



长足大竹象

杨瑶君 梁 梓 汪淑芳 廖 鸿 等著

CHANGZU DAZHUXIANG



科·学出版社

象竹大足长

杨瑶君 梁梓 汪淑芳 廖鸿 等著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以乐山师范学院、四川农业大学、沐川林业局等单位组成的林竹生态中心课题组多年长足大竹象研究成果为核心素材合编而成,全面系统地介绍长足大竹象生物学特点、综合治理方法及最新成果。内容包括长足大竹象起源、分类与分布,生物学、生理学、生态学特性,及其综合防治技术等,可读性强、信息量大,可为长足大竹象的防治提供理论指导。目前本书防治技术已经应用到四川竹林保护的实践中。本书理论联系实际,对教学、科研具有重要指导意义,可为病虫害防治等相关专业教学、科研、生产工作者提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

长足大竹象 / 杨瑶君等著. — 北京: 科学出版社, 2015.5
ISBN 978-7-03-044179-9

I. ①长… II. ①杨… III. ①方胸象虫科-防治 IV. ①
Q969.515

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 087760 号

责任编辑: 杨 岭 孟 锐 / 责任校对: 王 翔

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2015年6月第一次印刷 印张: 5 1/4

字数: 110千字

定价: 39.00元

序

中国是世界上竹类资源最为丰富的国家，有 39 个属 500 余种，是世界上最主要的产竹国，不仅竹林面积最大、产量最高，而且栽培历史最为悠久，竹文化非常丰富。竹子是生长最快、资源再生能力最强的植物之一，可一次栽植数十年收获，具有显著的生态效益和经济效益。竹笋是传统的森林蔬菜，竹材是竹地板、竹家具、竹纤维等的主要原料，竹产品及其生产加工与贸易已成为振兴竹区经济带的重要经济支柱，竹产业在国民经济中的地位日益突出，以竹代木、以竹胜木是发展趋势。“十二五”期间竹产业被列为我国林业重点发展的十大主导产业之一。2014 年四川竹林面积已达 1700 万亩，占全国竹林总面积的 20%，居全国第一位，已形成竹类资源种植、加工、运输、观光等多业态为一体的竹产业集群，竹产业已成为重要的“财源工程”、“富民工程”和“生态工程”。

长足大竹象(*Cyrtotrachelus buqueti*)是竹林的主要害虫和提高竹材产量的主要限制因子。2003 年以来，国家林业局(检防函〔2003〕14 号、2013 年第 4 号公告)一直将长足大竹象列为我国林业危险性有害生物，长足大竹象是慈竹等丛生竹的毁灭性害虫。该虫的危害不仅限制竹产业的发展，而且直接影响到退耕还林成果的巩固和国家天然林资源保护工程(天保工程)建设。长足大竹象防治面临竹林山区防治成本高、难度大、时间长等三大难题，长足大竹象的危害不仅严重制约竹产业的发展、竹农经济收入的提高，而且加剧了竹材的供需矛盾，加大了木材砍伐和天保工程的压力。

乐山师范院长足大竹象研究团队长期深入四川乐山、眉山、宜宾和泸州及贵州赤水、广西田林等竹区，在竹林危险性害虫长足大竹象生物学特征、种群动态、生物学防治等方面取得了一系列成果，尤其突出的是根据寄主导向信息物质研究，研制出长足大竹象信息素引诱剂，成功对该虫实现了高效诱捕，是化学生态学理论成功应用的典范。研究团队完成的“林业危险性害虫长足大竹象生态诱捕防控技术研究与应用”项目，成果水平达到国内领先水平，2013 年获四川省科技进步三等奖、乐山市科技进步特等奖，成果应用产生了显著的经济效益和生态效益。本书的内容是在国家自然科学基金面上项目“长足大竹象种群数量的自然调控机制”(31470655)、四川省科技支撑项目“万亩竹林无虫害关键技术”(2014NZ0012)、四川省应用基础研究项目“长江上游竹林主要害虫的寡食机制及其种群变化的预测模型研究”(2010JY0038)、“西南地区竹笋主要害虫的种群生态学研究”(2015JY0133)等科技项目资助下完成的研究成果。

本书以长足大竹象分类、地理分布、表观形态、超微形态、生物学特性、生活史、种群动态、气候预测模型研究、竹笋挥发物成分、成虫触角电位反应、生理学研究以及引诱剂诱捕等为主要内容，建立长足大竹象生物学方面的系列基础资料，通过方法和技术创新，形成长足大竹象种群密度的生态防控体系，实现以寄主导向信息物质为特点的高效生物防治。

本书是竹象虫研究团队十余年的研究成果，是国内外第一部系统研究长足大竹象的专著，具有较强的学术价值和应用价值。全书由杨瑶君教授提出内容设计，由梁梓、汪淑芳、廖鸿、胡霞、农向等对各章节分别负责编写，并进行认真审校、修改和补充。同时感谢参加编写工作和对本书出版做出贡献的专家和师生，他们是杨佐忠、杨伟、王智勇、刘超、秦虹、陈其勇、李光洪、王萍、彭国清、纪岷、周久贵、龙文聪。

鉴于编者水平有限，书中难免有一些不足之处，敬请读者予以指正。

编 者

2015年3月于四川乐山

目 录

第 1 章 长足大竹象分类与分布及形态特征	1
1.1 分类与分布	1
1.2 形态学特征	1
参考文献	8
第 2 章 长足大竹象的生物学特性	10
2.1 生殖生物学	10
2.2 生活史	15
2.3 生活习性	16
2.4 危害特性	16
参考文献	18
第 3 章 长足大竹象种群动态及预测预报	20
3.1 幼虫种群动态	20
3.2 气候因子对种群密度的影响	22
3.3 气候预测模型研究	29
3.4 种群密度与虫孔数、竹笋受害率的关系, 以及虫口密度的预测	32
参考文献	38
第 4 章 长足大竹象幼虫消化酶活性及触角对竹笋挥发物电位反应	40
4.1 幼虫消化酶活性的初步研究	40
4.2 竹笋挥发物成分与触角电位反应研究	43
参考文献	50
第 5 章 长足大竹象的综合防治	53
5.1 化学防治	54
5.2 物理防治	67
5.3 生物防治	68
5.4 植物源农药防治	69
5.5 引诱剂配合诱捕器诱捕防治	70
参考文献	77

第 1 章 长足大竹象分类与分布及形态特征

1.1 分类与分布

长足大竹象(*Cyrtotrachelus bugueti* Guerin-Meneville)隶属于鞘翅目(Coleoptera)象甲科(Curculionidae)弯颈象属(*Cyrtotrachelus*),也称竹横锥象甲,分布于印度、柬埔寨、越南、印度尼西亚、日本、菲律宾和中国的福建、台湾、江西、湖南、四川、广东、广西、贵州、云南等地。

1.2 形态学特征

1.2.1 表观形态特征

成虫 长足大竹象雌虫体长 23~38 mm,雄虫 26~42 mm,雄虫个体较大。体橙黄色或黑褐色,头半圆形、黑色,管状喙从头部前方伸出,黑色。雌虫背面左右两侧各有一浅凹槽,雄虫背面有一个明显的凹槽,凹槽边有齿状突起。触角膝状,着生于喙的后方月牙形沟中。前胸背板成圆形隆起,后缘正中有一箭状黑斑。鞘翅黄色或黑褐色,外缘圆,臀部处有 1 尖的突起,两个翅合并时,在翅中组成一个 90°角的齿状突起。雌虫前足腿节长于或等于胫节,胫节内侧棕色毛短而疏;雄虫前足长大,腿节、胫节长于中后足,腿节短于胫节,胫节下方棕色毛密而长。

卵 长椭圆形,长径 4.0~5.2 mm,上端略尖,下端圆,初产乳白色,有光泽,渐变为乳黄色。表面光滑,无斑纹。

幼虫 初孵幼虫体长 5 mm,全体乳白色;老熟幼虫体长 46~55 mm,体深黄色,头黄褐色,大颚黑色。前胸背板骨化,背板上有 1 黄色盾板,上有黑褐色“八字”形斑。体多皱褶,无斑纹。

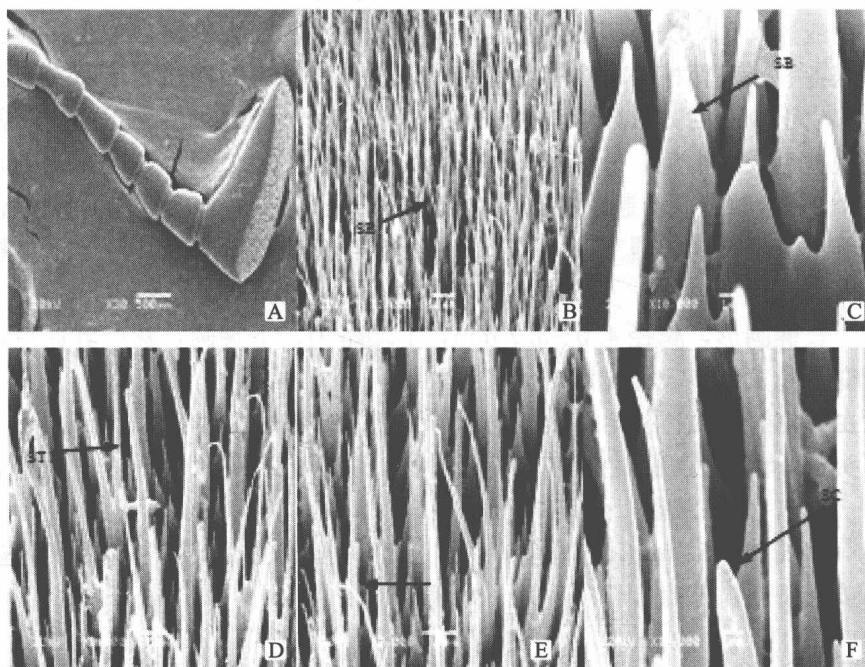
蛹 体长 35~50 mm,初化乳白色,渐变为土黄色,前胸背板后缘具褐色箭状纹。茧较坚硬,外附有竹叶碎片、杂草及土粒。

1.2.2 超微形态学

1.2.2.1 触角超微结构

昆虫的嗅觉、触觉、味觉等功能主要通过触角上着生的不同类型的化学感器来实现(杜永均等, 1995; Ochieng, et al., 2000; Thorpe, et al., 2007; Bruyne, et al., 2008)。对昆虫触角感器的超微结构、嗅觉感器的小孔结构及气味结合蛋白的分布等研究表明, 气味结合蛋白存在于触角锥形感器中, 该感器细胞壁薄, 具有丰富的小孔并富含神经细胞, 行使感知植物气味的生理功能(Almaas, et al., 1991; Chinta, et al., 1997; Vogt, et al., 1999; Steinbrecht, 1997; Consoli, et al., 1999; Ochieng, et al., 2000; 金鑫等, 2004; Dweck, 2009)。

为了确定触角上感知竹笋气味的化学感器数量及分布, 在 2008 年 7 月中旬应用电镜扫描对长足大竹象成虫触角超微结构进行研究, 取供试雌雄成虫在解剖镜下用镊子和医用手术刀将触角和口器从头部切下, 然后用不同浓度梯度的乙醇(30%—50%—70%—80%)脱水, 将样品浸于 80% 的乙醇中用超声波振动去除肉眼不可见的细小污物, 再用乙醇逐级(85%—90%—95%—100%)脱水, 经临界点干燥仪干燥, 将干燥好的样品观察面向上粘台, 用 JFC-1600 型离子溅射仪喷金, 置于 JSM-5900 LV 扫描电镜下观察、拍照, 见图 1.1 和图 1.2。



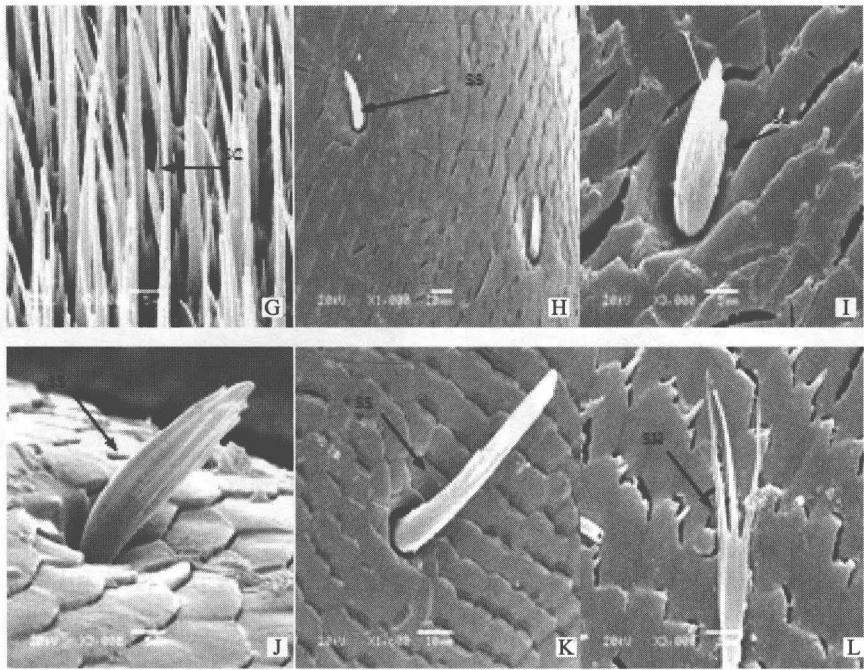
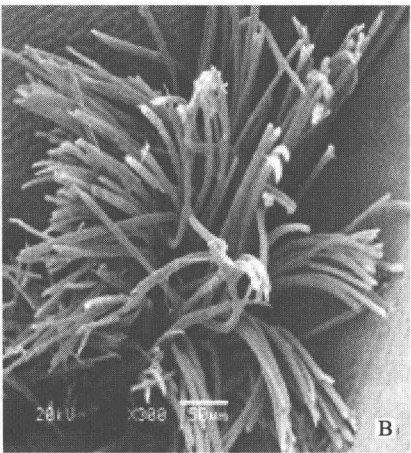
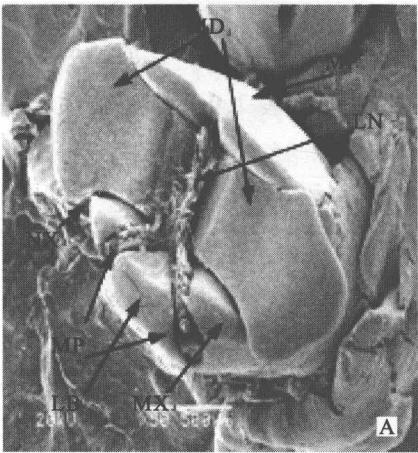


图 1.1 长足大竹象触角传感器的扫描电镜观察

A. 触角(鞭节的 7 个亚节); B、C. 锥形感器; D. 毛形感器(长直毛形); E. 毛形感器(长曲毛形); F、G. 柱形感器; H~K. 芽形感器; L. 手形感器



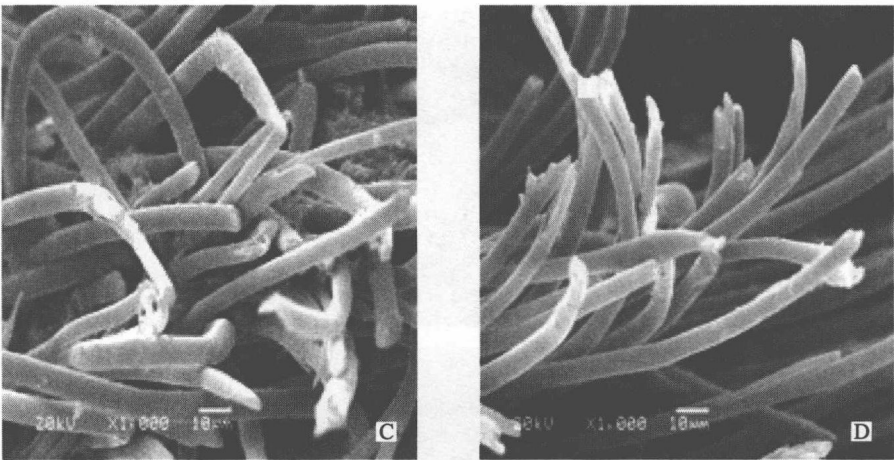


图 1.2 长足大竹象口器扫描电镜观察

A. 口器(MF-上唇; MD-上颚; MX-下颚; LB-下唇; LN-舌; MP-颚须); B~D. 长柱毛形感器

触角的一般形态 长足大竹象成虫触角分 3 部分：柄节、梗节和鞭节，其中鞭节由 7 个亚节组成(图 1.1A)，雌雄无明显差异，触角呈膝状弯曲，雌雄长度相似。鞭节平均长 $(3\,902.78 \pm 62.51)\mu\text{m}$ ，7 个亚节平均长度分别为 $(526.16 \pm 10.32)\mu\text{m}$ 、 $(673.67 \pm 6.93)\mu\text{m}$ 、 $(615.11 \pm 12.87)\mu\text{m}$ 、 $(466.35 \pm 9.25)\mu\text{m}$ 、 $(465.59 \pm 3.66)\mu\text{m}$ 、 $(527.46 \pm 4.33)\mu\text{m}$ 、 $(584.87 \pm 7.54)\mu\text{m}$ ，末亚节最大，宽度达 $(2109.31 \pm 32.18)\mu\text{m}$ 。感觉器主要集中在鞭节末亚节底面，在鞭节的第 1~6 亚节很少分布，柄节和梗节则几乎没有分布。通过电镜观察在长足大竹象触角上共发现了 5 类感器，分别为锥形感器、毛形感器、柱形感器、芽形感器、手形感器，各感器的长度、基部直径及在触角上的密度列于表 1.1。雌雄个体之间，触角感器类型相同，每种类型感器的分布无明显差异。

表 1.1 触角化学感器的形态特征和数量分布

感器类型		长度/ μm	基部直径	密度/(个/ μm^2)
锥形感器		6.84 ± 0.37	2.91 ± 0.09	0.033 ± 0.002
毛形感器	长曲毛形	27.52 ± 1.66	2.42 ± 0.11	0.011 ± 0.001
	长直毛形	27.83 ± 1.21	2.68 ± 0.09	0.008 ± 0.001
柱形感器		10.55 ± 0.73	2.42 ± 0.15	$8.0 \times 10^{-4} \pm 4.0 \times 10^{-5}$
芽形感器		29.34 ± 2.22	6.11 ± 0.43	$1.0 \times 10^{-4} \pm 1.0 \times 10^{-5}$
手形感器		27.53 ± 0.53	4.46 ± 0.26	$2.8 \pm 0.84^*$

注：* 每个触角上感器的分布数量

毛形感器 毛形感器是长足大竹象触角上数量较多的感器，分布于鞭节末亚节底面。按其形状和大小可分为长直毛形感器(图 1.1D)和长曲毛形感器(图 1.1E)。前者毛状，细长光滑，顶端粗平，着生于鞭节末节底面，与触角约

成 90° 角,长 $(27.83 \pm 1.21) \mu\text{m}$,基部直径约 $(2.68 \pm 0.09) \mu\text{m}$,密度平均为 (0.008 ± 0.001) 个/ μm^2 。长曲毛形感器顶端弯曲,细长光滑,长 $(27.52 \pm 1.66) \mu\text{m}$,基部直径约 $(2.42 \pm 0.11) \mu\text{m}$,密度平均为 (0.011 ± 0.001) 个/ μm^2 。

柱形感器 直立着生,顶端钝圆,外形粗壮(图 1.1F~G),是其区别于其他感器的形态特征。数量较少,分布于鞭节末亚节底面,长 $(10.55 \pm 0.73) \mu\text{m}$,基部直径约 $(2.42 \pm 0.15) \mu\text{m}$,密度平均为 $(8.0 \times 10^{-4} \pm 4.0 \times 10^{-5})$ 个/ μm^2 。

锥形感器 它是触角上数量最多、密度最大的感器(图 1.1B~C),丛生于鞭节末节底面,顶端尖细,基部粗大,短而直,呈直立的三角锥形。

芽形感器 叶芽形,零星分布于鞭节的第1~7亚节的角质上,基部有一向下凹陷的臼状窝,呈 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 角着生(图 1.1H~K),中上部皱褶或有分支,长 $(29.34 \pm 2.224) \mu\text{m}$,基部直径约 $(6.11 \pm 0.43) \mu\text{m}$,密度平均为 $(1.0^{-4} \pm 1.0^{-5})$ 个/ μm^2 。

手形感器 平卧在鞭节的第1亚节角质上,中上部有4根细指形分支,形如修长的细手(图 1.1L),每个触角有2~4个手形感器(表 1.1)。

1.2.2.2 口器超微结构

长足大竹象头部感器主要集中在触角和口器,口器同触角一样同是感知外界的重要器官,为了解长足大竹象识别竹笋的感器结构,进行了口器电镜扫描。

成虫的额与头顶向前极度延伸,形成象鼻状的“喙”,口器生于喙端,为咀嚼式口器(图 1.2A)。口器包括5部分:上唇、上颚、下颚、下唇和舌。上唇是盖在口器上方的一个坚硬的薄片;上颚位于上唇的下方,为一对坚硬的块状物,能一张一合地运动,钻食竹笋;下颚位于上颚的下方,左右外颚叶、内颚叶退化成一对小块状物,左右下颚须缩短成为一对小灯泡状物;下唇位于口器底部,下颚须退化,整个下颚形成一个三角形的硬状物;舌位于口器的中央,前端为一丛生的毛状物(图 1.2B)。

根据电镜扫描(图 1.2),口器上感器有两种,一种是口器舌上数量最多的长柱毛形的感器,粗长,呈圆柱形,感器尖端呈断面形、纯圆形、破损形、芽形等不同形状(图 1.2C~D),明显不同于其他感器,丛生于口器中央,长 $(136.34 \pm 8.58) \mu\text{m}$,直径 $(7.85 \pm 0.83) \mu\text{m}$,密度为 (0.0036 ± 0.0005) 个/ μm^2 。另一种是圆形的小灯泡状的下颚须。

1.2.2.3 前胸背板超微结构

为探讨其结构与功能的关系及为行为学研究提供参考证据,观察了长足大竹象前胸背板超显微结构。

利用电镜扫描长足大竹象前胸背板结果显示:体表不光滑(图 1.3A),分布不规则多边形刻纹;在不规则多边形边缘及内部有大量圆形孔洞(图 1.3B);前

胸背板壁上有大量不规则裂缝(图 1.3C); 体表有大量形状不规则、边缘轮廓模糊的凹陷(图 1.3D)。

大量的凹陷中央生有较短的毛, 仅见毛根, 且较粗, 顶端钝圆, 直立着生于凹陷的小窝内, 毛根基部直径为 $6.19\ \mu\text{m}$, 数量较少, 零星分布在前胸背板上, 着生传感器的凹陷小窝直径约 $10\ \mu\text{m}$, 凹陷呈沟壑状波纹环形散开(图 1.3E), 且边缘轮廓清楚, 大小不一(图 1.3F)。

芽形感器零星分布。在前胸背板表面, 呈叶芽形, 长 $16.19\ \mu\text{m}$, 基部直径为 $4.29\ \mu\text{m}$, 基部着生于一向下凹陷的臼状窝内, 呈 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 着生, 中上部皱褶或分支, 顶端弯曲。凹陷的臼状窝直径为 $7.14\ \mu\text{m}$, 且凹陷呈波纹状条形散开(图 1.3F)。

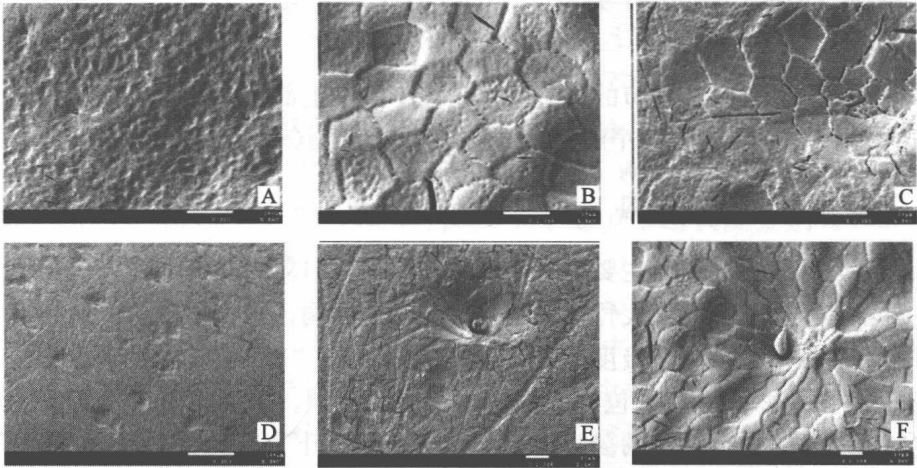


图 1.3 长足大竹象前胸背板扫描电镜观察

A. 表面; B. 刻纹和孔; C. 裂缝; D. 凹陷; E. 短毛; F. 芽形感器

大量研究表明, 对于水生和空中飞行动物而言, 阻力和黏附最小的是非光滑表面, 而不是光滑表面(程红等, 2000), 鞘翅目昆虫的非光滑表面具有很低的摩擦系数(于敏等, 2011)。通过电镜扫描观察到长足大竹象的前胸背板、凹陷和裂纹构成了非光滑表面。这种非光滑表面具有一定的减少黏附的作用, 从行为角度看, 长足大竹象成虫活动敏捷可能也与其体表粗糙、阻力小有关。同时, 在野外观察到的长足大竹象体表干净, 可能也与其非光滑表面在环境中黏附作用小有关, 这一现象还需进一步对非光滑表面的疏水性作测量验证。

1.2.2.4 鞘翅超微结构

鞘翅目昆虫种类多, 分布广, 适应性强, 这与它们具有鞘翅这一结构有密切联系。鞘翅为这类昆虫的前翅, 坚硬如角质, 不用于飞行, 主要用来保护背部和起飞行作用的后翅。甲虫鞘翅的细微结构在分类上具有重要价值。Holleway (1997)曾对 19 种锹甲鞘翅表面结构进行过电镜观察, 认为鞘翅表面超微结构具

有属和亚科的特异性。高明媛等(2000)曾对 14 属 25 种萤叶甲鞘翅内外表面的超微结构进行了电镜观察, 研究结果表明, 萤叶甲鞘翅外表面的超微结构具有多样化, 属、种特异性明显。张迎春等(2002)对二十八星瓢虫和马铃薯瓢虫的鞘翅表面结构进行了观察研究, 这两种瓢虫鞘翅外表面刻点的深浅和毛的着生部位不同。张迎春等(2011)对铁甲科和叶甲一些种类的鞘翅表面结构也进行过研究。

在电镜下可以观察到, 在鞘翅肩部的表面, 具有鳞状刻纹, 刻纹顶端有 V 形小齿, 长 $19.05\text{ }\mu\text{m}$, 基部宽 $8.33\text{ }\mu\text{m}$, 基部全部附着在鞘翅表面, 末端游离, 呈匍匐状纵向分布在鞘翅表面, 顶端指向鞘翅末端(图 1.4A)。

在肩部表面的鳞状刻纹上, 着生着大量的毛, 有的直立, 有的弯曲, 排列较紧密, 长 $11.90\sim 123.80\text{ }\mu\text{m}$, 基部直径为 $5.71\sim 6.96\text{ }\mu\text{m}$, 形成了毛斑, 这与肉眼在该部位观察到的斑相吻合(图 1.4B)。

鞘翅上的刻点排列整齐, 形成了鞘翅的点刻沟(图 1.4C)。这一部分并不是整片连接在一起, 而是呈鳞片状连接在一起, 形成条形鳞片。条形鳞片呈横向排列, 相邻条形鳞片不连接在一起, 存在间隙。条形鳞片上有小孔, 小孔稀疏分布在其上面。在条形鳞片结构上分布着大量不规则的裂痕(图 1.4D)。在具点刻沟的鞘翅的这一部分, 广泛分布芽形感器, 长 $16.19\text{ }\mu\text{m}$ (图 1.4E~F)。

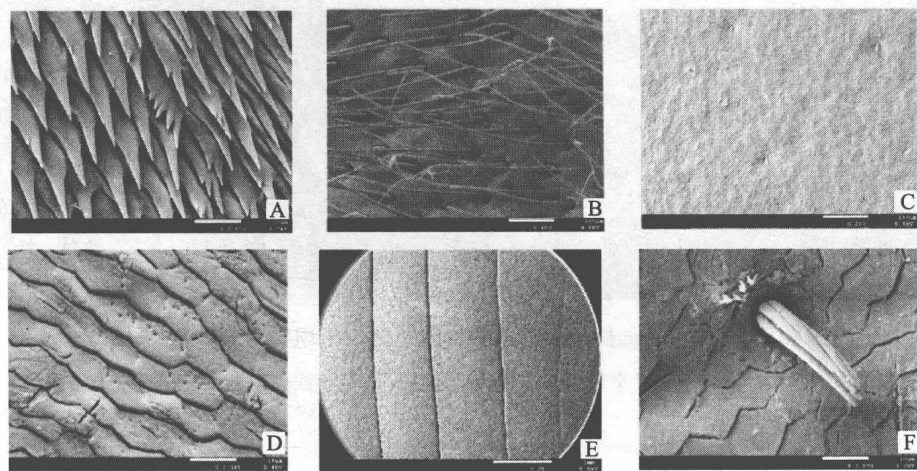


图 1.4 长足大竹象虫鞘翅扫描电镜观察

A. 鳞状刻纹; B. 长毛; C. 点刻沟; D. 鳞片结构; E~F. 芽型感器

通过对长足大竹象的鞘翅进行电镜扫描, 观察到其超微结构由孔毛和凹坑构成复合结构, 这与其他学者对鞘翅目其他昆虫的研究结果相类似。这可能与在鞘翅目昆虫长期进化过程中, 鞘翅起适应陆地生活、防止体内水分蒸发的作用有关(饶冉, 2012)。

与鞘翅目其他昆虫相比, 长足大竹象鞘翅上分布有大量芽形感器, 在鞘翅目其他昆虫中尚未见报道(黄东光等, 2004; 张迎春等, 2011), 感器是昆虫接收外界信号的器官, 推测这可能与其独特的生境密切相关, 该感器的功能还需更多观

察和生理生化实验验证。

1.2.2.5 长足大竹象成虫中足的附节

课题组在长足大竹象的研究实践中发现,较大孔径(网孔边长 3~4 cm)无任何黏合剂的光滑聚乙烯虫网(网线直径 0.1 mm)能将长足大竹象成虫牢牢地捕获,而密实、小孔径(边长小于 2 cm)的虫网却很少能捕捉住该虫,即使是多层小孔径虫网也是如此。这种与常理相悖的特异现象提示可能较大孔径光滑聚乙烯虫网与长足大竹象足之间存在某种作用力,这种作用力使得昆虫被虫网牢牢地捕获。

为分析长足大竹象足与虫网的作用机制,取出土不久的成虫中足的附节进行电镜扫描,结果见图 1.5。从图 1.5 中可知,附节有尖锐的爪(图 1.5A),此结构是成虫抓握物体重要的器官,紧接爪的上部是 3 个足垫(图 1.5B),第 1 个足垫密集丛生纤毛(图 1.5C),并以 3~15 根纤毛集中成束(图 1.5D),第 2、3 个足垫成丛直生(图 1.5E)。足垫上成丛的纤毛结构有利于成虫吸附于光滑的虫网表面。由此扫描结构可知,长足大竹象成虫足与虫网的作用力主要包括爪的抓握力和足垫的吸附力。

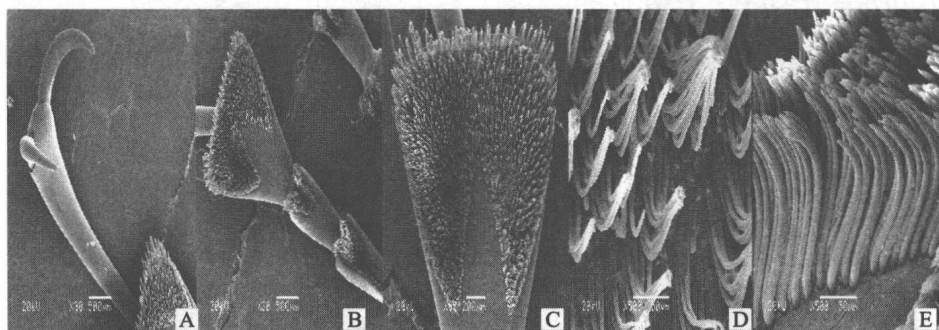


图 1.5 长足大竹象中足附节的扫描电镜观察

A. 附节末端的爪; B. 附节的 3 个足垫; C. 垫丛生纤毛; D. 足垫成束纤毛; E. 足垫纤毛密集丛生

参 考 文 献

- 程红, 孙久容, 李建桥. 等. 2000. 神农蛱蝶体表结构的电镜扫描分析. 北京: 中国科学技术出版社: 157
- 杜永均, 严福顺, 唐觉. 1995. 大豆蚜触角嗅觉传感器结构及其功能. 昆虫学报, 38(1): 1-7
- 高明媛, 杨星科, 甘雅玲, 等. 2000. 萤叶甲鞘翅内、外表面超微形态观察(鞘翅目: 叶甲科). 张雅林. 2000. 昆虫分类区系研究. 北京: 中国农业出版社: 122-132
- 黄东光, 江世宏. 2004. 五种槽缝叩甲超微形态结构的比较研究. 昆虫分类学报, 26(3): 1759-18411
- 金鑫, 张善干, 张龙. 2004. 东亚飞蝗四种类型的触角感受器超微结构(昆虫纲, 直翅目). 农业生物技术学报, 12(3): 300-305
- 饶冉. 2012. 基于昆虫体壁及翅形态结构的仿生学研究进展. 现代农业科技, 18: 2669-2689
- 吴才宏. 1993. 棉铃虫雄蛾触角的毛形感器对其性信息素组分及类似物的反应. 昆虫学报, 36(4): 385-389

- 于敏, Hermann I, Gitis N, 等. 2011. 甲虫鞘翅表面的微观形貌和摩擦学性能研究. 北京: 中国科学技术出版社: 165
- 张迎春, 刘慧娟, 郑哲民. 2002. 马铃薯瓢虫和茄二十八星瓢虫体表细微结构的比较. 昆虫知识, 39(2): 132-135
- 张迎春, 张莹, 郑哲民. 2001. 4种昆虫鞘翅表面超微结构的比较. 西北大学学报, 31(6): 522-524
- Almaas T J, Mustaparta H. 1991. *Heliothis virescens*: response characteristics of receptor neurons in sensilla trichodea type 1 and type 2. Journal of Chemical Ecology, 17(5): 953-972
- Barata E, Mustaparta H, Pickett J A, et al. 2002. Encoding of host and non-host plant odours by receptor neurones in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae). Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology, 188(2): 121-133
- Brune de M, Baker T C. 2008. Odor detection in insects: volatile codes. Journal of Chemical Ecology, 34(7): 882-897
- Chinta S, Dickens J C, Baker G T. 1997. Morphology and distribution of antennal sensilla of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Hemiptera: Miridae). International Journal of Insect Morphology and Embryology, 26(1): 21-26
- Consoli F L, Kitajima E W, Parra J R P. 1999. Sensilla on the antenna and ovipositor of the parasitic wasps *Trichogramma galloi* Zucci and *T. pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae). Microscopy Research and Technique, 45: 313-324
- Dweck H K M. 2009. Antennal sensory receptors of *Pteromalus puparum* female (Hymenoptera: Pteromalidae), a gregarious pupal endoparasitoid of *Pieris rapae*. Micron, 40(8): 769-774
- Holleway B A. 1997. Elytral surface structures as indicators of relationships in stag beetles, with reference to the New Zealand species (Coleoptera: Lucanidae). New Zealand Journal of Zoology, 24: 51-63
- Ochieng S A, Park K C, Zhu J W, et al. 2000. Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). Arthropod Structure and Development, 29(3): 231-240
- Steinbrecht R A. 1997. Pore structures in insect olfactory sensilla: a review of data and concepts. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 26(3-4): 229-245
- Thorpe K W, van der Pers J, Leonard D S, et al. 2007. Electroantennogram measurements of atmospheric pheromone concentration after aerial and ground application of gypsy moth mating disruptants. Journal of Applied Entomology, 131(2): 146-151
- Vogt R G, Callahan F E, Rogers M E, et al. 1999. Odorant binding protein diversity and distribution among the insect orders, as indicated by LAP, an OBP-related protein of the true bug *Lygus lineolaris* (Hemiptera, Heteroptera). Chemical Senses, 24(5): 481

第 2 章 长足大竹象的生物学特性

2.1 生殖生物学

长足大竹象的生殖生物学特性是研究其繁殖能力和繁殖规律的基础。深入了解长足大竹象的生殖生物学特性，对于掌握长足大竹象的繁殖规律，揭示其种群的数量变动和设计综合治理措施具有重要的理论和实践意义。

由于长足大竹象生殖生物学方面还缺乏系统研究，课题组对生殖系统构造、生殖行为等问题进行了一定探讨。

2.1.1 雌性生殖系统

雌性生殖系统由一对卵巢、一对侧输卵管、中输卵管、交配囊、受精囊、生殖腔及产卵器组成(图 2.1 和图 2.2)。

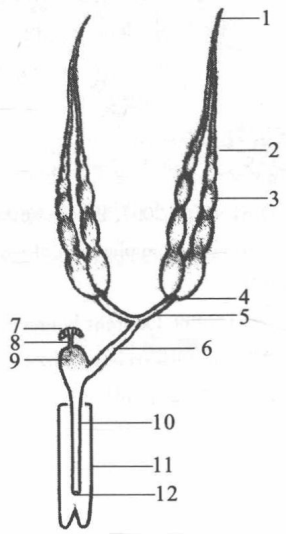


图 2.1 长足大竹象雌性生殖系统解剖结构

- 1. 悬带; 2. 卵巢; 3. 卵巢管; 4. 卵巢萼; 5. 侧输卵管; 6. 中输卵管; 7. 受精囊;
- 8. 受精囊管; 9. 交配囊; 10. 阴道; 11. 泄殖腔; 12. 生殖孔

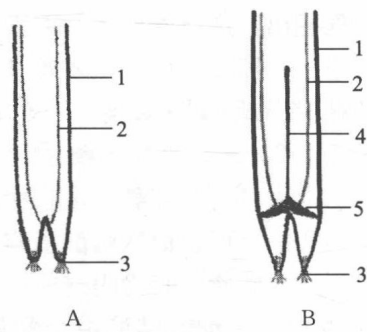


图 2.2 长足大竹象雌性外生殖器

A. 背面观 B. 腹面观

1. 产卵器鞘；2. 产卵器；3. 生殖刺突；4. 骨针；5. 骨针下端

卵巢乳白色，左右并列，消化道穿过左右卵巢之间，卵巢基部在消化道下方，端部在消化道上方。每个卵巢由两支卵巢管组成，卵管长约 2.8 cm。初出土的成虫卵巢较小，进入交配产卵期，腹腔为卵粒所充满，每支卵管有 5~6 粒卵，下端卵粒大而饱满，向上逐渐减小。每侧卵巢管端丝汇成悬带，附着在后胸背板与第一腹节之间的脂肪体上，将卵巢悬于体壁上。卵巢管的基部以卵巢萼与侧输卵管相连。

侧输卵管在卵巢萼下方，较短，乳白色。两支侧输卵管前后段肘状弯曲，首先自卵巢萼向腹末延伸，然后折向腹中部，两支侧输卵管联合后汇入中输卵管。中输卵管位于直肠腹面，后接阴道，两者呈双层折叠状，阴道开口于生殖孔。

交配囊位于直肠腹面，中输卵管背面，上部与受精囊相连，呈梨形，若雌虫已完成交尾过程，则交配囊鼓起，内含棕黄色精珠。精珠较硬，呈扁球形，富弹性。

受精囊位于交配囊上方，通过很细的受精囊管与交配囊相连，很小，红褐色，呈弯月形，外壁有骨化程度较高的骨化环。

生殖腔是第五腹节形成的套腔，连有伪产卵器，肛门也开口于此，因此应称作泄殖腔。第四腹节背、腹板形成外管，包裹泄殖腔的端部，第四、第五腹节间膜形成的泄殖腔深陷于腹腔内，第五腹节构成泄殖腔的底部。一般鞘翅目昆虫的雌性外生殖器没有附肢特化的产卵瓣，腹末端几节变细延长而形成可伸缩的管状产卵器，平时套在体内，产卵时伸出(牟吉元等，1996)。长足大竹象的外生殖器符合此特点，且被一缩进的背板包裹。产卵器基部在生殖腔内着生处以骨针与生殖腔相连，骨针下端呈“人字”形。骨针即是生殖腔的一部分，以控制中输卵管和阴道的曲直及泄殖腔翻缩的主要肌肉群。泄殖腔呈长袋状，背腹扁平，内壁骨化。阴道开口于产卵器的基部。直肠经泄殖腔底部伸入泄殖腔内，位于产卵器上方，直肠端部开口于泄殖腔内邻近腹末泄殖腔开口处。泄殖腔内的直肠表面有韧性透明膜鞘，膜鞘端缘与直肠末端相连，基缘与泄殖腔底部相连。产卵时，由