

## 鲨保育的三赢策略<sup>\*</sup>

# Horseshoe Crabs Conservation: A Triple Winning Strategy

谢蕙莲<sup>1</sup>, 范航清<sup>2</sup>, 廖永岩<sup>3</sup>, 关杰耀<sup>3</sup>, 邱广龙<sup>2</sup>, 林吴颖<sup>4</sup>, 陈瑞芳<sup>5</sup>, 陈章波<sup>1\* \*</sup>

XIE Huilian<sup>1</sup>, FAN Hangqing<sup>2</sup>, LIAO Yongyan<sup>3</sup>, GUAN Jieyao<sup>3</sup>, QIU Guanglong<sup>2</sup>, LIN Wuying<sup>4</sup>, CHEN Ruifang<sup>5</sup>, CHEN Zhangbo<sup>1</sup>

(1. 台湾“中央研究院”生物多样性研究中心, 台北 11529; 2. 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 536000; 3. 钦州学院海洋学院, 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535000; 4. 野生动植物保护国际(FFI)中国项目部, 广西南宁 530022; 5. 广西海洋研究所, 广西北海 536000)

(1. Biodiversity Research Center, Academia Sinica, Taipei, 11529, China; 2. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Centre, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Ocean School, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi, 535000, China; 4. Fauna & Flora International, China Programme, Nanning, Guangxi, 530022, China; 5. Research Center for Biological Engineering, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:** 鲨有活化石之称, 不仅是古生物学的重要研究对象, 亦是医药试剂的原料, 保育鲨不仅维系了人类生存, 更是促进人类文明的跃升。但近年来, 鲨被人类大量捕食、采血及破坏栖息地, 种群大规模下降, 迫切需要得到保育。根据世界自然保护联盟(IUCN)指南, 鲨的物种保育工作以划设鲨保护区、增加鲨的种群量以及促进大众参与保育为重点。研究结果显示: 在中国南部沿海, 中国鲨(*Tachypleus tridentatus*)与圆尾鲨(*Carcinoscorpius rotundicauda*)的稚鲨共同栖息在有红树林分布的河口, 这两种鲨的食物中大约60%的碳来自海草衍生的食物; 在户外养殖条件下, 稚鲨与方斑东风螺(*Babylonia areolata*)混养能够加速稚鲨脱壳率并提高存活率, 因而可以获得大量适合放流的稚鲨(3龄)。本文在现有的研究成果基础上提出鲨保育的三赢策略: 支持有效的海岸及河口保护区经营管理, 在保护区内维系鲨的种群, 对大众与小区进行鲨资源的明智利用宣教。

**关键词:** 鲨 中国鲨 圆尾鲨 保育策略 生态文明

**中图分类号:** S917.4, Q17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)05-0509-07

**Abstract:** As a living fossil, the horseshoe crab is not only an important research object in paleontology, but also a raw material for medical reagents. Horseshoe Crabs Conservation not only sustains human existence, but also promotes the leap of human civilization. However, in recent years, populations of horseshoe crabs have greatly declined on a large scale due to habitat destruction and overharvesting for both food and blood extraction. There is an urgent need for conservation. IUCN guidelines for critical con-

收稿日期: 2017-06-01

作者简介: 谢蕙莲(1950—), 女, 研究员, 主要从事海洋底栖生态学、多毛类生物学和幼生生物学研究。

\* 广西红树林保护与利用重点实验室开放基金项目(GKLMC-201304)资助。

\* \* 通信作者: 陈章波(1945—), 男, 研究员, 主要从事海洋生态学、动物学、海洋无脊椎动物学、生态系统经营管理研究, E-mail: zocp@gate.sinica.edu.tw.

ervation include establishing protected areas, increasing population abundance and promoting public participation. The results show that juvenile *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* live together in mangroves at the estuary of the southern coast of China. About 60% of the carbon source in both species of food comes from seagrass. In outdoor culturing conditions, the polyculture of juvenile *T. tridentatus* and *Babylonia areolata* can accelerate their molting rates and increase survival rate, resulting in a large number of juveniles (3rd instar) suitable for releasing. Based on the existing research results, this paper proposed a triple-winning strategy to conserve the horseshoe crabs: Supporting for effective management of coastal and estuarine protected areas; sustaining the populations of horseshoe crab within the protected areas; promoting ecological civilization while providing education about wise use of horseshoe crab resources for the general public and local communities.

**Key words:** Horseshoe crabs, Chinese horseshoe crabs (*Tachypleus tridentatus*), mangrove horseshoe crabs (*Carcinoscorpius rotundicauda*), wetland conservation strategy, ecological civilization

## 0 引言

鲎是古老的海洋底栖无脊椎动物,已经存活 4 亿年,由于它在进化过程中外形和构造几乎没有改变,所以有“活化石”之称<sup>[1]</sup>。鲎现存 4 个种,包括美洲地区的美洲鲎 (*Limulus polyphemus*), 亚洲地区的中国鲎 (*Tachypleus tridentatus*)、南方鲎 (*Tachypleus gigas*) 与圆尾鲎 (*Carcinoscorpius rotundicauda*)。鲎之所以能称为活化石,可以从其在物种形态、器官构造及生化方面的优势找到答案。鲎在外形、生殖力、自愈力及栖息地的多样性等方面展现了很强的适应能力,可能是其抗御各种环境挑战而长久延续自身种群的内在原因<sup>[2-5]</sup>。鲎在食物、食器、医药、科学研究、民俗文化及沿海生态保护等方面为人类提供了极为重要的服务价值,但随着经济的快速发展,鲎种群正在大量衰退。栖息地环境恶化、破坏及消失和人类过度捕捞采血与食用是鲎类种群大规模减少的主因,中国鲎更是岌岌可危<sup>[6-11]</sup>。

按照世界自然保护联盟(IUCN)的指南,鲎的物种保育工作以划设鲎保护区、增加鲎的种群量以及促进大众参与保育为重点工作。功效好的保护区是一个能够让保护目标物种完成其部分或全部生活史的生态系统。但是当某物种过度消耗,接近濒危甚至灭绝,那么增加该物种种群数量成为必要且关键的手段。而社会大众参与鲎资源的保育工作仰赖环境教育,所以需帮助大众进行护生的认知从而改变其护生行为。鲎栖息地邻近区域则要优先推动小区参与生物多样性的保育和可持续的发展。此外,施政时要坚持预防性原则,虽然科研人员已在进行鲎的研究或者正在收集资料,但是在他们的科研数据完备之前,政

府应在政策上尽最大努力保护它们,这些政策包括加速与强化立法及执法<sup>[9]</sup>。

生态文明是指按照尊重自然、顺应自然、保护自然的理念,贯彻节约资源和保护环境的基本国策,更加自觉地推动绿色发展、循环发展、低碳发展,把生态文明建设融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程,形成节约资源,保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,为子孙后代留下天蓝、地绿、水清的生产生活环境<sup>[12]</sup>。鲎资源迫切需要我们的保育,只有以“生态文明”作为保育鲎的指导纲要,才能加速并达成保育鲎,进而达到保障人们自身福祉的目的。

本文以中国南部沿海北部湾一带可见的中国鲎及圆尾鲎种群为对象,简述其生境、食物来源、稚鲎放流前的中间育成以及鲎保育的大众教育,提出保育鲎的可行作法:(1) 保护红树林及海草床栖地,以利于鲎的栖息;(2)放流大量至少达 3 龄的稚鲎,以补充野外种群;(3)认知并珍惜鲎作为生态文明与吉祥物的指标动物;(4)鲎资源的维护研究。并在落实保育鲎的工作中,阐述鲎保育的三赢策略:(1)支持有效的海岸及河口保护区经营管理;(2)在保护区内维系鲎的种群;(3)加强鲎资源明智利用的宣教。

## 1 中国沿海常见鲎种类的生境

中国沿海一带常见的鲎种类为中国鲎与圆尾鲎,它的一生需要 3 种栖息地(图 1~2)。一是高潮线地带的产卵场,位于开阔的沙滩或者红树林围绕的潮沟上游。二是稚鲎成长的孵育场,位于泥砂质的潮间带区域,孵育场可以是开阔的没有植被的潮间带(图 2),也可以是有红树林与海草分布的区域。三是亚成

鲎、成鲎成长成熟的水域。中国鲎的亚成鲎、成鲎栖息于海湾外沿岸水深 20~30 m 的浅水区域,圆尾鲎的亚成鲎、成鲎栖息于红树林的潮沟中。研究显示,中国鲎产卵场、觅食场、成熟场在沿海、海湾、河口之间移动,而圆尾鲎个体移动的范围局限于河口、海湾内,并无往外迁移至外海的行为<sup>[13-14]</sup>。

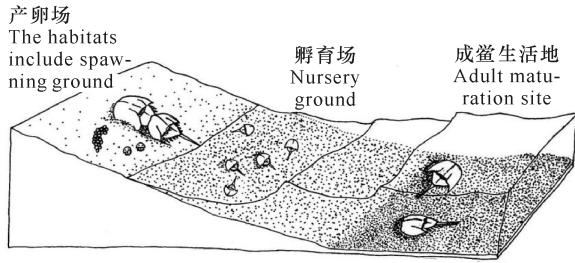


图 1 中国鲎生活史中需要的 3 种不同类型的栖息地<sup>[4]</sup>

Fig. 1 Three kinds of habitats are needed in the life history of *Tachypleus tridentatus*<sup>[4]</sup>



(a)广西北海合浦儒艮保护区附近的海岸;(b)中国鲎稚蟹在沙滩上爬行的足迹;(c)北仑河口红树林区内之潮沟;(d)北仑河口红树林区潮沟发现的成对圆尾鲎

(a) The coast near Hepu Dugong Nature Reserve in Beihai, Guangxi; (b) Crawling track made by a juvenile *T. tridentatus*; (c) Tidal creek in Beilun River Estuary mangrove area; (d) A pair of *Carcinoscorpius rotundicauda* was found in a tidal creek in Beilun River Estuary mangrove area

图 2 中国鲎与圆尾鲎的栖息地

Fig. 2 Habitats of *T. tridentatus* and *C. rotundicauda*

笔者最近对中国鲎与圆尾鲎稚蟹在广西北部湾珍珠港海域的栖地进行观察,发现两种稚蟹共栖于海湾内部红树林围绕的潮间带泥滩地上,但其微栖地有差异。中国鲎稚蟹多分布在向海侧,流速较快、能量较高的区域;而圆尾鲎稚蟹分布在向陆侧,流速较缓、泥及有机质含量多的红树林边缘<sup>[5]</sup>。此外,针对中国鲎与圆尾鲎生活史各阶段摄食的研究结果显示,它们食物中的碳源近 60% 是来自矮大叶草海草衍生的碎屑<sup>[15]</sup>。这些研究结果显示海湾、河口、红树林、海草

床在鲎栖息地与食物方面扮演着重要角色。

## 2 北部湾地区常见鲎的栖地环境

中国鲎分布于长江口以南的东海与南海海域,在其繁殖的夏季,浙江、福建、广东、广西、海南等有高潮线地带的沙滩,都曾观察到中国鲎靠岸产卵,北海银滩曾是中国鲎产卵盛地<sup>[16]</sup>。

圆尾鲎分布于北部湾海岸、雷州半岛以及海南岛的红树林区<sup>[17-18]</sup>。北仑河有典型的红树林潮沟,这些潮沟是圆尾鲎的产卵场(图 2)。珍珠港靠陆地区域为泥泞之河口,被红树林围绕,也是圆尾鲎的产卵场(图 3),其海湾内及沿岸的砂质沙滩则可能是中国鲎的产卵场<sup>[19]</sup>。



图 3 珍珠港鲎的分布:红树林区域为成对圆尾鲎(★)与稚蟹(●)分布区;中国鲎可能的产卵场(■)与稚蟹分布区(▲)

Fig. 3 Distribution areas for adult *C. rotundicauda* (★) and juvenile *C. rotundicauda* (●); spawning ground for *T. tridentatus* (■) and distribution area for juvenile *T. tridentatus* (▲) in the Pearl Bay

有红树林及海草分布的河口区域,沙泥质潮间带蓄积丰富的有机质,成为稚蟹的繁育场。北海周边潮间带,钦州三娘湾周边潮间带及防城港周边潮间带是亚洲地区当今记录到中国鲎与圆尾鲎有较高稚蟹密度的地区<sup>[19-20]</sup>。

有红树林及海草分布的河口与海湾沿岸浅水区域,阳光充足、气候温暖,初级生产力高,多为重要的渔场。中国鲎成鲎以大型底栖动物,如贝类、螺类、多毛类为主要食物<sup>[4]</sup>,因此,沿岸浅水区域便成为中国鲎赖以成长与成熟的栖地。1990 年以前,从北部湾捕获的成鲎数量,每年估计可达  $6 \times 10^5 \sim 7 \times 10^5$  对<sup>[18]</sup>。这充分说明沿岸浅水区域是中国鲎生活不可或缺的关键栖地。

这些研究显示,中国鲎与圆尾鲎以浅海海沟,潮间带沙滩和滩涂、潮、沟、河口红树林沼泽及海草床作为其居所、觅食场所、产卵场及繁育场。广西北部湾

目前是中国境内中国鲎最主要的,也可能是质量较佳的栖息地,泥沙质的海滩与滩涂很适合中国鲎成鲎繁殖与稚鲎成长<sup>[21]</sup>。所以在现有的红树林保护区、儒艮保护区以及海草复育区纳入鲎种群的保护,将使得保护区的管理效能提升到红树林或海草床生态系服务价值的层面。例如,广东与广西交界的河口、海湾地带,在陆源河口区有广东湛江高桥红树林保护区,湾内有广西山口红树林保护区,北海合浦儒艮保护区(海草床),北仑河口红树林保护区,珍珠湾交东海草生态恢复工程区,以及珍珠湾沿岸珍贵的海草床,应新增鲎为旗舰物种,划设鲎种群自然保护区,作为鲎复育、保育的基地。

### 3 增加中国鲎种群数量的措施

#### 3.1 饲养稚鲎

利用人工饲养技术,增殖大量存活率高的稚鲎,并释放于野外天然环境,增添野外种群的数量是鲎保育的必要且关键的手段之一。

不摄食以及饲养环境差是影响 1 龄稚鲎成长的重要因素,所以需要提提供安稳的底质环境,让 1 龄稚鲎能够埋入底质中完成发育及脱壳。但 1 龄期较长,要经过 3 至 5 个月才会脱壳成为 2 龄,而提高 2~3 龄稚鲎的脱壳成功率,关键在于 2 龄稚鲎是否有卵黄可用,若无法摄取足够的食物供其成长,死亡率会很高。又由于 2 龄稚鲎有取食泥沙的现象,因此底质颗粒不可太大,水流不可太强劲。仿造潮间带环境的饲养池,要自动设置周期性的涨退潮,并且让涨潮及退潮的水体透过底部泥沙间隙出入,以此提高底质污染物的清除并维持底质的含氧状态。

归纳现有的研究成果,发现鲎饲养时要注意:(1)提供稚鲎丰富的食物;(2)减少稚鲎不必要的活动,降低能量的消耗;(3)提供足够溶氧量的环境;(4)与其它互不捕食、互不竞争的经济性物种混养,譬如方斑东风螺。中国鲎稚鲎与方斑东风螺(*Babylonia areolata*)户外混养的研究结果显示,在经过 150 d 的养殖,中国鲎稚鲎的存活率约为 32.5%,约 37 000 只稚鲎发育到第 3 龄,越过死亡率很高的第 2 龄瓶颈期,并产出大量的 3 龄稚鲎,而且方斑东风螺的存活率为 87.3%,说明混养不仅提高了中国鲎稚鲎的存活率,且不影响方斑东风螺的收成量<sup>[22]</sup>。

#### 3.2 放流稚鲎

放流稚鲎时需考虑:(1)放流个体的存活率及再现辨识度;(2)放流时间、地点及方式;(3)放流后的成效评估<sup>[23-24]</sup>。放流个体宜已达 3 龄或以上,因为此龄期不再依赖卵黄,推测消化系统已发育,有能力在栖

地觅取食物,因此,释放后存活率较高。从小尺度考虑,放流地点选稚鲎成长的潮间带;从大尺度考虑,要参考鲎生活史上 3 种栖息地的完备性,也要考虑是否为保护区,或将来的管理策略带来的便利。如放流于半月湾形的浅滩,将来此地即可作为鲎的保护区。以平潮的时间较为合适放流,因此时没有强劲水流与风浪。放流现场的底质环境,以泥沙混合的底质为首选。也可参考比目鱼放流的方法,稚鲎不直接流放于水体中,而是置于有底沙泥的浅盘之中,让它们自行爬行扩散。至于放流个体再现的辨识方法,可对稚鲎进行芯片标记或是注射荧光色素标记再进行放流。芯片表示法可用在 6,7 龄稚鲎做体内标识,小于这个龄期的稚鲎因体宽不足,不适合打入芯片。荧光标识法的再现辨识度仍待确认。总之,放流的个体需加以辨认才能有效评估放流的成效。

#### 3.3 野外引入成鲎产卵

这是最接近自然的增殖方式。此方法可以克服成鲎被潮间带网具或消波块阻隔而无法抵达高潮线产卵的困境,也可以减少室内人工繁殖及饲养的繁重工作。野外引入产卵前需先选取适宜的地点,并在农历大潮期间施作。施作前要先收购成鲎,并将雌、雄鲎分开蓄养,再放至潮间带进行引入产卵<sup>[7]</sup>。

### 4 鲎保育的倡导教育

民众宣教有 6 大原则:文化化、在地化、组织化、知识化、年轻化及产业化<sup>[8]</sup>,针对鲎保育现行的宣教计划或未来规划都可融入这些原则。

#### 4.1 鲎栖息地及邻近小区的保护及产业发展

凭借划设鲎保护区发展邻近小区生态文明建设,使在地社区拥有天蓝、地绿、水清的生产生活环境。可行的方案包括:(1)保护潮间带湿地,包括滩涂、沙滩、红树林和海草床,将适合地点列入国际重要湿地,并以鲎作为保护该类生态系统的“旗舰物种”<sup>[9]</sup>;(2)推动鲎栖息地周边地区的可持续发展,并加强保护,制止可能影响鲎所需要生境间的连通性或可能改变自然过程(如潮汐流向、输沙作用)<sup>[25]</sup>的经济发展计划;(3)开展生态修复,以恢复退化的生态系统,并复育野生种群<sup>[26]</sup>;(4)解析鲎生存所需的关键生境,利用海洋与海岸综合经营管理途径来解决或减缓鲎完成生活史所需各栖息地当前所面临的威胁;(5)推动符合生态文明的经营管理途径,综合考虑避免鲎生境破坏的开发活动或减轻开发活动所带来的冲击,甚至进行生态补偿;(6)提供激励措施,使鲎保护区与邻近社区的发展共存共荣,如发展生态旅游、环境教育、稚鲎育苗场及知识创新产业,并在不破坏鲎野生种群

的情况下,发展鳖试剂产业<sup>[9]</sup>。

## 4.2 鳖保护区的推动及民众对话

在现有的红树林保护区,儒艮保护区以及海草生态恢复工程区等推动鳖保护,需加强保护区与民众的合作,包括:(1)加强保护区的教育倡导功能,提升民众保护鳖的参与度,落实生态文明<sup>[8]</sup>; (2)建构沟通交流平台,促成管理者与志愿者的合作交流。

### 4.2.1 建设鳖宣教平台

鉴于微信公众号宣传成本低、受众面广、方便快捷等优势,钦州学院的鳖科研团队于2017年5月建立了“邂鳖北部湾”的公众号平台,由学生收集资料和撰稿,通过“鳖百科”“公众参与”“科研快讯”及“号外”4个模块分享有关鳖的生物生态知识,教师负责资料校对与引导。学生所撰写的文章在用词和语言表达上更贴合年轻一代的思维,更易引起共鸣。例如,平台发表的文章《善良的“海怪”》,简述了鳖的古书记载,华南各地区对鳖的称呼及鳖的生物学分类等内容,发表几日就有多人关注平台,阅读人数达358人。“邂鳖北部湾”公众平台的鳖宣教已达专业水平,并成为聚集鳖保护人士携手维护北部湾一带鳖资源的重要阵地。

野生动植物保护国际组织中国项目部2013—2014年建构了在地鳖保育网络,并在广西北部湾沿海访谈在地的潜在伙伴,包括志愿者协会、高校、研究单位、政府部门,了解其合作意向以及合作项目。这些相关权益组织都有意愿参与鳖保育活动:譬如公众环境教育、鳖种群监测、鳖种群及其栖地巡守以及强化立法与执法等。

### 4.2.2 成立鳖保育联盟

至今,中国对鳖的保育工作零星分散,没有系统性的发展,因而成效不显著。2014年6月7—8日,以“广西鳖资源保育和明智利用”为主题的“北部湾近海资源与环境生态工作坊”在广西北海召开。工作坊由众多学者、专家、保护区管理者及志愿者组成,探讨了鳖种群数量评估、人工繁殖、增殖及放流、与红树林保护区合作进行栖息地保护、公众教育及明智利用观念推广、鳖试剂产业对鳖种群的影响6大议题。与会人士除了对现有的研究和保护实践成果进行广泛意见交流外,还分析了当前推动鳖保育工作面临的困境和挑战,同时,展望了未来的科研方向和合作契机,利益相关者还组建区域性鳖保育联盟,展开鳖的保育工作,促成鳖成为近海保护指标物种和吉祥物,使其对近海生态系统的保护产生良好效应<sup>[27]</sup>。鳖保育联盟还设有秘书处,负责综合协调工作,并成立委员会,下设4个工作组:(1)种群监测组;(2)增殖放流组;

(3)公众教育组;(4)明智利用组。

## 5 鳖资源的维护研究及展望

为全面提升鳖保育研究的能力和水平,下列研究课题可优先进行:

(1)调查、了解保护区内现有鳖的分布热点及密度。由于成鳖不再脱壳,可在壳上做标识,进行标识、释放、再捕获来估算族群量。稚鳖则可在潮间带依地景及潮位做横截线调查。

(2)长期、定期、定点调查中国鳖与圆尾鳖的种群量、个体大小分布,作为保护区内鳖保育成效评估的基础。

(3)当保护区内鳖族群量有下降趋势时,可在区内寻找适合的产卵场,进行野外族群引入产卵或进行稚鳖放流以增进种群的数量<sup>[7]</sup>。

(4)为了有效进行鳖的增殖与放流,仍需努力突破某些瓶颈的限制,例如,1龄稚鳖的休眠现象,如果有休眠现象,则如何打破其休眠值得研究;缩短1龄及2龄稚鳖的生长时间;增加2龄鳖成长及脱壳成功率;研发稚鳖的标记方法;研究成鳖的越冬行为与生殖腺成熟关系;改进放流技术以及评估放流成效<sup>[23]</sup>。

(5)稚鳖脱壳时需要脱壳激素作为脱壳启动的信号。脱壳激素是调控节肢动物脱壳的重要化合物,而这些激素大多无法在体内自行产生,必须经食物取得脱壳激素的原料来合成,因此饵料中需富含脱壳激素的原料(先驱物)。由先前的研究得知,中国鳖与圆尾鳖食物碳源主要来自海草(矮大叶草)的衍生物<sup>[15]</sup>,而蟹类大眼幼生(变态时间随着盐沼植物衍生的腐植质浓度上升而缩短<sup>[28]</sup>),因此我们可以就此研究稚鳖脱壳所需的生理生化机制。

鳖不仅对古生物学、生态学及人类文化涵意等方面的研究具重大意义,更为人类健康生存所仰赖,因此,可以把鳖作为文化象征的一种吉祥物种,借生态资源、环境的保护与国民生计和谐共生,推动生态文明的进步。

### 参考文献:

- [1] RUDKIN D M, YOUNG G A. Horseshoe crabs — An ancient ancestry revealed [M]//TANACREDI J T, BOTTON M L, SMITH D R (eds.). *Biology and conservation of horseshoe crabs*. New York: Springer, 2009: 25-44.
- [2] SHUSTER JR C N. Two perspectives: Horseshoe crabs during 420 million years, worldwide, and the past 150 years in the Delaware Bay area [M]//TANACREDI J T (ed.). *Limulus in the limelight*. New York: Kluwer Aca-

- demic/Plenum Publishers,2001;17-40.
- [3] SEKIGUCHI K,SHUSTER JR C N. Limits on the global distribution of horseshoe crabs (Limulacea); Lessons learned from two lifetimes of observations; Asia and America[M]//TANACREDI J T,BOTTON M L, SMITH D R (eds. ). Biology and conservation of horseshoe crabs. New York;Springer,2009;5-24.
- [4] 陈章波,陈勇辉. 鲨的史诗-以三棘鲨为例[M]//张志维. 鲨的史诗-台湾三棘鲨保育特展专刊. 台湾屏东:海洋生物博物馆,2011.
- CHEN C P,CHEN Y H. Epic of horseshoe crabs-a case of Tri-spine horseshoe crab[M]//ZHANG Z W. Epic of horseshoe crabs-the monograph of an exhibition on the conservation and sustainability of Tri-spine horseshoe crab in Taiwan. Pingtung; Taiwan National Museum of Marine Biology and Aquarium,2011.
- [5] 陈章波,范航清,廖永岩,等. 面临生存困境的动物活化石-鲨[J]. 科学(上海),2015,67(3):60-62.
- CHEN C P,FAN H Q,LIAO Y Y, et al. Living fossil of animal facing the dilemma of survival-horseshoe crab[J]. Science Magazine (Shanghai),2015,67(3):60-62.
- [6] BOTTON M L. The conservation of horseshoe crab: What can we learn from the Japanese experience? [M]//TANACREDI J T (ed. ). Limulus in the lime-light. New York;Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001;41-51.
- [7] CHEN C P, YEH H Y, LIN P F. Conservation of the horseshoe crab at Kinmen, Taiwan; Strategies and practices[J]. Biodiversity and Conservation, 2004, 13(10): 1889-1904.
- [8] CHEN C P, HSIEH H L, CHEN A, et al. The conservation network of horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* in Taiwan [M]//TANACREDI J T, BOTTON M L, SMITH D R (eds. ). Biology and conservation of horseshoe crabs. New York;Springer,2009;543-557.
- [9] IUCN. M034 The conservation of Asian horseshoe crabs [EB/OL]. [2017-04-11]. <https://portals.iucn.org/docs/2012congress/motions/es/M-034-2012-SP.pdf>,2012.
- [10] 黄勤,林能锋,陈英禄,等. 平潭中国鲨保护区规划建议 [J]. 福建环境,2003,20(4):35-38.
- HUANG Q,LIN N F,CHEN Y L, et al. Suggestions on the planning for a Horseshoe Crab Nature Reserve in Pingtan[J]. Fujian Environment,2003,20(4):35-38.
- [11] HSIEH H L,CHEN C P. Current status of *Tachypleus tridentatus* in Taiwan for Red List assessment[C]//CARMICHAEL R H,BOTTON M L,SHIN P K S, et al (eds. ). Changing global perspectives on horseshoe crab biology. New York;Springer,2015.
- [12] Ministry of Foreign Affairs, the People's Republic of China (MFA/PRC) [EB/OL]. [2017-04-15]. [http://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_chn/zyxw\\_602251/t1060459](http://www.fmprc.gov.cn/mfa_chn/zyxw_602251/t1060459).
- [13] DAVIDSON G W H, NG P K L, HO H C. The Singapore red data book: Threatened plants and animals of Singapore[M]. Singapore: Nature Society (Singapore), 2008.
- [14] CARTWRIGHT-TAYLOR L, NG H H, GOH T Y. Tracked mangrove horseshoe crab *Carcinoscorpius rotundicauda* remain resident in a tropical estuary[J]. Aquatic Biology,2012,17(3):235-245.
- [15] FAN L F, CHEN C P, YANG M C, et al. Ontogenetic changes in dietary carbon sources and trophic position of two co-occurring horseshoe crab species in Southwestern China[J]. Aquatic Biology,2017,26:15-26.
- [16] 翁朝红,谢仰杰,肖志群,等. 福建及中国其他沿岸海域中国鲨资源分布现状调查[J]. 动物学杂志,2012,47(3):40-48.
- WENG Z H, XIE Y J, XIAO Z Q, et al. Distribution and resource of Chinese horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) in Fujian and other coast water of China [J]. Chinese Journal of Zoology,2012,47(3):40-48.
- [17] 廖永岩,洪水根,李晓梅. 中国南方海域鲨的种类和分布[J]. 动物学报,2001,47(1):108-111.
- LIAO Y Y, HONG S G, LI X M. A survey on the horseshoe crabs in the north of South China Sea[J]. Acta Zoologica Sinica,2001,47(1):108-111.
- [18] 洪水根. 中国鲨生物学研究[M]. 厦门:厦门大学出版社,2011.
- HONG S G. Researches on the biology of horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* [M]. Xiamen: Xiamen University Press,2011.
- [19] CHEN C P, YANG M C, FAN L F, et al. Co-occurrence of juvenile horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in an estuarine bay, Southwestern China[J]. Aquatic Biology, 2015,24(2):117-126.
- [20] KWAN B K Y, HSIEH H L, CHEUNG S G, et al. Present population and habitat status of potentially threatened Asian horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in Hong Kong: A proposal for marine protected areas[J]. Biodiversity and Conservation,25(4):673-692.
- [21] 李琼珍,胡梦红. 广西北海中国鲨资源现状以及保育工作进展[J]. 海洋环境科学,2011,30(1):131-134.
- LI Q Z, HU M H. Status of Chinese horseshoe crab population and conservation advance in Beihai, Guangxi

- [J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(1): 131-134.
- [22] CHEN C P, CHEN R F, CHEN P H, et al. Intermediate culture of juvenile horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) mixed with juvenile spotted Babylon (*Babylonia areolata*) for restocking horseshoe crab populations[J]. AACL Bioflux, 2016, 9(3): 623-626.
- [23] 陈章波, 谢蕙莲, 黄丁士, 等. 海峡两岸三棘蟹增殖放流的检讨与展望[C]//海峡两岸渔业增殖放流研讨会论文集. 台北台湾, 2014.
- CHEN C P, HSIEH H L, HUANG D S, et al. A review of artificial breeding and releasing programs of the horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* at the two sites across the Taiwan Straits[C]//Proceedings of Cross-Strait Workshop on the Artificial Breeding and Releasing of Fishery. Taipei, Taiwan, 2014.
- [24] HSIEH H L, CHEN C P. (Pending for review and publication) current status of *Tachypleus tridentatus* in Taiwan for Red List Assessment [M]//CAR-MICHAEL R, BOTTON M, SHIN P S, CHEUNG S G (eds.). Changing global perspectives on biology, conservation, and management of horseshoe crabs. New-york: Springer, 2015.
- [25] JACKSON N L, NORDSTROM K F. Strategies to con-

serve and enhance sandy barrier habitat for horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) on developed shorelines in Delaware Bay, United States[M]//TANACREDI J T, BOTTON M L, SMITH D R (eds.). Biology and conservation of horseshoe crabs. New York: Springer, 2009.

- [26] HSIEH H L, CHEN C P. Conservation program for the Asian horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* in Taiwan; Characterizing the microhabitat of nursery grounds and restoring spawning grounds[M]// TANACREDI J T, BOTTON M L, SMITH D R (eds.). Biology and conservation of horseshoe crabs. New York: Springer, 2009.
- [27] LIN W Y, CHEN C P, SHIN P. Collaborative conservation for horseshoe crabs[J]. Oryx, 2014, 48(4): 482-483.
- [28] FORWARD R B JR, TANKERSLEY R A, RITTSC-HOF D. Cues for metamorphosis of brachyuran crabs: An overview[J]. American Zoologist, 2001, 41(5): 1108-1122.

(责任编辑:米慧芝)

(上接第 503 页 Continue from page 503)

- [14] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 106-108, 113-115.
- HAO Z B, CANG J, XU Z. Plant physiology experiment [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004: 106-108, 113-115.
- [15] FERNLEY P W, MOORE M N, LOWE D M, et al. Impact of the sea Empress oil spill on lysosomal stability in mussel blood cells[J]. Marine Environmental Research, 2000, 50(1/2/3/4/5): 451-455.
- [16] BENZIEI F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [17] SMITH P K, KROHN R I, HERMANSON G T, et al. Measurement of protein using bicinchoninic acid[J]. Analytical Biochemistry, 1985, 150(1): 76-85.
- [18] STEBBING A R D. Hormesis-the stimulation of growth by low levels of inhibitors[J]. Science of Total Environment, 1982, 22(1): 213-234.
- [19] HAVELAAR A C, DE GAST I L, SNIJDERS S, et al. Characterization of a heavy metal ion transporter in the lysosomal membrane[J]. FEBS Letters, 1998, 436(2):

223-227.

- [20] MOORE M N, ALLEN J L, MCVEIGH A, et al. Lysosomal and autophagic reactions as predictive indicators of environmental impact in aquatic animals[J]. Autophagy, 2006, 2(3): 217-220.
- [21] LOWE D M, MOORE M N, CLARKE K R. Effects of oil on digestive cells in mussels: Quantitative alterations in cellular and lysosomal structure[J]. Aquatic Toxicology, 1981, 1(3/4): 213-226.
- [22] MOORE M N, CLARKE K R. Use of microstereology and quantitative cytochemistry to determine the effects of crude oil-derived aromatic hydrocarbons on lysosomal structure and function in a marine bivalve mollusk, *Mytilus edulis* [J]. Histochemical Journal, 1982, 14(5): 713-718.
- [23] BEBIANNO M J, SERAFIM A, CAMUS L, et al. Antioxidant systems and lipid peroxidation in *Bathymodiola sazoricus* from Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vent fields[J]. Aquatic Toxicology, 2005, 75(4): 354-373.

(责任编辑:陆雁)