

红树林水生动物栖息地功能及其渔业价值

徐姗楠¹, 陈作志², 李适宇^{1,*}

(1. 中山大学 环境科学与工程学院, 广州 510275;

2. 农业部海水养殖生态与质量控制重点开放实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘要:红树林生长于热带、亚热带海陆交界的生态敏感带,其根系为生活于潮间带高度异质环境下的生物提供了适宜生境:藻类、双壳类、甲壳类等大量附生于红树根部;红树的呼吸根、支柱根、树干、倒落的枝条和残骸等,与沉积物形成的松软基质为大量底栖动物提供栖息地,根部结构间的空隙成为虾类、蟹类和鱼类等游泳动物的优良避难所和索饵场。红树林凋落物以碎屑形式进入食物网,连同浮游植物、附生藻类和底栖微藻等,是红树林生态系统的碳循环重要组成部分,为红树林区水生动物提供了丰富的食物来源。可见,食物来源丰富、隐蔽性强、捕食压力低等特点使得红树林成为水生动物的理想栖息地,许多水生动物选择在其中的度过部分或完整生活史。另外,红树林也是重要经济动物(鱼、虾、蟹类)的育苗场,为近岸鱼类种群的补充和渔业活动提供支持。为合理开发红树林区渔业和有效保护红树林湿地生态系统,从生境价值、凋落物在红树林生态系统食物网中的贡献等方面总结了红树林栖息地功能及其渔业价值,提出今后的研究方向应将红树林的栖息地功能从其它河口、近岸栖息地中分离出来,甄别不同栖息地间的动态关系及其对渔业的影响。

关键词:红树林;栖息地功能;水生动物;食物网;渔业价值

The habitat functions of mangroves for aquatic fauna and fisheries

XU Shannan¹, CHEN Zuozhi², LI Shiyu^{1,*}

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2 Key Laboratory of Mariculture, Ecology and Quality Control, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: Mangroves grow mainly in the ecologically sensitive zones between land and sea in the tropical and subtropical regions. The root system of mangroves provides a suitable substratum in which many species of organisms thrive. The mangrove roots are overgrown by epibionts such as algae, bivalves and crustaceans, etc. The soft substratum in the complex structure provided by pneumatophores, prop roots, trunks, fallen branches and detritus forms habitat for various benthic species. And the space between roots provides shelter and food for motile fauna such as prawns, crabs and fishes. Leaf litter of mangrove is transformed into detritus, which is part of the mangrove food web along with plankton, epiphytic algae and microphytobenthos. By providing a high abundance of food and shelter, and low predation pressure, mangroves form an ideal habitat for a variety of aquatic animals, during part or all of their life cycles. Similarly, mangroves may function as nursery habitats for commercially important crab, prawn and fish species, and support offshore fish populations and fisheries. For the development of sustained fishery and conservation of the mangrove ecosystem, we reviewed the habitat functions of mangroves for aquatic fauna and fisheries including the habitat values of mangrove ecosystems and the importance of litter in the mangrove food web. Future researches should be focused on separating the roles of mangroves from those of estuaries and other offshore habitats, and investigating the effect of the dynamic relationship between different habitats on fisheries.

基金项目:“十一五”国家高技术研究发展计划(863 计划)重点项目(2007AA091703);中国博士后科学基金资助项目(20090460825);农业部海水养殖生态与质量控制重点开放实验室开放基金(2008B1204);中国科学院/广东省海洋生物重点实验室(LMB、LAMB 和 LMM)联合开放基金(LMB091009)

收稿日期:2009-04-29; 修订日期:2009-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: eesly@mail.sysu.edu.cn

Key Words: Mangrove; habitat use; aquatic fauna; food web; fisheries values

红树林生态系统具有高度的空间异质性、复杂性和丰富的物种多样性,较高的生产力水平支持沿岸地区的渔业及水生生物栖息和觅食^[1]。红树林为人类创造了可观的景观生态、水体净化、防浪减灾、自身药用和经济用材等巨大价值^[2]。尽管世界上一些国家和地区仍广泛分布着大面积的红树林,但过去几十年来的无序开发,导致红树林出现了生长退化和生存危机,生物量也呈持续下降趋势^[3-4]。

在各种类型生态系统中,河口生态系统的单位产值最高,这对于沿岸居民的生活具有重要意义^[5]。河口栖息地已被视为近岸渔业生产的重要驱动力:全球所有经济鱼类中约 30% 具有红树林依赖性,2002 年全球的捕捞产量中约有 3×10^7 t 来自于红树林区^[6]。大量研究表明,红树林在为林区生物提供索饵场、栖息地和避难所等方面发挥了重要作用。栖息于红树林生态系统中生活的生物,物种多样性丰富,但多数种类容易受敌害攻击或受到滨海地区人类活动的威胁。因此,在评价适宜某类生物生活的红树林或其它河口栖息地时,需要了解它们的生活史、生理生态特征及其与适宜栖息地之间动态镶嵌的相互作用过程。

相比国外对红树林栖息地功能的大量研究,国内的研究还处于起步阶段,主要集中于红树林区鱼类生物多样性的调查和经济鱼类产量的研究^[7-12]。本文以红树林区栖息的主要生物类群:底栖动物和游泳动物(主要是硬骨鱼类)为主,回顾并总结了红树林作为水生动物栖息地功能的主要研究进展,特别指出了凋落物等对红树林生态系统碳源的贡献、红树林对沿岸鱼类种群和渔业的影响等,旨在为我国开展红树林生态系统的研究和合理开发利用红树林区渔业资源提供启示。

1 红树林的栖息地功能

1.1 底栖动物

栖息于红树林区的底栖无脊椎动物种类丰富,常表现出显著的成带分布格局并定殖于异质的特定微环境中。不同高程红树林滩涂中,大型底栖动物群落分布的显著差异与潮汐和浸淹形成的异质环境梯度有关,受水文周期、有机物分布及沉积物特征等因素影响^[13-14]。

红树林生态系统中,以营碎屑食性的无脊椎动物占优势地位,大型底栖动物与林区基质关系密切。蟹类和腹足类摄食沉积物和粘附其中的细菌、微藻、小型底栖动物和碎屑等,并通过挖掘、移动等改变其理化性质^[15-16]。蟹类挖掘行为可提高厌氧层和上层潮水之间的水交换效率,如经过相手蟹挖掘的洞穴可在 1h 内完全淹没^[17]。

蟹类和腹足类是两类主要的食红树林繁殖体的底栖动物,在决定植物群落结构方面发挥了重要作用^[18]。研究表明,白骨壤(*Avicennia marina*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*) 和木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*) 植物的优势度与其胚轴的被捕食量呈反比。红树林与相手蟹间也存在着相互依存关系^[19]:红树为蟹类提供栖息地,而蟹类则通过选择性地啃食幼苗,减小红树植物间的竞争压力。除了相手蟹,陆栖蟹和寄居蟹也具有类似的选择性影响^[20],但有时蟹类的高捕食率对红树林再生也产生一定的负面效应^[21]。巴西红树林区的一种半陆生沙蟹(*Ucides cordatus*)几乎专以植物为食,大型公蟹每日消费其体重(干重)6%的干物质,约 3.3g^[22]。一些大型相手蟹具有攀树能力,并以新鲜树叶为食^[23]。研究者在东非红树林区也曾观察到底栖动物对红树林凋落物的竞争现象,如许多笋光螺(*Terebralia palustris*)均以相同的树叶为食以防止蟹类移动树叶^[24]。在澳洲和东非红树林区,方蟹是凋落物的主要消费者,并产生大量排泄物,在物质和能量循环方面起主导作用^[25],同时这些蟹类也大量摄食和掘取基质表层的有机物,并利用微生物以满足氮源需要^[26]。红树林区的食繁殖体动物,澳大利亚、马来西亚和巴拿马以方蟹占据优势地位;而在佛罗里达地区则以腹足类拟蟹守螺(*Cerithidea scalariformis*)和耳螺(*Melampus coffeus*)为主。

与邻近的其它近岸栖息地相比,红树林区聚集了更高密度的幼虾及其它甲壳类动物,其主要原因有 3 点^[1]:(1)红树林比其它邻近的近岸栖息地具有更高生产力并能提供更多食物;(2)由红树树干、根系和残骸构成的复杂结构、高浊度和柔软底质为动物躲避敌害提供了更大保护区域;(3)红树林产生的幼体滞留机制,

可防止浮游性幼虾被潮流分散程度加剧。

Dall 等^[27]根据亲虾产卵和仔虾栖息环境将对虾生活史分为 4 个不同类型,其中 2 个类型,亲虾均离岸产卵,它们的幼体洄游到仔虾较适宜的孵育场。在移居至离岸海区前,仔虾需要 6—20 周时间在孵育场成长为幼虾。孵育场一般主要由海草、藻类、红树林或盐沼植物等植被形式组成。在红树林区或更多在邻近潮沟中捕获的幼虾几乎都是红树林伴生虾类的幼体,如墨吉对虾(*Penaeus merguensis*)^[28]、印度对虾(*Penaeus indicus*)^[29]、长毛对虾(*Penaeus penicillatus*)^[30]等。许多红树林系统位于河口地区,尽管盐度变化剧烈,但对虾类丰度、生长与死亡率均无显著影响^[31]。幼虾多是广盐性,能适应较大的环境盐度变化,许多种类的大型仔虾和幼虾比早期的仔虾和成虾更能耐受低盐度^[27],甚至可将低盐度用来定位可能的孵育场所。

红树林是幼虾适宜的索饵场,Wassenberg 等^[32]采集了整个潮期的不同间隔的墨吉对虾幼体,发现随退潮离开红树林区的幼虾肠道饱满,推测虾类已经在红树林中完成取食;低潮前 1h,它们的肠道空虚,说明离开红树林后幼虾并未进食。食性研究表明虾类属杂食性,其食物组成包括甲壳类、双壳类、腹足类、多毛类、红树碎屑、鱼类、昆虫、孔虫类和硅藻等^[32]。红树林产生大量凋落物,虽然研究人员也曾在虾类肠道中发现和鉴定出红树碎屑^[30],但凋落物的纤维素并不能完全被虾类消化,或消化后不能吸收转化^[33]。

红树林系统提供浅水、异质性结构、高浊度、适合挖掘性虾类生活的底质等栖息环境,通过降低能见度、减少被捕食几率等因素,提高虾类的存活率^[29]。高潮带入的大型肉食性鱼类无法游入红树林区深处,而墨吉对虾幼虾可从红树边缘地带开始进行长距离游弋,不易受到鱼类捕食^[34]。红树林根系、树干、残骸和倒木等复杂结构为幼虾等逃避捕食提供保护,该保护机制与捕食者种类、捕食行为和栖息地复杂性有关^[35]。高浊度是红树林特征之一,浊度受潮流影响而变化剧烈。浊度高时可降低捕食者的攻击性,但那些利用化学感受机制进行捕食侦测的种类,在混浊水流中的捕食成功率反而更高^[36]。

许多红树林潮沟口水深较浅,且多为泥沼滩地。水流与滩涂间的高摩擦力不会形成潮喷,退潮时水流在潮沟口呈扇形展开,由于期间很少或不存在沿岸流,来自沼泽地的水流在下次涨潮时又被重新送回红树林内。红树林这种阻碍沿岸流的侧向运动可持续 2—8 周,即使雨季,水流也能在红树林和潮沟中停留数周^[30],这使浮游性虾类和其它幼体能在红树森林中停留且不会被潮流冲散。在红树林河口地带,潮沟上游的侧向阻碍作用比潮沟口处更显著,从而影响仔虾、幼虾的分布。研究表明,潮沟上游的虾类密度是潮沟主干道中的 5 倍以上,与潮沟口处的虾类密度相当^[34]。大量的研究证实,红树林湿地生态系统中存在着相对高密度的虾类幼体,但关于虾类与红树林间相互作用的确切机制仍不很清楚。研究者认为^[30],红树林可能以物理障碍形式阻挡水流、滞留幼虾,但该假设并不能很好解释为什么虾类选择海草等不同栖息地,而不停留在红树林沼泽中。从调查数据看,红树林的作用可能更多地体现在为幼虾提供红树林伴生细菌、底上和底内动物等食物(而非红树凋落物和碎屑),并为虾类躲避捕食者提供庇护。

1.2 游泳动物

红树林分布于全球 4 类热带地理区:印度-西太平洋、东太平洋、西大西洋和东大西洋。所有地理区中的游泳动物以硬骨鱼类为主,海水鱼类占优势地位,河口鱼类或洄游性鱼类在种类及数量上均超过半数^[37]。中国红树林湿地的游泳鱼类记录有 258 种,其中软骨鱼纲 4 种,硬骨鱼纲 254 种^[7]。东大西洋至西非沿岸,热带红树林区的鱼类物种数量虽略低于印度-西太平洋地区,但其丰度仍然较高。塞内加尔的大型河口,调查发现的鱼类超过 130 种;较小型的红树林生态系统,如几内亚的 Fatala 湖也有 100 多种鱼类。大西洋西部热带区域,从墨西哥湾至南美北部红树林中的鱼种数量基本相同,赤道附近大多数区域的鱼类均超过 100 种以上。在红树林分布的 4 类区域中,鱼类的优势种大体相似,但也存在一定差异。印度-西太平洋区中东南亚赤道区、以及其它区域中,石首鱼科(Sciaenidae)为优势种之一,分析认为这可能与该地区的降雨量、沿岸流进入河口区的程度有关。地理区域间及区域内淡水鱼类的比例差异显著。大西洋热带红树林中的淡水鱼类群落显著高于印度-西太平洋区及东太平洋,尤其南美河口鲕科(Siluridae)鱼类的物种多样性高^[38],西非红树林鱼类群落中以鲇科和丽鱼科(Cichlidae)鱼类居多^[39],但在非洲东部和澳洲海域,淡水种类在红树林鱼类区系中却

不占优势^[40]。

红树林的自然结构是影响鱼类分布的主要原因之一,植物呼吸根、支柱根、树干、倒落的树枝、叶片等为捕食生物提供结构复杂的栖息地,红树林区丰富的附着藻类、硅藻及红树伴生基质提供了鱼类丰富的食物来源^[41]。红树林通常位于浅海沉积区的潮间带,水流平缓、泥质基底、浊度紊乱、动植物丰富等特征也对栖息的鱼类影响显著。由于上述这些与红树林有关的生物与非生物因素,使红树林成为热带河口和泻湖中鱼类栖息的理想栖息地^[40]。

几乎所有生活在亚热带和热带红树林区的鱼类都是广盐性鱼类,能适应盐度从接近淡水(<1)到大于 35 间变化,对盐度的适应性决定其分布状况,盐度下降至约 25 时,多数热带海水鱼类不受渗透调节作用影响。热带红树林潮沟沿岸水域中盐度变化范围较大,雨季时可降低至 20—25 以下。孟加拉湾、南中国海部分海域等红树林区盐度很少超过 30,这些地区鱼类多样性较高^[42]。盐度不仅与河口鱼类的分布模式和存活率相关,也影响鱼类的代谢过程。

浊度也是影响亚热带和热带红树林生态系统幼鱼分布的主要因素之一。昆士兰沿岸大型河口海湾 Moreton 湾的浊度变化显著影响鱼类分布,其分布模式可分为:浊度耐受型、浊度不敏感型(相对数量极少)、以及浊度不耐受型^[43]。红树林区的多数鱼类均具有高浊度耐受力。混浊的红树林水域是幼鱼的育苗场和摄食场,并吸引各种鱼类聚集。对红树林吸引鱼类的解释存在 3 种假设:(1)捕食者数量下降;(2)食物供给丰富;(3)生存空间或避难所多样化^[40]。红树林区幼鱼的被捕食率很低,原因包括混浊的水流可有效降低依靠视觉的大型鱼类的捕食效率^[43]。此外,大型鱼类不适于在浅海区生活^[44],红树林区的结构可使小型鱼类藏匿其中逃避捕食^[45]。

红树林区与其邻近水域在鱼类饵料生物的数量与类型也存在显著差异^[46]。红树林系统的饵料生物丰富,尤其是碎屑、微生动植物、水生植物及其附着动植物。热带河口区的红树林提高了幼鱼食物来源的多样性和数量^[43],使得红树林区幼鱼密度显著高于其它邻近的近岸栖息地^[47]。此外,从旱季晚期到雨季中期的鱼类补充生长期间,红树林栖息地中浮游动物密度较高,这些新加入的鱼类多数营浮游动物食性,较高的浮游生物密度可以降低幼鱼的被捕食率。研究者在佛罗里达^[48]、所罗门群岛^[49]、澳大利亚^[34]、菲律宾^[50]等地的大量研究表明,红树林的特异性结构适合于鱼类栖息,支柱根结构中,鱼类群落组成与红树植物种类、被倒落树枝阻断的潮沟水流形态、以及底层土壤类型有关。栖息在支柱根中的伴生鱼类密度往往高于岛礁鱼类,并非因为红树林鱼类比岛礁鱼类更具有竞争优势,而是幼鱼更偏好于浅海的红树林区^[51]。其它一些地区通过移植红树林,鱼类群落多样性与丰度均有所提高^[52-53],这也是红树林根部结构重要性的体现。

栖息地的物理结构特征,如盐度、温度、扰动模式、底质、根部结构及各种因素间的相互作用也影响着红树林区鱼类分布。所罗门群岛的两类红树林河口区域,底质类型和红树种类分布均不同,其鱼类群落组成也同样存在差异:在红树残骸丰富的硬底质河口区,主要栖息的鱼类需要由残骸提供庇护结构,如雀鲷科(Pomacentridae)、天竺鲷科(Apogonidae)的一些种、以及笛鲷科(Lutjanidae)和鲈科(Serranidae)的幼鱼;而几乎没有残骸庇护的软底质河口区,上述的大部分种类都没有出现,而以挖掘性的鰕虎鱼科(Gobiidae)鱼类占据优势。Rönnbäck 等^[50]对菲律宾红树林区研究发现,红树呼吸根中的鱼类生物量显著高于支柱根,并认为呼吸根的高度有限,可使鱼类随大量海水自由进出而不受到根部结构阻挡,同时红树林区的鱼类食物来源更多集中在呼吸根中,支柱根中食物密度相对较小,鱼类在呼吸根中觅食更加容易。Verweij 等^[41]认为一些鱼类主要利用支柱根作为避难所,而其它种类主要在其中觅食。总体而言,红树林两种根部结构中分布的小型鱼类密度均较高,而大型肉食性鱼类的丰度则相对较低。

以上 3 种关于红树林作为躲避捕食者、提供食物与避难所的假设均十分重要,但根据鱼类对热带和亚热带红树林的依赖与利用程度,三者间的相对重要性随鱼类和红树林生态系统的性质而有所差异。

2 红树林食物网的碳源

2.1 红树凋落物的作用

1972 年 Odum 和 Heald 在经典的“物质输出假说”中提出^[54],红树植物为红树林湿地生态系统及邻近海

域中的栖息生物提供食物,来自红树林的高生产力中的部分向水域环境中输出,为次级消费者提供重要食物来源并支持渔业生产。Odum 的观点引起了研究者的广泛兴趣,并在过去 20 多年的研究发展中,逐步对该假说进行修正。通过稳定同位素、脂肪酸标志等自然示踪技术的运用,越来越多的研究认为^[55]:邻近水域生态系统食物网中最主要的碳流,并不总是源自红树林;红树林区的鱼虾等捕捞产量较高,也并非通过直接的食物链起作用,而是受到其它因素的影响,如红树林提供适宜的育苗场、避难所或提供了凋落物以外的其它食物来源等。不同环境和地理条件下,源自红树林中的有机物对其邻近水域生态系统的贡献也不同,在河流或河口生态系统中红树林有机物的贡献高于泻湖或陆地生态系统。

虽然红树林作为水生动物群落食源的重要性已被削弱,但红树林在潮间带食物网的主导地位却毋庸置疑。许多典型的红树林栖息动物搬动凋落物并以落叶为食,尤其是相手蟹^[56]、沙蟹^[22]和笋光螺^[24]等种类。因此,出现了一些关于无脊椎动物对红树林凋落物动态的影响,以及凋落物衰老状态分析等报道^[56],拓展了对红树林区其它初级生产者的营养关系研究领域,这同时也提出了一些新问题:当系统的开放程度增加,红树林与邻近水域生态系统间的物质交换发生变化,是否会减弱红树林凋落物对浅海底栖群落的支持作用,目前相关的研究仍十分缺乏。

2.2 其它有机碳源的作用

红树林湿地生态系统食物来源丰富,不同动物类群占据特定的营养生态位,林区动物对不同食源的利用模式差异显著^[57]。图 1 为红树林生态系统中以凋落物和藻类碎屑为基础的主要碳流途径与碳库,从中可看出蟹类和凋落物在碳流途径中的地位。相手蟹被认为是红树落叶的主要消费者之一,与其它动物相比,它对红树碳源的依赖程度最高^[58]。但当系统中其它有机碳源输入量较大时,一些种类的幼体对输入物质和底栖微藻的依赖性较高^[59-60]。短尾亚目等其它重要种群,如大额蟹属(*Metopograpsus*)^[61]以一定范围内的大型藻类为食,石扇蟹属(*Epixanthus*)、青蟹属(*Scylla*)等^[58, 61]捕食其它种类动物。软体动物在红树林附底动物区系中居第二位,摄食多样性程度也同样较高,如石磺属(*Onchidium*)、滨螺科(*Littorinidae*)等^[58]摄食树干或呼吸根上附生藻类,拟沼螺属(*Assimineae*)、拟蟹守螺属(*Cerithidea*)等利用地表有机物和底栖微藻,许多双壳类主动选择或被动地滤食悬浮物,耳螺等则摄食红树树叶或繁殖体^[62]。另外一些软体动物具有特殊的适应机制,如蛀木的船蛆科(*Teredinidae*)依靠具有固氮能力的共生细菌摄取食物中不足的氮^[57],长足螺科(*Oxynoeidae*)中一些种类,能保留摄取藻类的叶绿体进行光合作用,这亦被称为盗食质体(*kleptoplasty*)^[55]。

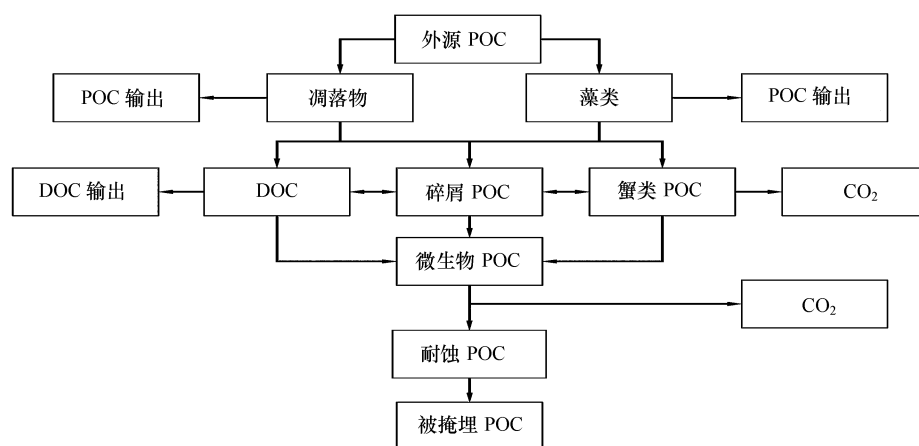


图 1 红树林生态系统中以凋落物和藻类碎屑为基础的主要碳流途径与碳库

Fig. 1 The major pathways and pools of carbon associated with leaf litter and algal detritus in mangrove systems

过去的研究多集中在红树林区的优势种群上,而对底内动物和小型底栖生物的关注较少。红树林动物群落的摄食选择、次级生产/消费率等综合研究数据仍很缺乏,消费者的不同初级食物来源的重要性、林区动物数量对食物加工过程的影响等仍不清楚。最近研究认为,在红树林还原性沉积物中的底内动物和小型底栖生

物间,可能存在着各种化能共生关系^[55]。在红树林生态系统中开展的实验表明,大型底栖动物如腹足类和沙蟹能显著改变底质环境,动物捕食的排斥性可显著提高微型附生植物的生物量^[63],从而间接改变了小型底栖动物群落的结构^[64]。不同食物来源的相对重要性、林区动物对有机质更新的影响,很大程度上由环境条件和动物群落组成决定,因此可能并不存在通用的“红树林食物网”关系。关于红树林系统动物群落的营养关系与构建机制有待深入研究。

2.3 红树林食物网模型

近 10a 来,研究红树林系统的食物网与能量流动的模型方法有了很大的进展^[65-68],极大地补充和完善了原先缺乏的系列基础数据,尤其是 Ecopath 软件^[69]。根据“简化食物网”的理念,使用者根据特定功能组分的食性关系,获得必需输入的数据后,可利用该模型构建系统的能量流动,评估系统变化对整个能量流动的潜在影响,快速反映和评价生态系统的状态。值得注意的是,虽然近来的研究强调潮间带食物网中底栖微藻和碎屑碳源的重要性^[58],而上述模型的功能组中都未包含底栖微藻。同位素示踪研究已经表明,红树林凋落物或源自红树林的碎屑是某些动物(如招潮蟹)的主要食源,若忽视了这个部分,可能给模型输出带来误差,并不可避免地将该误差传递到更高的营养级中^[67]。因此有必要在红树林生态系统开展特定对象的示踪研究与营养关系的室外实验,对实际可能产生的输出量进行模拟,并探求发展出更准确的组合方法并加以应用。

3 红树林作为近岸渔业生产的驱动力

过去 40 多年,全球已经进行了大量关于红树林与渔获物的关系研究^[70-74],表明捕捞量受区域内红树林相对丰度的影响。红树林区域面积(或直线范围)与林区虾类(尤其是墨吉对虾)捕捞量之间存在正相关关系^[39]。高渔业产量是评价红树林经济效益的关键指标^[75]。红树林区的重要经济渔业种类,被划分为河口依赖型以及海湾依赖型(非河口型),它们选择红树林作为主要栖息地,度过全部生活史或部分生活史阶段。如亲虾离岸产卵后,不同周期的卵飘散在水体中,成为浮游性幼体后游移或被潮流带入近岸红树林或河口水域,发育成亚成体或成虾后又离开河口或泻湖,重新回到远海或邻近的珊瑚礁水域^[76]。因此红树林充分发挥了其作为鱼、虾、蟹类等的育苗场、饵料场、补给站及避难所等功能,是连接各种不同类型栖息地的重要生态过渡带^[77]。

红树林湿地生态系统中动物幼体的丰度显著高于其它河口和近岸栖息地^[43],对鱼类繁衍和近岸渔业起着重要的支持作用。高生产力滩涂湿地的“物质输出”主要指溶解态和颗粒态营养物质与碎屑的被动运输,这一过程在支持近岸渔业的次级生产中占举足轻重的地位。营养物质在河口与近岸生态系统间的迁移、转化动力学过程复杂,用一般的物质输出模型不能满足^[78]。近来利用稳定同位素分析以及其它一些营养示踪技术研究表明^[79],河口的营养物质输出对远洋渔业影响较小或无影响;红树林系统输出的营养物质,仅直接贡献于有限区域内一些动物的食物网,如红树林林外潮沟。由于底栖和浮游生物可能有不同有机物来源,因此,利用稳定同位素的天然丰度等示踪技术研究红树林、海草和盐沼湿地对近岸渔业的贡献,并区分不同来源的贡献比例,在一定程度仍非常困难。

关于红树林与渔业生产的关系,多数研究者使用当地的捕捞数据来说明。在马来西亚,近岸渔业产量与红树林面积成正比^[80];在墨西哥湾,对虾捕捞量也与河口红树林植被面积呈正相关关系^[70];印尼每年鱼类登陆量与红树林面积成正比,一定面积的红树林存在是维持鱼类高产的保证^[81]。研究发现红树林特征(如边界和面积)对红树林和河口栖息鱼类组成有显著影响,而无红树林分布的澳洲东北海岸,影响鱼类捕捞量的唯一因素是纬度变化^[1, 73]。以上研究论证了鱼类产量对河口生境的依赖性,并揭示了红树林生态系统在海岸带资源可持续利用方面的重要性。在最近发展的一种结合生态学和生物物理学方法的评估框架中,重新定义了红树林系统与可持续渔业间的关系,可从红树林潮滩或湿地栖息地面积直接计算出对商业鱼类捕捞量的贡献,该方法优于传统的相关性分析方法。它以红树林区直线范围、潮间带面积或河口面积等作为参数,按全球红树林河口分布面积,估计出相关的商业捕捞量约占 20%—90%(图 2),其中热带河口型鱼类捕捞量范围在 21%—30%,红树林与虾类捕捞关系约占 38%,红树林面积与鱼类的捕捞关系占 53%,潮间带湿地面积与虾

类的捕捞关系占 54%^[77]。由于目前还无法快速更新模型所需的参数,包括红树林分布、商业捕捞统计、资源量变化和捕捞压力的影响等,该模型在反映不同鱼种、地域和时间范围内,商业捕捞量和红树林间关系变化还存在一定困难。

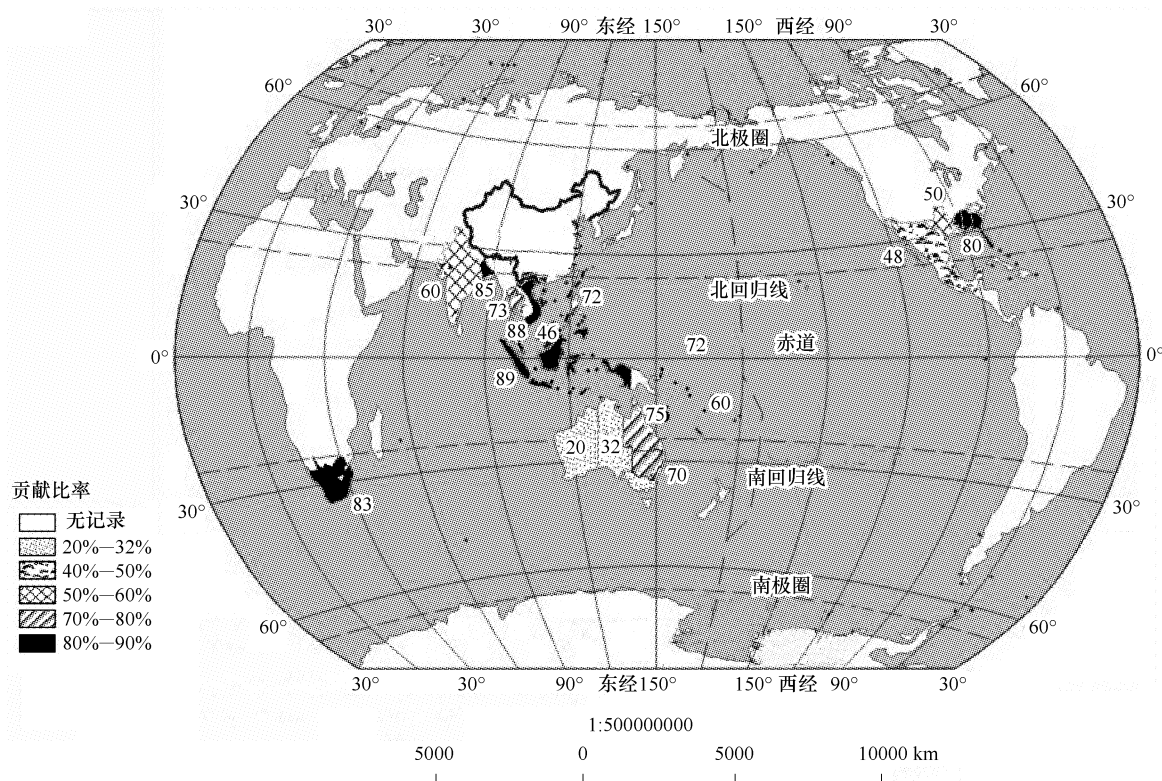


图2 红树林河口分布对世界商业鱼类捕捞量的贡献比率

Fig. 2 World map showing the percentage of commercial fish catch explained by either mangroves or estuarine presence from provided quantitative data for this linkage

另一方面,在以往的研究中,河口红树林或泻湖栖息地及其相互关系常被研究者们忽视^[82],它们对游泳生物的重要性体现在栖息地之间的组合方式、栖息地的可得性等。研究表明,加勒比海的鱼群在泻湖和海湾所占据各种各样的栖息地中,绝大多数鱼类首先选择长期被淹没的红树林潮沟作为其日间避难所,其它栖息地中的鱼类则在高潮时进入宽阔的潮间带红树林区觅食^[83],因此隶属于红树林区的渔业产量,可能并非起源于红树林栖息地本身。研究证实,红树林与海草床紧密相连的地区,鱼类丰度和物种多样性高于两者孤立的区域^[84]。泻湖栖息地中的许多鱼种在个体发育过程中,常在海草床、潮汐通道以及红树林之间洄游^[83],因此很难单独计算红树林在其中的贡献。

在全球河口红树林系统,大量的研究多以红树林鱼类群落及其与近海渔业的关系为主要内容^[51]。加勒比海、印度洋-太平洋地区中有成千上万的小岛,仅能容纳非河口型的红树林生长于海湾或泻湖中,虽然表面积远小于大型河口红树林,但对单个岛屿范围内珊瑚礁渔业的发展具有重要意义。因此,近年来研究的焦点开始更多地关注与鱼类洄游相关的,非河口型红树林(与海草床)及其与邻近珊瑚礁之间的连通性^[51]。通过对不同珊瑚礁鱼类的鉴定发现,部分鱼种在幼鱼阶段对红树林有依赖性,且具有种属特异性^[85]。耳石微化学研究也表明红树林与珊瑚礁鱼类间存在一定联系^[86]。因此,今后的研究方向应将红树林的作用从其它河口、沿岸栖息地中分离出来,这将有利于在适当的时空尺度进行栖息地保护及政府决策。

尽管目前仍没有直接证据证实,红树林依赖性与鱼类捕捞产量之间的关系,但许多研究已经从自然原因或人类影响造成的红树林滨海湿地的退化导致鱼类减产^[5],推断两者之间的紧密联系。因此,未来对滨海湿

地与渔业的关系研究,应建立在对各种栖息地之间连通性的清晰认识基础之上,并采用标准化的数据采集模式。鱼类栖息地组合的自然时空变化规律及影响有待深入研究。

References:

- [1] Manson F J, Loneragan N R, Skilleter G A, Phinn S R. An evaluation of the evidence for linkages between mangroves and fisheries: A synthesis of the literature and identification of research directions. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 2005, 43: 483-513.
- [2] Wang W Q, Wang M. *Mangrove in China*. Beijing: Science Press, 2007: 95-112.
- [3] Alongi D M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 2002, 29: 331-349.
- [4] Fan H Q. *Mangrove as a coastal environmental guarder*. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2000: 148.
- [5] Glaser M. Interrelations between mangrove ecosystems, local economy and social sustainability in Caete? Estuary, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 2003, 11: 265-272.
- [6] FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA)*. Rome: FAO, 2004.
- [7] He B Y, Fan H Q, Wang M, Lai T H, Wang W Q. Species diversity in mangrove wetlands of China and its causation analyses. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4859-4870.
- [8] Fan H Q, He B Y, Wei S Q. Influences of traditional fishing on the mangrove fisheries and management in Yingluo Bay, Guangxi Province. *Chinese Biodiversity*, 1996, 4(3): 167-174.
- [9] Fan H Q, Wei S Q, He B Y, Luo Y. The seasonal dynamics of nekton assemblages in mangrove-fringed tidal waters of Yingluo Bay, Guangxi. *Guangxi Sciences*, 1998, 5(1): 45-50.
- [10] He B Y, Fan H Q, Mo Z C. Study on species diversity of fishes in mangrove area of Yingluo Bay, Guangxi Province. *Journal of Tropical Oceanography*, 2001, 20(4): 74-79.
- [11] Lin P. *The synthetically scientific investigation of Zhangjiangkou mangrove wetland natural reserve in Fujian*. Xiamen: Xiamen University Press, 2001: 68-103.
- [12] Shi F S, Wang M, Wang W Q, Song C H. A review of the relationships between mangroves and fishes. *Marine Sciences*, 2005, 29(5): 54-59.
- [13] Lee S Y. Mangrove macrobenthos: Assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 2008, 59: 16-29.
- [14] Sarpedonti V, Sasekumar A. The abundance of diatom species on a low shore mangrove forest, Sementa Malaysia. *Wallaceana*, 1996, 77: 21-26.
- [15] Warren J H, Underwood A J. Effects of burrowing crabs on the topography of mangrove swamps in New South Wales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1986, 102: 223-225.
- [16] Smith T J, Boto K G, Frusher S D, Giddins R L. Keystone species and mangrove forest dynamics: The influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 33: 419-432.
- [17] Stieglitz T, Ridd P, Muller P. Passive irrigation and functional morphology of crustacean burrows in a tropical mangrove swamp. *Hydrobiologia*, 2000, 421: 69-76.
- [18] Smith T J, Chan H T, McIvor C C, Robblee M B. Comparisons of seed predation in tropical tidal forests from three continents. *Ecology*, 1989, 70: 146-151.
- [19] Bosire J O, Kairo J G, Kazungu J, Koedam N, Dahdouh-Guebas F. Predation on propagules regulates regeneration in a high-density reforested mangrove plantation. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 299: 149-155.
- [20] Lindquist E S, Carroll C R. Differential seed and seedling predation by crabs: Impacts on tropical coastal forest composition. *Oecologia*, 2004, 141: 661-671.
- [21] Dahdouh-Guebas F, Vermeir M, Tack J F, Van Speybroeck D, Koedam N. Propagule predators in Kenyan mangroves and their possible effect on regeneration. *Marine & Freshwater Research*, 1998, 49: 345-350.
- [22] Nordhaus I. Feeding ecology of the semi-terrestrial crab *Ucides cordatus* (Decapoda: Brachyura) in a mangrove forest in northern Brazil. Contribution No. 18. Centre for Tropical Marine Ecology, Bremen, Germany, 2004.
- [23] Sivasothi N. Niche preferences of tree-climbing crabs in Singapore mangroves. *Crustaceana*, 2000, 73: 25-38.
- [24] Fratini S, Cannicci S, Vannini M. Feeding clusters and olfaction in the mangrove snail *Terebralia palustris* (Linnaeus) (Potamididae: Gastropoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 261: 173-183.
- [25] Cannicci S, Burrows D, Fratini S, Smith III T J, Offenberg J, Dahdouh-Guebas F. Faunistic impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 2008, 89: 186-200.
- [26] Skov M W, Hartnoll R G. Paradoxical selective feeding on a lownutrient diet: Why do mangrove crabs eat leaves? *Oecologia*, 2002, 131: 1-7.
- [27] Dall W, Hill B J, Rothlisberg P C, Staples D J. The biology of the Penaeidae. *Advances in Marine Biology*, 1990, 27: 255-263.

- [28] Staples D J, Vance D J. Emigration of juvenile banana prawns *Penaeus merguensis* from a mangrove estuary and recruitment to offshore areas in the wet-dry tropics of the Gulf of Carpentaria, Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 1986, 27: 239-252.
- [29] Kenyon R A, Loneragan N R, Manson F J, Vance D J, Venables W N. Allopatric distribution of juvenile red-legged banana prawns (*Penaeus indicus* H. Milne Edwards, 1837) and juvenile white banana prawns (*Penaeus merguensis* De Man, 1888), and inferred extensive migration, in the Joseph Bonaparte Gulf, northwest Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 309: 79-108.
- [30] Chong V C, Sasekumar A, Leh M U C, D'Cruz R. The fish and prawn communities of a Malaysian coastal mangrove system, with comparisons to adjacent mud flats and inshore waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 31: 703-722.
- [31] Meager J J, Vance D J, Williamson I, Loneragan N R. Microhabitat distribution of juvenile *Penaeus merguensis* de Man and other epibenthic crustaceans within a mangrove forest in subtropical Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 294: 127-144.
- [32] Wassenberg T J, Hill B J. Diet and feeding behaviour of juvenile and adult banana prawns (*Penaeus merguensis* de Man) in the Gulf of Carpentaria, Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 94: 287-295.
- [33] Gonzalez-Pena Md C, Anderson A J, Smith D M, Moreira G S. Effect of dietary cellulose on digestion in the prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 2002, 211: 291-303.
- [34] Vance D J, Haywood M D E, Heales D S, Kenyon R A, Loneragan N R, Pendrey R C. Distribution of juvenile penaeid prawns in mangrove forests in a tropical Australian estuary, with particular reference to *Penaeus merguensis*. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 228: 165-177.
- [35] Meager J J, Williamson I, Loneragan N R, Vance D J. Habitat selection of juvenile banana prawns, *Penaeus merguensis* de Man: Testing the roles of habitat structure, predators, light phase and prawn size. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 324: 89-98.
- [36] Macia A, Abrantes K G S, Paula J. Thorn fish *Terapon jarbua* (Forskål) predation on juvenile white shrimp *Penaeus indicus* (H. Milne Edwards) and brown shrimp *Metapenaeus monoceros* (Fabricius): The effect of turbidity, prey density, substrate type and pneumatophore density. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 291: 29-56.
- [37] Blaber S J M. Tropical estuarine fishes: Ecology, exploitation and conservation. Oxford: Blackwell, 2000: 140-150.
- [38] Barletta M, Barletta-Bergen A, Saint-Paul U, Hubold G. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*, 2005, 66: 45-72.
- [39] Baran E, Hambrey J. Mangrove conservation and coastal management in southeast Asia: What impact on fishery resources? *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37: 431-440.
- [40] Blaber S J M. Mangroves and fishes: Issues of diversity, dependence, and dogma. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 80: 457-472.
- [41] Verweij M C, Nagelkerken I, de Graaf D, Peeters M, Bakker E J, van der Velde G. Structure, food and shade attract juvenile coral reef fish to mangrove and seagrass habitats: A field experiment. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 306: 257-268.
- [42] Pauly D. Ecology of coastal and estuarine fishes in Southeast Asia: A Philippine case study//Yáñez-Arancibia A, ed. *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration*. Mexico: UNAM Press, 1985: 499-514.
- [43] Blaber S J M, Blaber T G. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *Journal of Fish Biology*, 1980, 17: 143-162.
- [44] Shulman M J. Recruitment of coral reef fishes: Effects of distribution of predators and shelter. *Ecology*, 1985, 66: 1056-1066.
- [45] Laegdsgaard P, Johnson C. Why do juvenile fish utilise mangrove habitats? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 257: 229-253.
- [46] Nagelkerken I, Dorenbosch M, Verberk W C E P, Cocheret de la Morinie're E, van der Velde G. Importance of shallow-water biotopes of a Caribbean bay for juvenile coral reef fishes: Patterns in biotope association, community structure and spatial distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 202: 175-192.
- [47] Robertson A I, Duke N C. Mangrove fish communities in tropical Australia: Spatial and temporal patterns in densities, biomass and community structure. *Marine Biology*, 1990, 104: 369-379.
- [48] Thayer G W, Colby D R, Hettler Jr W F. Utilization of the red mangrove prop root habitat by fishes in south Florida. *Marine Ecology Progress Series*, 1987, 35: 25-38.
- [49] Blaber S J M, Milton D A. Species composition, community structure and zoogeography of fishes of mangroves in the Solomon Islands. *Marine Biology*, 1990, 105: 259-268.
- [50] Rönnbäck P, Macia A, Almqvist G, Schultz L, Troell M. Do penaeid shrimps have a preference for mangrove habitats? Distribution pattern analysis on Inhaca Island, Mozambique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55: 427-436.
- [51] Nagelkerken I, Faunce C H. Colonisation of artificial mangroves by reef fishes in a marine seascape. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 75: 417-422.
- [52] Bosire J O, Dahdouh-Guebas F, Walton M, Crona B I, Lewis III R R, Field C, Kairo J G, Koedam N. Functionality of restored mangroves: A review. *Aquatic Botany*, 2008, 89: 251-259.

- [53] Peng Y G, Chen G Z, She Z M, Yin M. Mangrove and planting-aquaculture ecological coupling system. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(6): 150-154.
- [54] Odum W E, Heald E J. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science*, 1972, 22: 671-737.
- [55] Bouillon S, Connolly R M, Lee S Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: Recent insights from stable isotope studies. *Journal of Sea Research*, 2008, 59: 44-58.
- [56] Lee S Y. Ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: A review. *Marine & Freshwater Research*, 1998, 49: 335-343.
- [57] Bouillon S, Koedam N, Raman A V, Dehairs F. Primary producers sustaining macro-invertebrate communities in intertidal mangrove forests. *Oecologia*, 2002, 130: 441-448.
- [58] Bouillon S, Moens T, Overmeer I, Koedam N, Dehairs F. Resource utilization patterns of epifauna from mangrove forests with contrasting inputs of local versus imported organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 278: 77-88.
- [59] Thongtham N, Kristensen E. Carbon and nitrogen balance of leaf-eating sesamid crabs (*Neopisesarma versicolor*) offered different food sources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65: 213-222.
- [60] Meziane T, Sanabe M C, Tsuchiya M. Role of fiddler crabs of a subtropical intertidal flat on the fate of sedimentary fatty acids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 270: 191-201.
- [61] Dahdouh-Guebas F, Giuggioli M, Oluoch A, Vannini M, Cannicci S. Feeding habits of non-ocypodid crabs from two mangrove forests in Kenya. *Bulletin of Marine Science*, 1999, 64: 291-297.
- [62] Proffitt C E, Devlin D J. Grazing by the intertidal gastropod *Melampus coffeus* greatly increases mangrove litter degradation rates. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 296: 209-218.
- [63] Kristensen E, Alongi D M. Control by fiddler crabs (*Uca vocans*) and plant roots (*Avicennia marina*) on carbon, iron, and sulfur biogeochemistry in mangrove sediments. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51: 1557-1571.
- [64] Carlén A, Ólafsson E. The effects of the gastropod *Terebralia palustris* on infaunal communities in a tropical tidal mud-flat in East Africa. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10: 303-311.
- [65] Manickchand-Heileman S, Arreguín-Sánchez F, Lara-Domínguez A, Soto L A. Energy flow and network analysis of Terminos Lagoon, SW Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 1998, 53: 179-197.
- [66] Ray S, Ulanowicz R E, Majee N C, Roy A B. Network analysis of a benthic food web model of a partly reclaimed island in the Sundarban mangrove ecosystem. *Indian Journal of Biological Systems*, 2000, 8: 263-278.
- [67] Wolff M, Koch V, Isaak V. A trophic flow model of the Caeté mangrove estuary (north Brazil) with considerations for the sustainable use of its resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50: 789-803.
- [68] Vega-Cendejas M E, Arreguín-Sánchez F. Energy fluxes in a mangrove ecosystem from a coastal lagoon in Yucatan Peninsula, Mexico. *Ecological Modeling*, 2001, 137: 119-133.
- [69] Christensen V, Pauly D. ECOPATH II-a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modeling*, 1992, 61: 169-185.
- [70] Turner R E. Intertidal vegetation and commercial yields of penaeid shrimp. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1977, 106: 411-416.
- [71] Pauly D, Ingles J. The relationship between shrimp yields and intertidal vegetation (mangrove) areas: A reassessment. In: IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities. IOC, UNESCO, Paris, Mexico, Ciudad de Carmen, 1986: 227-284.
- [72] Lee S Y. Relationship between mangrove abundance and tropical prawn production: a re-evaluation. *Marine Biology*, 2004, 145: 943-949.
- [73] Meynecke J O, Lee S Y, Duke N C, Warnken J. Relationships between estuarine habitats and coastal fisheries in Queensland, Australia. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 80: 773-793.
- [74] Fan H Q, Chen G H, He B Y, Mo Z C. Coastal wetland and management of Shankou mangroves. Beijing: Ocean Press, 2005: 120-126.
- [75] Barbier E B. Valuing the environment as input: review of applications to mangrove-fishery linkages. *Ecological Economics*, 2000, 35: 47-61.
- [76] Nagelkerken I, van der Velde G, Verberk W C E P, Dorenbosch M. Segregation along multiple resource axes in a tropical seagrass fish community. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 308: 79-89.
- [77] Crona B I, Rönnbäck P. Use of replanted mangroves as nursery grounds by shrimp communities in Gazi Bay, Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65: 535-544.
- [78] Ford P, Tillman P, Robson B, Webster I. Organic carbon deliveries and their flow related dynamics in the Fitzroy estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 51: 119-127.
- [79] Melville A J, Connolly R M. Spatial analysis of stable isotope data to determine primary sources of nutrition for fish. *Oecologia*, 2003, 136: 499-507.
- [80] Macnae W. Mangrove Forests and Fisheries. FAO, Rome, 1974.

- [81] Martosubroto P, Naamin N. Relationship between tidal forests and commercial shrimp production in Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, 1977, 18: 81-86.
- [82] Sheridan P, Hays C. Are mangroves nursery habitat for transient fishes and decapods. *Wetlands*, 2003, 23: 449-458.
- [83] Lugendo B R, Nagelkerken I, Kruitwagen G, van der Velde G, Mgya Y D. Relative importance of mangroves as feeding habitat for fish: A comparison between mangrove habitats with different settings. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 80: 595-607.
- [84] Jelbart J E, Ross P M, Connolly R M. Fish assemblages in seagrass beds are influenced by proximity of mangrove forests. *Marine Biology*, 2007, 150: 993-1002.
- [85] Dorenbosch M, Verberk W C E P, Nagelkerken I, van der Velde G. Influence of habitat configuration on connectivity between fish assemblages of Caribbean seagrass beds, mangroves and coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 334: 103-116.
- [86] Chittaro P M, Fryer B J, Sale P F. Discrimination of French grunts (*Haemulon flavolineatum*, Desmarest, 1823) from mangrove and coral reef habitats using otolith microchemistry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 308: 169-183.

参考文献:

- [2] 王文卿, 王琚. 中国红树林. 北京: 科学出版社, 2007: 95-112.
- [4] 范航清. 红树林, 海岸环保卫士. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000: 148.
- [7] 何斌源, 范航清, 王琚, 赖廷和, 王文卿. 中国红树林湿地物种多样性及其形成. *生态学报*, 2007, 27(11): 4859-4870.
- [8] 范航清, 何斌源, 韦受庆. 传统渔业活动对广西英罗港红树林区渔业资源的影响与管理对策. *生物多样性*, 1996, 4(3): 167-174.
- [9] 范航清, 韦受庆, 何斌源, 罗砚. 英罗港林缘潮水中游泳动物的季节动态. *广西科学*, 1998, 5(1): 45-50.
- [10] 何斌源, 范航清, 莫竹承. 广西英罗港红树林区鱼类多样性研究. *热带海洋学报*, 2001, 20(4): 74-79.
- [11] 林鹏. 福建漳江口红树林湿地自然保护区综合科学考察报告. 厦门: 厦门大学出版社, 2001: 68-103.
- [12] 施富山, 王琚, 王文卿, 宋春华. 红树林与鱼类关系的研究进展. *海洋科学*, 2005, 29(5): 54-59.
- [53] 彭友贵, 陈桂珠, 余忠明, 殷敏. 红树林滩涂海水种植——养殖生态耦合系统初步研究. *中山大学学报(自然科学版)*, 2004, 43(6): 150-154.
- [74] 范航清, 陈光华, 何斌源, 莫竹承. 山口红树林滨海湿地与管理. 北京: 海洋出版社, 2005: 120-126.