



•综述•

中国海域海马的物种多样性、生态特征及保护建议

刘彩莲¹, 张雄², 樊恩源³, 王松林⁴, 姜艳¹, 林柏岸¹, 房璐⁴, 李玉强⁴, 刘乐彬⁴, 刘敏^{1*}

1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建厦门 361102; 2. 中山大学生态学院, 广东深圳 518107; 3. 中国水产科学研究院资源与环境研究中心, 北京 100071; 4. 青岛市海洋生态研究会, 山东青岛 266600

摘要: 濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)于2002年将海马属(*Hippocampus*)所有物种列入附录II进行国际贸易监管。2021年2月, 农业农村部和国家林业和草原局联合公布了调整后的《国家重点保护野生动物名录》, 明确将中国海域海马属所有物种(野外种群)列为国家二级重点保护动物。尽管我国高度重视海马保护工作, 但目前仍缺乏对各海区海马物种多样性以及重要生态学信息的汇总。本文通过文献资料整理, 提供了最新的中国海域分布的16种海马名录, 总结了其分布区域、栖息生境、繁殖特征等生态信息, 并归纳了不同物种的濒危等级和主要威胁因素。在16种海马中, 莫氏海马(*H. mohnikei*, 又名日本海马)分布范围最为广泛, 从渤海至南海均有出现。台湾、海南、广东、福建及广西沿岸海域的海马物种多样性较高。海马营底层生活, 其栖息生境十分多样化, 包括珊瑚礁、海草床、海藻场、红树林、碎石及砂泥质海床等。目前, 海马野外种群所面临的主要威胁来自于渔业兼捕及栖息地破坏。为更好地保护海马野外种群, 建议管理部门关注海马作为旗舰物种在海洋生态环境保护工作中的影响力, 建立以海马及其栖息生境为主要保护目标的国家级自然保护区或采取其他有效的区域保护措施; 加强海马保护公众宣传, 着力解决海马兼捕问题; 尽快启动全国范围的海马栖息地调查及种群数量评估工作, 识别海马关键栖息地; 提升贸易监管能力, 规范海马利用管理, 建立鉴别野生和养殖海马群体的关键技术, 以期促进对我国海马野外种群的有效保护。

关键词: 海马; 物种多样性; 保护动物; 分布; 生境

刘彩莲, 张雄, 樊恩源, 王松林, 姜艳, 林柏岸, 房璐, 李玉强, 刘乐彬, 刘敏 (2024) 中国海域海马的物种多样性、生态特征及保护建议. 生物多样性, 32, 23282. doi: 10.17520/biods.2023282.

Liu CL, Zhang X, Fan EY, Wang SL, Jiang Y, Lin BA, Fang L, Li YQ, Liu LB, Liu M (2024) Species diversity, ecological characteristics and conservation measures of seahorses (*Hippocampus*) in China's waters. Biodiversity Science, 32, 23282. doi: 10.17520/biods.2023282.

Species diversity, ecological characteristics and conservation measures of seahorses (*Hippocampus*) in China's waters

Cailian Liu¹, Xiong Zhang², Enyuan Fan³, Songlin Wang⁴, Yan Jiang¹, Baian Lin¹, Lu Fang⁴, Yuqiang Li⁴, Lebin Liu⁴, Min Liu^{1*}

1 College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102

2 School of Ecology, Sun Yat-sen University, Shenzhen, Guangdong 518107

3 Natural Resource and Environmental Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100071

4 Qingdao Marine Conservation Society, Qingdao, Shandong 266600

ABSTRACT

Background & Aims: Seahorses (*Hippocampus* spp.) are well-known fishes from the family Syngnathidae, mainly due to their unique external morphology and reproductive strategy of male pregnancy. All *Hippocampus* species, listed in CITES Appendix II in 2002, are under trade regulations internationally. All *Hippocampus* species (wild populations only) inhabiting in China's waters were listed as Category II of the National Key Protected Wild Animals in 2021. Through literature review, we (i) updated the species list of seahorses occurring in China's waters, (ii) summarized their

收稿日期: 2023-08-04; 接受日期: 2023-12-05

基金项目: 广东省自然科学基金(2022A1515010640)、北京市企业家环保基金会(SEE-BC-0429)和深圳市质兰公益基金会(2021070701C)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: minliuxm@xmu.edu.cn

distribution regions, habitat and breeding features, and (iii) presented their threatened categories and threats. Our goal is to inform effective conservation measures for seahorse wild populations in China.

Review findings: In this paper, we reviewed and summarized seahorse species diversity, distributions, habitat uses, reproductive features, threatened categories, and threat factors from various reference sources, including online databases (Fishbase, The Fish Database of Taiwan, GBIF, WoRMS, IUCN), peer-reviewed papers, reports, theses, as well as informative Chinese ichthyographies. A total of 16 seahorse species were recorded in China's waters, including 5 pygmy seahorses that are no more than 30 mm in body height. Among these, Japanese seahorses (*H. mohnikae*) were distributed most widely, across China's all four seas. Crowned seahorses (*H. coronatus*) were only found in the Bo Hai, while Barbour's seahorses (*H. barbouri*), Beibu Bay seahorses (*H. cassio*, a new species found in 2016), and Tiger tail seahorses (*H. comes*) were only found in the South China Sea. Six species were only found in the coastal waters of Taiwan Province. Southern China, including Taiwan, Hainan, Guangdong, Fujian, and Guangxi, has high seahorse species diversity. The habitat uses of seahorses in China's waters are very diverse, including coral and rocky reefs, seagrass and seaweed beds, muddy and sandy bottoms, gravels, and mangrove meadows. Some species have special requirements for their habitats. According to IUCN, 8 seahorse species were listed as Vulnerable (VU), 2 species were listed as Least Concern (LC), 5 species were listed as Data Deficient (DD), and 1 species was Not Evaluated (NE). The main threats to seahorses are bycatch and habitat destruction.

Recommendations: Seahorses are a special taxonomic group of fishes with high vulnerability, and we propose five recommendations for urgent conservations of seahorses in China. First, the significance of seahorses as flagship species in marine biodiversity conservation should be realized and we need to use them to raise marine-conservation awareness of the general public. Establishing marine protected areas for seahorses and their habitats, and applying other effective area-based conservation measures (OECMs) might also be taken into account. Second, it is known that non-selective fishing gears such as bottom trawling have high seahorse bycatch volume, and the dredge net operations can damage seaweed beds where seahorses inhabit. Therefore, any solution for reducing bycatch, increasing survival rates of seahorses after releasing, protecting habitats and innovating fishing gears are welcome. Third, identifying the key habitats of different seahorse species in China's waters is very important for establishing protected areas and fisheries spatial management. Currently, such data are very limited. Some key areas we synthesized in this study require national-wide surveys to validate before planning for marine reserves and OECMs of seahorses in China. Fourth, seahorse trade regulation and enforcement should be strengthened, and the management of seahorse utilization should be regulated properly. To this end, techniques to distinguishing wild populations from farmed seahorses should be established as soon as possible before the expansion of seahorse aquaculture.

Key words: seahorse; species diversity; protected animals; distribution; habitat

海马是硬骨鱼纲 (Osteichthyes) 海龙目 (Syngnathiformes) 海龙科 (Syngnathidae) 海马属 (*Hippocampus*) 所有物种的统称 (Nelson et al, 2016)。海马的外形独特, 吻成管状, 头部具头冠骨, 外形酷似马头; 与头部相连的几块脊椎弯曲, 使头部和躯干略成直角状; 胸鳍和背鳍是主要的运动器官, 无腹鳍和尾鳍, 臀鳍小或无; 具可卷曲的尾部, 使其可以缠绕海草等海底物体, 是其营底层定居生活的重要器官。海马是海洋鱼类中唯一一类雄性育儿囊呈现完全封闭袋状结构的类群 (Lourie et al, 2016)。海马具有拟态行为, 体色变化多样, 各物种间的外部形态特征差异可大可小, 导致依据形态的物种分类较为困难。目前, 全球海马属约有 50 种 (Nelson et al, 2016; Koning & Hoeksema, 2021), 且近年来不断有新种被发现 (Kuiter, 2001; Zhang et al,

2016; Han et al, 2017; Short et al, 2020)。多数海马物种分布于印度洋-西太平洋近岸浅水海域, 在菲律宾和澳大利亚北部等海域的海马多样性最高 (Zhang & Vincent, 2018)。

海马的生态习性非常特殊。它们具有雄性孵育子代的独特繁殖行为, 且其精卵比(精子数比卵子数约 5 : 1) 在脊椎动物中较低 (Vincent, 1990; Holt et al, 2021)。海马的自然种群无明显的集群行为, 由于其体型的独特性, 海马不具备快速游动的能力, 刚出生的小海马主要随海流扩散, 之后可以用尾部缠绕在物体上, 而成年海马则具有相对稳定的栖息地, 但可能具有向深水区迁移的越冬行为 (Foster & Vincent, 2004; Vincent et al, 2005)。此外, 种群遗传学的研究表明海马可能受到气候变化的影响, 借助海流进行长距离的洄游或迁移 (Zhang et al, 2014;

Qin et al, 2018)。海马的栖息生境大多要求有适合其尾部缠绕的底质固着物, 为其摄食、生长、交配等生命活动提供落脚点, 因此海马多喜好生活在有珊瑚、海草、大型海藻、海绵等生物分布的近海底层环境(Zhang & Vincent, 2018)。海马这些特殊的生态习性使其种群极易受到人类活动的影响, 尤其是渔业活动造成的海马兼捕、捕捞网具对底层栖息环境的破坏以及气候变化等因素造成的栖息地衰退(Perry et al, 2010; Zhang & Vincent, 2019a; Alfaro-Shigueto et al, 2022)。此外, 由于海马是传统名贵中药材, 且具有较高的水族观赏价值和珍玩收藏价值, 所以在全球范围内存在大量的海马贸易, 其中绝大多数海马商品来源于野外捕捞, 这些都加剧了海马野外种群的生存压力(Foster et al, 2018)。

为实现海马野外种群的可持续利用, 濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)于2002年将海马属所有物种列入附录II, 这是被列入CITES附录II的第一批海洋鱼类(CITES, 2005; Vincent et al, 2011)。据相关统计, 1998–2001年间全球有72个国家和地区参与海马贸易, 涉及至少24种海马, 有记录的年平均贸易量达1,915万尾(Vincent et al, 2011)。自2004年CITES监管启动后, 国际上的海马贸易量有所下降。在2004–2008年间, 有记录的年平均贸易量降低至700万–1,000万尾(Evanson et al, 2011; Vincent et al, 2011)。尽管CITES对全球海马贸易进行了监管, 但是未被记录的海马贸易仍然大量存在, 海马的实际贸易量被严重低估(Foster et al, 2019, 2022)。

近年来, 国际上对海马的研究越来越多, 相关文章数量不断增加(Cohen et al, 2017; Segaran et al, 2023)。研究的内容十分多样化, 包括物种鉴定(Foster et al, 2016)、繁殖发育(Novelli et al, 2015)、种群遗传(Lourie, 2006)、人工养殖(Koldewey & Martin-Smith, 2010)、国际贸易(Foster & Vincent, 2021; Koning & Hoeksema, 2021; Foster et al, 2022)、兼捕情况(Meeuwig et al, 2006; Aylesworth et al, 2018; Vaidyanathan et al, 2021)、物种分布预测(Zhang & Vincent, 2018)、人类活动威胁(Zhang & Vincent, 2019a)、保护对策与成效评估(Yasué et al, 2012; Harasti et al, 2014; Zhang & Vincent, 2019b)等。

我国关于海马的记载和研究有很长的历史。海马记载可追溯到三国时期《南州异物志》中的“水

马”(万震, 1911), 而海马之名最早出自唐代《本草拾遗》(陈藏器, 1983), 并沿用至今(蒋超等, 2017)。我国对海马的早期研究大多集中于药用价值, 《中华人民共和国药典(2020版)》中记录的海马基原动物有5种(李时珍, 1965; 国家药典委员会, 2020)。与国外相比, 我国对海马的生物生态学研究较少。20世纪五六十年代开展的中国四大海区(渤海、黄海、东海、南海)鱼类多样性调查中首次对海马分布区域进行记录, 这是国内较早期的海马生态研究成果, 共记录到6种海马(郑葆珊和张有为, 1957; 张春霖和张有为, 1962; 张春霖, 1963)。至20世纪八九十年代, 我国海马研究重点仍然集中于药物成分(许益民等, 1994; 张朝晖等, 1994, 1995), 但开始有少数针对日本海马(*Hippocampus japonicus*, 为莫氏海马 *H. mohnikei*的同种异名)生理学的研究(张峰和王国恩, 1991; 张峰, 1997)。21世纪以来, 海马的中医药学研究仍然居多(Chang et al, 2013; Chen et al, 2015; 蒋超等, 2017), 但同时海马养殖相关的研究也逐渐增加(Lin et al, 2006; Xie et al, 2020)。近年来将DNA条形码、基因组测序和分子系统发育等技术手段用于海马物种鉴定、药物基原鉴定和群体遗传进化等方面的研究不断增加(董世雄等, 2017; Zhang et al, 2017; Zeng et al, 2019a; Liu et al, 2022)。但是, 关于海马的种群地理分布、生物和生态特征的研究仍然相对较少(Qin et al, 2017; Zhang & Vincent, 2017; Lin et al, 2021; Xu et al, 2023)。

由于我国对海马野外种群的生态研究较为薄弱, 众多物种缺乏详实的、全面的基础数据, 制约了我国开展对海马野外种群的精准保护(林强, 2012; Zhang & Vincent, 2018, 2019a, b)。本文通过汇总现有中国海域海马的文献资料, 对中国海域海马的物种多样性、分布区域、栖息生境、濒危等级、保护现状及威胁因素等进行了系统的梳理, 提出了我国海马管理与保护的几点建议。

1 物种多样性及分布

通过对数据库(台湾鱼类资料库: <https://www.fishdb.sinica.edu.tw/>; 世界鱼类数据库: <http://www.fishbase.org>; 世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种红色名录: <http://www.iucnredlist.org>; 世界海洋物种登记册: <http://www.marinespecies.org>;

全球生物多样性信息网络: <https://www.gbif.org/>、分类学期刊(Zootaxa: <https://www.mapress.com/zt/>); ZooKeys: <http://www.zookeys.pensoft.net/>)、全国各地的鱼类专著(《黄渤海鱼类调查报告》的海龙目(张春霖, 1955)、《南海鱼类志》的海龙目(张春霖和张有为, 1962)、《东海鱼类志》的海龙目(张春霖, 1963)、《福建鱼类志(上卷)》的刺鱼目(金鑫波, 1984)、《台湾鱼类志》的海龙目(李信徽, 1993)、《山东鱼类志》的刺鱼目(成庆泰, 1997)、《江苏鱼类志》的刺鱼目(阎斌伦和伍汉霖, 2006)、《中国海洋鱼类》的刺鱼目(陈大刚和张美昭, 2016)以及相关研究文献(Lourie et al, 2004; 汪松和解焱, 2009; Reijnen et al, 2011; Zhang et al, 2016; Heard et al, 2019; Yiu et al, 2022)等资料的梳理, 目前确定中国海域共有16种海马(表1)。其中, 5种为小型的豆丁海马(pygmy seahorses), 有记录的最大体高均小于30 mm (表2), 包括巴氏海马(*H. bargibanti*, 又名巴氏豆丁海马)、克里蒙氏海马(*H. colemani*, 又名科氏海马)、丹尼斯海马(*H. denise*, 又名: 丹尼斯豆丁海马或橘色海马)、日本豆丁海马(*H. japapigu*)和彭氏海马(*H. pontohi*); 克氏海马(*H. kelloggi*, 又名大海马)为个体最大的物种, 有记录的最大体高可达280 mm (表2)。

从上述数据库和文献资料中提取海马采集区域或地点以及海马水下观测点数据, 剔除所有重复记录点, 绘制海马分布图。结果显示, 我国由北至南四大海区均有海马分布, 物种多样性较高的区域集中于东海和南海(表1, 图1)。其中, 莫氏海马分布最广, 在渤海、黄海、东海和南海均有记录; 三斑海马(*H. trimaculatus*, 又名斑海马)广泛分布于黄海、东海和南海; 刺海马(*H. histrix*)、克氏海马、库达海马(*H. kuda*)和棘海马(*H. spinosissimus*)分布于东海和南海; 冠海马(*H. coronatus*)仅分布于渤海; 巴博海马(*H. barbouri*, 又名鲍氏海马)、北部湾海马(*H. cassio*)和虎尾海马(*H. comes*)则仅分布于南海。北部湾海马是2016年在我国发现的新种, 目前确认的分布范围仅限于北部湾(Zhang et al, 2016)。仅分布于台湾岛以及离岸岛屿周边海域的海马有6种: 巴氏海马分布于台湾南部、东南部(绿岛、兰屿)、东北部及西部澎湖列岛; 克里蒙氏海马分布于台湾南部和东南部(绿岛、兰屿); 丹尼斯海马分布于台湾东南部(兰屿); 日本豆丁海马分布于台湾南

部(垦丁)和东南部(绿岛、兰屿); 彭氏海马分布于台湾东南部(绿岛); 花海马(*H. sindonis*)则分布于台湾澎湖列岛周边海域。其中, 日本豆丁海马是2018年于日本发现的新种, 并在我国台湾绿岛首次被记录(Short et al, 2018; Heard et al, 2019)。

从采集点和观测点分布来看, 台湾(10种)、海南(8种)、广东(7种)、福建(6种)和广西(6种)的近岸海域海马物种多样性较高, 主要集中在台湾海峡南部(包括福建南部和台湾西南部)、台湾东南部及海南东南部海域(图1)。我国的5种豆丁海马仅出现于台湾周边海域, 该海域由此成为全球豆丁海马分布的热点区域之一(Heard et al, 2019)。此外, 一项结合中国沿海访谈调查和数据库资料的模型分析也证实台湾海峡南部、台湾东南部以及海南东南部海域的海马物种多样性较高(Zhang & Vincent, 2017)。

2 生态特征

从全球数据汇总来看, 中国海域16种海马的栖息生境因种而异, 包括珊瑚礁、岩礁、海草床、海藻场、红树林、河口、砂泥质海床等(表2)。这些生境中生长的造礁石珊瑚、软珊瑚、柳珊瑚、海绵、海藻、海草、红树等生物为海马提供了良好的庇护所和丰富的饵料生物。有些海马物种对栖息环境中的生物有特殊要求, 例如冠海马喜栖息在马尾藻(*Sargassum* spp.)和鳗草(*Zostera* spp.)生境; 巴氏海马仅栖息在小尖柳珊瑚(*Muricella* spp.)生境; 克里蒙氏海马喜栖息在大叶藻和喜盐草(*Halophila* spp.)生境; 丹尼斯海马喜栖息在柳珊瑚生境; 彭氏海马喜栖息在仙人掌藻(*Halimeda* spp.)和柏状羽鳃(*Aglaophenia cupressina*)等生境。豆丁海马都有很强的拟态能力, 可以模仿抓握物体的形态, 再加上极小的体型, 使之难以被发现(Koning & Hoeksema, 2021)。

从栖息水深来看, 中国海域16种海马主要生活在近岸浅海水深80 m以内, 只有克氏海马栖息水深可达150 m, 丹尼斯海马、莫氏海马和三斑海马可达100 m (表2)。多数海马物种的寿命未知, 大型种类的寿命多为3-5年, 小型种类的寿命约为1年(Foster & Vincent, 2004)。海马的食性以小型浮游或底栖甲壳动物为主, 包括桡足类、端足类、枝角类、钩虾、糠虾和磷虾等。

表1 中国海域分布的16种海马

Table 1 Sixteen seahorse species recorded in China's waters

序号 No.	中文名/英文名 Common name in Chinese and English ^a	拉丁学名 Latin name	全球分布 Global distribution ^b		中国海域分布 Domestic distribution ^c			
			印度洋 Indian Ocean	太平洋 Pacific Ocean	渤海 Bo Hai	黄海 Yellow Sea	东海 East China Sea	南海 South China Sea
1	巴博海马(鲍氏海马) Barbour's seahorse	<i>Hippocampus barbouri</i>	✓ (东部 East)	✓ (西部 West)				✓
2	巴氏海马(巴氏豆丁海马) Pygmy seahorse	<i>H. bargibanti</i>	✓ (东部 East)	✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	✓ (仅台湾海 域 Only recorded in Taiwan)
3	北部湾海马 Beibu Bay seahorse	<i>H. cassio</i>		✓ (西部 West)				✓ (仅北部湾 Only recorded in Beibu Bay)
4	克里蒙氏海马(科氏海马) Coleman's pygmy seahorse [*]	<i>H. colemani</i>		✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	✓ (仅台湾海 域 Only recorded in Taiwan)
5	虎尾海马 Tiger tail seahorse	<i>H. comes</i>	✓ (东部 East)	✓ (西部 West)				✓
6	冠海马 Crowned seahorse	<i>H. coronatus</i>		✓ (西北部 Northwest)	✓			
7	丹尼斯海马(丹尼斯豆丁海 马或橘色海马) Denise's pygmy seahorse [*]	<i>H. denise</i>		✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	
8	日本豆丁海马 Japanese pygmy seahorse [*]	<i>H. japapigu</i>		✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	
9	刺海马 Thorny seahorse	<i>H. histrix</i>	✓	✓ (西部 West)			✓	✓
10	克氏海马(大海马) Kellog's seahorse	<i>H. kelloggi</i>	✓	✓ (西部 West)			✓	✓
11	库达海马 Spotted seahorse	<i>H. kuda</i>	✓	✓			✓	✓
12	莫氏海马(日本海马) Japanese seahorse	<i>H. mohnikei</i>	✓ (东部 East)	✓	✓	✓	✓	✓
13	彭氏海马 Pontoh's pygmy seahorse [*]	<i>H. pontohi</i>	✓ (东部 East)	✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	
14	花海马 Shiho's seahorse	<i>H. sindonis</i>		✓ (西部 West)			✓ (仅台湾海域 Only recorded in Taiwan)	
15	棘海马 Hedgehog seahorse	<i>H. spinosissimus</i>	✓ (东北部 Northeast)	✓ (西部 West)			✓	✓
16	三斑海马(斑海马) Longnose seahorse	<i>H. trimaculatus</i>	✓ (东部 East)	✓ (西部 West)		✓	✓	✓

a: 中文名参考《拉汉世界鱼类系统名典》(伍汉霖等, 2017)和台湾鱼类资料库网站(www.fishdb.sinica.edu.tw), 英文名参考世界鱼类数据库网站(www.fishbase.org); b: 数据来自世界自然保护联盟濒危物种红色名录数据库网站(www.iucnredlist.org)及台湾鱼类资料库; c: 数据来源见正文(1物种多样性及分布); *: 豆丁海马。

a, Chinese names from *Latin-Chinese Dictionary of Fish Names by Classification System* (Wu et al, 2017) and the Fish Database of Taiwan (www.fishdb.sinica.edu.tw); English names from FishBase (www.fishbase.org); b, Data from The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org) and the Fish Database of Taiwan; c, See the main text (1 Species diversity and distribution); *, Pygmy seahorse species.

表2 中国海域16种海马的生态信息

Table 2 Ecological information of the sixteen seahorse species recorded in China's waters

中文名/英文名 Common name in Chinese and English	全球栖息地记录 Global habitat records ^a	中国栖息地记录 Habitat records in China ^b	水深 Water depth (m) ^a	繁殖季节 Breeding season ^c	寿命 Lifespan (year) ^d	初次性成熟体高 Height at first maturity (cm) ^d	每胎产幼体数 Number of juvenile per pouch ^b	主要食性喜好 Main diets ^a
巴博海马 Barbour's seahorse	海草床、珊瑚礁 Seagrass beds and coral reefs	—	0–10	—	—	8.0	—	哲水蚤桡足类、甲壳类幼虫等小型甲壳类 Small crustaceans, such as calanoid copepods and decapod larvae
巴氏海马 Pygmy seahorse	柳珊瑚(小尖柳珊瑚属种类) Gorgonian corals (<i>Muricella</i> spp.)	柳珊瑚(小尖柳珊瑚属种类) Gorgonian corals (<i>Muricella</i> spp.)	15–40	全年繁殖 Breeding year-round	—	1.3	—	钩虾、猛水蚤等小型甲壳类 Small crustaceans, such as gammarid amphipods and harpacticoid copepods
北部湾海马 Beibu Bay seahorse	—	—	—	—	—	—	—	—
克里蒙氏海马 Coleman's pygmy seahorse	粗砂质底及海草床(鳗草、喜盐草) Coarse sand and seagrass beds (<i>Zostera</i> spp. and <i>Halophilia</i> spp.)	粗砂粒及藻类丰富浅海区 Shallow waters with coarse sand and seaweeds rich	0–5	—	—	—	—	钩虾、猛水蚤、糠虾等小型甲壳类 Small crustaceans, such as gammarid amphipods, harpacticoid copepods and mysids
虎尾海马 Tiger tail seahorse	珊瑚礁、海绵、海藻场、海草床 Coral reefs, sponges, seaweed beds and seagrass beds	—	0–20	全年繁殖(菲律宾) Breeding year-round in central Philippines	—	8.1	—	—
冠海马 Crowned seahorse	海藻场(马尾藻)、海草床(鳗草) Seaweed beds (<i>Sargassum</i> spp.) and seagrass beds (<i>Zostera</i> spp.)	近海多海藻区 Nearshore waters with abundant seaweeds	0–20	6–7月繁殖(日本) Breeding season June to July in Japan	3–5	6.0	—	钩虾、桡足类等小型甲壳类 Small crustaceans, such as gammarid amphipods and copepods
丹尼斯海马 Denise's pygmy seahorse	柳珊瑚(小尖柳珊瑚属、刺柳珊瑚属等种类) Gorgonian corals (e.g. <i>Muricella</i> spp. and <i>Annella</i> spp.)	柳珊瑚(刺柳珊瑚属种类) Gorgonian corals (<i>Annella</i> spp.)	5–100	全年繁殖(印度尼西亚) Breeding year-round in Indonesia	—	1.1	—	—
日本豆丁海马 Japanese pygmy seahorse	岩礁、软珊瑚、仙人掌藻属种类及水螅 Rocky reefs, soft corals, <i>Halimeda</i> spp., and hydroids	仙人掌藻属种类 <i>Halimeda</i> spp.	0–20 [*]	—	—	—	—	—
刺海马 Thorny seahorse	岩礁、海草床、软珊瑚、海绵 Rocky reefs, seagrass beds, soft corals and sponges	岩礁、海藻场 Rocky reefs and seaweed beds	5–80	—	—	7.9	—	猛水蚤、哲水蚤、糠虾等小型甲壳类 Small crustaceans, such as harpacticoid and cyclopoid copepods, and mysids

表2 (续) Table 2 (continued)

中文名/英文名 Common name in Chinese and English	全球栖息地记录 Global habitat records ^a	中国栖息地记录 Habitat records in China ^b	水深 Water depth (m) ^a	繁殖季节 Breeding season ^c	寿命 Lifespan (year) ^d	初次性成熟 体高 Height at first maturity (cm) ^d	每胎产幼体数 Number of juvenile per pouch ^b	主要食性喜好 Main diets ^a
克氏海马 Kellog's seahorse	柳珊瑚、海鞭 Gorgonian corals and sea whips	砂泥海床、具海 藻的岩礁、海藻 场 Muddy or sandy bottoms, weedy rocky reefs and seaweed beds	20-150	-	-	15.0	-	猛水蚤、哲水蚤、 钩虾等小型甲壳 类 Small crustaceans, such as harpacticoid and cyclopoid copepods, and gammarid amphipods
库达海马 Spotted seahorse	砂泥海床、岩礁、海 草床、红树林及河口 区 Muddy or sandy bottoms, rocky reefs, seagrass beds, mangrove meadows and estuaries	砂泥海床、具海 藻的岩礁、海藻 场、海草床、珊 瑚礁及河口区 Muddy or sandy bottoms, weedy rocky reefs, seagrass beds, seaweed beds, coral reefs and estuaries	0-70	全年繁殖(越南) - Breeding year-round in Vietnam	-	14.0	200-1,200	小型浮游动物 Small zooplankton
莫氏海马 Japanese seahorse	海草床(大叶藻、卵 叶喜盐草、泰来草、 海菖蒲等)、红树林 Seagrass beds (<i>Zostera</i> spp., <i>Halophila ovalis</i> , <i>Thalassia hemprichii</i> , <i>Enhalus acoroides</i>) and mangroves	砂泥海床、海藻 场、海草床及河 口区 Muddy and sandy bottoms, seaweed beds, seagrass beds and estuaries	0-40**	7-9月(中国)** July to September in China	-	5.5	10-400	枝角类、短尾类等 小型甲壳类 Small crustaceans, such as <i>Penilia avirostris</i> and species of <i>Brachyura</i>
彭氏海马 Pontoh's pygmy seahorse	仙人掌属种类、 软珊瑚、柏状羽睫 <i>Halimeda</i> spp., soft corals and the <i>Aglaophenia cupressina</i>	仙人掌属种类、 柏状羽睫 <i>Halimeda</i> spp. and <i>Aglaophenia cupressina</i>	10-25	-	-	-	-	-
花海马 Shiho's seahorse	海藻场、海草床、珊 瑚 Seaweed beds, seagrass beds and corals	具海藻场的岩礁 Weedy rocky reefs	0-20	-	-	4.0	-	-
棘海马 Hedgehog seahorse	软珊瑚、海藻场、 海草床、珊瑚礁 Soft corals, seaweed beds, seagrass beds and coral reefs	砂泥海床、海藻 场、海草床、具 海藻的岩礁 Muddy or sandy bottoms, seaweed beds, seagrass beds and weedy rocky reefs	5-70	全年繁殖, 高峰 - 5-10月(越南) Breeding year-round and peaking May to October in Vietnam	-	10.4	-	-
三斑海马 Longnose seahorse	砾石及砂泥海床、海 藻场、软珊瑚 Muddy, sandy or gravel bottoms, seaweed beds and soft corals	砂泥海床、海藻 场、岩礁、红树 林及河口区 Muddy or sandy bottoms, seaweed beds, rocky reefs, mangroves and estuaries	10-100	全年繁殖, 高峰 3 3-5月和10月(越 南) Breeding year-round and peaking March to May and October in Vietnam	-	14.0	300-1,200	端足类、磷虾等小 型浮游甲壳类 Small crustaceans, such as amphipoda and euphausiid

a: 数据来自世界鱼类数据库网站(www.fishbase.org)及世界自然保护联盟濒危物种红色名录网站(www.iucnredlist.org); b: 数据来源见正文(1物种多样性及分布); c: Lourie 等, 2004; d, Foster 和 Vincent, 2004; *, Heard 等, 2019; **, Qin 等, 2017; -: 无数据。

a, Data from FishBase (www.fishbase.org) and The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org); b, See the main text (1 Species diversity and distribution); c, Lourie et al, 2004; d, Foster & Vincent, 2004; *, Heard et al, 2019; **, Qin et al, 2017; -, No data.

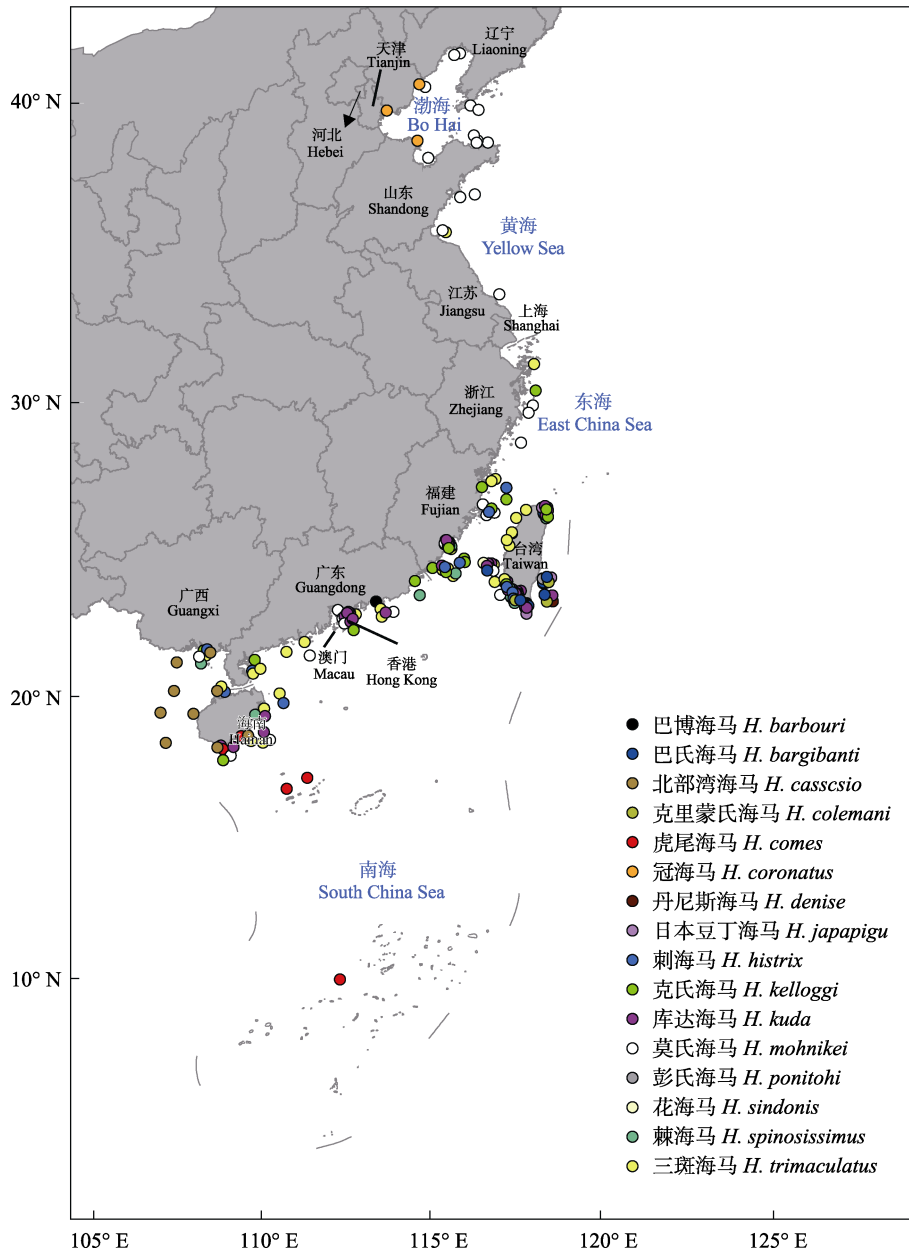


图1 中国海域有记录的海马采集点或观测点(重复点仅算1次)分布图

Fig. 1 The collection sites or the observation sites (only counted once among repeated sites) for *Hippocampus* species in China's waters

海马野外种群的繁殖生物学研究较少。中国海域的16种海马中, 仅7种有繁殖季节相关研究, 且大多是亚洲其他国家的研究结果, 其中6种海马为全年繁殖, 繁殖高峰期多集中于3-10月, 覆盖春、夏、秋3季(表2)。仅有3种海马记录了每胎产幼体数。与其他鱼类相比, 海马每胎所产幼体数较低, 最少为数十尾, 最多为1,200尾(表2), 且与其他鱼类相比, 海马的精卵比较低(Vincent, 1990; Holt et al, 2021)。海马的这些繁殖特点可能会给海马种群的恢复带

来挑战。

我国至今尚未开展针对海马栖息地的专项调查, 因此对中国海域海马的栖息环境记录较为粗略。与全球数据相比, 中国海域海马的栖息环境与之有共性也有独特性(表2)。巴氏海马和彭氏海马的栖息生境与全球其他地区的记录相同, 喜栖息于有小尖柳珊瑚、珊瑚藻和柏状羽鳃的生境中。主要在砂泥底质生境中栖息的有6种(克里蒙氏海马、克氏海马、库达海马、莫氏海马、棘海马、三斑海马), 其

中, 克氏海马、莫氏海马和棘海马在砂泥底质的栖息习性仅在我国有报道, 而三斑海马偏好砂泥质海床的特点, 在马来西亚也有报道(Wiswedel, 2015)。另外, 库达海马、莫氏海马和三斑海马可以在盐度较低的河口或红树林区生存。

3 濒危等级及主要威胁

我国早在1989年首次发布的《国家重点保护野生动物名录》中, 就已将克氏海马列入国家二级重点保护动物, 体现了我国对克氏海马野外种群保护的高度重视。此后, 海马属所有物种在2002年被列入CITES附录II, 其国际贸易受到全球监管(CITES, 2005)。2021年2月, 农业农村部和国家林业和草原

局共同更新了《国家重点保护野生动物名录》, 将中国海域出现的海马属所有物种(仅限野外种群)列为国家二级重点保护动物(<https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/5586227/files/e007df5cdb364bcd-bcb89d169047d6c5.pdf>)。

在2012年至2017年间, IUCN对海马属物种的濒危等级进行了全球评估(global assessment)。中国海域出现的16种海马中, 有8种被列为易危(Vulnerable, VU), 2种被列为无危(Least Concern, LC), 5种被列为数据不足(Data Deficient, DD), 尚有1种未评估(Not Evaluated, NE) (表3)。值得一提的是, 我国在2004年对6种中国海域的海马濒危等级进行了区域评估(regional assessment), 参考资料主要来

表3 中国海域16种海马的濒危等级及主要威胁

Table 3 Threatened categories of the sixteen seahorse species recorded in China's waters and their main threats

物种中文名/英文名 Common species name in Chinese and English	IUCN红色名录等级 及评估时间 IUCN Red List category (assessed year) ^a	全球种群趋势 Global population trend ^a	主要威胁 Main threats ^a	中国物种红 色名录 China Species Red List ^b
巴博海马 Barbour's seahorse	易危 VU (2017)	下降 Decreasing	目标种捕捞、兼捕、栖息地(海草床)丧失 Targeted fishery, bycatch, and habitat (seagrass beds) loss	未评估 NE
巴氏海马 Pygmy seahorse	数据不足 DD (2016)	未知 Unknown	栖息地(珊瑚礁)破坏和丧失 Habitat (coral reefs) destruction and loss	未评估 NE
北部湾海马 Beibu Bay seahorse	数据不足 DD (2017)	未知 Unknown	未知 Unknown	未评估 NE
克里蒙氏海马 Coleman's pygmy seahorse	数据不足 DD (2016)	未知 Unknown	未知 Unknown	未评估 NE
虎尾海马 Tiger tail seahorse	易危 VU (2013)	下降 Decreasing	目标种捕捞、栖息地破坏、兼捕 Targeted fishery, habitat destruction, and bycatch	未评估 NE
冠海马 Crowned seahorse	数据不足 DD (2015)	未知 Unknown	栖息地(海草床)破坏 Habitat (seagrass beds) destruction	濒危 EN
丹尼斯海马 Denise's pygmy seahorse	数据不足 DD (2015)	未知 Unknown	栖息地(珊瑚礁)破坏 Habitat (coral reefs) destruction	未评估 NE
日本豆丁海马 Japanese pygmy seahorse	未评估 NE	未知 Unknown	未知 Unknown	未评估 NE
刺海马 Thorny seahorse	易危 VU (2017)	下降 Decreasing	兼捕、目标种捕捞、栖息地破坏 Bycatch, targeted fishery, and habitat destruction	濒危 EN
克氏海马 Kellog's seahorse	易危 VU (2017)	下降 Decreasing	兼捕、目标种捕捞、栖息地破坏 Bycatch, targeted fishery, and habitat destruction	濒危 EN
库达海马 Spotted seahorse	易危 VU (2012)	下降 Decreasing	兼捕、目标种捕捞、栖息地破坏 Bycatch, targeted fishery, and habitat destruction	濒危 EN
莫氏海马 Japanese seahorse	易危 VU (2016)	下降 Decreasing	目标种捕捞、兼捕、栖息地(海草床、红树林)丧失 Targeted fishery, bycatch, and habitat (seagrass and mangrove) loss	易危 VU
彭氏海马 Pontoh's pygmy seahorse	无危 LC (2016)	未知 Unknown	栖息地(珊瑚藻属的海藻场)丧失 Habitat (seaweed beds of <i>Halimeda</i> spp.) loss	未评估 NE
花海马 Shiho's seahorse	无危 LC (2016)	未知 Unknown	栖息地(珊瑚礁、海草床)破坏和丧失、目标种捕捞、兼捕 Habitat (coral reef and seagrass beds) destruction and loss, targeted fishery, and bycatch	未评估 NE
棘海马 Hedgehog seahorse	易危 VU (2016)	下降 Decreasing	兼捕 Bycatch	未评估 NE
三斑海马 Longnose seahorse	易危 VU (2012)	下降 Decreasing	兼捕、目标种捕捞、栖息地破坏 Bycatch, targeted fishery, and habitat destruction	濒危 EN

a, 数据来自世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种红色名录网站(www.iucnredlist.org); b, 数据来自《中国物种红色名录》(汪松和解焱, 2009)。
a, Data from The International Union for Conservation of Nature's (IUCN) Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org); b, Data from *China Species Red List* (Wang & Xie, 2009). LC: Least Concern; VU: Vulnerable; EN: Endangered; DD: Data Deficient; NE: Not Evaluated.

自各地的鱼类专著, 结果显示同种海马的濒危等级普遍高于全球评估的濒危等级(表3)。近20年来, 人类活动干扰加剧, 海洋生境不断衰退, 然而我国海马野外种群的数量和生态调查仍未普遍开展, 制约了我国对海马物种濒危等级的区域评估的更新。

目前, 我国海域16种海马在全球受到的主要威胁是渔业兼捕及栖息地破坏, 也有少数将海马作为目标种的渔业捕捞(表3) (Stocks et al, 2019)。全球约有95%的海马贸易来自渔业兼捕, 其中三斑海马、棘海马、克氏海马和库达海马的贸易量最大, 受到渔业兼捕的影响也最为严重(Evanson et al, 2011; Vincent et al, 2011)。据调查, 泰国每年海马捕捞量约为2,900万尾(Aylesworth et al, 2018), 印度仅Tamil Nadu西海岸一年的捕捞量可达1,000万尾(Vaidyanathan et al, 2021)。在渔业活动中, 非选择性底拖网渔业造成的兼捕是全球海马种群数量下降的主要原因(Evanson et al, 2011)。

除了渔业兼捕对海马野外种群造成的直接影响外, 底拖网和耙网渔业活动对海马栖息地也造成极大的破坏, 间接导致海马种群数量的下降(表3)。这些渔业活动在作业过程中, 破坏了海洋底层基质, 并对珊瑚、海草等可以为海马提供抓握物体的生境造成破坏, 搅动底层水体, 造成大量沉积物再悬浮, 严重影响了海马这类底层鱼类的生存环境, 加剧对海马种群的威胁(Martín et al, 2014)。

海马的受威胁因素不仅来自于人类活动干扰, 也来自于自然环境的变化。对于贸易量小或无贸易的小型豆丁海马种类(如巴氏海马、丹尼斯海马、彭氏海马等), 其受威胁因素主要是所需的特殊栖息地退化或丧失(表3)。造成此类栖息地退化或丧失的原因是多方面的, 包括环境污染、海洋酸化、全球气候变化等。例如巴氏海马仅栖息于小尖柳珊瑚生境, 随着生境中珊瑚数量的减少, 巴氏海马种群也会受到影响(表2)。在全球气候变化的影响下, 珊瑚覆盖率的下降将会导致依赖珊瑚生存的海马种群衰退(Bruno & Selig, 2007)。

4 中国海域海马保护工作建议

当前, 中国政府对海洋生物多样性的保护越来越重视, 理念和行动力不断提升。然而针对一些特殊类群, 如海马, 其野外种群与栖息地保护的工作

仍受到诸如渔业兼捕规模不明、关键栖息地尚未识别、种群大小数据缺乏、监管能力不足等带来的诸多挑战。为加强我国的海洋生物多样性保护, 我们针对当前海马的管理和保护提出以下建议。

4.1 建立以海马及其栖息生境为主要保护目标的保护区

旗舰物种(flagship species)是指具有一个或多个能够吸引受众的特征、在保护区的宣传中被广泛应用的特殊物种(Verissimo et al, 2011)。旗舰物种往往根据其社会效益来决定, 如是否能够引起公众的保护兴趣(Walpole & Leader-Williams, 2002)。海马是符合旗舰物种要求的典型例子(Cohen et al, 2017)。海马具有特殊的形态特点和行为特征, 其拟态能力、雄性海马对子代的孵育行为、部分种类的单一配偶制等特点能够作为很好的宣传点来吸引大众。因此, 在有海马分布的现有海洋保护区内, 应当充分发挥海马作为旗舰物种的潜力。也可以海马及其栖息生境为主要保护目标建立国家级自然保护区, 加强公众宣传教育, 实现在保护海马及其栖息地的同时促进保护区的发展。

目前, 我国以海马及其栖息生境为主要保护对象的海洋保护区较少, 仅有广东省汕尾市碣石湾海马资源保护区和广东省廉江市英罗湾海洋生态自然保护区两个市级保护区。其中, 碣石湾海马资源保护区以三斑海马、莫氏海马及其栖息地为重点保护对象, 英罗湾海洋生态自然保护区以海马、儒艮(*Dugong dugon*)、中华白海豚(*Sousa chinensis*)等为主要保护对象。国外的海马保护区也尚属零星。如菲律宾有以海马为旗舰物种的小型保护区, 在海马集中分布的海域内减少渔业兼捕和栖息地破坏, 也可以在保护海马的同时保护其他同域物种(Yasué et al, 2012; Correia, 2014)。同时, 发挥海马作为旗舰物种的影响力, 可以有效地提高保护区的可宣传性, 从而对珊瑚礁、海草床、海藻场、红树林等典型海洋生态系统的保护起到积极的作用(Shokri et al, 2009; Harasti et al, 2014)。

建立以海马为旗舰物种的保护区, 对于实现海马野外种群及其栖息生境的就地保护具有重要意义(Vaidyanathan et al, 2021; Alfaro-Shigueto et al, 2022)。从我国海马的分布、捕捞兼捕量等方面考虑, 可以在渤海、黄海、东海、南海的局部地区优先建

立保护区或采取其他有效的区域保护措施(Other effective area-based conservation measures, 简称 OECMs)。目前, 台湾、海南、广东、福建海域的海马物种多样性较高, 且尚有一定的种群数量, 存在保护的基础^①。黄海和渤海的近岸海域和内湾也发现多处莫氏海马集中分布的区域, 可以考虑在这些海域建立保护示范区, 禁止在重点分布区域内进行海马兼捕的渔业活动, 特别是底拖网和耙网等作业(王松林, 未发表数据)。我国海洋保护地包括海洋自然保护区和海洋特别保护区两种类型。海洋特别保护区以海洋资源的合理开发和可持续利用为主旨, 开发与保护并重(蔡艳红等, 2005)。我国海马分布区与部分高经济价值鱼类、甲壳类、头足类的渔场有较高的重合度, 如果将此类海域划为全面禁止渔业活动的法定海洋类型自然保护区会损害部分渔民利益。如何平衡当地渔业资源的可持续开发利用与海马野外种群的保护, 是今后需要重点解决的问题。

4.2 寻找降低海马兼捕的方法

在世界范围内, 非选择性渔业的兼捕以及网具对栖息地的破坏是海马种群数量下降的主要原因之一(Alfaro-Shigueto et al, 2022)。亚洲地区许多国家(如中国、泰国、越南等)的渔业活动中各类底拖网(包括虾拖网)占比较高, 造成了相当数量的海马兼捕(Meeuwig et al, 2006; Aylesworth et al, 2018)。以底栖贝类等为主要捕捞对象的耙网对海藻场等关键海马栖息地破坏尤其严重(王松林, 未发表数据)。泰国作为世界上最大的海马出口国, 最新估算的海马年兼捕量约2,900万尾, 这一数据是当地曾有记录的3倍之多(Foster et al, 2016; Aylesworth et al, 2018)。

目前全球仍然缺乏有效措施减少渔业活动中的海马兼捕, 加上对海马兼捕量缺乏科学统计, 因此难以量化渔业捕捞对海马野外种群数量带来的实际影响(Alfaro-Shigueto et al, 2022)。现阶段亟需开展渔业兼捕对海马种群影响的相关研究, 确定海马兼捕量、兼捕造成的死亡率和放生后的成活率, 这样才能对海马兼捕严重的渔具进行有效改进。我国可以根据各海域的渔业资源和生态承载力, 优先对渔业资源和渔场生态环境破坏严重的底拖网、耙网渔业实施“双减”工作, 在时间上、空间上和规模

上对其进行一定的限制, 降低网具对海洋底质环境的破坏, 从而维持海马栖息生境的种群稳定。同时, 适度鼓励并发展对渔业资源和渔场生态环境更友好的渔业作业方式, 探索传统生计渔业社区更容易理解、接受、参与并支持的近海社区保护地等法定保护地以外的其他有效区域保护措施(OECMs)。这样的综合举措可以实现生态、经济、社会效益的兼得。此外, 也可以在渔业活动中建立可追踪机制, 确定受渔业活动影响大的海域以及渔业活动的季节性变化, 在此基础上结合海马分布区域和繁殖季节划定禁捕区域或限定渔业作业时间, 以更好地保护海马资源(Alfaro-Shigueto et al, 2022)。

对于不同的海马种类, 兼捕活动对其造成的威胁程度是不同的(Aylesworth et al, 2018)。这需要在结合海马生物生态研究的基础上, 对不同的种群受到的影响分别进行评估, 针对性地提出能够降低兼捕的渔业管理措施。马来西亚的一项研究通过分析兼捕的三斑海马基础生物学指标后指出, 当地三斑海马野外种群已呈现出不可持续的状态(Lawson et al, 2015)。因此, 了解海马野外种群的生活史、生长规律及繁殖周期, 也是当前急需开展的重要基础研究(Qin et al, 2017)。

4.3 全面开展海马栖息地的识别

海马是调查难度较大且研究数据缺乏的海洋鱼类之一, 其野外种群分布及数量的相关数据极少, 且缺乏长期连续的调查数据(Zhang & Vincent, 2017)。虽然目前对中国海域内16种海马的栖息地有了一定的了解, 但尚未掌握不同物种的关键栖息地分布(如集合种群的源头区和种群扩散的重要节点区)。现有数据多为大范围的预测分布或者为数不多的采集和观测记录, 缺乏针对性的关键栖息地识别, 不利于保护区的选划和相关渔业管理措施的制定。

物种分布模型(species distribution models, SDMs)是结合环境变量与物种分布的样本信息, 预测目标物种潜在分布的一种有效工具, 在研究气候变化或环境改变对物种分布的影响方面有较多应用。在海洋领域, 物种分布模型的应用相对较少, 但该模型仍具有较好应用前景(解鹏飞等, 2019)。对于海马这一类数据有限的海洋生物, 该模型的应用将有效解决物种分布信息不足的问题, 辅助识别海马野外栖息地, 有助于选划海马种群的调查区域

^① 韩松霖 (2013) 中国海马的分类、资源、利用与保护. 硕士学位论文, 广西师范大学, 广西桂林.

(Zhang & Vincent, 2017)。除此之外, 通过收集公民科学家、潜水爱好者等发现的野生海马分布记录, 来建立关键栖息地数据库也十分重要, 例如在香港首次发现莫氏海马和在台湾首次发现日本豆丁海马和丹尼斯海马的报道就是由公民科学家做出的贡献(Heard et al, 2019; Yiu et al, 2022)。

开展海马分布调查以更新历史数据是我国目前亟待完成的海马保护工作之一。例如, 冠海马仅在20世纪50年代渤海湾鱼类调查中有报道, 此后则再无采集和观测记录(张春霖, 1955), 建议在渤海针对冠海马所偏好的大型海藻和海草生境类型开展调查, 确认其分布范围。对东海和南海局部地区, 如福建、广东、广西、海南及台湾沿岸等有海马分布且种群数量较多海域进行重点关注, 确认海马集中分布区。本文整理的各类海马偏好的数据可以为后续野外调查、识别海马关键栖息地提供支持。

4.4 规范海马利用管理, 加强海马保护

中国是海马贸易大国, 海马消耗量居世界首位(Foster et al, 2016)。中国的海马消耗主要用于传统中药及保健品制作, 少数用于水族观赏等(Chang et al, 2013; Foster, 2016; 陈信忠和曾韵颖, 2020)。在全球活海马进出口贸易量前10位的种类中, 有7种在中国海域出现, 但这7种的贸易量主要来自越南、印度尼西亚、巴西等国家, 并不包括中国(Koning & Hoeksema, 2021)。据CITES的全球海马贸易数据统计, 2004–2011年间全球约93%的海马贸易量被中国消耗, 香港平均年消耗量为250万–520万尾, 台湾为17.9万–180万尾, 大陆为28万–130万尾(Foster et al, 2016)。另一项调查表明, 2004–2008年间, 香港干海马进口量每年平均超过400万尾, 台湾超过130万尾, 大陆为62万尾, 这也说明香港是海马的主要消耗地区(Evanson et al, 2011)。然而, 当前中国市场针对海马贸易量的记录并不完善。2012年的一项调查表明, 大陆每年的干海马消耗量超过11吨(以每尾重2.5–3.3 g计算约为330万至440万尾), 多数来自本土海域的捕捞^①。除此之外再无别的调查, 因此迫切需要对当前海马的兼捕量进行全面调查, 确认国内海马贸易情况, 以规范海马管理。

加强贸易监管, 严格执行相关法律法规, 是保

护我国海域海马野外种群的重要举措。2018年修正的《中华人民共和国野生动物保护法》第二十七条规定, 禁止出售、购买、利用野生动物及其制品。违者由县级以上人民政府野生动物保护主管部门或者市场监督管理部门按照职责分工没收野生动物及其制品和违法所得, 并处野生动物及其制品价值二倍以上十倍以下的罚款; 构成犯罪的, 依法追究刑事责任。此外, 该法律还规定了对野生动物种群栖息地的保护, 并规定县级以上人民政府野生动物保护主管部门应当定期组织或者委托有关科学研究机构对野生动物及其栖息地状况进行调查、监测和评估。目前, 我国对海马保护的法律法规完备, 然而执行力仍有较大问题。一方面, 海马的基础生物学研究及栖息地调查仍然十分欠缺, 相关法律规定应当重视海马的科研工作, 避免因法律规定造成相关科研工作难以开展。另一方面, 沿海地区渔业活动中的海马兼捕仍然普遍存在, 相关法律规定的落实仍有待加强。应鼓励渔民对兼捕的海马就地放归。此外, 应当在海马兼捕严重的东南沿海地区进行重点调查, 制定渔业管理对策。

作为国家二级重点保护动物, 我国的海马属野外种群是禁止出售和购买的。然而作为CITES附录II的海马属物种, 在国际监管下又是允许进行贸易的。因此, 亟待规范海马市场贸易管理, 建立海马贸易销售溯源机制, 以杜绝我国市场上的海马非法贸易。

4.5 建立区别野生和养殖群体的关键技术

随着海马市场需求的增加以及海马野外种群的衰退, 海马养殖业应运而生。目前全球至少有13种海马可被养殖, 我国历史上养殖的种类有6种, 包括库达海马、三斑海马、刺海马、莫氏海马, 以及从美国引进的线纹海马(*Hippocampus erectus*)和从新西兰引进的膨腹海马(*H. abdominalis*)(Koldewey & Martin-Smith, 2010; 林强, 2012)。这两种引进海马是目前已规模化养殖的对象, 而本土海马养殖则极少。我国的海马养殖场主要分布于山东、江苏、浙江、福建、广东和海南, 其中有记录的年产量可达湿重25吨(Fan, 2005)。然而当前我国的海马养殖业存在较多问题, 如幼体成活率低、病害严重、人工饵料营养不足、仍然利用野生种质资源等, 这些问题限制了海马养殖业的快速发展(徐

^① 韩松霖 (2013) 中国海马的分类、资源、利用与保护. 硕士学位论文, 广西师范大学, 广西桂林.

永健等, 2011; Xie et al, 2020)。海马引进种在养殖过程中的养殖逃逸对当地海马野外种群产生的影响也需进行调查。海马作为传统的名贵中药材, 其市场需求极大, 目前的养殖产量远不够满足市场需求。在养殖产量不足的情况下, 养殖厂家的营销手段可能导致海马的市场需求不断增加, 反而进一步加剧对海马野外种群的捕捞压力 (Vincent & Koldewey, 2006)。

目前, 野外种群仍是满足海马市场需求的主要来源。在现行海马养殖不断发展的情况下, 建立区别野生和养殖群体技术是保护海马野外种群的重要手段。为实现这一目标, 应当规范海马养殖行业, 为市售海马加上养殖标签, 建立销售溯源机制。有研究将膨腹海马的养殖个体进行荧光标记, 用于区分养殖个体和野生个体 (Woods & Martin-Smith, 2004)。然而该技术仍处于探索阶段, 需要建立一种更加方便、快捷、低成本、易辨识的标签投入广泛使用 (Morgan & Bull, 2005)。通过建立标签制度, 可以使市售海马的来源有迹可循, 实现有效监督违法捕捞野外种群的行为, 改善海马商品销售混乱的现状, 切实保护海马野外种群 (Vincent & Koldewey, 2006; 温珑莲等, 2013)。

5 结论

海马是一类易受威胁的海洋鱼类, 目前海马属所有种类均被列入CITES附录II, 中国海域海马属所有物种的野外种群均属于国家二级重点保护动物。中国海域的海马种类多达16种, 主要分布于近岸浅水海域, 栖息环境多样化。当前对海马野外种群的生物生态研究十分缺乏, 不同物种的种群数量、分布范围、重要栖息地、繁殖特征等基本信息尚未完善, 使海马的保护难以有实质性进展。由此, 我们提出关注海马作为旗舰物种在我国海洋生态环境保护工作中的影响力、建立以海马及其栖息地为主要保护目标的海洋保护区、采取其他有效的区域保护措施(OECMs)、着力解决海马兼捕问题、全面开展中国海域海马生态调查以识别并保护海马关键栖息地、加强海马保护公众教育宣传、提升贸易监管能力、规范海马利用管理、建立区别养殖群体和野生群体的关键技术等保护建议, 以期更好地


保护中国海域海马野外种群。最后建议, 应尽快制定全国的海马保护行动计划并落实, 为今后主管部门、科研院所、民间组织、公众等利益相关方的交流和合作提供指引。

致谢: 感谢中国水产流通与加工协会崔和会长对文章的指导。

ORCID

刘彩莲  <https://orcid.org/0009-0006-9725-8471>

林柏岸  <https://orcid.org/0000-0002-5966-9062>

刘敏  <https://orcid.org/0000-0002-6768-6794>

参考文献

- Alfaro-Shigueto J, Alfaro-Cordova E, Mangel JC (2022) Review of threats to the Pacific seahorse *Hippocampus ingens* (Girard 1858) in Peru. *Journal of Fish Biology*, 100, 1327–1334.
- Aylesworth L, Phoonsawat R, Vincent ACJ (2018) Effects of indiscriminate fisheries on a group of small data-poor species in Thailand. *ICES Journal of Marine Science*, 75, 642–652.
- Bruno JF, Selig ER (2007) Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: Timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS ONE*, 2, e711.
- Cai YH, Zhang HB, Xiang YT (2005) Discussion on the construction and management of marine special protected areas. *Ocean Development and Management*, 22(3), 55–57. (in Chinese) [蔡燕红, 张海波, 项有堂 (2005) 海洋特别保护区的建设与管理问题探讨. *海洋开发与管理*, 22(3), 55–57.]
- Chang CH, Jang-Liaw NH, Lin YS, Fang YC, Shao KT (2013) Authenticating the use of dried seahorses in the traditional Chinese medicine market in Taiwan using molecular forensics. *Journal of Food and Drug Analysis*, 21, 310–316.
- Chen CQ (1983) Ben Cao Shi Yi (Collated by Shang ZJ). Wannan Medical College, Wuhu, Anhui. (in Chinese) [陈藏器 (1983) 本草拾遗(尚志钧辑校). 皖南医学院, 安徽芜湖.]
- Chen DG, Zhang MZ (2016) *Marine Fishes of China*. China Ocean University Press, Qingdao, Shandong. (in Chinese) [陈大刚, 张美昭 (2016) 中国海洋鱼类. 中国海洋大学出版社, 山东青岛.]
- Chen L, Wang XY, Huang BK (2015) The genus *Hippocampus*—A review on traditional medicinal uses, chemical constituents and pharmacological properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 162, 104–111.
- Chen XZ, Zeng YY (2020) Analysis of species and identification techniques of seahorses. *China Port Science*

- and Technology, (12), 48–54. (in Chinese with English abstract) [陈信忠, 曾韵颖 (2020) 海马种类及其鉴定技术分析. 中国口岸科学技术, (12), 48–54.]
- Cheng QT (1997) Fishes of Shandong Province: Gasterosteiformes. Shandong Science and Technology Press, Jinan. (in Chinese) [成庆泰 (1997) 山东鱼类志: 刺鱼目. 山东科学技术出版社, 济南.]
- Chinese Pharmacopoeia Commission (2020) Pharmacopoeia of the People's Republic of China. China Medical Science Press, Beijing. (in Chinese) [国家药典委员会 (2020) 中华人民共和国药典. 中国医药科技出版社, 北京.]
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (2005) Trade in Seahorses. <https://cites.org/sites/default/files/eng/notif/2005/014.pdf>. (accessed on 2022-11-22)
- Cohen FPA, Valenti WC, Planas M, Calado R (2017) Seahorse aquaculture, biology and conservation: Knowledge gaps and research opportunities. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25, 100–111.
- Correia MJT (2014) Trends in Seahorse Abundance in the Ria Formosa, South Portugal: Recent Scenario and Future Prospects. PhD dissertation, Universidade do Algarve, Algarve, Portugal.
- Dong SX, Li WD, Wang PZ, Jiang FY, Wu YT (2017) Species identification of *Hippocampus* and analysis of population genetic diversity. *Technology and Market*, 24(12), 126–128. (in Chinese with English abstract) [董世雄, 李卫东, 王沛政, 姜芳燕, 武耀廷 (2017) 海马种类鉴定及群体遗传多样性分析. 技术与市场, 24(12), 126–128.]
- Evanson M, Foster SJ, Wiswedel S, Vincent ACJ (2011) Tracking the international trade of seahorses (*Hippocampus* species). The Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Fan ZY (2005) National Report—China. In: The Proceedings of the International Workshop on CITES Implementation for Seahorse Conservation and Trade. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/456/noaa_456_DS1.pdf. (accessed on 2022-11-22)
- Foster SJ, Kuo TC, Wan A, Vincent ACJ (2019) Global seahorse trade defies export bans under CITES action and national legislation. *Marine Policy*, 103, 33–41.
- Foster SJ, Wiswedel S, Vincent ACJ (2016) Opportunities and challenges for analysis of wildlife trade using CITES data—Seahorses as a case study. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 154–172.
- Foster SJ (2016) Seahorses (*Hippocampus* spp.) and the CITES Review of Significant Trade. Institute for the Oceans and Fisheries, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Foster SJ, Justason T, Magera AM, Vincent ACJ (2022) CITES makes a measurable difference to the trade in live marine fishes: The pioneering case of seahorses. *Biological Conservation*, 272, 109653.
- Foster SJ, Kuo TC, Wan AKY, Vincent ACJ (2018) Global seahorse trade defies export bans under CITES action and national legislation. *Marine Policy*, 103, 33–41.
- Foster SJ, Vincent ACJ (2004) Life history and ecology of seahorses: Implications for conservation and management. *Journal of Fish Biology*, 65, 1–61.
- Foster SJ, Vincent ACJ (2021) Holding governments accountable for their commitments: CITES review of significant trade for a very high-volume taxon. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01572.
- Han SY, Kim JK, Kai Y, Senou H (2017) Seahorses of the *Hippocampus coronatus* complex: Taxonomic revision, and description of *Hippocampus haema*, a new species from Korea and Japan (Teleostei, Syngnathidae). *ZooKeys*, 712, 113–139.
- Harasti D, Martin-Smith K, Gladstone W (2014) Does a no-take marine protected area benefit seahorses? *PLoS ONE*, 9, e105462.
- Heard J, Chen JP, Wen CKC (2019) Citizen science yields first records of *Hippocampus japapigu* and *Hippocampus denise* (Syngnathidae) from Taiwan: A hotspot for pygmy seahorse diversity. *ZooKeys*, 883, 83–90.
- Holt WV, Fazeli A, Otero-Ferrer F (2021) Sperm transport and male pregnancy in seahorses: An unusual model for reproductive science. *Animal Reproduction Science*, 246, 106854.
- Jiang C, Shan F, Yuan Y, Liu FY, Zhan ZL, Jin Y, Zhao YY, Huang LQ (2017) Exploration and thoughts about zoological origin and macroscopical identification of Chinese material medica “Haima” in *China Pharmacopoeia*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 42, 3836–3842. (in Chinese with English abstract) [蒋超, 单锋, 袁媛, 刘富艳, 詹志来, 金艳, 赵玉洋, 黄璐琦 (2017) 《中国药典》收载中药海马的基原与性状探讨. 中国中药杂志, 42, 3836–3842.]
- Jin XB (1984) The Fishes of Fujian Province (Part I): Gasterosteiformes. Fujian Science and Technology Press, Fuzhou. (in Chinese) [金鑫波 (1984) 福建鱼类志(上卷), 刺鱼目. 福建科学技术出版社, 福州.]
- Koldewey HJ, Martin-Smith KM (2010) A global review of seahorse aquaculture. *Aquaculture*, 302, 131–152.
- Koning S, Hoeksema BW (2021) Diversity of seahorse species (*Hippocampus* spp.) in the international aquarium trade. *Diversity*, 13, 187.
- Kuiter RH (2001) Revision of the Australian seahorses of the genus *Hippocampus* (Syngnathiformes: Syngnathidae) with descriptions of nine new species. *Records of the Australian Museum*, 53, 293–340.
- Lawson JM, Foster SJ, Lim ACO, Chong VC, Vincent ACJ (2015) Novel life-history data for threatened seahorses provide insight into fishery effects. *Journal of Fish Biology*, 86, 1–15.
- Lee SC (1993) Fishes of Taiwan: Syngnathiformes.

- Department of Zoology, Taiwan University, Taipei. (in Chinese) [李信徽 (1993) 台湾鱼类志: 海龙目. 台湾大学动物学系, 台北.]
- Li SZ (1965) Compendium of Materia Medica. People's Medical Publishing House, Beijing. (in Chinese) [李时珍 (1965) 本草纲目. 人民卫生出版社, 北京.]
- Lin Q (2012) Conservation and aquaculture status of seahorse resources in China. In: The 10th National Congress and Symposium of the Chinese Society of Oceanology and Limnology. The Institute of Oceanography, Chinese Academic of Sciences, Qingdao, Shandong. (in Chinese) [林强 (2012) 中国近海海马资源保护及养殖现状. 中国海洋湖沼学会第十次全国会员代表大会暨学术研讨会论文集. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛.]
- Lin Q, Lu JY, Gao YL, Shen L, Cai J, Luo JN (2006) The effect of temperature on gonad, embryonic development and survival rate of juvenile seahorses, *Hippocampus kuda* Bleeker. *Aquaculture*, 254, 701–713.
- Lin TT, Liu X, Zhang D (2021) Does the female seahorse still prefer her mating partner after a period of separation? *Journal of Fish Biology*, 99, 1613–1621.
- Liu YL, Qu M, Jiang H, Schneider R, Qin G, Luo W, Yu HY, Zhang B, Wang X, Zhang YH, Zhang HX, Zhang ZX, Wu YL, Zhang YY, Yin JP, Zhang S, Venkatesh B, Roth O, Meyer A, Lin Q (2022) Immunogenetic losses co-occurred with seahorse male pregnancy and mutation in *tlx1* accompanied functional asplenia. *Nature Communications*, 13, 7610.
- Lourie SA (2006) Spatial Genetic Patterns in the *Hippocampus barboursi* Species Group (Teleostei: Syngnathidae) across the Coral Triangle. Proceedings 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, Japan.
- Lourie SA, Foster SJ, Cooper EW, Vincent ACJ (2004) A Guide to the Identification of Seahorses. <https://projectseahorse.org/resource/a-guide-to-the-identification-of-seahorses/>. (accessed on 2022-11-22)
- Lourie SA, Pollom RA, Foster SJ (2016) A global revision of the Seahorses *Hippocampus* Rafinesque 1810 (Actinopterygii: Syngnathiformes): Taxonomy and biogeography with recommendations for further research. *Zootaxa*, 4146, 1–66.
- Martín J, Puig P, Palanques A, Giampontone A (2014) Commercial bottom trawling as a driver of sediment dynamics and deep seascape evolution in the Anthropocene. *Anthropocene*, 7, 1–15.
- Meeuwig JJ, Hoang DH, Ky TS, Job SD, Vincent ACJ (2006) Quantifying non-target seahorse fisheries in central Vietnam. *Fisheries Research*, 81, 149–157.
- Morgan S, Bull C (2005) Potential Techniques for Marking and Tagging Seahorses. Project Seahorse Technical Report No. 7, Version 1.0. Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Nelson JS, Grande TC, Wilson MV (2016) *Fishes of the World*, 5th edn. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Novelli B, Socorro JA, Caballero MJ, Otero-Ferrer F, Segade-Botella A, Molina Domínguez L (2015) Development of seahorse (*Hippocampus reidi*, Ginsburg 1933): Histological and histochemical study. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41, 1233–1251.
- Perry AL, Lunn KE, Vincent ACJ (2010) Fisheries, large-scale trade, and conservation of seahorses in Malaysia and Thailand. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20, 464–475.
- Qin G, Johnson C, Zhang Y, Zhang HX, Yin JP, Miller G, Turingan RG, Guisbert E, Lin Q (2018) Temperature-induced physiological stress and reproductive characteristics of the migratory seahorse *Hippocampus erectus* during a thermal stress simulation. *Biology Open*, 7, bio032888.
- Qin G, Zhang YH, Ho ALFC, Zhang Y, Lin Q (2017) Seasonal distribution and reproductive strategy of seahorses. *ICES Journal of Marine Science*, 74, 2170–2179.
- Reijnen BT, van der Meij SET, van Ofwegen LP (2011) Fish, fans and hydroids: Host species of pygmy seahorses. *ZooKeys*, 103, 1–26.
- Segaran TC, Aouissi HA, Noor MIM, Wahid MEA, Lananan F, Petrisor AI, Azra MN (2023) Assessing the state of seahorse research through scientometric analysis: An update. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33, 1237–1262.
- Shokri MR, Gladstone W, Jelbart J (2009) The effectiveness of seahorses and pipefish (Pisces: Syngnathidae) as a flagship group to evaluate the conservation value of estuarine seagrass beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19, 588–595.
- Short G, Claassens L, Smith R, De Brauwier M, Hamilton H, Stat M, Harasti D (2020) *Hippocampus nalu*, a new species of pygmy seahorse from South Africa, and the first record of a pygmy seahorse from the Indian Ocean (Teleostei, Syngnathidae). *ZooKeys*, 934, 141–156.
- Short G, Smith R, Motomura H, Harasti D, Hamilton H (2018) *Hippocampus japapigu*, a new species of pygmy seahorse from Japan, with a redescription of *H. pontohi* (Teleostei, Syngnathidae). *ZooKeys*, 779, 27–49.
- Stocks AP, Foster SJ, Bat NK, Ha NM, Vincent ACJ (2019) Local fishers' knowledge of target and incidental seahorse catch in southern Vietnam. *Human Ecology*, 47, 397–408.
- Vaidyanathan T, Zhang X, Balakrishnan R, Vincent ACJ (2021) Catch and trade bans for seahorses can be negated by non-selective fisheries. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31, 43–59.
- Verissimo D, MacMillan DC, Smith RJ (2011) Toward a systematic approach for identifying conservation flagships. *Conservation Letters*, 4, 1–8.
- Vincent ACJ (1990) *Reproductive Ecology of Seahorses*. PhD dissertation, University of Cambridge, Cambridge.
- Vincent ACJ, Evans KL, Marsden AD (2005) Home range behaviour of the monogamous Australian seahorse,

- Hippocampus whitei*. Environmental Biology of Fishes, 72, 1–12.
- Vincent ACJ, Foster SJ, Koldewey HJ (2011) Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae. Journal of Fish Biology, 78, 1681–1724.
- Vincent ACJ, Koldewey HJ (2006) An Uncertain Future for Seahorse Aquaculture in Conservation and Economic Contexts. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Tigbauan, Iloilo.
- Walpole MJ, Leader-Williams N (2002) Tourism and flagship species in conservation. Biodiversity and Conservation, 11, 543–547.
- Wan Z (1911) Nan Zhou Yi Wu Zhi (Collated by Chen YR). Yuelu Press, Changsha. (in Chinese) [万震 (1911) 南州异物志(陈运溶辑校). 岳麓书社, 长沙.]
- Wang S, Xie Y (2009) China Species Red List (Vol. II): Vertebrates (Part 1). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [汪松, 解焱 (2009) 中国物种红色名录(第二卷): 脊椎动物(上册). 高等教育出版社, 北京.]
- Wen LL, Li JD, Wan DG, Ren Y, Guo JL (2013) Market survey and identification of *Hippocampus* (Haima). China Journal of Chinese Materia Medica, 38, 969–972. (in Chinese with English abstract) [温珑莲, 李军德, 万德光, 任艳, 国锦琳 (2013) 海马市场调查与基原动物鉴定研究. 中国中药杂志, 38, 969–972.]
- Wiswedel S. (2015) *Hippocampus trimaculatus*. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T10087A17252219.en>. (accessed on 2022-11-22).
- Woods CMC, Martin-Smith KM (2004) Visible implant fluorescent elastomer tagging of the big-bellied seahorse, *Hippocampus abdominalis*. Fisheries Research, 66, 363–371.
- Wu HL, Shao KT, Lai CF, Zhuang DH, Lin PL (2017) Latin-Chinese Dictionary of Fish Names by Classification System. China Ocean University Press, Qingdao, Shandong. (in Chinese) [伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 庄棣华, 林沛立 (2017) 拉汉世界鱼类系统名典. 中国海洋大学出版社, 山东青岛.]
- Xie JS, Bu LF, Jin S, Wang XY, Zhao QS, Zhou SM, Xu YJ (2020) Outbreak of vibriosis caused by *Vibrio harveyi* and *Vibrio alginolyticus* in farmed seahorse *Hippocampus kuda* in China. Aquaculture, 523, 735168.
- Xie PF, Gu YB, Sui WN, Tao GF, Sun SY (2019) Big data challenges for species distribution models in predicting potential distribution of marine species. Marine Information, 34, 51–61. (in Chinese with English abstract) [解鹏飞, 顾炎斌, 隋伟娜, 陶冠峰, 孙淑艳 (2019) 物种分布模型在海洋物种潜在分布预测中面临的大数据挑战. 海洋信息, 34, 51–61.]
- Xu YJ, Li J, Bo Y, Wang RP (2023) Comparison of feeding behaviour characteristics between wild-caught and captive-reared *Hippocampus kuda* Bleeker. Applied Animal Behaviour Science, 259, 105850.
- Xu YJ, Lu HX, Lu GM (2011) Study on the artificial eco-aquaculture of the three-spot seahorse, *Hippocampus trimaculatus* Leach. Progress in Fishery Sciences, 32(5), 38–43. (in Chinese with English abstract) [徐永健, 陆慧贤, 卢光明 (2011) 三斑海马的人工生态养殖. 渔业科学进展, 32(5), 38–43.]
- Xu YM, Chen JW, Guo X (1994) Studies on the phospholipids and fatty acids in traditional Chinese medicinal materials *Hippocampus* and *Syngnathus*. Chinese Journal of Marine Drugs, (1), 14–18. (in Chinese with English abstract) [许益民, 陈建伟, 郭戎 (1994) 海马和海龙中磷脂成分与脂肪酸的分析研究. 中国海洋药物, (1), 14–18.]
- Yan BL, Wu HL (2006) Fishes of Jiangsu Province: Gasterosteiformes. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [阎斌伦, 伍汉霖 (2006) 江苏鱼类志: 刺鱼目. 中国农业出版社, 北京.]
- Yasué M, Nellas A, Vincent ACJ (2012) Seahorses helped drive creation of marine protected areas, so what did these protected areas do for the seahorses? Environmental Conservation, 39, 183–193.
- Yiu SKF, Chow CF, Tsang SHT, Zhang X, Chung JTH, Sin SYT, Chow WK, Chan LL (2022) New record of the Japanese seahorse *Hippocampus mohnikei* Bleeker, 1853 (Syngnathiformes: Syngnathidae) in Hong Kong waters. Check List, 8, 455–461.
- Zeng L, Armani A, Wen J, Lin HJ, Xu YH, Fan SG, Sun YL, Yang CG, Chen ZM, Chen DH, Zhao J, Li XY (2019) Molecular identification of seahorse and pipefish species sold as dried seafood in China: A market-based survey to highlight the actual needs for a proper trade. Food Control, 103, 175–181.
- Zhang CL (1963) Fishes in East China Sea: Syngnathiformes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张春霖 (1963) 东海鱼类志: 海龙目. 科学出版社, 北京.]
- Zhang CL, Cheng QT, Zheng BS, Li SZ, Zheng WL, Wang WY (1955) Report of Fish Survey in Yellow Sea and Bohai Sea: Syngnathiformes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张春霖, 成庆泰, 郑葆珊, 李思忠, 郑文莲, 王文滨 (1955) 黄渤海鱼类调查报告: 海龙目. 科学出版社, 北京.]
- Zhang CL, Zhang YW (1962) Fishes in South China Sea: Syngnathiformes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张春霖, 张有为 (1962) 南海鱼类志: 海龙目. 科学出版社, 北京.]
- Zhang F (1997) A study on the histology of digestive system of larval seahorse. Journal of Fishery Sciences of China, 4, 92–94. (in Chinese) [张峰 (1997) 日本海马仔鱼消化系统的组织学研究. 中国水产科学, 4, 92–94.]
- Zhang F, Wang GE (1991) The observation of histology of the pituitary gland of seahorse (*Hippocampus japonicus*). Journal of Dalian Fisheries College, 3, 28–34. (in Chinese with English abstract) [张峰, 王国恩 (1991) 日本海马 (*Hippocampus japonicus*) 脑垂体的组织学观察. 大连水产学院学报, 3, 28–34.]

- Zhang X, Vincent ACJ (2017) Integrating multiple datasets with species distribution models to inform conservation of the poorly-recorded Chinese seahorses. *Biological Conservation*, 211, 161–171.
- Zhang X, Vincent ACJ (2018) Predicting distributions, habitat preferences and associated conservation implications for a genus of rare fishes, seahorses (*Hippocampus* spp.). *Diversity and Distributions*, 24, 1005–1017.
- Zhang X, Vincent ACJ (2019a) Using cumulative human-impact models to reveal global threat patterns for seahorses. *Conservation Biology*, 33, 1380–1391.
- Zhang X, Vincent ACJ (2019b) Conservation prioritization for seahorses (*Hippocampus* spp.) at broad spatial scales considering socioeconomic costs. *Biological Conservation*, 235, 79–88.
- Zhang YH, Pham NK, Zhang HX, Lin JD, Lin Q (2014) Genetic variations in two seahorse species (*Hippocampus mohnikei* and *Hippocampus trimaculatus*): Evidence for Middle Pleistocene population expansion. *PLoS ONE*, 9, e105494.
- Zhang YH, Qin G, Wang X, Lin Q (2016) A new species of seahorse (Teleostei: Syngnathidae) from the South China Sea. *Zootaxa*, 4170, 384–392.
- Zhang YH, Qin G, Zhang HX, Wang X, Lin Q (2017) DNA barcoding reflects the diversity and variety of brooding traits of fish species in the family Syngnathidae along China's coast. *Fisheries Research*, 185, 137–144.
- Zhang ZH, Xu GJ, Xu LS, Wang Q (1994) Inhibitory effects of *Hippocampus* spp. extracts on L-glutamic acid induced Ca^{2+} influx in rats' neurons. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 13(4), 6–9. (in Chinese with English abstract) [张朝晖, 徐国钧, 徐珞珊, 王强 (1994) 五种海马提取物对L-谷氨酸致大鼠神经元钙内流的拮抗作用. *中国海洋药物*, 13(4), 6–9.]
- Zhang ZH, Xu GJ, Xu LS, Wang Q (1995) Research progress of domestic medicinal fishes of Syngnathidae. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 14(4), 26–29. (in Chinese) [张朝晖, 徐国钧, 徐珞珊, 王强 (1995) 国产海龙科药用鱼类研究进展. *中国海洋药物*, 14(4), 26–29.]
- Zheng BS, Zhang YW (1957) Seahorse. *Bulletin of Biology*, (7), 30–34. (in Chinese) [郑葆珊, 张有为 (1957) 海马. *生物学通报*, (7), 30–34.]

(责任编辑: 孙军 责任编辑: 李会丽)