

## 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究\*

# Analytic Study on the Damages of Wood-boring Isopod, *Sphaeroma*, to China Mangroves

范航清<sup>1</sup>,刘文爱<sup>1</sup>,钟才荣<sup>2</sup>,倪翔<sup>1</sup>

FAN Hang-qing<sup>1</sup>, LIU Wen-ai<sup>1</sup>, ZHONG Cai-rong<sup>2</sup>, NI Xiang<sup>1</sup>

(1. 广西科学院广西红树林研究中心,广西红树林保护与利用重点实验室,广西北海 536007; 2. 海南东寨港国家级红树林自然保护区管理局,海南海口 571129)

(1. Guangxi Mangrove Research Center of Guangxi Academy of Sciences, Guangxi Key Lab for Mangrove Conservation and Utilization, Beihai, Guangxi, 536007, China; 2. The Management Bureau of Dongzhaigang National Mangrove Natural Reserve, Haikou, Hainan, 571129, China)

**摘要:**【目的】蛀木团水虱是近年来危害中国红树林的一个新情况,已导致海南和广西部分红树林的死亡。为了防控团水虱,本文总结团水虱对中国红树林的危害情况,分析团水虱爆发的可能原因,提出一些管理策略。【方法】在海南和广西三处红树林团水虱危害地实地调查资料及生石灰消杀与鱼类捕食控制实验的基础上进行分析。【结果】调查表明,2010至2013年海南东寨港受团水虱攻击而死亡的红树林面积的平均年增长率为66.4%。危害中国红树林的蛀木等足类生物主要为有孔团水虱和光背团水虱,前者是危害海南东寨港红树林的关键物种。受害的红树林都分布于人为干扰强烈且有机污染严重的海区。生长在污染物扩散通道沟边或污染物沉积区中的林子是团水虱的集中攻击对象。处于地带性演替后期、相对高大的成熟林易遭受团水虱危害。团水虱对红树植物的选择性攻击序列为:海莲、木榄>尖瓣海莲、角果木>白骨壤、秋茄>桐花树。由于潮差不同,中国大陆沿海红树林可受团水虱攻击的地上部高度为海南岛的2倍以上。在实验室中,1:1配比的石灰水90min就可达到50%的团水虱消杀效果。中华乌塘鳢单位时间的吞食量较稳定,24h内平均可捕食42只团水虱。【结论】推测在海区环境退化的背景下放养家鸭,虾塘排放有机物和消毒剂,人为捕获经济动物很可能是团水虱爆发的触发因子,建议将红树林团水虱危害纳入相关的海洋生态环境监测与评价体系,建立以化学手段为应急,物理措施为辅助,生态保育为长效的红树林团水虱防控机制。

**关键词:**红树林 团水虱 危害规律 管理建议

**中图分类号:**Q958.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)02-0140-07

**Abstract:**【Objective】Damages to mangroves due to the presence of wood-boring isopod of *Sphaeroma* are newly found in China. Aiming to control the isopod disaster, this paper evaluates the status of isopod damages to China mangroves, analyzes the possible causes and puts forward some management tactics, and some scientific issues about massive occurrence of *Sphaeroma* in China are discussed. 【Methods】Analyses were made on the information from field surveys conducted at three damaged mangrove sites in Hainan and Guangxi province, and the tests of isopod controls by calcium oxide killing and fish feeding. 【Results】Field surveys revealed that areas of destructive mangroves in Dongzhaigang, Hainan increased at a mean continuous rate of 66.4% annually mangroves from 2010 to 2013. The major mangrove wood-boring isopods in China are *Sphaeroma terebrans* and *Sphaeroma retrolaeve*, of which the former is the key species found in Dongzhaigang. All of the mangroves damaged by borers distribute in the sea regions suffering serious anthropogenic disturbance and contamination. The attack of

borers focuses on the forests growing across the creeks delivering pollutants and at the habitats depositing pollutants. Mature mangrove forests, being high relatively and in late successional stage of zonality, are vulnerable to the damage. Mangrove species preferred by the borers can be ranked in an order: *Bruguiera sexangula*,

收稿日期:2014-03-14

作者简介:范航清(1964-),男,博士,研究员,主要从事海洋高等植物生态学研究。

\* 国家科技基础性工作专项(2013FY111805),国家海洋公益性行业科研专项(201105004),广西红树林保护与利用重点实验室主任基金和广西特聘专家基金资助。

*Bruguiera gymnorrhiza* > *B. s. var. rhynchopetala*, *Ceriops tagal* > *Avicennia marina*, *Kandelia obovata* > *Aegiceras corniculatum*. Attributing to different tide amplitude, the height of above ground part of mangroves which the borers are able to attack is more than two times along China mainland coast than in Hainan Island. Laboratory test showed that 50% isopod individuals can be killed by calcium oxide at the weight concentration of 1 : 1 to water through 90 minutes treatment. The feeding rate of fish, *Bostrichthys sinensis*, on isopod is relatively stable at unit time, and 42 isopod individuals as a mean can be consumed by a fish in 24hours. **【Conclusion】**It is presumed that under the background of environmental degradation, duck patrol, drain of organic matter and disinfectors from shrimp pond and human collecting goods are likely to be the trigger of borer's boom. It is suggested that isopod should be an indicator included in marine monitoring and assessment system, and a mechanism be established to control isopod promptly by using chemical methods, additionally by physical methods, and permanently by ecological conservation.

**Key words:** mangrove, wood-boring isopod, regular of endangering, management suggestion

团水虱是生活在潮间带暖水海域的一类海洋钻孔动物,在全球红树林区广泛分布,会伤害红树林的气生根<sup>[1]</sup>,但鲜有致死红树林的报道。2012年8月媒体发布海南东寨港红树林保护区团水虱大爆发<sup>[2]</sup>,大片红树林受害死亡(见图1),这是中国首个团水虱致死红树林事例。2013年10月环保志愿者发现广西北海市草头村红树林因团水虱死亡现象<sup>[3]</sup>,2014年1月又报道广西北海银滩红树林受绿藻和团水虱双重侵害,已经出现大量死亡现象<sup>[4]</sup>。2012年以来,本文作者通过对上述3地进行现场调查和一些初步试验,发现随着近岸海洋环境的退化,团水虱已经成

为危害中国红树林的一个重要方面。本文总结中国红树林团水虱发生的基本情况和规律,分析团水虱爆发的可能原因与基本过程,并根据防控试验的一些初步结果,针对性提出一些科学问题与管理建议,为我国红树林团水虱的深入研究、防控技术研发与适应性管理服务。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**调查对象:**海南东寨港国家级红树林自然保护区范围内的红树林、广西北海市草头村和银滩红树林团水虱危害区。

**试验材料:**生石灰、有孔团水虱、成熟中华乌塘鳢(*Bostrichthys sinensis*)从人工养殖塘里选取、网笼为圆柱铁线框架,直径46cm,高15cm,外裹40目网。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 团水虱对红树林的危害调查

(1)2012年9月和2013年8月分别对海南东寨港国家级红树林自然保护区范围内的红树林进行仔细踏查,调查不同位置团水虱的发生情况、危害方式、危害部位,不同寄主树种的受害情况。利用卫星图片和地面验证,统计东寨港红树林团水虱的危害面积。砍伐受害致死的尖瓣海莲10株,截取和封装有团水虱危害的部位以备室内生物学特性、防控研究。

(2)2013年10月至2014年3月,对广西北海市草头村和银滩红树林团水虱危害区进行群落、周边生产活动、环境的基本调查。收集政府职能部门的相关调查与应急治理报告。

#### 1.2.2 石灰水对团水虱的消杀实验

配置浓度为生石灰与水的质量比分别为10%、20%、50%、100%、200%、500%、1000%的生石灰水溶液(或悬浮液)各100mL,编号。给8个对应编号的培养皿分别加入20只有孔团水虱和20mL溶液,处理5min以后进行首次观察,此后每30min观察一



图1 海南东寨港红树林团水虱危害现场

Fig. 1 The scene of wood-boring isopods damaged the mangroves in Dongzhaigang, Hainan

A, B: 受团水虱危害死亡的尖瓣海莲、海莲群落根部; C: 在死根根部活动的团水虱; D: 团水虱蛀空的尖瓣海莲板状根; E: 在红树林滩涂捕食的家鸭

A, B: *B. s. var. rhynchopetala* and *Bruguiera sexangula* communities which damaged by wood-boring isopods; C: wood-boring isopods active at the death root; D: buttress root of *B. s. var. rhynchopetala* hollowed by wood-boring isopods; E: Domestic ducks preyed in mangroves tidal flats.

次,统计各浓度下团水虱剩余活体数量,并拍照。该实验持续 6h,共观察 13 次。根据统计的结果与时间,统计团水虱半致死浓度和一定浓度的半致死时间。

### 1.2.3 中华乌塘鳢对团水虱的取食实验

选取体长相近的成熟中华乌塘鳢 15 尾(51~79g/尾),饥饿处理 24h 后分别单独置于 15 个网笼内。每个容器投入 50 只有孔团水虱活体,用 40 目细纱网封住容器口,扎紧以防止团水虱逃逸及外界生物进入。将容器沉入海水池塘(约 1m 深,盐度 18)后开

表 1 中国红树林受蛀木生物团水虱危害的情况(2013 年)

Table1 Information of mangrove sites damaged by wood-boring isopods of *Sphaeroma*, China in 2013

| 内容<br>Content                             | 指标<br>Index                                                | 海南东寨港<br>Dongzhaigang Hainan                                            | 广西北海草头村<br>Chaotoucun, Beihai,<br>Guangxi               | 广西北海银滩<br>Silver Beach,<br>Beihai, Guangxi                                                      |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 受害程度<br>Extent damaged                    | 受害红树林面积<br>Area of affected mangrove<br>(hm <sup>2</sup> ) | 33.33                                                                   | 1.33                                                    | 1.00                                                                                            |
|                                           | 死亡红树林面积<br>Area of dead mangroves<br>(hm <sup>2</sup> )    | 5.39                                                                    | 0.23                                                    | 0.27                                                                                            |
|                                           | 死亡株数(株)<br>Number of dead trees                            | 11400                                                                   | 329                                                     | 352                                                                                             |
| 受害群落<br>Community damaged                 | 主要受害树种<br>Main victim species                              | 海莲( <i>Bruguiera sexangula</i> )、木榄<br>( <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ) | 白骨壤( <i>Avicennia marina</i> )                          | 白骨壤( <i>Avicennia marina</i> )                                                                  |
|                                           | 死亡群落平均高度<br>Average height of dead<br>communities          | 6~10                                                                    | 3.5                                                     | 2.5                                                                                             |
|                                           | 死亡群落发育状态<br>Development status of the<br>dead              | 成熟群落<br>Mature community                                                | 成熟群落<br>Mature community                                | 成熟群落<br>Mature community                                                                        |
|                                           | 蛀木生物<br>Wood-boring isopods                                | 有孔团水虱<br>( <i>Sphaeroma terebrans</i> )                                 | 光背团水虱<br>( <i>Sphaeroma retrolaevae</i> )为主,部分有<br>孔团水虱 | 有孔团水虱<br>( <i>Sphaeroma terebrans</i> )                                                         |
| 潮汐特征<br>Characteristics of tide           | 潮汐类型<br>Type of tide                                       | 不规则半日潮<br>Irregular semidiurnal tide                                    | 不规则全日潮<br>Irregular diurnal tide                        | 不规则全日潮<br>Irregular diurnal<br>tide                                                             |
|                                           | 平均潮差<br>Mean range(m)                                      | 1                                                                       | 2.25                                                    | 2.25                                                                                            |
|                                           | 蛀孔分布高度<br>Distribution height of holes<br>(cm)             | 0~25                                                                    | 0~100                                                   | 0~60                                                                                            |
| 环境状况<br>Status of Environ.                | 发展定位<br>Development orientation                            | 海口市后花园<br>Back garden of Haikou                                         | 国家级旅游度假区<br>The national tourist re-<br>sort            | 滨海新区<br>Coastal new-region                                                                      |
|                                           | 陆基养殖<br>Land-bast aquaculture                              | 海水虾塘<br>Shrimp pond                                                     | 海水虾塘<br>Shrimp pond                                     | 海水虾塘<br>Shrimp pond                                                                             |
|                                           | 陆岸养殖<br>Land-bast aquaculture                              | 大型生猪养殖场<br>Large-scale pig farms                                        |                                                         | 小型生猪养殖场<br>Small-scale pig<br>farms                                                             |
|                                           | 滩涂放养<br>Intertidal farming                                 | 32 家养鸭户<br>32 farms of domestic duck                                    |                                                         | 1 家养鸭户、约 15 头<br>耕牛<br>One farm of domestic<br>duck and approx. 15<br>heads of bafferlo         |
| 污水处理设施<br>Sewage treatment facility       | 无<br>No                                                    | 无<br>No                                                                 | 无<br>No                                                 |                                                                                                 |
| 海区富营养化<br>Eutrophication of sea ar-<br>ea | 严重<br>Heavy                                                | 中度<br>Medium                                                            | 轻度<br>Slight                                            |                                                                                                 |
| 生境<br>Habitat                             | 受害群落生境位置<br>Habitat of damaged com-<br>munity              | 潮沟边缘<br>Edges across creek                                              | 潮沟边缘<br>Edges across creek                              | 邻近间歇性小河口的<br>海向林缘<br>Seaward mangrove<br>fringe adjacent to a<br>temporary small river<br>mouth |

始计时。每隔 3h 取出容器,逐个清点并纪录容器内剩余的团水虱活体数,连续统计 8 次。实验结束后解剖中华乌塘鳢的胃含物,收集剩余的活体团水虱在室内焚毁,确保生物安全。

## 2 结果和分析

### 2.1 中国红树林团水虱危害规模

中国现今已报道并确认的红树林团水虱危害情况见表 1。从危害规模看,中国红树林团水虱危害总

面积为 35.66hm<sup>2</sup>,其中死亡的红树林面积 5.89hm<sup>2</sup>。比较 2010 年 7 月和 2013 年 4 月的 Google earth 卫星图像,并经过地面验证,推算出 2010 年海南东寨港已有 10 个红树林斑块爆发了团水虱危害,造成 1.17hm<sup>2</sup>红树林的死亡。2010 以后虽然没有出现新的较大范围的死亡斑块,但红树林死亡面积扩大到 5.39hm<sup>2</sup>(表 2),可见点状爆发周边扩散是团水虱危害红树林的一个基本特征。以此特征为基础,计算出 3 年间东寨港红树林死亡面积的平均连年增长率为 66.4%(表 2)。有研究指出,红树植物一旦受团水虱感染,根系的生长会减缓 55%<sup>[1]</sup>。团水虱密度增大到一定程度会切断整个植株的运输组织从而导致整个植株的死亡。

海南和广西 3 处团水虱致死红树林的面积占中国现有红树林总面积(约 2.5 万 hm<sup>2</sup>)的比例很低。然而,由于中国对红树林团水虱危害缺少基本认识和专项调查,全国究竟还有多少红树林感染了团水虱,有多少因此而死亡,今后是否会在更大范围内爆发等均无数据。

表 2 2010 年 7 月和 2013 年 4 月海南东寨港因蛀木生物而死亡的红树林面积

Table 2 Areas of dead mangroves caused by wood-boring isopod in Dongzhaigang, Hainan in July 2010 and April 2013

| 林斑号<br>ID of Forests | 死亡面积<br>Area of dead mangroves<br>(hm <sup>2</sup> ) |      | 连年增长率<br>Annually continuous<br>increase rate<br>(%) |
|----------------------|------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------|
|                      | 2010                                                 | 2013 |                                                      |
| 1                    | 0.38                                                 | 1.06 | 40.1                                                 |
| 2                    | 0.07                                                 | 0.65 | 108.3                                                |
| 3                    | 0.02                                                 | 0.16 | 89.1                                                 |
| 4                    | 0.20                                                 | 0.98 | 68.6                                                 |
| 5                    | 0.15                                                 | 0.51 | 50.5                                                 |
| 6                    | 0.02                                                 | 0.23 | 133.4                                                |
| 7                    | 0.09                                                 | 0.20 | 32.4                                                 |
| 8                    | 0.03                                                 | 0.08 | 34.3                                                 |
| 9                    | 0.19                                                 | 1.36 | 92.5                                                 |
| 10                   | 0.01                                                 | 0.17 | 157.5                                                |
| 合计 Total             | 1.17                                                 | 5.39 | 66.4                                                 |

## 2.2 中国红树林团水虱爆发的规律

从受害群落看(表 1),团水虱可攻击海南东寨港的多种红树植物,其中红树科植物受到的威胁最大,表现为团水虱种群密度高,不仅钻蛀根的基部,还钻蛀呼吸根。东寨港成片死亡的红树林主要为植株高大、树龄长的海莲和木榄。尖瓣海莲和角果木(*Ceriops tagal*)也较易受团水虱攻击。在秋茄

(*Kandelia obovata*)和白骨壤的树干基部常有团水虱孔洞,少部分植株因此死亡。桐花树(*Aegiceras corniculatum*)很少受团水虱攻击。团水虱攻击的广西 2 处红树林都是发育良好、较高的白骨壤林,其中一处有桐花树散生(草头村),但未受攻击。可见,处于地带性演替后期的成熟林是团水虱的主要攻击对象,其对树种的选择性攻击序列为:海莲、木榄>尖瓣海莲、角果木>白骨壤、秋茄>桐花树。

从垂直剖面上看,团水虱只攻击潮水可淹到的植株体,位于平均高潮线以下的红树植株板状根、基茎、树干、树枝是团水虱攻击的主要部位。东南沿海是中国红树林的分布区,东海潮差较大,平均潮差 1.65~5.54m<sup>[5]</sup>;南海广东岸段汕尾 0.98m,向西增大,湛江 2.16m;广西北部湾白龙尾 2.22m,向东增大,石头埠 2.45m<sup>[5]</sup>;海南岛东部潮差小,清澜港 0.75m;西部较大,八所 1.49m;西北部最大,新盈 1.89m<sup>[5]</sup>。团水虱蛀孔在树干上分布的高度在广西可达 60~100cm,而在海南东寨港则小于 25cm<sup>[6]</sup>。因此可以判定,由于潮差的缘故中国大陆沿海红树林受团水虱攻击的地上部高度为海南岛的 2 倍以上。

从环境状况看,3 个团水虱致死红树林事件均位于人为干扰强烈的海区,海区水体均富营养化。2012 年东寨港红树林自然保护区内曾有咸水鸭养殖场 39 个,家鸭数量达 4.5 万羽以上。罗牛山 10 万只生猪养殖场离保护区的直线距离是 4km,与红树林保护区有河道相连。此外,东寨港红树林周边分布着约 1300hm<sup>2</sup>的高位池虾塘。广西北海市草头村红树林的主要污染源是养殖污水。北海银滩冯家江为污水混合排放区,城市的一部分生活污水、屠宰场废水、生猪养殖废水、养殖污水均未经处理汇入冯家江,涨潮时部分污染物扩散到红树林区,并在海向林缘沉积,冬春季林区的浒苔覆盖度逐年上升,包裹了白骨壤指状呼吸根,影响了植株的氧气吸收。

潮沟是海陆物质交流的主要通道。从群落生境上看,海南东寨港受害的红树林全部邻近于潮沟;广西北海市草头村受害的红树林也生长在潮沟边(养殖污水排放口);而北海银滩的受害红树林虽然位于海向林缘,但邻近于间歇性小河口。由此可认为,生长在污染物扩散通道边缘或污染物沉积区中的林子是团水虱的集中攻击对象。已有研究表明东寨港团水虱的水平分布与水体总 N、总 P 有关<sup>[6]</sup>。所有的现象均预示着团水虱的爆发跟有机物污染有密切联系。

## 2.3 团水虱生物学特征和生态学习性

### 2.3.1 危害中国红树林的团水虱种类

团水虱属于节肢动物门(Arthropoda),甲壳纲

(Crustacea), 等足目 (isopoda), 团水虱科 (Sphaeromidae)。作者通过形态和行为学观察, 发现危害中国红树林的团水虱有 2 个种, 即有孔团水虱和光背团水虱。危害海南东寨港红树林的为有孔团水虱而不是先前报道的光背团水虱<sup>[6]</sup>。在形态上, 有孔团水虱体长可达 10mm, 尾附肢尖锐, 最后一对腹足有金属光泽, 腹部背面较多突起和细毛、容易粘附淤泥, 腹部末端部分呈弧形; 光背团水虱体长可达 12mm, 尾附肢尖锐柔软, 最后一对腹足无金属光泽, 腹部背面较少突起和细毛、较为光亮, 腹部末端部分呈现“一”字形。在蛀孔行为上, 有孔团水虱的蛀孔多为纵向向上; 光背团水虱蛀孔为横向向内(图 2)。

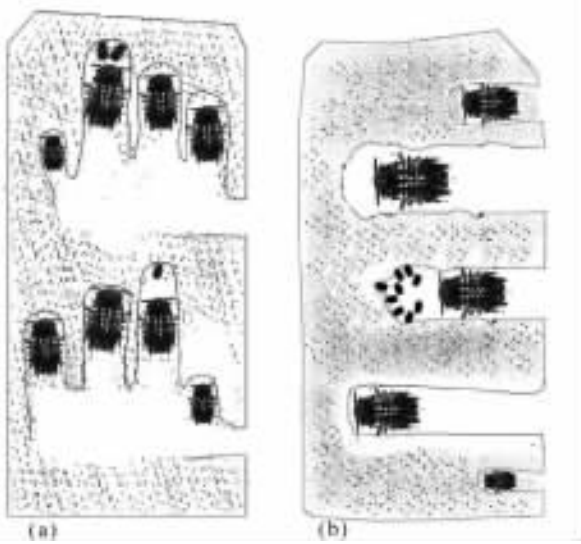


图 2 有孔团水虱(a)和光背团水虱(b)蛀孔行为的差别

Fig. 2 Different wood-boring behaviors between the two species of *Sphaeroma terebrans* (a) and *S. retrolaeve* (b)

### 2.3.2 团水虱的生态习性

团水虱是潮间带营养传递的重要一环, 钻孔的过程为其他生物提供碎屑, 废弃的孔洞为其他生物提供栖息场所<sup>[1]</sup>。与大多数甲壳类动物不同, 等足类的团水虱没有浮游幼体阶段, 而是直接在母体的育儿袋内直接由受精卵发育成幼体。该团水虱受刺激会卷成一团, 锋利的尾附肢向体侧伸出, 呈防御状态; 一旦落入在水中, 快速游动寻找钻孔底质, 游动时腹面朝上, 无方向性。团水虱营滤食性生活, 食物包括浮游动植物、有机碎屑和细菌等; 体内含有纤维素酶, 有利于钻蛀木质孔洞<sup>[1,7,8]</sup>。

团水虱生活在木质孔洞内, 并在孔洞内完成交配和繁衍。雄性团水虱在完成交配后会离开蛀孔, 而雌性团水虱会一直留在孔洞内, 孕育、生产并照料子代团水虱。雌性团水虱的大部分时间都是待在孔洞内, 利用尾节堵住洞口, 通过腹肢不断划动水流来提供氧

气和食物。雌性团水虱对子代的照料行为有助于幼体团水虱克服亚热带潮间带的恶劣生存环境, 对其种群生存繁衍具有重要作用。繁育期的团水虱常年均存在, 但是繁殖的高峰期一般是在秋季和春末夏初这两个时间段<sup>[7]</sup>。雌虫产卵时, 将卵包在母体胸部育卵囊中孵化, 每次抱卵数为 5~26 个。由于保护周密, 团水虱的子一代的孵化率高, 繁殖周期长, 一年可以繁殖数次<sup>[7,8]</sup>。

团水虱不但对红树林具有毁灭性的破坏作用, 还会加速海岸侵蚀, 是海洋污损治理的重大标地物<sup>[9,10]</sup>。10 万只成年团水虱 2 个月的钻蛀, 大约可以移除 176dm<sup>3</sup> 泥土、103dm<sup>3</sup> 发泡胶、72dm<sup>3</sup> 砂岩或 29dm<sup>3</sup> 活立木<sup>[11]</sup>。

### 2.4 团水虱防控的一些初步试验结果

国外有限的研究文献主要集中在团水虱的生物学和生态学方面, 而在防控方面的研究则显得非常匮乏。为了应对团水虱危害, 当务之急是采取必要的措施来控制团水虱的蔓延。

#### 2.4.1 生境修饰

2012 年以来, 海南东寨港国家级自然保护区通过堆土提高红树林滩涂高程, 减少涨潮时团水虱攻击树干的垂直空间, 进而降低灾害程度。目前看该方法具有一定效果, 可延缓红树植物死亡的时间, 为其它消杀措施的实施赢得时间。该方法适用于小潮差、低波能的红树林区, 而在大潮差、高波能的大陆红树林区难以应用。此外, 该方法的最终效果及稳定性还有待于更长时间的观察。

#### 2.4.2 生石灰对团水虱的消杀效果

生石灰溶解于水会释放大量的热, 释放的热量越多, 消杀的效果就越强。在实验室内, 生石灰水对团水虱的消杀效果明显, 其中在 1:1 配比的石灰水中, 90min 就可达到 50% 的消杀效果(表 3)。经过统计分析, 各时段致死对数剂量估计见表 4, 各对数剂量致死中时间见表 5, 在野外进行喷洒时要根据潮汐时间配以恰当浓度来进行防控。尽管在实验室内生石灰对有孔团水虱具有较好的消杀效果, 但要在自然海区中应用必须考虑具体的技术细节及对其它海洋生物的影响。

#### 2.4.3 中华乌塘鳢对团水虱的捕食

中华乌塘鳢为硬骨鱼纲塘鳢科鱼类, 凶猛肉食性, 以树穴、泥洞、石缝为巢穴。中华乌塘鳢在亚洲红树林生态系统中是位于营养级顶层的鱼类, 与红树林的关系密切, 是红树林生态系统结构与功能完整性的重要标志。试验中的 15 尾中华乌塘鳢均能吞食有孔团水虱, 并在它们的胃含物中检查出团水虱死体。中

表 3 不同浓度和时间生石灰处理下有孔团水虱的存活个体数

Table 3 The survival individual numbers of *Sphaeroma terebrans* treated by calcium oxide at varied concentrations and duration time

| 浓度<br>Concentration | 个数 Numbers |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | 5          | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| 0                   | 20         | 20 | 20 | 20 | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 19  |
| 10%                 | 20         | 20 | 18 | 15 | 11  | 9   | 7   | 6   | 6   | 5   | 5   | 4   | 4   |
| 20%                 | 20         | 20 | 19 | 15 | 10  | 9   | 8   | 7   | 7   | 6   | 6   | 5   | 5   |
| 50%                 | 20         | 19 | 16 | 12 | 11  | 11  | 9   | 8   | 8   | 7   | 6   | 6   | 5   |
| 100%                | 20         | 19 | 12 | 10 | 9   | 9   | 7   | 6   | 5   | 5   | 4   | 4   | 3   |
| 200%                | 18         | 18 | 14 | 9  | 9   | 8   | 5   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2   |
| 500%                | 16         | 14 | 10 | 8  | 8   | 7   | 5   | 5   | 4   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| 1000%               | 16         | 12 | 8  | 5  | 4   | 3   | 3   | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |

中华乌塘鳢单位时间的吞食量较稳定,24h内平均可捕食42只团水虱,捕食率为84%(图3)。该试验预示着对天敌种群的保护是长效防控的根本。遗憾的是,迄今我们对团水虱天敌生物的种类、捕食阶段和捕食量的了解甚少。

表 4 各时段致死对数剂量估计

Table 4 Estimates of lethal logarithmic concentration for each duration

| 时段<br>Duration<br>(min) | LD <sub>50</sub> | SE     | LD <sub>90</sub> | SE     |
|-------------------------|------------------|--------|------------------|--------|
| 5                       | 1.633            | 0.3667 | 2.391            | 0.4308 |
| 30                      | 1.2138           | 0.2551 | 1.9718           | 0.3141 |
| 60                      | 0.7165           | 0.1518 | 1.4745           | 0.193  |
| 90                      | 0.4349           | 0.1284 | 1.1929           | 0.1394 |
| 120                     | 0.3696           | 0.1309 | 1.1277           | 0.1308 |
| 150                     | 0.2848           | 0.1333 | 1.0428           | 0.1183 |
| 180                     | 0.1975           | 0.1373 | 0.9556           | 0.1063 |
| 210                     | 0.1306           | 0.1422 | 0.8886           | 0.0987 |
| 240                     | 0.0114           | 0.1507 | 0.7694           | 0.0864 |
| 270                     | -0.2347          | 0.1667 | 0.5233           | 0.0765 |
| 300                     | -0.2491          | 0.1695 | 0.5089           | 0.0795 |
| 330                     | -0.4355          | 0.1805 | 0.3226           | 0.0793 |
| 360                     | -0.4773          | 0.1839 | 0.2807           | 0.0836 |

表 5 各对数剂量致死中时间

Table 5 Lethal time of each logarithmic concentration

| 对数剂量<br>Log concentration | LT <sub>50</sub> | 对数剂量<br>Log concentration | LT <sub>90</sub> |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| -0.301                    | 11.2705          | 0.301                     | 12.5249          |
| 0                         | 9.0444           | 0.699                     | 9.345            |
| 0.301                     | 5.8052           | 1                         | 6.5132           |
| 0.699                     | 3.0595           |                           |                  |
| 1                         | 2.4041           |                           |                  |

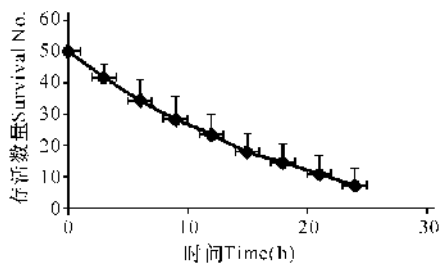


图 3 中华乌塘鳢(15尾)捕食试验中有孔团水虱的存活数

Fig. 3 The number of survival individuals of *Sphaeroma terebrans* during fish, *Bostrichthys sinensis*, feeding tests (Fish number=15)

### 3 讨论

团水虱为广布生物,历史上中国并没有团水虱致死红树林的记载,说明我国近海正在发生一些历史上不曾有过的变化。团水虱的大量繁殖受到食物、气候与物理条件、天敌3个方面的影响(图4)。有机污染一般有利于浮游饵料生物的生长,因此近海环境的退化无疑是团水虱爆发的大背景。

中国的不少红树林区有机污染严重,碎屑丰富,可并没有爆发团水虱,因此可能在天敌生物环节上存在触发事件。红树林底栖动物是家鸭的嗜好,笔者曾观察到一只成年家鸭半小时内可取食37只招潮蟹。首先,高密度放养家鸭会大量消费滩涂底栖动物,缩小团水虱天敌的种群规模;其次,家鸭排便直接污染红树林生境;再次,家鸭的摄食扰动会促进滩涂侵蚀,扩大红树植物基茎受团水虱攻击的表面积。家鸭兼备天敌、污染和物理3个影响通道,因此是最重要的一个触发环节。

沿海虾塘是一个巨大的面上污染源,每年养殖2~3次,每次收虾后都要进行清塘,每次清塘时间持续8~10d。清塘时首先排放的是发黑恶臭的高浓度

有机污水,随后排放的是虾塘消毒剂。排污和消毒剂在短时间的内叠加可能会迅速消杀底栖天敌生物。团水虱保护周密,抗逆性强,受影响时间(水淹时间)小于生活在滩涂基质中的其它生物,因此可生存下来并在缺少天敌的情况下大量繁殖。养殖排污的触发推论有待于进一步调查和实验证实。

人为肆意挖捕红树林区海洋经济动物是中国红树林退化的一个重要原因,它毫无疑问地降低了生物多样性。例如笔者的一项研究表明,1992年至2009年广西红树林区中华乌塘鳢野生鱼苗资源量下降了96%。

基于以上感性认识,我们推测中国红树林团水虱爆发的本质是“在海区环境退化背景下由放养家鸭,虾塘有机污染物、消毒剂排放,人为捕获林区经济动物触发的自然生态系统崩溃事件”。为此,团水虱主要饵料生物和天敌生物的种类及其生态位,团水虱饵料生物快速繁殖的重要污染物类型和阈值,团水虱和天敌生物对养殖消毒剂的差异性响应等不仅是重要的科学问题,也是建立防控技术体系的理论基础。此外,由于团水虱链接了人类活动—环境退化—红树林生态系统崩溃,因此在方法论上红树林团水虱是一个研究人为干扰与自然生态系统演化关系的自然模板。对这一模板过程与机理的研究有助于提高相关海域环境容量和生态红线判定的客观性与准确性。

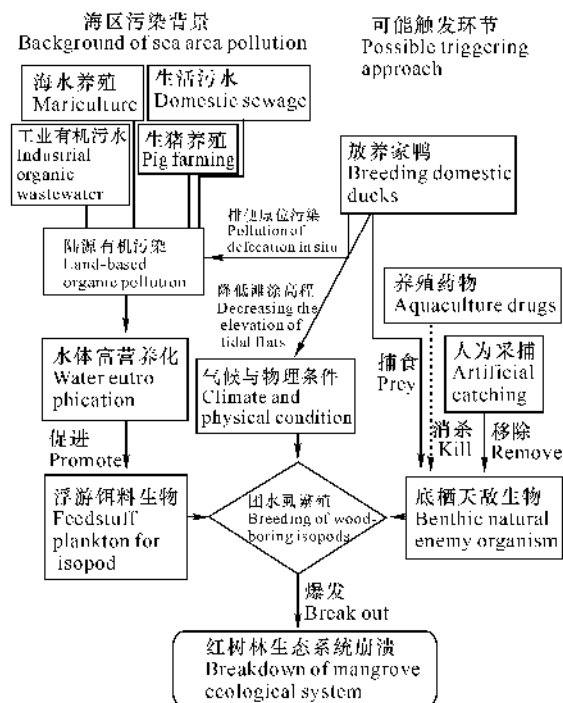


图4 中国红树林蛀木生物团水虱爆发的基本过程

Fig. 4 Thematic process for the boom of China mangrove wood-boring isopods of *Sphaeroma*

#### 4 团水虱防控策略

1)在近海环境持续退化和人为干扰与日俱增的大背景没有根本改变之前,不能排除团水虱由零星爆发到多点爆发,甚至由点到面爆发的可能。团水虱攻击的是植株高大的成熟林,而成熟林的功能与服务价值远高于新造林和次生林。

2)滩涂放养家鸭极可能是红树林团水虱爆发的最重要触发因子,建议严控甚至禁止在红树林区放养家鸭,放弃得不偿失的中国东南沿海“咸水鸭”、“海鸭蛋”规模化养殖。此外,应切实加强海陆统筹,严格控制陆源污染物,尤其是养殖高浓度污水和消毒药品的人海排放。

3)红树林团水虱与海洋环境有密切的联系,指向性强,易于观测,是衡量近海生态环境是否健康的一个标志性指示,建议将之纳入相关的海洋生态环境监测与评价体系。

4)鉴于海洋的开放性和可持续发展的需求,红树林团水虱防控技术研发的指导思想应为:化学手段为应急,物理措施为辅助,生态保育为长效的有机结合。

#### 参考文献:

[1] Wilkinson L L. The biology of *Sphaeroma terebrans* in lake pontchartrain, louisiana with emphasis on burrowing[D]. New Orleans: University of New Orleans, 2004.

[2] 张毅. 海口 30 亩红树林被 2 万亩虾塘包围团水虱大量繁殖[EB/OL]. 南海网-南国都市报, [2012-08-14] <http://www.hinews.cn/news/system/2012/08/14/014799976.shtml>.

Zhang Y. 30 mu mangrove in Haikou was surrounded by 20000 mu HaTang, wood-boring isopods breded-largely[EB/OL]. Hinews. cn-South China Metropolis Daily, [2012-08-14] <http://www.hinews.cn/news/system/2012/08/14/014799976.shtml>.

[3] BHXRL. 北海红树林基地大量红树死亡, 虾塘污水疑是祸因[EB/OL]. 北海 365 网, [2013-10-28] <http://www.beihai365.com/read.php?tid=3142560>.

BHXRL. A large number of mangrove in the north sea mangrove base died, HaTang sewage suspected to be the curse[EB/OL]. Beihai365. com, [2013-10-28] <http://www.beihai365.com/read.php?tid=3142560>.

[4] BHXRL. 银滩红树林受绿藻和团水虱双重侵害, 已经出现大量死亡现象[EB/OL]. 北海 365 网, [2014-01-16] <http://www.beihai365.com/read.php?pid=32725133&tid=3403270>.

BHXRL. YinTan mangrove suffered the double injury of green algae and wood-boring isopods, has emerged a large number of deaths[EB/OL]. beihai365. com, [2014-01-16] <http://www.beihai365.com/read.php?pid=32725133&tid=3403270>.

(下转第 152 页 Continue on page 152)

- [20] 国家海洋标准计量中心. GB/T 12763. 8—2007 海洋调查规范,第 8 部分 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社,2007.  
National Center of Ocean Standards and Metrology. GB/T 12763. 8—2007 Specifications for oceanographic survey,Part 8; Marine geology and geophysics survey [S]. Beijing;China Zhijian Publishing House,2007.
- [21] Widdows J, Bayne B L, Livingstone D R, et al. Physiological and biochemical responses of bivalve molluscs to exposure to air Comp[J]. Biochem Physiol, 1979, 62A: 301-308.
- [22] De Zwaan A. Carbohydrate metabolism in bivalves. In The Mollusca, Vol 1. metabolic biochemistry and molecular biomechanics (ed. P W Hochachka)[M]. New York: Academic Press, 1983: 137-175.
- [23] Deaton L E. Oxygen uptake and heart rate of the clam *Polymesoda caroliniana* Bosc in air and in seawater [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1991, 147 (1): 1-7.
- [24] Gainey L F. The response of the Corbiculidae (Mollusca; Bivalvia) to osmotic stress; the organismal response [J]. Physiological Zoology, 1978, 51 (1): 68-71.
- [25] Hiong K C, Peh W Y X, Loong A M, et al. Exposure to air, but not seawater, increases the glutamine content and the glutamine synthetase activity in the marsh clam *Polymesoda expansa* [J]. The Journal of Experimental Biology, 2004, 207: 4605-4614.
- [26] Johnson R G. Animal-sediment relations in shallow water benthic communities[J]. Marine Geology, 1971, 11 (2): 93-104.
- [27] Huxham M, Richards M. Can postlarval bivalves select sediment type during settlement? A field test with *Macoma balthica* (L.) and *Cerastoderma edule* (L.) [J]. J expl mar Biol Ecol, 2003, 288: 279-293.
- [28] Hoey G V, Degraer S, Vincx M. Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf [J]. Estuar coast Shelf Sci, 2004, 59: 599-613.
- [29] 福岡雅史, 南條楠土, 佐藤守, 等. 西表島浦内川のマンガローブ域におけるシレナシジミ *Geloina coaxans* の分布特性[R]. 東海大学海洋研究所研究報告, 2010. Fukuoka M, Nanjo K, Sate M, et al. Distribution pattern of the Mud Clam *Geloina coaxans* (Mollusca, Bivalvia) in the Urauchi River Mangrove Estuary, Iriomote Island, Southern Japan[R]. Bulletin of Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 2010.

(责任编辑: 尹 闯)

(上接第 146 页 Continue from page 146)

- [5] 关道明. 中国滨海湿地[M]. 北京: 海洋出版社, 2012, pp7.  
Guan D M. Chinese coastal wetlands[M]. Peking: Maritime Press, 2012, pp7.
- [6] 邱勇, 李俊, 黄勃, 等. 影响东寨港红树林中光背团水虱分布的生态因子研究[J]. 海洋科学, 2013, 37(4): 21-24. Qiu Y, Li J, Huang B, et al. Studies on ecological factors affecting the distribution of *Sphaeroma retrolaevis* in the mangrove forest in Dongzhai gang [J]. Marine Sciences, 2013, 37(4): 21-24.
- [7] Thiel M. Reproductive biology of a wood-boring isopod, *Sphaeroma terebrans*, with extended parental care[J]. Marine Biology, 1999, 135: 321-333.
- [8] Messana G, Bartolucci V, Mwaluma J, et al. Preliminary observations on parental care in *Sphaeroma terebrans* Bate 1866 Isopoda Sphaeromatidae, a mangrove wood borer from Kenya [J]. Ethol Ecol Evol, 1994, 3: 125-129.
- [9] Talley T S, Crooks J A, Levin L A. Habitat utilization and alteration by the invasive burrowing isopod, *Sphaeroma quoyanum*, in California salt marshes [J]. Marine Biology, 2001, 138: 561-573.
- [10] Davidson T M, de Rivera C E. Per capita effects and burrow morphology of isopod [J]. Journal of Crustacean Biology, 2012, 32(1): 25-30.
- [11] Ellison A M, Farnsworth E J. The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities. I. Epibenthic fauna are barriers to isopod attack of red mangrove roots [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1990, 142: 91-104.

(责任编辑: 陆 雁, 尹 闯)