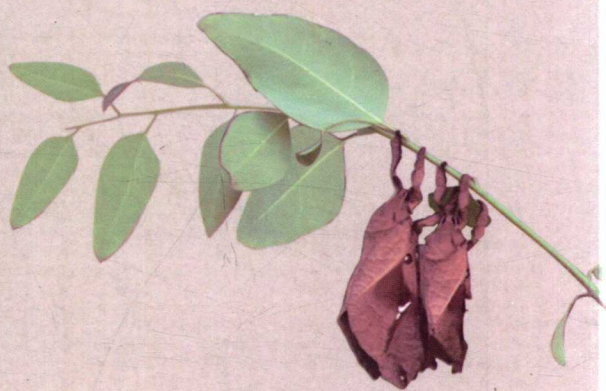
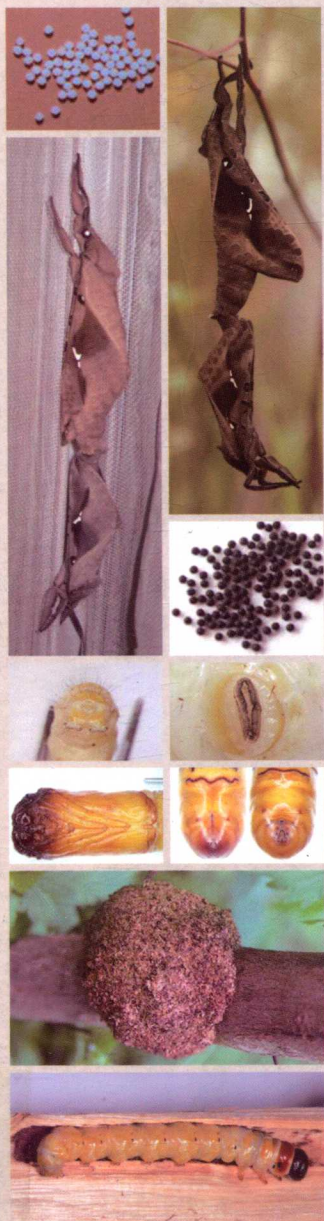




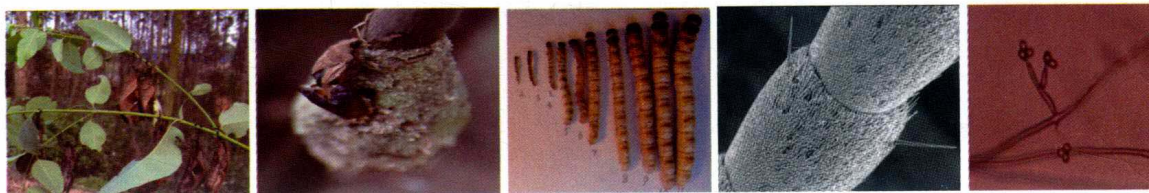
杨秀好
■
著

桉树重要害虫桉蝙蛾

生物生态学及控制技术



中国林业出版社



桉树重要害虫桉蝙蛾

生物生态学及控制技术

杨秀好 ■ 著



中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

桉树重要害虫桉蝙蛾生物生态学及控制技术 / 杨秀好著.

-- 北京 : 中国林业出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5038-9266-0

I. ①桉… II. ①杨… III. ①桉树属—病虫害防治 IV. ①S763.723.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第215224号

出版发行 中国林业出版社
(100009 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号)

网 址 www.lycb.forestry.gov.cn

电 话 (010) 83143580

印 刷 北京中科印刷有限公司

版 次 2017 年 9 月第 1 版

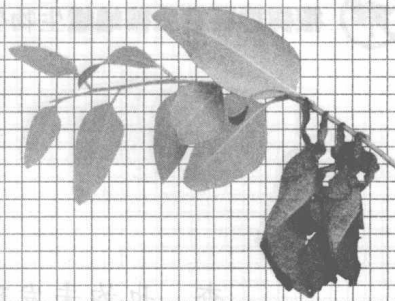
印 次 2017 年 9 月第 1 次

开 本 889mm × 1194mm 1/16

印 张 黑白 11.5 插页 1.25

字 数 260 千字

定 价 80.00 元



■ 序 言 FOREWORD ■

桉树是全球广泛引种栽培的硬木树种，在我国引种栽培历史悠久，目前已发展到华南、西南 11 个省（自治区、直辖市），总面积约 450 万 hm^2 ，以广西栽培面积最大，约占全国桉树总面积的 50%。桉树是我国木材战略储备的重要树种之一，2016 年广西木材产量占全国总量的 1/3，而广西桉树木材产量已占全区木材总产量的 67%，形成了“全国木材看广西，广西木材看桉树”的局面。桉树又是南方省区重要的园林景观、四旁绿化和荒山瘠地生态修复树种，发挥着森林和林木普遍具有的生态功能。桉树产业的健康发展，对促进林业生态建设和维护国家木材战略安全意义重大。

桉蝙蛾 *Endoclitia signifer* Walker 是近年来新发现危害桉树的钻蛀性害虫，是本土昆虫严重危害外来树种的典型案例。该虫钻蛀危害桉树主干，导致材积和材质双重下降，部分立木风折或整株枯死，已给林业生态建设和木材资源发展造成较大损失，对我国木材战略安全构成严重威胁。但国内外尚未有对该虫进行系统研究的报道。

本书作者在系统研究掌握广西桉树钻蛀性害虫种类、分布与危害的基础上，首次全面深入系统研究桉蝙蛾生物生态学、发生规律及防控技术；产学研管多部门联合，开展技术攻关，取得了系统性较强、实用性好的科研成果，并进行了推广应用，效果良好，为该害虫的有效防控提供了有效的科技支撑。

桉蝙蛾是在我国广泛分布的本土昆虫，其分布区域跨越东亚的日本、朝鲜，我国的华东、华南、西南和南亚的印度、缅甸等地区，但在我国大规模引种栽培桉树之前，国内未见该虫的危害记录，1980 年全国森林病虫害普查和 2003 年全国林业有害生物普



查，也均未发现并记录该虫。系统研究桉蝙蛾生物生态学，研究该虫对桉树和其他寄主植物的危害，对探索本土昆虫向外来树种转移机理，以及外来树种对本土昆虫的生态影响具有积极的理论和实践意义。

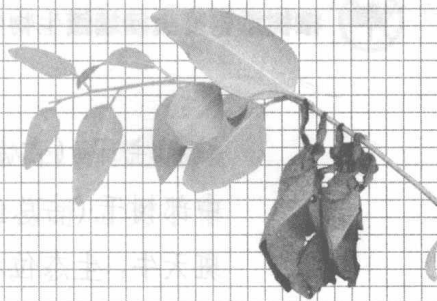
本书研究内容系统全面、深入细致，结构严谨、思路清晰，见解独到，有深度有广度，附有大量精美图片，具有较强的创新性和可读性。可供森林保护的科研、教育工作者和技术人员参考。

孙江军

中国科学院动物研究所

2017年5月20日

■ 前 言 PREFACE ■



随着我国桉树大规模栽培以及经营管理不够科学,大量本土昆虫转移危害桉树,造成的损失日趋严重。桉蝙蛾 *Endoclita signifer* Walker 是近年来新发现严重危害桉树的钻蛀性害虫,是本土昆虫转移危害外来树种的典型案例。国内外未见对该虫生物生态学、发生规律与防控技术进行系统研究的报道。作者从桉树钻蛀性害虫分布与危害,桉蝙蛾生物生态学、种群动态、寄主与天敌、虫生真菌筛选应用、防控技术试验示范等方面进行系统研究,取得了较好的研究成果。主要研究内容及结果如下:

1. 掌握了广西桉树主要钻蛀性害虫的分布、危害与生态位

(1) 明确了广西桉树主要钻蛀性害虫的分布与危害。已发现桉树钻蛀性害虫 3 目 7 科 13 种,其中桉蝙蛾 *Endoclita signifer*、云斑天牛 *Batocera horsfieldi*、咖啡豹蠹蛾 *Zeuzera coffeae* 已造成较严重危害。以桉蝙蛾危害最严重,该虫 2012 年发生在广西 13 个市, 63 个县(市、区),受害面积 3710.16hm^2 ;云斑天牛发生在广西 7 个市, 8 个县(市、区),受害面积 204.38hm^2 ;咖啡豹蠹蛾发生在广西 6 个市, 9 个县(市、区),受害面积 199.13hm^2 。

(2) 发现桉树钻蛀性害虫新记录 2 种、钻蛀性蝙蝠蛾新记录 1 种。新发现桉蝙蛾 *Endoclita signifer* Walker 和景洪兴透翅蛾 *Synanthedon jinghongensis* Yang et. Wang 2 种钻蛀性害虫危害桉树,国际上未见报道。国内已记载的钻蛀性蝙蝠蛾包括 2 属 17 种,其中长须蝙蛾属 *Palpifer* 1 种,蝙蛾属 *Endoclita* (= *Phassus*) 16 种,未见记录有桉蝙蛾。

(3) 揭示了桉树主要钻蛀性害虫的生态位。桉蝙蛾幼虫集中在 0 ~ 2m 桉树主干(占总虫数 70.60%),云斑天牛幼虫集中在 0 ~ 1m 的



桉树主干(占总虫数 83.51%), 咖啡豹蠹蛾幼虫集中在 3 ~ 7m 的中部树干(占总虫数 84.52%)。生态位宽度, 咖啡豹蠹蛾 > 桉蝙蛾 > 云斑天牛; 生态位相似性, 桉蝙蛾和云斑天牛 > 桉蝙蛾和咖啡豹蠹蛾 > 云斑天牛和咖啡豹蠹蛾; 种间竞争系数, 桉蝙蛾和云斑天牛 > 桉蝙蛾和咖啡豹蠹蛾 > 云斑天牛和咖啡豹蠹蛾。咖啡豹蠹蛾对空间资源的利用程度最大, 桉蝙蛾次之, 云斑天牛最小。

2. 揭示了桉树重大害虫桉蝙蛾生物生态学与发生规律

(1) 明确了桉蝙蛾生物生态学及发生规律。该虫在广西 1 ~ 2 年 1 代, 以幼虫在树干蛀道中越冬, 老熟幼虫 2 月化蛹, 成虫 4 月羽化, 羽化期为 25 ~ 27d, 4 月 15 ~ 20 日为羽化高峰期。成虫于黄昏婚飞交配, 交配时间长达 24h, 5m × 5m × 3m 以上空间的室外通风大棚中可成功求偶交配。雌蛾平均产卵量 9161 粒, 卵散产于林内地面上, 卵平均历期 18.5d, 4 月中旬至 5 月初幼虫孵化, 卵平均孵化率为 74.37%。幼虫经历地栖和树栖 2 个发育阶段, 1 ~ 4 个月生活在地面森林落叶层或朽木中, 真菌是其主要食物; 8 ~ 11 个月(2 年 1 代为 20 ~ 23 个月)生活在活立木树干中, 主要取食韧皮部。7 ~ 8 月为幼虫上树危害高峰期, 8 ~ 12 月幼虫发育迅速, 体长和头宽明显增加, 12 月下旬到次年 2 月上旬越冬。幼虫龄期为 12 龄, 其中地栖阶段为 3 龄, 树栖阶段为 9 龄。幼虫对树龄选择性明显, 1 ~ 8 年生桉树林均可受害, 主要危害 1 ~ 3 年生幼树(占 76.53%), 海拔 300m 以下低丘沟谷地带受害较重。幼虫上树后生存能力极强, 将虫害木段置于室外风干或 10 °C 的冰箱中冷藏, 其幼虫均能存活 3 个月以上, 将处理的幼虫重新转移到寄主活立木, 除冷藏 3 个月处理外, 均能蛀入活立木树干恢复发育, 并能羽化完成世代。

(2) 完成了桉蝙蛾线粒体基因组测序。桉蝙蛾线粒体基因组全长为 15285 bp, 包含 37 个典型基因(13 个蛋白编码基因, 22 个 tRNA 基因和 2 个 rRNA 基因)和 1 段长度为 349 bp 的控制区, 基因排列顺序与果蝇 *Drosophila yakuba* 相同。在控制区中检测到 1 个 tRNAMet 基因, 没有发生 tRNAMet 基因重排。在鳞翅目昆虫中,



目前已知的双孔类物种的线粒体基因组均含有 tRNAMet 基因重排, 桉蝙蛾线粒体基因组没有 tRNAMet 基因重排, 从分子学证实了该虫属于鳞翅目较原始的单孔亚目类群。

(3) 探明了桉蝙蛾幼虫种群空间格局。标准地小尺度下, 生物学统计和地统计学分析桉蝙蛾幼虫种群空间格局均为聚集分布; 但随着林分受害程度增加, 幼虫种群密度增大, 其聚集程度有减小的趋势, 轻、中、重度受害程度地统计学变程 α 分别为 20.00m、40.38m 和 69.42m, 表明在小尺度下桉蝙蛾种群的空间依赖关系随着危害程度增加而减小。区域大尺度下, 地统计学分析幼虫种群在轻度受害呈随机分布, 在中度和重度受害呈聚集分布, 轻、中、重度受害程度变程 α 分别为 43.6 km、15.5 km、12.47 km, 表明在区域大尺度下桉蝙蛾种群的空间依赖关系随着危害程度增加而增大。

3. 掌握了桉蝙蛾的寄主植物和潜在寄主植物

(1) 查明了桉蝙蛾的自然寄主植物。该虫在广西的自然寄主植物包括 22 科 34 属 42 种, 其中桃金娘科 Myrtaceae、含羞草科 Mimosaceae、大戟科 Euphorbiaceae、木犀科 Oleaceae、马鞭草科 Verbenaceae、榆科 Ulmaceae 和葡萄科 Vitaceae 植物是其常见寄主植物。尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 和巨尾桉 *E. grandis* × *E. urophylla*、尾巨桉 *E. urophylla* × *E. grandis*、巨圆桉 *E. grandis* × *E. tereticornis* 3 种杂交无性系不同程度受害, 巨桉 *E. grandis*、赤桉 *E. camaldulensis*、柳桉 *E. saligna*、蓝桉 *E. globulus*、柠檬桉 *E. citriodora* 等品种未发现自然受害。

(2) 创新钻蛀性害虫潜在寄主测定方法, 明确了桉蝙蛾潜在寄主树种。共测定了 14 科 18 属 20 种用材林、经济林和园林植物, 其中杉木 *Cunninghamia lanceolata*、台湾相思 *Acacia confusa*、桃树 *Prunus persica*、苦楝 *Melia azedarace*、板栗 *Castanea mollissima*、桂花 *Osmanthus fragrans*、枇杷 *Eriobotrya japonica*、三角梅 *Ougainvillea spectabilis* 和窿缘桉 *Eucalyptus exserta* 9 种植物确认为该虫潜在寄主。杉木和台湾相思在后续调查中, 已发现桉蝙蛾自然危害, 证实了潜在寄主测定方法的可靠性。



(3) 初步探明了桉蝙蛾的寄主选择行为和寄主抗虫机理。通过桉蝙蛾对寄主植物组织挥发物的行为反应测试表明, 成虫对寄主植物有明显的选择行为, 而对非寄主植物选择不明显。雌蛾和雄蛾对寄主植物挥发物均有选择性, 但雌蛾的选择比例稍大于雄蛾, 说明雌蛾对寄主植物挥发物质更敏感; 幼虫对寄主和非寄主植物的新鲜组织挥发物都有趋向性选择行为, 幼虫对寄主植物鲜叶的选择比例大于非寄主。在寄主巨尾桉的叶、皮和木质部对比测试中, 幼虫对树皮和木质部的选择比例大于树叶, 表明桉蝙蛾对寄主植物有多重选择行为, 即成虫选择含有寄主植物的林分产卵, 幼虫孵化完成地栖生活后, 在寄主挥发物引导下寻找和定位寄主, 在植物种类丰富的地方, 就会出现钻蛀危害多种植物的现象。幼虫对植物叶片挥发物的敏感性低于成虫, 说明幼虫选择寄主植物主要靠接触和试探取食。对寄主和非寄主植物物理结构测定表明, 幼虫趋向于树干含水率较低、树皮厚度和木质部厚度较薄的植物或具有上述特点的桉树树干部位, 高含水量或较厚的树皮是寄主植物抗虫的特征之一。比较寄主与非寄主植物、健康树与受害树过氧化物酶活性, 则非寄主植物比寄主植物高出近 1 倍, 受害树高于健康树近 1 倍, 说明过氧化物酶活性与植物抗虫性有直接的关系, 一方面非寄主植物过氧化物酶活性较高表现出直接抗虫性, 另一方面寄主植物受害后产生化学防御变化, 提高过氧化物酶活性表现出间接抗虫性。桉蝙蛾寄主或潜在寄主的可溶性总糖含量比非寄主植物高 44.53%, 1 年生低龄桉树可溶性总糖含量高于抗虫性高的高龄桉树, 说明较高的可溶性总糖有利于幼虫生长发育, 低可溶性总糖含量表现出一定抗虫性。

4. 评估了桉蝙蛾对桉树的生长量影响和害虫的生态效应

(1) 桉蝙蛾危害桉树造成生长量损失和经济损失。轻、中和重度受害林分当年平均单株材积和生物量损失分别为 0.0110m^3 和 6.38kg 、 0.0126m^3 和 12.28kg 、 0.0221m^3 和 20.87kg , 单位面积材积损失量分别为 $0.495\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $1.512\text{m}^3/\text{hm}^2$ 和 $4.973\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。按 2013 年市场价格计算, 材积和材质 2 项损失合计分别为 $1253\text{元}/\text{hm}^2$ 、 $3494\text{元}/\text{hm}^2$ 和 $8335\text{元}/\text{hm}^2$ 。虫口密度 4 头/株以上与 1 头/株以



下生长量损失差异显著,考虑到钻蛀性害虫危害引起材质下降造成经济损失,1头/株也应采取预防和除治措施。

(2) 桉树引种栽培引起桉蝙蛾危害对周边本土原生寄主植物的生态效应。桉蝙蛾是国内广泛分布的本土昆虫,在我国大规模引种栽培桉树之前未见该虫危害记录。桉树是桉蝙蛾喜欢的寄主植物之一,桉树的大规模引种栽培为本土昆虫向外来树种转移危害创造了条件,桉树纯林的大面积种植加剧了桉蝙蛾危害桉树的风险,但未见加重本土原生寄主植物危害的现象。①从桉树的生态影响角度考虑,一方面,未发现桉树的种植加剧桉蝙蛾等本土昆虫对本土原生寄主植物的危害,相反,种植桉树对桉蝙蛾有一定的招引作用,一定程度可减缓对本土原生寄主植物危害的压力;另一方面,桉树的大规模种植加剧了桉蝙蛾等本土昆虫对桉树的危害,大量本土昆虫变成了桉树的天敌,这是自然生态平衡的一种趋势,使我国桉树引种栽培趋于自然生态调控过程中,种植桉树不会自主泛滥造成生态灾难。只要加强经营管理,控制种植规模,采取科学的耕作方式,可以减轻种植桉树的不良生态影响。②从桉树的经济角度考虑,本研究掌握了较好的害虫防控技术,只要加强监测预报,推广应用生物防治为主导的综合治理技术措施,及时预防和科学防控害虫灾害,促进桉树健康发展,就能较好地发挥桉树种植的经济效益、生态效益和社会效益。

5. 建立了以高效专用真菌制剂为主的综合治理技术体系

(1) 掌握了桉蝙蛾天敌资源。已发现该虫天敌 27 种,其中寄生蝇 1 种(栗色舟寄蝇 *Scaphimyia castanea*),寄生蜂 4 种(桉蝙蛾金小蜂 *Trichomalopsis* sp.,横室姬蜂 *Buodias* sp.,象甲姬蜂 *Bathyplectes* sp.和茧蜂 1 种),捕食性蚂蚁 12 种,其他捕食性天敌 6 种(啄木鸟、鼠类、蝙蝠、蟾蜍、蛇和蠼螋),虫生真菌 4 种。幼虫和蛹天敌以白僵菌、寄生蝇、蚂蚁和鼠类为主,成虫天敌以鸟类、蝙蝠、鼠类、蟾蜍和蛇类为主,卵的天敌有蚂蚁、蠼螋和青霉。栗色舟寄蝇和球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 自然控制能力较强,为桉蝙蛾天敌优势种。不同地点采集的桉蝙蛾白僵菌菌株,菌落形态和分子测序结果



证实存在遗传差异。林间桉蝙蛾受球孢白僵菌自然感染的林分平均感染率为 11.30%，栗色舟寄蝇平均寄生率为 4.64%。

(2) 确认了桉蝙蛾虫生真菌种类。从感染桉蝙蛾卵、幼虫和蛹的虫尸分离鉴定到 8 属真菌类群，经形态学鉴定结合 rDNA-ITS 序列测定和致病性测定结果，确认桉蝙蛾虫生真菌有 4 种，其中苏门答腊青霉 *Penicillium sumatrense* 感染卵，为卵生真菌，球孢白僵菌、尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 和艾夫拉菌 *Evlachovaea* sp. 感染幼虫，为幼虫虫生真菌。球孢白僵菌对桉蝙蛾幼虫和蛹致病力强，为虫生真菌优势种，具有较好的开发应用前景。

(3) 发现虫生真菌新记录艾夫拉菌和球孢白僵菌有性型。分离鉴定发现虫生真菌新记录种艾夫拉菌 *Evlachovaea* sp.，在国内属首次报道，该菌感染桉蝙蛾幼虫扩大了该菌的寄主记录。首次在桉蝙蛾虫尸上培养出球孢白僵菌的有性型球孢虫草 *Cordyceps bassiana*，增加了球孢白僵菌有性型的寄主新记录，扩大了其寄主范围。

(4) 筛选出桉蝙蛾白僵菌高效菌株，研发高效专用虫生真菌制剂。对 22 株感染桉蝙蛾的白僵菌菌株进行 rDNA-ITS 测序和 BLAST 比较分析，选出其中 9 个菌株进行桉蝙蛾幼虫致病力测定，从初见死亡时间、致死中时和死亡率 3 个性能指标筛选出 Bb-WM1 和 Bb-CX14 两个高效菌株，这 2 个菌株致病力强，致死时间较短，20 天死亡率为 100%，初见死亡时间为第五天，致死中时为 6.8d，综合性能优于其他菌株。通过菌种分离培养、液体大罐种子发酵，改进固体培养基发酵工艺，成功生产出合格的桉蝙蛾高效专用白僵菌原粉制剂（分生孢子含量 >100 亿 / 克，含水量低于 6%），为害虫生物防治示范奠定了基础。

(5) 构建了以生物防治为主导的桉蝙蛾综合治理技术体系。研发了一套以保护原生植被和天敌资源为基础，以施放高效专用白僵菌制剂为主导，以人工防治与化学无公害防治为辅助的桉蝙蛾综合防控技术。①营林技术措施：大规模营造桉树人工林，宜采取“山顶戴帽、山腰扎带、山脚穿裙”的原生植被保护措施，减少对本土原生植被的破坏，加强保护林区内的鸟类、蛙类、蚂蚁、寄蝇等桉

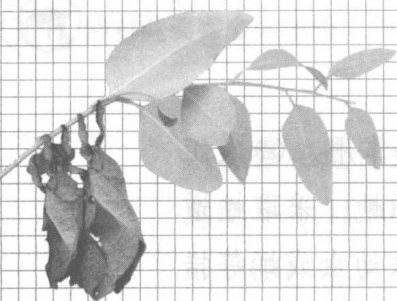


蝙蛾天敌及虫生真菌，增强天敌对害虫的自然控制作用。②人工防治与无公害化学防治：小面积较高虫口密度的虫源地，采取蛀道注射化学药物、人工清除虫害木烧毁或人工蛀道刺杀幼虫或蛹等措施，均可致幼虫或蛹死率达100%。③生物防治试验示范：研究掌握了高效专用白僵菌粉剂生产和防治桉蝙蛾技术，掌握了最佳防治时机和施菌方法。8~10月份蛀道注射高效专用白僵菌分生孢子悬浮液防治效果达90%以上，次年2月和3月防治效果分别达到75%和87.01%。10月份采用蛀道注射、拆包喷雾、虫包喷雾3种方法，施放白僵菌分生孢子悬浮液，防治效果分别达94.12%、70%和45%。④生物防治技术推广应用：综合考虑防治效果和防治作业难度，以2月份桉蝙蛾化蛹前打开蛀道口虫包，为成虫羽化预留出口的有利时期为最佳防治时机，喷施桉蝙蛾高效专用白僵菌粉剂大面积防治示范，每亩喷撒原粉250~500g，防治示范效果明显，防治区次年桉蝙蛾受害程度明显减轻。推广应用高效专用白僵菌粉剂为主的综合治理技术是控制桉蝙蛾危害桉树的有效途径。

由于研究条件以及作者的能力和水平有限，上述研究成果和本书论述内容难免有不足和疏漏之处，敬请读者和同行不吝赐教，及时给予指正。

杨青如

2017年5月25日



目 录 CONTENTS

序言	I
前言	III
1 导 论	1
1.1 研究桉蝙蛾的目的和意义	1
1.2 钻蛀性蝙蝠蛾研究进展	1
1.2.1 国外钻蛀性蝙蝠蛾研究进展	2
1.2.2 国内钻蛀性蝙蝠蛾研究进展	3
1.3 桉蝙蛾研究简史	5
1.4 研究思路及技术路线	5
2 广西桉树主要钻蛀性害虫分布与危害	7
2.1 调查方法	7
2.1.1 组织培训与实施调查	7
2.1.2 应施调查的桉树品种和品系	7
2.1.3 调查范围	7
2.1.4 线路踏查和标准地调查方法	8
2.2 结果与讨论	8
2.2.1 调查完成的林分及发现的钻蛀性害虫种类	8
2.2.2 广西桉树主要钻蛀性害虫的分布	11
2.2.3 广西桉树主要钻蛀性害虫的危害	11
3 桉树主要钻蛀性害虫种群生态位	15
3.1 试验地概况	15
3.2 研究方法	15
3.2.1 标准地调查	15
3.2.2 空间生态位分析方法	15
3.3 结果与分析	17
3.3.1 桉树主要钻蛀性害虫在树干上的垂直分布	17

XI



5.1.1	自然寄主植物调查方法	71
5.1.2	潜在寄主植物测定方法	72
5.1.3	成虫和幼虫寄主选择行为及抗虫机理实验方法	73
5.2	结果与分析	75
5.2.1	自然寄主植物调查结果	75
5.2.2	潜在寄主植物测定结果	79
5.2.3	成虫对寄主植物组织的选择行为	86
5.2.5	幼虫对寄主植物组织的选择行为	90
5.2.6	寄主植物物理性状与害虫的关系	93
5.2.7	植物内含物与害虫的关系	95
5.3	结论与讨论	98
5.3.1	桉蝙蛾属于高度多食性本土昆虫	98
5.3.2	桉蝙蛾对寄主植物选择性明显	98
5.3.3	自然寄主巨尾桉、潜在寄主和非寄主植物对幼虫的影响	98
5.3.4	桉蝙蛾成虫和幼虫双重选择寄主	99
5.3.5	桉蝙蛾寄主植物的抗虫机理	100
6	桉蝙蛾危害对桉树生长量的影响及桉树对害虫的生态效应	101
6.1	材料和方法	101
6.1.1	桉蝙蛾对桉树生长量影响测定方法	101
6.1.2	桉树对害虫的生态效应研究方法	102
6.2	结果与分析	102
6.2.1	桉蝙蛾对桉树的生长量影响	102
6.2.2	桉树对桉蝙蛾的生态效应	108
6.3	结论和讨论	109
7	桉蝙蛾天敌与高效专用虫生真菌制剂研发	111
7.1	材料和方法	111
7.1.1	野外调查	111
7.1.2	实验室观测	111
7.1.3	虫生真菌种类及优势种鉴定	112
7.1.4	虫生真菌优势种高效菌株筛选	112
7.1.5	高效专用虫生真菌制剂生产技术	112
7.2	结果与分析	113
7.2.1	桉蝙蛾天敌种类鉴定	113
7.2.2	桉蝙蛾天敌的自然控制能力	120



7.2.3 虫生真菌致病力和优势种筛选	127
7.2.4 桉蝙蛾高效专用白僵菌粉剂生产技术	134
7.3 结论与讨论	137
7.3.1 桉蝙蛾天敌种类丰富	137
7.3.2 桉蝙蛾寄生蝇寄生专一性强	137
7.3.3 桉蝙蛾虫生真菌种类较多	137
7.3.4 发现国内虫生真菌新记录艾夫拉菌	138
7.3.5 桉蝙蛾球孢白僵菌菌落形态和分子遗传学存在差异	138
7.3.6 不同白僵菌菌株的致病力存在差异	138
7.3.7 发现球孢白僵菌有性型球孢虫草	139
7.3.8 桉蝙蛾高效专用白僵菌粉剂生产工艺需要改进	139
8 桉蝙蛾综合治理技术研究与应用	140
8.1 营林和生态保护	140
8.2 无公害化学防治	142
8.2.1 材料和方法	142
8.2.2 结果与分析	142
8.3 人工防治	143
8.3.1 清除虫害木	143
8.3.2 人工刺杀幼虫和蛹	144
8.3.3 蛀道灌水防治法	144
8.4 生物防治技术	144
8.4.1 生物制剂阿维菌素防治桉蝙蛾	144
8.4.2 香根草提取液防治桉蝙蛾	145
8.4.3 桉蝙蛾高效专用白僵菌防治技术研发与示范	146
8.4 结论与讨论	151
8.4.1 生态调控是有效控制桉蝙蛾危害的根本策略	151
8.4.2 多种措施综合应用是防治桉蝙蛾的保证	152
8.4.3 生物防治施菌方法和时机选择是关键	152
9 存在问题与建议	153
9.1 存在问题	153
9.2 建议进一步研究的内容	153
9.2.1 桉蝙蛾分布危害与寄主范围调查需进一步开展	153
9.2.2 桉蝙蛾幼虫地栖阶段的生物学掌握还不够全面	153
9.2.3 桉蝙蛾的寄主选择与寄主抗虫机理有待进一步研究	153



参考文献	154
致谢	165
附录一：附表	167
附表 1 中国桉树钻蛀性害虫名录	167
附表 2 桉蝙蛾天敌种类记录	168
附表 3 桉蝙蛾天然寄主植物记录	169
附录二：附图	171
附图 1 桉树主要钻蛀性害虫——桉蝙蛾危害特征	171
附图 2 桉树主要钻蛀性害虫——云斑天牛危害特征	172
附图 3 桉树主要钻蛀性害虫——咖啡豹蠹蛾危害特征	173
附图 4 桉树主要钻蛀性害虫——景洪兴透翅蛾危害特征	174
附图 5 桉蝙蛾形态学特征 1	175
附图 6 桉蝙蛾形态学特征 2	176
附图 7 桉蝙蛾电镜特征	177
附图 8 桉蝙蛾幼虫转移上树行为	178
附图 9 桉蝙蛾成虫习性	179
附图 10 桉蝙蛾线粒体基因组结构	180
附图 11 桉蝙蛾主要寄主植物及桉蝙蛾危害状	181
附图 12 桉蝙蛾潜在寄主测定对象及幼虫转移结果	182
附图 13 桉蝙蛾主要天敌昆虫	183
附图 14 虫生真菌新记录艾夫拉菌感染昆虫症状及该菌形态特征	184
附图 15 青霉感染桉蝙蛾受精卵症状	185
附图 16 卵生真菌青霉的形态	186
附图 17 球孢白僵菌感染桉蝙蛾虫尸形态及培养菌落形态	187
附图 18 白僵菌有性型—球孢虫草形态特征	188
附图 19 桉蝙蛾感染白僵菌的发病症状	189
附图 20 桉蝙蛾高效专用白僵菌粉剂生产工艺	190
附图 21 桉蝙蛾综合治理试验示范效果	191
附图 22 区域大尺度下桉扁蛾幼虫种群空间变异函数图和插值预测图	192
附图 23 桉蝙蛾幼虫在胁迫条件下转移到 21 种植物的成活率 (含巨尾桉对照)	193