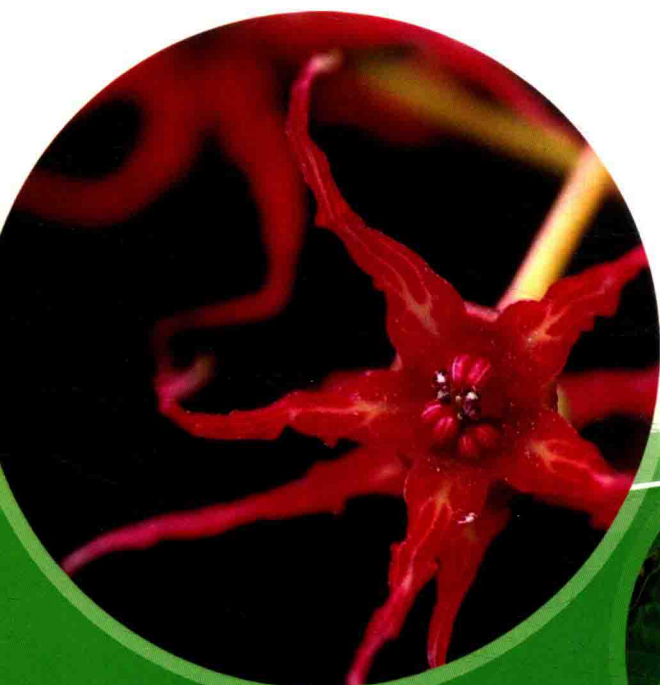


谢国文 李海生 郑毅胜 谭策铭 等 著

珍稀濒危植物的 生物多样性研究

The Biodiversity of Rare and Endangered Plants

以双花木、秤锤树、掌叶木等属为例



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

国家自然科学基金项目(31270259)资助

国家自然科学基金项目(31540069)资助

国家自然科学基金项目(30970191)资助

国家自然科学基金项目(30470146)资助

国家自然科学基金项目(39460011)资助

全国大学生创新训练项目资助

全国大学生“挑战杯”项目资助

珍稀濒危植物的 生物多样性研究

The Biodiversity of Rare and Endangered Plants

以双花木、秤锤树、掌叶木等属为例

谢国文 李海生 郑毅胜 谭策铭 等 著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

珍稀濒危植物的生物多样性研究: 以双花木、秤锤树、掌叶木等属为例 / 谢国文, 李海生, 郑毅胜, 谭策铭等著. —广州: 暨南大学出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5668 - 1963 - 5

I. ①珍… II. ①谢…②李…③郑…④谭… III. ①珍稀植物—濒危植物—生物多样性—生物资源保护—研究 IV. ①Q94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 248174 号

珍稀濒危植物的生物多样性研究

ZHENXI BINWEI ZHIWU DE SHENGWU DUOYANGXING YANJIU

著者 谢国文 李海生 郑毅胜 谭策铭 等

出版人 徐义雄
策划编辑 张仲玲
责任编辑 黄文科 林冬丽 柳 煦
责任校对 王嘉涵 李林达
责任印制 汤慧君 周一丹

出版发行 暨南大学出版社 (510630)
电 话 总编室 (8620) 85221601
营销部 (8620) 85225284 85228291 85228292 (邮购)
传 真 (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)
网 址 <http://www.jnupress.com> <http://press.jnu.edu.cn>
排 版 广州尚文数码科技有限公司
印 刷 深圳市新联美术印刷有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 16
字 数 410 千
版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次
定 价 48.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

内容简介

本书是第一部关于双花木、秤锤树、掌叶木等属珍稀濒危植物生物多样性研究的学术专著，是多个国家自然科学基金项目资助的主要研究成果。本书源自作者历年科研的积累和长期在一线工作实践的总结，是作者应用植物学、生态学、生物地理学、保护生物学、分子系统学、谱系地理学等学科的基础理论与方法技术，从生态多样性、物种多样性、基因（遗传）多样性等多个层次进行的生物多样性研究。本书可供从事生物学、生态学及林学等领域的科研人员，高等院校相关专业的师生及自然保护管理工作参考。

本书作者

（排名不分先后）

谢国文	李海生	郑毅胜	谭策铭
李象钦	李丽卡	高锦伟	滕婕华
徐惠明	田雨浓	靳晓东	刘萍萍
卫家贤	王业磷	潘柱强	王昌升
翁乐逸	倪敏		

前 言

生物多样性研究是综合性和高度交叉性的跨学科研究领域,是 1997 年年底 *Science* 周刊上预测的 1998 年来(特别是近期的)6 个重大科学研究的热点之一。

生物多样性(Biodiversity)一词在 1986 年提出,是 Biological diversity 的简称,最早指对地球上所有植物、动物、真菌及微生物物种种类的清查,随后,其范畴逐步扩展到地球上生命世界的所有层面,包括所有物种、物种的遗传变异及由物种和环境相互作用的群落与生态系统。生物多样性是指各种生命形式的资源。生物多样性通常包括生态系统多样性、物种多样性和基因多样性(或遗传多样性)3 个基本组织层次。生物多样性与人类的生活密切相关,它不仅给人类提供了丰富的食物、药物资源,而且在保持水土、调节气候、维持自然平衡等方面起着不可替代的作用。但由于人类活动的影响,物种灭绝的速度不断加快,在过去的 2 亿年中,自然界每 27 年就有一个植物物种从地球上消失,每世纪有 90 多种脊椎动物灭绝;而在过去几百年中,人类造成的物种灭绝速度比地球历史上的参照速度增长了 1000 倍还多。无法再现的基因、物种和生态系统正以人类历史上前所未有的速度消失。而且生物多样性也正受到气候变化等全球性的环境问题和人类活动的影响,生物多样性保护成为一项全球性的紧迫任务(马克平,2016)。

生物多样性研究的核心内容之一是珍稀濒危生物的研究。国际生物多样性的研究热点,主要集中在植物多样性开发、生物多样性保护、物种丰度、基因多样性、可持续管理、气候变化、森林、土壤、生态系统等方面。国际生物多样性研究越来越重视人类社会与生物多样性的相互作用和可持续管理,DNA 技术和基因工程等先进技术在生物多样性研究和保护中的作用日益突出(王雪梅等,2010)。未来的研究特别强调生物多样性格局、起源和变化及其驱动因素,生物多样性保护的社会和生态科学基础,以及生物多样性与生态系统服务对全球变化的响应等方面(Larigauderie et al., 2012)。

本书是第一部关于双花木、秤锤树、掌叶木等属珍稀濒危植物生物多样性研究的学术专著,是多个国家自然科学基金项目资助的主要研究成果。本书源自作者历年科研的积累和长期在一线工作实践的总结,是作者应用植物学、生态学、生物地理学、保护生物学、分子系统学、谱系地理学等学科的基础理论与方法技术,从生态多样性、物种多样性、基因(遗传)多样性等多个层次进行的生物多样性研究。本书可供从事生物学和生态学等领域的科研人员、高等院校相关专业的师生及自然保护管理工作参考。

本书主笔和统稿由谢国文完成,独著 22 万字以上;李海生是项目主要成员之一,参与第一编第 3 章与第二编第 8 章的撰写及修改;郑毅胜也是项目主要成员之一,参与第一编第 2 章与第二编第 8 章的撰写及修改;谭策铭主要参与野外生态调查和标本采集制作及鉴定工作;李象钦、李丽卡和刘萍萍主要参与调查、实验和第一编部分章节的撰写;高锦

伟、徐惠明、田雨浓、靳晓东、卫家贤、王业磷、潘柱强、王昌升、翁乐逸等主要参与野外调查、数据处理及第二编部分章节的撰写；滕婕华和倪敏主要进行分子生物学实验及参与第三编部分章节的撰写。

本书的出版得到了多个国家自然科学基金项目和广州大学学术专著出版基金资助，本书内容涉及多年来多个课题的野外调查和实验研究工作，得到了大量的同行师生和相关单位领导的大力支持，恕未一一列出，谨此一并深表谢意！特别感谢暨南大学出版社张仲玲副社长和黄文科、林冬丽、柳煦三位责任编辑的热情帮助！

限于作者水平和撰写时间仓促，本书疏漏与错误之处，敬请读者批评指正。

谢国文

2016年8月于广州

目 录

前 言	/ 1
-----	-----

» 第一编 珍稀濒危植物长柄双花木生物多样性研究 «

第 1 章 长柄双花木群落特征与种群动态研究	/ 2
------------------------	-----

- 1 绪论 / 2
- 2 研究方法 / 6
- 3 长柄双花木群落特征分析 / 9
- 4 长柄双花木种群动态研究 / 19
- 5 讨论 / 26
- 6 结论 / 27

第 2 章 长柄双花木花部形态结构多样性研究	/ 51
------------------------	------

- 1 绪论 / 51
- 2 材料与方法 / 52
- 3 结果与分析 / 53
- 4 讨论与结论 / 55

第 3 章 长柄双花木遗传多样性研究	/ 58
--------------------	------

- 1 绪论 / 58
- 2 材料与方法 / 59
- 3 结果与分析 / 62
- 4 讨论与结论 / 69

第 4 章 双花木属植物居群遗传结构和谱系地理研究	/ 72
---------------------------	------

- 1 绪论 / 72
- 2 材料与方法 / 76
- 3 结果与分析 / 81
- 4 讨论 / 91
- 5 结论 / 95

第5章 长柄双花木的濒危原因及保护对策 / 103

- 1 绪论 / 103
- 2 濒危原因分析 / 103
- 3 保护对策 / 105
- 4 结论 / 107

第二编 珍稀濒危植物狭果秤锤树及近缘种生物多样性研究

第6章 狭果秤锤树所在群落的区系特征 / 110

- 1 群落所在区域的自然条件 / 110
- 2 研究方法 / 110
- 3 结果与分析 / 111
- 4 讨论 / 115

第7章 狭果秤锤树种群与群落学研究 / 117

- 1 狭果秤锤树种群结构与动态 / 117
- 2 狭果秤锤树种群年龄结构和空间分布特征 / 123
- 3 狭果秤锤树种群的空间点格局 / 129
- 4 狭果秤锤树群落的物种多样性 / 138
- 5 狭果秤锤树群落主要木本植物的种间联结性 / 147

第8章 狭果秤锤树花果形态变异及遗传多样性分析 / 158

- 1 绪论 / 158
- 2 材料与方法 / 164
- 3 结果与分析 / 169
- 4 讨论与结论 / 191

第9章 狭果秤锤树与近缘种的分子系统分析 / 199

- 1 绪论 / 199
- 2 材料与方法 / 200
- 3 结果与分析 / 201
- 4 小结 / 203

第10章 狭果秤锤树的濒危原因与保护对策 / 205

- 1 绪论 / 205
- 2 研究方法 / 206
- 3 保护现状分析 / 207

4 濒危原因分析 / 211

5 保护策略 / 212

第三编 珍稀濒危植物掌叶木生物多样性研究

第 11 章 掌叶木的研究与保护现状 / 216

1 分类学研究进展 / 216

2 形态学研究进展 / 217

3 生态学研究进展 / 218

4 分子标记研究进展 / 220

5 濒危机制及保护生物学研究 / 220

第 12 章 掌叶木群落物种多样性研究 / 224

1 研究背景 / 224

2 研究方法 / 225

3 结果与分析 / 226

4 结论与讨论 / 229

第 13 章 广西乐业天坑掌叶木种群动态研究 / 233

1 材料与方法 / 233

2 结果与分析 / 235

3 讨论 / 239

第 14 章 基于 cpDNA 和 nrITS 对掌叶木的基因检测 / 241

1 材料与方法 / 241

2 结果与分析 / 242

3 结论 / 243

第 15 章 基于 SSR 标记对掌叶木遗传多样性的研究 / 246

1 材料与方法 / 246

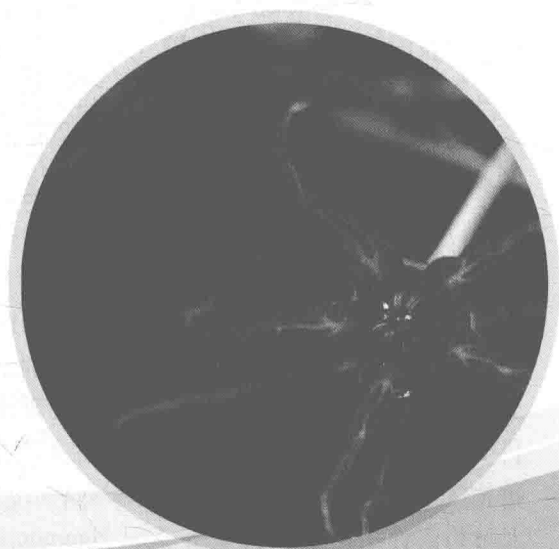
2 结果与分析 / 247

3 讨论 / 249

附 图 / 251

第一编

珍稀濒危植物长柄双花木
生物多样性研究



第 1 章

长柄双花木群落特征与种群动态研究

1 绪论

1.1 濒危植物宏观研究简述

濒危植物是指那些由于自身原因和外部因素影响而濒临灭绝的植物（叶水英，张至洁，2009）。濒危植物的地理分布一般比较局限，呈现岛屿状，且有不断缩小的趋势，因此需要及时地对它们加以保护（张文辉等，2002）。濒危植物有濒危、渐危和稀有这三个濒危等级。又可根据其价值的大小，将濒危植物分为国家一级、二级和三级重点保护植物这3个保护等级（叶水英、张至洁，2009；周丽华等，2006）。对濒危植物宏观方面的研究，主要集中在群落植物区系、群落物种多样性、种群动态和濒危机制以及保护策略等方面。

1.1.1 植物区系研究

研究特定地区或特定类型植被的植物区系组成，可以了解该植被的发生发展以及与历史地理环境的关系（张峰，2012）。国内植物区系的研究，主要是以吴征镒的《种子植物分布区类型及其起源和分化》等著作为理论依据，结合分子生物学、分支系统学等多个学科交叉的研究方法来研究植物的区系（刘经伦等，2011）。国外的研究，除了经典的维管植物区系研究，还涉及地衣（Hodkinson, 2010）、苔藓（Peat et al., 2007）等研究类群及分析古代植物区系（Crane and Herendeen, 1996; Iannuzzi and Rosler, 2000）等。朱华（2007）指出，植物区系的研究存在的问题如下：一是将种的分布区类型用属的分布区类型来代替；二是各地区间植物区系的亲缘是通过各类型属的分布区类型所占百分比的聚类来决定；三是忽略了植物区系的研究对象的整体性。我们以具体的标志植物所在群落为研究对象探讨其区系特征的小尺度植物区系研究是植物区系研究的一个尝试（谢国文等，2010a）。

1.1.2 群落物种多样性研究

物种多样性一是指区域物种多样性，研究的内容包括科、属、种的分布中心等；二是指在群落组织水平上的物种多样化程度，即群落物种多样性（王国宏，2002）。物种多样性的测度方法主要有三种： α 多样性、 β 多样性和 γ 多样性。马克平（1994a；1994b；1995）等对这些方法做了较为系统的研究和介绍，为研究物种多样性提供了理论方法基础。

较为常用的物种多样性测定方法是 α 多样性,测定的指数包括物种丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数。如用样地法对永瓣藤(*Monimopetalum chinense*)的所在群落的物种多样性进行分析。结果表明,永瓣藤所在群落的物种多样性较高,物种丰富,群落结构复杂(李海生等,2012)。井冈山猴头杜鹃(*Rhododendron simiarum*)群落的多样性指数较低,不同样地之间的多样性指数的变化较大;物种多样性在不同植物生长型的变化规律为:灌木层>乔木层>草本层(邓贤兰等,2011)。

1.1.3 种群动态研究

种群动态是关于种群在群落中数量变化等方面的研究,主要从种群的空间分布格局、种群的年龄结构、种群静态生命表和存活曲线等方面来描述种群的动态变化。研究种群的分布格局,可以从水平结构上描述种群,了解种群分布格局的成因,进一步了解群落结构(茹文明,2006)。太白红杉(*Larix chinensis*)种群的空间分布格局是聚集型,分布格局受物种的年龄、群落的组成和生物学特性等影响(张文辉等,2005)。

种群的年龄结构分为增长型、衰退型和稳定型这三种结构类型。增长型表示种群中幼龄个体多,老年个体少,种群出生率比死亡率大;衰退型则相反,幼体少,老年个体多,死亡率比出生率大;稳定型表示种群的出生率与死亡率平衡(牛翠娟等,2007)。但是,在实际操作中,种群中个体的实际年龄难以准确地测量,以空间代替时间,以径级结构代替年龄结构的方法是一种可行并且常用的方法(苏志尧等,2000;闫桂琴等,2001;缪绅裕等,2014)。根据种群的年龄结构等数据可以编制种群的静态生命表,根据表格的数据求出存活曲线。种群静态生命表和存活曲线能够反映种群生活史中的死亡规律和生命期望等,为种群保护提供依据(薛瑶芹,2008)。研究发现,井冈山交让木(*Daphniphyllum macropodum*)种群属于增长型种群,径级增加,其生命期望值递减,种群的存活曲线接近于直线型,生长相对稳定(邓贤兰等,2012)。

1.2 长柄双花木的研究进展

长柄双花木(*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*)属于金缕梅科(Hamamelidaceae)双花木属(*Disanthus*)的落叶灌木。金缕梅科中共有30属144种植物,其现代分布的中心从东亚区南部到中国长江以南至中南半岛北部地区(张志耘,路安民,1995)。双花木属是金缕梅科最原始、最古老的属(张志耘,路安民,1995),该属系孑遗的单种属,仅一种一变种。原种双花木(*Disanthus cercidifolius*)在日本南部山地分布(张宏达,1979),变种长柄双花木是我国中亚热带中东部特有树种,分布于广东、湖南、江西及浙江四个省份的山地(沈如江等,2009;谢国文等,2010a),即主要残存于南岭山脉—罗霄山脉—九岭山脉—怀玉山脉—武夷山脉等中低的山地,其居群由西向东呈现独特的“S”形地理格局。

1.2.1 生物学及生态学特征

长柄双花木是落叶灌木,多年生,高可达5.7m,胸径最大约20cm。叶互生,形状卵圆,掌状叶脉;叶柄长,基部大,具有托叶。头状花序,两朵花对生,无花梗;两性花,5个裂片和花瓣,花红色;雄蕊5,花药2瓣开裂;子房上位,2室,胚珠多数;花柱2,

柱头略弯钩;蒴果呈卵圆形,每室有种子5~8粒;种子圆黑,有光泽(饶军,李荣同,1997;李美琼,2011)。

长柄双花木常分布于山体阴坡的阔叶林或针阔叶混交林中。林中的土壤以山地黄壤或黄棕壤为主,成土母质则多是花岗岩,pH值约为5.6。长柄双花木在3月初萌芽,到4月开始展叶,由绿慢慢转红。10月中下旬开花,开花时叶子基本上脱落。翌年9月中下旬果实成熟,从青绿色变为褐红色,最后变黑色。其花期和果期并存(肖宜安,2005;李根有等,2002;刘仁林,许妹华,2003)。

1.2.2 繁育特性研究

许多濒危植物灭绝的其中一个原因是种子的生活力低(朱高浦,李纪元,2009)。长柄双花木种子的生活力不强,空粒多,种皮坚硬,透水性差,存在强迫休眠和生理休眠,而外源的GA3可以解除生理休眠(史晓华等,2002)。人工繁殖长柄双花木的成活率可达95%以上(刘仁林,许妹华,2003),而通过组织培养,试管苗的成活率可达80%。嫩叶是最佳的外植体,壮苗培养基的植物生长调节剂的最优水平组合是MS+6-BA0.5mg/L+GA1.0mg/L,可缩短整个离体再生时间(曾建军等,2005;2006a;2006b)。最佳的生根处理方法是使用0.10mg/gNAA溶液对长柄双花木插穗浸泡3h,可选更好的扦插基质来提高扦插苗的成活率(黄绍辉等,2007)。

长柄双花木生殖枝的数量和花序数在海拔高度约为810m处、年龄为30~35年达最高;与生殖构件的败育相关的是构件发育的时间和群落的类型等,而与海拔的高度没有相关性(肖宜安,2005)。长柄双花木单花的花期可分为散粉前期、散粉初期、散粉盛期和凋谢期,一般为6~7d。个体花期和种群花期历时不一样,前者比后者时间短。长柄双花木种群的开花模式为集中开花,吸引传粉者访问,达到授粉的目的(肖宜安等,2005)。柱头在开花时高于花药,异交和自交并存。繁育需传粉者来传粉,主要的有效传粉昆虫是黑纹食蚜蝇和黑花果蝇,无效的传粉者有蜂类等。在没有传粉昆虫时,依靠风来传播是传递效率相对很低的一种生殖保障(肖宜安等,2004a)。花粉来源影响长柄双花木的结实,施肥对花芽发育有利,可提高结果率和结籽率。增强花对传粉者的吸引来间接影响传粉可提高种群结籽率(肖宜安等,2004b)。长柄双花木存在“花多果少”现象,且“大小年”结果,这可能是不同因子相互作用的结果。目前,最合理的解释是选择性败育、子房供应和雄性功能假说的综合运用(肖宜安,2005;肖宜安等,2006)。

1.2.3 种群和群落生态研究

种群生态方面,长柄双花木种群存在较低的净增殖率、内禀增长率以及周限增长率,属于缓慢的负增长型种群,但世代平均周期长,种群的总数将会慢慢下降。人为砍伐是导致种群数量下降的主要原因,仅依靠有性生殖的途径来恢复的能力有限(肖宜安等,2004c;2007)。分析长柄双花木种群的形态分化,发现其性状变异达到显著水平的形态特征不多。个体与种群水平上的总体的形态分化都没有达到显著的水平。海拔、土壤环境和透光率等都是影响其生长的因素(肖宜安等,2002)。火烧迹地上的长柄双花木种群的自然恢复良好,与未被火烧的长柄双花木种群都有增长的趋势(缪绅裕等,2013a)。

群落生态方面,研究发现江西三清山的长柄双花木群落和湖南千家洞的群落结构相

似,都是常绿阔叶林。江西官山的群落结构比较单一,长柄双花木在其中占优。年降水量与年平均日照时数对群落的差异有影响,年平均气温则对其无直接影响(沈如江等,2009)。江西官山长柄双花木群落的结构也不稳定(李矿明,汤晓珍,2003),但江西井冈山长柄双花木群落处于比较稳定的阶段(肖宜安等,2003a)。南岭地区长柄双花木群落有丰富的植物资源,以亚热带分布的科属为主,并具有典型的亚热带区系特点(谢国文等,2010a)。对广东连州大东山长柄双花木群落主要种的更新生态位的研究表明,长柄双花木与群落中的其他树种有资源共用现象(陈志明等,2013)。

1.2.4 细胞与分子生物学研究

染色体资料分析对于探讨整个金缕梅科的系统发育有重要意义(Morawetz and Samuel, 1989)。在染色体数目和核型方面,长柄双花木与双花木有着数目一致的体细胞染色体,均为 $2n=16$,前者无“st”或“t”染色体,提示长柄双花木比双花木更为原始(潘开玉,杨亲二,1994)。

长柄双花木种群的遗传多样性较高,其遗传多样性大都来自于种群内部,来自种群间的较少,种群间的基因分化水平较低。种群间的基因流与花粉的传播距离相关(肖宜安,何平,2001;肖宜安等,2003b)。李晓红等(2005)的研究发现长柄双花木种群间的遗传分化不明显。但是李美琼(2011)的研究发现长柄双花木的遗传多样性较高,且种群间的遗传分化明显。可能是生境被破坏等外部因素阻碍了居群内和居群间的基因交流,从而导致发生近交,加剧了居群间的遗传分化。Yu等(2014)也发现种群之间的遗传多样性高,且种群之间的遗传分化显著。

Gao等(2009)对9对微卫星标记进行研究,发现每对标记的多态性在2.4态。谢国文等(2010b)用改进的CTAB法提取出的基因组DNA为模板,优化并建立了对长柄双花木ISSR-PCR适用的反应体系和程序,为利用ISSR-PCR分析长柄双花木遗传多样性提供依据。

1.3 研究的目与意义

综上所述,前人对长柄双花木进行了许多研究工作,特别是在繁殖特性和分子生物学方面。群落和种群生态方面的研究也有,但是研究的范围比较局限,往往是针对某一省份或某一地区,没有从大范围对长柄双花木进行综合分析。虽然对长柄双花木各方面的研究都取得了较大的进展,但还有一些问题值得研究。如造成结实率低的原因除了花粉竞争,是否还有其他的因素?传粉昆虫是否可能在夜间传粉?气候条件如何对其开花物候产生影响?种群在整体上是衰退还是增长,其原因是什么?不同群落之间的异同等等。而且,在无性繁殖方面,还应加强研究,运用现代生物学技术对其种质资源进行保护。

本研究以不同地区的长柄双花木群落为对象,对其区系特征、物种多样性和种群动态等方面进行研究,探讨不同地区群落的特征,了解种群的发展趋势。并结合已有的文献资料,研究长柄双花木的生存现状,分析其濒危原因和提出相应的保护对策,为进一步保护长柄双花木这一濒危树种提供科学依据。

2 研究方法

2.1 分布地的自然概况

长柄双花木自然分布于广东、湖南、江西和浙江四个省份，从华东至华南间断分布，分布范围为北纬 $24^{\circ}55'$ ~ $29^{\circ}23'$ ，东经 $110^{\circ}36'$ ~ $118^{\circ}13'$ 。分布区的气候条件以亚热带季风为主，气候温和。分布区的土壤以山地黄壤为主，土层浅层 pH 值约为 5.6，成土母质一般是花岗岩（高浦新等，2013）。长柄双花木分布在海拔为 630 ~ 1300m 的山上（傅立国，金鉴明，1992），但经实地考察和参考其他学者数据，其海拔分布范围为 468 ~ 1400m（高浦新等，2013）。长柄双花木一般分布在溪旁、路边和林缘等地，在山坡上的常绿阔叶林或竹阔混交林中能良好地生长。

2.2 研究方法

2.2.1 样地设置

本研究共调查了 10 个长柄双花木群落的样地，包含了长柄双花木在我国分布的四个省份（见图 1-1）。所调查的长柄双花木种群均为自然种群，对分布在江西庐山植物园、井冈山国家自然保护区管理局种质资源圃和广东南岭国家级自然保护区中的人工种群没有进行调查。



图 1-1 长柄双花木的分布地区简图

在每个长柄双花木群落内设置 $10 \times 10\text{m}^2$ 的样方 4 个，总面积为 400m^2 ，对群落内的所有维管植物进行调查，记录每一个体的高度、冠幅、胸径及每个物种的总体数量等。同时记录所调查样地的海拔、经纬度、土壤状况和群落类型等生态因子（见表 1-1）。分别用秦仁昌分类系统、郑万均分类系统和恩格勒分类系统对蕨类植物、裸子植物和被子植物进行分类鉴定，并按系统科属归类编制物种名录（见本章附表）。

表 1-1 各样地的基本资料

地点	经纬度		海拔（m）	群落类型
广东连州	E 112°40'12.00"	N 24°55'30.00"	1006	针阔混交林
湖南莽山	E 112°53'19.00"	N 24°58'09.00"	935	竹阔混交林
湖南新宁	E 110°36'14.33"	N 26°24'13.56"	746	竹阔混交林
湖南道县	E 111°19'47.10"	N 25°28'14.00"	701	常绿阔叶林
江西三清山	E 118°04'01.25"	N 28°54'32.11"	1230	常绿阔叶林
江西井冈山	E 113°53'20.15"	N 26°47'45.32"	720	常绿阔叶林
江西军峰山	E 116°22'35.40"	N 27°13'13.26"	1050	常绿阔叶林
江西官山 1	E 114°35'43.56"	N 28°33'22.50"	600	竹阔混交林
江西官山 2	E 114°35'48.10"	N 28°33'21.65"	651	针阔混交林
浙江开化	E 118°13'03.35"	N 29°23'56.08"	468	常绿阔叶林

2.2.2 分布区类型的分析

植物区系中的分布区类型的划分方法参考吴征镒等（1991；2003；2006）有关科、属的分布区类型系统的划分方法，对不同长柄双花木群落内的种子植物科属的分布区类型进行统计分析。种的划分参照吴征镒（2006）和王荷生（1992）的划分方法，并结合聚类分析进行划分。用系统聚类法对种的数据进行聚类分析，并用软件 SPSS 18.0 处理数据。

2.2.3 物种多样性分析

测定物种多样性一般有三种方法： α 多样性， β 多样性， γ 多样性，本研究以 α 多样性测定方法对长柄双花木群落的物种多样性进行分析（李海生等，2012）。 α 多样性包括下面的几种常用指数：

物种丰富度指数：物种丰富度指数 S = 群落样地中的全部的物种数量

物种多样性指数：Simpson 指数 $D = N(N-1) / \sum n_i(n_i-1) = 1 - \sum (P_i)^2$

Shannon-Wiener 指数 $H = - \sum (P_i \cdot \ln P_i)$

式中 N 为样方中所有个体数量的总数， n_i 为第 i 个种的个体总数， P_i 为某种个体总数占群落样地中总个体数的比例。

均匀度指数：Pielou 均匀度指数 $J_{sw} = H / \ln S$

式中 H 为 Shannon-Wiener 指数的值， S 为物种丰富度指数。

2.2.4 种群的空间分布格局

采用计算分散度 S^2 的方法（周崇军，2005）研究长柄双花木种群的空间分布格局，其计算公式如下：

$$S^2 = \sum (x - m)^2 / (n - 1)$$

式中 x 为各样方实际个体数， m 为样方平均个体数， n 为样方数。

种群的空间分布格局的类型可以分为三类：均匀分布型，即 $S^2 = 0$ ；集群型，即 $S^2 > m$ ；随机型，即 $S^2 = m$ 。

2.2.5 种群结构分析

对于难以取得年龄数据的种群来说，可以用径级结构来分析种群的结构（郭连金，2009；缪绅裕等，2014；许涵等，2007），并根据实际测量的数据，将长柄双花木胸径（DBH）划分为九个等级，Ⅰ级（ $DBH \leq 1.5\text{cm}$ ）、Ⅱ级（ $1.5\text{cm} < DBH \leq 2.5\text{cm}$ ）、Ⅲ级（ $2.5\text{cm} < DBH \leq 3.5\text{cm}$ ）、Ⅳ级（ $3.5\text{cm} < DBH \leq 4.5\text{cm}$ ）、Ⅴ级（ $4.5\text{cm} < DBH \leq 5.5\text{cm}$ ）、Ⅵ级（ $5.5\text{cm} < DBH \leq 6.5\text{cm}$ ）、Ⅶ级（ $6.5\text{cm} < DBH \leq 7.5\text{cm}$ ）、Ⅷ级（ $7.5\text{cm} < DBH \leq 8.5\text{cm}$ ）和Ⅸ级（ $8.5\text{cm} < DBH \leq 9.5\text{cm}$ ）。根据前人的记载，长柄双花木的最大胸径可达 9.56cm（缪绅裕等，2013b），而本研究所设置的样地中，长柄双花木的最大胸径为 9.50cm，这与前人的调查结果基本相符。

2.2.6 静态生命表的编制

根据野外调查的数据编制长柄双花木种群的静态生命表（牛翠娟等，2007；邓贤兰等，2012）。静态生命表中的径级等级和种群划分的径级结构相同。静态生命表的各个参数如下：

x 为径级，是径级的分段；

n_x 表示在 x 径级内存活的个体数；

l_x 为存活率， $l_x = n_x / n_0$ ；

d_x 为种群从 x 到 $x+1$ 径级的死亡数， $d_x = n_x - n_{x+1}$ ；

q_x 为种群从 x 到 $x+1$ 径级的死亡率， $q_x = d_x / n_x$ ；

L_x 为从 x 到 $x+1$ 径级的平均存活数， $L_x = (n_x + n_{x+1}) / 2$ ；

T_x 是从 x 径级起比 x 径级大的径级中存活的个体总数， $T_x = \sum L_x$ ；

e_x 表示生命的期望，是个体以后存活平均年数， $e_x = T_x / n_x$ 。

2.2.7 种群的存活曲线

存活曲线有利于了解种群的动态，能够反映种群个体在各年龄级的存活状况（熊能等，2010；王晨晖，2014）。存活曲线的横纵坐标分别是种群的大小径级和静态生命表中存活个体数的对数 $\lg n_x$ 。