

 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 维持机制

臧润国 安树青 陶建平 蒋有绪 王伯荪 等著

ife

科学出版社



 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 维持机制

臧润国 安树青 陶建平 蒋有绪 王伯荪 等著

科学出版社

内 容 简 介

本书是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)”和几个面上基金项目研究成果之一,主要以课题组成员对海南岛热带林及相关对象的第一手调查、测定材料为基础,结合研究者以往对海南岛研究经验的积累和对国内外相关文献的消化吸收,在热带林生物多样性维持机制的主题下贯穿而成。本书分别从森林植物群落生态学、种群生态学、干扰生态学等角度,研究了海南岛热带林生物多样性的格局及其维持机制。主要内容包括:海南岛热带林群落类型与数量分类、热带林物种多样性随海拔梯度的变化、热带林低密度种、热带林物种多样性的动态维持机制、热带林林隙与树种多样性、热带林森林循环过程、采伐干扰后热带林群落结构与物种多样性的变化、热带次生林群落恢复与动态演替规律、热带林藤本植物动态变化、热带林种子雨及种子库动态、热带林景观斑块特征等,最后概述了海南岛热带林生物多样性维持机制研究的理论成果,并对海南岛生物多样性的保护与可持续利用提出了对策。

本书可供从事生态学、林学、植物学、地理学、农学和环境科学的研究人员和管理工作者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维持机制/臧润国等著. —北京:科学出版社, 2004.6

ISBN 7-03-012984-9

I. 海… II. 臧… 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(2004)第020197号

责任编辑:韩学哲 李久进 贾学文/责任校对:包志虹

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年6月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:2

印数:1—1 200 字数:354 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《海南岛热带林生物多样性维持机制》

参加编写人员

(以姓氏笔画排列)

马凡强	王中生	王伯荪	成克武
安树青	李意德	张世挺	张炜银
卓元午	郑建伟	项华均	郭志华
陶建平	黄世能	蒋有绪	覃凤飞
臧润国			

前 言

生物多样性的形成机制是生物多样性研究中的一个重要科学议题，是国内外学者公认的一个难点，也是最值得研究的一个热点问题。从国际生物多样性和热带林科学研究的发展趋势来看，有关生物多样性及其形成机制的研究是许多相关学科如生物学、区系学、生态学、古生物学和遗传学等研究的前沿议题之一。广义上的生物多样性形成机制应包含生物多样性的维持机制，因为如果没有维持机制的存在，经过各种途径形成的生物多样性也不会在现实条件下长久存在。

海南省是我国最大的热带省份，海南岛的热带林属于亚洲雨林的北缘类型，在区系和结构上均与典型的亚洲雨林有较大的差别，同时它又是我国森林植被中区系和结构最复杂的类型，与我国大陆的森林植被有较大的差异，具有很高的特有性、多样性和复杂性，是我国乃至世界宝贵的自然财富，有十分重要的保护价值和科学意义。海南岛南部山区是我国当前 27 个生物多样性热点地区之一，但面临着严重的社会经济压力。海南岛在尖峰岭、霸王岭、五指山、吊罗山等都保存有一定面积的原生热带沟谷雨林、季雨林、山地雨林、高山矮林等及它们的演替系列，同时也具有由各类热带林被破坏后所形成的各种退化生态系统类型，这些不同类型的热带林及其丰富的物种多样性和高度的环境异质性为我们开展热带林生物多样性形成与维持机制的研究提供了良好野外调查、对比试验和系统分析的对象。海南岛有非常明确的自然边界，其干扰体系、地质历史过程和与周边区系的关系都较易于分析，有利于对热带林生物多样性形成、维持和变化规律的认识；海南岛全岛中高周低，地貌地势既复杂多变又有一定的规律性，岛内生态因子、生境、物种分布和生物群落类型呈现明显的受不同环境驱动影响的水平格局和垂直梯度变化规律；加之组成物种多样、群落结构复杂，生物多样性的格局及其动态关系都有不同程度、不同方式的表达。目前，在海南省生态建设中，已全面开始实施的天然林保护工程、野生动植物保护和自然保护区建设工程及退耕还林工程，都把热带天然林生物多样性的保育和退化生态系统的恢复与重建作为工程的重要内容，海南岛热带林生物多样性形成与维持机制的研究成果无疑会对这些林业生态建设工程提供重要的理论指导和基本的科学依据。

本书是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)”阶段性研究成果专著《海南岛热带林生物多样性及其形成机制》之后的又一成果。主要以课题组成员对海南岛热带林及相关对象的第一手调查、测定材料为基础，结合研究者以往对海南岛的研究经验的积累和对国际热带林及生物多样性相关学科最新研究进展的分析与综合，在热带林生物多样性维持机制的主题下贯穿而成。本书中维持机制的研究与分析首先是基于对热带林生物多样性结构或格局的了解，格局(pattern)方面主要研究的是热带林种群与群落生物多样性在不同时空下的表现形式，而维

持 (maintenance) 主要是探讨这些表现形式保持的动力、过程与影响因素。本书的主要目的是对已有的研究工作和成果进行系统的总结, 概括出主要规律, 为海南岛热带林生物多样性的进一步深入研究奠定基础, 同时也是为了同国内外同行开展学术交流, 促进生物多样性科学研究的发展和热带林的可持续经营。国家自然科学基金重点项目原计划的总体目标是: 根据古生物学、区系学、生态学、分子生物学及 3S 技术等理论与方法, 以海南岛典型的热带天然林作为基本研究对象, 从不同的时空尺度上综合分析热带天然林植物和群落类型的发展变化及其与古今生态条件的关系。在系统研究与综合分析的基础上构建较为完善的森林生物多样性形成机制的理论体系, 为合理保护和利用热带林生物多样性资源提供依据。该项目原计划应完成以下 3 个方面的任务: ①研究热带林生物多样性的历史发生及演化过程; ②分析生态环境与森林群落及森林植物空间格局形成的关系, 研究群落内生态位、种间关系和斑块镶嵌体系, 阐明热带林群落类型分化和群落内物种多样性协同进化关系的形成规律; ③通过热带林特征种和特有种遗传多样性的分析测定, 探索森林植物多样性形成的遗传变异机制。对应上述三大研究内容, 我们把项目分解为三个相应的课题, 第一课题主要由中山大学承担, 第二课题主要由中国林业科学研究院承担, 第三课题主要由北京林业大学承担。通过四年来艰苦细致的研究, 项目各课题基本上都按原计划顺利完成任务, 但由于工作条件艰苦、课题难度大、研究时间短和经费紧张等原因, 某些方面的工作目前未能全部按计划完成或做了适当的调整。如在区域尺度 (全岛) 上的工作不够深入; 根据国内外研究动态和我们的工作基础等, 增加了分子系统学等方面的内容。

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)”、“海南岛热带山地雨林林隙种子及幼苗库动态规律研究 (30070602)”、“海南岛热带山地雨林与藤本植物有关的林隙动态规律研究 (30270244)”与“海南热带山地雨林低密度种形成与维持的群落学机制 (30070134)”的资助。第三、第七、第十章的内容同时也分别是国家基金重点项目资助下第一作者在中山大学从事博士后或博士工作的部分成果, 第十三章 13.3~13.5 的部分内容还得到了中国科学院院士咨询项目“海南热带陆海生物资源保护与可持续利用”的支持, 其中汇聚了郑学勤等多位参加该项目人员的考察汇总成果。

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王伯荪教授和蒋有绪教授共同主持下完成的, 全书的统稿、文字编校工作和出版事宜是由臧润国完成的。各章节的作者名单如下: 前言 (臧润国、王伯荪、蒋有绪); 第一章 (陶建平、臧润国、张炜银); 第二章 (臧润国、陶建平、蒋有绪); 第三章 (3.1 安树青、王伯荪、王中生、郑建伟; 3.2 安树青、王伯荪、卓元午、项华均、覃凤飞); 第四章 (臧润国); 第五章 (臧润国、陶建平); 第六章 (臧润国); 第七章 (7.1 臧润国; 7.2 安树青、王伯荪); 第八章 (陶建平、臧润国、张炜银、马凡强); 第九章 (9.1 臧润国、马凡强; 9.2 安树青、项华均、张世挺); 第十章 (黄世能、王伯荪、李意德); 第十一章 (郭志华、臧润国、蒋有绪); 第十二章 (12.1 安树青、项华均、张世挺; 12.2 臧润国); 第十三章 (13.1 成克武、蒋有绪、臧润国; 13.2 臧润国、成克武、蒋有绪; 13.3~13.5 蒋有绪、陶建平、臧润国)。

本专著的完成得到了有关同仁和领导的大力支持，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、中山大学、南京大学等单位给予我们的支持和帮助！本书的出版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
2003 年

目 录

前 言

第一章 热带森林群落的数量分类与排序	(1)
1.1 应用 TWINSpan 对热带林群落分类	(2)
1.2 群落排序	(10)
1.3 关于热带森林植被分类及排序的方法比较	(12)
第二章 海拔梯度上热带林物种多样性格局	(15)
2.1 物种多样性沿海拔梯度的变化趋势	(16)
2.2 不同森林群落类型物种多样性特征	(21)
2.3 海拔梯度上物种多样性的格局与维持机制探讨	(23)
第三章 热带林的物种丰富度和低密度种与物种多样性维持	(27)
3.1 热带林物种丰富度的分布与估测	(27)
3.2 热带林的低密度种及其形成与维持机制	(35)
第四章 热带林生物多样性的动态维持	(42)
4.1 热带森林生物多样性的格局与维持机制	(43)
4.2 热带林的干扰体系与生物多样性维持	(44)
4.3 演替动态与树种多样性	(49)
4.4 热带林种子及幼苗与生物多样性动态维持	(51)
4.5 热带林的功能群与藤本植物在生物多样性动态中的作用	(56)
第五章 热带林林隙与树种多样性	(59)
5.1 热带林林隙特征	(59)
5.2 热带林林隙更新	(68)
第六章 热带森林循环过程与物种多样性	(75)
6.1 热带森林循环过程中的环境因子分析	(75)
6.2 热带森林循环过程与群落特征	(81)
第七章 热带林采伐干扰与物种多样性	(90)
7.1 热带伐后林结构与物种多样性	(91)
7.2 模拟采伐对热带林物种多样性影响	(96)
第八章 热带林藤本植物与物种多样性维持	(101)
8.1 海南岛霸王岭地区藤本植物区系及物种多样性分析	(101)
8.2 海南霸王岭热带山地雨林藤本植物与林隙更新	(110)
8.3 藤本植物在热带林及其生物多样性维持中的作用	(118)
第九章 热带林种子雨、种子库动态与物种多样性维持	(122)

9.1	热带林林隙的种子雨动态	(122)
9.2	热带林种子库动态	(132)
第十章	热带林次生演替与物种多样性	(141)
10.1	次生演替过程中的林木消长格局	(142)
10.2	次生群落演替过程中树种生态位特征	(150)
10.3	次生群落演替过程中物种联结	(160)
第十一章	热带林景观斑块特征分析	(166)
11.1	景观多样性概述	(166)
11.2	海南岛植被斑块的大小特征及其分形特征	(169)
第十二章	热带林生物多样性维持机制理论	(183)
12.1	热带林物种共存与生物多样性维持机制的主要假说	(183)
12.2	海南岛热带林生物多样性维持机制研究的理论概述	(190)
第十三章	海南岛生物多样性的保护与可持续利用对策	(198)
13.1	生物多样性保护与研究概况	(198)
13.2	中国生物多样性保护与研究对策	(201)
13.3	海南热带生物多样性资源及其保护与利用现状	(203)
13.4	海南热带生物多样性资源保护中存在的问题	(206)
13.5	海南热带生物多样性资源保护与可持续利用对策	(208)
主要参考文献		(211)

第一章 热带森林群落的数量分类与排序

热带森林群落分类是一个比较复杂的问题,一方面是由于季风影响下的气候变化程度不同,不同群落间难以划分出截然明确的界限;另外,热带山地垂直分布的森林群落的性质随海拔升高而发生的变化也是逐渐形成的,也很难区分群落之间的明显界限(蒋有绪等,1998)。同时,热带森林植被的分类,尤其是在低级植被类型的划分上,由于群落中物种组成的丰富性和常有不明显的优势种和建群种,一定面积的样地中相当多的物种仅有1个、2个个体,加之由于植被分布具有连续性和样地的界线不明显,存在有如何选择代表性样地的问题,这些原因都导致了热带森林植被分类远比其他类型植被分类困难(杨小波等,1995;余世孝,1995a;余世孝等,2001a;王伯荪等,2002)。因此,热带森林植被的分类到目前为止仍然没有较为一致的看法(杨小波等,1995),Richard也认为热带雨林无法分类到群丛(余世孝等,2001a)。但是也有学者认为,造成热带森林植被分类的困难,在某种意义上也许只能看作是认识上的问题,是分类原则和方法的问题,有待于进一步地探索和深化(王伯荪,1987)。

海南岛的热带森林长期以来都是植物学、林学和生态研究的热点,较全面而系统研讨海南岛热带森林植被类型的论著则不多(陈树培等,1982;广东森林编辑委员会,1990;广东植物研究所,1976;胡玉佳等,1992;侯宽昭等,1955;王伯荪等,2002;张宏达,1963;中国森林编辑委员会,1999;中国植被编辑委员会,1980)。有学者认为,热带雨林群落分类中要划分到基本单位群丛在技术上看存在困难,但对于热带混合林可考虑采用混合群丛作为基本单位(胡玉佳等,1992;张宏达,1963)。关于海南岛的森林植被类型及其基本特征,已在《海南岛热带林生物多样性及其形成机制》(蒋有绪等,2002)中做了系统介绍。在海南岛热带林分类的研究中,早期概要性的工作较多,这些研究大都根据植物区系成分原则并结合生态-外貌原则,将海南热带森林群落划分至群系,最近已有学者(王伯荪等,2002)将群落分类等级细划至群丛组和群丛,并对代表类型进行了描述,这是海南岛热带森林植被分类的一个较大进展。在海南进行的植被分类的具体工作主要有:胡玉佳(1983)对海南龙脑香森林的研究、俞通全(1983)对山地雨林的研究、杨小波等(1995)对尖峰岭地区热带森林植被分类的研究及余世孝(1995a)对霸王岭山地雨林和山地常绿林分类的研究等,其中前两者主要是使用传统的分类方法,而后两者则进行了数量分类方法在热带森林植被分类中的尝试。目前对海南岛热带森林植被类型的划分还存在分歧,容易产生学术上和实践上的困扰和混淆(王伯荪等,2002)。因此,对海南热带森林植被的分类系统还需进一步研究、修订和统一,特别是通过采用不同的分类技术,对具体的植被类型进行细划、确定和特征描述还应深入,这对在海南形成一个普遍认可的、统一的热带森林植被分类系统是十分必要的。

数量植被分析方法是利用植被数据本身取得最佳的分类效果(Richards,1996)。多元数量分析技术已在植被生态研究中得到了普遍重视,其中的数量分类和排序是现代最常用的植被数量分析方法(Burke,2001;Cilliers et al.,2000;Olvera-Vargas et al.,

2000; Palmer, 1993; Russell-Smith, 1990; Velázquez, 1994; 姜安如, 1998; 史作民等, 2000; 孙雪新等, 1994), 但是, 热带森林植被分类由于存在上面提及的困难, 有关数量分类的研究并不多见 (Austin et al., 1972; Newbrey et al., 1984; Russell-Smith, 1990; ter Braak, 1986; Velázquez, 1994; 杨小波等, 1995; 余世孝, 1995a)。本章拟利用海南霸王岭自然保护区沿海拔梯度调查的 2.95hm^2 连续样带的群落资料, 结合地形参数, 在不同取样尺度下, 使用 TWINSpan、DCA、PCA 和 CCA 等数量分类和排序的方法, 对不同海拔梯度上的热带森林植被进行分类和描述, 为今后进一步深入分析热带林生物多样性的格局与维持机制奠定基础。本章主要探讨: ①海南霸王岭热带森林植被类型的划分; ②数量分类和排序方法在热带植被分类中的应用及不同方法优劣的比较; ③取样尺度在热带森林分类中的作用。

野外调查地点在海南岛霸王岭, 位于海南省昌江县与白沙县交界处霸王岭自然保护区内, 地理坐标为 $N 18^{\circ}50' \sim 19^{\circ}05'$, $E 109^{\circ}05' \sim 109^{\circ}25'$ 。霸王岭为东北-西南走向的山脉, 主峰 1437m, 东南坡面对太平洋季风, 具有较高的雨量, 有较明显的干湿季, 年降雨量达 2000mm 以上, 由于海拔较高, 云雾成为降水的重要来源。本地区年均气温 20°C 左右, 土壤类型为花岗岩母质发育成的山地砖红壤和山地黄壤。其中于 1980 年建立的长臂猿自然保护区, 主要分布在海拔 700~1430m, 优势植被类型为热带山地雨林, 也分布有热带低山雨林、热带云雾林、热带山地矮林等植被类型 (蒋有绪等, 2002)。野外调查中地形因子测定采用沈泽昊等 (2000) 的方法, 共计测海拔、坡向、坡度和微地形 (坡位) 四个指标, 同时计测林冠郁闭度。群落调查的样带选择在保护区的核心区内, 调查地区的植被人为干扰极小, 是海南岛保存较为完好的热带林垂直梯度系列。自霸王岭南叉河保护站以下的沟谷林开始 (海拔约 550m), 沿东坡连续到山顶 (海拔 1370m) 止, 做一条 $10\text{m} \times 2950\text{m}$ 的连续样带 (样带的长度以走过的坡长计算, 不完全与海拔高度一致), 从沟谷到山顶, 沿坡面以 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 为基本单位作样方调查。在样方内, 对所有高度 $\geq 1.5\text{m}$ 的树木作每木调查, 记录树木种名、高度及胸径。

样带上 295 个基本样方分别按步长 50m、100m 和 250m 合并成面积为 500m^2 (5 个连续的基本样方合并)、 1000m^2 (10 个连续的基本样方合并, 其中 30 号样地为 500m^2) 和 2500m^2 (25 个连续的基本样方合并, 其中 12 号样地为 2000m^2) 的样地, 三种尺度合并的样地数量分别为 59 个、30 个和 12 个。计算不同尺度的每一样地内物种的重要值, 用不同样地的物种重要值构成数据矩阵, 采用二元指示种分析 (TWINSpan) 进行群落数量分类, 主分量分析 (PCA)、趋势对应分析 (DCA) 和典范对应分析 (CCA) 进行群落排序, 并进行地形因子对群落分布和种类组成影响的分析 (张金屯, 1995)。所有群落数量分析过程使用 PC-ORD4 生态分析软件完成, 分别用重要值、多样性指数 (Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Margalef's 指数、均匀度指数和丰富度指数) 及地形因子和群落郁闭度作为变量对 TWINSpan 分类的结果作判别分析, 分析过程用 SPSS 统计分析软件完成。

1.1 应用 TWINSpan 对热带林群落分类

1.1.1 不同尺度群落数量分类

TWINSpan 分类方法是 Hill (1979) 在指示种分析的基础上发展起来的一种多元

等级划分方法。在本章的分析中，根据物种重要值的大小，选用的假种分级等级为：0~5，5~10，10~20，20~30，30~50，50~70，70~100，最后列表的最大物种数为210，最大划分分级水平为4，不同基本样方合并情况下用来划分每一群落类型的最少样地个数为：6个（5个基本样方合并）、4个（10个基本样方合并）和3个（25个基本样方合并）。表1-1是在三种不同尺度下 TWINSpan 对群落类型的划分结果。

表 1-1 不同尺度群落 TWINSpan 分类结果比较

(1) 5 个基本样方合并						
44	22222	22222333333333	44444344455555	1111111111	55555	样地号
56	01234	56789012345678	01234978901234	1234567890789123456	56789	
00	00000	00000000000000	11111111111111	111111111111111111	11111	
00	11111	11111111111111	00000000000000	000000000000000000	11111	分组结果
	00000	11111111111111	00000000000000	111111111111111111		
		00000000000111	00000111111111	000000000000111111		
I	II	III	IV	V	VI	
(2) 10 个基本样方合并						
2	1111	1111112	222222	223		样地号
3	1023	4567890	124567	123456789	890	
0	0000	0000000	111111	111111111	111	
0	1111	1111111	000000	000000000	111	分组结果
	0000	1111111	000000	111111111		
	0111	0000001	001111	000001111		
I	II	III	IV	V	VI	
(3) 25 个基本样方合并						
			I		11	样地号
	567	8	90	412	3	12
	000	0	00	111	1	11
	000	0	11	000	0	11
	000	1		000	1	分组结果
	011			011		
	I	II	III	IV	V	VI

(1) 以 50m 为步长合并的 59 个样地在第三级划分水平上可分为 6 种类型。群落 I：包括样地 45 和 46，该类型分布的海拔高为 1350m 以上，属于山地常绿林。群落 II：包括样地 20~24，分布的海拔高度为 970~1050m，属于低山雨林到山地雨林的过渡带。群落 III：包括样地 25~38，分布海拔为 1050~1350m，属于热带山地雨林。群落 IV：包括样地 39~44 和 47~54，分布海拔为 600~780m，属于沟谷雨林类型。群落 V：包括样地 1~19，分布海拔为 790~970m，属于热带低山雨林类型。群落 VI：包括样地 55~59，分布海拔为≤600m，属于热带季雨林类型。

(2) 以 100m 为步长合并的 30 个样地在第三级划分水平也分为 6 种群落类型。群落 I：包括样地 23。群落 II：包括样地 10~13。群落 III：包括样地 14~20。群落 IV：包括样地 21、22 和 24~27。群落 V：包括样地 1~9。群落 VI：包括样地 28、29 和 30。

从每一群落类型所包含的样地号可以看出，在 100m 步长尺度上所划分的各个群落分布的海拔高度和所属的森林植被类型同以 50m 为步长所划分的群落类型几乎没有差异。

(3) 以 250m 为步长合并的 12 个样地也分为 6 种群落类型。群落 I：包括样地 5、6 和 7。群落 II：包括样地 8。群落 III：包括样地 9 和 10。群落 IV：包括样地 1、2 和 4。群落 V：包括样地 3。群落 VI：包括样地 11 和 12。在此尺度下的数量分类结果不甚理想，群落 I 和群落 II 分布的海拔梯度为 1040~1315m，大致可属于热带山地雨林类型，群落 III 的海拔范围为 600~640m，大致属于沟谷雨林的范畴，群落 IV 和群落 V 的海拔范围为 790~970m，属于热带低山雨林，群落 VI 的海拔范围是≤600m，其中分布有热带季雨林和沟谷雨林两种热带森林植被类型。可见，较大尺度上的 TWINSpan 分类导致了群落类型减少（未能分出山地常绿林），同时，各群落分组之间还存在植被类型的重叠。

表 1-2 不同取样步长和不同分类水平下 TWINSpan 分类结果的判别分析（单位：%）

			2L	3L	4L	5L	
变 量	基 于 重 要 值	5 样方合并	判对率	94.9	86.4	91.5	81.4
			判错率	5.1	13.6	8.5	18.6
		10 样方合并	判对率	86.7	80.0	73.3	33.3
			判错率	13.3	20.0	26.7	66.7
		25 样方合并	判对率	100.0	41.7	50.0	—
			判错率	0.0	58.3	50.0	—
	基 于 物 种 多 样 性	5 样方合并	判对率	78.0	55.9	42.4	39.0
			判错率	22.0	44.1	57.6	61.0
		10 样方合并	判对率	70.0	46.7	33.3	30.0
			判错率	30.0	53.3	66.7	70.0
		25 样方合并	判对率	25.0	25.0	8.3	—
			判错率	75.0	75.0	91.7	—
	基 于 地 形 参 数	5 样方合并	判对率	86.4	84.7	55.9	50.8
			判错率	13.6	15.3	44.1	49.2
		10 样方合并	判对率	90.0	90.0	73.3	63.3
			判错率	10.0	10.0	26.7	36.7
		25 样方合并	判对率	58.3	50.0	25.0	—
			判错率	41.7	50.0	75.0	—

1.1.2 TWINSpan 分类结果的判别分析

使用逐步判别分析对三种不同步长群落的 TWINSpan 分类结果的分析表明：50m 步长和 100m 步长的分类结果都有较高判对率，而 250m 步长的判对率较低；使用多样性作为变量的判别分析结果在不同群落步长上和不同划分水平上的判错比率都很大，这表明，在本研究中多样性指标不宜作为判别分析的变量来检验分类结果；随着分类水平

的提高，分类的错判率会随之升高，但较低的分类水平又达不到分类的目的，因此，使用 TWINSpan 作群落分类时应根据具体的植被类型、研究尺度的大小及研究的目的确定合适的分类水平（表 1-2）。

根据判别分析的判对率结合野外群落调查的实际情况，我们选择以地形因子和重要值为变量，分析了 50m 步长和 100m 步长 TWINSpan 在第四划分水平时的样地分类结果和效果（表 1-3~表 1-6）。在 100m 步长时，TWINSpan 划分的 4 组、7 组、8 组、9 组、10 组有较高的判对率，即 10 基本样方合并后的 1~10、12~19、24~30 样地都有较好的群落分类结果；相反，TWINSpan 划分的 1 组、2 组、5 组、6 组则判对率极低，即 10 基本样方合并后的 11 样地和 20~23 样地的群落分类结果不甚理想（表 1-1，表 1-3，表 1-5）。在 50m 步长时，TWINSpan 划分的 3 组、5 组、6 组、8 组、9 组有较高的判对率，即 5 基本样方合并后的 1~19、25~35、39~44 和 47~59 样地都有较好的群落分类结果；相反，TWINSpan 划分的 1 组、2 组、4 组则判对率极低，即 5 基本样方合并后的 20~24、36~38 和 45~46 样地的群落分类结果不甚理想（表 1-1，表 1-4，表 1-6）。

表 1-3 基于地形因子，10 基本样地合并的预测分类结果

	VAR010	TWINSpan 划分的组										总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
数目	1	0				1						1
	2		0	1								1
	3			2						1		3
	4			1	4	1						6
	5	1				0						1
	6						0	2				2
	7							4				4
	8								5			5
	9									4		4
	10										3	3
%	1	00.0				100.0						100.0
	2		00.0	100.0								100.0
	3			66.7						33.3	00.0	100.0
	4			16.7	66.7	16.7						100.0
	5	100.0				00.0						100.0
	6						00.0	100.0				100.0
	7							100.0				100.0
	8								100.0			100.0
	9									100.0	00.0	100.0
	10									00.0	100.0	100.0

注：判别正确率 73.3%。

表 1-4 基于地形因子, 5 基本样地合并的预测分类结果

	VAR007	TWINSpan 划分的组									总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
数目	1	0		2							2
	2		0	4				1			5
	3			10				1			11
	4			3	0						3
	5				1	4					5
	6				1		6	2			9
	7		2			3	1	4	3		13
	8							2	4		6
	9									5	5
%	1	00.0		100.0							100.0
	2		00.0	80.0				20.0			100.0
	3			90.9				9.1			100.0
	4			100.0	00.0						100.0
	5				20.0	80.0					100.0
	6				11.1		66.7	22.2			100.0
	7		15.4			23.1	7.7	30.8	23.1		100.0
	8							33.3	66.7		100.0
	9									100.0	100.0

注: 判别正确率 55.9%。

表 1-5 基于重要值, 10 基本样地合并的预测分类结果

	VAR209	TWINSpan 划分的组										总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
数目	1	0	1									1
	2		0									1
	3		1	1	1							3
	4				6							6
	5					0		1				1
	6						2					2
	7						1	3				4
	8				1				3	1		5
	9									4		4
	10										3	3

续表

	VAR209	TWINSpan 划分的组										总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
%	1	00.0	100.0									100.0
	2		00.0				100.0					100.0
	3		33.3	33.3	33.3							100.0
	4				100.0							100.0
	5					00.0		100.0				100.0
	6						100.0					100.0
	7						25.0	75.0				100.0
	8				20.0				60.0	20.0		100.0
	9									100.0		100.0
	10									00.0	100.0	100.0

注：判别正确率 73.3%。

表 1-6 基于重要值，5 基本样地合并的预测分类结果

	VAR209	TWINSpan 划分的组									总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
数目	1	1								1	2
	2		5								5
	3			11							11
	4				2		1				3
	5					4		1			5
	6	1					7	1			9
	7							13			13
	8								6		6
	9									5	5
%	1	50.0								50.0	100.0
	2		100.0								100.0
	3			100.0							100.0
	4				66.7		33.3				100.0
	5					80.0		20.0			100.0
	6	11.1					77.8	11.1			100.0
	7							100.0			100.0
	8								100.0		100.0
	9									100.0	100.0

注：判别正确率 91.5%。

表 1-7 海南霸王岭海拔梯度热带森林植被类型、分布及特点

植被类型	海拔范围 /m	乔木层($H \geq 5m$)				灌木层($H < 5m$, 包括乔木幼树)			
		个体数量 (个/ hm^2)	种数 (个/1000m ²)	Σ 胸高面积 (m ² ·hm ²)	最大树高 /m	平均树高 /m	个体数量 (个/ hm^2)	种数 (个/1000m ²)	Σ 胸高面积 /m ²
1 山地常绿林(植被型) ¹⁾	≥ 1350								
绣毛杜英 + 黄背青冈 + 陆均松 - 野牡丹 + 狗牙花群丛组 ²⁾		2650	44	54.80	16	7.19	4300	51	1.90
2 山地雨林(植被型) ³⁾	970~1350								
陆均松群系 ⁴⁾									
陆均松 + 黄叶树 + 竹叶栎 - 九节 + 谷木 + 狗牙花群丛组 ⁵⁾		1960	53	67.55	38	10.06	3947	48	1.73
陆均松 + 黄叶树 + 红柯 - 三角瓣花 + 罗伞 + 谷木群丛组 ⁶⁾		1593	65	74.87	48	11.44	2167	63	1.27
陆均松 + 白椎 + 黄背青冈 - 野牡丹 + 九节 + 狗牙花群丛组 ⁷⁾		1636	52	63.79	45	9.85	568	68	1.45
3 热带雨林(植被型) ⁸⁾	600~970								
低山雨林(植被亚型) ⁹⁾	670~970								
翅子树 + 母生群系 ¹⁰⁾									
翅子树 + 母生 + 高山榕 + 加冬 - 九节 + 三角瓣花 + 罗伞群丛组 ¹¹⁾		1297	51	65.24	49	11.12	1612	63	0.64
翅子树 + 母生 + 拟赤杨 - 九节 + 狗牙花 + 柏拉木群丛组 ¹²⁾		1436	42	44.64	30	11.33	1324	33	0.80
低山沟谷雨林(植被亚型) ¹³⁾	600~780								
青梅群系 ¹⁴⁾									