



现代生态学讲座 (VIII)

群落、生态系统和景观生态学研究新进展

Lectures in Modern Ecology (VIII)

Advances in Community, Ecosystem and Landscape Ecology

■ 主 编 高玉葆 邬建国

■ 副主编 任安芝 马成仓 赵念席 刘志锋



高等教育出版社



现代生态学讲座 (VIII)

群落、生态系统和景观生态学研究新进展

Lectures in Modern Ecology (VIII)

Advances in Community, Ecosystem and Landscape Ecology



主 编 高玉葆 郭建国

副主编 任安芝 马成仓 赵念席 刘志锋

高等教育出版社·北京

内容简介

本书根据“第八届现代生态学讲座”的主题报告,经过评审和筛选编著而成。作者多为在群落、生态系统和景观生态学方面成果卓越的学者。本书对群落、生态系统和景观生态学有关的一系列热点议题展开广泛而深入的论述,这些议题包括森林、草地等生态系统的结构和功能,土地利用和覆盖变化及其生态影响,农业生态与可持续农业等。本书主题明确,内容详实,题材新颖,图文并茂,可供生物学、生态学、环境科学以及相关学科的研究和教学人员阅读,也可作为研究生的教科书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代生态学讲座.Ⅷ,群落、生态系统和景观生态学
研究新进展/高玉葆,邬建国主编.——北京:高等教育出版社,2017.5

ISBN 978-7-04-047657-6

I. ①现… II. ①高… ②邬… III. ①生态学-文集
IV. ①Q14-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 080319 号

策划编辑 柳丽丽
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 殷 鸽
责任校对 刘娟娟

封面设计 李小璐
责任印制 毛斯璐

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 三河市华骏印务包装有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 26.25
字 数 470 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2017 年 5 月第 1 版
印 次 2017 年 5 月第 1 次印刷
定 价 69.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 47657-00

XIANDAI SHENGTAIXUE JIANGZUO(Ⅷ)

QUNLUO SHENGTAIXITONG HE JINGGUAN SHENGTAIXUE YANJIU XINJINZHAN

“现代生态学讲座系列”简介

Brief Introduction to International Symposium on Modern Ecology Series (ISOMES)

“现代生态学讲座”由我国著名生态学家李博院士创办,通过海外华人生态学家与国内杰出中青年生态学家同堂开展学术讲座,交流现代生态学领域的热点和关键问题,促进我国生态学科的发展和青年人才队伍的成长。

第一届现代生态学讲座于1994年9月由内蒙古大学主办,主要围绕现代生态学的新理论、新观点和新方法展开探讨。第二届现代生态学讲座于1999年6月由中国环境科学研究院和中国科学院植物研究所主办。2004年,邬建国、于振良、葛剑平、韩兴国等在北京议定,将该讲座办成每两年举办一次的长期系列讲座(即“现代生态学讲座系列”,ISOMES),以作为对李博先生的永久纪念,也为国内外华人生态学者相互交流和研究生培养提供一个长期的高层次学术平台。第三届现代生态学讲座于2005年6月由北京师范大学和中国科学院植物研究所主办,主题为“学科进展与热点论题”。第四届现代生态学讲座于2007年5月由内蒙古大学和中国农业科学院草原研究所主办,主题为“生物多样性与生态系统功能、服务、管理”。第五届现代生态学讲座暨第一届国际青年生态学者论坛(IYEF)于2009年6月由兰州大学主办,主题为“宏观生态学与可持续性科学”。第六届现代生态学讲座暨第二届国际青年生态学者论坛于2011年8月由南京大学主办,主题为“全球变化背景下现代生态学热点问题及其研究进展”。第七届现代生态学讲座暨第四届国际青年生态学者论坛于2013年6月由中国科学院华南植物园主办,主题为“全球变化背景下退化生态系统恢复的格局与过程”(本届讲座无对应出版物)。第八届现代生态学讲座暨第六届国际青年生态学者论坛于2015年6月在天津举办,主题为“现代生态学与可持续发展”。

有关“现代生态学讲座系列”的历史、现状及将来的学术活动,请访问ISOMES的网站:<http://leml.asu.edu/ISOMES/>。

“现代生态学讲座系列”学术委员会

International Symposium on Modern Ecology Series (ISOMES)

Academic Committee

- 主任: 邬建国 美国亚利桑那州立大学
副主任: 于振良 国家自然科学基金委员会
秘书长: 黄建辉 中国科学院植物研究所
委员 (按姓氏音序排列)
安树青 南京大学
方精云 北京大学、中国科学院植物研究所
傅伯杰 中国科学院生态环境研究中心
高玉葆 南开大学
葛剑平 北京师范大学
韩兴国 中国科学院植物研究所
康乐 中国科学院动物研究所
刘世荣 中国林业科学研究院
马克平 中国科学院植物研究所
杨劼 内蒙古大学
于贵瑞 中国科学院地理科学与资源研究所
张大勇 北京师范大学
张知彬 中国科学院动物研究所

“第八届现代生态学讲座暨第六届国际青年生态学
学者论坛”联合组委会

大会主席: 邬建国

大会组织委员会

主任

高玉葆 天津师范大学校长, 南开大学生命科学学院教授

唐剑武 美国芝加哥大学海洋生物研究所研究员

副主任

卜文俊 南开大学生命科学学院院长、教授

孙金生 天津师范大学生命学院院长、教授

石福臣 天津市生态学会秘书长、教授

委员

任安芝 南开大学生命科学学院教授

阮维斌 南开大学生命科学学院教授

多立安 天津师范大学生命科学学院教授

马成仓 天津师范大学生命科学学院教授

魏晓华 加拿大不列颠哥伦比亚大学教授

“第八届现代生态学讲座”大会邀请学术报告人

(按姓氏音序排列)

- | | |
|------|----------------|
| 安树青 | 南京大学 |
| 白 娥 | 中国科学院沈阳应用生态研究所 |
| 白永飞 | 中国科学院植物研究所 |
| 陈小勇 | 华东师范大学 |
| 费松林 | 美国普渡大学 |
| 葛剑平 | 北京师范大学 |
| 郭旭临 | 加拿大萨斯喀彻温大学 |
| 韩国栋 | 内蒙古农业大学 |
| 蒋 林 | 美国佐治亚理工学院 |
| 李哈尔滨 | 美国农业部林务局 |
| 李永宏 | 内蒙古大学 |
| 刘世荣 | 中国林业科学研究院 |
| 任安芝 | 南开大学 |
| 孙建新 | 北京林业大学 |
| 唐剑武 | 美国芝加哥大学海洋生物实验室 |
| 田汉勤 | 美国奥本大学 |
| 王德利 | 东北师范大学 |
| 王中良 | 天津师范大学 |
| 邬建国 | 美国亚利桑那州立大学 |
| 武昕原 | 美国德克萨斯农工大学 |
| 于 丹 | 武汉大学 |
| 张大勇 | 北京师范大学 |

前 言

“现代生态学讲座”由我国著名生态学家李博院士创办,旨在通过国内外学者和学生的交流,促进我国生态学的发展。第一届现代生态学讲座于1994年9月由内蒙古大学主办;第二届现代生态学讲座于1999年6月由中国环境科学研究院和中国科学院植物研究所主办;第三届现代生态学讲座于2005年6月由北京师范大学主办;第四届现代生态学讲座于2007年5月由内蒙古大学主办;第五届现代生态学讲座于2009年6月由兰州大学主办;第六届现代生态学讲座于2011年8月由南京大学主办;第七届现代生态学讲座于2013年6月由中国科学院华南植物园主办。第八届现代生态学讲座暨第六届国际青年生态学者论坛于2015年6月11日至14日在天津举办,来自中国、美国、加拿大等国60多所大学及科研机构的30多位专家和近300名研究生参与了本次会议。本次讲座(论坛)按照惯例由现代生态学讲座系列组织与学术委员会、国际青年生态学者论坛组织与学术委员会主办,由南开大学、天津师范大学和天津市生态学会承办,同时得到中国生态学会、中华海外生态学者协会、国家自然科学基金委员会生命科学部的支持。讲座(论坛)的主题确定为“现代生态学与可持续发展”。

讲座(论坛)开幕式由天津师范大学校长、天津市生态学会理事长、南开大学高玉葆教授主持,现代生态学讲座系列主席邬建国教授、国际青年生态学者论坛主席唐剑武教授、中国生态学会理事长刘世荣研究员、南开大学副校长许京军教授、天津师范大学副校长王群生教授、内蒙古大学杨劼教授、国家自然科学基金委员会生命科学部生态学项目主任于振良教授等出席开幕式并讲话,对会议的召开表示祝贺,对各位专家学者表示欢迎,对为生态学科的发展给予大力支持的各界朋友表示感谢。

会上有30余位海内外知名生态学家应邀做了学术报告,主要针对森林、草地、湿地和水域生态系统的管理与服务、土地利用和覆盖变化及其生态影响、农业生态与可持续农业、快速城镇化与生物多样性的保护和利用对策、京津冀协同发展背景下大气污染的防控与治理、南水北调中线引水工程对区域水环境的影响等议题介绍了国内外前沿研究进展。

此外,讲座(论坛)还在两个分会场举行了青年学者研究报告会,分别围绕景观和全球变化生态学,微生物生态学,种群、群落和生态系统生态学问题展开

交流与探讨,共同分享了各自的研究成果和实践经验。第八届现代生态学讲座暨第六届国际青年生态学者论坛联合组委会专家根据报告的科学意义、创新性、墙报设计和内容表达等标准,评选出5名“李博院士研究生论文奖”获得者和10名“阳含熙院士生态学论文奖”获得者。

本书大部分内容选自“第八届现代生态学讲座”特邀报告,同时从“第六届国际青年生态学者论坛”中吸收了一部分优秀报告内容,经过同行专家评审后编著而成。在此,我们向所有为本书做出贡献的作者致以诚挚的谢意;同时特别感谢包括下面专家在内的所有审稿人对各个章节所提出的宝贵修改意见:张大勇,陈小勇,林光辉,闫秀峰,孙建新,刘世荣,于贵瑞,李永宏,侯向阳,刘林德,石福臣,阮维斌,江源,李春杰,郭良栋,白永飞,李晓兵,陈世革,黄建辉,常学礼,陈利顶,康慕谊,李洪远,李博,安树青,韩国栋,王德利,周道玮,达良俊,王祥荣,樊江文,韩文轩。

最后,感谢高等教育出版社李冰祥主任和柳丽丽编辑以及其他同仁为本书出版所付出的辛勤劳动。

高玉葆 邬建国

2016年10月1日

目 录

- 第 1 章 榕属植物隐头花序内生态系统结构与稳定性 … 王嵘 陈小勇(1)
- 第 2 章 物种间亲缘关系与外来生物入侵:达尔文归化
谜团 …………… 黎绍鹏 蒋林(23)
- 第 3 章 外来种生态影响评估和风险分析:数量方法、机制过程与
实践应用 …… 徐猛 韦慧 罗渡 顾党恩 车希东 胡隐昌(41)
- 第 4 章 人工林多目标适应性经营提升土壤碳增汇
功能 …………… 刘世荣 王晖 杨予静(64)
- 第 5 章 森林土壤有机碳代谢途径与碳饱和机制
…………… 孙筱璐 唐佐芯 孙建新(90)
- 第 6 章 利用碳稳定同位素技术研究土壤有机质分解的
激发效应 …………… 王会 胡国庆 徐文华 白娥(116)
- 第 7 章 全球变化背景下的碳:氮:磷(C:N:P)生态化学
计量关系 …………… 陈蕾伊 杨元合(134)
- 第 8 章 中国草地生态化学计量特征对植物物种组成和多样性
影响的研究进展 …………… 刘晓琴 古松(151)
- 第 9 章 草地生态系统服务:研究综述 …………… 赵媛媛 邬建国(170)
- 第 10 章 草地生态系统动态中气候与人为影响驱动力
解析 …………… 李永宏(206)
- 第 11 章 大型食草动物对草地昆虫多样性的作用 …… 王德利 朱慧(223)
- 第 12 章 禾草内生真菌的分布、传播特性和多样性研究
进展 …………… 任安芝 高玉葆(239)
- 第 13 章 功能多样性与生态系统功能关系研究进展 …… 张庆 邬建国(263)
- 第 14 章 BEF 研究新的视角和观点:功能多样性与生态系统
多功能性 …………… 李静鹏 高玉葆(284)
- 第 15 章 城市景观格局与动态:数据、方法和趋势
…………… 周伟奇、虞文娟 钱雨果(310)
- 第 16 章 城市化进程中栖息地丧失和破碎化程度之间的
关系 …………… 刘志锋 何春阳 邬建国(327)

- 第 17 章 基于远景分析的上海城市发展可持续性评价
..... 黄璐 邬建国 严力蛟(344)
- 第 18 章 天津市水系和水资源的历史变迁概述 王中良 李璐(366)
- 第 19 章 生态产业及其产业化的支撑技术
..... 赵晖 沈美亚 张海飞 安迪 安树青(376)

Table of Contents

- Chapter 1 Structure and Stability of Intra-fig Inflorescence Ecosystems** Rong Wang Xiaoyong Chen(2)
- Chapter 2 Phylogenetic Relatedness and Species Invasion; Darwin's Naturalization Conundrum** Shaopeng Li Lin Jiang(24)
- Chapter 3 Ecological Impacts Assessment and Risk Analysis of Alien Species: Quantitative Approach, Mechanism and Process** Meng Xu Hui Wei Du Luo Dangen Gu Xidong Mu Yinchang Hu(42)
- Chapter 4 Multiple-Purpose Adaptation Management of Planted Forests for Enhancing Soil Carbon Sequestration** Shirong Liu Hui Wang Yujing Yang(65)
- Chapter 5 Pathways of Forest Soil Organic Carbon Metabolisms and Mechanisms of Carbon Saturation** Xiaolu Sun Zuoxin Tang Jianxin Sun(91)
- Chapter 6 Using Carbon Stable Isotope Technology to Investigate the Priming Effect during Soil Organic Matter Decomposition** Hui Wang Guoqing Hu Wenhua Xu Edith Bai(117)
- Chapter 7 Carbon : Nitrogen : Phosphorus(C : N : P) Stoichiometry under Global Change** Leiyi Chen Yuanhe Yang(135)
- Chapter 8 A Review; Research Advances in Effects of Ecological Stoichiometry on Plant Species Composition and Biodiversity of China's Grasslands** Xiaoqin Liu Song Gu(152)
- Chapter 9 Grassland Ecosystem Services; A Review** Yuanyuan Zhao Jianguo Wu(171)
- Chapter 10 Disentangling the Interactions among Climate and Management Drivers in Grassland Ecosystem Changes** Yonghong Li(207)

- Chapter 11 Effects of Large Herbivores on Insect Diversity in Grassland Ecosystems** Deli Wang Hui Zhu(224)
- Chapter 12 Distribution, Dissemination Modes and Diversity of *Epichloë* Endophytes Associated with Grasses** Anzhi Ren Yubao Gao(240)
- Chapter 13 Research Development of Relationship Between Functional Diversity and Ecosystem Functions** Qing Zhang Jianguo Wu(264)
- Chapter 14 The New Perspective and Viewpoint of BEF (Biodiversity and Ecosystem Functioning) Research: Functional Diversity and Ecosystem Multifunctionality** Jingpeng Li Yubao Gao(285)
- Chapter 15 Quantifying Urban Landscape Patterns and Dynamics: Data and Methods** Weiqi Zhou Wenjuan Yu Yuguo Qian(311)
- Chapter 16 The Relationship Between Habitat Loss and Fragmentation During Urbanization** Zhifeng Liu Chunyang He Jianguo Wu(328)
- Chapter 17 Sustainability Assessment of Shanghai's Development Basing on Scenario Analysis** Lu Huang Jianguo Wu Lijiao Yan(345)
- Chapter 18 Historical Change of Water System and Water Resources in Tianjin** Zhongliang Wang Lu Li(367)
- Chapter 19 Ecological Industry and Its Supporting Technology** Hui Zhao Meiya Shen Haifei Zhang Di An Shuqing An(377)

榕属植物隐头花序内生态系统结构与稳定性

第 1 章

王嵘^① 陈小勇^①

摘 要

植物与昆虫间的相互作用对生态系统的稳定性具有决定性影响,但是许多由昆虫与专一宿主植物构成的生态系统的结构与特征目前仍不明确。榕-传粉小蜂互利共生体系具有高度的专一性,已成为研究共生双方相互适应、协同进化的理想体系。然而,除传粉小蜂外,榕属植物隐头花序(俗称“榕果”)还被众多植食性与拟寄生性非传粉小蜂利用。因此,形成一个由榕果、植食性小蜂与拟寄生性小蜂构成的三营养级生态系统,并经由食物网进行生态系统中的上行与下行调控。拟寄生性小蜂通过捕食弱化植食性小蜂的种间竞争,从而间接保障榕属植物的有性繁殖;而榕则通过惩罚机制维持自身有性繁殖力并控制宿主多度,减弱小蜂种间竞争,维持系统稳定。此外,小蜂生态位分化也是维持榕果内生态系统稳定的重要机制。榕与小蜂的某些生活史特征(如远距离扩散)能增加局域有效种群大小,降低共灭绝风险。总体上,非传粉小蜂的宿主专一性弱于传粉小蜂,与宿主间往往不存在紧密的协同进化关系。榕果内生态系统具有封闭程度高、物种组成丰富等特点,为在群落水平上研究进化提供了理想的体系,同时研究小蜂食物网结构也可作为珍稀榕属植物保护以及入侵榕的防控提供重要参考。

^① 华东师范大学生态与环境科学学院,浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站,上海,200241。

Structure and Stability of Intra-fig Inflorescence Ecosystems

Rong Wang^① Xiaoyong Chen^①

Abstract

Plant-insect interactions play an essential role in the maintenance of biodiversity and ecosystem function. However, the structures and stability of insect communities exploiting some specific plant hosts are still less understood. The mutualism and coevolution between figs and pollinating fig wasps have been well studied, but less is known concerning the entire fig wasp community which comprises both pollinators and non-pollinating fig wasps (NPFWs) that also utilize figs. NPFWs can be divided into phytophages and parasitoids, and therefore together with pollinators and figs, the structure of intra-fig ecosystem is underpinned by a tri-trophic food web. Like other ecosystems, top-down regulation induced by parasitoids mitigates interspecific competition between phytophages and protects sexual reproduction of figs, while bottom-up regulation takes place via host sanction, restricting parasitism of ovules and facilitating coexistence of fig wasps. Both regulations therefore strongly contribute to stability of intra-fig ecosystems. In addition, niche differentiation also greatly supports the species diversity of fig wasps. Some characters of figs and fig wasps, *e. g.* long-distance dispersal, can overcome the negative impacts of human activities, decreasing the risks of co-extinctions. Generally, NPFWs are less host-specific than pollinators, consistent with the evolutionary history where strict co-diversification only occurred in the species associations with high specificity. The intra-fig ecosystem provides an ideal model system for developing and testing theories of community-level evolution, and the trophic interactions between fig wasps may be applied in biodiversity conservation and biological control of figs.

引言

种间相互作用维系着生态系统的各组分,在生态系统结构、过程和功能方面发挥着重要作用,同时,种间相互作用也是物种形成与进化的重要驱动因素

^① School of Ecological and Environmental Sciences, Tiantong National Forest Ecosystem Observation and Research Station, East China Normal University, Shanghai, 200241.

(Herre, 1999; Estes et al., 2011; Heath et al., 2014)。植物是生态系统的初级生产者,为生态系统提供最初的物质和能量,而昆虫是种类最丰富的生物类群,这两类物种间的相互作用对生态系统的稳定性具有决定性影响(Howe and Jandér, 2008; Agrawal et al., 2012; Vanbergen et al., 2013)。昆虫与植物之间形成了十分复杂的相互作用,昆虫除通过寄生与啃食获取植物养分外,还为众多被子植物传粉,这些种间关系的维持机制以及物种专一性与协同进化等问题一直是生态与进化研究的重点(Richardson et al., 2000; Schiestl, 2010; Condamine et al., 2012)。尽管如此,许多由昆虫与其专一宿主植物构成的生态系统的结构与特征仍有待研究,其中包括榕属植物隐头花序内生态系统。

桑科(Moraceae)榕属(*Ficus*)约有750个物种,是植物中物种最丰富的属之一(Herre et al., 2008; 陈艳等, 2010)。该属植物广泛分布于热带与亚热带地区,有乔木、灌木、附生藤本与绞杀植物等多种生活型,为数以千计的动物提供了栖息地与食物,是热带雨林的关键类群(Shanahan et al., 2001; Harrison, 2005)。榕属植物的一个重要特征是产生隐头花序(俗称“榕果”),其花朵着生于将整个花序包围的肉质花座(俗称“果壁”)内侧,整个隐头花序内部与外界几乎完全隔绝,仅在苞片顶端通过一小孔与外界相通,由榕小蜂科(Agaonidae, Chalcidoidea)中的小蜂为其传粉(本文中所有小蜂的分类参考 <http://www.figweb.org/>)。榕属植物与其传粉小蜂构成了一个高度专一的互利共生体系,一种榕属植物通常只有一种或少数几种传粉小蜂为其传粉,而这些小蜂仅能通过宿主植物雌花子房中产卵、发育来繁衍后代(Cook and Rasplus, 2003; Chen et al., 2012; Liu et al., 2015)。榕-传粉小蜂互利共生关系至少有6000万年的历史(Ronsted et al., 2005, 2008; Cruaud et al., 2012),在此期间榕属植物的繁育系统分化为雌雄同株与功能性雌雄异株(Cook and Rasplus, 2003; Harrison, 2005)。由于具有高度的专一性,榕-传粉小蜂共生体系为研究共生关系的维持机制、生态学效应以及协同进化等问题提供了理想的材料(Herre et al., 2008; 王振吉等, 2009; 陈艳等, 2010)。

除传粉小蜂外,榕属植物的榕果还被大量小蜂总科(Chalcidoidea)中的其他小蜂利用,它们通常不为榕属植物传粉或者传粉能力差,被称为非传粉小蜂(non-pollinating fig wasp)(Bouček, 1988; Cook and Rasplus, 2003; Cruaud et al., 2010; Segar et al., 2012; Heraty et al., 2013; Wang et al., 2015a; 宋波等, 2008; 吴文珊等, 2012)。早期研究认为非传粉小蜂仅作为“噪声”存在,但是近年来国内外众多研究发现,许多非传粉小蜂种类与榕-传粉小蜂共生体系具有悠久的协同进化关系,并对该共生体系造成了不可忽略的影响(Dunn et al., 2008; Cook and Segar, 2010; Zhou et al., 2012; Segar et al., 2012; Segar et al., 2013; Suleman et al., 2013; Wang et al., 2015b; 马光昌等, 2009)。除此之外,还有其他昆虫利用榕果,但它们的作用多为寄生、植食,其功能与非传粉小蜂重叠,因

此,本文不做特别阐述。本文主要围绕由榕属植物、传粉小蜂与非传粉小蜂构成的榕果内生态系统,对这一多营养级生态系统的结构、功能与维持机制进行综述,为物种间相互作用与协同进化研究提供参考。

1.1 榕果内小蜂类型与食物网结构

1.1.1 榕小蜂类型

先前研究中对利用榕果繁殖后代的小蜂有不同的分类方法,例如,按个体大小、产卵顺序分类等(Segar et al., 2013)。但是为更好地理解榕果内小蜂群落结构与功能,尤其是非传粉小蜂对榕-传粉小蜂共生体系的影响,可以根据是否具有传粉功能和食性将所有小蜂分为如下三类。

1.1.1.1 传粉小蜂(pollinating fig wasp)

传粉小蜂全部属于小蜂总科榕小蜂科,目前共发现其中3个亚科(Agaoninae、Kradibiinae、Tetrapusiinae)的榕小蜂能够为榕属植物传粉(表1.1)。这类小蜂的雌性成虫进入接受期榕果后在雌花子房中产卵,同时也为宿主植物授粉,其幼虫将子房转变为虫瘿并吸收植物养分,发育为成虫(Herre et al., 2008)。通常认为传粉小蜂是高效的传粉者,甚至能在宿主植物种群密度很低的情况下维持植物的有性繁殖能力(Harrison, 2005; Ahmed et al., 2009; Liu et al., 2015)。

传粉小蜂具有主动和被动传粉两种方式。主动传粉小蜂的雌性成虫在出飞时会主动使用前肢上的花粉刷(pollen brush)收集花粉,并将其储存于腹部的花粉筐(pollen pocket)中,进入接受期榕果后,主动将花粉取出为宿主植物传粉;而被动传粉小蜂无花粉刷与花粉筐,或相关结构退化,榕属植物的花粉通常只能黏附于雌性成虫体表使其携带、扩散,雌蜂进入接受期榕果,在爬行寻找产卵场所的过程中,花粉掉落至雌花柱头上完成传粉(Cook and Rasplus, 2003; Herre et al., 2008)。

通过对88种传粉小蜂的传粉行为和形态结构的观察,Kjellberg(2001)发现榕果中的花药/胚珠比(A/O)以及雌性传粉小蜂是否具有花粉刷是鉴别主动与被动传粉小蜂的关键特征,主动传粉小蜂宿主榕果中的A/O小于0.16,而由小蜂被动传粉的榕果中A/O则大于0.21。目前,已知的20个传粉小蜂属中大多为主动传粉小蜂或主动与被动传粉小蜂共存,只有4个属(*Tetrapus*、*Blastophaga*、*Deilagaon*、*Waterstoniella*)的小蜂为被动传粉小蜂(Cruaud et al., 2012)。然而近期研究地果(*Ficus tikoua*)种内A/O变异发现,A/O变化范围很大,最小的仅0.096,最大的达到10.0;其中约2%的榕果中A/O小于0.16,表现为主动传粉模式,98%的榕果中A/O大于0.21,表现为被动传粉模式(Deng et al., 2016);但对其传粉小蜂(*Ceratosolen* sp.)的观察显示,传粉小蜂具花粉筐和