植物研究所
KUNMING INSTITUTE OF BOTANY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

海南岛热带林生物多样性 及其形成机制

李博 王成 李博 李博 李博 李博 李博





国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



海南岛热带林生物多样性 及其形成机制

蒋有绪 王伯荪 臧润国 金建华 廖文波 等著

科学出版社

内 容 简 介

本书在对海南岛的生态环境介绍的基础上,概述了海南岛热带森林的主要类型及其主要特征;从海南岛的地层、古环境入手,分析了不同地质时期海南岛热带林植物群的发展和演化规律,探讨了古植物群与古环境变迁的关系;从古生物学的角度研究了现代植物区系的历史发生规律,给出了海南岛植物、孢粉和微古植物的化石目录;对海南岛的植物特有性、多样性、辐射性等进行阐述,同时论证了海南岛的岛屿生物地理现象、边缘效应特征等对植物区系形成的影响规律;以群落内部的种群特征为对象,探讨群落内物种多样性与群落结构和群落环境的关系;从自然干扰体系所引发的森林循环为切入点,深入研究了海南岛热带林的自然干扰特征及其对群落内不同树种更新和多样性关系的影响,树种多样性特征随干扰的动态变化规律,以及森林景观中不同发育阶段森林斑块的镶嵌特征;分析了海南岛的主要热带森林群落类型及其空间格局变化规律,通过比较和分析,研究了海南岛现代森林群落与主要树种的分布特征及其驱动因素;以热带树木为主要研究对象,初步分析了海南岛热带树木的构筑型、分子生态及遗传多样性特征。最后在热带林生物多样性形成机制讨论的基础上,概述了海南岛热带林生物多样性研究的理论成果。

本书可供从事生态学、林学、植物学、地理学和环境科学的研究人员和管理工作者,以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海南岛热带林生物多样性及其形成机制/蒋有绪等著.-北京:科学出版社,2002.4
ISBN 7-03-010034-4

I. 海… II. ①蒋… ②王… III. 热带林-生物多样性-研究-海南岛 IV. S718.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004039 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年4月第 一 版 开本:787x 1092 1/16
2002年4月第一次印刷 印张:25 1/4
印数:1—1 000 字数:590 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《海南岛热带林生物多样性及其形成机制》

参加编写人员

(以姓氏笔画排列)

丁 坦	王伯荪	王峥峰	安树青	李鸣光
李俊清	李意德	杨小波	吴 念	余世孝
邹和平	张军丽	张宏达	张炜银	金建华
郑 卓	练琚瀚	咎启杰	唐 恬	黄世能
梁士楚	蒋有绪	覃朝锋	廖文波	臧润国

前 言

森林是地球上生物以不同的组织层次与其环境条件所形成的最复杂的系统。由于森林类型及其结构和功能的多样性,生物多样性的各种规律在森林中都有不同程度的体现和表达。因此,森林是研究生物多样性机制或规律的理想对象,便于探讨、形成和完善生物多样性的有关理论。

自 1992 年联合国环境发展大会签署并通过《生物多样性公约》以来,许多国家都在保护和持续利用生物多样性方面开展了大量的科学研究。但一系列的研究都着重于生物多样性编目、分类、监测、功能和保护等方面,对生物多样性的起源及维持机制则相对研究较少。1995~1996 年,几个国际组织(IUBS、UNESCO、SCOPE、ICSU 等)开展的大规模生物多样性合作项目(DIVERSITAS)明确把“生物多样性起源、维持和变化”列为 5 个核心组分之一(其余 4 个核心部分为编目、分类,监测,多样性的生态系统功能,保护、恢复和持续利用)。

关于生物多样性的形成机制,目前国外虽有数种假说(如时间假说、生产力假说等),但基本上都是根据一些个别研究事例而提出的,没有从确定的地理单元上来系统分析生物多样性的形成机制;有些假说是从动物得出的,对于植物也不完全适用。到目前为止,关于生物多样性的形成机制还没有完善的理论体系。但生物多样性的形成机制,是生物多样性科学研究和生物多样性保护及持续利用中必不可少的理论基础和科学依据。

目前我们对生物多样性与生态变量之间的关系还知之甚少,生物多样性的形成机制里面蕴藏着许多非常重要的理论问题有待探索。20 世纪 50 年代以来,有些生态学研究已涉及了物种多样性的梯度变化规律,但对生物多样性形成机制问题的研究还很少。到了 20 世纪 90 年代,生物多样性形成及变化的机制已成了生态学家们研究的一个热点问题(Abrams 1995),对其研究的深度和广度正在不断增加。近几年来,围绕生物多样性格局的形成机制问题,国外开展了一些理论探索和初步研究,如 Abrams(1995)关于生物多样性与生产力及竞争原理的讨论, Rosenzweig 和 Sandlin(1997)关于物种多样性与纬度的关系及面积效应的研究, Caley 等(1997)对局部特有现象及其与局部和区域多样性关系的研究, Hoagland 和 Collins(1997)对梯度与植物群落等级结构关系的分析, Prach 等(1997)对物种特性随演替梯度变化的机制的研究等。Rosenzweig(1995)在其专著《时间和空间中的物种多样性》(*Species Diversity in Space and Time*)中从时间、空间及无维度(dimensionless)梯度几个方面研究论述了生物多样性的格局机制,其时间尺度包括生态时间尺度和进化时间尺度两个方面,空间尺度则是指面积与物种多样性、纬度与物种多样性及生产力与物种多样性的关系等。而无维度梯度则是包括物种多样性随个体大小及食物等的变化规律。特别针对热带雨林的生物多样性动态问题, Sheil 和 Phillips 等人,在 OIKOS 上展开了激烈的讨论(Phillips et al. 1994, 1997, Sheil 1996, 1997), Rohde 和

Rosenzweig 也就面积与物种多样性的纬度梯度问题展开了争论(Rohde 1997, Rosenzweig and Sandlin 1997)。还有一些科学家研究了群落内源扰动(endogenous disturbance)与斑块动态(patch dynamics)、生物群落内物种共存、协同进化和群落内异质性的形成机制(Busing and White 1997, Zobel 1992, Lertzman et al. 1996)。遗传多样性是其他一切多样性的基础,没有遗传多样性,物种就不能进化,也就无法适应其生存环境的改变。遗传多样性对物种和生态系统多样性起着决定性的作用,因为,物种能使谱系发展,而进化能力的维持却要靠遗传多样性的存在。同时,一个物种的遗传多样性又与其繁育系统和基因流有着非常密切的关系(Chase et al. 1995, Veerendra and Padmanabha 1996)。因此,从遗传多样性及繁育系统和基因流的角度来探讨物种的形成及不同种群在群落中的地位,也是近年来生物多样性格局机制的一个重要研究方向(Huston 1994, Peter 1994, Frankel et al. 1995)。综上所述,国外森林生物多样性形成机制研究的主要趋势,将是不同的时空尺度上综合研究森林植物、森林群落类型和森林景观格局与古代或现代生态环境的关系,深入分析森林生物多样性的历史由来及其与生态条件的关系,从遗传变异来阐述物种的形成和种群在群落内的地位。

与国际上一样,生物多样性也是我国生态学研究的主要热点之一。我国在动植物区系、地理和群落学等方面为开展生物多样性的研究奠定了良好的基础,目前我国在生物多样性的编目、信息系统建立和保护实践等方面已取得了较好的成果(陈灵芝 1993, 1997)。我国在生物多样性形成机制方面的研究,还刚刚起步,近年来仅有几篇综述论及了生物多样性的梯度变化与生物多样性的格局及机制等(蒋有绪,刘世荣 1993,黄建辉 1994,张宏达 1998,贺金生,陈伟烈 1997),而直接关于生物多样性形成机制的实际研究还很少。然而,我国在生物多样性的形成机制方面已积累了不少的基础研究,如有关纬度、经度、海拔高度和土壤等生态因子梯度对生物区系、物种和群落分布的影响等都隐含在区系学、群落学和生物地理学及遗传多样性地理变异的研究成果中,但至今尚没有从系统的高度来综合研究生物多样性的形成机制,非常缺乏有关的理论研究。因此,我国在生物多样性形成机制方面的研究与国际发展趋势相比已有所滞后,但又是有条件有优势迎头赶上,并取得国际领先水平的。

我国在目前人力、财力有限的情况下,全面开展跨越较大地理范围内生物多样性形成机制的研究还不可能。因此,有必要选择一个恰当的地理单元来进行研究。关于研究单元,在我国虽然有多个选择,例如温带林、亚热带林和热带林等都有一定的代表意义和其特殊性,但考虑到目前的研究仍属理论探索阶段,主要研究目标不是急于提供一个阐明特殊对象的具体成果,而应以选择揭示尽可能多的规律和过程的对象为宜,以取得更多的理论收获。在以上考虑前提下,海南岛热带林区将是理想的选择。海南岛在尖峰岭、坝王岭、五指山、吊罗山等都保存有较大面积的原生热带沟谷雨林、季雨林、山地雨林等以及它们的演替系列;海南岛有非常明确的自然边界,其地质历史过程和与周边区系的关系较易于分析,有利于对其森林生物多样性的形成和演化规律的认识;海南岛全岛中高周低,地貌地势既复杂多变又有明显的规律性,岛内生态因子、生境、生物群落类型呈现明显的受不同方位影响的水平格局和垂直梯度变化规律;加之群落结构复杂,森林生物多样性宏观格局及微观结构都有不同程度、不同方式的表达。在以往对海南岛热带林研究观察的基础上,我们认为,海南岛全岛热带林生物多样性的形成与岛屿的形

成——岛屿生物地理-边缘效应、岛内森林植物区系的历史发生等有很大的关系,而每个群落内组成与结构多样性的形成与群落内的生态因子、种的生态位分化-种间关系及其协同进化有很大关系,而每个种群在群落中的地位在很大程度上又取决于种的遗传多样性特点。为此,在研究海南岛热带林生物多样性的形成机制前,我们首先提出如下假说,以便设立不同的研究内容来验证(证实或证伪)、修订这些假说或通过实际研究创立新的学说。我们的假说是:全岛热带林生物多样性形成的岛屿生物地理-边缘效应假说、岛内森林植物多样性形成的区系历史发生假说、群落内多样性形成的生态位-种间协同进化假说、种群地位的遗传多样性假说。通过对全岛森林生物多样性在不同时空尺度上变化规律的系统分析和对比研究,就可能对生物多样性形成机制有较大的理论突破,创建较为完善的生物多样性形成机制的理论体系。

基于对热带林及生物多样性研究的共同意愿,中国林业科学研究院的蒋有绪院士、臧润国博士和广州中山大学的王伯荪教授、余世孝博士、金建华博士、廖文波博士等于1997年下半年着手申请国家自然科学基金重点项目,通过几次协商,形成了“海南岛热带林生物多样性形成机制研究”申请书的框架和基本的研究思路,1998年联合北京林业大学李俊清博士正式向国家自然科学基金委员会申请并获得批准。项目于1999年1月正式启动,根据项目的需要,南京林业大学和南京大学也作为项目的协作单位参与了其中的部分研究内容。

我们对海南岛热带林生物多样性及其形成机制研究的总体研究思路是:以一个完整的、自然的地理单元——海南岛为研究对象,从不同的层次和角度来综合研究森林生物多样性的形成规律。既分析森林生物多样性的历史由来,又分析其现代时空变化;同时分别从基因、种群、群落等不同的生物组织层次上分析生物多样性的变化规律。分别从历史发生(进化时间)和群落扰动与演替动态(生态时间)两种时间尺度上,以及区域(全岛古、今地理环境与多样性形成的关系)、景观(生境类型与植物种类和群落类型多样性的关系)、群落内(生态位与种间关系)等空间尺度上进行系统研究,最后进行综合分析,这样可望得到较为完善的生物多样性形成机制的理论体系。

现在项目已进行了两年,在资金紧缺、条件艰苦和研究难度大等情况下,课题组全体人员克服了重重困难,取得了较多的研究成果,从而使项目顺利通过了国家自然科学基金委员会于2000年底组织的中期验收检查,获得了专家们的一致好评,并获得国家自然科学基金委员会出版基金的资助出版专著。本专著的出版主要有以下三个目的:①对项目中期以前的成果进行总结,以便下一步有针对性的深入开展有关研究,从而取得更好的研究成果。②将已有的研究材料同国内外同行学者进行交流,促进热带林及其生物多样性科学研究和相关学科的交叉、渗透与发展。③将存在的问题引发出来,可获得国内外同行专家的批评和指导,从而提高同类研究的水平。

本书主要是在国家自然科学基金重点项目“海南岛热带林生物多样性形成机制研究 39830310”的资助下完成的,部分内容同时还得到了国家自然科学基金面上项目“海南热带山地雨林森林循环与树种多样性动态 39870131”、“中国热带树木构筑型研究 39670585”、“雷琼地区湖相晚第四纪孢粉分析及定量古环境研究 49671074”、“东亚热带孢粉纪录与南海环境变迁相关关系的高分辨研究 40071084”、“南亚热带常绿阔叶林优势种群的分子生态研究 39671036”、“金缕梅亚纲植物化石的解剖学及分子系统学研究

49702018”、“华南若干特征植物区系成分的地带性分化研究 39800012”的资助。本书主要体现的是重点项目所设计的中观(即种群、群落与景观)水平上的研究成果,部分章节也涉及了宏观(全岛)和微观(分子及遗传多样性)尺度的内容。根据目前项目进行情况,预计项目完成后,我们还将完成第二本专著,宏观和微观方面的研究成果将在其中有更多的表达。本书体现的理论成果还只是框架性的和阶段性的,等项目完成后,较为完善的理论体系和成果将在第二本专著中体现。

本书是课题组成员及有关合作研究者集体努力的结晶,是大家多年来辛勤劳作的成果。本书的学术思想和写作框架是在蒋有绪院士和王伯荪教授的共同主持下完成的,第一章、第二章、第三章的统稿、各章前的小序和文字加工工作是由金建华和廖文波博士完成的,而第四章、第五章、第六章、第七章的统稿、各章前的小序和文字加工工作是由臧润国博士完成的,第八章的小序由蒋有绪院士完成,而统稿和文字加工工作是由臧润国博士完成的。各章节的作者名单如下:前言(蒋有绪、臧润国);1.1(金建华);1.2(廖文波);1.3(廖文波);1.4(王伯荪、张炜银);2.1(金建华);2.2(金建华);2.3(郑卓);2.4(郑卓、邹和平、覃朝锋、金建华);2.5(郑卓);2.6(金建华、王伯荪、廖文波);2.7(金建华);2.8(金建华);2.9(金建华、郑卓);3.1(张宏达);3.2(张宏达);3.3(廖文波、王伯荪、李鸣光);3.4(廖文波、王伯荪、金建华);3.5(余世孝、练璐藩);3.6(黄世能、张宏达、王伯荪);3.7(廖文波、唐恬、王伯荪);3.8(廖文波、丁坦、王伯荪);4.1(臧润国、蒋有绪);4.2(余世孝、臧润国、蒋有绪);4.3(余世孝、臧润国、蒋有绪);4.4(王伯荪、安树青、王峥峰);4.5(王峥峰、王伯荪、安树青);4.6(王峥峰、王伯荪、安树青、杨小波);5.1(臧润国、余世孝、蒋有绪);5.2(臧润国、蒋有绪);5.3(臧润国、蒋有绪、余世孝);5.4(黄世能、王伯荪、李意德);5.5(黄世能、王伯荪、李意德);6.1(王伯荪、张炜银、张军丽);6.2(王伯荪、张炜银、张军丽);6.3(安树青、王峥峰、王伯荪);6.4(王伯荪、张炜银);6.5(李鸣光、王伯荪、吴念);6.6(管启杰、梁士楚、王伯荪);7.1(臧润国、蒋有绪);7.2(臧润国、蒋有绪);7.3(蒋有绪、李俊清、臧润国);7.4(王伯荪、王峥峰、张军丽、李鸣光、张炜银);7.5(张军丽、王伯荪、王峥峰、张炜银、李鸣光);8.1(蒋有绪);8.2(蒋有绪);8.3(本节是项目组集体研究的主要成果概述,依据各位作者提供的章节、内容,由臧润国、金建华、廖文波整理、综合而成)。

本专著的完成得到了有关同仁和领导的大量支持,在此我们特别感谢国家自然科学基金委员会生命科学部、中国林业科学研究院森林生态环境研究所、中山大学生命科学学院、中国林业科学研究院热带林业研究所及其热带林业试验站、海南省坝王岭国家级自然保护区管理局、五指山自然保护区、尖峰岭自然保护区、吊罗山林业局和海南省地质矿产局等单位给予我们的支持和帮助!

本书的出版还得到了华夏英才出版基金的资助。

参与本书的作者较多,加之成书过程仓促,其中一定有不少缺点和错误,敬请各位同仁批评指正!

作者

2002.1

目 录

前言

第一章 海南岛的生态环境及其热带森林	1
1.1 海南岛的地质地貌	2
1.2 海南岛的气候及水文	5
1.3 海南岛的土壤	8
1.4 海南岛的热带森林植被	16
第二章 海南岛地层及陆生古植物群的多样性	30
2.1 海南岛晚古生代至中生代地层和植物群	31
2.2 海南岛第三纪地层及孢粉植物群多样性	33
2.3 海南岛陆均松属和海桑属在第四纪时期的分布和演化	42
2.4 海南岛垂直植被带现代孢粉散布规律及其与生物多样性的关系	47
2.5 中国热带-亚热带第四纪植被与环境演变	55
2.6 古环境变迁与陆生植物区系的形成和多样性演化	69
2.7 海南岛微古植物化石编目	78
2.8 海南岛植物化石编目	80
2.9 海南岛孢粉化石编目	84
第三章 海南岛热带林植物区系特征及其多样性	112
3.1 植物的特有现象与生物多样性	114
3.2 海南植物区系的多样性	122
3.3 海南岛种子植物区系的特征及其物种多样性的辐射性	131
3.4 海南岛岛屿生物地理现象及其边缘效应特征	163
3.5 海南岛坝王岭热带山地植被种类组成的区系特点	181
3.6 海南岛尖峰岭种子植物组成及地理成分	186
3.7 海南五指山地区种子植物区系的特点	196
3.8 海南岛吊罗山种子植物区系分析	208
第四章 海南岛热带林群落结构与物种多样性	219
4.1 坝王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征	220
4.2 海南岛坝王岭不同热带森林类型的种-个体关系	226
4.3 坝王岭垂直带热带植被的物种多样性	233
4.4 海南岛东南部山地热带山地雨林的编目多样性	239
4.5 吊罗山山地雨林种群分布格局和种间联结与物种多样性的相关性	242

4.6 吊罗山热带山地雨林的邻体效应与物种多样性	248
第五章 海南岛热带林动态与物种多样性	252
5.1 海南岛热带山地雨林小型自然干扰及林隙更新规律	253
5.2 热带山地雨林林隙更新生态位分析	263
5.3 海南热带山地雨林森林循环与树种多样性动态	266
5.4 尖峰岭热带山地雨林次生演替过程种类组成与结构动态	276
5.5 尖峰岭热带山地雨林次生演替过程物种多样性的变化格局	286
第六章 海南岛热带林群落及其多样性	295
6.1 海南岛热带山地雨林群落物种多样性的空间格局分析	295
6.2 海南岛热带山地雨林种类组成的区域分布与垂直分布	302
6.3 海南岛东南部山地热带山地雨林的格局多样性	311
6.4 坝王岭热带山地雨林群落及其物种多样性	315
6.5 海南坝王岭山荔枝原始林和次生林的种类组成和物种多样性	319
6.6 海南岛红树林群落及其多样性	324
第七章 热带树木构筑型、分子生态及遗传多样性	331
7.1 热带树木构筑学研究综述	333
7.2 尖峰岭热带树木基本构筑型的初步分析	338
7.3 海南几种热带树木构筑型的研究	343
7.4 热带与亚热带森林分子生态学研究	347
7.5 红树植物的分子生态与进化及遗传多样性	357
第八章 关于热带林生物多样性形成机制的理论	362
8.1 关于热带林生物多样性形成机制理论的讨论	362
8.2 关于构建一个合理的热带林生物多样性形成机制理论体系的原则	366
8.3 海南岛热带林生物多样性形成机制研究的主要理论成果	369
参考文献	379

第一章 海南岛的生态环境及其热带森林

海南岛地处我国南部，热带北缘，地理位置介于北纬 18°09′~20°10′、东经 108°03′~111°03′之间，北部隔着琼州海峡与广东的雷州半岛隔海相望，全岛四面环海，海岸线长 1528 km，总面积 33 920 km²，整个岛屿呈椭圆形，其长轴由东北向西南延伸，地势中高周低，以岛中部的五指山为中心，向周围逐渐形成山地、丘陵、台地、平原的环形地貌。

海南岛是在 100 万年前的第四纪更新世中期，当地壳断裂形成琼州海峡才与大陆分离，全岛地形是以中部五指山为中心向四周倾斜，因此，当上新世发生海侵时，只淹没了北部、西部、西南部的海湾地带，形成了浅海或滨海相沉积，而内地除了低洼地有沼泽沉积外，均未见新生代地层(吴其初 1964)。从海南岛第三纪上和第四纪植物化石和孢粉组成的分析可知，它们都很接近现代的类型，其中蕨类植物有紫萁属(*Osmunda*)和水龙骨科的水龙骨科属(*Polypodioides*)的种属；被子植物有分布广泛的蔷薇科(*Rosaceae*)和木兰属(*Magnolia*)，还有柳属(*Salix*)、漆树属(*Rhus*)、银杏属(*Ginkgo*)和柏科(*Cupressaceae*)等温带科属，也有较多的枫香属(*Liquidambar*)、栗属(*Castanea*)等亚热带的种类。更为突出的是有了番荔枝科(*Anonaceae*)、桃金娘科(*Myrtaceae*)、棕榈科(*Palmae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)和无患子科(*Sapindaceae*)等热带科属，并且与我国台湾省及马来西亚、爪哇等地同时期的植物群极为相近，这些热带科属都比较稳定地发展成为现代海南岛热带森林的组成植物(文焕然 1982)。

因为海南岛处于低纬度地区，受第四纪冰期的影响较小，故一些古老的植物得以在其上保存下来，自新生代以来，便孕育和繁衍了非常丰富的植物，木本植物的种类很多，组成了和现代基本相同的植被。在海南岛南部，以热带区系植物为主，在海拔 400 m 以下的丘陵低地或山地下部，生长着高大茂密、有多层结构的热带雨林，树种以樟科(*Lauraceae*)、大戟科、桑科(*Moraceae*)、桃金娘科、夹竹桃科(*Apocynaceae*)、梧桐科(*Sterculiaceae*)、山榄科的山榄属(*Planchonella*)、棕榈科、茜草科(*Rubiaceae*)、紫金牛科(*Myrsinaceae*)为主。在海拔 400~800 m 的山地上，分布着山地雨林，树种以樟科、壳斗科(*Fagaceae*)、桃金娘科和山茶科(*Theaceae*)占优势。在更高的山地上，生长着山顶矮林。在海湾、河口盐土上分布着红树林，在东方、白沙、屯昌等县的丘陵地，还有热带针叶树纯林或针阔混交林。

据史料综合分析，公元前 111 年海南岛划入西汉王朝的版图之前，海南岛的森林覆盖率为 90%；在汉代，汉人南迁海南岛开始了对原始森林的干扰；唐朝时，把环岛列入了开发范围，加速了对热带森林的破坏，导致沿海森林的减少和消失；宋元时期(公元前 10 世纪后期至公元 14 世纪后期)，汉人迁移增加，促进了海南岛的开发，也相应加剧了森林的破坏，一些原来布满原始森林的沿海平原及台地，已辟为农田。到了清代初年，

海南岛不仅腹部地区、西南和南部地区尚有大量森林,在东北部沿海地区,也有不少林木。有热带天然林 200 万 hm^2 。光绪十一年(1885 年)冬,海南岛黎、汉两族人民联合起义,遭到清政府的残酷镇压,事后又因修筑通向五指山的道路,砍伐和烧毁了大量森林(文焕然 1980)。民国时期,海南岛森林覆盖率下降,面积减少,沿海一带,天然林备受摧残,多已荒废,尤其以北部为甚,只有各江下游及近海地区有椰子(*Cocos nucifera*)、槟榔(*Areca cathecu*)、橡胶(*Hevea brasiliensis*)等的人工林,故全岛荒山、荒地触目皆是(广东省农林局 1931)。

抗日战争时期,海南岛被日本侵略军占领,热带森林资源受到疯狂的掠夺,热带原始森林被大面积采伐,森林覆盖率大幅度下降(司徒尚纪 1987)。解放后,在人口的增长和社会经济发展的双重压力之下,海南岛森林资源又受到严重的破坏,解放初,全岛天然林面积 120 万 hm^2 ,覆盖率下降为 35%,到 1979 年,天然林面积仅为 40.5 万 hm^2 (司徒尚纪 1987)。各个时期,海南岛天然林破坏程度不同,最严重的是 1950~1979 年间,年平均毁林率高达 1.62%,年平均毁林面积为 2.74 万 hm^2 ,远高于世界热带地区的年平均毁林速度(0.6%)(李意德 1995)。1980 年后,由于采取了积极的保护措施,使得近年毁林率有所下降,但仍高于世界热带地区的平均毁林率。因此,海南岛热带森林的保护工作仍是任重道远,特别是在实施天然林保护工程后,必须进一步加强对热带森林的保护。

1.1 海南岛的地质地貌

1.1.1 区域地质

1.1.1.1 地层

海南岛岛内地层发育较全,除泥盆系和侏罗系尚无可靠证据之外,元古代至第四纪地层皆有出露。其中石炭纪以来的地层中不同程度都产有植物化石或孢粉化石。由于受后期岩浆活动和构造运动的破坏,不同时代的地层多呈岛状展布,出露面积仅 626 km^2 ,占全岛总面积的 19.6%。根据地层发育、沉积建造、岩相及生物群组合等特征,海南岛可以王五一文教断裂和感城—万宁断裂为界,划分为三个地层分区:海口分区、五指山分区和三亚分区。

(1) 海口分区:分布于王五一文教断裂以北,包括琼山、澄迈、临高、新洲等地,区内第四系广泛分布,主要由滨海相和陆相碎屑泥质沉积和火山岩组成,第三系也比较发育,普遍含玄武岩层和可燃性有机岩,另外还发育有少量的下白垩统等。

(2) 五指山分区:包括海南岛的中部,王五一文教断裂和感城—万宁断裂之间的区域,区内发育的主要是中、晚元古代和志留纪地层;石炭纪和二叠纪地层有零散分布,为滨海-浅海碎屑岩和碳酸盐岩沉积,产腕足类、珊瑚、菊石、双壳类和牙形石等化石;中生代地层仅有早三叠世和早白垩世晚期沉积,为一套陆相泥岩、砂岩和砾岩沉积。

(3) 三亚分区:包括海南岛的东南隅,感城—万宁断裂以南地区,区内早古生代地层发育,为一套滨海-浅海碎屑岩和碳酸盐岩沉积;晚古生代和中生代地层发育不全,仅有少量早石炭世和早白垩世地层出露;新生代地层主要分布于区内沿海一带,与海口分区不同的是不含火山岩。

1.1.1.2 岩浆岩

海南岛岩浆岩分布非常广泛,出露面积约为 17 000 km²,占全岛总面积的 50.66%。其中侵入岩以酸性和中酸性岩为主,广泛分布于五指山分区和三亚分区,包括海西-印支期和燕山期两个岩浆旋回,岩石类型主要为花岗岩类,构成本区五指山、尖峰岭、吊罗山和坝王岭等众多高大山系。喷出岩主要为形成于新生代的玄武岩类,广泛分布于海口分区,构成本区各种火山岩地貌。

1.1.1.3 构造地质

海南岛地壳经历了晋宁、加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅等构造运动。晋宁、加里东、海西和印支运动以褶皱运动为主,伴有断裂形变和动力变质,并有酸性和基性岩浆活动;燕山运动主要以断裂形变为特征,中酸性岩浆侵入和喷发活动十分强烈;喜马拉雅运动则以断裂活动和大规模基性岩浆喷发为主要特征。由于上述长期、频繁和复杂的构造运动,使得海南岛留下了各种各样的构造形迹,主要有东西向、北东向、北北东向和北西向,可组合成东西构造带、南北构造带、早期华夏系、晚期华夏系、新华夏系和北西向构造等构造体系,它们组成了海南岛的基本构造格架,控制着海南岛各时期沉积建造的展布、岩浆活动、变质作用以及晚近时期的山川地势。

1.1.2 地形地貌

海南岛地形地貌的形成可以追溯到早古生代,经过晋宁和加里东运动,海南岛形成了一个褶皱基底,由前泥盆纪变质岩系组成;在这个褶皱基底上沉积了晚古生代滨海-浅海碎屑岩和碳酸盐岩沉积;海西-印支期和燕山期两个岩浆旋回,引起大量花岗岩侵入,使海南岛中部地势不断上升,形成穹窿构造;喜马拉雅运动产生大面积的升降运动,最终形成了现今海南岛的地形地貌。

海南岛现今的地貌总体表现为穹窿山地的层圈地形,以中部五指山区为最高,向外围逐级下降,由山地、丘陵、台地和平原组成环绕中央山地的层圈地貌。

1.1.2.1 中部穹窿山地

海南岛中部山地面积较大,占全岛面积的 25.5%,山地之间杂有不少谷地和丘陵。主要山地有五指山区、梨母岭山区、坝王岭山区、尖峰岭山区和吊罗山区。其中,五指山区由东北到西南走向的成串山地组成,主峰高 1867 m,为海南岛第一高峰,1000 m 以上的山脊延展 15 km,岩体主要成分为印支期侵入的肉红色粗粒花岗岩或花岗闪长岩;梨母岭山区由东西走向的群山组成,主峰梨母岭高 1441 m,岩体也是由印支期侵入的肉红色粗粒花岗岩或花岗闪长岩组成;坝王岭山区也是一串东西走向的山地,其中马王岭高 1512 m,仙婆岭高 1347 m,雅加大岭高 1518 m,山体岩性为细粒花岗岩;尖峰岭山区 1000 m 以上山峰多达 80 座,最高峰尖峰岭 1412 m,也是由花岗岩体构成;吊罗山区超过 1000 m 的山峰有 37 座,其中吊罗山 1250 m,三角山 1499 m,牛上岭 1287 m,山体由花岗岩和闪长岩组成。上述山地岩体主要为坚硬的抗蚀力强的细粒花岗岩,由于不透水而使河溪密度增加,沿节理切蚀着山体而形成峭壁地形,而粗粒花岗岩岩体由于易风化,形成坡度和缓的浑圆山地,并在山体内发育了多级夷平面和肩状坡面,在面上有相应的宽广谷地、小盆地及丘陵地带。由于山地总体来说是个坡度陡的地区,气候较冷,

不适于热作,但季风雨林和热带雨林可生长于此。

1.1.2.2 丘陵地形

海南岛丘陵地形分布在中部山地区外围与台地区过渡地段,其中有山地被河谷和沟谷切割后形成的高丘陵,如五指山区的唠喃岭附近可见海拔达 800 m 的丘陵状夷平面,由馒头形的花岗岩丘岗构成,丘陵间水田宽广,形成小盆地;也有的是台地被切割后形成的低丘陵,如在乐东分布有海拔 300~450 m 不等的丘陵夷平面。另外,山地四周许多河谷盆地实际上也是由低丘台地所成,四周则为高丘所围,如白沙和屯昌盆地。丘陵地区在海拔 350 m 以下的低丘、盆地和谷地内,由于雨量充沛和河水的滋润,土质较好,又可防风,成为橡胶林分布地带。

1.1.2.3 沿海台地

海南岛沿海台地地形多样,主要由浅海相沉积的砂泥层和玄武岩风化层等组成,可分海拔 20 m 和 40~50 m 两级,逐渐向海倾斜。靠近山地的台地可以再分出一些基岩台地,亦可称为丘陵夷平面,高度在 50~60 m,在海南岛西南部可见。河流两侧的台地是由河流堆积物所成,一般下部是河床相的卵石层,上部是泛滥平原性质的砂泥层。还有一些台地是由海蚀作用形成的,如九所东北石门岭下的花岗岩石蛋地形中就保留了不少海蚀地形。根据组成物质的不同,海南岛沿海台地又可分为熔岩台地、花岗岩台地、红岩台地和变质岩台地。

(1) 熔岩台地:主要分布在海南岛北部,组成台地的物质主要是第四纪喷出的玄武岩,熔岩台地是玄武岩流沿地壳断裂涌上地表,层层加叠而形成的低平台地地形,在熔岩台地上还可见到各种火山锥地形。

(2) 花岗岩台地:在那大附近有大片的剥蚀台地,由花岗岩和花岗闪长岩构成,褶皱强烈,是一个削平的侵蚀面。

(3) 红岩台地:沿海台地主要由第三纪滨海相和浅海相沉积物组成,基底为红层或其他岩层,红层面即为夷平面。

(4) 变质岩台地:那大附近还有一些剥蚀台地是由片麻岩、千枚岩、砂岩等石炭纪以前的变质岩构成。

1.1.2.4 海岸平原带

海南岛海岸平原带主要由海岸平原、沙堤潟湖平原和三角洲平原三种地貌组成。

(1) 海岸平原:由沙堤和干潟湖组成,地势一起一伏,高处是沙堤,土质沙性,长耐旱植物,低处为沼泽低地,土质较黏,为灰黑色沼泽土。在海南岛西南部莺歌海,由于海岸泥沙流来自两个方向,使西岸形成南北走向沙堤群,在南岸形成东西走向沙堤群,两组沙堤群合成一三角形岬状沙岬,沙堤之内即成一潟湖洼地。

(2) 沙堤潟湖平原:沙堤后方有潟湖存在的海岸平原。如海南岛东部万宁的小海,即是一个典型的大潟湖,海湾被一大沙堤隔开使湾内水域成一小海,当沙堤依小丘发育形成大沙堤后,背后的海域即被沙堤围隔起来形成潟湖。

(3) 三角洲平原:海南岛虽然河流众多,但由于山林茂密,一般含沙量不大,加上河流水流量不大,真正能在河口堆积出三角洲的只有南渡江三角洲,其他如昌化江和万泉河

等河口只形成了河口平原和三角洲雏形。

另外,海南岛海岸具有典型的热带海岸地形特色,主要表现在有红色沙堤、海滩岩、红树林海岸和珊瑚礁海岸。

综上所述,海南岛地形地貌的特征总体呈多级层状分布,由中部向四周逐级降低,形成环状地形结构,土壤和植被等也相应呈环带分布;台地地形和火山地形明显;热带红树林和珊瑚礁地貌发育。这些特征反映了海南岛中部穹隆山地中生代以来一直是隆起中心,以花岗岩侵入体为主;第三纪末以来,中央山地不断上升,每次上升都将浅海底抬升成陆,形成一级海成台地或阶地,围绕着中央山地分布。海南岛北部由于晚第三纪以来还是拗陷区,在第四纪上升时成为广大的台地,由于断裂带的活动而不断喷出熔岩,形成各种火山地形。另外,由于海南岛地处热带,长期受热带环境的影响,使浅水造礁珊瑚和红树林得以大量繁衍,形成了典型的热带生物海岸地貌。

1.2 海南岛的气候及水文

海南岛属高温多雨的热带季风气候区,水热同期,干湿季明显;年辐射量 502~586 kJ/cm²;莺歌海一带最多,达 590 kJ/cm²,中部山区最少,为 460 kJ/cm²左右,年平均气温 23~35℃,最冷月均温 17~20℃,≥10℃积温 8200~9200℃(莺歌海一带最多,达 9200℃,琼中最少,也有 8150℃),≥10℃连续期 320~365 d。年日照时数 1750~2750 h,在季节分配上,一般以夏季(6~8月)最多,春季(3~5月)次之,秋季(9~11月)再次之,冬季(12~2月)最少(几乎比夏季少 1 倍左右)。年降雨量在 1500~2000 mm 之间,比较干旱的西南部在 1000 mm 左右,主要是锋面雨、台风雨和热雷雨,降雨集中在夏秋季节。

若采用候温>22℃作为夏季,<15℃作为冬季,即根据橡胶、油棕、可可、腰果等典型热带作物适宜生长临界温度和水稻适宜插秧的临界温度来定的,据此标准,海南岛夏长 8~10 月,完全无冬。候温 15~22℃的春秋季节紧密相连,且多数秋季长于春季。这是热带的重要标志之一。

海南岛因受东亚季风影响,秋末春初有一个间歇性低温期,当寒潮南下时,可发生急剧降温,24 h 降温幅度可达 10~15℃,绝对低温可降至 3℃,局部低洼地和山地甚至出现 0℃和短暂的霜冻。平均年极端最低气温除中部的琼中、白沙、五指山一带 3~5℃外,其他地区都在 5℃以上,其中琼海和东方以南的沿海地区都大于 8℃。年极端最低气温≤5℃的频率,也是琼中、白沙、五指山一带最高,在 62%~72%之间(即 10 年约 6~7 遇),其次为北部地区,在 20%~38%之间(即 10 年 2~4 遇),上述地区年极端最低气温>5℃的保证率小于 80%,是海南岛冷害显著的地区。万宁、陵水到乐东沿海地区没有出现过≤5℃的气温,岛上其他地区约 10 年一遇或 20 年一遇。

30 年来达到寒潮标准(绝对低温低于 5℃,降温幅度大于 10℃)有 6 次(1955 年、1963 年、1967 年、1968 年、1974 年、1976 年),橡胶等热带作物和喜温冬种作物在不同地方有不同程度的寒害。最近一次寒潮是发生于 1976 年,是 6 次寒潮中仅次于 1955 年。这次寒潮从 12 月至翌年 1 月中,1 个月中先后出现 2 次断续性的平流-辐射降温,位于黎丹岭北坡的大丰农场绝对最低温度为 0.1℃,凝霜共 11 d。橡胶受害面积占全岛植胶面积的

73.8%，开割胶树受害率达 50.6%，其中北部和西北部最重占 61%，东北部较轻占 39%，南部 4 县基本无寒害。

海南岛处于南海和太平洋台风影响范围，夏秋台风活动频繁。每年 5~11 月为台风季节，以 8~10 月最多。30 年来在海南岛登陆的台风 72 次，平均每年 2.7 次(包括登陆和影响在内每年平均 5.8 次)，其中风力大于 12 级的强台风 30 年来有 10 次，其中以 1973 年 5 月 14 号强台风在琼海登陆，掠过中北部山区，由琼西北出海。琼海最大风力达 17 级(最大风速 61.2 m/s)，琼海市城砖瓦屋几乎全部摧毁。台风经过的琼海、琼中、屯昌和文昌等县的橡胶风害断倒率达 50%~90%，这是历史上罕见的一次台风灾害。

台风登陆地点，以东部万宁至文昌一带最多，次之为琼东北和琼中东南。台风登陆后，由东向西或由沿海平原向内陆山地风力可减弱 1~2 级。根据风害指标，台风登陆过境情况，全岛可分 I 重风害、II 中风害、III 轻风害三个类型。因此，处位置及台风登陆、经过和出海等不同情况，又可分 I1 多台风登陆重风害；I2 少台风经过和出海重风害；II1 少台风登陆中风害；II2 多台风经过中风害；III1 多台风出海轻风害；III2 少台风经过轻风害；III3 少台风经过出海轻风害。在土地资源开发利用时，必须因地制宜，因害设防。

海南岛雨量充沛，降水时空变化大。东部迎风区年雨量达 2000~2500 mm，处于背风面又有干热风影响的西部沿海年雨量不到 1000 mm(东方 990 mm)。全岛约有 2/3 的范围年雨量在 1600~2000 mm 之间。特别干且少雨的地域仅限于西南沿海一带。表示水热对比关系的干燥度在 0.5~1.4 之间，其分布与雨量分布相反，具有由东向西增加的特点。根据年雨量、干燥度和旱季长短，全岛分 I 潮湿、II 湿润、III 半湿润、IV 半干旱四个类型。其分布是：琼中、万宁、琼海、屯昌等县属潮湿；文昌、琼山、定安、澄迈、儋州、白沙、五指山、保亭等县属湿润；临高、昌江、乐东、陵水、三亚属半湿润；东方和乐东沿海属半干旱类型。

海南岛不仅具有东湿西干的特点，季节干湿交替也很明显。5~10 月为雨季，占年雨量的 75%~90%，11~4 月为旱季，雨量很少。雨热同期，干凉同季的气候特点，对调节水热平衡和促进物质能量交换与循环，以及安排水旱轮作制，亦有其可取之处。岛上降水因受季风和台风影响，春旱秋涝成为规律，尤以春旱为明显。单纯的春旱，为期较短，但比较普遍。春秋连旱，往往长达半年以上。据海南水电局统计，近 10 多年来早稻受旱面积 100~120 万亩^①的有 3 年(1970 年、1977 年、1980 年)，50~80 万亩的有 5 年(1969 年、1971 年、1975 年、1978 年、1979 年)。1977 年大旱，从 1976 年秋至 1978 年春，早期长达 18 个月，无透雨天数 312~350 d。这次连旱出现期都超过 20 年一遇，其中万宁、琼中、屯昌、保亭、陵水等县达 100 年一遇。由于降水特少，1977 年 11 月统计，全岛有效蓄水量仅 16.1 亿 m³，占有有效蓄水库容 40.7%，因而 1978 年早稻仅能插下 261 万亩，比 1977 年早稻减少 65 万亩。1980 年大旱情况也比较严重的。

降水集中、暴雨性强的特点也很突出。五指山东南坡和靠近北部湾的尖峰岭是广东暴雨中心之一，尖峰岭曾出现过 749.2 mm 的记录。海南各地台风雨约占年雨量的 30%~50%。其中特大暴雨几乎都由台风雨造成。海南岛地形中高周低，河流向四周放射

^① 1 亩 = $\frac{1}{15}$ hm²