

文章编号: 1674 - 5566(2015)04 - 0594 - 09

中西印度洋的黄鳍金枪鱼繁殖生物学研究

李欢欢¹, 田思泉^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 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; 3. 上海海洋大学 国际海洋研究中心, 上海 201306)

摘要: 根据我国国家金枪鱼渔业观察员 2012 年 10 月 - 2013 年 1 月和 2013 年 10 月 - 2014 年 2 月两个阶段在印度洋中西部采集 1233 尾黄鳍金枪鱼的样本, 对其进行了繁殖生物学的研究, 主要分析黄鳍金枪鱼纯重、叉长、性比、性成熟率和性腺指数等繁殖生物学参数。结果表明: (1) 雌性雄性叉长-纯重关系式分别是 $W = 7 \times 10^{-6} L^{3.244}$ 和 $W = 6 \times 10^{-6} L^{3.197}$; (2) 雌雄之比为 0.74:1, 达到性成熟的雌雄个体性别比为 0.69:1; (3) 雌性性腺指数为 0.39 ~ 5.92, 在雌性个体中性腺指数大于 2 的占 52.03%; 雄性性腺指数为 0.44 ~ 3.37, 在雄性个体中性腺指数大于 2 的占 31.43%。 (4) 雌、雄性成熟叉长的 Logistic 曲线分别是 $P = 1/[1 + e^{0.08276 \times (122.991 - FL_m)}]$ 和 $P = 1/[1 + e^{0.03767 \times (118.618 - FL_m)}]$; (5) 采样期间 (10 月至翌年 2 月) 雌、雄性个体分别在 12 月和 1 月的性成熟率达到最高, 在 2 月份性成熟率最低; (6) 根据体长分布推算, 叉长为 115 cm 可以作为黄鳍金枪鱼个体分为大小两个群体的基准, 雌雄样本中大个体所占比例分别是 63.13% 和 75.40%, 两个群体中, 雌雄个体大小存在显著性差异 ($P < 0.05$)。本文的研究结果有助于更好地了解印度洋西部黄鳍金枪鱼的生物学特征, 为我国进一步开发该种渔业资源提供基础资料。

研究亮点: 本研究利用近期最新的印度洋黄鳍金枪鱼的数据, 分析了渔获物样本的繁殖生物学的参数, 补充了目前国内对黄鳍金枪鱼生物学的研究不足, 为该种渔业资源的评估提供准确和及时的信息, 从而提高资源评估结果的准确性和可靠性。

关键词: 印度洋; 黄鳍金枪鱼; 繁殖生物学; 性比; 性腺指数; 性成熟度

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 属大洋性洄游鱼类, 喜集群, 主要分布于世界三大洋的热带水域, 而印度洋的黄鳍金枪鱼主要分布在非洲东部沿海、马达加斯加群岛、阿拉伯海、印度半岛沿海以及印度-澳大利亚群岛海域^[1]。印度洋黄鳍金枪鱼是我国金枪鱼延绳钓渔船的主要捕捞对象之一^[2], 在当前国际渔业管理日趋严峻的背景下, 印度洋黄鳍金枪鱼渔业也是我国远洋渔业少有的有进一步发展空间的渔业之一^[2]。自 1992 年以来, 印度洋黄鳍金枪鱼产量一直维持在 30 万 t 以上, 约占世界黄鳍金枪鱼总产量的 30%^[3-5]。根据 2014 年印度洋金枪鱼委员会 (Indian Ocean Tuna Commission, IOTC) 的资源评

估, 近些年来印度洋黄鳍金枪鱼产量一直维持在 MSY (约 34.4 万吨) 附近^[2]。在印度洋, 延绳钓渔船主要在西部海域捕获黄鳍金枪鱼, 由于索马里海盗的影响, 变相地保护了黄鳍金枪鱼的资源。

渔业生物学数据是渔业资源评估的基础, 由于大洋渔业采样的困难性, 很难通过独立的科学调查 (fisheries independent survey) 去获取, 往往只能借助科学观察员项目或者渔捞日志去获取相关数据, 而观察员的数据更为准确和全面, IOTC 科学会议上也多次对中国的观察员数据高度推介, 认为很好地补充了渔捞日志数据的不足^[2]。此外, 由于海洋生态的变化以及捕捞压力的增

收稿日期: 2015-02-27 修回日期: 2015-05-13

基金项目: 上海市自然科学基金 (11ZR1415500)

作者简介: 李欢欢 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源学。E-mail: jingyedandan@126.com

通信作者: 田思泉, E-mail: sqtian@shou.edu.cn

大,一些渔业种类的生物学特征也可能发生变化,因此在渔业资源评估工作中,需要不断地补充、更新数据。许多学者对印度洋黄鳍金枪鱼的生物学特征进行了研究^[6-15],但最近几年缺少更新信息。因此,本文利用我国金枪鱼科学观察员近年来获取的数据,对印度洋黄鳍金枪鱼的繁殖生物学进行了研究,这将有助于人们更好地了解印度洋黄鳍金枪鱼的生物特征信息,为印度洋黄鳍金枪鱼的资源评估和管理提供新的信息,以提高资源评估结果的准确性和可靠性,从而为我国的金枪鱼渔业发展服务,本研究也可以为我国参与 IOTC 的科学事务提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文利用我国金枪鱼渔业观察员 2012 年 10 月—2013 年 1 月和 2013 年 10 月—2014 年 2 月两个航次在印度洋中西部区域(图 1)超低温金枪鱼延绳钓渔船采集的黄鳍金枪鱼数据进行分析。共采集 1223 尾黄鳍金枪鱼样本,观察其捕获时状态、摄食等级、性别、性成熟度,测量其上额叉长(叉长)、加工质量(纯重)和性腺质量等,由于海上原因,某些样本无法测量所有参数。

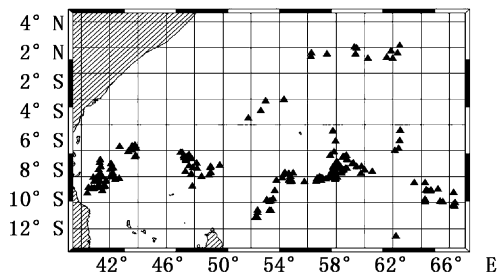


图 1 采样区域
Fig.1 Sampling area

1.2 测量方法

每天记录渔船作业位置,随机取样测量其纯重(加工后的质量,即去鳃,去尾,去内脏)、叉长(下颌尾叉长,下吻前端至尾柄后端长度),观察其性别、摄食等级、性成熟度及其胃含物等。通过目测法将性腺成熟度划分为 I (性未成熟)、II (性未成熟)、III (性成熟)、IV (性成熟)、V (性成熟)和 VI (繁殖后) 6 期。本文生物学测定依据国家海洋调查规范^[16]。

1.3 分析方法

1.3.1 数据预处理

计算样本叉长和纯重的组距,组距的计算公式如下^[17]:

$$S = R / (1 + 3.322 \times \lg N) \quad (1)$$

式中: S 为组距, R 为极差(所求组距的参数最大值与最小值的差值), N 为总尾数。

1.3.2 叉长分析

先进行数据描述,然后利用公式(1)计算组距,分别对黄鳍金枪鱼雄性和雌性的叉长进行分析,绘制频率直方图,确定优势叉长组,并采用协方差分析(ANCOVA)检验方法检验雌雄样本叉长分布有无显著差异性^[6]。

1.3.3 纯重分析

先进行数据描述,然后利用公式(1)计算组距,分别对黄鳍金枪鱼雄性和雌性的纯重进行分析,绘制频率直方图,确定优势纯重组,并采用协方差分析(ANCOVA)检验方法检验雌雄样本纯重分布有无显著差异性^[6]。

1.3.4 性比分析

统计分析各月性别比分布,利用卡方检验分析各个月的性比是否与 1:1 存在显著性差异^[18]。

1.3.5 叉长-纯重关系

利用幂函数拟合叉长-纯重关系式如下:

$$W = a \times L^b \quad (2)$$

式中: a 、 b 为参数, W 为纯重, L 为叉长。并利用协方差分析(ANCOVA)检验雌雄样本叉长和纯重的关系是否存在显著性差异^[18]。

1.3.6 性成熟率

根据海洋调查规范中海洋生物调查的标准,性成熟率(Ⅲ期以上性成熟个体所占比率)是鱼类繁殖生物学的重要指标之一,其变动情况反映该种群的繁殖状况,因此本文对此进行着重分析。性成熟率计算公式如下:

$$X = (f/N) \times 100 \quad (3)$$

式中: X 为每月雌性(或雄性)成熟率, f 为每月雌性(或雄性)Ⅲ期以上性成熟个体数量, N 为每月雌性(或雄性)样本总数。

1.3.7 性腺指数

GSI 作为判断鱼类产卵季节的一个重要标准,其计算公式如下:

$$I_{GS} = (W/L^3) \times 10^4 \quad (4)$$

式中: I_{GS} 为性腺指数, W 为性腺重量(g), L 为叉

长(cm)。

1.3.8 初次性成熟叉长

利用不同叉长组的性成熟个体比例拟合 Logistic 曲线,估计黄鳍金枪鱼初次性成熟叉长,其计算公式如下:

P = 1/[1 + e^{r \times (L_m - L_{50})}] (5)

式中:P为叉长组内性成熟个体比率;L_{50}为50%成熟个体叉长;r、L_m为模型回归参数。

2 结果

2.1 体长体重分析

2.1.1 雌雄叉长组成

所采集的雄性样本的叉长范围是65~180 cm,分布呈双峰型,其中优势叉长组是130~165 cm,占雄性样本的60.04%;而雌性样本的叉长范围是75~175 cm,其中优势叉长组是85~95 cm和120~150 cm,占雌性样本的59.38%,分布呈双峰型(图2)。通过 ANCOVA 检验可知,雌雄叉长分布存在显著性差异(P < 0.05)。

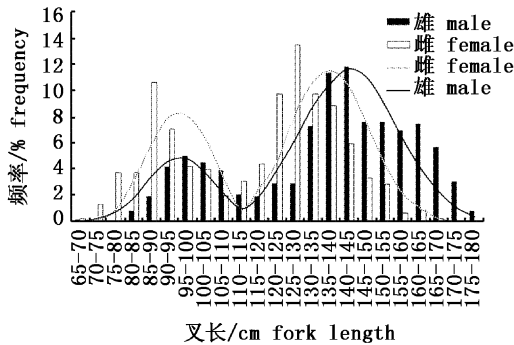


图2 黄鳍金枪鱼叉长频率分布 Fig.2 Fork length frequency distribution for Thunnus albacares

从采样时间上分析可知,10月、11月、12月、1月和2月所采集的雄性样本的平均叉长都比雌性的大,这表明样本中雄性个体大于雌性个体。从11月后雌雄样本的平均叉长递减,2月份所采集的雌雄样本的平均叉长最小(图3)。通过 ANCOVA 检验可知,1月和2月所采集的雌雄样本的平均叉长分布存在显著性差异(P < 0.05)。

2.1.2 雌雄纯重组成

雄性样本的纯重范围是7~88 kg,其中优势纯重组是10~15 kg和30~45 kg,占雄性样本的59.20%;雌性样本的纯重范围是9~79 kg,其中优势纯重组是10~15 kg和30~45 kg,占雌性样

本的47.80%,分布呈双峰型(图4)。通过 ANCOVA 检验可知,雌雄样本的纯重分布不存在显著性差异(P > 0.05)。

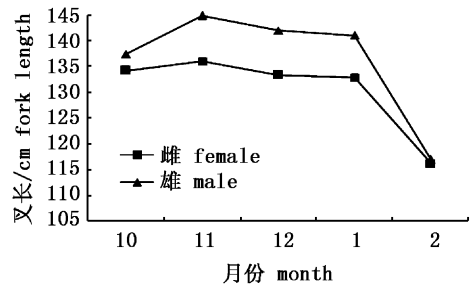


图3 黄鳍金枪鱼各月份的平均叉长分布 Fig.3 Monthly average fork length distribution for Thunnus albacares

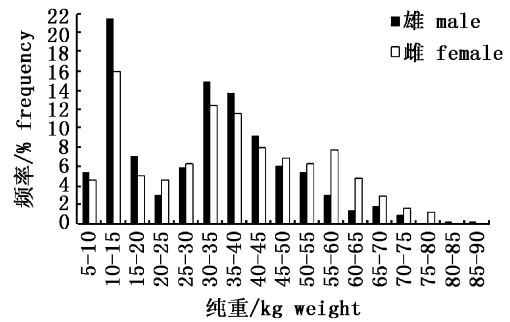


图4 黄鳍金枪鱼纯重频率分布 Fig.4 Dressed weight frequency distribution for Thunnus albacares

从采样时间上分析可知,10月、11月、12月、1月和2月所采集的雄性样本的平均纯重都比雌性的大,这表明样本中雄性个体大于雌性个体。2月份所采集的雌雄样本的平均纯重都最小。1月和2月所采集的雌雄样本的平均纯重分布存在显著性差异(P < 0.05),见图5。

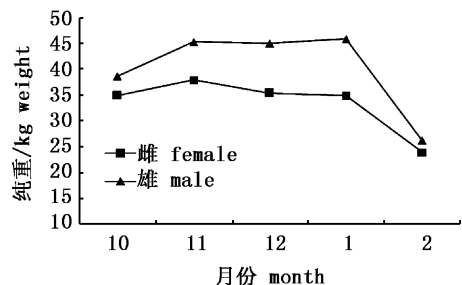


图5 黄鳍金枪鱼各月份的平均纯重分布 Fig.5 Monthly average dressed weight distribution for Thunnus albacares

2.1.3 大个体和小个体组成

根据图 2,取 115 cm 为叉长间断点将该海域捕获的黄鳍金枪鱼个体分为大、小两个群体。在雄性样本中,大个体所占比例是 75.40%;在雌性样本中,大个体所占比例是 63.13%。叉长小于 115 cm 的雄性平均叉长是 97.27 cm,平均体重是 14.49 kg;叉长小于 115 cm 的雌性个体平均叉长是 96.75 cm,平均体重是 13.96 kg;通过 ANCOVA 检验可知:雌、雄个体平均叉长和平均体重均没有体现显著性差异($P > 0.05$)。叉长大于 115 cm 的雄性平均叉长是 143.81 cm,平均体重是 45.92 kg;雌性个体平均叉长是 138.04 cm,平均体重是 38.95 kg;由此可见,此样本中雄性平均叉长和平均体重均大于于雌性($P < 0.05$);但总体来说,雌、雄个体大小存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.1.4 雌雄样本的叉长-纯重的关系

分别根据雌雄样本的数据利用公式(2)统计出雌性样本的叉长-纯重的关系式为 $W = 7 \times 10^{-6} L^{3.244}$ ($R^2 = 0.961$);雄性样本的叉长-纯重的关系式为 $W = 6 \times 10^{-6} L^{3.197}$ ($R^2 = 0.956$) (图 6,表 1),两者不存在显著性差异($P > 0.05$)。

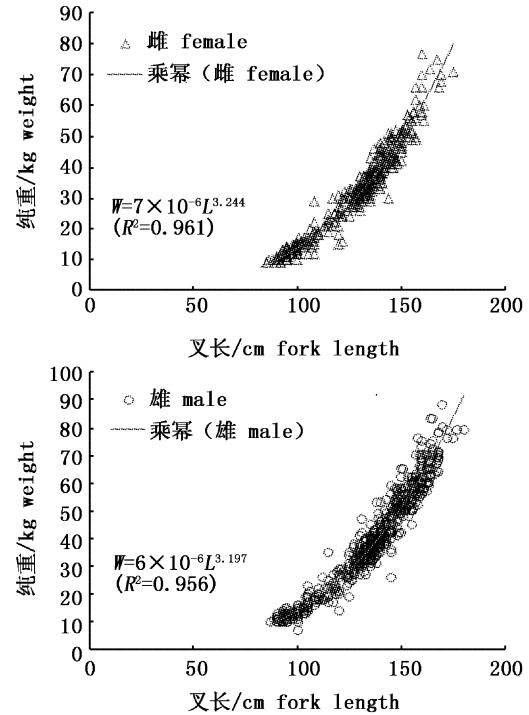


图 6 黄鳍金枪鱼的叉长-纯重的关系
Fig. 6 The relationship between fork length and dressed weight of *Thunnus albacares*

表 1 叉长-体重关系的参数估计

Tab. 1 Parameters estimation for fork length-dressed weight relationship of *Thumus albacares*

	a		b	
	下限(95%) lower(95%)	上限(95%) upper(95%)	下限(95%) lower(95%)	上限(95%) upper(95%)
雌性 female	5.27E-06	9.48E-06	3.084082	3.205752
雄性 male	4.25E-06	7.33E-06	3.142041	3.253341

2.2 性比

共随机测定 1223 尾样本中雌性有 455 尾,雄性有 618 尾,无法鉴别性别的有 150 尾,样本总性比为 0.74:1。雌雄样本中达到性成熟样本的性比为 0.69:1,经卡方检验显著偏离 1:1 ($P < 0.01$),雌性样本数量比例明显小于雄性。总性比从 10 月的 0.63:1 增长至 12 月的 0.85:1,接近 1:1 ($P > 0.05$),总体性比曲线和达到性成熟的性比曲线随时间推移变化趋势一致,但两者在 10 月和 11 月间距较大,其他 3 月基本接近 (图 7),这表明 12 月、1 月和 2 月采集的样本基本已达到性成熟。

2.3 性腺成熟度

在可测定性腺重量的 810 尾样品中,其中性腺成熟度 I 级占总样本的 5.19%,优势叉长组是

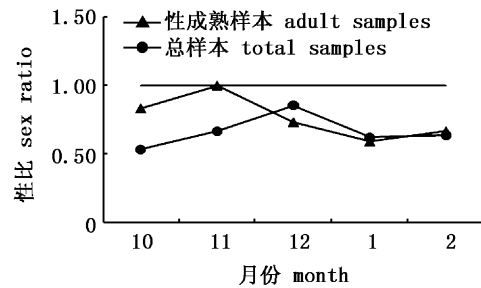


图 7 黄鳍金枪鱼各月份性别比分布
Fig. 7 Monthly sex ratio distribution of *Thunnus albacares*

80 ~ 110 cm (图 8),其所占比例是 92.86%;性腺成熟度 II 级占总样本的 20.62%,优势叉长组是 80 ~ 100 cm,其所占比例是 77.25%;性腺成熟度 III 级占总样本的 10.74%,优势叉长组是 90 ~ 110

cm 和 120 ~ 140 cm,其所占比例是 77.01%;性腺成熟度Ⅳ级占 22.47%,优势叉长组是 130 ~ 150 cm,所占比例是 74.18%;性腺成熟度Ⅴ级占

40.99%。优势叉长组是 130 ~ 150 cm,所占比例是 64.16%。

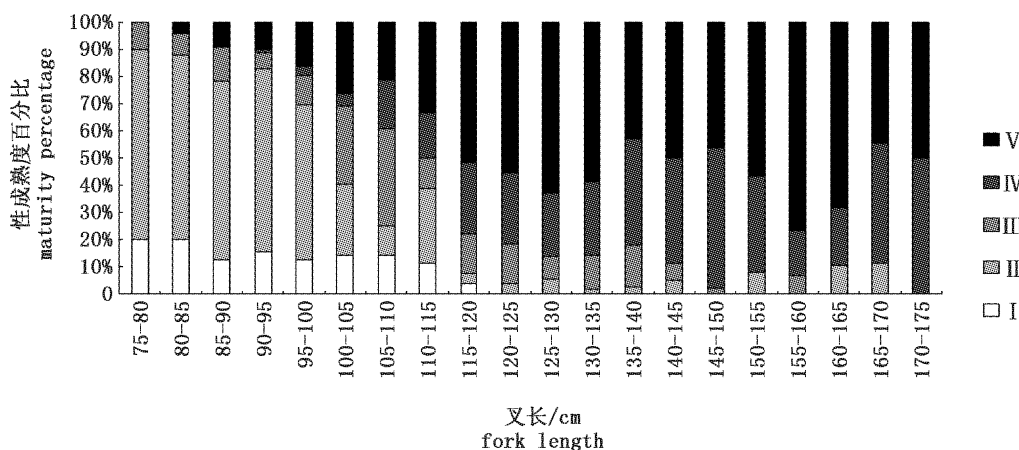


图 8 黄鳍金枪鱼叉长-性成熟度的频率分布
Fig. 8 Maturity versus fork length frequency distribution for *Thunnus albacares*

2.4 性成熟率和性腺指数

分别利用各月份的雌雄性成熟个体总量根据公式(3)计算出的性成熟率如表 2 所示。

总体上分析,雄性的性成熟率比雌性的性成熟率大 4.37%,从 10 月份到 2 月份,雄性在 12

月和 1 月的性成熟率达到最高,分别是 70.91% 和 70.59%,同样数据显示雌性也在 12 月和 1 月的性成熟率达到最高,分别是 59.09% 和 66.98%。

表 2 各月份黄鳍金枪鱼的性成熟率

Tab. 2 Monthly mean of percentage of maturity for *Thunnus albacares*

月份 months		10 月 October	11 月 November	12 月 December	1 月 January	2 月 February	总月份 total
性成熟率 percentage of maturity	雄 male	27.27%	40.19%	70.91%	70.59%	13.64%	61.58%
	雌 female	46.15%	46.38%	59.09%	66.98%	14.29%	57.21%

从表 3 可知,在叉长大于 115 cm 的大个体中的雌雄性成熟率都很高,但雄性的性成熟率小于

雌性,而小个体中雄性的性成熟率大于雌性。

表 3 不同群体黄鳍金枪鱼的性成熟率

Tab. 3 The percentage of maturity for different size of *Thunnus albacares*

性成熟率 percentage of maturity	大群体 larger group		小群体 smaller group	
	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female
	72.25%	84.91%	27.66%	7.59%

利用不同叉长值根据公式(4)计算出的性腺指数值与叉长关系如图 9 所示,雌性性腺指数随叉长呈现一定的增长。雌性样本的性腺指数是 0.39 ~ 5.92;平均值是 2.08(表 4),成熟度Ⅱ期的样本中卵巢质量范围是 60 ~ 295 g;成熟度Ⅲ期

的样本中卵巢质量范围是 130 ~ 870 g;成熟度Ⅳ期的样本中卵巢质量范围是 250 ~ 1 300 g;成熟度Ⅴ期的样本中卵巢质量范围是 160 ~ 1 750 g;在雌性样本中性腺指数大于 2 的占 52.03%。雄性样本的性腺指数是 0.44 ~ 3.37,平均值是

1.69;成熟度Ⅱ期的样本中精巢质量范围是16~70 g;成熟度Ⅲ期的样本中精巢质量范围是21~915 g;成熟度Ⅳ期的样本中精巢质量范围是56~955 g;成熟度Ⅴ期的样本中卵巢质量范围是118~1 185 g;在雄性样本中性腺指数大于2的占31.43%。

表4 雌雄性腺指数

Tab.4 The GSI of female and male for *Thunnus albacares*

性腺指数 GSI	平均值 mean	范围 range	标准差 SD	标准误差 SE
雄 male	1.69	0.44 ~ 3.37	0.59	0.07
雌 female	2.08	0.39 ~ 5.92	0.84	0.08
雌性+雄性 female+male	1.94	0.39 ~ 5.92	0.78	0.06

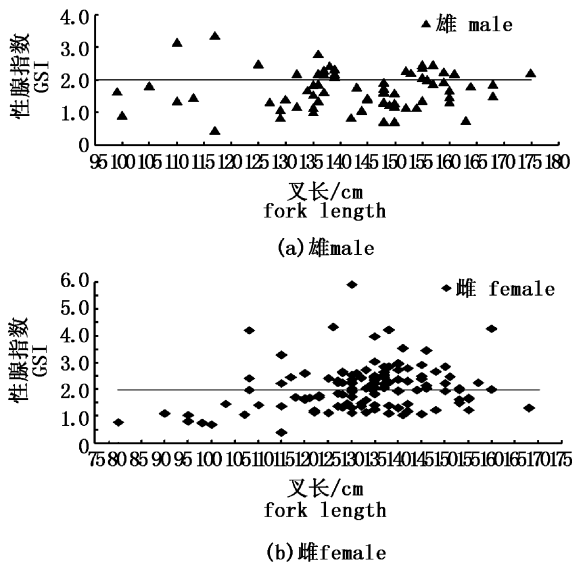


图9 黄鳍金枪鱼性腺指数与叉长关系

Fig.9 The relationship between fork length and GSI of *Thunnus albacares*

2.5 初次性成熟个体叉长

观察员通过目测观察性腺发育情况,经测量可知,各月份都有达到性成熟的个体,其中雌性样本中初次达到性成熟(Ⅲ)的个体有140尾,叉长范围是102~175 cm,平均叉长是139.59 cm (SD = 11.89, SE = 1.01);而雄性样本中初次达到性成熟(Ⅲ)的个体有138尾,叉长范围是95~180m,平均叉长是146.43 cm (SD = 16.44, SE = 1.41)。

利用雌雄的叉长数据根据公式(5)计算得到

雌雄个体初次性成熟叉长(L50)分别为122.991 cm和118.618 cm,雌性略低于雄性。性成熟叉长的 Logistic 曲线(图9)如下:

雌性: $P = 1/[1 + e^{0.08276 \times (122.991 - L_m)}]$, $R^2 = 0.8966, P = 0.0001$;

雄性: $P = 1/[1 + e^{0.03767 \times (118.618 - L_m)}]$, $R^2 = 0.9463, P = 0.0001$ 。

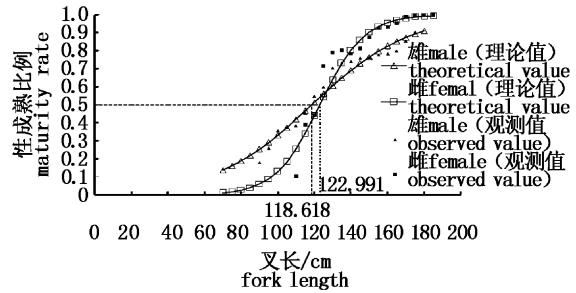


图10 黄鳍金枪鱼初次性成熟叉长

Fig.10 Fork length at first maturity of *Thunnus albacares*

3 讨论

我国观察员从印度洋采集的样本中,观察并测量的黄鳍金枪鱼有1 223尾,数据处理结果显示:本次捕获的黄鳍金枪鱼样本的叉长分布呈双峰型,故可分为大小两个群体来研究。叉长大于115 cm的较大个体占优势,雄性叉长大于115 cm的较大个体所占比例比雌性的大,说明较大的群体中雄性明显占优势,较大的群体中雌雄个体存在显著性差异($P < 0.05$),但较小的群体中雌雄个体不存在显著性差异($P > 0.05$)。雌雄叉长与纯重的关系图中雌性的叉长与纯重拟合的曲线趋势一致,随着叉长的增大,纯重也相应增大,雌性的叉长与纯重拟合的曲线逐渐落在雄性的下方。总体上讲,雌性个体平均叉长和纯重明显小于雄性个体,存在显著性差异($P < 0.05$)。SUN等^[19]、KIKAWA等^[20]、MURPHY等^[21]、LENARZ等^[22]、SUZUKI等^[23]和陈峰等^[18]普遍认为叉长低于120 cm的较小群体中雌雄性比接近1:1,叉长大于130 cm的较大群体中雄性个体占优势。这可能是由雌、雄个体的不同死亡率或成熟后雌、雄不同的生长率所致^[24]。数据显示从11月后雌雄个体平均叉长递减,2月份的雌雄平均叉长值最小。

雌雄总体的性比、性成熟个体中雌雄性比和

各月份的雌雄性比均不符合 1:1, 雄性个体数量较大。朱国平等^[6]的研究结果中性比是 0.71 ~ 0.86(2003 年 1 ~ 6 月) 和 1.00 ~ 1.99(2004 年 1 ~ 6 月), 也显著偏离 1:1。但是随着季节的变化, 12 月份的雌雄性比接近 1:1, 性成熟个体中 11 月份的雌雄性比接近 1:1, 这可能与季节变化相关。

雌雄的性成熟率从 10 月份逐步增大, 雄性的性成熟率在 12 月份达到最大值 70.91%, 雌性的性成熟率在 1 月份达到最大值 66.98%, 分别在 2 月份雌雄的性成熟率降到最小, 进一步证明 12 月份和 1 月份存在产卵现象。这表明较大群体中的性成熟率很高, 而较小群体中也有小部分成熟个体。

雌雄个体的性腺指数随着叉长的变化基本保持一致。性腺指数大于 2 的雄性个体叉长均在 110 cm 以上, 性腺指数大于 2 的雌性个体叉长均在 108 cm 以上。性腺指数大于 2 的雄性个体平均叉长高于雌性。雌雄个体初次性成熟叉长分别是 122.991 cm 和 118.618 cm(50% 概率), 高于陈峰等^[18]、ITANO 等^[24]、SUN 等^[19]、SCHAEFER 等^[25]和 MCPHERSON 等^[26]研究的黄鳍金枪鱼的初次性成熟叉长。这也进一步表明中西印度洋黄鳍金枪鱼的性成熟较晚^[19]。

随着捕捞技术的进步, 不同时期的渔具选择性也发生了变化^[27], 不同渔具的选择性如延绳钓渔业以捕捞成熟鱼为主, 会对本研究的结果造成一定的偏差。但这些结果仍具有说服力, 即使在不同的海域或不同的时间段所捕获的黄鳍金枪鱼, 其繁殖特性存在相似性。

本文的研究得到了国家远洋渔业工程技术中心、上海市远洋渔业协同创新中心和农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站支持, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 戴小杰, 许柳雄. 世界金枪鱼渔业渔获物物种原色图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2007: 90-91.
DAI X J, XU L X. The world tuna fishery catches species primary colour guide[M]. Beijing: Ocean Press, 2007: 90-91.
- [2] Secretariat of the Pacific Community. Tuna fishery year book[M]. Noumea, New Caledonia; Western and Central Pacific Fisheries Commission, 2010: 5-114.
- [3] 冯波, 陈新军, 许柳雄. 印度洋黄鳍金枪鱼渔业资源开发策略评价[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(4): 506-510.
- [4] 尚合峰. 印度洋黄鳍金枪鱼渔业与资源现状[J]. 水产科技, 2005(6): 13-16.
SHANG H F. Yellow fin tuna fishery and stock status in the Indian Ocean[J]. Fisheries Science & Technology, 2005(6): 13-16.
- [5] 叶振江, 梁振林, 邢智良, 等. 印度洋东部黄鳍金枪鱼的渔业生物学[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(3): 38-42.
YE Z J, LIANG Z L, XING Z L, et al. The fishery biology of *Thunnus albacares* in the East of Indian Ocean[J]. Marine Fisheries Research, 2001, 22(3): 38-42.
- [6] 朱国平, 陈新军, 许柳雄. 印度洋中黄鳍金枪鱼生物学特性的初步研究[J]. 海洋渔业, 2006, 28(1): 25-29.
ZHU G P, CHEN X J, XU L X. Preliminary study on the fishery biology of yellow fin tuna *Thunnus albacares* in the western central Indian Ocean[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(1): 25-29.
- [7] 朱国平, 许柳雄, 周应祺, 等. 印度洋中西部水域黄鳍金枪鱼的食性及其季节性变化[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 725-732.
ZHU G P, XU L X, ZHOU Y Q, et al. Feeding habits and its seasonal variations of *Thunnus albacares* in the west-central Indian Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(5): 725-732.
- [8] STÉQUERT B, RODRIGUEZ J N, CUISSET B, et al. Gonadosomatic index and seasonal variations of plasma sex steroids in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the western Indian ocean[J]. Aquatic Living Resources, 2001, 14(5): 313-318.
- [9] STÉQUERT B, PANFILI J, DEAN J M. Age and growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from the western Indian Ocean, based on otolith microstructure[J]. Fishery Bulletin, 1996, 94(1): 124-134.
- [10] OLIVIER L. Study of the growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean based on length frequency data[C]. IOTC Proceedings, 2002(5): 316-327.
- [11] ZUDAIRE I, MURUA H, GRANDE M, et al. Reproductive potential of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean[J]. Fishery Bulletin, 2013, 111(3): 252-264.
- [12] NISHIDA T, TACKX M. Factors affecting distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and its reproductive ecology in the Indian ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information[C]. IOTC Proceedings, 2001: 336-389.
- [13] STEQUERT B, RAMCHARRUN B, DEAN J M. Preliminary

- studies of age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian ocean[J]. IPTP Collective Volume, 1994, (8): 161-168.
- [14] TANTIVALA C. Some biological study of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern Indian ocean[C]. IOTC Proceedings, 2000: 436-440.
- [15] POTIER M, MARSAC F, CHEREL Y, et al. Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancet fish, swordfish and yellowfin tuna) in the western equatorial Indian Ocean [J]. Fisheries Research, 2007, 83(1): 60-72.
- [16] 国家海洋局. GB/T12763. 6-2007 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: 83.
State Oceanic Administration People's Republic of China. GB/T12763. 6-2007 Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 83.
- [17] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 659-666.
CHEN G B, LI Y Z, CHEN P M, et al. Optimum interval class size of length-frequency analysis of fish [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4): 659-666.
- [18] 陈峰, 郭爱, 朱文斌, 等. 南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼繁殖生物学研究[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(2): 45-51.
CHEN F, GUO A, ZHU W B, et al. Study on reproductive biology of yellowfin tuna *Thunnus albacares* in the waters of the Solomon Islands of the South Pacific Ocean[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2014, 33(2): 45-51.
- [19] SUN C L, WANG W R, YEH S. Reproductive biology of yellowfin tuna in the Central and Western Pacific Ocean[C]. Noumea: the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, 2005: 1-7.
- [20] KIKAWA S. The distribution of maturing bigeye and yellowfin and an evaluation of their spawning potential indifferent areas in the tuna longline grounds in the Pacific [J]. Report of Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, 1966 (23): 131-208.
- [21] MURPHY G I, SHOMURA R S. Pre-exploitation abundance of tunas in the equatorial central Pacific [J]. Fishery Bulletin, 1972, 70(3): 875-913.
- [22] LENARZ W H, ZWEIFEL J R. A theoretical examination of some aspects of the interaction between longline and surface fisheries for yellowfin tuna, *Thunnus albacares* [J]. Fishery Bulletin, 1979, 76(4): 807-825.
- [23] SUZUKI Z. A review of the biology and fisheries for yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the western and central Pacific Ocean[J]. FAO Fisheries Technich Paper, 1994, 336(2): 108-137.
- [24] ITANO D G. The reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Hawaiian waters and the western tropical Pacific Ocean: project summary [R]. Hawaii: University of Hawaii, Joint Institute for Marine and Atmospheric Research: 1-62.
- [25] SCHAEFER K M. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 1998, 21(5): 205-221.
- [26] MCPHERSON G R. Reproductive biology of yellowfin tuna in the eastern Australian fishing zone, with special reference to the north-western Coral Sea [J]. Marine and Freshwater Research, 1991, 42(5): 465-477.
- [27] NISHIDA T, SHONO H. Stock assessment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean by the age structured production model (ASPM) analyses[C]. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2007: 1-17.

Study on reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Central and Western Indian Ocean

LI Huanhuan¹, TIAN Siqian^{1,2,3}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai 201306, China; 3. International Centre for Marine Studies, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) is the main target species for Chinese tuna fisheries fleets in Indian Ocean. According to a total of 1233 yellowfin tuna samples collected by Chinese national observers in the central-western Indian Ocean during two stages (Oct. 2012-Jan. 2013 and Oct. 2013-Feb. 2014), we conducted the study on the reproductive biology of this tuna. The main reproductive biological parameters were estimated in this study. The results indicated: (1) The relationship between fork length and dressed weight for female and male were $W = 7 \times 10^{-6} L^{3.244}$ and $W = 6 \times 10^{-6} L^{3.197}$, respectively. (2) From these samples, the total sex ratio of female to male was 0.74:1, and the sex ratio was 0.69:1 in such mature samples. (3) The gonadosomatic index for female and male were calculated from 0.39 to 5.92, and from 0.44 to 3.37, respectively. (4) The logistic regression was described the relationships between fork length and maturity for both female and male which were $P = 1/[1 + e^{0.08276 \times (122.991 - FL_m)}]$ and $P = 1/[1 + e^{0.03767 \times (118.618 - FL_m)}]$, respectively. (5) The maturity analysis showed that the percentages of female and male samples which reached mature were highest in January and December, respectively. And the lowest percentages of both female and male were in February. (6) The cut-off point for larger and smaller groups was 115 cm, and the percentage of larger female and male were 63.13% and 75.40%, respectively, which was significantly different between male and female. This study will contribute to the evaluation for this fish resources.

Key words: *Thunnus albacares*; Indian Ocean; reproductive biology; sex ratio; gonadosomatic index; maturity