

基于渔获量平均营养级的西印度洋渔业资源利用评价

鲁泉, 李楠, 方舟, 陈新军

Evaluation of fishery resources utilization in the western Indian Ocean based on mean trophic levels

LU Quan, LI Nan, FANG Zhou, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210303332>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[不同捕捞方式下印度洋北部鳶乌贼渔场时空分布差异](#)

Spatial and temporal distribution of fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern Indian Ocean with different fishing methods

上海海洋大学学报. 2021, 30(6): 1079 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103264>

[运用生物量动态模型评估印度洋长鳍金枪鱼资源](#)

Stock assessment of albacore (*Thunnus alalunga*) in the Indian Ocean using biomass dynamics model

上海海洋大学学报. 2018, 27(2): 259 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301973>

[主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况](#)

Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 344 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202467>

[舟山近岸海域虾类种类组成与数量分布及其变动趋势](#)

Species composition and quantitative distribution of shrimp and its changing tendency in Zhoushan coastal waters

上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 580 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301968>

[印度洋长鳍金枪鱼栖息地指数模型的构建与验证](#)

Construction and verification of a habitat suitability index model for the Indian Ocean albacore tuna

上海海洋大学学报. 2020, 29(2): 268 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190202533>

文章编号: 1674-5566(2022)02-0512-12

DOI:10.12024/jsou.20210303332

基于渔获量平均营养级的西印度洋渔业资源利用评价

鲁 泉^{1,2}, 李 楠¹, 方 舟^{1,3,4,5,6}, 陈新军^{1,3,4,5,6}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业农村部渔业渔政管理局, 北京 100125; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 6. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘 要: 西印度洋是世界上重要的作业海域, 评价渔业资源利用状态是实现其资源科学管理和可持续发展的基础。根据联合国粮农组织(FAO)提供的 1950—2018 年西印度洋海域渔获量数据, 结合渔获种类的营养级(trophic level, TL), 分析 69 年间西印度洋海域渔获物平均营养级(mean trophic level, MTL)和营养级平衡指数(fishing in balance index, FiB)的变动情况, 以此评价渔业资源的开发利用情况。研究表明, 1950—2018 年西印度洋海域渔获量呈上升趋势, 按其渔获量增长趋势可划分为 1950—1982 年、1983—2005 年和 2006—2018 年 3 个阶段, 其中长头小沙丁鱼(*Sardinella longiceps*)渔获量最高。渔获物 MTL 呈先下降后上升再稳定的变动趋势, 按渔获量增长趋势划分的 3 个阶段, 其 MTL 分别为 3.49 ± 0.14 、 3.71 ± 0.06 和 3.71 ± 0.03 , 高营养级渔获物(TL > 3.25)的 MTL 分别为 4.04 ± 0.04 、 4.09 ± 0.04 和 4.13 ± 0.01 , 高营养级渔获物(TL > 3.25)的平均营养级与总渔获物的平均营养级变化趋势相似。FiB 指数总体呈现上升趋势, 3 个阶段的平均值分别为 0.0998 ± 0.1659 、 0.8041 ± 0.1849 和 0.9782 ± 0.0670 。分析认为: 1950—1982 年西印度洋海域早期渔获量相对较低, 并随着长头小沙丁鱼等低营养级渔获量的增加, MTL 和 FiB 呈波动下降趋势; 1983—2005 年, 随着高营养级渔获量的增加, MTL 和 FiB 呈逐渐升高趋势; 2006—2018 年, MTL 和 FiB 相对稳定处在一个高位值。研究表明, 目前西印度洋海域渔业资源状况良好, 生态系统结构和功能稳定, 该海域仍具有较大的开发潜力。

关键词: 西印度洋; 渔业资源; 平均营养级; 资源评价

中图分类号: S 932.2 **文献标志码:** A

海洋渔业资源是认知和发展海洋的重要基础, 发展海洋渔业不仅能够为人类提供优质的蛋白质, 同时也能够促进社会和经济的发展^[1-2]。自上世纪五六十年代起, 随着海洋捕捞生产技术的提高以及人类对食物需求的增加, 海洋渔业资源出现了捕捞过度的现象, 甚至一些重要作业渔场出现资源衰退现象^[3-4]。根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)2020 年《世界渔业和水产养殖状况》报告统计, 目前海洋渔业资源中 34.2% 的鱼类种群存在生物学捕捞过度, 并且这一趋势仍在发展^[5]。为此, 国内外学者^[6-7]针对世界渔业资源开发和利用状况, 提出了以生态系统为基础的

渔业管理模式, 以实现渔业资源的可持续发展。

渔获物平均营养级(mean trophic level, MTL)可通过分析渔获物营养级的变化, 反映海洋捕捞对种群结构的影响, 这对评价渔业资源可持续利用状况具有指导意义^[8-9]。西印度洋海域(51 区)位于非洲东海岸至印度、斯里兰卡以西, 包括阿拉伯海在内的 $30^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{S}$ 海域, 该海域因其优越的海洋环境成为众多渔业资源的重要作业渔场^[10-11]。近年来, 随着西印度洋海域捕捞努力量的增加, 其渔获种类及产量也逐年增加, 已有学者^[12-15]对该海域金枪鱼产量及营养级的变动进行了长期分析, 但对西印度洋整个海域渔业资源利用状况研究甚少。因此, 根据 FAO 对西

收稿日期: 2021-03-14 修回日期: 2021-05-14

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901404); 上海市科技创新行动计划(19DZ1207502)

作者简介: 鲁 泉(1980—), 男, 博士研究生, 研究方向为渔业政策与管理。E-mail: 13910819647@163.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

印度洋海域统计的渔获量数据,采用渔获量平均营养级作为渔业资源可持续利用评价的指标,对 1950—2018 年西印度洋海域的平均营养级进行分析,评价其资源的开发利用状态,为该海域渔业资源的可持续开发提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

根据联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 对印度洋海域渔区的划分,选取西印度洋海域的渔获数据进行分析。渔获量(捕捞产量)数据来自 FAO 官网 (<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>),时间范围为 1950—2018 年。根据 FAO 海洋生物种类的确定依据,将渔获物的种类统计到科、属,并且依据 Fishbase (<https://www.fishbase.de/>) 提供的海洋生物营养级进行渔获物营养级的确定。对于不能明确到种的渔获物营养级,采用该科属种的营养级的平均值进行分析^[16]。

分析主要经济渔获物的产量与营养级关系,为此对水生植物、鲸鱼和海鸟等其他海洋哺乳动物不进行分析。依据鱼类摄食食物的生态类型将其食性划分为浮游生物食性、游泳生物食性和底栖动物食性,统计分析的渔获种类及相应的营养级见表 1。

1.2 研究方法

渔业资源可持续开发利用是渔业管理的目标之一,对渔获物的种类、产量以及营养级分布的分析是研究鱼类群落生态系统结构和功能的重要途径之一,这可作为判断捕捞行为对海洋渔业资源影响的依据之一^[17-19]。根据 PAULY 等^[8]方法计算渔获物的平均营养级:

$$T_{Ly} = \sum (T_{Li} \cdot Y_{iy}) / \sum Y_{iy} \quad (1)$$

式中: T_{Ly} 为 y 年渔获量的平均营养级; T_{Li} 为 i 渔获物的营养级; Y_{iy} 为 i 渔获物 y 年的渔获量。

为了消除渔获物受环境影响波动较大的浮游生物、游泳生物和底栖动物对平均营养级造成的影响,采用高营养级 (TL > 3.25) 的 MTL_{3.25} 进一步分析渔获物营养级的年际变动^[17]。

此外,为了更科学评估捕捞产量对渔业生态系统的影响,采用营养级平衡指数 (fishing in balance index, FiB) 作为衡量渔获物营养级的指标^[20]:

$$I_{\text{FiB}} = \log[Y_i \cdot (1 / T_E)^{T_{Li}}] - \log[Y_0 \cdot (1 / T_E)^{T_{L0}}] \quad (2)$$

式中: I_{FiB} 为营养级平衡指数; Y_i 为 i 年渔获量; T_E 为营养转换率,取 0.1^[21]; T_{Li} 为 i 年渔获量的平均营养级; Y_0 为基准年渔获量,取初始年份 (1950 年); T_{L0} 为基准年渔获量的平均营养级。渔获量与 MTL 关系采用相关性分析,拟合度由显著性水平来确定^[15]。

2 结果

2.1 渔获量

根据统计分析,西印度洋海域渔获量呈现逐年上升趋势,大致分为 3 个阶段:1950—1982 年、1983—2005 年和 2006—2018 年 (图 1)。1950—1982 年,其年渔获量从 33.94 万 t 增长到 118.48 万 t,增长速度缓慢,年平均渔获量小于 100 万 t; 1983—2005 年,其年渔获量从 103.86 万 t 增长到 310.91 万 t,增长速度逐渐增加,平均渔获量在 200 万 t 左右; 2006—2018 年,其年渔获量从 278.59 万 t 增长到 397.58 万 t,增长速度较快,年平均渔获量在 300 万 t 左右。

表 1 西印度洋主要渔获种类营养级

Tab. 1 Trophic level of main fishing species in the western Indian Ocean

物种 Fishing Species	营养级 MTL	物种 Fishing Species	营养级 MTL
刺尾鱼科 <i>Acanthuridae</i>		黑纹条鲷 <i>Zonichthys nigrofasciata</i>	4.17
刺尾鱼属 <i>Acanthurus</i>		真鲨科 <i>Carcharhinidae</i>	
红海刺尾鱼 <i>Acanthurus sohal</i>	2.00	真鲨属 <i>Carcharhinus</i>	
鼻鱼属 <i>Naso</i>		短尾真鲨 <i>Carcharhinus brachyurus</i>	4.50
单角鼻鱼 <i>Naso unicornis</i>	2.17	镰状真鲨 <i>Carcharhinus falciformis</i>	4.50
长尾鲨科 <i>Alopiidae</i>		长鳍真鲨 <i>Carcharhinus longimanus</i>	4.16
长尾鲨属 <i>Alopias</i>		大青鲨鱼属 <i>Prionace</i>	
浅海长尾鲨 <i>Alopias pelagicus</i>	4.50	大青鲨 <i>Prionace glauca</i>	4.24
狐形长尾鲨 <i>Alopias vulpinus</i>	4.50	斜锯牙鲨属 <i>Rhizoprionodon</i>	
海鲂科 <i>Ariidae</i>		尖吻斜锯牙鲨 <i>Rhizoprionodon acutus</i>	4.33
海鲂属 <i>Arius</i>		沙锥齿鲨科 <i>Carchariidae</i>	
巨海鲂 <i>Arius gigas</i>	3.10	锥齿鲨属 <i>Carcharias</i>	
金眼鲷科 <i>Berycidae</i>		锥齿鲨 <i>Carcharias taurus</i>	4.49
金眼鲷属 <i>Beryx</i>		刺鲨科 <i>Centrophoridae</i>	
红金眼鲷 <i>Beryx splendens</i>	4.13	刺鲨属 <i>Centrophorus</i>	
鲆科 <i>Bothidae</i>		大西洋刺鲨 <i>Centrophorus granulosus</i>	4.13
鲆属 <i>Bothus</i>		宝刀鱼科 <i>Chirocentridae</i>	
豹纹鲆 <i>Bothus pantherinus</i>	3.50	宝刀鱼属 <i>Chirocentrus</i>	
犀鲛科 <i>Bregmacerotidae</i>		宝刀鱼 <i>Chirocentrus dorab</i>	4.50
犀鲛属 <i>Bregmaceros</i>		长颌宝刀鱼 <i>Chirocentrus nudus</i>	4.19
麦氏犀鲛 <i>Bregmaceros maclellandi</i>	3.30	丽鱼科 <i>Cichlidae</i>	
叶吻银鲛科 <i>Callorhynchidae</i>		天使鱼属 <i>Pterophyllum</i>	
叶吻银鲛属 <i>Callorhynchus</i>		天使鱼 <i>Pterophyllum scalare</i>	2.80
南非叶吻银鲛 <i>Callorhynchus capensis</i>	3.45	鲱科 <i>Clupeidae</i>	
鲹科 <i>Carangidae</i>		脂眼鲱属 <i>Etrumeus</i>	
若鲹属 <i>Carangoides</i>		脂眼鲱 <i>Etrumeus teres</i>	3.49
橙点若鲹 <i>Carangoides bajad</i>	4.50	小沙丁鱼属 <i>Sardinella</i>	
鲹属 <i>Caranx</i>		金带小沙丁鱼 <i>Sardinella gibbosa</i>	2.85
六带鲹 <i>Caranx sexfasciatus</i>	4.50	长头小沙丁鱼 <i>Sardinella longiceps</i>	2.41
蓝鳍鲹 <i>Caranx melampygus</i>	4.49	拟沙丁鱼属 <i>Sardinops</i>	
马拉巴裸胸鲹 <i>Caranx malabaricus</i>	4.36	南非拟沙丁鱼 <i>Sardinops sagax</i>	2.43
及达叶鲹 <i>Caranx djeddaba</i>	3.32	鲷属 <i>Tenualosa</i>	
圆鲹属 <i>Decapterus</i>		云鲷 <i>Tenualosa ilisha</i>	2.04
红尾圆鲹 <i>Decapterus akaadi</i>	3.69	鲷科 <i>Coryphaenidae</i>	
无齿鲹属 <i>Gnathanodon</i>		鲷属 <i>Coryphaena</i>	
黄鹂无齿鲹 <i>Gnathanodon speciosus</i>	3.84	鲷 <i>Coryphaena hippurus</i>	4.37
大甲鲹属 <i>Megalaspis</i>		舌鲷科 <i>Cynoglossidae</i>	
大甲鲹 <i>Megalaspis cordyla</i>	3.66	舌鲷属 <i>Cynoglossus</i>	
拟鲹属 <i>Pseudocaranx</i>		半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	3.42
黄带拟鲹 <i>Pseudocaranx dentex</i>	4.39	鲳科 <i>Dasyatidae</i>	
鲳属 <i>Seriola</i>		鲳属 <i>Dasyatis</i>	
黄尾鲳 <i>Seriola lalandi</i>	4.07	尖嘴鲳 <i>Dasyatis zugei</i>	3.73
长鳍鲳 <i>Seriola rivoliana</i>	4.34	鸡笼鲳科 <i>Drepanidae</i>	
高体鲳 <i>Seriola dumerili</i>	4.50	鸡笼鲳属 <i>Drepane</i>	
似鲹属 <i>Scomberoides</i>		斑点鸡笼鲳 <i>Drepane punctata</i>	3.32
长颌似鲹 <i>Scomberoides lysan</i>	4.50	鲷科 <i>Echeneidae</i>	
康氏似鲹 <i>Scomberoides commersonianus</i>	4.48	鲷属 <i>Echeneis</i>	
革似鲹 <i>Scomberoides tol</i>	4.43	鲷 <i>Echeneis naucrates</i>	3.36
细鲹属 <i>Selaroides</i>		鳞虾科 <i>Euphausiidae</i>	
金带细鲹 <i>Selaroides leptolepis</i>	3.53	鳞虾属 <i>Euphausia</i>	
鲳属 <i>Trachinotus</i>		南极磷虾 <i>Euphausia superba</i>	2.20
非洲鲳 <i>Trachinotus africanus</i>	3.72	蛇鲭科 <i>Gempylidae</i>	
狮鼻鲳 <i>Trachinotus blochii</i>	3.74	棘鳞蛇鲭属 <i>Ruwettus</i>	
条鲷属 <i>Zonichthys</i>		棘鳞蛇鲭 <i>Ruwettus pretiosus</i>	4.34

续表 1

物种 Fishing Species	营养级 MTL	物种 Fishing Species	营养级 MTL
蛇鲭属 <i>Gempylus</i>		马拉巴笛鲷 <i>Lutjanus malabaricus</i>	4.46
蛇鲭 <i>Gempylus serpens</i>	3.74	无须鲳科 Merlucciidae	
银鲈科 Gerreidae		无须鲳属 <i>Merluccius</i>	
银鲈属 <i>Gerres</i>		南非无须鲳 <i>Merluccius capensis</i>	4.29
短体银鲈 <i>Gerres abbreviatus</i>	3.07	鲷科 Mugilidae	
长身钻嘴鱼 <i>Gerres oblongus</i>	3.50	鲷属 <i>Mugil</i>	
仿石鲈科 Haemulidae		鲷鱼 <i>Mugil cephalus</i>	2.32
石鲈属 <i>Pomadasys</i>		金线鱼科 Nemipteridae	
银石鲈 <i>Pomadasys argenteus</i>	3.42	金线鱼属 <i>Nemipterus</i>	
点石鲈 <i>Pomadasys kaakan</i>	3.46	日本金线鱼 <i>Nemipterus japonicus</i>	3.77
条纹石鲈 <i>Pomadasys taeniatus</i>	4.02	柔鱼科 Ommastrephidae	
六鳃鲨科 Hexanchidae		柔鱼属 <i>Ommastrephes</i>	
六鳃鲨属 <i>Hexanchus</i>		柔鱼 <i>Ommastrephes bartramii</i>	3.20
灰六鳃鲨 <i>Hexanchus griseus</i>	4.28	龙虾科 Palinuridae	
旗鱼科 Istiophoridae		龙虾属 <i>Panulirus</i>	
旗鱼属 <i>Istiophorus</i>		波纹龙虾 <i>Panulirus homarus</i>	3.20
平鳍旗鱼 <i>Istiophorus platypterus</i>	4.50	对虾科 Penaeidae	
枪鱼属 <i>Makaira</i>		对虾属 <i>Penaeus</i>	
蓝枪鱼 <i>Makaira mazara</i>	4.50	印度对虾 <i>Penaeus indicus</i>	2.70
大西洋蓝枪鱼 <i>Makaira nigricans</i>	4.50	斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	2.60
四鳍旗鱼属 <i>Tetrapturus</i>		对虾 <i>Penaeus orientalis</i>	2.30
尖吻四鳍旗鱼 <i>Tetrapturus angustirostris</i>	4.50	短沟对虾 <i>Penaeus semisulcatus</i>	2.70
锯鳞四鳍旗鱼 <i>Tetrapturus pfluegeri</i>	4.28	五棘鲷科 Pentacerotidae	
乳香鱼科 Lactariidae		拟五棘鲷属 <i>Pseudopentaceros</i>	
乳香鱼属 <i>Lactarius</i>		李氏拟五棘鲷 <i>Pseudopentaceros richardsoni</i>	3.50
乳香鱼 <i>Lactarius lactarius</i>	3.97	盖刺鱼科 Pomacanthidae	
鼠鲨科 Lamnidae		盖刺鱼属 <i>Pomacanthus</i>	
鲭鲨属 <i>Isurus</i>		斑纹刺盖鱼 <i>Pomacanthus maculosus</i>	2.67
尖吻鲭鲨 <i>Isurus oxyrinchus</i>	4.50	石鲈科 Pomadasysidae	
鼠鲨属 <i>Lamna</i>		胡椒鲷属 <i>Plectorhinchus</i>	
太平洋鼠鲨 <i>Lamna ditropis</i>	4.50	少耙胡椒鲷 <i>Plectorhinchus lessonii</i>	3.46
尖吻鲈科 Latidae		肖氏胡椒鲷 <i>Plectorhinchus schotaf</i>	3.82
尖吻鲈属 <i>Lates</i>		红唇胡椒鲷 <i>Plectorhinchus sordidus</i>	3.99
尖吻鲈 <i>Lates calcarifer</i>	4.35	鲑鱼科 Pomatomidae	
裸颊鲷科 Lethrinidae		鲑属 <i>Pomatomus</i>	
裸颊鲷属 <i>Lethrinus</i>		鲑 <i>Pomatomus saltatrix</i>	4.50
黑点裸颊鲷 <i>Lethrinus harak</i>	3.56	梭子蟹科 Portunidae	
纵带裸颊鲷 <i>Lethrinus lentjan</i>	4.21	梭子蟹属 <i>Portunus</i>	
黄尾裸颊鲷 <i>Lethrinus mahsena</i>	3.43	远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	3.00
小齿裸颊鲷 <i>Lethrinus microdon</i>	3.79	军曹鱼科 Rachycentridae	
橘带裸颊鲷 <i>Lethrinus obsoletus</i>	3.39	军曹鱼属 <i>Rachycentron</i>	
半带裸颊鲷 <i>Lethrinus semicinctus</i>	3.32	军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	3.96
黄唇裸颊鲷 <i>Lethrinus xanthochilus</i>	3.67	尖犁头鳐科 Rhynchobatidae	
单列齿鲷属 <i>Monotaxis</i>		尖犁头鳐属 <i>Rhynchobatus</i>	
单列齿鲷 <i>Monotaxis grandoculis</i>	3.19	及达尖犁头鳐 <i>Rhynchobatus djiddensis</i>	3.60
笛鲷科 Lutjanidae		鹦嘴鱼科 Scaridae	
叉尾鲷属 <i>Aphareus</i>		大鹦嘴鱼属 <i>Bolbometopon</i>	
锈色细齿笛鲷 <i>Aphareus rutilans</i>	3.67	驼峰大鹦嘴鱼 <i>Bolbometopon muricatum</i>	2.67
笛鲷属 <i>Lutjanus</i>		鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	
紫红笛鲷 <i>Lutjanus argentimaculatus</i>	3.58	青点鹦嘴鱼 <i>Scarus ghobban</i>	2.00
白斑笛鲷 <i>Lutjanus bohar</i>	4.11	桃鹦嘴鱼 <i>Scarus persicus</i>	2.00
火斑笛鲷 <i>Lutjanus fulviflamma</i>	3.99	石首鱼科 Sciaenidae	
驼背笛鲷 <i>Lutjanus gibbus</i>	3.62	白姑鱼属 <i>Argyrosomus</i>	
四带笛鲷 <i>Lutjanus kasmira</i>	3.60	腋斑白姑鱼 <i>Argyrosomus hololepidotus</i>	3.82

续表 1

物种 Fishing Species	营养级 MTL	物种 Fishing Species	营养级 MTL
大西洋白姑鱼 <i>Argyrosomus regius</i>	4.29	斑点九刺鲳 <i>Cephalopholis argus</i>	4.48
牙鲷属 <i>Otolithes</i>		半点九刺鲳 <i>Cephalopholis hemistiktos</i>	4.14
红牙鲷 <i>Otolithes ruber</i>	3.60	鳃棘鲷属 <i>Plectropomus</i>	
眶棘鲷科 <i>Scolopsidae</i>		蠕线鳃棘鲷 <i>Plectropomus pessuliferus</i>	4.28
眶棘鲷属 <i>Scolopsis</i>		侧牙鲷属 <i>Variola</i>	
黑带眶棘鲷 <i>Scolopsis monogramma</i>	3.51	侧牙鲷 <i>Variola louti</i>	4.33
鲭科 <i>Scombrida</i>		鱈科 <i>Sillaginidae</i>	
刺鲛属 <i>Acanthocybium</i>		鱈属 <i>Sillago</i>	
沙氏刺鲛 <i>Acanthocybium solandri</i>	4.40	多鳞鱈 <i>Sillago sihama</i>	3.29
舵鲣属 <i>Auxis</i>		鲷科 <i>Sparidae</i>	
圆舵鲣 <i>Auxis tapeionosoma</i>	4.13	棘鲷属 <i>Acanthopagrus</i>	
纺锤鲷属 <i>Elagatis</i>		双带棘鲷 <i>Acanthopagrus bifasciatus</i>	3.39
纺锤鲷 <i>Elagatis bipinnulata</i>	3.59	黄鳍棘鲷 <i>Acanthopagrus latus</i>	3.15
鲷鱼属 <i>Euthynnus</i>		长棘属 <i>Argyrops</i>	
鲷 <i>Euthynnus yaito</i>	4.50	高体四长棘鲷 <i>Argyrops spinifer</i>	4.47
裸狐鲣属 <i>Gymnosarda</i>		冬鲷属 <i>Cheimerius</i>	
裸狐鲣 <i>Gymnosarda unicolor</i>	4.50	紫背冬鲷 <i>Cheimerius nufar</i>	3.54
鲣属 <i>Katsuwonus</i>		鲟科 <i>Sphyrnidae</i>	
鲣 <i>Katsuwonus pelamis</i>	4.35	鲟属 <i>Sphyaena</i>	
羽鳃鲐属 <i>Rastrelliger</i>		大鲟 <i>Sphyaena barracuda</i>	4.50
羽鳃鲐 <i>Rastrelliger kanagurta</i>	3.19	斑条鲟 <i>Sphyaena jello</i>	4.50
狐鲣属 <i>Sarda</i>		钝鲟 <i>Sphyaena obtusata</i>	4.49
东方狐鲣 <i>Sarda orientalis</i>	4.21	双髻鲨科 <i>Sphyrnidae</i>	
马鲛属 <i>Scomberomorus</i>		双髻鲨属 <i>Sphyrna</i>	
康氏马鲛 <i>Scomberomorus commerson</i>	4.50	锤头双髻鲨 <i>Sphyrna zygaena</i>	4.50
金枪鱼属 <i>Thunnus</i>		虾蛄科 <i>Squillidae</i>	
长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	4.31	口虾蛄属 <i>Oratosquilla</i>	
黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacores</i>	4.34	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	2.80
大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	4.49	鲷科 <i>Stromateidae</i>	
蓝鳍金枪鱼 <i>Thunnus thynnus</i>	3.93	鲷属 <i>Pampus</i>	
青甘金枪鱼 <i>Thunnus tonggol</i>	4.50	银鲷 <i>Pampus argenteus</i>	3.12
鲉科 <i>Scorpaenidae</i>		黑褐方头鲷 <i>Pampus cinereus</i>	3.45
无鳔鲉属 <i>Helicolenus</i>		合齿鱼科 <i>Synodontidae</i>	
黑腹无鳔鲉 <i>Helicolenus dactylopterus</i>	3.81	龙头鱼属 <i>Harpadon</i>	
猫鲨科 <i>Scyliorhinidae</i>		龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	4.20
猫鲨属 <i>Scyliorhinus</i>		狗母鱼科 <i>Synodontidae</i>	
西非猫鲨 <i>Scyliorhinus cervigoni</i>	3.78	蛇鲻属 <i>Saurida</i>	
乌贼科 <i>Sepiidae</i>		多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	4.40
无针乌贼属 <i>Sepiella</i>		花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>	4.48
曼氏无针乌贼 <i>Sepiella maindroni</i>	3.55	燧鲷科 <i>Trachichthyidae</i>	
鲈科 <i>Serranidae</i>		胸棘鲷属 <i>Hoplostethus</i>	
石斑鱼属 <i>Epinephelus</i>		大西洋胸棘鲷 <i>Hoplostethus atlanticus</i>	4.3
宝石石斑鱼 <i>Epinephelus areolatus</i>	3.58	带鱼科 <i>Trichiuridae</i>	
橙点石斑鱼 <i>Epinephelus bleekeri</i>	3.90	带鱼属 <i>Trichiurus</i>	
黄点石斑鱼 <i>Epinephelus caeruleopunctatus</i>	3.72	白带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	4.45
网纹石斑鱼 <i>Epinephelus chlorostigma</i>	3.99	马蹄螺科 <i>Trochidae</i>	
棕点石斑鱼 <i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	4.14	马蹄螺属 <i>Trochus</i>	
白点石斑鱼 <i>Epinephelus labriformis</i>	3.86	马蹄螺 <i>Trochus maculatus</i>	2.10
小牙石斑鱼 <i>Epinephelus microdon</i>	3.94	剑鱼科 <i>Xiphiidae</i>	
弓斑石斑鱼 <i>Epinephelus morrhua</i>	3.97	剑鱼属 <i>Xiphias</i>	
多鳞石斑鱼 <i>Epinephelus polylepis</i>	3.84	剑鱼 <i>Xiphias gladius</i>	4.49
巨石斑鱼 <i>Epinephelus tawina</i>	4.13	海鲂科 <i>Zeidae</i>	
波纹石斑鱼 <i>Epinephelus undulosus</i>	3.80	海鲂属 <i>Zeus</i>	
九刺鲷属 <i>Cephalopholis</i>		海鲂鱼 <i>Zeus capensis</i>	4.50

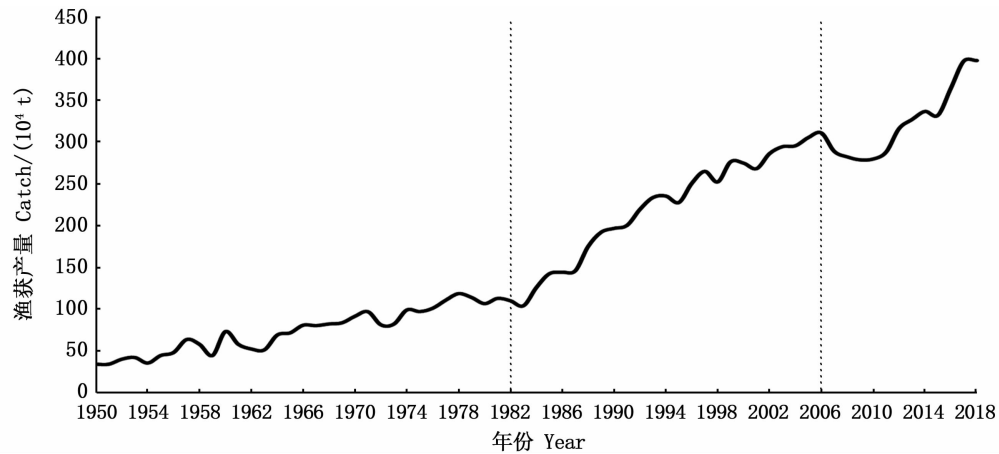


图 1 1950—2018 年西印度洋年渔获量分布图

Fig. 1 Annual catch in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

根据渔获物种类统计,西印度洋海域渔获种类共计 267 种,隶属 34 目、103 科、125 属。1950—2018 年渔获物中累计渔获量超过 300 万 t 的经济种类主要有:长头小沙丁鱼 (*Sardinella longiceps*)、鲹 (*Katsuwonus pelamis*)、黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacores*)、犬牙石首鱼 (*Cynoscion regalis*)、龙头鱼 (*Harpadon nehereus*)、羽鳃鲈 (*Rastrelliger kanagaruta*)、海鲂 (*Arius thalassinus*)、带鱼 (*Trichiurus lepturus*)、斑节对虾 (*Penaeus monodon*)、鼠鲨 (*Lamna nasus*)、康氏马鲛 (*Scomberomorus commerson*) 和大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*),见图 2。其中,长头小沙丁鱼的累计渔获量最高,为 1 714 万 t,约占总渔获量的 14.56%;鲹、黄鳍金枪鱼和犬牙石首鱼的累计渔获量分别为 992、979、933 万 t,分别占总渔获量的 8.43%、8.32% 和 7.93%;龙头鱼和羽鳃鲈的累计渔获量分别 775、678 万 t,分别占总渔获量的 6.58% 和 5.76%;海鲂、带鱼、斑节对虾、鼠鲨、康

氏马鲛和大眼金枪鱼的总渔获量分别为 405、396、368、303、279 和 267 万 t,分别占总渔获量的 3.44%、3.37%、3.13%、2.58%、2.37% 和 2.27%。

根据主要经济渔获物年渔获量的变化(图 3),其渔获量总体呈上升趋势且呈现种类交替变化。长头小沙丁鱼年渔获量的波动较为剧烈,1950—1994 年间,其年渔获量经历了 2 次较大的波动,于 1968 年(30.83 万 t)和 1981 年(32.68 万 t)分别达到峰值;1994—2018 年间,长头小沙丁鱼的年渔获量逐年增加,2002—2010 年间小幅变动,并在 2014 年达到峰值(63.2 万 t)。鲹和黄鳍金枪鱼的年渔获量分别在 2004 年(43.83 万 t)和 2006 年(50.42 万 t)达到峰值。1950—1986 年间,其他主要经济渔获物年渔获量缓慢增加,1986—2018 年间,其他主要经济渔获物的渔获量呈现交替增加的变动趋势。

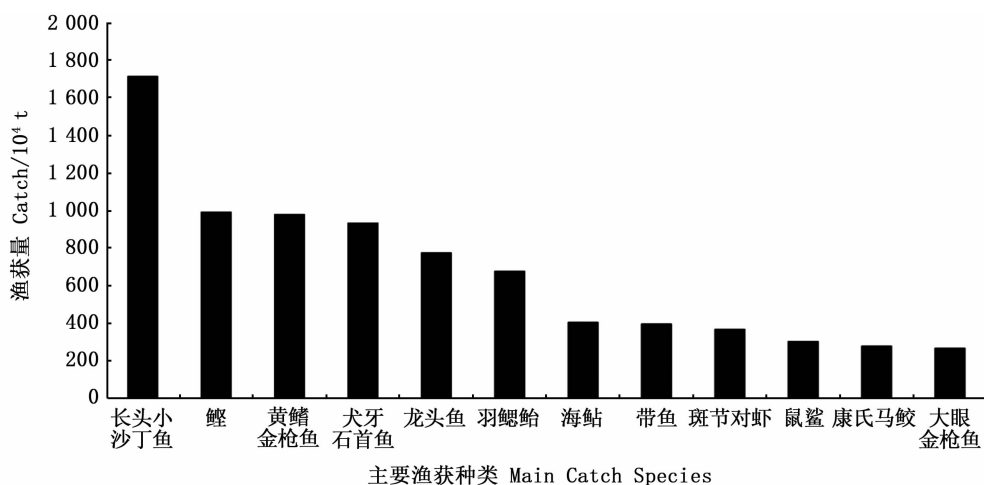


图2 1950—2018年西印度洋主要经济渔获物总渔获量

Fig. 2 Total catch of main economic species in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

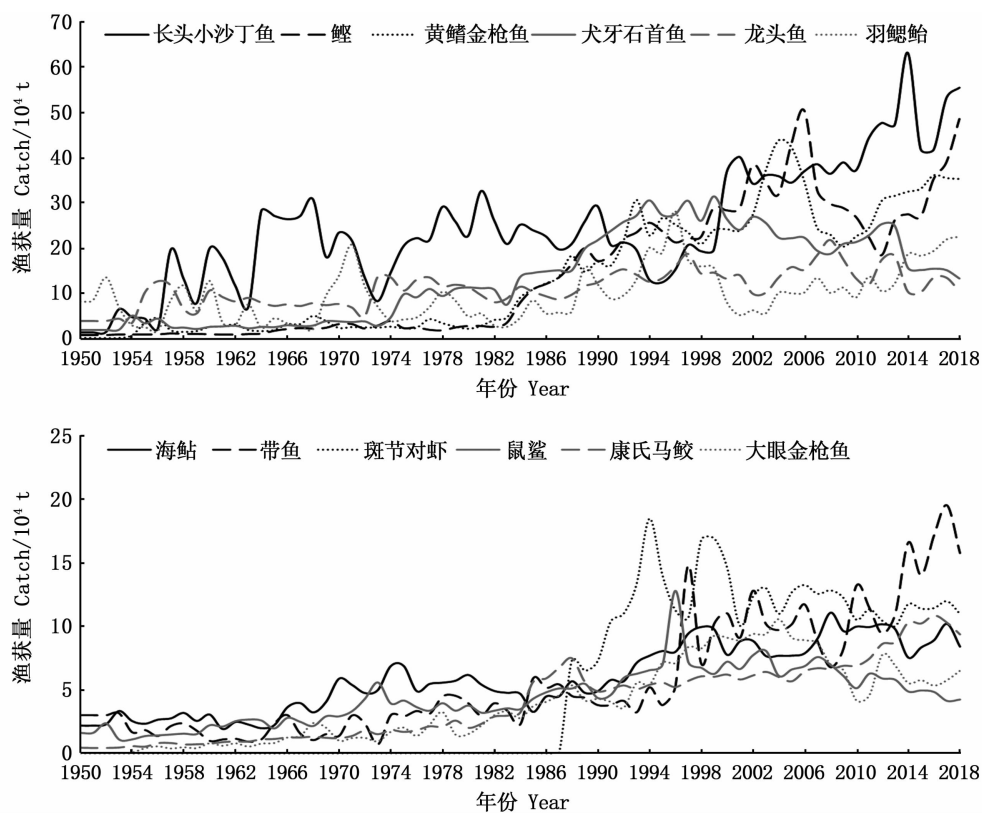


图3 1950—2018年西印度洋主要经济渔获物年渔获量变化

Fig. 3 Annual catch of main economic species in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

2.2 渔获物平均营养级

总体上,西印度洋海域 MTL 呈先下降后上升再稳定的变动趋势,根据变化趋势可将 MTL 分为 3 个主要阶段:1950—1982 年、1983—2005 年和 2006—2018 年(图 4)。1950—1982 年,MTL 总体呈波动性下降趋势,年间变化较大,MTL 值为

3.25 ~ 3.85,平均值为 3.49 ± 0.14 ;1983—2005 年,MTL 总体呈波动增长趋势,年间变化较小,MTL 值为 3.54 ~ 3.78,平均值为 3.71 ± 0.06 ,其平均营养级略高于 1950—1982 年的平均值;2006—2018 年 MTL 总体处在一个相对平稳的高峰值,MTL 值为 3.62 ~ 3.78,平均值为 $3.71 \pm$

0.03,其平均营养级与1983—2005年的平均值基本持平。

分析发现,1950—1982年,西印度洋海域 MTL 与渔获量呈负相关关系($r = -0.3711, P < 0.05$),MTL 随着渔获量的波动呈现相反变动趋

势;1983—2005年,MTL 随着渔获量的增加而逐渐升高,两者呈正相关关系($r = 0.7509, P < 0.01$);2006—2018年,渔获量出现持续增加,但 MTL 维持在一定水平,两者相关趋势不明显($r = 0.0908, P > 0.05$)。

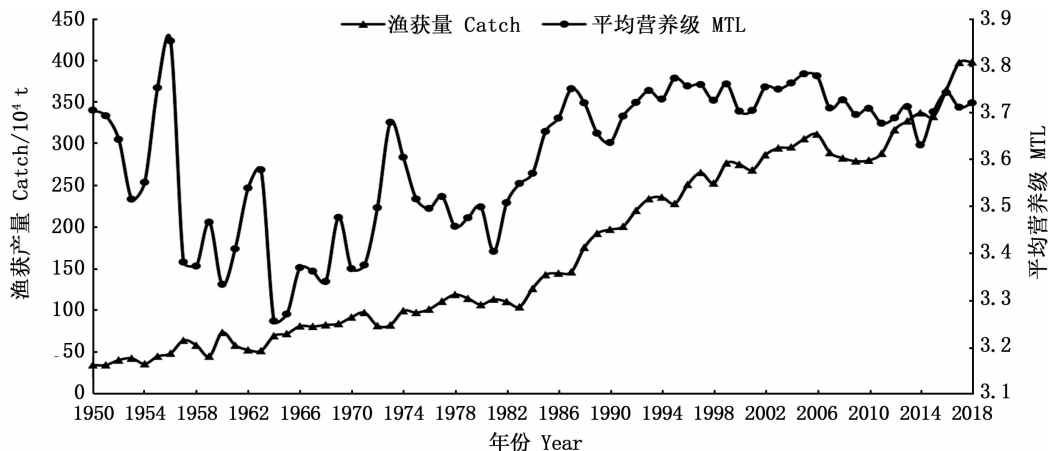


图4 1950—2018年西印度洋渔获量与平均营养级的变化

Fig. 4 Relationship between annual catch and mean trophic levels in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

西印度洋海域中高营养级渔获物(TL > 3.25)的 $MTL_{3.25}$ 在不同阶段同样表现出不同的变化趋势(图5)。1950—1982年, $MTL_{3.25}$ 呈波动下降趋势,其 $MTL_{3.25}$ 值为3.94~4.11,平均值为 4.04 ± 0.04 ;1983—2005年, $MTL_{3.25}$ 呈持续上升趋势,其 $MTL_{3.25}$ 值为4.00~4.15,平均值为

4.09 ± 0.04 ;2006—2018年, $MTL_{3.25}$ 继续维持在高水平值,其 $MTL_{3.25}$ 值为4.11~4.16,平均值为 4.13 ± 0.01 。整体分析,高营养级渔获物(TL > 3.25)的平均营养级与渔获物的平均营养级变化趋势相似($r = 0.4456, P < 0.001$)。

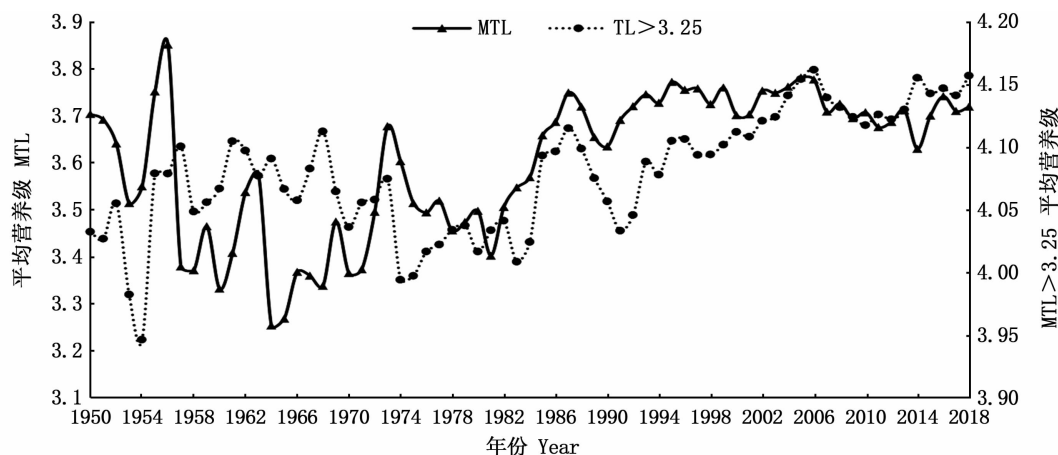


图5 1950—2018年西印度洋平均营养级与高营养级种类(TL > 3.25)的变化

Fig. 5 Relationship between mean trophic levels and high trophic level species (TL > 3.25) in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

2.3 FiB 指数

西印度洋海域渔获物 FiB 指数总体呈现上升趋势(图 6)。根据变化趋势可将 FiB 指数同样分为 3 个主要阶段:1950—1982 年、1983—2005 年和 2006—2018 年。1950—1982 年,FiB 指数呈先下降后上升的波动变化趋势,其 FiB 值为

$-0.1425 \sim 0.3639$, 平均值为 0.0998 ± 0.1659 ;1983—2005 年,FiB 指数呈逐渐上升趋势,其 FiB 值为 $0.3292 \sim 1.0315$, 平均值为 0.8041 ± 0.1849 ;2006—2018 年,FiB 指数维持在一个较为稳定的高值,其 FiB 值为 $0.9006 \sim 1.0842$, 平均值为 0.9782 ± 0.0670 。

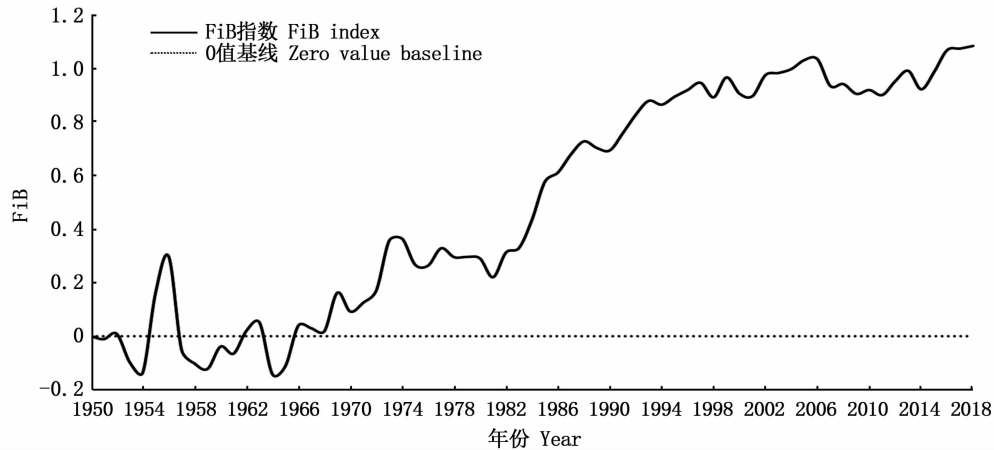


图 6 1950—2018 年西印度洋渔获物 FiB 指数

Fig. 6 FiB index of marine capture in the western Indian Ocean from 1950 to 2018

3 讨论

3.1 渔获量分析

根据 FAO 对印度洋海域渔区的划分,西印度洋海域主要为 51 渔区,该海域的沿岸国家主要包括印度、莫桑比克、吉布提、索马里、伊朗、巴基斯坦和斯里兰卡等沿岸国^[11]。根据渔获量统计,西印度洋海域年渔获量从 1950 年的最低值 33.94 万 t,稳步增长到 2018 年的最高值 397.58 万 t,并且长头小沙丁鱼渔获量占总渔获量的比重最大(14.56%),鲹、黄鳍金枪鱼和犬牙石首鱼的渔获量占比次之,分别为 8.43%、8.32% 和 7.93%。西印度洋海域的海底地形较为复杂,拥有众多的海湾、河流与海流交汇区、岛屿和盆地等,并且其大陆架海域地形相对平缓,这些天然的自然条件为渔业资源提供良好的栖息地,同时也形成众多开发潜力较大的作业渔场^[11,15,22]。西印度洋各沿海国大多发展自给性渔业,由于早期各沿岸国对渔业资源利用的有限以及生产技术及设备的相对落后,使得渔获产量及渔获率相对较低,渔获产量缓慢增加^[11]。近年来,随着西印度洋海域捕捞努力量的增加以及渔业生产效

率的提高,其渔获量快速增加^[11]。

根据主要渔获物的渔获量统计,长头小沙丁鱼的产量波动较为剧烈,这可能与沙丁鱼自身的生物生态学特征以及对海洋环境年间变动的响应机制有关^[23-24]。鲹和黄鳍金枪鱼的年际渔获量均呈先增加后降低的变动趋势,作为生态食物链中的中高级营养级生物,其产量的变动与作业渔获率,以及金枪鱼管理配额制度的建立有着密切关系^[10,14]。因此,西印度洋海域的渔业资源还具有较大的开发潜力。

3.2 渔获物平均营养级分析

渔获物的平均营养级是渔业资源管理和评价开发利用状态的重要途径之一,它通过中长期的渔获量数据能够较为快速直观的分析生态系统的变化,并能量化海洋生物结构是否会出现“捕捞对象沿着海洋食物网向下移动”(FDFW)的现象^[9,19,24-25]。此外,捕捞努力量、经济技术手段以及沿岸岛国的渔业政策等因素也会影响渔获物的平均营养级^[11,24]。

PAULY 等^[8,26]对大洋海域及区域性的渔获物平均营养级研究发现,在过去 50 年间(1950—2000 年),全球海域渔获物的平均营养级由 3.42

下降到 3.31,其下降幅度超过每年 0.002,这表明全球海域渔获量的平均营养级朝着低级营养级趋势发展,可能会影响全球海洋生态系统的结构和功能^[16,27]。西印度洋海域渔获物 MTL 随着渔获量的增加呈现先上升后下降再平稳的变动趋势,并且在 1950—1982 年 MTL 出现了 2 次较为明显的下降趋势。西印度洋海域早期渔获量相对较低,随着渔获种类的增加 MTL 呈逐渐升高趋势,在 1950—1982 年间,长头小沙丁鱼(TL = 2.41)比同期渔获种类的渔获量多,而该种处在生态食物网较低的营养级,这使得 MTL 呈逐渐下降趋势。随着捕捞努力量和生产效率的提高,鲷(TL = 4.35)和黄鳍金枪鱼(TL = 4.34)等高营养级渔获种类产量的增加,使得该海域内 MTL 随着渔获量的增加呈上升趋势。在 1993—2018 年,西印度洋海域 MTL 随着产量的波动维持在一个相对稳定并较高的数值。

为了排除渔获物 MTL 受植食、浮游和腐生生物的影响,可通过高营养级(TL > 3.25)渔获量的 MTL 来分析 MTL 的年际变动^[17,26]。高营养级(TL > 3.25)渔获量的 MTL_{3.25}与所有渔获物 MTL 的变动趋势相似。随着渔获量的稳步增加,高营养级(TL > 3.25)渔获量的 MTL_{3.25}呈现波动趋势,整体未出现明显的下降趋势,并且其 MTL_{3.25}维持在较高的水平,这表明西印度洋海域的渔业资源状况良好,营养级结构稳定,海域内仍具有较大的开发潜力。

3.3 FiB 指数分析

FiB 指数能够反映生态食物网中捕食者之间的内在关联,即捕食对象的渔获量随捕食者数量的下降而增加^[12]。PAULY 等^[28]研究认为,当渔获量 MTL 的降低可由渔获量的增加抵消时,FiB 指数不变;当渔获量的增加比其 MTL 降低的速度快时,FiB 指数升高;当渔获量的增加速度比其 MTL 降低的速度慢时,FiB 指数降低^[27]。研究^[29-30]表明:1950—1982 年,西印度洋海域处于渔业初期,由于沿岸国家的作业生产力相对较低,并且渔获种类相对较少,其中渔获量主要以长头小沙丁鱼(TL = 2.41)等低营养级种类为主,使得 FiB 指数随着产量的增加呈现下降的变化趋势,表明渔获量的增加不足以弥补 MTL 的降低,但随着渔获结构稳定以及长头小沙丁鱼产量的持续增加,使得 FiB 指数在 1970—1982 年呈上升

趋势;1983—2005 年,随着捕捞努力量的增多、捕捞技术的进步、作业渔场的扩张、渔获种类的多样以及高营养级种类产量的增加,使得 FiB 指数随着渔获量和 MTL 的增长呈现上升的变动趋势;2006—2018 年,FiB 指数随着渔获量的稳步增加以及 MTL 的稳定波动呈现平稳增长的趋势。因此,西印度洋海域为出现 FDFW 现象,这表明西印度洋海域的渔业生态结构相对稳定。

西印度洋海域生态系统结构和功能相对稳定,该海域的渔业资源仍处于未充分开发状态,并且具较大的开发潜力。当前,全球海洋渔业资源状况整体呈现衰退现象,虽然西印度洋海域的资源状况良好,但仍需各沿岸国家加强合作以实现可持续发展。本研究初步探究了西印度洋渔获物组成及其资源利用状况,研究结果可为西印度洋海域渔业资源的科学管理提供参考。

参考文献:

- [1] 陈新军. 渔业资源可持续利用评价理论和方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 1-53.
CHEN X J. Evaluation theory and method of sustainable utilization of fishery resources [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 1-53.
- [2] 刘千稳, 潘朝辉, 邓启明. 海洋渔业资源可持续利用研究进展[J]. 台湾农业探索, 2013(6): 33-37.
LIU Q W, PAN Z H, DENG Q M. Research progress on sustainable utilization of marine fisheries resources [J]. Taiwan Agricultural Research, 2013(6): 33-37.
- [3] BRANCH T A, JENSEN O P, RICARD D, et al. Contrasting global trends in marine fishery status obtained from catches and from stock assessments[J]. Conservation Biology, 2011, 25(4): 777-786.
- [4] HUTCHINGS J A, MINTO C, RICARD D, et al. Trends in the abundance of marine fishes [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2010, 67(8): 1205-1210.
- [5] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2020[Z]. Rome: FAO, 2020: 1-80.
- [6] LARKIN P A. Concepts and issues in marine ecosystem management [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 1996, 6(2): 139-164.
- [7] 丁琪, 陈新军, 李纲, 等. 基于渔获统计的西北太平洋渔业资源可持续利用评价[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 2032-2040.
DING Q, CHEN X J, LI G, et al. Catch statistics and the sustainable utilization of northwest Pacific Ocean fishery resources [J]. Resources Science, 2013, 35(10): 2032-2040.
- [8] PAULY D, CHRISTENSEN V, DALSGAARD J, et al. Fishing

- down marine food webs [J]. *Science*, 1998, 279 (5352): 860-863.
- [9] PENNINO M G, BELLIDO J M, CONESA D, et al. Trophic indicators to measure the impact of fishing on an exploited ecosystem [J]. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2011, 34 (1): 123-131.
- [10] 刘秋狄. 西印度洋金枪鱼延绳钓作业渔场与渔具性能的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006: 7-30.
LIU Q D. Fishing ground of tuna longline and fishing efficiency in the western Indian Ocean [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006: 7-30.
- [11] 葛慧. 印度洋沿岸典型国家渔业管理政策法规及过洋性渔业合作分析 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 10-50.
GE H. The research on fishery management in coastal areas in India and the analysis of the pelagic cooperation [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018: 10-50.
- [12] 朱国平, 周应祺, 许柳雄. 印度洋金枪鱼渔业平均营养级的长期变动 [J]. *大连水产学院学报*, 2008, 23 (6): 484-488.
ZHU G P, ZHOU Y Q, XU L X. Long-term changes in the mean trophic level of tuna fishery in the Indian Ocean [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, 23 (6): 484-488.
- [13] 王家樵, 朱国平, 许柳雄. 基于 HSI 模型的印度洋大眼金枪鱼栖息地研究 [J]. *海洋环境科学*, 2009, 28 (6): 739-742.
WANG J Q, ZHU G P, XU L X. Using HSI model for analyzing the habitat suitability of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean [J]. *Marine Environmental Science*, 2009, 28 (6): 739-742.
- [14] 朱国平, 许柳雄. 印度洋金枪鱼渔业概况及中国金枪鱼船队发展对策分析 [J]. *中国渔业经济*, 2006 (2): 10-12, 70.
ZHU G P, XU L X. General information of tuna fisheries in Indian Ocean and comments on the development strategy for Chinese tuna fleet [J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2006 (2): 10-12, 70.
- [15] 丁琪. 全球海洋渔业资源可持续利用及脆弱性评价 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 5-60.
DING Q. Evaluation on sustainable utilization and vulnerability of global marine fishery resources [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 5-60.
- [16] PAULY D, PALOMARES M L. Fishing down marine food web; it is far more pervasive than we thought [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2005, 76 (2): 197-212.
- [17] 丁琪, 陈新军, 方舟, 等. 西北太平洋沿海国海洋渔业资源可持续利用评价 [J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45 (3): 54-66.
DING Q, CHEN X J, FANG Z, et al. Evaluate sustainable utilization of marine fishery resources in coastal states of the northwest Pacific Ocean [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45 (3): 54-66.
- [18] 张忠, 杨文波, 陈新军, 等. 基于渔获量平均营养级的东南大西洋渔业资源状况分析 [J]. *海洋渔业*, 2015, 37 (3): 197-207.
ZHANG Z, YANG W B, CHEN X J, et al. On fisheries resources in the southeast Atlantic based on the mean trophic level of catches [J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37 (3): 197-207.
- [19] 丁琪, 陈新军, 耿婷, 等. 基于渔获统计的太平洋岛国渔业资源开发利用现状评价 [J]. *生态学报*, 2016, 36 (8): 2295-2303.
DING Q, CHEN X J, GENG T, et al. Evaluation on utilization state of marine fishery resources of Pacific Islands based on catch statistics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (8): 2295-2303.
- [20] PAULY D, CHRISTENSEN V, WALTERS C. Ecosim, Ecospace and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57 (3): 697-706.
- [21] PAULY D, CHRISTENSEN V. Primary production required to sustain global fisheries [J]. *Nature*, 1995, 374 (6519): 255-257.
- [22] 杨晓明, 陈新军, 周应祺, 等. 基于海洋遥感的西北印度洋鸚乌贼渔场形成机制的初步分析 [J]. *水产学报*, 2006, 30 (5): 669-675.
YANG X M, CHEN X J, ZHOU Y Q, et al. A marine remote sensing-based preliminary analysis on the fishing ground of purple flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30 (5): 669-675.
- [23] 王迪. 毛里塔尼亚海域沙丁鱼与圆沙丁鱼耳石形态、年龄与生长和栖息环境的比较研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 10-40.
WANG D. A comparative study on morphology of otoliths, age and growth and habitat environment between sardine and round sardinella in waters near Mauritania [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 10-40.
- [24] SETHI S A, BRANCH T A, WATSON R. Global fishery development patterns are driven by profit but not trophic level [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107 (27): 12163-12167.
- [25] FOLEY C M R. Management implications of fishing up, down, or through the marine food web [J]. *Marine Policy*, 2013, 37: 176-182.
- [26] PAULY D, WATSON R. Background and interpretation of the 'Marine Trophic Index' as a measure of biodiversity [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, 360 (1454): 415-423.
- [27] PAULY D, CHRISTENSEN V, GUÉNETTE S, et al. Towards sustainability in world fisheries [J]. *Nature*, 2002, 418 (6898): 689-695.
- [28] BHATHAL B, PAULY D. 'Fishing down marine food webs' and spatial expansion of coastal fisheries in India, 1950-2000

- [J]. *Fisheries Research*, 2008, 91(1): 26-34.
- [29] REID K, CROXALL J P. Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem [J]. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B; Biological Sciences*, 2001, 268 (1465): 377-384.
- [30] MILESSI A C, ARANCIBIA H, NEIRA S, et al. The mean trophic level of Uruguayan landings during the period 1990-2001 [J]. *Fisheries Research*, 2005, 74(1/3): 223-231.

Evaluation of fishery resources utilization in the western Indian Ocean based on mean trophic levels

LU Quan^{1,2}, LI Nan¹, FANG Zhou^{1,3,4,5,6}, CHEN Xinjun^{1,3,4,5,6}

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Fisheries Bureau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100125, China*; 3. *The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China*; 4. *National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 5. *Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China*; 6. *Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China*)

Abstract: The West Indian Ocean is an important fishing area in the world. The evaluation of fishery resources utilization is an important basis for scientific management and sustainable development of the resources. According to the FAO's catch data from 1950 to 2018 and trophic level of fish species in the western Indian Ocean, the mean trophic level (MTL) of 69 years and fishing in the balance index (FiB) were analyzed to evaluate the development and utilization of fishery resources. The results showed that the catch showed an increasing trend from 1950 to 2018 in the western Indian Ocean, and the increasing trend could be divided into three stages including 1950 – 1982, 1983 – 2005 and 2006 – 2018. The catch of small sardines was the highest in the species from the western Indian Ocean. The MTL of the catch decreased first, then increased, and then stabilized during 1950 to 2018. According to the above three phases, its average MTL were 3.49 ± 0.14 , 3.71 ± 0.06 and 3.71 ± 0.03 respectively, and the high MTL of the catches ($TL > 3.25$) were 4.04 ± 0.04 , 4.09 ± 0.04 and 4.13 ± 0.01 respectively. It is found that the average trophic level from the high MTL ($TL > 3.25$) catch and total catch show the similar changing trend ($P < 0.001$). The FiB index showed an upward trend on the whole, and the mean FiB of three stages were 0.0998 ± 0.1659 , 0.8041 ± 0.1849 and 0.9782 ± 0.0670 respectively. According to the analysis, the early catch was relatively low in the western Indian Ocean from 1950 to 1982, and the MTL and FiB showed a fluctuating decreasing trend with the increase of the catch of low trophic level such as sardines. From 1983 to 2005, with the increase of high trophic level catch, MTL and FiB showed a gradually increasing trend. From 2006 to 2018, MTL and FiB were relatively stable at a high value. The results show that the fishery resources in the western Indian Ocean are in good condition, the ecosystem structure and function are stable, and the resources of western Indian Ocean still have great development potential.

Key words: western Indian Ocean; fishery resources; mean trophic level; resource evaluation