

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20152

东太平洋南北部海域大眼金枪鱼生物学特性对比研究

黄洪基¹, 许柳雄^{1, 2, 3}, 周成^{1, 2, 3}, 王学昉^{1, 2, 3}, 万荣^{1, 2, 3}, 朱文斌⁴, 臧迎亮⁵, 陈晓军⁶

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;
4. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316100;
5. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022;
6. 大连远洋渔业金枪鱼钓有限公司, 辽宁 大连 116006

摘要: 明确大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的生物学特征是进行种群资源评估并依此制定和实施养护管理措施的重要前提。为掌握广泛的时间和空间范围内东太平洋大眼金枪鱼种群特征, 本研究利用 2013—2019 年执行东太平洋金枪鱼延绳钓资源探捕调查期间采集的大眼金枪鱼渔获数据, 对东太平洋南、北部海域大眼金枪鱼的叉长、净重、摄食等级、性腺成熟期等生物学特性进行了分析, 结果显示: (1)北部海域大眼金枪鱼的叉长范围为 72~229 cm, 优势叉长为 80~160 cm, 平均叉长(121.53±29.11) cm, 雌雄比为 0.91 : 1, 优势性腺成熟期为 III、IV 期; (2)南部海域大眼金枪鱼的叉长范围为 63~209 cm, 平均叉长为(134.87±25.73) cm, 优势叉长组 110~150 cm, 雌雄性比为 0.62 : 1, 优势性腺成熟期为 III、V 期; (3)南北海域大眼金枪鱼的优势摄食等级分别为 1 级和 2 级, 空胃率分别为 46.98%和 3.22%, 总体上摄食强度随叉长的增大而增加; (4) ANCOVA 结果显示, 南部和北部海域叉长与净重的关系存在较明显的差异($P < 0.05$); (5) ANOVA 结果显示, 大眼金枪鱼雌雄个体性腺成熟差异不显著($P > 0.05$); (6) 钓获后处于存活状态的个体占比较高, 死亡状态仅占 8.52%。研究表明, 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼的叉长、性比和摄食强度等生物学特性具有一定的空间异质性。

关键词: 大眼金枪鱼; 东太平洋; 延绳钓; 生物学特性

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)02-0222-09

大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)是一种高度洄游的大洋性鱼类, 在太平洋、印度洋和大西洋的热带、亚热带均有分布^[1-2], 其中, 东太平洋 40°N~30°S 之间的海域是大眼金枪鱼的主要分布区域之一^[3]。东太平洋大眼金枪鱼的主要捕捞方式为延绳钓和围网, 其中, 2018 年延绳钓捕捞产量为 22495 t, 占该海域大眼金枪鱼总产量的 26.13%^[4]。2018 年美洲间热带金枪鱼委员会(Inter-American Tropical Tuna Commission, IATTC)的资源评估结果显示,

东太平洋大眼金枪鱼种群的捕捞压力不断增加, 产卵群体数量持续下降, 除了当前的季节性休渔措施之外, 尚缺乏其他有效的养护措施以维持其群体的可持续性利用^[1,5]。因此, 需要加强大眼金枪鱼资源调查研究, 从而为种群评估和养护措施的制定提供信息支撑^[6]。

尽管种群分布连续性、体长频率、性腺成熟度以及产卵的区域和时间等证据表明太平洋赤道南北水域的大眼金枪鱼为单一种群^[7], 然而, 如

收稿日期: 2020-05-22; 修订日期: 2020-06-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41806110, 41506151, 31902426); 浙江省科学技术厅重点研发计划项目(2018C02026); 国家重点研发计划项目(2019YFD0901502).

作者简介: 黄洪基(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔具渔法的研究. E-mail: 13139896027@163.com

通信作者: 周成, 讲师, 主要从事金枪鱼渔业的研究. E-mail: c-zhou@shou.edu.cn

同其他热带金枪鱼一样,大眼金枪鱼的繁殖、生长、摄食等特征受环境条件影响显著^[8]。南北部海域具有显著差异的海洋学特征(如洋流系统、海洋层化结构等)^[9],由此推测,大眼金枪鱼的生物学特征具有一定的空间异质性。目前,国外学者对东太平洋大眼金枪鱼生物学信息,如年龄结构^[10]、体长组成^[11]、产卵繁殖^[12]等方面有着广泛的研究。国内学者在摄食行为^[13]、性比^[14]、性腺成熟度^[15]等方面有部分报道,然而调查海域多集中于资源丰度较高的东太平洋南部水域,尚无南北部海域大眼金枪鱼生物学特性对比研究的报道。

为更好地了解东太平洋大眼金枪鱼种群状况,本研究对南北部海域大眼金枪鱼的叉长、净重、

摄食等级、性腺成熟度和性比等生物学特性进行对比分析,以期对太平洋大眼金枪鱼种群评估提供基础生物学数据,同时为大眼金枪鱼渔业资源的养护管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查海域和调查时间

本研究数据来源于 2013—2016、2018 和 2019 年执行农业农村部 and 浙江省农业农村厅东太平洋金枪鱼延绳钓资源探捕调查期间采集的大眼金枪鱼渔获物统计数据。各年度调查海域、调查时间及执行调查任务的渔船与渔具基本信息和参数见表 1,具体调查站位见图 1。

表 1 本研究调查概况
Tab. 1 Information of the surveys in the present study

年份 year	调查船 information of vessel	渔具参数 fishing gear parameters (每篮钩数, 每篮主绳长, 支线长, 浮子绳长)	调查范围 survey area	调查时间 survey time
2013	大连远洋渔业金枪鱼有限公司天祥 16	17 枚, 846 m, 51 m, 40 m	N10°57'~N41°08' W144°19'~W176°59'	11 月—翌年 4 月
2014	浙江省远洋渔业集团股份有限公司新世纪 71	17 枚, 867 m, 57 m, 40 m	S1°53'~S6°34' W147°10'~W167°28'	1 月—6 月
2015	浙江省远洋渔业集团股份有限公司新世纪 78	26 枚, 891 m, 26 m, 25 m	S14°22'~S22°41' W116°8'~W132°59'	10 月—12 月
2016	浙江省远洋渔业集团股份有限公司新世纪 79	26 枚, 891 m, 26 m, 25 m	S1°35'~S5°01' W115°44'~W135°35'	3 月—6 月
2018	大连远洋渔业金枪鱼有限公司隆兴 801	19 枚, 840 m, 42.5 m, 30 m	N6°57'~S7°20' W119°20'~W147°15'	9 月—次年 1 月
2019	大连远洋渔业金枪鱼有限公司隆兴 801	19 枚, 840 m, 42.5 m, 30 m	N1°02'~N6°57' W135°15'~W124°20'	12 月—次年 1 月

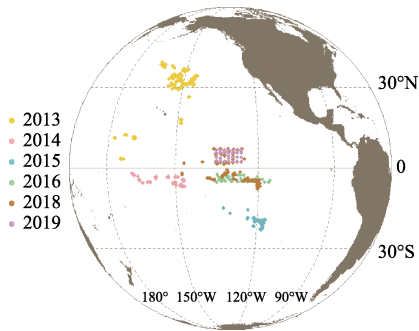


图 1 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼
2013—2019 年各年调查站位

Fig. 1 Sampling stations of *Thunnus obesus* in the northern and southern areas of the eastern Pacific Ocean in 2013–2019

1.2 调查方法和数据处理

1.2.1 数据采集方法 调查期间在甲板上对钓获

的大眼金枪鱼进行生物学特征信息测定,主要参数包括叉长、净重、摄食等级、性腺成熟度、性比和存活状态等。其中,长度测量工具为皮带尺(精确度 1 cm),重量测量工具为杆秤(精确度 0.2 kg)。

参考《海洋调查规范》^[16]的测量和划分标准,大眼金枪鱼叉长为上颌至尾叉最深点之间的长度(即上颌叉长 FL, cm);净重为去除鳃、鳍、内脏和鱼尾后的重量(即加工重量 GT, kg);摄食等级根据胃饱满程度划分为 5 级,即 0~4 级;性腺成熟度根据性腺发育程度划分为 6 期,即 I~VI 期。此外,参照区域性金枪鱼渔业管理组织观察员手册对渔获状态的划分依据^[17],钓获的鱼拉至甲板时的生命体征共分为 4 个等级,即 A1(活体,且状态良好)、A2(活体,但明显受伤)、A3(活体,但接近

死亡)和 D (死亡)。

1.2.2 数据分析

(1) 采用 Excel 软件分析南北部海域大眼金枪鱼的叉长、净重、性腺成熟度、捕获状态和摄食等级的频次分布, 其中, 空胃率(%)=(空胃数/总胃数)×100%。

(2) 采用幂函数回归方法拟合叉长与净重的关系, 回归表达式为:

$$W = aFL^b \quad (1)$$

式中, W 为个体净重(kg, 南部和北部个体净重分别用 W_S 和 W_N 表示), FL 为叉长(cm), a 为条件因子, 反映种群所处环境的优劣, b 为异速生长系数, 反映生长发育的不均匀性^[18]。

利用 SPASS13.0 软件的单因子方差分析(ANOVA)检验南北部个体叉长、净重、性腺成熟度和摄食等级是否存在显著性差异; 利用协方差分析(ANCOVA)检验南北部个体叉长与净重关系是否存在显著性差异; 利用卡方检验(Chi-square test)分析大眼金枪鱼的性比是否符合 1:1。

2 结果与分析

2.1 叉长分布

本研究共随机测量 1775 尾大眼金枪鱼的叉

长, 其中南部海域 628 尾, 北部海域 1147 尾。如图 2 所示, 北部海域大眼金枪鱼的叉长范围为 72~229 cm, 平均叉长为(121.53±29.11) cm, 优势叉长为 80~110 cm 和 130~160 cm, 占总尾数的 76.52%; 南部海域大眼金枪鱼的叉长范围为 63~209 cm, 平均叉长为(134.87±25.73) cm, 优势叉长为 110~150 cm, 占总尾数的 79.56%。南北部的优势叉长范围不一致, 叉长频次分布也不一致, 南部个体的叉长呈现单峰分布, 北部为双峰分布。ANOVA 结果显示, 南北部群体的叉长差异显著($P<0.05$), 北部海域的叉长均值小于南部。

2.2 净重

本研究共随机测量 2113 尾大眼金枪鱼的净重, 其中南部海域 964 尾, 北部海域 1149 尾。如图 3 所示, 北部海域大眼金枪鱼的净重范围为 6~160 kg, 平均净重为(34.73±22.27) kg, 优势净重为 10~50 kg, 占总尾数的 69.40%; 南部海域大眼金枪鱼的净重范围为 5~135 kg, 平均净重为(43.64±22.46) kg, 优势净重为 20~50 kg, 占总尾数的 59.72%。南部海域的净重范围比北部海域更广, 优势净重范围基本一致。南北部的净重频次均为单峰分布。ANOVA 结果显示, 南北部群体的净重差异显著($P<0.05$), 南部海域的净重均值略大于北部。

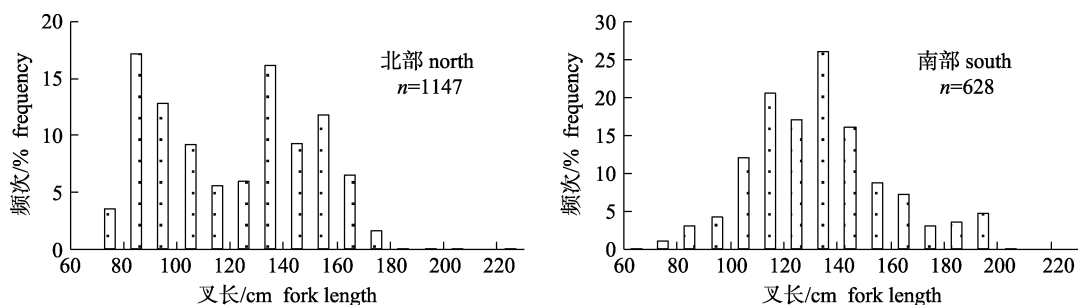


图 2 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼的叉长频次分布

Fig. 2 Frequency distribution of fork length of *Thunnus obesus* in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

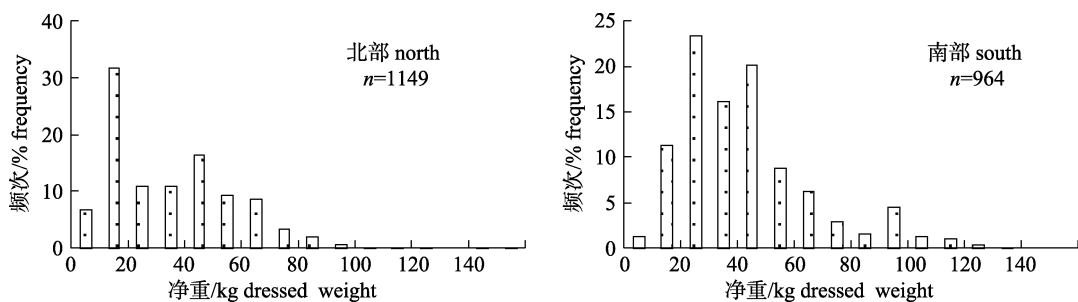


图 3 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼的净重频次分布

Fig. 3 Frequency distribution of dressed weight of *Thunnus obesus* in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

2.3 叉长与净重的关系

ANCOVA 表明大眼金枪鱼的净重变化是由叉长变化引起的($P<0.05$), 与性别无关($P>0.05$)。南部和北部海域的大眼金枪鱼叉长-净重的幂函数回归关系式分别为 $W_s = 6 \times 10^{-5} FL^{2.7286}$ ($R^2 = 0.9272$, $n=628$)和 $W_N = 4 \times 10^{-5} FL^{2.8072}$ ($R^2=0.9782$, $n=1147$)(图 4)。ANCOVA 表明南部和北部海域的大眼金枪鱼叉长-净重关系差异显著($P<0.05$), 在

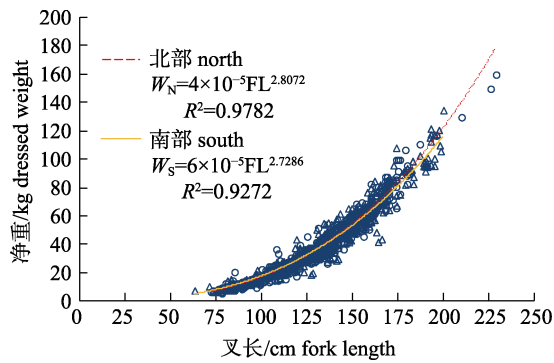


图 4 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼叉长-净重关系
Fig. 4 The relationship between fork length and dressed weight of *Thunnus obesus* in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

叉长相同的情况下, 北部海域的大眼金枪鱼体重略大于南部海域。

2.4 雌雄比

本研究南北海域共记录 1229 尾大眼金枪鱼的性别, 其中雌性 543 尾, 雄性 686 尾, 雌雄性比为 0.79 : 1。卡方检验表明与 1 : 1 的理论比例之间存在显著差异($P<0.05$)。北部海域的雌雄性比为 0.91 : 1, 卡方检验表明符合 1 : 1 的理论比例($P>0.05$); 南部海域的雌雄性比为 0.62 : 1, 卡方检验表明与 1 : 1 的理论比例有显著差异($P<0.05$)。

2.5 摄食等级

本研究共测定 1223 尾大眼金枪鱼的摄食等级, 其中, 南部海域 776 尾, 北部海域 447 尾。北部海域大眼金枪鱼的优势摄食等级为 1 级和 2 级, 空胃率(0 级)仅占 3.22%; 南部海域优势摄食等级为 0 级和 1 级, 空胃率为 46.98%。雌性和雄性优势摄食等级均为 1 级和 2 级, 分别占总尾数的 69.16%和 64.53%(表 2)。根据 ANOVA 的结果, 南北部大眼金枪鱼的摄食等级差异显著($P<0.05$)。

表 2 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼的摄食等级

Tab. 2 Feeding intensity of <i>Thunnus obesus</i> in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean							
性别 gender	位置 location		摄食等级 feeding intensity				
			0	1	2	3	4
雌性 female	北部 north	尾数 ind	25	255	350	142	4
		百分比/% percentage	3.22	32.86	45.10	18.30	0.52
	南部 south	尾数 ind	210	157	52	23	5
		百分比/% percentage	46.98	35.12	11.63	5.15	1.12
		尾数 ind	92	189	181	68	5
		百分比/% percentage	17.20	35.33	33.83	12.71	0.93
雄性 male		尾数 ind	143	223	221	97	4
		百分比/% percentage	20.78	32.41	32.12	14.10	0.58

由图 5 可知, 大眼金枪鱼在叉长 110~130 cm 和 170~180 cm 范围内空胃率较高; 叉长 70~200 cm 范围内的优势摄食等级均为 1 级和 2 级; 叉长 60~70 cm 和 200~220 cm 范围内个体的摄食等级全部为 3 级, 摄食等级为 4 级的个体极少; 叉长大于 150 cm 的个体摄食强度相对较大, 整体上摄食强度随叉长的增大而增加。

2.6 性腺成熟度

本研究共测定了 1165 尾大眼金枪鱼的性腺

成熟度, 其中北部海域 605 尾, 南部海域 560 尾。北部海域大眼金枪鱼的优势性腺成熟度为 III、IV 期, 占北部样本总尾数的 66.24%, 其余依次为 II、IV、VI、I 期; 南部海域大眼金枪鱼的优势性腺成熟度为 III、V 期, 占南部样本总尾数的 57.58%, 其余依次为 IV、VI、II、I 期(图 6)。ANOVA 结果表明, 南北部群体的性腺成熟度差异不显著($P>0.05$)。

不分区域的雌雄大眼金枪鱼的优势性腺成熟

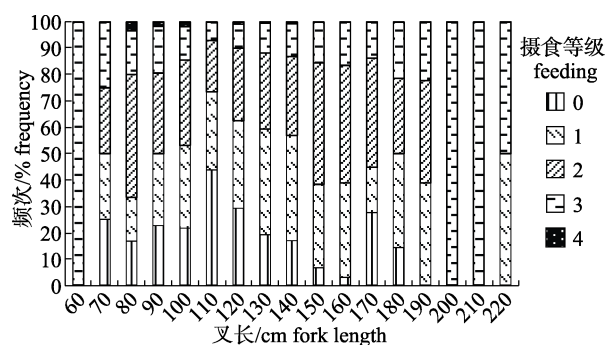


图 5 东太平洋南北部海域不同叉长范围大眼金枪鱼的摄食等级分布

Fig. 5 The distribution of feeding intensity of *Thunnus obesus* in different fork length intervals in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

度一致, 均为 III、IV、V 期。各性腺成熟期内均有雌雄个体分布, 性腺成熟度占比最高的为 III 期, 最低的为 I 期。雌性成熟个体(III~VI 期)占雌性总尾数的 89.25%; 雄性成熟个体占雄性总尾数的 81.33%。ANOVA 结果表明, 大眼金枪鱼雌雄个体的性腺成熟度差异不显著($P>0.05$)。

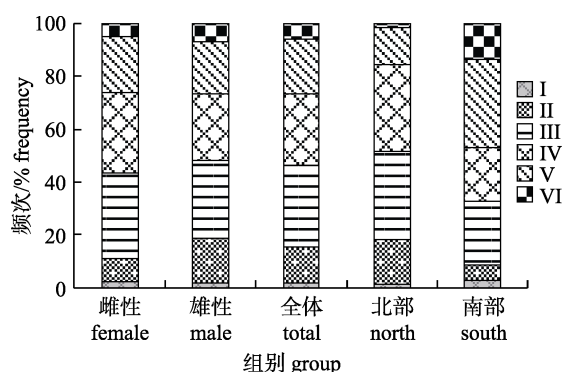


图 6 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼的性腺成熟度频次分布

Fig. 6 Frequency distribution of gonad maturity stages of *Thunnus obesus* in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

2.7 渔获物存活状态

本研究共记录 1268 尾大眼金枪鱼钓获时的个体存活状态。处于 A1 状态的个体占总尾数的 83.36%, A2 状态的个体占 10.09%, A3 状态的个体占 6.55%, 而 D 状态的个体仅占 8.52%(图 7)。在所有死亡个体中, 南部占 59.26%, 北部占 40.74%, 雌性死亡数量(78 尾)多于雄性(44 尾)。

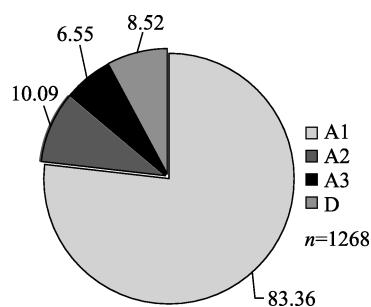


图 7 东太平洋南北部海域大眼金枪鱼渔获物存活状态

Fig. 7 Haul-back fate status of *Thunnus obesus* in the southern and northern sea area of the eastern Pacific Ocean

3 讨论

3.1 叉长与净重

本研究使用上颌叉长作为鱼体尺寸的指标能够减少测量尾鳍时由于损伤造成的全长测量的误差, 同时采用去鳃、鳍、尾和内脏的加工重量可以消除个体因短时间大量摄食和性腺发育等因素对体重造成的影响^[19]。本研究获得的大眼金枪鱼叉长-净重关系中, 南部海域的幂指数系数 b 值为 2.7286, 北部海域为 2.8072, 均呈现负异速生长 ($b<3$), 即体长生长速度大于体重生长速度。造成异速生长的原因可能与捕捞压力有关。Stergiou 等^[20]指出, 在相对较低的捕捞压力下, 鱼类个体的体重生长速度提高, 表现为异速生长因子 b 值变大。与其他研究, 如王修国^[15]($b=2.9564$, 调查时间 2010 年)、Zhu 等^[1]($b=2.9779$, 2010 年)、杨松等^[21]($b=3.1641$, 2005 年)、Sun 等^[22]($b=2.9278$, 2001 年)、Kume 等^[23]($b=3.1056$, 1964 年)的结果相比, 本研究的 b 值较小, 表明相比过去数十年, 当前东太平洋大眼金枪鱼面临的捕捞压力可能增加, 这与 IATTC 最新的资源评估结果一致^[5]。本研究结果显示南部海域 b 值小于北部, 表明南部海域大眼金枪鱼可能面临着更大的捕捞压力。

3.2 性比

本研究北部海域大眼金枪鱼雌雄性比为 0.91:1, 高于 Kume 等^[11](0.79:1)和 Schaefer 等^[2](0.80:1)的研究结果, 而南部海域雌雄性比为 0.62:1, 小于 Shomura 等^[24](0.68:1)、Zhu 等^[25](0.77:1)、Kume 等^[11](0.63:1)和王修国^[15](0.75:1)的研究结果, 但大于 Kume^[26](0.59:1)的

结果。这些研究结果初步表明北部海域大眼金枪鱼雌雄性比小于南部海域。另据报道,当叉长大于120 cm时,渔获物中的雄性个体开始占主导地位^[2,11,24,27],表明大眼金枪鱼在个体生长方面存在性别二态性。

大眼金枪鱼栖息水深与个体大小有一定相关关系,叉长越大的个体被钓获的水层越深^[28]。Hisada^[29]认为当海面水温大于26℃时,处于产卵期的成熟个体会从其栖息的较深水域(在温跃层以下)迁移到较暖的水面产卵,导致更容易被设置较浅的延绳钓捕获,非产卵期的成熟个体会留在水温相对冷的较深水层从而更容易被设置较深的延绳钓捕获;而较小的未成熟个体倾向于生活在较浅的水域,并能与鲷(*Katsuwonus pelamis*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)形成混合鱼群,从而被表层渔具捕获^[5]。在本研究中,南北部海域渔获结构组成差异较大,南部海域叉长大于120 cm的个体比例大于北部海域,且南部雌性比例远大于北部。造成该现象的原因可能为作业特征之间的差异。本研究北部海域的一部分大眼金枪鱼样本来源于长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)资源探捕作业的渔获,其延绳钓钩深度设置较浅^[24],钓获的大眼金枪鱼个体可能相对更小,因而可能导致北部海域钓获的大眼金枪鱼中雌性个体较多而叉长大于120 cm的个体较少。

3.3 摄食强度

本研究ANOVA结果显示南北部大眼金枪鱼的摄食等级差异显著($P<0.05$),北部海域大眼金枪鱼空胃率仅为3.22%,而南部海域空胃率高达46.98%。其中,南部海域结果与Nakamura等^[30](47.3%)、李鹏飞等^[14](51%)和郑晓春等^[31](47.7%)相比较为接近,但北部空胃率结果相差较大。这一差异可能归因于南北部海域洋流系统、海洋层化结构等海洋环境方面的不同^[9]。有研究表明,温跃层较浅的水域初级生产力较高,摄食饵料丰度高;而温跃层对应较深的海域,初级生产力较低,摄食饵料丰度低^[5,32]。东太平洋赤道南北部的海域温跃层深度不一致,北部较浅,南部较深^[33]。不同海洋水域的垂直结构和摄食饵料的可利用性可能导致大眼金枪鱼不同的摄食模式^[34]。同样地,

Schaefer等^[35]表明,大眼金枪鱼可能并非根据温度、深度或对光线的偏好来决定它们的栖息深度,而是根据它们偏好的摄食饵料鱼群。由于不同海域中饵料的分布深度和丰度不同,南北部海域大眼金枪鱼的摄食习性在空间上具有一定的异质性。

本研究结果显示,随叉长增大,高摄食等级所占比例也随之增大,表明个体更大的大眼金枪鱼摄食能力相对更强。这与King等^[36]及朱国平等^[13]的研究结论一致,但与许柳雄等^[37]和宋利明等^[38]所调查的印度洋中西部和中部大眼金枪鱼的研究结论相反。这种差异可能与研究调查月份或洋区有关,许柳雄等^[37]的调查时间为9月至次年6月,宋利明等^[38]的调查时间为12月至次年6月,此期间印度洋季风盛行,致使海洋中鲷和沙丁鱼等饵料资源变动较快^[12-13],因此导致大眼金枪鱼的摄食机会减少。

3.4 性成熟

本研究结果表明南北部群体的性腺成熟差异不显著,这可能与调查采样的范围(或深度)和观察方法有关。本研究采用肉眼宏观观察判断性腺发育情况,而肉眼宏观分期并非评估性成熟度的最佳方法,因为对于成熟但处于产卵后或休眠阶段的雌性可能被误判为未成熟^[6],这种错误分类将会导致整体性成熟度偏低。由于本研究南北部海域的样本数据来自不同的调查人员,可能造成统计结果的误差。其次,大眼金枪鱼性成熟结果因采样时间或范围不同而有所差异^[29],本研究北部海域的采样范围(1°N~37°N, 176°W~119°W)大于南部海域(1°S~22°S, 164°W~125°W)。采样范围越小其群体同质性越高^[39],导致所获得的性成熟结果可能高或低于实际情况。在相同的时间框架下(例如相同年份和月份)探究空间异质性将会更加合理,因为大眼金枪鱼生物学参数以及洄游分布具有年际和年内变化,这将导致其生物学特性(如发育、性成熟、摄食等)呈现时间尺度上的变动。然而,由于本研究南北部的数据来源于不同年份的金枪鱼资源探捕调查项目采集的样本,每年的探捕作业往往仅有4个月左右的调查时间,同时,海上生产受不可抗因素的影响,每年的探捕时间并非集中在相同月份(季度),这些因素导

致本研究无法支持在相同时间框架下对数据进行对比。

3.5 渔获物存活状态

本研究中钓获的大眼金枪鱼处于存活状态的个体占 91.48%，而处于死亡状态的仅占 8.52%，其中雌性个体占多数(58.33%)，表明雌性被捕获的死亡率可能高于雄性。造成雌雄个体被捕获时的存活状态差异的原因尚未完全明确^[38,40]，有学者认为可能与雌性的生殖行为有关，雌性在生殖产卵过程中比雄性个体排精消耗更多的营养和体力，导致雌性大眼金枪鱼的生命力降低，因而雌性个体在遭受伤害时更容易在较短时间内死亡^[38,41]。Schaefer 等^[2]在其他几种金枪鱼类或类金枪鱼的研究中也发现了类似的现象。雌性在产卵期间会较长时间栖息在水深较浅的区域^[29]，而不同的栖息水深会对大眼金枪鱼的存活状态产生影响^[34]，刘莉莉等^[42]研究表明长鳍金枪鱼被延绳钓捕获水层越深，鱼体的存活率越高，且存活比例随着鱼体大小的增加而增加。本研究中叉长较小的死亡数量较多，不排除大眼金枪鱼也存在相似的存活特性。然而，这些研究结果不足以支持大眼金枪鱼雌雄个体的存活状态差异的解释，因此，未来研究应将雌雄个体的生命体征差异与地域差异纳入大眼金枪鱼的生物学研究中。

致谢：感谢浙江省远洋渔业集团股份有限公司“新世纪 71”“新世纪 78 号”和“新世纪 79 号”及大连金枪鱼钓有限公司“天祥 16”和“隆兴 801”号延绳钓船的船长及船员在数据采集过程中所提供的协助。

参考文献：

- [1] Zhu G P, Dai X J, Xu L X, et al. Reproductive biology of Bigeye Tuna, *Thunnus obesus*, (Scombridae) in the eastern and central tropical Pacific Ocean[J]. Environmental Biology of Fishes, 2010, 88(3): 253-260.
- [2] Schaefer K M, Fuller D, Miyabe N. Reproductive biology of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern and central Pacific Ocean[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 2005, 23: 1-31.
- [3] Sun C L, Yeh S Z, Chang Y J, et al. Reproductive biology of female bigeye tuna *Thunnus obesus* in the western Pacific Ocean[J]. Journal of Fish Biology, 2013, 83(2): 250-271.
- [4] IATTC. Estimated longline catches of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean[CP/OL]. http://www.iattc.org/PDFFiles/LonglineCatches/Monthly-longline-catches-of-bigeye_Past-catches.pdf.
- [5] IAATC. Tuna fishery, stocks, and ecosystem in the eastern Pacific Ocean in 2018[CP/OL]. <http://www.iattc.org/FisheryStatusReportsENG.htm>.
- [6] Schaefer K M. Reproductive biology of tunas[M]// Fish Physiology. Amsterdam: Elsevier, 2001: 225-270.
- [7] Miyabe N, Bayliff W H. A review of the biology and fisheries for bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Pacific Ocean[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 1998, 9: 129-170.
- [8] Lehodey P, Senina I, Wibawa T A, et al. Operational modeling of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) spatial dynamics in the Indonesian region[J]. Marine Pollution Bulletin, 2018, 131: 19-32.
- [9] Abascal F J, Peatman T, Leroy B, et al. Spatiotemporal variability in bigeye vertical distribution in the Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2018, 204: 371-379.
- [10] Farley J H. Age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) from the eastern and western AFZ[CP/OL]. <http://hdl.handle.net/102.100.100/184666?index=1>.
- [11] Kume S, Joseph J. Size composition, growth and sexual maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, from the Japanese long-line fishery in the eastern Pacific Ocean[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 1966, 11: 45-99.
- [12] Zhu G P, Zhou Y Q, Xu L X, et al. Growth and mortality of bigeye tuna *Thunnus obesus* (Scombridae) in the eastern and central tropical Pacific Ocean[J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 85(2): 127-137.
- [13] Zhu G P, Liu W, Dai X J, et al. Spatial-temporal variation in feeding intensity of bigeye tuna *Thunnus obesus* in the tropical eastern and central Pacific Ocean[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(1): 68-73. [朱国平, 刘维, 戴小杰, 等. 热带太平洋中东部大眼金枪鱼摄食强度的时空变化[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 68-73.]
- [14] Li P F, Zang Y L, Yu C D. Biological characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the tropical eastern Pacific Ocean[J]. China Water Transport, 2016, 16(7): 134-136, 321. [李鹏飞, 臧迎亮, 虞聪达. 东太平洋公海大眼金枪鱼生物学特性的初步研究[J]. 中国水运, 2016, 16(7): 134-136, 321.]
- [15] Wang X G. Study on the reproductive characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the East Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010. [王修国. 东太平洋大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼生殖特征研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.]
- [16] General Administration of Quality Supervision, Inspection

- and Quarantine. GB/T 12763.6-2007, Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12763.3-2007, 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [17] IATTC. Longline observer program field manual[CP/OL]. <http://www.iattc.org/Downloads/Forms/LonglineNormal-forms-and-manual.pdf>.
- [18] Froese R B, Cube L W. Condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2006, 22(4): 241-253.
- [19] Chen J H, Wang X F, Tian S Q, et al. Growth heterogeneity of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean explored by the mixed effects model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(5): 570-578. [陈锦辉, 王学昉, 田思泉, 等. 基于混合效应模型的印度洋大眼金枪鱼生长特征异质性分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(5): 570-578.]
- [20] Stergiou K I, Moutopoulos D K. A review of length-weight relationships of fishes from Greek marine waters[J]. Naga (The ICLARM Quarterly), 2001, 24(1-2): 23-39.
- [21] Yang S, Chen X J, Xu L X. Analysis on the catch composition and the relationship between fork-length and weight of tuna in the purse seining fishery in the West and Central Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(3): 337-340. [杨松, 陈新军, 许柳雄. 中西太平洋金枪鱼围网渔业渔获组成及叉长与体重关系[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(3): 337-340.]
- [22] Sun C L, Huang C L, Yeh S Z. Age and growth of the bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the western Pacific Ocean[J]. Fishery Bulletin, 2001, 99(3): 502-509.
- [23] Kume S, Shiohama T. On the conversion between length and weight of bigeye tuna landings in the Pacific Ocean[J]. Report of Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, 1964, 20: 59-67.
- [24] Shomura R S, Keala B A. Growth and sexual dimorphism in growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*)[C]// Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. La Jolla: FAO Fisheries Report, 1962: 1409-1417.
- [25] Zhu G P, Chen X J. Comparative study on length at sexual maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus*[C]// Papers on Modernization of Fisheries and Sustainable Development. Beijing: Chinese Academy of Fishery Sciences, 2008: 9-11.
- [26] Kume S. A review on distribution and size composition of bigeye tuna in the equatorial and south Pacific Ocean[J]. Far Seas Fisheries Research Laboratory Bulletin, 1969, 1: 77-98.
- [27] Fuller D W, Schaefer K M, Hampton J, et al. Vertical movements, behavior, and habitat of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the equatorial central Pacific Ocean[J]. Fisheries Research, 2015, 172: 57-70.
- [28] Brill R W, Lutcavage M E. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments[J]. American Fisheries Society Symposium, 2001, 25: 179-198.
- [29] Hisada K. Investigation of the hand-line fishing grounds and some biological observations on yellowfin and bigeye tunas caught in the north-western Coral Sea[J]. Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Laboratory, 1973, 8: 35-69.
- [30] Nakamura E L, Uchiyama J H. Length-weight relations of Pacific tunas[C]// Proceedings of the Governor's Conference on Central Pacific Fish Resources, 1966: 197-201.
- [31] Zheng X C, Dai X J, Zhu J F, et al. Analysis on stomach content of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern-central Pacific Ocean[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 75-80. [郑晓春, 戴小杰, 朱江峰, 等. 太平洋中东部海域大眼金枪鱼胃含物分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 75-80.]
- [32] Ignacio Vilchis L, Ballance L T, Watson W. Temporal variability of neustonic ichthyoplankton assemblages of the eastern Pacific warm pool: Can community structure be linked to climate variability?[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2009, 56(1): 125-140.
- [33] Fiedler P C. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: Review of ENSO and decadal variability[J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 244: 265-283.
- [34] Howell E A, Hawn D R, Polovina J J. Spatiotemporal variability in bigeye tuna (*Thunnus obesus*) dive behavior in the central North Pacific Ocean[J]. Progress in Oceanography, 2010, 86(1-2): 81-93.
- [35] Schaefer K M, Fuller D W. Movements, behavior, and habitat selection of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern equatorial Pacific, ascertained through archival tags[J]. Fishery Bulletin, 2002, 100(4): 765-788.
- [36] King J E, Ikehara I I. Comparative study of food of bigeye and yellow tuna in the central Pacific Ocean[J]. Fishery Bulletin, 1956, 57: 61-85.
- [37] Xu L X, Zhu G P, Song L M. Feeding behavior of *Thunnus obesus* in the west-central Indian Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 387-394. [许柳雄, 朱国平, 宋利明. 印度洋中西部水域大眼金枪鱼的食性[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 387-394.]
- [38] Song L M, Gao P F. Biological characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) from the tuna longlining fishery in the Maldives waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 674-678, 649. [宋利明, 高攀峰. 马尔代夫海域金枪鱼延绳钓渔场大眼金枪鱼生物学特性[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 674-678, 649.]
- [39] Farley J H, Clear N P, Leroy B, et al. Age, growth and preliminary estimates of maturity of bigeye tuna, *Thunnus obe-*

- sus, in the Australian region[J]. Marine and Freshwater Research, 2006, 57(7): 713-724.
- [40] Haddon M. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries[M]. 2nd. New York: Chapman Hall/CRC, 2001: 4-24.
- [41] Everett E H, Punsly R G. Sex ratios of yellow tuna in the eastern Pacific Ocean, a new method for old data[C]// Proceedings of the 41st Annual Tuna Conference. Honolulu: Southwest Fisheries Center, 1990: 52.
- [42] Liu L L, Zhou C, Yu C D, et al. Identifying the catch characteristics of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) longline associated with the depth and soaking time of hooks in the high seas of Eastern Pacific Ocean[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(1): 40-48. [刘莉莉, 周成, 虞聪达, 等. 钓钩深度和浸泡时间对东太平洋公海长鳍金枪鱼延绳钓渔获性能的影响研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(1): 40-48.]

Biology comparison of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) between the south and north in the eastern Pacific Ocean

HUANG Hongji¹, XU Liuxiong^{1,2,3}, ZHOU Cheng^{1,2,3}, WANG Xuefang^{1,2,3}, WAN Rong^{1,2,3}, ZHU Wenbin⁴, ZANG Yingliang⁵, CHEN Xiaojun⁶

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;
4. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan 316100, China;
5. School of Fishery of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;
6. Dalian Ocean Tuna Fishing Limited Company, Dalian 116006, China

Abstract: Understanding the biological characteristics of bigeye tuna is an important prerequisite for assessing population resources and formulating and implementing conservation management measures to maintain the sustainable utilization of the population. The characteristics of reproduction, growth, and feeding of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) are significantly affected by environmental conditions. Different oceanographic characteristics (e.g., current system, ocean stratification) between southern and northern regions from the equator in the eastern Pacific Ocean are likely to lead to the heterogeneity of biological characteristics of bigeye tuna over these areas. To understand the population characteristics of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean over long periods and space, in the present study, we examined a range of biological information (fork length, dressed weight, feeding intensity, gonad maturity, and sex ratio) based on fishery-dependent data collected by the resource survey of a tuna longline fishing operation from 2013 to 2019. The results showed that (1) the fork length of bigeye tuna in the north area ranged from 72 cm to 229 cm, with a dominant fork length of 80–160 cm and a mean fork length of (121.53 ± 29.11) cm. The female–male ratio was 0.91 : 1. Stages III and IV were the dominant stages in the gonad maturity of males and females, respectively. (2) The fork length of bigeye tuna in the south area ranged from 63 to 209 cm, with a dominant fork length of 110–150 cm and a mean fork length of (134.87 ± 25.73) cm. The female–male ratio was 0.62 : 1. Stages III and V were the dominant stages in the gonad maturity of males and females, respectively. (3) Stages 1 and 2 were dominant in the feeding intensity of the bigeye tuna, and the percentage of empty stomachs for the south and north regions were 46.98% and 3.22%, respectively. The feeding intensity increased with fork length. (4) An ANCOVA showed a significant difference in the relationship of fork length and dressed weight between the south and north areas ($P < 0.05$). (5) An ANOVA showed no significant difference in the gonad maturity between males and females ($P > 0.05$). (6) The proportion of surviving individuals after haul-back was relatively high, while the dead individuals only accounted for 8.52%.

Key words: *Thunnus obesus*; eastern Pacific Ocean; longline fishing; biological characteristics

Corresponding author: ZHOU Cheng. E-mail: c-zhou@shou.edu.cn