

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.06.002

运用生产力-易捕率指数对10种热带太平洋鲨鱼种群的研究

朱江峰, 戴小杰, 陈彦

(上海海洋大学海洋科学学院, 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室,
农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 热带太平洋是全球产量最高的金枪鱼渔场, 大洋性鲨鱼种群遭受金枪鱼渔业的影响受到国际社会的高度关注。由于缺少渔业统计资料, 一般难以运用标准的资源评估方法对这些兼捕的种类进行评估。笔者运用种群生产力-易捕率分析(productivity-susceptibility analysis, PSA)方法, 对热带太平洋10种鲨鱼遭受金枪鱼延绳钓渔业影响的风险程度进行比较分析, 并计算风险指数(vulnerability)。风险指数从低到高的种类依次为锤头双髻鲨(*Sphyrna zygaena*)、路氏双髻鲨(*S. lewini*)、无沟双髻鲨(*S. mokarran*)、尖吻鲭鲨(*Isurus oxyrinchus*)、狐形长尾鲨(*Alopias vulpinus*)、长鳍真鲨(*Carcharhinus longimanus*)、大青鲨(*Prionace glauca*)、镰状真鲨(*C. falciformis*)、浅海长尾鲨(*A. pelagicus*)、大眼长尾鲨(*A. superciliosus*)。表明大眼长尾鲨种群受延绳钓渔业影响而遭受过度捕捞的潜在风险最高, 锤头双髻鲨的风险最低。该研究结果可以为热带太平洋金枪鱼延绳钓渔业的管理和生态系统保护提供科学参考。

关键词: 鲨鱼; 风险指数; 过度捕捞; 延绳钓; 太平洋

中图分类号: S 937

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)06-0008-06

Productivity-susceptibility analysis of 10 shark populations in tropical Pacific Ocean

ZHU Jiangfeng, DAI Xiaojie, CHEN Yan

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University; Key Lab. of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: The tropical Pacific Ocean is the main tuna fishing area in the world. The impact of tuna longline fishery on pelagic shark populations has received considerable concerns recently. However, it is difficult to evaluate their population status using formal stock assessment models due to the lack of long-term fishery data. We conduct productivity-susceptibility analysis (PSA) to evaluate the vulnerability to overfishing for 10 pelagic shark species in the tropical Pacific Ocean. The 10 species with risk of overfishing suffered from longline fishery, in terms of vulnerability score, are as follows (in ascending order): smooth hammerhead (*Sphyrna zygaena*), scalloped hammerhead (*S. lewini*), great hammerhead (*S. mokarran*), shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*), common thresher (*Alopias vulpinus*), oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*), blue shark (*Prionace glauca*), silky shark (*C. falciformis*), pelagic thresher (*A. pelagicus*) and bigeye thresher (*A. superciliosus*). The results provide important information for conservation of pelagic sharks and pelagic ecosystem interacting with tuna longline fisheries in the tropical Pacific Ocean.

Key words: shark; vulnerability; overfishing; longline; Pacific Ocean

收稿日期: 2013-04-01; 修回日期: 2013-05-20

资助项目: 国家自然科学基金项目(41106118); 上海海洋大学博士启动基金(2011年度)

作者简介: 朱江峰(1978-), 男, 博士, 副教授, 从事渔业资源评估、渔业生态学研究。E-mail: jfzhu@shou.edu.cn

通信作者: 戴小杰(1966-), 男, 博士, 教授, 从事渔业资源评估、渔业生态学研究。E-mail: xjdai@shou.edu.cn

热带太平洋是全球产量最高的金枪鱼渔场, 大洋性鲨鱼是金枪鱼渔业常见的兼捕种类, 也是生态系统的重要种类, 对生态系统的功能和稳定性起着关键作用^[1]。鲨鱼种群遭受金枪鱼渔业的影响已经引起了国际社会的高度关注^[2]。随着国际上基于生态系统的渔业管理(ecosystem-based management, EBM)呼声的不断增强^[3], 渔业研究者和管理者需要掌握大洋性鲨鱼遭受金枪鱼渔业影响的程度, 认识其遭受过度捕捞的潜在风险, 从而提出针对性的管理措施。作为兼捕种类, 大多数鲨鱼缺乏长期的渔业统计数据, 因而难以运用标准的资源评估方法进行评估。

中国学者对鲨鱼资源的研究始于 20 世纪 50 年代, 主要涉及分类学与地理分布^[4-5]和解剖学^[6]。种群动态方面的研究以近海种类为主, 集中于繁殖生物学^[7-9]、种类组成和数量分布^[10-13]。近 10 年来, 中国研究者开始关注大洋性鲨鱼的种群动态研究, 如路氏双髻鲨(*Sphyrna lewini*)的种群内禀增长率^[14]、太平洋大青鲨(*Prionace glauca*)繁殖参数^[15]和年龄与生长^[16]、太平洋拟锥齿鲨(*Pseudocarcharias kamoharai*)的繁殖生物学^[17-18]、大西洋拟锥齿鲨的繁殖生物学^[19], 以及根据渔获率分析资源相对丰度变化^[20-21]。可见, 以往的研究以生活史和资源的基本分布特征为主, 商业性渔业对资源种群的影响风险研究则几乎处于空白。21 世纪初澳大利亚研究者提出了渔业的生态风险评估理论框架(ecological risk assessment, ERA)^[22], 在 EBM 领域内受到广泛认可。ERA 分为定性评价、半量化评价、量化评价 3 个阶段^[23]。量化评估即标准的渔业资源评估, 目前三大洋的鲨鱼种群因缺少长期的统计资料而难以进行资源评估, 而以种群生产力-易捕率分析(productivity-susceptibility analysis, PSA)为主要方法的半量化评价, 由于无需完善的渔业数据, 已在多个近海渔业中应用^[24-26]。PSA 也是多个渔业科学组织和专家组推荐的种群过度捕捞风险分析方法^[22,27], 2012 年首次应用于印度洋大洋性鲨鱼^[28], 并作为印度洋鲨鱼资源管理的科学依据之一。中国渔业资源研究中还未见有 PSA 运用的报道。文章采用 PSA 对热带太平洋 10 种鲨鱼[大青鲨、镰状真鲨(*Carcharhinus falciformis*)、长鳍真鲨(*C. longimanus*)、尖吻鲭鲨(*Isurus oxyrinchus*)、大眼长尾鲨(*Alopias superciliosus*)、浅海长尾鲨(*A. pelagicus*)、狐形长尾鲨(*A. vulpinus*)、无

沟双髻鲨(*S. mokarran*)、锤头双髻鲨(*S. zygaena*)、路氏双髻鲨]受金枪鱼延绳钓渔业影响的风险程度进行分析, 比较 10 种鲨鱼潜在的过度捕捞风险, 为金枪鱼渔业管理和生态系统保护提供科学参考。

1 材料与方法

PSA 分析基于生产力(productivity, P)和易捕率(susceptibility, S)2 个指数。 P 指数由 10 个种群基本生物学参数(种群内禀增长率、雌性最大年龄、雌性最大个体长度、雌性生长系数、自然死亡率、繁殖力、繁殖策略、补充成活率、雌性成熟年龄、平均营养级)所对应的生产力分值经过加权平均得到, 这些生物学参数来自文献记载^[2,29], 每个参数对应的生产力分值范围为 1~3, 权重分配为 1~4^[26]。例如对于雌性最大年龄参数, 最大年龄 < 10 年所对应的生产力分值取 3, 最大年龄 10~30 年所对应的生产力分值取 2, 最大年龄 > 30 年所对应的生产力分值取 1。这一划分标准体现了长寿命鱼种一般生产力较低、种群遭受干扰后恢复较慢的 K -选择性生态对策^[30]。其他生物学参数值对应的生产力分值划分标准见表 1, 具体含义见 PATRICK 等^[26]。

S 指数由种群与延绳钓渔业相互关系的 11 个参数(渔业管理措施强度、种群分布范围与渔业作业范围的水平重叠度和垂直重叠度、种群分布集群度、产卵群体生物量与原始产卵群体生物量之比、季节性洄游对种群与渔业重叠度的影响、鱼类行为对可捕率的影响度、捕捞选择率、捕获释放后的成活率、捕捞对象的经济价值、捕捞对栖息地的影响度)所对应的易捕率分值取平均值得到^[26]。例如, 种群分布范围与渔业作业范围的垂直重叠度参数: 若种群与渔业作业的垂直重叠区域小于种群垂直分布范围的 25%, 则该参数对应的易捕率分值为 1; 大于 25% 而小于 50%, 则易捕率分值为 2; 大于 50%, 则易捕率分值为 3。11 个参数中有关延绳钓渔业作业时空分布、渔业管理措施强度、捕捞选择率参数、生物量的信息来自太平洋 2 个区域性金枪鱼渔业管理组织(WCPFC 和 IATTC), 种群时空分布的信息来自文献记载(全球鱼类信息网, www.fishbase.org), 捕获释放后的成活率则根据金枪鱼渔业科学观察员的海上观察进行估计。各参数值对应的易捕率分值划分标准见表 1, 具体含义见文献^[26]。

计算 P 指数、 S 指数后，通过图示法 (P - S 图) 比较不同种类的过度捕捞风险。同时，根据这 2 个指数计算风险指数 (vulnerability, V) 来表示每个种类的过度捕捞风险：

$$V = \sqrt{(P - X_0)^2 + (S - Y_0)^2} \quad (1)$$

式中 P 、 S 分别为生产力和易捕率指数值， X_0 、 Y_0 为 P - S 图原点坐标， X_0 、 Y_0 的值可自行设定 (原点坐标不同，各种类 V 值相对于原点的位置不变)。风险指数越高，表示种群受渔业影响而过度捕捞的风险越大。

2 结果

热带太平洋 10 种鲨鱼生产力和易捕率指数计算时各参数值所对应的分值见表 1。10 种鲨鱼的生产力指数为 1.55 ~ 1.80，平均值 1.65 (图 1)，生产力指数由低到高的种类依次为浅海长尾鲨、路氏双髻鲨、尖吻鲭鲨、长鳍真鲨、锤头双髻鲨 (与大青鲨和镰状真鲨相等)、无沟双髻鲨、大眼长尾鲨、狐形长尾鲨。易捕率指数为 1.55 ~ 2.18，平均值 1.87。易捕率指数由低到高的种类依次为路氏双髻鲨、锤头双髻鲨、无沟双髻鲨、尖吻鲭鲨、长鳍真鲨 (与狐形长尾鲨相等)、大青鲨、浅海长尾鲨 (与镰状真鲨相等)、大眼长尾鲨 (图 1)。

10 种鲨鱼的生产力-易捕率指数分布 (P - S 图) 见图 2。生产力指数低而易捕率指数高的种群，具有较高的过度捕捞风险；生产力指数高而易捕率指数低的种群，具有较低的过度捕捞风险。因此，图 2 中接近坐标原点的种类，具有相对较小的过度捕捞风险。锤头双髻鲨、大青鲨和镰状真鲨的生产力相同，但易捕率不同，因而风险指数不同。风险指数 V 更直接的表明了各种类遭受过度捕捞的风险差异。风险指数最低的为锤头双髻鲨，最高的为大眼长尾鲨，表明大眼长尾鲨种群最易受延绳钓渔业的影响而遭受过度捕捞 (图 3)。

3 讨论

文章采用 PSA 对热带太平洋 10 种大洋性鲨鱼受金枪鱼延绳钓渔业影响的风险进行比较分析。热带太平洋延绳钓渔业兼捕的鲨鱼种类有近 20 种，但其他种类如长鳍鲭鲨 (*I. paucus*)、拟锥齿鲨、异鳞鲨 (*Scymnodon squamulosus*)，人们对其生物学信息掌握很少，因而生产力指数 P 无法计算，实际

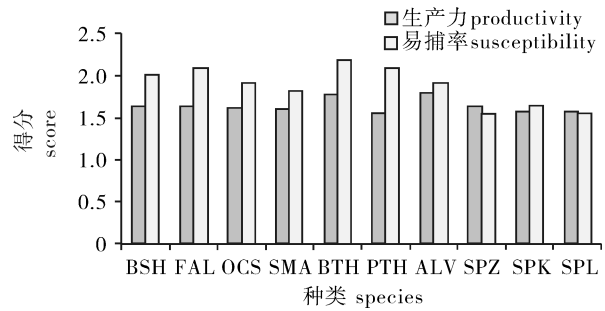


图 1 热带太平洋 10 种鲨鱼的生产力和易捕率指数值 BSH. 大青鲨; FAL. 镰状真鲨; OCS. 长鳍真鲨; SMA. 尖吻鲭鲨; BTH. 大眼长尾鲨; PTH. 浅海长尾鲨; ALV. 狐形长尾鲨; SPZ. 锤头双髻鲨; SPK. 无沟双髻鲨; SPL. 路氏双髻鲨; 后图同此 Fig. 1 Productivity and susceptibility scores of 10 pelagic shark species in the tropical Pacific Ocean

BSH. *P. glauca*; FAL. *C. falciformis*; OCS. *C. longimanus*; SMA. *I. oxyrinchus*; BTH. *A. superciliosus*; PTH. *A. pelagicus*; ALV. *A. vulpinus*; SPZ. *S. zygaena*; SPK. *S. mokarran*; SPL. *S. lewini*. The same case in the following figures.

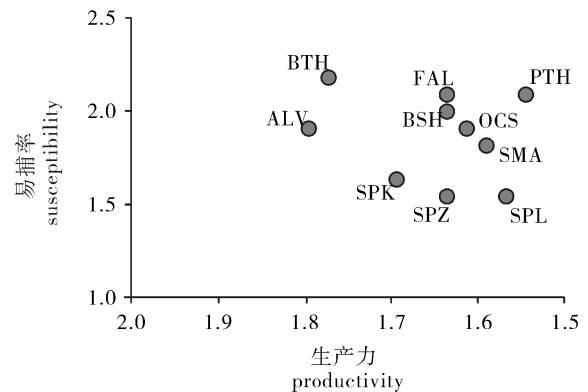


图 2 热带太平洋 10 种鲨鱼的生产力和易捕率指数分布 (注意原点坐标)

Fig. 2 Productivity-Susceptibility plot for 10 pelagic shark species in the tropical Pacific Ocean (Pay attention to the coordinate origin)

上这些种类在渔获中出现的频率也很低。文章的结果表明，3 种长尾鲨中大眼长尾鲨遭受延绳钓渔业影响的风险程度最高，近几年中国金枪鱼观察员在海上观测中也发现，这个种类在渔获中的比例比浅海长尾鲨和狐形长尾鲨高得多。3 种双髻鲨的风险程度总体较低 (图 3)，其主要原因可能是双髻鲨的主要栖息海域是沿岸和近海 (尤其是成熟之前)，在热带太平洋它们的主要分布范围是夏威夷群岛水域，而延绳钓作业的大部分水域位于公海。

在三大洋金枪鱼渔业中，中西太平洋渔业委员

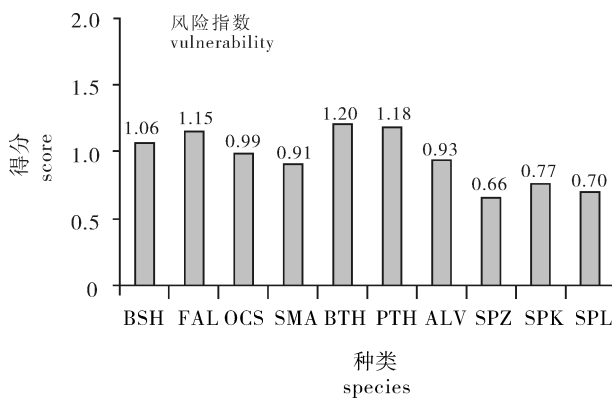


图3 热带太平洋10种鲨鱼的风险指数变化

图中立柱上方数字为指数值

Fig. 3 Vulnerability scores for 10 pelagic shark species in the tropical Pacific Ocean

The numbers on the columns are exponent quantity

会是最早提出在金枪鱼渔业管理中运用PSA进行风险评价的区域性金枪鱼渔业管理组织^[23]。然而,PSA并未在太平洋金枪鱼渔业中率先实施。2012年印度洋金枪鱼委员会率先开展了大洋性鲨鱼的PSA分析,评价金枪鱼延绳钓渔业对印度洋15种鲨鱼资源的潜在影响^[28],其中有9种与热带太平洋的研究种类相同,其风险指数从低到高依次为路氏双髻鲨、大青鲨、无沟双髻鲨、锤头双髻鲨、长鳍真鲨、镰状真鲨、浅海长尾鲨、大眼长尾鲨、尖吻鲭鲨。可见印度洋的尖吻鲭鲨风险高于大眼长尾鲨、浅海长尾鲨、镰状真鲨等多数常见种类,而热带太平洋尖吻鲭鲨的风险程度相对较低。需要注意的是,虽然PSA分析的基本原理相同,但计算生产力和易捕率指数的各个参数具有一定的差异。因此,这些种类在2个洋区的风险差别没有直接的可比性。PSA强调的是一定时空范围内的商业性渔业与生物种群的相互作用关系。因此,文章分析的10种鲨鱼遭受的风险程度,仅适用于热带太平洋的金枪鱼延绳钓渔业。

PSA被认为是处于定性分析和定量研究之间的半量化方法,原因是PSA分析过程中生产力指数和易捕率指数的计算是以各参数值的大小来确定分值,而非参数的实际值^[23,26]。PSA得到的是不同种群遭受同种渔业损害的相对风险或过度捕捞风险差异。这里的生产力指数是结合了种群生长、成熟、繁殖等种群基本信息的综合性指数,不同于生态学上一般所指的生产力概念^[30]。而易捕率描述

的是种群遭受捕捞的程度,跟种群自身的时空分布、个体行为和捕捞作业范围、渔具特点有关。但容易捕获的种类,其过度捕捞的风险不一定高,因为种群过度捕捞的风险还跟自身的更新和抵抗干扰的能力(即生产力)有关。需要指出的是,PSA分析中生物学参数对应的生产力分值确定,会随划分标准的不同而存在一定差异;种群与延绳钓渔业相互关系的参数所对应的易捕率分值确定,也存在一定的主观性。例如,准确估计捕获释放后的成活率需要借助实验或海上跟踪观测,国际上这方面的研究还非常少,因此,笔者是根据金枪鱼延绳钓科学观察员对捕获后状态的观察记录(如死亡、受伤的程度),来推测其被放回后的存活可能性。作为基于生态系统的渔业管理的尝试之一,PSA的理论和本身也在不断改进和完善中。

参考文献:

- [1] KITCHELL J F, ESSINGTON T E, BOGGS C H, et al. The role of sharks and longline fisheries in a pelagic ecosystem the Central Pacific[J]. *Ecosystems*, 2002, 5(2): 202-216.
- [2] CAMHI M D, PIKITCH E K, BABCOCK E A. Sharks of the open ocean: biology, fisheries and conservation[M]. UK: Blackwell Publishing, 2008: 166-186.
- [3] PIKITCH E K, SANTORA C, BABCOCK E A, et al. Ecosystem-based fishery management[J]. *Science*, 2004, 305(5682): 346-347.
- [4] 朱元鼎,王幼槐.论中国软骨鱼类的地理分布和区系特征[J]. *动物学报*, 1964, 16(4): 674-689.
- [5] 张清榕,杨圣云.中国软骨鱼类种类、地理分布及资源[J]. *厦门大学学报:自然科学版*, 2005, 44(B06): 207-211.
- [6] 孟庆闻,李文亮.鲨和鳐的解剖[M].北京:海洋出版社, 1991: 1-209.
- [7] 陈明茹,丘书院,杨圣云.闽南近海尖头斜齿鲨的生殖生物学研究[J]. *海洋学报*, 2001, 23(3): 92-98.
- [8] 陈明茹,丘书院,杨圣云,等.条纹斑竹鲨雌性生殖系统的初步研究[J]. *海洋科学*, 2002, 26(5): 52-54.
- [9] 朱江峰,戴小杰,李延.浙江沿海尖头斜齿鲨生物学特征的初步研究[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(5): 635-639.
- [10] 陈国宝,李永振,陈新军,等.南海重要珊瑚礁过渡性水域软骨鱼类的组成与分布[J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15(4): 461-467.
- [11] 舒黎明,李永振,陈国宝.南海主要珊瑚礁水域软骨鱼类的组成与分布[J]. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2006, 36(2): 277-280.
- [12] 黄梓荣,陈作志,曾晓光.南海北部海区软骨鱼类种类组成和资源密度分布[J]. *台湾海峡*, 2009, 28(1): 38-44.
- [13] 蒋新花,谢仰杰,黄良敏,等.闽江口及附近海域和厦门沿岸海域软骨鱼类种类组成和数量的时空分布[J]. *集美大学*

- 学报: 自然科学版, 2010, 15(6): 6-13.
- [14] 陈丕茂, 李永振, 袁蔚文. 路氏双髻鲨的种群统计分析[J]. 南方水产, 2006, 2(2): 15-19.
- [15] ZHU J, DAI X, XU L, et al. Reproductive biology of female blue shark *Prionace glauca* in the southeastern Pacific Ocean[J]. Environ Biol Fish, 2011, 91(1): 95-102.
- [16] 刘一淳, 朱国平, 戴小杰. 东太平洋大青鲨年龄与生长的研究[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2): 124-128.
- [17] 刘维, 戴小杰. 热带东太平洋海域拟锥齿鲨的繁殖生物学特性[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 21-25.
- [18] DAI X, ZHU J, CHEN X, et al. Biological observations on the crocodile shark *Pseudocarcharias kamoharai* from the tropical eastern Pacific Ocean [J]. J Fish Biol, 2012, 80(5): 1207-1212.
- [19] 戴小杰, 姜润林, 许柳雄, 等. 东大西洋热带海域拟锥齿鲨繁殖生物学特征调查[J]. 水生生物学报, 2010, 34(4): 890-892.
- [20] 戴小杰, 许柳雄, 宋利明, 等. 东太平洋金枪鱼延绳钓兼捕鲨鱼种类及其渔获量分析[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(4): 509-512.
- [21] 姜润林, 戴小杰, 许柳雄. 热带大西洋金枪鱼延绳钓兼捕鲨鱼种类组成和渔获率及其表温的关系[J]. 海洋渔业, 2009, 31(4): 389-394.
- [22] HOBDAJ A J, SMITH A, STOBUTZKI I. Ecological risk assessment for Australian Commonwealth fisheries. Final Report Stage 1. Hazard identification and preliminary risk assessment. Report Number R01/0934 [R]. Canberra, Australia: CSIRO Marine Research, 2004: 1-172.
- [23] HOBDAJ A J, SMITH A, WEBB H, et al. Ecological risk assessment for the effects of fishing: methodology [R]. Working Paper EB-WP14, 2nd regular session of the WCPFC Scientific Committee, Manila, Philippines, 2006: 1-5.
- [24] MILTON D A. Assessing the susceptibility to fishing of populations of rare trawl bycatch: sea snakes caught by Australia's northern prawn fishery[J]. Biol Conserv, 2001, 101(3): 281-290.
- [25] GRIFFITHS S P, BREWER D T, HEALES D S, et al. Validating ecological risk assessments for fisheries: assessing the impacts of turtle excluder devices on elasmobranch bycatch populations in an Australian trawl fishery[J]. Mar Freshw Res, 2006, 57(4): 395-401.
- [26] PATRICK W S, SPENCER P, LINK J, et al. Using productivity and susceptibility indices to assess the vulnerability of United States fish stocks to overfishing[J]. Fish Bull, 2010, 108(3): 305-322.
- [27] SMITH A D M, FULTON E J, HOBDAJ A J, et al. Scientific tools to support the practical implementation of ecosystem-based fisheries management[J]. ICES J Mar Sci, 2007, 64(4): 633-639.
- [28] MURUA H, COELHO R, SANTOS M N, et al. Preliminary Ecological Risk Assessment (ERA) for shark species caught in fisheries managed by the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC): Eighth Session of the IOTC Working Party on Ecosystems and Bycatch, Cape Town, South Africa, 17-19 September[C]. IOTC, 2012: 1-16.
- [29] COMPAGNO L J V. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of the shark species known to date [R]. FAO Fisheries Synopsis No. 125, Volume 4, Part 1. Rome: FAO, 2001: 1-269.
- [30] 沈国英, 黄凌风, 郭丰, 等. 海洋生态学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2010: 1-360.