

文章编号: 1000-0615(2017)09-1407-08

DOI: 10.11964/jfc.20151010132

## 印度洋公海海域黄鳍金枪鱼鱼体脂肪含量 与生物学参数的关系

宋利明<sup>1,2,3,4\*</sup>, 沈智宾<sup>1</sup>, 季 诚<sup>1</sup>

(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, 上海海洋大学, 上海 201306;

3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 201306;

4. 远洋渔业协同创新中心, 上海海洋大学, 上海 201306)

**摘要:** 研究黄鳍金枪鱼鱼体脂肪含量与其生物学参数的关系有利于确定其鱼体脂肪含量与生物学参数是否有关并掌握鱼类的生长、繁殖和渔场特性。本研究根据2013年10月到2014年4月在印度洋中西部海域延绳钓渔业调查中采集到的91尾黄鳍金枪鱼, 测定了其脂肪含量和生物学参数等, 应用频率统计法分析了其脂肪含量的时空分布, 脂肪含量与性别、体质量、性腺成熟度的关系; 应用GAM方法分析了脂肪含量与条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)、叉长(FL)的关系。结果显示: ①黄鳍金枪鱼的脂肪含量为0.1%~26.7%, 平均脂肪含量为6.94%; ②黄鳍金枪鱼10—12月份月平均脂肪含量总体较低, 12月份以后月平均脂肪含量呈上升趋势; 2°N~3°N, 59°E~60°E区域的平均脂肪含量最高, 为15.3%, 7°S~8°S, 44°E~45°E区域的最低, 为1.2%, 两者之间具有显著性差异; ③各性别、体质量组、性腺成熟度、叉长组的脂肪含量无显著性差异; ④黄鳍金枪鱼脂肪含量与条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)、叉长(FL)均无显著相关性。研究表明: ①3、4月份黄鳍金枪鱼开始进入产卵期; ②2°N~3°N, 59°E~60°E可能是一重要的产卵场; ③雌性的繁殖能力与鱼体脂肪含量无显著相关性。

**关键词:** 黄鳍金枪鱼; 脂肪含量; 生物学参数; 印度洋公海

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)属高度洄游种类。国内外许多学者对黄鳍金枪鱼的分布<sup>[1-2]</sup>、种群<sup>[3]</sup>、生长<sup>[4-5]</sup>、繁殖<sup>[6]</sup>、摄食<sup>[7]</sup>等基础生物学特性进行了研究。朱国平等<sup>[8]</sup>对印度洋中西部黄鳍金枪鱼的食性进行了研究, 其主要饵料食物为鱿鱼、鲑鲈类以及蟹类。鱼体脂肪含量是鱼类生理状况变化的指标, 积聚的脂肪可用作产卵洄游中新陈代谢的能量, 对于怀卵的亲鱼, 脂肪会转移到发育的鱼卵中<sup>[9]</sup>; 脂肪含量在渔汛期呈线性增加, 反映了其索饵洄游<sup>[10]</sup>。测定脂肪含量并结合鱼类的年龄状况等可用于研究鱼类生

理状况的变化和栖息环境的变化<sup>[11]</sup>。Mourente等<sup>[12]</sup>对雌性蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)在性成熟期间的脂肪含量做了研究, 认为蓝鳍金枪鱼从性腺成熟到产卵的过程中, 卵巢的脂肪含量显著增加。Zudaire等<sup>[13]</sup>对黄鳍金枪鱼在西印度洋繁殖时脂肪的积累和转移做了研究, 认为黄鳍金枪鱼繁殖所需能量主要来源于摄食而只有少部分由体内储存的脂肪提供能量, 雌性的繁殖能力与鱼体脂肪含量无显著相关性。宋利明等<sup>[14]</sup>对库克群岛海域长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)脂肪含量与叉长(0.50~1.14 m)的关系进行了研究, 认为

收稿日期: 2015-10-26 修回日期: 2017-03-26

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA092302); 高等学校博士学科点专项科研基金联合项目(20113104110004); 上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ168)

通信作者: 宋利明, E-mail: lmsong@shou.edu.cn

两者之间无显著相关性。宋利明等<sup>[15]</sup>对印度洋公海海域大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的脂肪含量与年龄的关系进行了研究,认为脂肪含量的变化可能与大眼金枪鱼生长、繁殖、衰老等过程中的新陈代谢变化相吻合。

目前对于印度洋公海海域黄鳍金枪鱼鱼体脂肪含量与生物学参数关系的研究较少,本研究根据在此海域收集到的黄鳍金枪鱼生物学数据,利用频率统计法及GAM方法对此海域黄鳍金枪鱼的脂肪含量与生物学参数的关系进行了研究,可确定黄鳍金枪鱼鱼体脂肪含量与生物学参数是否有关,为进一步研究黄鳍金枪鱼的洄游、生长、繁殖、栖息环境的变化和渔场性质提供重要参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查概况

调查船为延绳钓渔船“新世纪76”,主要参数如下:总长56.50 m、型宽8.50 m、型深3.65 m、主机功率735.00 kW、最大航速11.5 kn。调查时间为2013年10月—2014年4月,调查海域为6°33'N~10°33'S,44°54'E~68°32'E。调查站点由船长根据其经验随机决定,具体调查站点如图1(站点用红圈表示)。

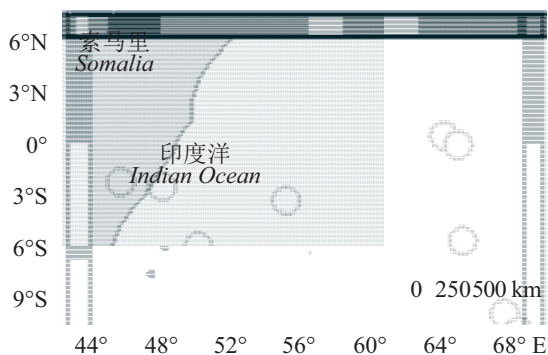


图1 调查站点

Fig. 1 The survey area and sites

### 1.2 方法

**调查方法** 调查期间,分别测定91尾黄鳍金枪鱼的叉长、体质量、净重、性别、性腺重量、性腺成熟度和脂肪含量等生物学数据。用皮尺拉紧测定黄鳍金枪鱼的叉长(精确到cm),用磅称测定其体质量、净重(精确到kg),用电子称测定其性腺重量(精确到g),利用英国Distell鱼

类脂肪含量仪(FFM692, Scotland, UK)测定脂肪含量。脂肪含量的测定误差为0.5%~1.0%。测定样本5个部位的脂肪含量(图2),求其算术平均值作为该尾鱼的脂肪含量。性腺成熟度、摄食等级按我国海洋调查规范划分<sup>[16]</sup>。

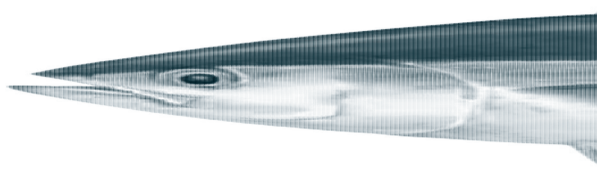


图2 黄鳍金枪鱼脂肪含量测定部位(红色区域)

Fig. 2 The area for fat content measurement in yellowfin tuna (red areas)

**调查的渔具与渔法** 调查的渔具渔法为漂流延绳钓,详见参考文献<sup>[15]</sup>。

**数据处理方法** 叉长、净重、性腺成熟度和脂肪含量分布采用频率统计的方法;日脂肪含量变化采用计算每天的取样渔获物的平均脂肪含量;采用卡方检验(Chi square test)<sup>[17]</sup>的方法检验性别、各性腺成熟度、各叉长组的脂肪含量是否存在显著性差异。将叉长以10 cm为组间距,求出每叉长组的脂肪含量平均值,以各叉长组为X轴、脂肪含量为Y轴,作柱状统计图;将体质量以10 kg为组间距,求出每体质量组脂肪含量的平均值,以各体质量组为X轴、脂肪含量为Y轴,作柱状统计图;分别测出I~VI级的平均脂肪含量,以各性腺成熟度为X轴、脂肪含量为Y轴,作柱状统计图;将脂肪含量以5%为组间距,求出每组脂肪含量的平均值,作脂肪含量频次分布图。条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)采用公式(1)~(3)计算方法<sup>[10]</sup>,用Generalized additive model (GAM)分析脂肪含量与条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)和叉长(FL)的关系。

条件系数:

$$K = \frac{T_w}{FL^3} \times 100 \quad (1)$$

纯重系数:

$$SI = \frac{S_w}{FL^3} \times 100 \quad (2)$$

性腺指数:

$$GSI = \frac{G_w}{T_w} \times 100 \quad (3)$$

式中,  $T_w$ 为体质量(g),  $FL$ 为叉长(mm),  $S_w$ 为净重(g),  $G_w$ 为性腺重量(g)。

## 2 结果

### 2.1 生物学和生理学指标

**叉长频率分布** 调查期间黄鳍金枪鱼样本的叉长范围为100.0~189.9 cm(图3)。优势叉长为140.0~169.9 cm, 共59尾, 约占总数的64.8%, 其中, 雌性个体17尾, 雄性个体42尾。

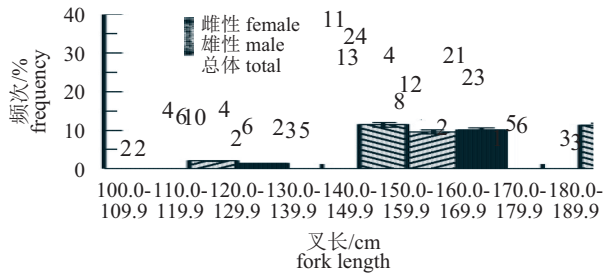


图3 黄鳍金枪鱼叉长频次分布

数字代表尾数, 下同

Fig. 3 Fork length frequency distribution of yellowfin tuna

numbers represent totals of fish in each category, the same below

**体质量频率分布** 调查期间黄鳍金枪鱼样本的体质量范围为9~83 kg, 并将体质量按10 kg为间隔进行分组(图4)。优势体质量为30.0~69.9 kg, 共计68尾, 约占总数的74.7%, 其中, 雌性个体19尾, 雄性个体49尾。

**性腺成熟度频率分布** 调查期间黄鳍金枪鱼样本的性腺成熟度分布如图5。总体的性腺成熟度以Ⅲ、Ⅳ级为主, 约占总数的60.5%; 其

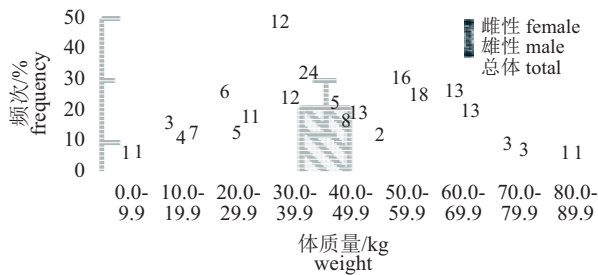


图4 黄鳍金枪鱼体质量频次分布

Fig. 4 Round weight frequency distribution of yellowfin tuna

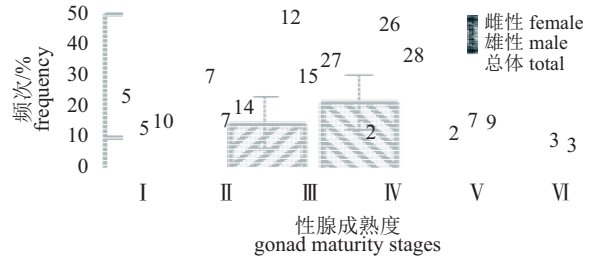


图5 黄鳍金枪鱼性腺成熟度频次分布

Fig. 5 Gonad maturity frequency distribution of yellowfin tuna

中Ⅳ级最多(占30.8%), 其次为Ⅲ级(占29.7%), 雄性Ⅲ、Ⅳ级的比例分别占23.8%、41.3%; 雌性Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级的比例分别占25%、42.9%、7.1%。总体上, 黄鳍金枪鱼的性腺成熟度呈正态分布, 从Ⅰ级到Ⅳ级呈上升的趋势, 之后又开始下降。

**脂肪含量时空变化** 调查期间黄鳍金枪鱼脂肪含量的频率分布如图6所示, 其范围为0.1%~26.7%, 平均脂肪含量为6.94%。优势脂肪含量区间为0%~10%, 占总体的75.8%。10—12月月平均脂肪含量总体较低, 12月份达到最低, 总体脂肪含量为4.04%, 12月份以后月平均脂肪含量呈上升趋势(图7)。10—12月份日平均脂肪含量基本低于平均脂肪含量, 1—4月份日平均脂肪含量基本高于平均脂肪含量(图8), 这与月脂肪含量分布一致。平均脂肪含量空间分布按1°×1°进行统计分析, 其中2°N~3°N, 59°E~60°E区域的平均脂肪含量最高, 为15.3%, 7°S~8°S, 44°E~45°E区域的最低, 为1.2%, 两者之间具有显著性差异(卡方值=12.0491, P=0.0005)(图9)。

### 2.2 脂肪含量与生物学指标的关系

**脂肪含量与叉长的关系** 调查期间黄鳍

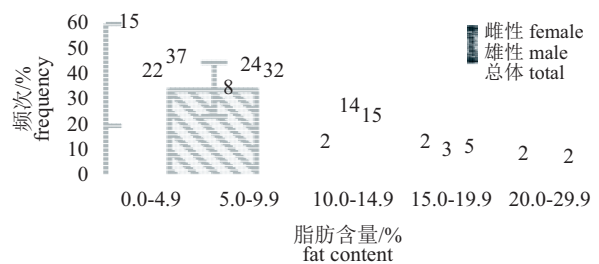


图6 黄鳍金枪鱼脂肪含量频次分布

Fig. 6 Fat content frequency distribution of yellowfin tuna

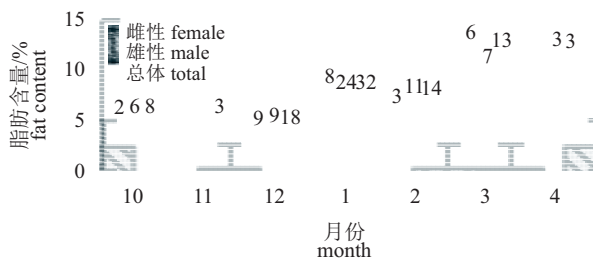


图7 黄鳍金枪鱼10月—4月脂肪含量分布

Fig. 7 Fat content distribution of yellowfin tuna from October to April

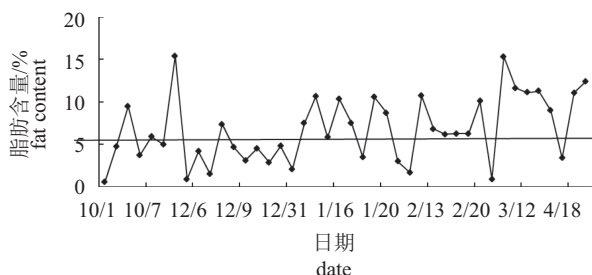


图8 黄鳍金枪鱼日平均脂肪含量分布

—: 调查期间平均值; ◆: 日平均值

Fig. 8 Distribution of daily average fat content of yellowfin tuna

—: the average during the survey; ◆: the daily average

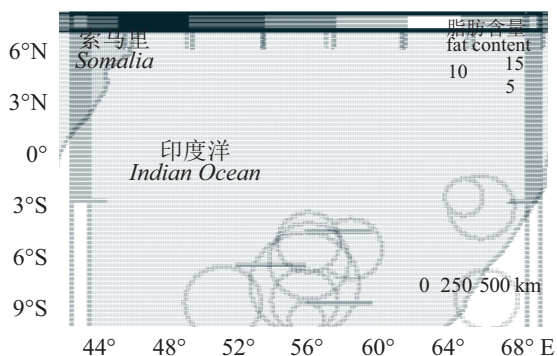


图9 黄鳍金枪鱼脂肪含量的空间分布

Fig. 9 The fat content spatial distribution of yellowfin tuna

金枪鱼样本各叉长组对应的平均脂肪含量如图10所示, 110.0~119.9 cm叉长组的平均脂肪含量最高, 为9.91%。在110.0~119.9 cm时脂肪含量达到最高值, 随后脂肪含量逐渐减少, 当叉长达到140.0~149.9 cm后又出现逐渐升高的趋势, 在叉长达到150.0~169.9 cm后又逐渐降低。利用卡方检验表明, 雄性、雌性与总体各叉长组之间的脂肪含量两两间无显著性差异( $P>0.05$ ); 总体中

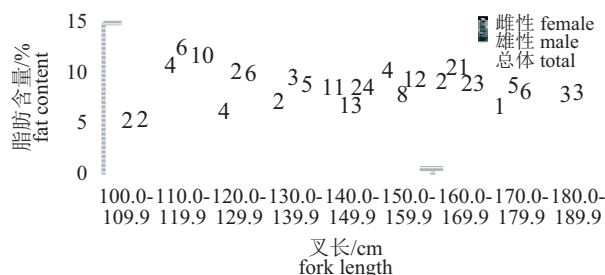


图10 黄鳍金枪鱼脂肪含量与叉长的关系

Fig. 10 The relationship between fat content and fork length of yellowfin tuna

各个叉长组之间的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ )。

脂肪含量与性别的关系 此次调查中, 黄鳍金枪鱼雌性个体的平均脂肪含量为6.26%, 雄性个体的平均脂肪含量为7.24%, 总体平均脂肪含量为6.94%。卡方检验表明黄鳍金枪鱼雌性、雄性、总体之间的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ )。

脂肪含量与体质量的关系 体质量与脂肪含量的关系如图11所示。从总体上观察, 80.0~89.9 kg体质量组的平均脂肪含量最高, 为12.1%, 0.0~9.9 kg体质量组的平均脂肪含量最低, 为1.1%; 雌性个体在10.0~19.9 kg体质量组的平均脂肪含量最高, 为9.43%, 30.0~39.9 kg体质量组的平均脂肪含量最低, 为3.62%; 雄性个体在80.0~89.9 kg体质量组的脂肪含量最高, 为12.1%, 0.0~9.9 kg体质量组的平均脂肪含量最低, 为1.1%。经卡方检验, 各体质量组中雄性、雌性与总体之间的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ ); 总体中各体质量组之间的脂肪含量也无显著性差异( $P>0.05$ )。

脂肪含量与性腺成熟度的关系 随着鱼体的性腺成熟, 其脂肪含量有一定的变化。调查期间黄鳍金枪鱼样本中I~VI级成熟度的黄鳍

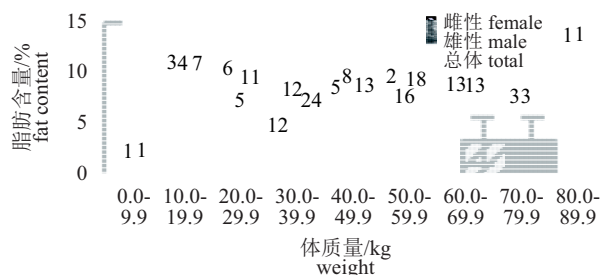


图11 黄鳍金枪鱼脂肪含量与体质量的关系

Fig. 11 The relationship between fat content and weight of yellowfin tuna

金枪鱼的平均脂肪含量分别为8.52%、6.76%、6.17%、7.14%、6.56%和8.09%; 利用卡方检验表明, 各级性腺成熟度中雌性、雄性与总体的脂肪含量均无显著性差异( $P>0.05$ ); 总体中 I~VI级性腺成熟度之间的脂肪含量也不存在显著性差异( $P>0.05$ , 图12)。

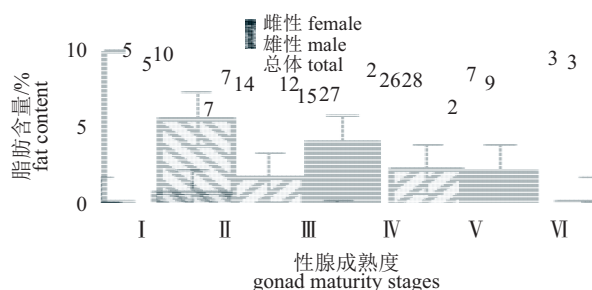


图 12 黄鳍金枪鱼性腺成熟度与脂肪含量的关系

Fig. 12 The relationship between the fat content and gonad maturity of yellowfin tuna

### 2.3 GAM分析结果

通过GAM广义相加模型分析, 条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)、叉长(FL)与脂肪含量均无显著相关性( $P>0.05$ , 表1)。

表 1 广义相加模型GAM分析结果

Tab. 1 Analysis results of generalized additive model (GAM)

选项items	自由度degree of freedom	F	P-value
条件系数 K	2.303	2.055	0.114
纯重系数 SI	1.207	0.087	0.842
性腺指数 GSI	1.000	1.634	0.205
叉长/cm FL	2.803	1.658	0.173

## 3 讨论

### 3.1 脂肪含量的时空变化

调查期间黄鳍金枪鱼脂肪含量在0%~5%出现的频率最高, 说明调查海域黄鳍金枪鱼鱼体脂肪含量相对较低。10—12月份月平均脂肪含量总体较低, 12月份以后月平均脂肪含量呈上升趋势, 原因可能是从1月份开始黄鳍金枪鱼为产卵做准备以提供能量<sup>[9]</sup>, 因此脂肪含量开始上升, 3、4月份脂肪含量达到最高。叶振江等<sup>[18]</sup>对印度洋黄鳍金枪鱼生物学特性进行了研究,

发现此海域黄鳍金枪鱼的产卵期从3月份开始, 这说明3、4月份黄鳍金枪鱼进入产卵期。调查海域黄鳍金枪鱼脂肪含量的空间分布存在显著性差异, 这可能与海洋环境因子和调查的季节差异有关, 2°N~3°N, 59°E~60°E区域的平均脂肪含量最高, 该区域可能是一重要的产卵场。

### 3.2 脂肪含量与性别的关系

调查期间共鉴定了91尾黄鳍金枪鱼的性别, 雌性的平均脂肪含量在0%~5%频率最高, 占53.6%; 雄性的平均脂肪含量在5%~10%频率最高, 占38.0%(图6)。卡方检验性别与脂肪含量的关系表明: 雌性、雄性的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ ), 原因可能是①调查海域雌性与雄性黄鳍金枪鱼的代谢过程无显著性差异; ②调查海域雌性和雄性黄鳍金枪鱼的生长、繁殖、衰老等生活史同步。

### 3.3 脂肪含量与体质量的关系

调查期间黄鳍金枪鱼体质量范围在9~83 kg, 体质量组80.0~89.9 kg对应的脂肪含量最大, 体质量组0.0~9.98 kg对应的脂肪含量最小。由于0.0~9.9 kg与80.0~89.9 kg的样本很少, 可能会对平均脂肪含量的分析带来较大误差。卡方检验表明, 各体质量组中雄性、雌性与总体相互之间的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ ), 这与脂肪含量和性别无显著性差异的结果一致。总体中各体质量组之间的脂肪含量无显著性差异( $P>0.05$ ), 这可能是由于体质量的变化主要是骨骼、肌肉的生长等造成的。

### 3.4 脂肪含量与性腺成熟度的关系

对各性腺成熟度的雌性、雄性和总体的脂肪含量进行卡方检验表明, 雌性与雄性(卡方值=0.0882,  $P=0.9987$ )、雄性与总体(卡方值=0.0069,  $P=0.9992$ )、雌性与总体(卡方值=0.0365,  $P=0.9998$ )之间均无显著性差异。这或许是由于印度洋中西部黄鳍金枪鱼各月份雌雄个体的性腺成熟度变动基本一致, 而且较为稳定。对总体样本中 I~VI级性腺成熟度之间的脂肪含量进行卡方检验, 结果显示无显著性差异( $P>0.05$ )。这与Zudaire等<sup>[13]</sup>得出的黄鳍金枪鱼繁殖所需能量主要来源于摄食而只有少部分由体内储存的脂肪提供能量, 雌性的繁殖能力与鱼体脂肪含量无显著相关性的结果一致。

### 3.5 脂肪含量与条件系数、纯重系数、性腺系数、叉长的关系

通过GAM广义相加模型分析, 条件系数(K)、纯重系数(SI)、性腺指数(GSI)、叉长(FL)与脂肪含量均无显著相关性( $P>0.05$ )。Goñi等<sup>[10]</sup>研究表明, 脂肪含量与条件系数没有显著的相关性, 这与本研究结果一致; 肌肉、骨骼的生长等是造成纯重系数(SI)变化的主要原因, 脂肪含量对其影响较小; 性腺指数(GSI)与脂肪含量无显著相关性, 这与Zudaire等<sup>[13]</sup>得出的黄鳍金枪鱼繁殖所需能量主要来源于摄食而只有少部分由体内储存的脂肪提供能量, 雌性的繁殖能力与鱼体脂肪含量无显著相关性的结果一致; 本次调查认为叉长与脂肪含量无显著相关性, 可能是由于①调查的样本偏少对分析结果造成一定的误差; ②调查取样的大部分黄鳍金枪鱼不是初次性成熟而是二次或多次性腺发育。宋利明等<sup>[14]</sup>对库克群岛海域长鳍金枪鱼脂肪含量与叉长的关系进行了分析, 研究认为两者之间无显著相关性。这与本研究的结果一致。

### 3.6 展望

由于本次调查时间较短、样本偏少, 可能存在一定的误差。因此, 在以后的研究中需延长调查时间、扩大调查范围、增加样本数量并改变取样方式, 增加幼鱼样本, 以提高研究结果的准确性。

本研究得到浙江大洋世家股份有限公司总经理郑道昌、经理林飞和“新世纪76”船长及全体船员等的大力支持, 谨致谢意。

#### 参考文献:

- [1] 孟晓梦, 叶振江, 王英俊. 世界黄鳍金枪鱼渔业现状和生物学研究进展[J]. 南方水产, 2007, 3(4): 74-80.  
Meng X M, Ye Z J, Wang Y J. Review on fishery and biology of yellow fin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(4): 74-80(in Chinese).
- [2] 张衡, 戴阳, 杨胜龙, 等. 基于分离式卫星标志信息的金枪鱼垂直移动特性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 196-203.  
Zhang H, Dai Y, Yang S L, et al. Vertical movement characteristics of tuna (*Thunnus albacares*) in Pacific Ocean determined using pop-up satellite archival tags[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(20): 196-203(in Chinese).
- [3] Appleyard S A, Grewe P M, Innes B H, et al. Population structure of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Pacific Ocean, inferred from microsatellite loci[J]. Marine Biology, 2001, 139(2): 383-393.
- [4] Shomura R S, Majkowski J, Langi S. Interactions of Pacific tuna fisheries[R]. FAO Fisheries Technical Paper, Rome: FAO, 1994, 2(336): 188-206.
- [5] 许柳雄, 朱国平. 印度洋黄鳍金枪鱼生物学特性的初步研究[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 211-218.  
Xu L X, Zhu G P. Preliminary analysis on biological features of *Thunnus albacares*, based on observer's data in the west-central Indian Ocean[J]. Journal of fisheries of China, 2006, 30(2): 211-218(in Chinese).
- [6] 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(in Chinese).
- [7] 宋利明, 陈新军, 许柳雄. 大西洋中部金枪鱼延绳钓渔场黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)生物学特性的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(6): 538-542.  
Song L M, Chen X J, Xu L X. Preliminary analysis of biological characteristics of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tuna longline fishing ground of the central Atlantic Ocean[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2004, 35(6): 538-542(in Chinese).
- [8] 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(in Chinese).
- [9] Black K D, Pickering A D. Biology of Farmed Fish[M]. England: Sheffield Academic Press Ltd., 1998.
- [10] Goñi N, Arrizabalaga H. Seasonal and interannual variability of fat content of juvenile albacore (*Thunnus alalunga*) and bluefin (*Thunnus thynnus*) tunas during

- their feeding migration to the Bay of Biscay[J]. *Progress in Oceanography*, 2010, 86(1-2): 115-123.
- [11] Encina L, Granado-Lorencio C. Seasonal changes in condition, nutrition, gonad maturation and energy content in barbel, *Barbus sclateri*, inhabiting a fluctuating river[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 50(1): 75-84.
- [12] Mourente G, Megina C, Díaz-Salvago E. Lipids in female northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus* L.) during sexual maturation[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2001, 24(4): 351-363.
- [13] Zudaire I, Murua H, Grande M, *et al.* Accumulation and mobilization of lipids in relation to reproduction of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean[J]. *Fisheries Research*, 2014, 160: 50-59.
- [14] 宋利明, 陈浩, 胡桂森, 等. 库克群岛海域长鳍金枪鱼脂肪含量[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(3): 456-462.
- Song L M, Chen H, Hu G S, *et al.* The fat content of albacore tuna in waters near Cook Islands[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(3): 456-462(in Chinese).
- [15] 宋利明, 赵海龙, 李冬静. 印度洋中西部大眼金枪鱼年龄与鱼体脂肪含量的关系[J]. *海洋与湖沼*, 2015, 46(4): 741-747.
- Song L M, Zhao H L, Li D J. Relationship between age and muscle fat content of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Western and Central Indian Ocean[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(4): 741-747(in Chinese).
- [16] 国家海洋局. GB/T 12763.6-2007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.
- State Oceanic Administration People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standard Press of China, 2007 (in Chinese).
- [17] 薛毅, 陈立萍. 统计建模与R软件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 232-234.
- Xue Y, Chen L P. *Statistical modeling and R software*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 232-234 (in Chinese).
- [18] 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): 37-41.
- 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): 37-41(in Chinese).

## Relationship between muscle fat content and biological parameters in *Thunnus albacares* in the high seas of the Indian Ocean

SONG Liming<sup>1,2,3,4\*</sup>, SHEN Zhibin<sup>1</sup>, JI Cheng<sup>1</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resource, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The relationships between muscle fat content and biological parameters of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) were studied to determine if there were any relationships between them and to better understand its characteristics of growth, reproduction and the fishing ground. The biological data and muscle fat content of 91 yellowfin tuna were collected from the longline fishery in waters of 6°33'N~10°33'S, 44°54'E~68°32'E, Western Central Indian Ocean from October, 2013 to April, 2014. Histogram count figures were obtained to show the spatial or temporal distribution of fat content and fat content by gender, dressed weight, and gonad maturity. A generalized additive model (GAM) was used to analyze the relationships between fat content and condition factor (K), somatic index (SI), gonadosomatic index (GSI) and fork length (FL). Results showed that: ① the fat content of yellowfin tuna was in the range of 0.1%–26.7%, and the average was 6.94%; ② the fat content of yellowfin tuna was low from October to December, 2013, and then was increasing after December, 2013. The fat content of (2°N~3°N, 59°E~60°E) was the highest (15.3%) and that of (7°S~8°S, 44°E~45°E) was the lowest (1.2%), and there was significant differences among them; ③ there was no significant difference among the fat contents by gender, gonad weight, gonad maturity stages or fork length; ④ By GAM, the results showed that there was no significant correlation between fat content and K, SI, GSI or FL. Results of this study suggest that: ① the yellowfin tuna begin to reproduce in March and April; ② the area of 2°N~3°N, 59°E~60°E might be an important spawning ground; ③ there was no significant correlation between female reproductive capacity and muscle fat content.

**Key words:** *Thunnus albacares*; muscle fat content; biological parameters; high seas of the Indian Ocean

**Corresponding author:** SONG Liming. E-mail: lmsong@shou.edu.cn

**Funding projects:** National High Technology Research and Development Program (2012AA092302); Doctoral Program of Higher Joint Research Fund (20113104110004); Shanghai Education Commission Research and Innovation Project (12ZZ168)