

中西太平洋围网渔业兼捕渔获物组成及时空分布

林明毅¹, 王 扬^{1,2}, 朱江峰^{1,2,3}, 戴小杰^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 农业农村部大洋渔业可持续利用重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

摘 要: 为了分析围网渔业的兼捕渔获物组成分布并评估其对非目标物种的潜在影响, 本研究基于中西太平洋渔业委员会(Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)提供的2013—2022年金枪鱼渔业及兼捕数据, 对兼捕渔获物的种类、数量及空间分布特征进行了系统分析。并将兼捕率与三大目标鱼种[鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)、大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)]的渔获率进行相关性分析, 以探讨不同非目标物种的兼捕模式及其与目标渔获物的关系。研究结果显示, 围网渔业的主要兼捕渔获物共48种, 总计439 623尾, 包括鲸豚类、鲨鱼和海龟等。其中, 镰状真鲨(*Carcharhinus falciformis*)兼捕最多, 达418 387尾, 占兼捕总量的95%。兼捕主要发生在10°S~10°N和140°E~150°W附近海域。此外, 东经海域的兼捕率普遍高于西经海域, 且鲸豚类的兼捕率在东西经海域的差异最为显著。相关性分析结果表明, 鲸豚类和鲨鱼的兼捕率与目标鱼种的渔获率无显著相关性, 而海龟的兼捕率与鲣鱼和大眼金枪鱼的渔获率呈正相关关系。研究表明, 围网渔业在特定海域对部分非目标物种存在较高的兼捕风险, 特别是镰状真鲨的兼捕占比极高, 同时东经海域的兼捕率整体高于西经海域。该研究结果为制定减少兼捕的措施提供了科学依据, 进而保护生态系统平衡发展。

关键词: 兼捕渔获物; 围网渔业; 相关性分析; 组成分布; 中西太平洋

中图分类号: S 931

文献标志码: A

中西太平洋(Western and Central Pacific Ocean, WCPO)是全球渔业资源最为丰富的海域之一, 20世纪50年代以来, 其围网渔业逐渐占据主导地位^[1]。2020年中西太平洋金枪鱼围网渔业产量约189万t, 占中西太平洋所有金枪鱼渔业产量的69%, 主要目标鱼种为鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)和大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)^[2]。围网渔业作为一种多物种渔业捕捞方式, 受生态环境和季节变化影响明显, 具有高度复杂性和动态性, 在获取大量渔获物的同时, 也不可避免地发生非选择性兼捕或误捕等。目前, 如何降低兼捕行为, 实现可持续管理已成为渔业管理中的重要议题^[3]。

中西太平洋围网渔业主要的兼捕对象包含鲸豚类、鲨鱼和海龟等物种, 其中多为寿命较长

的海洋大型动物, 其生长缓慢且繁殖率低, 即使兼捕数量较低, 也可能对种群生存能力产生较大影响, 最终导致其种群数量下降, 甚至成为濒危物种^[4-5]。渔业活动增加了物种意外死亡的风险, 例如20世纪60年代, 渔民发现点斑原海豚(*Stenella attenuata*)、长吻原海豚(*Stenella longirostris*)的出现与黄鳍金枪鱼有紧密联系, 因此通过追逐围堵海豚的方式来捕捞金枪鱼, 导致海豚大量死亡^[6-7]。鲨鱼作为海洋的顶级捕食者, 通过下行效应(Top-down control)对维持生态系统稳定性和物种多样性起到关键作用^[8]。然而, 由于围网渔业的高兼捕死亡率, 大青鲨(*Prionace glauca*)、镰状真鲨(*Carcharhinus falciformis*)等鲨鱼数量大幅减少。近年来, 长鳍真鲨(*Carcharhinus longimanus*)、大白鲨(*Carchar*

收稿日期: 2025-01-16

修回日期: 2025-02-06

基金项目: 国家重点研发计划(2024YFD2400602); 农业农村部2024年度全球重要鱼种资源动态监测评估项目(D-8025-24-5001)

作者简介: 林明毅(2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向为远洋渔业兼捕渔获物。E-mail: 843829608@qq.com

通信作者: 王 扬, E-mail: yan-wang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

odoncarcharias)、鲸鲨(*Rhincodon typus*)等,已相继被列入濒危野生动植物国际贸易公约(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)附录 II 中^[9]。海龟的兼捕在金枪鱼围网渔业中也十分常见,目前全球仅存的 7 种海龟均已被列入 CITES 附录 I 以及 2023 国际自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)濒危物种红色名录中^[10],海龟种群遭受金枪鱼围网渔业的影响已经引起国际社会的高度关注^[11]。

由于不同物种对环境条件的需求不同,围网渔业中的兼捕渔获物组成和分布规律,也受到海洋生态系统的多重影响^[12]。孙康等^[13]分析了中西太平洋围网渔业中镰状真鲨在不同作业方式下的兼捕率和死亡率,揭示了作业方式对鲨鱼兼捕的影响;石一茜等^[14]研究中西太平洋鲸豚类兼捕现象,发现鲸豚类兼捕受多种环境因素共同影响;邢侃等^[15]针对热带大西洋海龟兼捕问题提出保护对策。国外学者 PEATMAN 等^[16]对中西太平洋兼捕渔获物规模进行量化评估,反映了该海域兼捕的普遍性。目前国内研究多集中于个别物种或特定海域,缺乏对兼捕渔获物整体分布特

征及空间分布规律的系统研究。本研究根据中西太平洋围网渔业的渔业数据和兼捕数据,系统分析兼捕渔获物的空间分布、东西经海域的差异、物种间兼捕率及净兼捕率的特征,并探讨兼捕物种与金枪鱼资源的关系。旨在揭示兼捕渔获物的分布规律,并提出降低兼捕率的针对性建议,为渔业资源合理利用和生态系统平衡保护提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 数据收集

渔业数据及兼捕数据来自中西太平洋渔业委员会(Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)秘书处统计数据,包括渔业作业经度、纬度、围网投放次数、各金枪鱼种类的渔获量以及兼捕渔获物种类及数量。数据空间分辨率为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$,时间序列为 2013—2022 年。研究区域为中西太平洋公约区($45^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{W}$)金枪鱼围网作业海域(图 1),10 年共计投放围网 644 182 网,年均投网 64 418.2 网。由于海上作业的复杂性,未被记录或鉴定的物种及其个体数量均未纳入本研究分析。

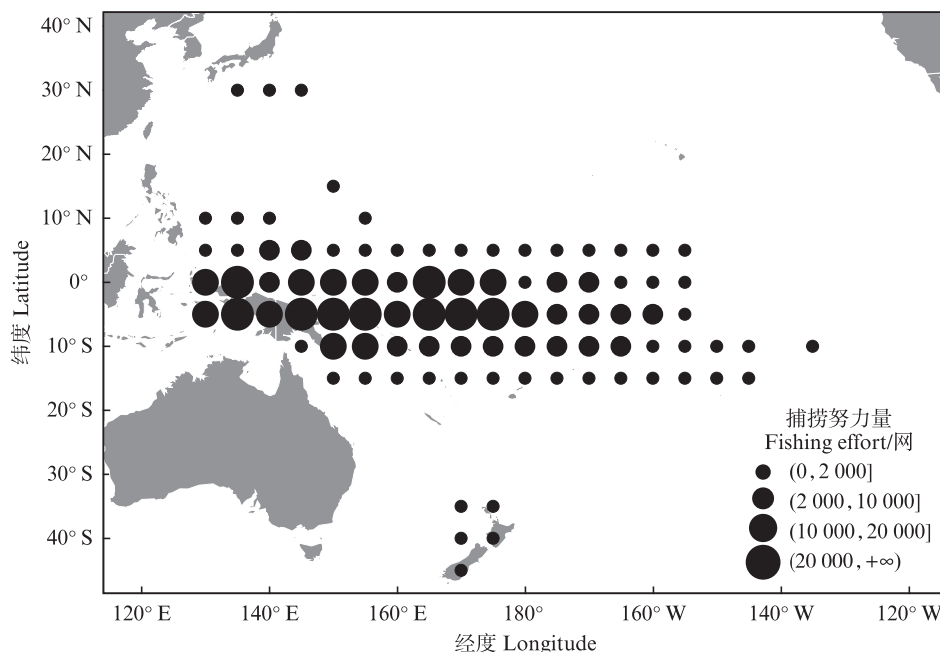


图 1 中西太平洋金枪鱼围网渔业作业海域

Fig. 1 Tuna purse seine fishing area in the Western and Central Pacific Ocean

1.2 研究方法

以 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 为空间统计单位,统计年度内同一经纬度的兼捕渔获物总数和围网投放次数,并计算每个空间统计单位的兼捕率(Bycatch per unit effort, BPUE)。根据 2013—2022 年累计数据,绘制兼捕渔获物 BPUE 的空间分布图,并分析其空间分布特征。兼捕率计算公式为

$$Y_n = \frac{C_n}{E_n} \quad (1)$$

式中: Y_n 为第 n 个空间统计单位的 BPUE, 尾/百网; C_n 为第 n 个空间统计单位内兼捕渔获物的总数量, 包括存活且状态良好、受伤和死亡的个体, 尾; E_n 为第 n 个空间统计单位内围网投放网数, 百网。

经计算, 中西太平洋金枪鱼围网渔业作业 92% 网次集中在 180° 经线以西海域(图 1), 因此将 3 类兼捕渔获物年间兼捕率差异及变化趋势分为东经海域和西经海域进行比较。利用 Mann-Whitney U 检验分析差异性。

为检验兼捕渔获物各个物种之间兼捕率和净兼捕率^[17](Net bycatch per unit effort, NBPUE) 是否存在显著性差异(净兼捕率指死亡个体的兼捕率), 分别计算 2013—2022 年 48 种主要兼捕渔获物兼捕率和净兼捕率, 利用 Kruskal-Wallis (K-W) 秩和检验分析进行。净兼捕率的计算公式:

$$Z_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{E_i} \quad (2)$$

式中: $Z_{i,j}$ 为第 i 年第 j 种兼捕渔获物的 NBPUE, 尾/百网; $C_{i,j}$ 为第 i 年第 j 种兼捕渔获物的死亡个体数量, 尾; E_i 为第 i 年围网投放网数, 百网; i 为不同年份; j 为不同兼捕渔获物种类。

为探究兼捕渔获物与 3 种主要渔获物的相关性, 统计 2013—2022 年每年金枪鱼围网渔业 3 种主要渔获物(鲣、黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼)的渔获量, 并计算每年主要渔获物的渔获率(Catch per unit effort, CPUE)和兼捕渔获物的 BPUE, 利用 Spearman 非参数相关检验进行分析。

2 结果

2.1 兼捕渔获物物种组成和空间分布

2013—2022 年, 累计记录的主要兼捕渔获物共有 48 种, 439 623 尾。其中鲨鱼 12 种占总数量的 96.97% (426 299 尾)、鲸豚类 30 种占 2.70% (11 886 尾)、海龟有 6 种占 0.33% (1 438 尾)。

兼捕的鲨鱼中, 镰状真鲨数量最多, 占兼捕鲨鱼总数的 98%, 其次为长鳍真鲨共 4 168 尾, 鲸鲨共 2 713 尾, 鲨鱼的年均兼捕率为 0.010~131.795 尾/百网。兼捕的鲸豚类中, 伪虎鲸(*Pseudorca crassidens*) 数量最多, 占兼捕鲸豚类总数的 40%, 其次为糙齿海豚(*Steno bredanensis*) 共 1 940 尾, 短肢领航鲸(*Globicephala macrorhynchus*) 共 781 尾, 瓶鼻海豚(*Tursiops truncatus*) 共 777 尾, 鲸豚类的年均兼捕率为 0.003~1.387 尾/百网。兼捕的海龟中, 绿海龟(*Chelonia mydas*) 数量最多, 占兼捕海龟总数的 30%, 其余较多的有太平洋丽龟(*Lepidochelys olivacea*) 共 370 尾, 红海龟(*Caretta caretta*) 共 300 尾, 海龟的年均兼捕率为 0.012~0.122 尾/百网(表 1)。

2013—2022 年鲸豚类 BPUE 为 0~83.82 尾/百网, 平均 BPUE 为 16.43 尾/百网。兼捕到的鲸豚类主要分布在巴布亚新几内亚及其周边水域、所罗门群岛附近海域、马利亚纳群岛及密克罗尼西亚部分海域($10^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{W}$), 占整个作业海域兼捕鲸豚类总数的 74%(图 2)。

2013—2022 年鲨鱼 BPUE 为 36.41~6 786.53 尾/百网, 平均 BPUE 为 1 719.72 尾/百网。兼捕到的鲨鱼主要分布在巴布亚新几内亚以北、密克罗尼西亚群岛、西太平洋暖池区域附近($10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{W}$), 向东继续延伸到马绍尔群岛、瑙鲁、基里巴斯等密克罗尼西亚岛国附近的中西太平洋水域($5^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $170^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{W}$); 再往东, 分布在基里巴斯(吉尔伯特群岛、菲尼克斯群岛、莱恩群岛)附近海域($0^{\circ} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{W} \sim 150^{\circ}\text{W}$), 这 3 片海域兼捕鲨鱼数目占整个作业海域兼捕鲨鱼总数的 52%(图 3)。

表1 中西太平洋金枪鱼围网渔业兼捕情况表
Tab. 1 Tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean

序号 Rank	物种 Species	兼捕数量 Numbers/尾	死亡数量 Mortalities/尾	年均兼捕率 Average bycatch rate/(尾/百网)
1	镰状真鲨 <i>Carcharhinus falciformis</i>	418 387	94 926	131.795
2	伪虎鲸 <i>Pseudorca crassidens</i>	4 774	177	1.387
3	长鳍真鲨 <i>Carcharhinus longimanus</i>	4 168	818	1.416
4	鲸鲨 <i>Rhincodon typus</i>	2 713	50	0.819
5	糙齿海豚 <i>Steno bredanensis</i>	1 940	457	1.228
6	短肢领航鲸 <i>Globicephala macrorhynchus</i>	781	32	0.242
7	瓶鼻海豚 <i>Tursiops truncatus</i>	777	295	0.265
8	布氏鲸 <i>Balaenoptera edeni</i>	630	2	0.251
9	塞鲸 <i>Balaenoptera borealis</i>	556	3	0.186
10	长吻原海豚 <i>Stenella longirostris</i>	550	59	0.292
11	绿海龟 <i>Chelonia mydas</i>	425	7	0.075
12	印太瓶鼻海豚 <i>Tursiops aduncus</i>	424	24	0.335
13	太平洋丽龟 <i>Lepidochelys olivacea</i>	370	10	0.122
14	大青鲨 <i>Prionace glauca</i>	362	25	0.113
15	红海龟 <i>Caretta caretta</i>	300	4	0.100
16	玳瑁 <i>Eretmochelys imbricata</i>	264	4	0.077
17	短吻真海豚 <i>Delphinus delphis</i>	246	12	0.090
18	里氏海豚 <i>Grampus griseus</i>	229	14	0.095
19	无沟双髻鲨 <i>Sphyrna mokarran</i>	143	1	0.047
20	长鳍鲨 <i>Isurus paucus</i>	135	1	0.048
21	小虎鲸 <i>Feresa attenuata</i>	134	7	0.044
22	瓜头鲸 <i>Peponocephala electra</i>	127	1	0.043
23	路氏双髻鲨 <i>Sphyrna lewini</i>	121	0	0.042
24	灰鳍鲨 <i>Isurus oxyrinchus</i>	121	1	0.043
25	小须鲸 <i>Balaenoptera acutorostrata</i>	109	0	0.034
26	长吻真海豚 <i>Delphinus capensis</i>	98	1	0.047
27	点斑原海豚 <i>Stenella attenuata</i>	89	26	0.027
28	小抹香鲸 <i>Kogia breviceps</i>	73	0	0.028
29	大眼长尾鲨 <i>Alopias superciliosus</i>	60	1	0.025
30	条纹原海豚 <i>Stenella coeruleoalba</i>	49	15	0.026
31	棱皮龟 <i>Dermochelys coriacea</i>	49	2	0.018
32	银杏齿中喙鲸 <i>Mesoplodon ginkgodens</i>	41	0	0.019
33	长须鲸 <i>Balaenoptera physalus</i>	37	0	0.021
34	柯氏喙鲸 <i>Ziphius cavirostris</i>	33	1	0.019
35	座头鲸 <i>Megaptera novaeangliae</i>	33	0	0.012
36	锤头双髻鲨 <i>Sphyrna zygaena</i>	33	0	0.012
37	布氏中喙鲸 <i>Mesoplodon densirostris</i>	30	6	0.016
38	平背龟 <i>Natator depressus</i>	30	0	0.012
39	浅海长尾鲨 <i>Alopias pelagicus</i>	29	0	0.010
40	抹香鲸 <i>Physeter macrocephalus</i>	28	0	0.015
41	蓝鲸 <i>Balaenoptera musculus</i>	27	2	0.010
42	弧形长尾鲨 <i>Alopias vulpinus</i>	27	0	0.010
43	侏儒抹香鲸 <i>Kogia simus</i>	22	0	0.014
44	虎鲸 <i>Orcinus orca</i>	19	0	0.010
45	太平洋短吻海豚 <i>Lagenorhynchus obliquidens</i>	15	0	0.020
46	弗氏海豚 <i>Lagenodelphis hosei</i>	13	0	0.041
47	暗色斑纹海豚 <i>Lagenorhynchus obscurus</i>	1	0	0.003
48	北露脊海豚 <i>Lissodelphis borealis</i>	1	0	0.003

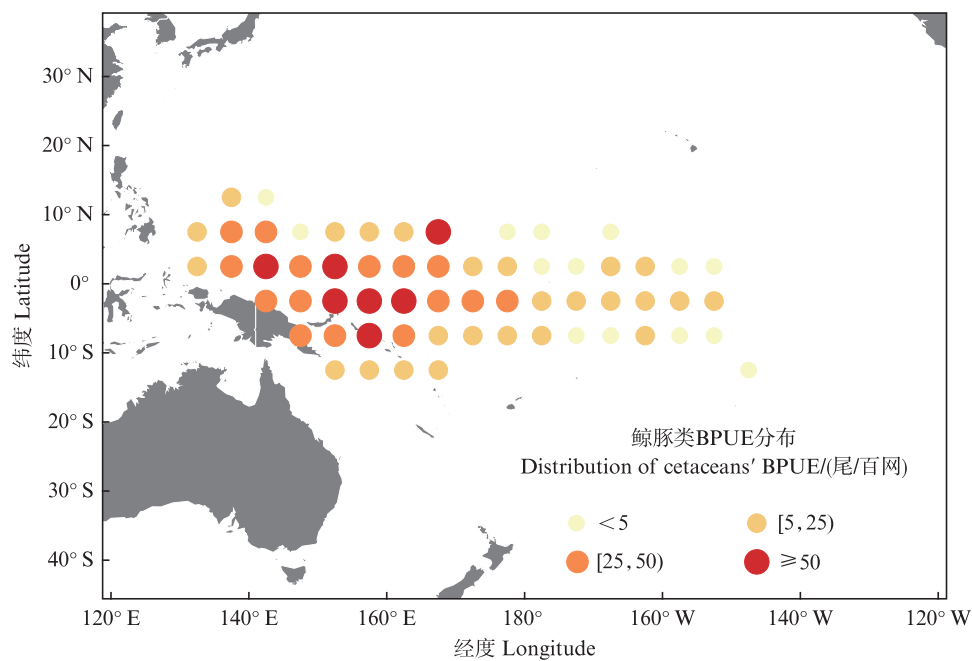


图2 2013—2022年围网渔业鲸豚类兼捕率累积图

Fig. 2 Cumulative BPUE distribution of cetaceans in purse seine fishery during 2013–2022

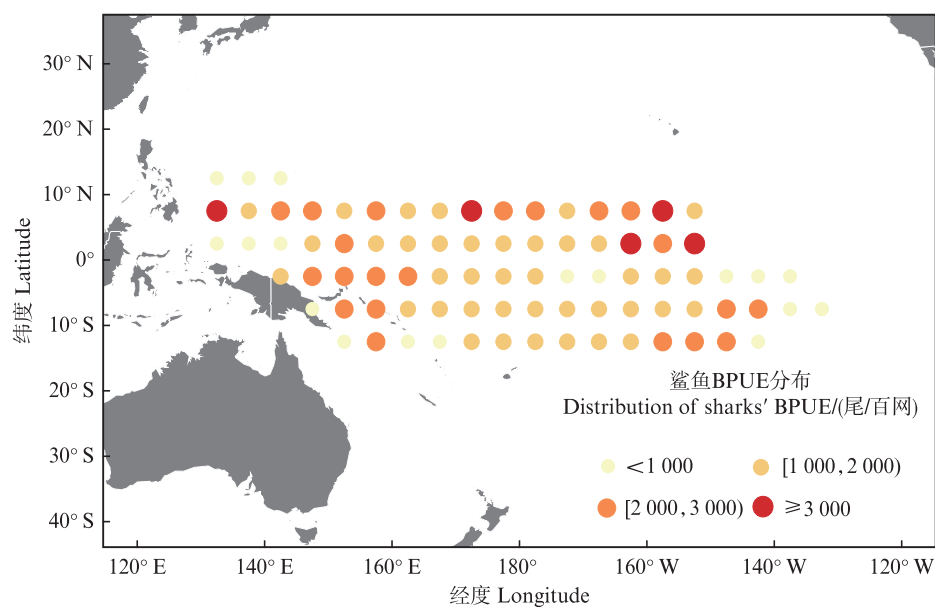


图3 2013—2022年围网渔业鲨鱼兼捕率累积图

Fig. 3 Cumulative BPUE distribution of sharks in purse seine fishery during 2013–2022

2013—2022 年海龟 BPUE 为 0~10.32 尾/百网,平均 BPUE 为 2.62 尾/百网。兼捕到的海龟主要分布在西太平洋近巴布亚新几内亚与所罗门群岛海域(10°S~10°N、130°E~160°E),占整个作业海域兼捕海龟总数的 56%(图 4)。

2.2 兼捕渔获物 BPUE 东西经度差异

3 类兼捕渔获物 BPUE 以 180°经线分为东西经海域比较结果显示(图 5):(1)鲸豚类东经海域

年均 BPUE 为 5.48 尾/百网,在 2018—2022 年呈现稳定增长趋势。西经海域的 BPUE 整体处于较低水平,峰值为 2020 年的 5.42 尾/百网。东经海域整体的 BPUE 显著高于西经海域;(2)鲨鱼东经和西经海域 BPUE 整体变化趋势相近,东西经年均 BPUE 分别为 138.79 和 129.04 尾/百网。2018 年以前东西经海域 BPUE 相对稳定,西经海域峰值出现在 2020 年为 330.09 尾/百网,明显高于东经

海域峰值; (3) 海龟东经海域 BPUE 整体呈现波动下降趋势, 年均 BPUE 为 0.54 尾/百网。西经海域 BPUE 在 2019 年之前较为稳定, 整体保持在低水平, 之后迅速下降。经 Mann-Whitney U 检验, 鲸

豚类 ($P < 0.001$) 和海龟 ($P = 0.002$) 东西经海域的 BPUE 存在显著性差异, 而鲨鱼 ($P = 0.597$) 则无显著差异。

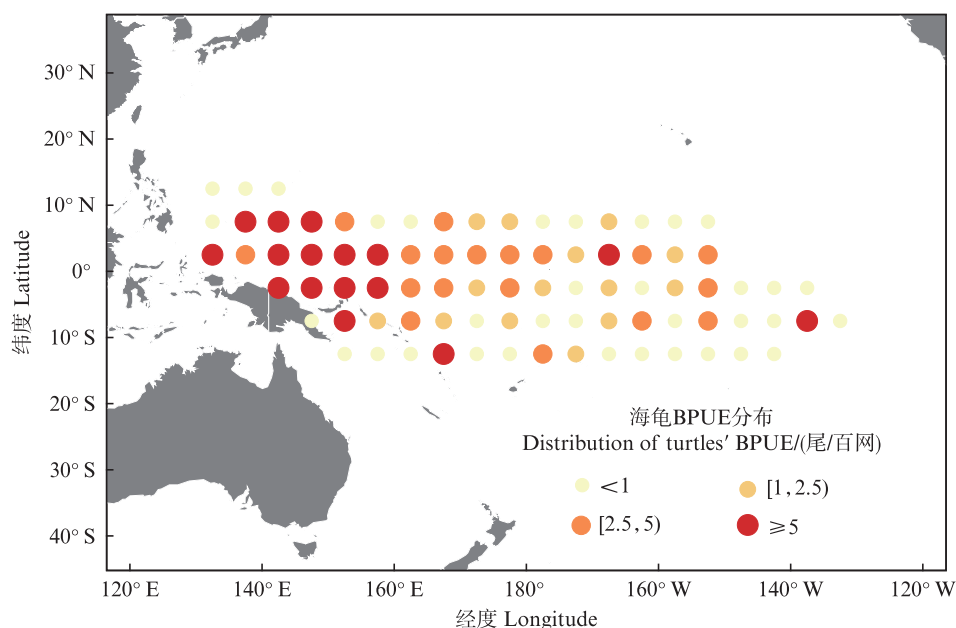


图 4 2013—2022 年围网渔业海龟兼捕率累积图

Fig. 4 Cumulative BPUE distribution of turtles in purse seine fishery during 2013–2022

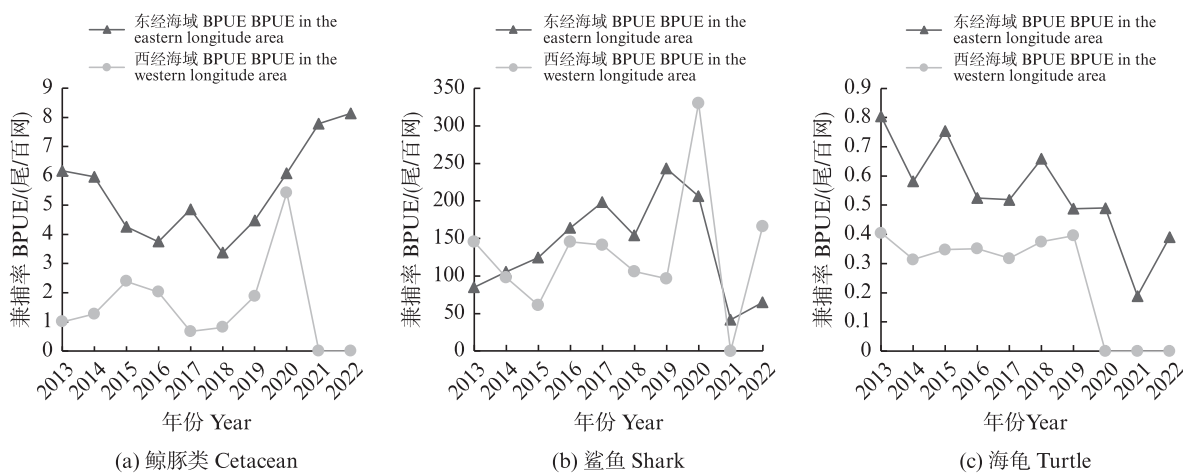


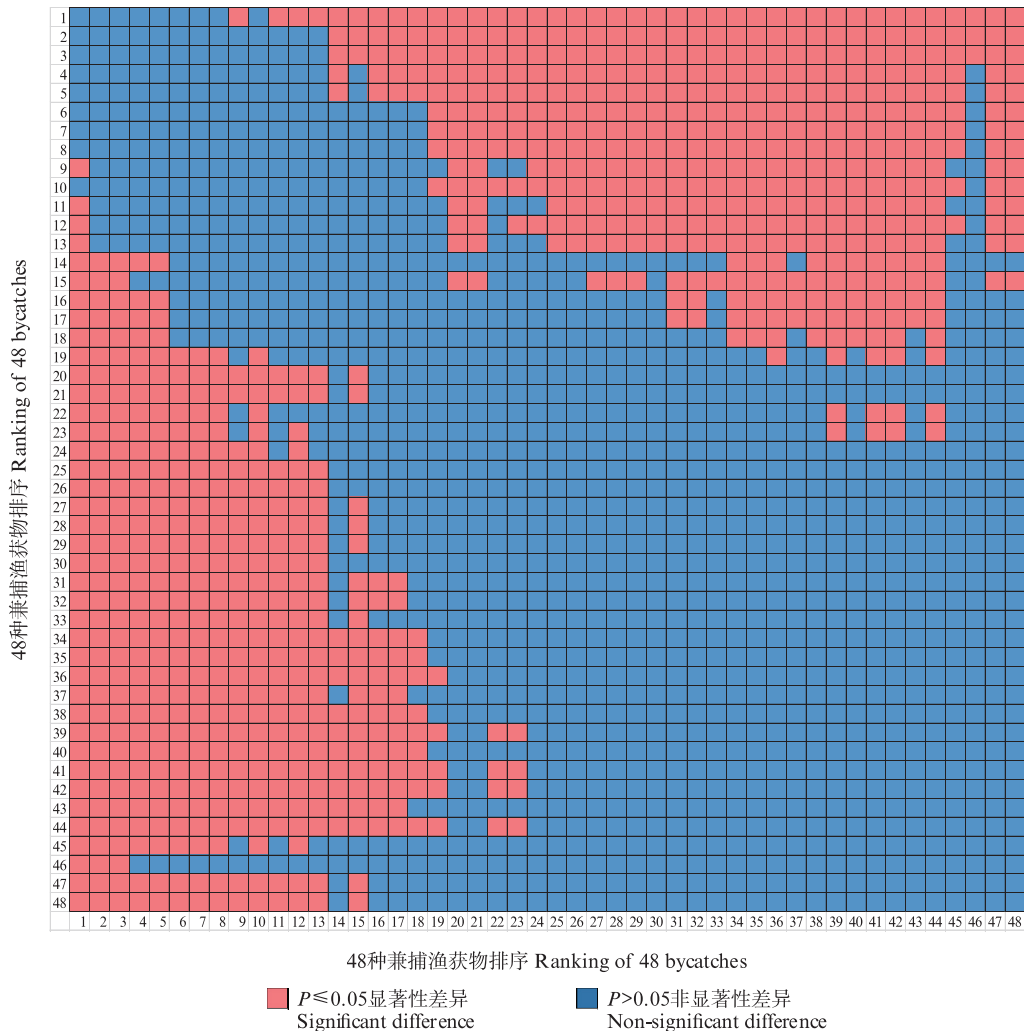
图 5 兼捕率东经与西经比较

Fig. 5 Comparison of BPUE between eastern and western longitudes

2.3 兼捕渔获物兼捕率与净兼捕率差异

通过 Kruskal-Wallis 检验, 评估了 48 种围网渔业主要兼捕渔获物的 BPUE 差异 (图 6)。生物分类学上将鲸豚类分为须鲸和齿鲸^[18], 须鲸中, 布氏鲸 (*Balaenoptera edeni*)、塞鲸 (*Balaenoptera borealis*) 与其余鲸豚类的 BPUE 存在明显差异。齿鲸类中瓶鼻海豚、伪虎鲸、印太瓶鼻海豚

(*Tursiops aduncus*)、糙齿海豚、短肢领航鲸和长吻原海豚与其余鲸豚类的 BPUE 存在明显差异。鲨鱼类中长鳍真鲨、镰状真鲨、鲸鲨与其余鲨鱼类的 BPUE 存在明显差异。海龟类中棱皮龟 (*Dermochelys coriacea*) 和平背龟 (*Natator depressus*) 与其余海龟类的 BPUE 存在明显差异。



图中排序与表1相同。

The rank in the figure is the same with Tab.1.

图6 兼捕率成对比较结果

Fig. 6 Outcome of paired comparison of BPUE

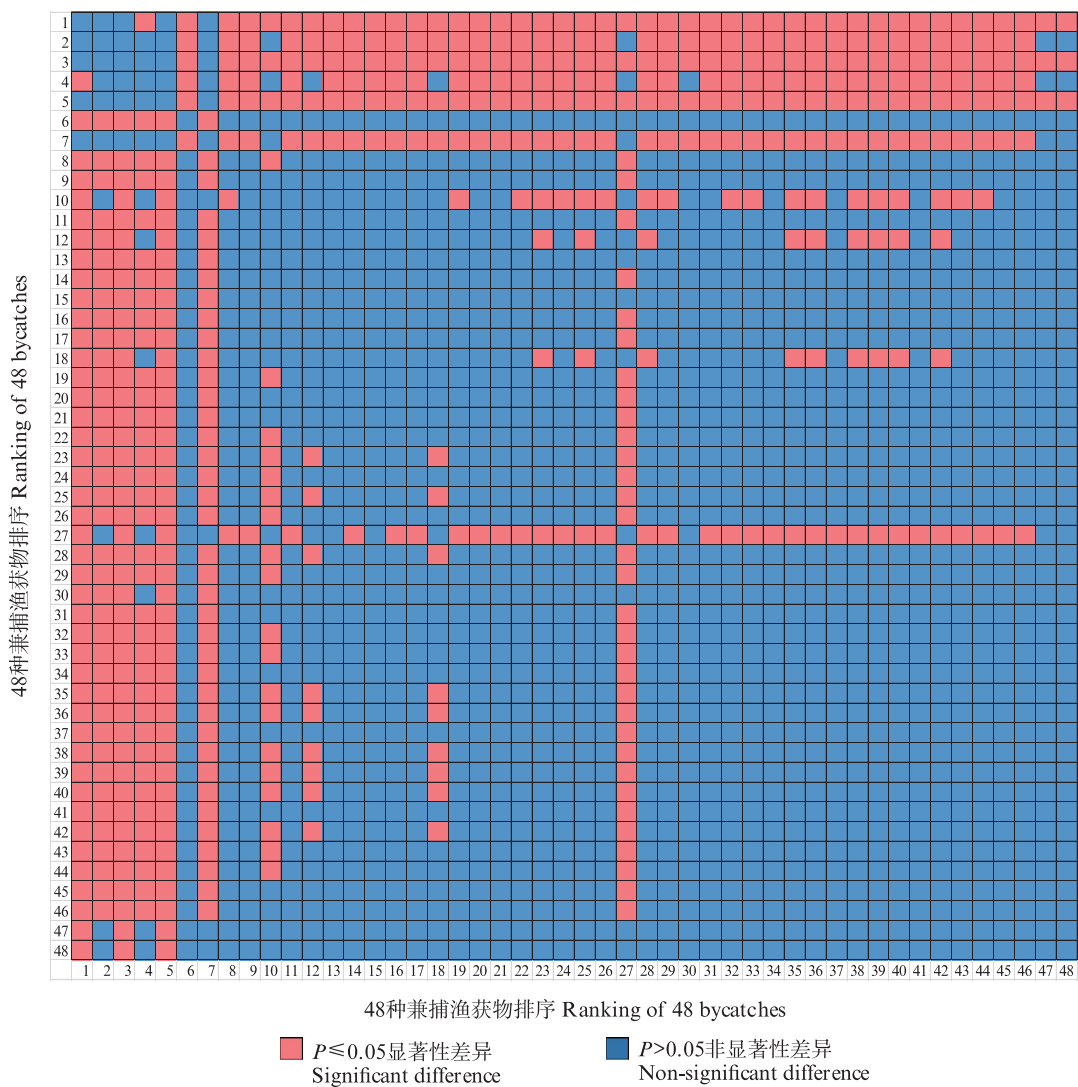
将兼捕渔获物的NBPUE同样进行K-W检验,发现鲸豚类中,瓶鼻海豚、伪虎鲸、糙齿海豚、点斑原海豚和长吻原海豚与其余鲸豚类的NBPUE存在明显差异。鲨鱼中,长鳍真鲨、镰状真鲨、鲸鲨与其余鲨鱼类的NBPUE存在明显差异。海龟中,所有海龟物种NBPUE相近且均处于较低水平(图7)。

2.4 兼捕渔获物与主捕金枪鱼的相关关系

2013—2022年鲸豚类BPUE整体呈现波动上升趋势(图8),年BPUE为2.77~7.09尾/百网。2015—2019年鲸豚类BPUE较为稳定,峰值出现在2021年。经Spearman相关性分析,鲸豚类BPUE与3种主要金枪鱼CPUE无显著相关性(表2)。

2013—2022年鲨鱼BPUE整体呈现波动上升后迅速下降趋势(图9),年BPUE为51.37~219.96尾/百网。鲨鱼BPUE在2013—2015年稳定维持在较低水平,2016年上升至163.74尾/百网。随后波动上升,在2020年达到峰值,2021年BPUE迅速下降。经Spearman相关性分析,鲨鱼BPUE与3种主要金枪鱼CPUE无显著相关性(表2)。

2013—2022年海龟BPUE整体呈现波动下降趋势(图10),年BPUE为0.11~0.74尾/百网。峰值出现在2013年,随后波动下降,直至2021年降至最低。经Spearman相关性分析,海龟BPUE与鲔和大眼金枪鱼CPUE存在显著正相关性,与黄鳍金枪鱼无显著相关性(表2)。



图中排序与表1相同。
The rank in the figure is the same with Tab.1.

图7 净兼捕率成对比较结果
Fig. 7 Outcome of paired comparison of NBPUE

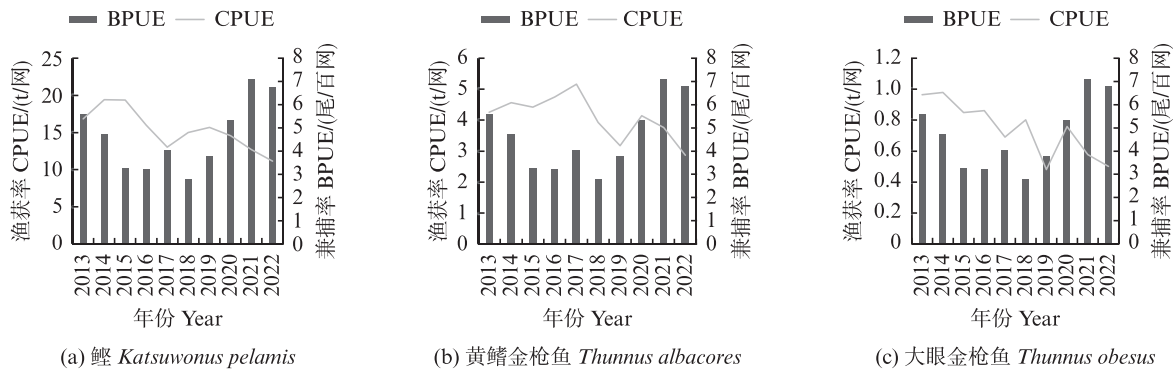


图8 鲸豚类兼捕率与主要金枪鱼渔获率的关系
Fig. 8 Relationships between BPUE of cetaceans and CPUE of main tuna

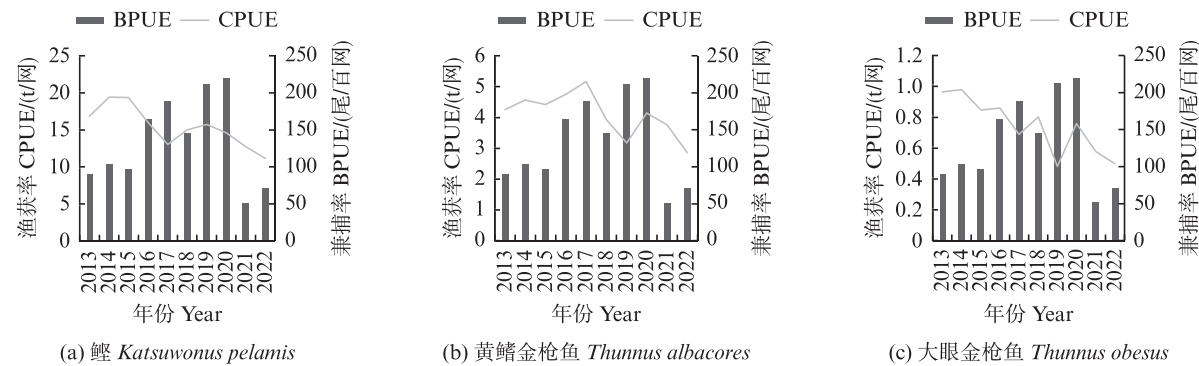


图9 鲨鱼兼捕率与主要金枪鱼渔获率的关系

Fig. 9 Relationship between BPUE of sharks and CPUE of main tuna

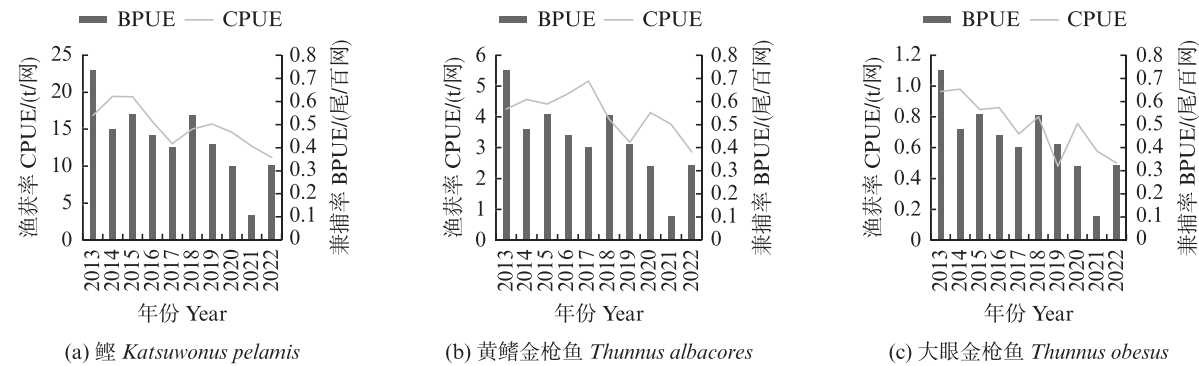


图10 海龟兼捕率与主要金枪鱼渔获率的关系

Fig. 10 Relationship between BPUE of turtles and CPUE of main tuna

表2 兼捕率与渔获率相关性分析结果		
Tab. 2 Outcome of correlation analysis between BPUE and CPUE		
物种 Species	金枪鱼 Tuna species	结果 Outcomes
鲸豚类 Cetacean	鲹 <i>Katsuwonus pelamis</i>	$r=-0.442$ $P>0.05$
	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacores</i>	$r=-0.382$ $P>0.05$
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$r=-0.248$ $P>0.05$
鲨鱼 Shark	鲹 <i>Katsuwonus pelamis</i>	$r=0.103$ $P>0.05$
	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacores</i>	$r=0.285$ $P>0.05$
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$r=-0.091$ $P>0.05$
海龟 Turtle	鲹 <i>Katsuwonus pelamis</i>	$r=0.794$ $P<0.05$
	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacores</i>	$r=0.345$ $P>0.05$
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$r=0.685$ $P<0.05$

3 讨论

3.1 兼捕渔获物空间分布

本研究发现,中西太平洋围网渔业兼捕渔获物的空间分布呈现显著的区域性差异,这与不同物种的生态习性、海洋环境特征以及渔业活动密度等多因素密切相关。鲸豚类和海龟的兼捕主

要集中在巴布亚新几内亚及其周边水域、所罗门群岛附近、马里亚纳群岛以及密克罗尼西亚部分海域。该海域的生态系统多样性和独特性在全球范围内具有重要地位,包含了多种重要的生态环境,例如近海珊瑚礁、红树林和海草床等^[19]。这些生态系统为多种海洋生物提供了重要的栖息地和食物来源,其生态功能对区域的海洋生物多样性起到了至关重要的作用。其中,该海域的西部边缘位于珊瑚三角区的核心地带,这一区域被公认为全球海洋生物多样性最高的区域之一^[20]。上升流与洋流是该海域的重要海洋动力过程,它们通过将深层营养物质带到表层水域,显著提高了初级生产力,从而吸引包括鲸豚类和海龟在内的多种海洋动物^[21-22]。海水深度、底部地形等因素也与鲸豚类的捕食活动密切相关^[23-25]。DAVIS等^[26]研究发现鲸豚类的分布受到繁殖行为的影响,这使得繁殖需求成为影响鲸豚类栖息地选择的重要因素。海洋环境(如海表温度)也影响了兼捕鱼种分布,邢侃等^[15]发现海龟的兼捕更易发生在水温较暖的海域范围内。

鲨鱼类兼捕在基里巴斯附近海域尤为显著,该海域位于太平洋“暖池”,受北赤道逆流和赤道上升流的共同作用, HUTCHINGS 等^[27]研究发现每年 8—10 月,该海域的水温相对较高,叶绿素 a 质量浓度显著增加,初级生产力较强,为海洋生物的繁衍生息创造了有利条件。不仅吸引了鲨鱼等顶级捕食者,也吸引了大量中层捕食者和底层鱼类,为鲨鱼提供了猎食机会。

在东西经度海域 3 种兼捕渔获物 BPUE 的比较中,鲨鱼和海龟整体趋势较为相近,而鲸豚类在西经海域 BPUE 在 2020 年以后异常下降,与东经海域 BPUE 稳步上升形成较大差异。可能是因为自 2020 年以来, WCPFC 公约区围网渔业的观察员覆盖率受到 COVID-19 的影响,总体覆盖率较低,可用观察者数据的空间覆盖率不太能代表整体捕捞努力量^[28]。从鲨鱼和海龟整体 BPUE 在 2020 年前后迅速下降也能得以佐证。

3.2 兼捕率和净兼捕率差异

从兼捕率来看,镰状真鲨年均兼捕率达 131.80 尾/百网,明显高于其他兼捕渔获物。主要原因在于其兼捕数量较多,占有兼捕渔获物的 95%。GILMAN 等^[29]研究发现,镰状真鲨是人工集鱼装置(Fish aggregation devices, FAD)兼捕的主要物种,占兼捕鲨鱼的 95%,与本研究相近。镰状真鲨的净兼捕率也处在较高水平, TOLOTTI 等^[30]研究发现镰状真鲨是围网捕捞致死率较高的鲨鱼种类,在围网袋中受到挤压且没有充足的氧气供其进行正常代谢,网袋内温度升高,从而直接影响其生存状态。高 BPUE 和高 NBPUE 反映出渔业活动对镰状真鲨种群的压力更为显著。兼捕率较高的鲨鱼还有长鳍真鲨和鲸鲨。但鲸鲨的净兼捕率要显著低于长鳍真鲨。鲸鲨的低净兼捕率可能是由于其能够利用鳃泵机制主动吸水呼吸,这使它即使被困在网中短时间内也能存活^[31],并且鲸鲨是一种温和的滤食性鱼类,在被围网捕获时不会剧烈挣扎,因此受伤或因过度应激死亡的风险较低。李俊谊等^[32]通过观察员数据发现 2016—2019 年中西部太平洋海域误捕到鲸鲨的死亡率平均值为 4.6%,与本结果相近。

鲸豚类中兼捕率较高的为伪虎鲸和糙齿海豚,这可能是因为伪虎鲸和糙齿海豚的栖息地与中西太平洋围网渔业作业海域高度重叠所致^[14]。其中,糙齿海豚的净兼捕率显著高于伪虎

鲸,这可能是因为糙齿海豚受惊吓时产生的应激反应使其更容易与围网发生缠绕,导致机械损伤和窒息风险增加,从而降低了其存活率^[33-34]。相比之下,较大型的鲸豚如伪虎鲸在围网中往往表现出较强的挣脱能力,因此其存活率较高。

海龟类中,绿海龟主要以海草和藻类为食,其觅食活动高度依赖海草床和珊瑚礁^[35],这些栖息地通常与中西太平洋围网渔业的作业海域高度一致,导致绿海龟在海龟类中兼捕率最高。然而,海龟类的净兼捕率整体较低,这可能是由于海龟在被围捕后存活能力较强,并能在渔具回收过程中被及时释放。此外,较小型的海龟个体由于行动相对灵活,能在渔具回收过程中找到逃生路径,从而提高了存活率^[36]。

3.3 兼捕渔获物与金枪鱼的联系

鲸豚类和鲨鱼的 BPUE 与 3 种中西太平洋目标鱼种的 CPUE 无显著相关性。HALL 等^[37]研究发现鲸豚类与黄鳍金枪鱼在热带东太平洋联系紧密。这与本研究结果不符,原因可能是热带东太平洋的“冷舌”区域温跃层相对较浅,通常深度仅为 30~60 m,这对海洋生物的垂直分布产生了重要影响,而中西太平洋的温跃层相对较深,通常深度为 100~200 m^[38],降低了鲸豚类、鲨鱼和黄鳍金枪鱼等的活动空间重叠性。此外,在温跃层以下存在厚重的氧气缺乏区(Oxygen minimum zone, OMZ),这一特性极大地限制了黄鳍金枪鱼及其猎物的垂直活动范围,使黄鳍金枪鱼活动水层与鲸豚类高度重叠,加强了之间的关联^[39]。AMANDÈ 等^[40]研究发现 2003—2007 年 FAD 和自由集群(Free swimming school, FSC)状态下兼捕到的鲨鱼数量占兼捕总数的 91% 和 21%。说明影响鲨鱼兼捕的主要因素可能在于 FAD 的使用情况,而非与金枪鱼的互动联系。海龟的 BPUE 与鲣和大眼金枪鱼 CPUE 呈显著正相关,说明中西太平洋海龟和金枪鱼在高生产力海域分布和觅食行为可能高度一致,需要加强对海龟的保护。

3.4 减少兼捕的建议

WCPFC 管理的中西太平洋海域面积广阔,兼捕物种的管理和保护面临巨大挑战。建议对现有渔具进行优化,例如使用非诱集型浮标(Non-entangling FADs),避免鲸豚类、鲨鱼和海龟被浮标附带的材料缠绕^[41]。推广生态友

好型浮标(Eco-friendly FADs),采用生物降解材料减少对非目标物种的长期威胁。LUCCHETTI等^[42]在地中海拖网渔业中测试了海龟逃生装置(Turtle excluder device, TED),发现海龟兼捕率显著下降。此外,研究发现发光二极管(LEDs)能显著减少兼捕,并且对目标鱼种商业渔获量没有影响^[43-44]。还可使用电子监控系统(Electronic monitoring system, EMS)和观察员记录捕捞情况,监管非目标物种的及时释放。最后,加强各国在中西太平洋渔业资源管理中的合作,推动濒危物种的有效保护。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] LIAO C P, HUANG H W. The cooperation strategies of fisheries between taiwanese purse seiners and pacific island countries[J]. Marine Policy, 2016, 66: 67-74.
- [2] WILLIAMS P, RUAIA T. Overview of tuna fisheries in the western and central Pacific Ocean, including economic conditions-2020 [C]//17th Regular Session of the Scientific Committee. Pohnpei: Scientific Committee, 2021.
- [3] HALL M A, ALVERSON D L, METUZALS K I. By-catch: problems and solutions [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 41(1/6): 204-219.
- [4] HEPPELL S S, CASWELL H, CROWDER L B. Life histories and elasticity patterns: perturbation analysis for species with minimal demographic data [J]. Ecology, 2000, 81(3): 654-665.
- [5] ARNOLD J M, BRAULT S, CROXALL J P. Albatross populations in peril: A population trajectory for black-browed albatrosses at south Georgia [J]. Ecological Applications, 2006, 16(1): 419-432.
- [6] SMITH T D, LO N C H. Some data on dolphin mortality in the eastern tropical Pacific tuna purse seine fishery prior to 1970 [R]. Washington, U. S.: Department of Commerce, 1983.
- [7] O'CONNELL D A. Tuna, dolphins, and purse seine fishing in the eastern tropical Pacific: The controversy continues[J]. UCLA Journal of Environmental Law and Policy, 2005, 23(1): 77-100.
- [8] PAINE R T. A note on trophic complexity and community stability[J]. The American Naturalist, 1969, 103: 91-93.
- [9] Convention on International Trade in Endangered Species (CITES). Appendices I, II and III [EB/OL]. (2023-11-25) [2024-03-01]. <https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2017/E-Appendices-2017-10-04.pdf>.
- [10] International Union for Conservation of Nature (IUCN). The IUCN red list of threatened species. version 2023-1 [EB/OL]. (2023-01-01) [2024-03-01].
- [11] WALLACE B P, DIMATTEO A D, BOLTON A B, et al. Global conservation priorities for marine turtles[J]. PLoS One, 2011, 6(9): e24510.
- [12] 朱江峰, 戴小杰. 中西太平洋金枪鱼围网渔业现状及我国发展对策[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(1): 115-119. ZHU J F, DAI X J. China development stagey on tuna fishery in western and central Pacific [J]. Chinese Fisheries Economics, 2009, 27(1): 115-119.
- [13] 孙康, 戴小杰, 高春霞, 等. 中西太平洋围网不同作业方式兼捕镰状真鲨渔获率和死亡率分析[J]. 海洋通报, 2021, 40(4): 434-440. SUN K, DAI X J, GAO C X, et al. The Analysis of catch rate and mortality on the bycatch of silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in different operating modes of purse seine in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(4): 434-440.
- [14] 石一茜. 中西太平洋金枪鱼渔业对鲸豚类兼捕问题的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023. SHI Y Q. Study on cetacean bycatch in tuna fisheries of the Western and Central Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [15] 邢侃, 戴小杰, 吴峰. 热带大西洋金枪鱼延绳钓渔业中海龟的兼捕与保护[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 726-734. XING K, DAI X J, WU F. Bycatch and conservation of sea turtles by pelagic tuna longline fishery in tropical Atlantic Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(4): 726-734.
- [16] PEATMAN T, ALLAIN V, BELL L, et al. Estimating trends and magnitudes of bycatch in the tuna fisheries of the Western and Central Pacific Ocean [J]. Fish and Fisheries, 2023, 24(5): 812-828.
- [17] 黄帆, 石一茜, 朱江峰. 中西太平洋围网渔业中兼捕鲸类的研究[J/OL]. 水产学报, 1-12[2025-02-10]. <http://www.china-fishery.cn/article/doi/10.11964/jfc.20220813646>.
- [18] HASSANIN A, DELSUC F, ROPIQUET A, et al. Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes [J]. Comptes Rendus Biologies, 2012, 335(1): 32-50.
- [19] JUPITER S, MANGUBHAI S, KINGSFORD R T. <http://www.shhydx.com>

- Conservation of biodiversity in the Pacific Islands of Oceania: challenges and opportunities [J]. Pacific Conservation Biology, 2014, 20(2): 206-220.
- [20] VERON J E N, DEVANTIER L M, TURAK E, et al. Delineating the coral triangle [J]. Galaxea, Journal of Coral Reef Studies, 2009, 11(2): 91-100.
- [21] DRUSHKA K, SPRINTALL J, GILLE S T, et al. Vertical structure of Kelvin waves in the Indonesian Throughflow exit passages [J]. Journal of Physical Oceanography, 2010, 40(9): 1965-1987.
- [22] 刘志强, 郭绍健, 王禹程. 中西太平洋金枪鱼延绳钓钩深度分布及其影响因素 [J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(4): 1020-1030.
- LIU Z Q, GUO S J, WANG Y C. Hook depth distribution and influencing factors of tuna longline fishing in Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(4): 1020-1030.
- [23] TYNE J A, JOHNSTON D W, RANKIN R, et al. The importance of spinner dolphin (*Stenella longirostris*) resting habitat: implications for management [J]. Journal of Applied Ecology, 2015, 52(3): 621-630.
- [24] PIKESLEY S K, WITT M J, HARDY T, et al. Cetacean sightings and strandings: evidence for spatial and temporal trends? [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2012, 92(8): 1809-1820.
- [25] BEARZI G, AGAZZI S, BONIZZONI S, et al. Dolphins in a bottle: abundance, residency patterns and conservation of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the semi-closed eutrophic Amvrakikos Gulf, Greece [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2008, 18(2): 130-146.
- [26] DAVIS R W, ORTEGA-ORTIZ J G, RIBIC C A, et al. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2002, 49(1): 121-142.
- [27] HUTCHINGS J A, BAUM J K. Measuring marine fish biodiversity: Temporal changes in abundance, life history and demography [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 360(1454): 315-338.
- [28] PANIZZA A, WILLIAMS P, FALASI C, et al. Status of observer data management [R]. Pohnpei: Western and Central Pacific Fisheries Commission, Federated States of Micronesia, 2022. (WCPFC-SC18-2022/ST-IP-02).
- [29] GILMAN E L. Bycatch governance and best practice mitigation technology in global tuna fisheries [J]. Marine Policy, 2011, 35(5): 590-609.
- [30] TOLOTTI M T, FILALTER J D, BACH P, et al. Banning is not enough: The complexities of oceanic shark management by tuna regional fisheries management organizations [J]. Global Ecology and Conservation, 2015, 4: 1-7.
- [31] TOMITA T, TODA M, MURAKUMO K, et al. Volume of the whale shark and their mechanism of vertical feeding [J]. Zoology, 2021, 147: 125932.
- [32] 李俊谊, 夏萌, 戴小杰. 中西部太平洋金枪鱼围网误捕鲸鲨分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(6): 1044-1049.
- LI J Y, XIA M, DAI X J. Analysis of bycatch of whale shark by tuna purse seines in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(6): 1044-1049.
- [33] ANDERSON R C. Cetaceans and tuna fisheries in the western and central Indian Ocean [J]. International Pole & Line Federation IPNLF Technical Report, 2014, 2: 133.
- [34] ALKER S C. The marine mammal protection act: Refocusing the approach to conservation [R]. Los Angeles: UCLA L, 1996-1997: 527.
- [35] FUKUOKA T, NARAZAKI T, KINOSHITA C, et al. Diverse foraging habits of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in a summer-restricted foraging habitat in the northwest Pacific Ocean [J]. Marine Biology, 2019, 166(3): 25.
- [36] ROBINS C M. Estimated catch and mortality of sea turtles from the East Coast otter trawl fishery of Queensland, Australia [J]. Marine and Freshwater Research, 1995, 46(6): 1207-1218.
- [37] HALL M A. An ecological view of the tuna-dolphin problem: impacts and trade-offs [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 1998, 8(1): 1-34.
- [38] 高晓倩, 方越, 祖永灿, 等. 热带太平洋温跃层深度的年代际变化特征及原因 [J]. 海洋科学进展, 2016, 34(3): 337-346.
- GAO X Q, FANG Y, ZU Y C, et al. Characteristics and mechanism of the decadal variability of thermocline in tropical Pacific Ocean [J]. Advances in Marine Science, 2016, 34(3): 337-346.
- [39] NORRIS K S, WURSIG B, WELLS R S, et al. The Hawaiian spinner dolphin [M]. Berkeley: University of California Press, 1994.
- [40] AMANDÈ M J, ARIZ J, CHASSOT E, et al. Bycatch of the European purse seine tuna fishery in the Atlantic Ocean for the 2003-2007 period [J]. Aquatic Living Resources, 2010, 23(4): 353-362.
- [41] MURUA H, ZUDAIRE I, TOLOTTI M, et al. Lessons learnt from the first large-scale biodegradable FAD research experiment to mitigate drifting FADs impacts on the ecosystem [J]. Marine Policy, 2023, 148: 105394.
- [42] LUCCHETTI A, PUNZO E, VIRGILI M. Flexible Turtle Excluder Device (TED): an effective tool for

- Mediterranean coastal multispecies bottom trawl fisheries [J]. *Aquatic Living Resources*, 2016, 29(2): 201.
- [43] BIELLI A, ALFARO-SHIGUETO J, DOHERTY P D, et al. An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery [J]. *Biological Conservation*, 2020, 241: 108277.
- [44] LUCCHETTI A, BARGIONE G, PETETTA A, et al. Reducing sea turtle bycatch in the Mediterranean mixed demersal fisheries [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 387.

Composition and spatiotemporal distribution of bycatch in purse seine fisheries in the Western and Central Pacific Ocean

LIN Mingyi¹, WANG Yang^{1,2}, ZHU Jiangfeng^{1,2,3}, DAI Xiaojie^{1,2,3}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study systematically analyzes the species composition, abundance, and spatial distribution of bycatch in purse seine fisheries using tuna fishery and bycatch data provided by the Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC) from 2013 to 2022. Additionally, the correlation between bycatch rates and the catch rates of three major target species: skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) was examined to identify distinct bycatch patterns and their relationship with target species composition. The results indicate that 48 bycatch species were recorded, totaling 439 623 individuals, primarily comprising cetaceans, sharks, and sea turtles. Among these, the silky shark (*Carcharhinus falciformis*) was the most frequently bycaught species, with 418 387 individuals, accounting for 95% of the total bycatch. Bycatch was predominantly concentrated in waters between 10°S–10°N latitude and 140°E–150°W longitude. Furthermore, bycatch rates were generally higher in eastern longitudes than in western longitudes, with cetacean bycatch exhibiting the most pronounced east-west variation. Correlation analysis revealed no significant relationship between the bycatch rates of cetaceans and sharks and the catch rates of target tuna species. However, the bycatch rate of sea turtles showed a positive correlation with the catch rates of skipjack and bigeye tuna. These findings highlight the high bycatch risk associated with purse seine fisheries, particularly for silky sharks, which dominate the bycatch composition. The overall higher bycatch rates in eastern longitudes further underscore the need for region-specific mitigation strategies. This study provides valuable scientific insights to support bycatch reduction measures, contributing to the conservation and sustainable management of marine ecosystems.

Key words: bycatch; purse seine fisheries; correlation analysis; composition and distribution; Western and Central Pacific Ocean