

中国红树林生态系统主要害虫种类、 防控现状及成灾原因

李志刚¹, 戴建青¹, 叶静文¹, 徐华林², 韩诗畴^{1,*}

(1. 广东省昆虫研究所, 广州 510260; 2. 广东内伶仃福田国家级自然保护区管理局, 广东深圳 518040)

摘要: 红树林湿地是中国东南沿海的关键生态系统之一。近年来, 我国红树林陆续出现多种害虫种群暴发成灾的现象, 使红树林湿地的可持续利用面临严重挑战。本文归纳了近 20 年来中国红树林生态系统的主要害虫种类, 危害较严重的有海榄雌瘤斑螟 *Acrobasis* sp., 毛颚小卷蛾 *Lasiognatha cellifera*, 丽绿刺蛾 *Latoia lepida*, 白囊袋蛾 *Chalioides kondonis*, 蜡彩袋蛾 *Chalia larminati* 和小袋蛾 *Acanthopsyche subferalbata* 等; 对红树林虫害的防控现状进行总结, 目前开展的防控工作主要以生物农药、昆虫生长调节剂、昆虫天敌等生物防治方法为主, 结合灯光诱杀等物理防治手段的运用, 对暴发期的害虫种群可以取得较好的控制效果; 并从红树林生态系统健康水平和昆虫群落多样性等方面对害虫种群的成灾原因进行初步探讨; 最终提出以虫害可持续控制为目标的红树林生态系统生境调控策略, 以期为提高红树林湿地虫害管理水平以及促进红树林的可持续发展提供重要的理论参考和科学指导。

关键词: 红树林生态系统; 害虫; 防控现状; 成灾原因; 虫害可持续控制

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2012)09-1109-10

Species, control status and outbreak causes of main pest insects in mangrove ecosystems in China

LI Zhi-Gang¹, DAI Jian-Qing¹, YE Jing-Wen¹, XU Hua-Lin², HAN Shi-Chou^{1,*} (1. Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 2. Guangdong Neilingding-Futian National Nature Reserve Administrative Bureau, Shenzhen, Guangdong 518040, China)

Abstract: Mangrove wetlands are one of the key ecosystems in southeast coast of China. A lot of pest outbreaks have occurred in mangroves in recent years, and thus sustainable uses of mangrove wetlands face serious challenges. Species and control status of main pest insects in mangrove ecosystems in China are summarized in this article. The main pest insects include *Acrobasis* sp., *Lasiognatha cellifera*, *Latoia lepida*, *Chalioides kondonis*, *Chalia larminati*, *Acanthopsyche subferalbata*, etc. Biological control, including biological insecticide, insect growth regulators, and natural enemies are the major measures at present. The outbreak causes of main pest insects are discussed preliminarily in terms of ecosystem health and diversity of insect community. Furthermore, in order to achieve the goal of sustainable pest control, the strategies of habitat regulation in mangrove ecosystem are proposed, which would provide important theoretical references and scientific guidance for improving the level of pest management of mangrove wetlands as well as promoting the sustainable development of mangrove.

Key words: Mangrove ecosystem; pest insects; control status; outbreak causes; sustainable pest control

红树林是生长在热带和亚热带海岸潮间带的木本植物群落, 红树林生态系统兼具陆地生态和海洋生态特征, 其物质循环和能量运转速度快, 效率高, 对维持生物多样性和生产力具有特别价值, 是海岸生态关键区, 也是我国海岸带湿地生态系统的重要类型之一, 自然分布于广东、广西、福建、海南、台湾、香港、澳门等省区。20 世纪 60 年代以来

的毁林围海造田造地、围塘养殖等不合理开发活动, 使我国红树林湿地出现了面积锐减、生态系统结构简化、生物多样性降低、生态功能退化等严重问题(赵晟等, 2007; 彭逸生等, 2008), 而近 20 年来, 我国多地红树林生态系统陆续暴发多种虫害, 使红树林湿地的可持续利用面临严重挑战。本文综述了近 20 年来我国红树林的主要害虫种类、危害

基金项目: 广东省科技计划项目(2010B030800010, 2011B031500026)

作者简介: 李志刚, 男, 1978 年生, 博士, 主要从事昆虫多样性及区域环境可持续发展研究, E-mail: leegdei@gmail.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: hancs@gdei.gd.cn

收稿日期 Received: 2012-08-10; 接受日期 Accepted: 2012-09-10

特征及其防控现状,初步探讨了虫害成灾的主要原因,并提出红树林生态系统生境调控策略,以期为相关管理人员制定红树林虫害可持续防控方案、提高红树林虫害管理水平、促进红树林生态系统的可持续发展和利用提供科学依据。

1 中国红树林的主要害虫种类

长期以来,由于人口的快速增长、城市的不断扩张和沿海带不适当的经济开发,导致我国大部分红树林湿地及其周边生态环境发生了巨大变化,生态系统遭到不同程度的破坏,多地红树林湿地出现虫害成灾现象。据文献报道,我国红树林的主要害虫有卷叶蛾 *Spilonota* sp., 双纹白草螟 *Pseudocatharylla duplicella*, 中华星天牛 *Anoplophora maculata*, 棉古毒蛾 *Orgyia postica*, 红树林豹蠹蛾 *Zeuzera* sp., 丽绿刺蛾 *Latoia lepida*, 海榄雌瘤斑螟 *Acrobasis* sp., 毛颚小卷蛾 *Lasiognatha cellifera*, 白缘蛀果斑螟 *Assara albicostalis*, 荔枝异形小卷蛾 *Cryptophlebia ombrodelta*, 柑橘长卷蛾 *Homona coffearia*, 白囊袋蛾 *Chalioides kondonis*, 蜡彩袋蛾 *Chalia larminati*, 考氏白盾蚧 *Pseudaulacaspis cockerelli*, 小袋蛾 *Acanthopsyche subferalbata*, 绿黄枯叶蛾 *Trabala vishnou*, 无瓣海桑白钩蛾 *Ditrigona* sp. 和木麻黄枯叶蛾 *Ticera castanea* 等(表1)。

我国较早发现并报道的红树林害虫是一种卷叶蛾,林鹏(1990)首次报道了福建和浙江两地秋茄 *Kandelia candel* 林发生卷叶蛾危害,并提出红树林病虫害防治是营造红树林实践中应该引起重视的问题。1994年,在广东深圳福田红树林发现双纹白草螟危害白骨壤 *Avicennia marina*, 每年开春后幼虫孵出,取食叶肉剩下叶脉,致使植株日渐枯黄,5月末至6月初,白骨壤种群成片枯黄,随后叶片脱落仅剩秃枝,少数植株无法长出新叶逐渐枯死(贾凤龙等, 2001a); 在广西山口永安也发现该虫危害白骨壤种群(范航清和邱广龙, 2004)。1995–1996年,在海南东寨港三江海桑 *Sonneratia caseolaris* 人工试验林调查发现,棉古毒蛾幼虫存在集中为害现象,紧邻的数株海桑树叶全被吃光,严重影响幼树生长。1995年秋冬季至1996年4月,在广东深圳福田红树林引种区发现红树林豹蠹蛾危害,幼虫在无瓣海桑 *Sonneratia apetala* 幼树主干上部或枝条蛀孔,一直沿髓部往主干基部蛀食,引起枝叶变黄、生长不良和枝梢风折,为害株率达12.9%(李

云等, 1997)。

危害最为严重并较早引起关注的红树林害虫是海榄雌瘤斑螟(早期多报道为广州小斑螟 *Oligochroa cantonella*), 20世纪80年代台湾省嘉义县红树林被该虫为害,引起相当数量的白骨壤死亡; 1999年广东深圳福田红树林发现该虫危害最为严重,平均被害率高达98.6%,当幼虫大量发生时,大部分白骨壤叶片被啃食,受害的叶片枯死,对整个白骨壤种群构成极大威胁(贾凤龙等, 2001a); 1999–2006年福建云霄漳江口红树林自然保护区和龙海红树林自然保护区的白骨壤暴发海榄雌瘤斑螟虫害,严重时受害面积达130 hm²,被害率达95.0%以上,顶梢被蛀,顶端叶片被取食,远观似火烧,威胁红树林的生长发育,极大影响红树林湿地系统各种生态功能的有效发挥(丁秘, 2007); 2004年广西北部湾白骨壤发生罕见的大规模海榄雌瘤斑螟虫害,受害面积超过700 hm²(范航清和邱广龙, 2004)。

毛颚小卷蛾是近年来发现的分布比较广泛且危害较为严重的红树林害虫,丁秘等(2004)首先在福建云霄漳江口、龙海和泉州湾红树林保护区发现毛颚小卷蛾危害,该虫幼虫吐丝将数片嫩叶粘连在一起啃食叶肉,导致叶片干枯脱落,造成桐花树 *Aegiceras corniculatum* 顶端叶片枯黄脱落、长势衰弱; 2007年在广西省钦州市康熙岭暴发毛颚小卷蛾虫害,造成桐花树大面积受害,受害率达100.0%,当年新芽顶梢被害率在90.0%以上(秦元丽等, 2010); 2008年,在广东珠三角及香港西贡的桐花群落分布区域内,也发现该虫对桐花树造成一定程度的危害,害虫危害嫩芽、叶片和果实,严重危害时造成桐花树大部分叶片被取食或嫩芽枯死(徐家雄等, 2008c)。

随着红树林虫害研究的深入开展,广东、福建、广西等地陆续发现并报道了多种红树林害虫。2005年,在广东湛江国家级红树林自然保护区,发现白缘蛀果斑螟和荔枝异形小卷蛾严重危害木榄的花萼和胚轴,个别单株胚轴受害率为80.0%,林分平均受害率达20.0%,另外,发现柑橘长卷蛾对桐花树和秋茄造成严重危害(徐家雄等, 2008a, 2008b)。张飞萍等(2008)在厦门市海沧区首次发现考氏白盾蚧为害红树林,该虫以极高的种群密度在秋茄的叶和嫩梢上刺吸危害,引起落叶和生长不良。刘文爱和范航清(2009)对广西红树林主要分布区进行虫害调查,发现小袋蛾危害秋茄、桐花树

表 1 中国红树林的主要害虫种类
Table 1 The main pests of mangrove forests in China

害虫种类 Pest species	寄主植物 Host plants	首次报道成灾地点 Outbreak site for the first time	成灾时间 Time of outbreak
卷叶蛾 <i>Spilonota</i> sp.	秋茄 <i>Kandelia candel</i>	福建, 浙江 Fujian, Zhejiang	1990
双纹白草螟 <i>Pseudocatharylla duplicella</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	广东深圳福田 Futian, Shenzhen, Guangdong	1994
中华星天牛 <i>Anoplophora maculata</i>	水笔仔 <i>Kandelia candel</i>	台湾关渡 Guandu, Taiwan	1994
棉古毒蛾 <i>Orgyia postica</i>	海桑 <i>Sonneratia caseolaris</i>	海南东寨港 Dongzhai harbor, Hainan	1995
红树林豹蠹蛾 <i>Zeuzera</i> sp.	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	广东深圳福田 Futian, Shenzhen, Guangdong	1995
丽绿刺蛾 <i>Latoia lepida</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	福建云霄县漳江口 Zhangjiang estuary, Fujian	1998
海榄雌瘤斑螟 <i>Acrobasis</i> sp.	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	广东深圳福田 Futian, Shenzhen, Guangdong	1999
毛颚小卷蛾 <i>Lasiognatha cellifera</i>	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	福建云霄、龙海和惠安 Yunxiao, Longhai and Huian, Fujian	2004
白缘蛀果斑螟 <i>Assara albicostalis</i>	木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	广东湛江 Zhanjiang, Guangdong	2005
荔枝异形小卷蛾 <i>Cryptophlebia ombrodelta</i>	木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	广东湛江 Zhanjiang, Guangdong	2005
柑橘长卷蛾 <i>Homona coffearia</i>	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	广东湛江 Zhanjiang, Guangdong	2005
考氏白盾蚧 <i>Pseudaulacaspis cockerelli</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i>	福建厦门市海沧区 Haicang, Xiamen, Fujian	2006
白囊袋蛾 <i>Chalioides kondonis</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	广西钦州康熙岭 Kangxiling, Qinzhou, Guangxi	2006
蜡彩袋蛾 <i>Chalia larminati</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	广西防城港北仑河口 Beilun estuary, Guangxi	2007
小袋蛾 <i>Acanthopsyche subferalbata</i>	秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	广西北海市 Beihai, Guangxi	2008
绿黄枯叶蛾 <i>Trabala vishnou</i>	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	广西钦州康熙岭 Kangxiling, Qinzhou, Guangxi	2008
无瓣海桑白钩蛾 <i>Ditrigona</i> sp.	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	广西钦州康熙岭 Kangxiling, Qinzhou, Guangxi	2008
木麻黄枯叶蛾 <i>Ticera castanea</i>	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	广西钦州康熙岭 Kangxiling, Qinzhou, Guangxi	2009

和白骨壤,其中对秋茄和桐花树危害严重,幼虫大发生时全树无完整叶片,使枝条枯萎或整株枯死,严重影响树木生长;白囊袋蛾危害秋茄、无瓣海桑和桐花树,其中对无瓣海桑的危害平均密度超过100头/株,大暴发时可造成红树林成片枯黄;他们还首次发现蜡彩袋蛾危害桐花树、秋茄、木榄 *Bruguiera gymnorhiza* 和红海榄 *Rhizophora stylosa*,其中对秋茄和桐花树危害最严重,幼虫呈聚集分布状态,大量取食叶片,造成叶片干枯。另外,广西还调查到绿黄枯叶蛾、无瓣海桑白钩蛾和木麻黄枯叶蛾危害无瓣海桑;广东湛江西面北部湾一带红树林内也发现绿黄枯叶蛾,对无瓣海桑造成一定程度的危害(徐家雄等,2008c)。

2 红树林主要虫害的防控现状与策略

红树林生态系统蕴藏着丰富的生物资源和物种多样性,不仅为众多海洋生物提供良好的生存环境,还是候鸟的越冬场和迁徙中转站,更是各种海鸟的觅食、栖息和繁殖场所。红树林生态环境的特殊性给虫害防治带来一定困难,也提出了更高的要求,防治害虫的同时必须兼顾对鸟类及其他海洋生物的保护,尽量避免使用高毒的化学农药;另外,由于红树林生长在海岸潮间带,防治人员很难深入红树林内部开展化学药物喷施作业,也给传统的虫害防治方法带来了新的挑战。近年来,广东、广西、福建等地都积极开展红树林虫害防治研究,针对主要红树林害虫种类,开展微生物农药、植物源农药以及昆虫生长调节剂等多种生物农药的药效试验和应用评价,均取得较好的防治效果;并逐渐开始重视昆虫天敌的保护、选育和应用,开展了一系列的红树林昆虫天敌种类调查、人工扩繁和野外释放研究,促进昆虫天敌自然种群的恢复,在一定程度上抑制了害虫种群的暴发;配合灯光诱杀等物理防治手段和信息管理系统的开发和应用,初步形成了一套以生物防治为主的红树林虫害综合防治体系。

2.1 生物防治方法的研究与应用

目前在红树林虫害防治工作中应用较多的是生物农药,其中苏云金杆菌的应用最为广泛,针对红树林害虫海榄雌瘤斑螟,在室内用苏云金杆菌感染2龄幼虫,80.0%的致死浓度为4.6 IU/mL,致死时间为50.9 h;在林间用8~10 IU/mL的苏云金杆菌稀释液喷雾,平均防效达到90.6%(李罡等,

2007)。印楝素作为常用的生物农药也被用于桐花长卷蛾、棉古毒蛾和广州小斑螟等红树林害虫的防治中,两种印楝素农药的单剂(500~1 000倍)对害虫有较强的毒性,一周内害虫死亡率达78.6%~100.0%,尤其是与虫生真菌混合使用时,均能达到比各自单独使用更好的杀虫效果,其中与虫生真菌的复配剂700倍液杀虫最快(何雪香等,2009)。另外,林青兰等(2010)应用1.8%森得保可湿性粉剂、1.8%除虫菊·苦参碱水乳剂、1.2%苦·烟乳油3种生物农药对丽绿刺蛾3~4龄幼虫进行了林间防治试验,防治效果均达到80.0%以上。灭幼脲作为一种昆虫生长调节剂,也能抑制红树林害虫种群的增长,室内试验发现灭幼脲Ⅲ号对海榄雌瘤斑螟幼虫有很好的杀灭效果,100 mg/L浓度的校正死率为94.4%;林间叶背喷洒100 mg/L的灭幼脲Ⅲ号,5 d后幼虫的校正死亡率为92.7%,也达到了比较理想的防治效果(贾凤龙等,2001b)。

寄生蜂等寄生性天敌昆虫是控制红树林害虫发生的重要自然因素,传统的生物防治就是通过天敌昆虫的调查与选育、扩繁与释放,增加自然界中的天敌昆虫种群数量,有效抑制害虫种群暴发,达到虫害可持续控制的目的。丁瑜(2007)调查发现一种茧蜂在丽绿刺蛾大发生期寄生率可达到71.4%,可导致害虫在大发生后出现自然减退,该茧蜂可作为控制丽绿刺蛾的生防因子应用;在室内饲养和林间调查中均发现毛颚小卷蛾有多种寄生性天敌,以肿腿蜂等寄生蜂、自然感染的白僵菌或绿僵菌为主,寄生率高达20.0%。戴建青等(2011)采用寄生蜂、寄生蜂携带病毒的“生物导弹”并结合Bt应用的生物防控技术手段,对深圳内伶仃福田国家级自然保护区红树林害虫海榄雌瘤斑螟进行防治试验,结果表明,“生物导弹”防治区和Bt防治区的叶片被害率分别从防治前57.1%和67.7%下降到31.9%和38.1%,几种生物防治技术的结合对害虫的防治效果达到44.3%~74.2%,使红树林害虫海榄雌瘤斑螟的危害得到有效控制。

2.2 物理防治手段及信息管理系统的应用

物理防治一般成本较低,且不会对红树林生态环境造成污染,在虫害暴发的特定时期合理运用,可以起到较好的防治效果。范航清和邱广龙(2004)提出在红树林虫害发生初期,可以使用水枪对规模有限的受害白骨壤林喷洒海水,可达到一定的防治效果。灯光诱杀可以迅速降低害虫成虫的数量,利用毛颚小卷蛾成虫的趋光习性,通过12 V蓄

电池供电的黑光灯进行诱杀,可获得较好的防治效果,在羽化高峰期每灯每晚可诱得成虫 300 头左右(李德伟等,2010)。广东省昆虫研究所与深圳福田红树林保护区合作,2011 年开展白骨壤害虫海榄雌瘤斑螟防治试验,在白骨壤林缘安装多台全自动太阳能诱虫灯,筛选出最佳的诱杀光谱范围,在害虫的成虫期对海榄雌瘤斑螟进行灯光诱杀,可有效降低成虫的数量。

随着红树林虫害管理水平的不断提高,一些新的技术手段也被应用到红树林虫害防治工作中。曹庆先等(2010)针对广西北部湾沿海红树林虫害生态监测与管理的需要,以 ArcView 为平台,设计开发基于 GIS 的广西红树林虫害信息管理系统,该系统突出红树林害虫点上与面上监测的特点和相关的环境背景,可为红树林害虫的防治、研究和管理提供有效技术手段,具有较好的集成性、实用性与应用前景。

3 红树林生态系统主要虫害种群的成灾原因

3.1 不同分布区域红树林的主要害虫种类

红树林的害虫种类主要和寄主植物种类有关,海榄雌瘤斑螟是白骨壤的专食性害虫,在有白骨壤分布的广东、香港、广西、福建、台湾等地红树林均有虫灾发生,且危害程度都比较严重;毛颚小卷蛾是桐花树的主要害虫,广西、福建、广东均发现该虫危害桐花树;绿黄枯叶蛾对广西、广东的无瓣海桑种群都造成不同程度的危害。另外,广西红树林的主要害虫还有小袋蛾、褐袋蛾、蜡彩袋蛾、白囊袋蛾等,对秋茄、桐花树等造成较严重危害;广东红树林发现对木榄、桐花树危害较为严重的害虫还有柑橘长卷蛾、荔枝异形小卷蛾和白缘蛀果斑螟;台湾已知的红树林害虫有中华星天牛、咖啡木蠹蛾 *Zeuzera coffeae*、绿黄枯叶蛾 *Trabala vishnou*、和黑角舞蛾 *Lymantria xyliina* 等,对水笔仔 *Kandelia candel*、榄李 *Lumnitzera racemosa* 等红树植物造成危害(何健谔,1993,1994)。

从目前已报道的成灾害虫种类分析发现,不同分布区域的红树林成灾害虫种类存在一定差异(表 2),一方面是因为不同区域红树林湿地的优势植物种群存在差异,另一方面也和不同地理分布区域的自然气候条件、人为干扰程度以及保护区的管理水平有关。另外,对红树林害虫研究的深入程度也是重要影响因素之一,如广东、广西、福建等地对红

树林害虫的研究较全面,报道的害虫种类较多,而台湾、海南、香港等地对红树林害虫的研究还不够系统,报道的害虫种类就较少。

3.2 昆虫群落多样性对主要害虫种群的影响

生物多样性是生态系统稳定发展的基础,改善生态系统中昆虫群落的结构和提高群落的多样性是减少害虫种群暴发成灾的重要途径。红树林生态系统中昆虫群落多样性越高,结构越复杂,群落就越稳定,生态系统的自我调控能力就越强,害虫种群暴发成灾的可能性就越小。

广东省深圳福田红树林保护区较早开展昆虫群落调查,1994 年统计到昆虫 96 种,其中主要害虫 3 种,天敌昆虫 37 种,Shannon-Wiener 物种多样性指数为 2.47;1999 年昆虫物种数量有所下降,仅调查到 53 种,其中害虫增加到 7 种,天敌昆虫减少到 13 种,多样性指数下降为 1.64(贾凤龙等,2001a)。

广西多地红树林均开展了昆虫群落多样性研究,山口红树林保护区昆虫群落物种组成较丰富,1 年内共有 194 种(含亚种)昆虫在该地区出现(蒋国芳,1997);钦州港红树林昆虫群落种类较少,仅有 20 种,昆虫群落的多样性和均匀性在各季节均较低,这与当时钦州港红树林生态环境遭受严重破坏密切相关(蒋国芳和周志权,1996);英罗港红树林昆虫群落由 195 种组成,内滩昆虫群落多样性高于中滩和外滩,潮汐和风暴对昆虫群落多样性的影响是决定群落结构水平的重要因素(蒋国芳等,2000)。

丁瑜(2009)对福建漳江口红树林自然保护区白骨壤纯林和桐花树+秋茄混交林的昆虫群落结构进行调查,统计到的昆虫种类有 12 目 72 科 88 种,主要优势类群有膜翅目、鳞翅目和同翅目,除少数种类外,多数优势种群对不同的红树植物具有高度选择性,桐花树+秋茄混交林的昆虫群落的丰富度明显高于白骨壤纯林。

总的来看,我国红树林生态系统昆虫群落的物种组成和营养结构较简单,物种多样性较低(表 3),而且近年来陆续出现害虫种群暴发成灾的现象,这一方面是由于红树林生长在海岸潮间带,长期水淹环境不适合昆虫生存,且红树植物富含单宁,昆虫适口性较差;另外,红树林周边陆生林地、灌草丛等植被的减少和破坏,导致多种昆虫无法完成生活史,也是影响红树林生态系统昆虫群落多样性的重要因素。红树林昆虫群落结构日趋简单,多

表 2 不同分布区域红树林的主要害虫种类
Table 2 The main pest species of mangroves in different areas

分布区域 Distribution area	主要害虫种类 Main pest species	主要受害植物 Main host plants
广西 Guangxi	海榄雌瘤斑螟 <i>Acrobasis</i> sp., 毛颚小卷蛾 <i>Lasiognatha cellifera</i> , 小袋蛾 <i>Acanthopsyche subferalbata</i> , 蜡彩袋蛾 <i>Chalia larminati</i> , 白囊袋蛾 <i>Chalioides kondonis</i> , 绿黄枯叶蛾 <i>Trabala vishnou</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>
福建 Fujian	海榄雌瘤斑螟 <i>Acrobasis</i> sp., 毛颚小卷蛾 <i>Lasiognatha cellifera</i> , 丽绿刺蛾 <i>Latoia lepida</i> , 考氏白盾蚧 <i>Pseudaulacaspis cockerelli</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i>
海南 Hainan	棉古毒蛾 <i>Orgyia postica</i>	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>
台湾 Taiwan	海榄雌瘤斑螟 <i>Acrobasis</i> sp., 中华星天牛 <i>Anoplophora maculata</i> , 咖啡木蠹蛾 <i>Zeuzera coffeae</i> , 绿黄枯叶蛾 <i>Trabala vishnou</i> , 黑角舞蛾 <i>Lymantria xyliana</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 水笔仔 <i>Kandelia candel</i> , 榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>
广东 Guangdong	海榄雌瘤斑螟 <i>Acrobasis</i> sp., 毛颚小卷蛾 <i>Lasiognatha cellifera</i> , 柑橘长卷蛾 <i>Homona coffearia</i> , 白缘蛀果斑螟 <i>Assara albicostalis</i> , 荔枝异形小卷蛾 <i>Cryptophlebia ombrodelta</i> , 广翅蜡蝉 <i>Ricania</i> sp., 绿黄枯叶蛾 <i>Trabala vishnou</i>	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i> , 无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>

样性明显降低,昆虫天敌的种类和种群数量大大减少,生态系统对害虫种群的生态调控能力减弱,一旦条件适宜,害虫种群就容易暴发成灾。

3.3 害虫种群暴发成灾与红树林生态系统健康水平的关系

生态系统是具有自我修复和动态平衡能力的功能系统,在一个物种丰富、结构复杂的生态系统中,各营养级物种之间相互依赖、相互制约,害虫数量受到各种因素的抑制,虫害发生的机会很少,但在一个环境受到破坏、物种变少、结构趋于简单的生态系统中,较高营养级的物种大量消失,复杂的食物网链遭到破坏,一旦条件适宜,害虫种群数量就会暴发引起虫害成灾。红树林湿地是中国东南沿海的关键生态系统之一,对维护近海生态安全、维持当地社会经济的可持续发展具有不可替代的作用。随着海洋开发程度的提高,自然灾害和人为活动的加剧,我国红树林生态系统正受到生态退化的严重威胁,面积逐年减少,生物多样性下降,外貌结构日趋简单,其组织结构、功能过程和健康水平均受到不同程度的影响,部分生态功能处于亚健康状态甚至丧失,造成生态系统的稳定性下降,昆虫群落结构及多样性受到影响,害虫种群得不到有效的生态控制,多地红树林湿地频繁暴发严重的

虫害。

自 20 世纪 90 年代以来,广东深圳红树林及其周边生态环境发生了巨大变化,周边大量林地和基围鱼塘被城市建设占用,原有的由滩涂红树林、基围陆地灌草丛和陆地乔灌木 3 大植被类型组成的复杂的湿地生态系统遭到破坏,被种类单一、结构简单的生态系统所取代,物种多样性降低,天敌昆虫和食虫鸟种类和密度大大减少,生态环境明显恶化(贾凤龙, 2001a)。孙毅等(2009)基于 PSR 模型,对深圳红树林湿地生态系统健康状况进行多因子综合评价,发现该生态系统结构虽尚算完整,但已受到破坏,对外界干扰的恢复力逐渐减退,优势湿地植物种群分布面积开始缩减,特有生物数量减少,部分湿地功能丧失,综合评价的健康指数为 0.539,属于亚健康状态,急需通过调整当地社会经济活动和人工促进恢复力相结合的措施来提高生态系统稳定性。珠江口淇澳岛红树林湿地生态系统健康评价等级为健康状态,说明该红树林湿地生态系统较好地保持了自然状态,结构比较合理,系统活力较强,环境污染、人为破坏、资源不合理开发等生态压力较小,生物多样性高,生态系统结构较稳定,生态系统主要功能较完善(王树功等, 2010)。

海南东寨港、三亚河和青梅港保护区的红树林

表 3 主要红树林生态系统的昆虫群落特征
Table 3 The insect communities of mangrove ecosystem in China

红树林分布区域 Distribution area of mangrove	调查时间 Investigation time	植被类型 Vegetation	昆虫群落特征 Insect community characteristics				
			目数 Order	科数 Family	种数 Species	优势类群 Dominant orders	优势种类 Dominant species
广西山口 Shankou, Guangxi	1993	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ,	67	166		膜翅目 Hymenoptera, 鳞翅目 Lepidoptera	双齿多刺蚁 <i>Polyhachis dives</i> ,
		红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 白骨壤 <i>Avicennia marina</i>					淡紫异色粉蝶 <i>Cepora nadina</i> , 黄柑蚁 <i>Oecophylla smaragdian</i> , 竹木蜂 <i>Xylocopa nasalis</i> , 白带黛眼蝶 <i>Lethe confusa apara</i> , 小红瓢虫 <i>Rodolia pumila</i> , 花胫绿纹蝗 <i>Aiolopus tamutus</i>
广西钦州港 Qinzhou harbor, Guangxi	1995	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i>	7	16	20	同翅目 Homoptera, 鳞翅目 Lepidoptera	黑褐圆盾蚧 <i>Chrysomphalus aonidum</i> , 白囊蓑蛾 <i>Chalioides kondonis</i> , 海滨伊蚊 <i>Aedes togoi</i> , 卷叶蛾科一种 <i>Lasiognatha</i> sp.
		红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i> , 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>					
广西英罗港 Yingluo harbor, Guangxi	1995 – 1996	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i> , 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	15	94	195	膜翅目 Hymenoptera, 鳞翅目 Lepidoptera	黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i> , 东京弓背蚁 <i>Camponotus tokioensis</i> , 三条螟蛾 <i>Dichorocris chorophanta</i>
广东深圳福田 Futian, Shenzhen, Guangdong	1994	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>			96	鳞翅目 Lepidoptera, 膜翅目 Hymenoptera	丝脉蓑蛾 <i>Amatissa</i> sp., 双纹白草螟 <i>Pseudocatharylla duplicella</i> , 小蜂科 <i>Chalcididae</i> spp., 茧蜂科 <i>Braconidae</i> spp., 姬蜂科 <i>Ichneumonidae</i> spp.
福建漳江口 Zhangjiang estuary, Fujian	2005	白骨壤 <i>Avicennia marina</i> , 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> , 秋茄 <i>Kandelia candel</i>	12	72	88	鳞翅目 Lepidoptera, 膜翅目 Hymenoptera, 同翅目 Homoptera	红树云斑螟 <i>Acrobasis</i> sp., 毛颚小卷蛾 <i>Lasiognatha cellifera</i> , 蚁科 <i>Formicidae</i> spp., 飞虱科 <i>Delphacidae</i> spp.

生态系统也进行了健康水平评价，健康指数分别处于健康、亚健康 and 中等健康状态。说明东寨港红树林远离城市，人类活动带来的环境压力小，群落结构和功能稳定，生物多样性高，生态演替序列完整，对环境压力响应良好，较好地保持了自然状态；三亚河和青梅港红树林处于城市中心区和旅游开发区，受外界干扰影响大，退化明显，红树林的保护和恢复受到不同程度的限制（王丽荣等，2011）。

卢昌义等(2011)利用 PSR 分析模型构建了红树林生态退化机制评估指标体系，对福建省漳江河口红树林生态系统进行研究，发现漳江河口红树林生态退化压力仍处在较小的范围内，主要压力源自生物入侵以及海岸带水产养殖和围垦。

从全国范围来看，我国红树林生态系统的总体健康状况为亚健康，广东与海南两省的红树林平均健康状况为健康，福建与广西两省（区）的红树林平均健康状况为亚健康（王玉图，2010）。结合各地红树林害虫的种类、数量及危害程度来分析，海南已发现的红树林害虫种类较少，危害程度也较轻；广东省湛江、珠海两地的红树林生态系统多处于健康状态，虫害暴发的现象也较少。广东省深圳福田红树林面积相对较小，又紧邻城市，受人为干扰较大，生态系统处于亚健康状态，近十几年来，每年均暴发不同程度的白骨壤虫害，对白骨壤种群造成了较为严重的危害；福建省红树林生态系统多处于亚健康状况，其白骨壤、桐花树、秋茄等植物均受到不同程度的虫害，主要害虫有海榄雌瘤斑螟、毛

颚小卷蛾、丽绿刺蛾等；广西省红树林近年来也陆续暴发多种虫害，其中海榄雌瘤斑螟对白骨壤种群造成严重危害，累计受害面积达到 700 hm²，另外还有毛颚小卷蛾、小袋蛾、褐袋蛾、蜡彩袋蛾、白囊袋蛾、绿黄枯叶蛾等，对桐花树、秋茄、无瓣海桑等植物造成不同程度的危害。可见，生态系统的健康水平与红树林虫害的暴发存在密不可分的联系，健康的生态系统具有良好的生态平衡能力，存在各种制约因素，大大降低了害虫种群的增长，但处于亚健康甚至是不健康状态的生态系统，不仅其组织结构简单，而且其生态功能受损，食物网链单一，群落稳定性降低，从而大大增加了害虫种群暴发成灾的可能性。但我国红树林虫害研究还处在起步阶段，目前的研究积累还无法全面揭示虫害暴发与生态系统健康水平之间的内在联系，红树林主要害虫的成灾机制涉及到很多复杂的科学问题，尚需进一步的深入研究。

4 小结与展望

近十几年来，我国广东、广西、福建等地红树林湿地频繁暴发多种虫害，目前的红树林虫害研究多集中在种类调查、危害状况及防治方法等方面，虽然现有的防治手段在主要红树林虫害种群的暴发期可以达到较好的防治效果，但针对主要害虫种类仍缺乏深入的生物学和种群生态学研究，未能全面掌握害虫种群的发生发展规律，也缺少对虫害暴发原因和成灾机制的深入探讨，最终无法达到害虫可持续控制的目的。另外，目前的红树林虫害管理工作往往重视虫害暴发时的应急防控，而疏忽对主要害虫种群的持续监测和天敌资源的系统研究。印度尼西亚、泰国、澳大利亚、巴西等国的红树林也发生过不同程度的虫害，主要害虫种类有白轮盾介壳虫 *Aulacaspis marina*、叶甲 *Rhyparida wallacei*、果蝇 *Euphranta marina*、羽蛾 *Cenoloba oblitalis* 和瘿蚊 *Cecidomyia avicenniae* 等，虫害控制方面以天敌昆虫、昆虫性信息素等生物防治技术为主，极少采用化学防治 (Minchinton and Dalby-Ball, 2001; Gonçalves-Alvim *et al.*, 2001; Offenberger *et al.*, 2004; Van Vang *et al.*, 2005)。

红树林虫害暴发成灾不仅仅是害虫种群个体数量的简单增加，而是由于长期的自然和人为因素的不利影响，整个红树林生态系统的结构和功能受损，食物网链完整性遭到破坏，最终导致其自我调

节能力下降，害虫种群的各种制约因子减弱甚至消失造成的。所以制定红树林虫害防控策略时应从生态系统的层面入手，遵循生态学理论全面考虑生态平衡，不应追求立竿见影的短期防治效果，而是以害虫可持续控制为目标，重视生态系统生境调控，构建以生物防治为核心的综合防控体系，提高红树林生态系统的健康水平，在经济阈值范围内容忍小部分害虫的存在，以恢复和保护天敌节肢动物群落多样性，增强生态系统的自我调控能力。同时应该加强对主要害虫种群及天敌昆虫资源的日常监测和深入研究，为虫害可持续控制提供足够的理论支撑。

生境多样性能够影响植食性昆虫与其天敌之间的平衡，同时也影响害虫和天敌的分布格局，只有建立合理的多样化的生境，才能提高天敌的捕食或寄生效能，充分发挥天敌的生态控制作用 (魏永平等, 2004)。可以通过科学造林加快红树林的生态恢复过程，结合造林滩涂地的气候和环境等条件，选择抗虫性强的树种对现有被害严重的红树林进行块状或条状更新，通过树种调整改变现有林分结构，营造多样性更高的混交林 (李德伟等, 2010)，逐步提高生境多样性，对害虫种群生存的环境进行合理和最优的调控，使其种群生长速率恢复到较低的半自然状态，可大大降低虫害暴发的可能性。

前人对农业生态系统的研究表明，林地、灌木篱墙、田块边缘区、休耕地和草地等非作物生境是一种比较稳定的异质化环境，有利于自然天敌的栖息和繁衍，对作物生境中天敌节肢动物群落的建立与发展具有明显的促进和调节作用 (郑云开和尤民生, 2009)。通过改变生态系统中非作物生境的植被组成及特征调控害虫与天敌的相互关系，将有助于提高天敌对害虫的控制效能，增强生态系统的自我调节功能，从而为虫害可持续控制提供保障 (尤民生等, 2004)。针对红树林生态系统，寄生性与捕食性昆虫天敌、蜘蛛、食虫鸟类等都是控制红树林害虫发生的重要因素，红树林周边各种陆生植被组成的不同生境是大多数天敌寻求替代寄主或补充营养以及栖息繁衍的主要场所，这些陆生林地、灌丛、杂草和其他自然植被可为害虫天敌提供足够的替代寄主或猎物作为过渡期的食物资源，从而为大多数天敌提供必不可少的生存条件。在加强红树林生态恢复的同时要重视红树林周边区域的生境调控，合理配置周边生境内的植被种类和时空格局，改善整体区域生态环境，给天敌创造适宜的生存空

间, 增加天敌的种类和数量, 提高各种天敌对害虫种群的控制作用, 就能有效抑制害虫数量的增长, 减少害虫种群暴发成灾的可能性。通过红树林的生态恢复和整体区域的生境调控, 使受损红树林生态系统的健康水平得到改善, 完善和增强系统自身的各种生态功能, 恢复其生态平衡, 最终达到害虫种群的可持续控制。

参考文献 (References)

- Cao QX, Fan HQ, Liu WA, 2010. The formation of Guangxi mangrove pest information management system based on ArcView GIS. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 26(1): 27–31. [曹庆先, 范航清, 刘文爱, 2010. 基于 ArcView GIS 的广西红树林虫害信息管理系统构建. 广西科学院学报, 26(1): 27–31]
- Dai JQ, Li J, Li ZG, Lv X, Xu HL, Han SC, 2011. Biological control measures for insect pests *Acrobasis* sp. of mangrove. *Guangdong Agricultural Sciences*, 13: 65–67. [戴建青, 李军, 李志刚, 吕欣, 徐华林, 韩诗畴, 2011. 红树林害虫海榄雌瘤斑螟防控技术研究. 广东农业科学, 13: 65–67]
- Ding B, 2007. Studies on Insect Community and Tactics of Integrated Major Pest Management in Mangrove Forests in Fujian Province. PhD Dissertation, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou. [丁瑜, 2007. 福建红树林昆虫群落及主要害虫综合治理技术研究. 福州: 福建农林大学博士学位论文]
- Ding B, 2009. Study on the insect community structure of mangrove of Zhangjiang estuary. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 36(3): 15–19. [丁瑜, 2009. 漳江口红树林昆虫群落结构的研究. 福建林业科技, 36(3): 15–19]
- Ding B, Huang JS, Wu SD, Fang BZ, Liu QW, 2004. The bionomics and occurrence law of *Lasiognatha cellifera*. *Scientia Silvae Sinicae*, 40(6): 197–200. [丁瑜, 黄金水, 吴寿德, 方柏州, 柳其文, 2004. 桐花树毛颚小卷蛾生物学特性及发生规律. 林业科学, 40(6): 197–200]
- Fan HQ, Qiu GL, 2004. Insect pests of *Avicennia marina* mangroves along the coast of Beibu Gulf in China and the research strategies. *Guihaia*, 24(6): 558–562. [范航清, 邱广龙, 2004. 中国北部湾白骨壤红树林的虫害与研究对策. 广西植物, 24(6): 558–562]
- Gonçalves-Alvim SJ, Vaz dos Santos MCF, Fernandes GW, 2001. Leaf gall abundance on *Avicennia germinans* (Avicenniaceae) along an interstitial salinity gradient. *Biotropica*, 36(1): 69–77.
- He JR, 1993. The insects of *Kandelia candel*. *Nature Conservation*, 4: 29–31. [何健谿, 1993. 水笔仔红林的昆虫. 自然保育季刊, 4: 29–31]
- He JR, 1994. The insects of *Kandelia candel* (II). *Nature Conservation*, 8: 43–48. [何健谿, 1994. 水笔仔红林的昆虫 (续). 自然保育季刊, 8: 43–48]
- He XX, Qin CS, Liao FY, Xu JZ, Jie YZ, Liao BW, 2009. Combining azadirachtin-based insecticides with entomopathogenous fungi control lepidopteran pests on mangroves. *Ecological Science*, (4): 318–327. [何雪香, 秦长生, 廖仿炎, 徐金柱, 揭育泽, 廖宝文, 2009. 采用印楝素农药与虫生真菌混用防治红树林鳞翅目害虫. 生态科学, (4): 318–327]
- Jia FL, Chen HD, Wang YJ, Zan QJ, Chen ZY, 2001a. The pest insects and analysis of its outbreaks' cause in Futian mangrove, Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 40(3): 88–91. [贾凤龙, 陈海东, 王勇军, 咎启杰, 陈振耀, 2001a. 深圳福田红树林害虫及其发生原因. 中山大学学报(自然科学版), 40(3): 88–91]
- Jia FL, Wang YJ, Zan QJ, 2001b. The efficacy test of "Dimilin-III" and BT to *Oligochroa cantonella*. *Natural Enemies of Insects*, 23(2): 86–89. [贾凤龙, 王勇军, 咎启杰, 2001b. 灭幼脉Ⅲ号、苏云金杆菌防治广州小斑螟药效试验. 昆虫天敌, 23(2): 86–89]
- Jiang GF, 1997. A preliminary analysis of species composition and its seasonal fluctuation of insects in Shankou mangrove area. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 13(2): 11–17. [蒋国芳, 1997. 山口红树林区昆虫种类组成及其季节变动的初步分析, 广西科学院学报, 13(2): 11–17]
- Jiang GF, Yan ZG, Cen M, 2000. Insect community and its diversity in mangrove forest at Yingluo Bay of Guangxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 11(1): 95–98. [蒋国芳, 颜增光, 岑明, 2000. 英罗港红树林昆虫群落及其多样性的研究. 应用生态学报, 11(1): 95–98]
- Jiang GF, Zhou ZQ, 1996. A preliminary study on the insect community and its diversity in mangrove of Qinzhou Bay. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 12(3–4): 50–53. [蒋国芳, 周志权, 1996. 钦州港红树林昆虫群落及其多样性初步研究. 广西科学院学报, 12(3–4): 50–53]
- Li DW, Wu YJ, Luo JT, Zhao CJ, Liang LD, Qin YL, 2010. Bionomics and control of *Lasiognatha cellifera* in Beibu Gulf of Guangxi. *Forest Pest and Disease*, 29(2): 11–14. [李德伟, 吴耀军, 罗基同, 赵程劼, 梁立道, 秦元丽, 2010. 广西北部湾桐花树毛颚小卷蛾生物学特性及防治. 中国森林病虫, 29(2): 11–14]
- Li G, Zan QJ, Zhao SL, Xiao YZ, Wang YJ, Xu HL, Peng HY, 2007. Biological characters of *Acrobasis* sp. and the toxicity and effectiveness of *Bacillus thuringiensis* against its larvae. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, (1): 52–56. [李罡, 咎启杰, 赵淑玲, 肖宇宙, 王勇军, 徐华林, 彭辉银, 2007. 海榄雌瘤斑螟的生物学特性及 Bt 对其幼虫的毒力和防效. 应用与环境生物学报, (1): 52–56]
- Li Y, Zheng DZ, Liao BW, Zheng SF, Wang YJ, Chen ZT, Zheng XR, 1997. Preliminary investigation on the major harmful organisms in mangroves. *Forest Pest and Disease*, (4): 12–14. [李云, 郑德璋, 廖宝文, 郑松发, 王勇军, 陈正桃, 郑馨仁, 1997. 红树林主要有害生物调查初报. 森林病虫害通讯, (4): 12–14]
- Lin P, 1990. Mangrove Research Papers (1980–1989). Xiamen University Press, Xiamen. [林鹏, 1990. 红树林研究论文集 (1980–1989). 厦门: 厦门大学出版社]
- Lin QL, Liu JJ, Chen CQ, 2010. Control experiment of *Latoia lepida* in forest by using 3 kinds of biological pesticides. *Protection Forest*

- Science and Technology, 95(2): 40–41. [林青兰, 刘际建, 陈春青, 2010. 3 种生物农药林间防治丽绿刺蛾试验. 防护林科技, 95(2): 40–41]
- Liu WA, Fan HQ, 2009. Major Pests and Their Natural Enemies of Mangroves in Guangxi, China. Guangxi Science and Technology Press, Nanning. [刘文爱, 范航清, 2009. 广西红树林主要害虫及其天敌. 南宁: 广西科学技术出版社]
- Lu CY, Lin T, Ye Y, Jiang JX, Li RG, 2011. Indicator system for assessing mangrove ecological degradation and a case study of the Zhangjiang estuary. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 30(1): 97–102. [卢昌义, 吝涛, 叶勇, 江锦祥, 李荣冠, 2011. 红树林生态退化机制评估指标体系构建与漳江河口案例研究. 台湾海峡, 30(1): 97–102]
- Minchinton TE, Dalby-Ball M, 2001. Frugivory by insects on mangrove propagules: effects on the early life history of *Avicennia marina*. *Oecologia*, 129(2): 243–252.
- Offenberg J, Havanon S, Aksornkoae S, Macintosh DJ, Nielsen MG, 2004. Observations on the ecology of weaver ants (*Oecophylla smaragdina* Fabricius) in a Thai mangrove ecosystem and their effect on herbivory of *Rhizophora mucronata* Lam. *Biotropica*, 36(3): 344–351.
- Peng YS, Zhou YW, Chen GZ, 2008. The restoration of mangrove wetland: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 786–797. [彭逸生, 周炎武, 陈桂珠, 2008. 红树林湿地恢复研究进展. 生态学报, 28(2): 786–797]
- Qin YL, Luo JT, Li DW, Wu YJ, Zhao CJ, Deng Y, 2010. Stress resistance of *Lasiognatha cellifera* Meyrick. *Forest Pest and Disease*, 29(1): 8–9. [秦元丽, 罗基同, 李德伟, 吴耀军, 赵程劼, 邓艳, 2010. 桐花树毛颚小卷蛾抗逆性的研究. 林业科学, 29(1): 8–9]
- Sun Y, Huang YL, Liu XP, 2009. A health assessment of estuarine wetland ecosystem in Shenzhen river. *China Rural Water and Hydropower*, (10): 32–35. [孙毅, 黄奕龙, 刘雪朋, 2009. 深圳河口红树林湿地生态系统健康评价. 中国农村水利水电, (10): 32–35]
- Van Vang L, Inomata SI, Kinjo M, Komai F, Ando T, 2005. Sex pheromones of five olethreutine species (Lepidoptera: Tortricidae) associated with the seedlings and fruits of mangrove plants in the Ryukyu Islands, Japan: identification and field evaluation. *Journal of Chemical Ecology*, 31(4): 859–878.
- Wang LR, Li Z, Pu YJ, Liao WB, Zhang QM, Yu KF, Zhao HT, 2011. Health evaluation of mangrove community in Dongzhaigang, Sanyahe, and Qingmeigang Mangrove Nature Reserves of Hainan province. *Journal of Tropical Oceanography*, 30(2): 81–86. [王丽荣, 李贞, 蒲杨婕, 廖文波, 张乔民, 余克服, 赵焕庭, 2011. 海南东寨港、三亚河和青梅港红树林群落健康评价. 热带海洋学报, 30(2): 81–86]
- Wang SG, Zheng YH, Peng YS, Chen GZ, 2010. Health assessment of Qi'ao Island mangrove wetland ecosystem in Pearl River Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(21): 391–398. [王树功, 郑耀辉, 彭逸生, 陈桂珠, 2010. 珠江口淇澳岛红树林湿地生态系统健康评价. 应用生态学报, 21(21): 391–398]
- Wang YT, 2010. Research on the Health Assessing System of Chinese Mangrove Ecosystems. MSc Thesis, the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing. [王玉图, 2010. 中国红树林生态系统健康评价体系研究. 北京: 中国科学院研究生院硕士学位论文]
- Wei YP, Hua L, Zhang YL, 2004. The effects of habitat manipulation on sustainable pest control in apple orchards. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 20(1): 204–206. [魏永平, 花蕾, 张雅林, 2004. 生境调节对苹果园害虫可持续控制作用. 中国农学通报, 20(1): 204–206]
- Xu JX, Lin GX, Qiu HX, Lin MS, Huang MY, Lu X, Zhao DY, Huang DC, 2008a. Study on *Homona coffearia* in mangrove community of *Aegiceras corniculatum* in Guangdong Province. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 24(4): 15–20. [徐家雄, 林广旋, 邱焕秀, 林明生, 黄木养, 陆旭, 赵丹阳, 黄德冲, 2008a. 广东桐花树群落上的柑橘长卷蛾研究. 广东林业科技, 24(4): 15–20]
- Xu JX, Lin GX, Qiu HX, Lin MS, Huang MY, Lu X, Zhao DY, Huang DC, 2008b. Study on *Assara albicostalis* and *Cryptophlebia ombrodelta* in community of *Bruguiera gymnorhiza* + *Aegiceras corniculatum* in Guangdong. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 24(5): 1–6. [徐家雄, 林广旋, 邱焕秀, 林明生, 黄木养, 陆旭, 赵丹阳, 黄德冲, 2008b. 广东木榄+桐花树群落上的白蛱蛱果斑螟和荔枝异形小卷蛾研究. 广东林业科技, 24(5): 1–6]
- Xu JX, Lin MS, Chen RP, Qiu HX, Zhao DY, Lu X, 2008c. Investigation of pest insects on mangrove in Guangdong and Hongkong areas. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 24(2): 46–49. [徐家雄, 林明生, 陈瑞屏, 邱焕秀, 赵丹阳, 陆旭, 2008c. 粤港地区红树林害虫种类调查. 广东林业科技, 24(2): 46–49]
- You MS, Hou YM, Liu YF, Yang G, Li ZS, Cai HJ, 2004. Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agro ecosystems. *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 260–268. [尤民生, 侯有明, 刘雨芳, 杨广, 李志胜, 蔡鸿娇, 2004. 农田非作物生境调控与害虫综合治理. 昆虫学报, 47(2): 260–268]
- Zhang FP, Yang ZW, Jiang BF, Lin P, 2008. Preliminary studies on the scale insect pest of *Pseudaulacaspis cockerelli* in mangrove. *Journal of Fujian College of Forestry*, 28(3): 220–224. [张飞萍, 杨志伟, 江宝福, 林鹏, 2008. 红树林考氏白盾蚧的初步研究. 福建林学院学报, 28(3): 220–224]
- Zhao S, Hong HS, Zhang LP, Chen WQ, 2007. Energy value of mangrove ecosystem services in China. *Resources Science*, 29(1): 147–154. [赵晟, 洪华生, 张路平, 陈伟琪, 2007. 中国红树林生态系统服务的能值价值. 资源科学, 29(1): 147–154]
- Zheng YK, You MS, 2009. Biological diversity in support of ecologically-based pest management at landscape level. *Acta Ecologica Sinica*, 29(3): 1508–1518. [郑云开, 尤民生, 2009. 农业景观生物多样性与害虫生态控制. 生态学报, 29(3): 1508–1518]

(责任编辑: 袁德成)