

南海黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)摄食习性及其随生长发育的变化*

陶雅晋¹ 莫 檬¹ 何雄波¹ 冯 波^{1,2} 卢伙胜^{1,2} 颜云榕^{1,2①}

(1. 广东海洋大学水产学院 湛江 524088; 2. 广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心 湛江 524088)

摘要 基于2012–2013年在我国南海水域调查获得的黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)生物学基础性数据,利用传统胃含物分析方法并结合碳、氮稳定同位素技术对黄鳍金枪鱼摄食习性进行了研究。结果显示,南海黄鳍金枪鱼食物组成包括鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)、枪乌贼属(*Uroteuthis*)、乌贼属(*Sepia*)、圆鲈属(*Decapterus*)、蛇鲭属(*Gempylus*)、帆蜥鱼(*Alepisaurus ferox*)、日本乌鲂(*Brama japonica*)、燕鲛属(*Cypselurus*)、甲壳类动物及不可辨别鱼类等饵料类群,其中,鳶乌贼(IRI=51.07%)、圆鲈属(IRI=39.81%)及不可辨别鱼类(IRI=6.62%)为主要饵料食物。黄鳍金枪鱼的空胃率、平均饱满指数和食物组成都有明显的月变化($P<0.05$)。空胃率随叉长组变化呈较明显的上升趋势,各叉长组之间空胃率变化显著($P<0.05$);平均饱满指数随叉长变化较大。当叉长组为130–160 cm时,Shannon-Weiner多样性指数 H' 在0.50–1.18之间变化,Pielou均匀度指数 J 在0.10–0.32之间。基于氮稳定同位素计算的黄鳍金枪鱼各叉长组的平均营养级为3.54。

关键词 南海;黄鳍金枪鱼;摄食生态;Shannon-Weiner多样性指数 H' ;Pielou均匀度指数 J
中图分类号 S931.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2017)04-0001-10

黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)是一种生活在热带、亚热带和温带海洋中上层广阔水域的鱼类,栖息在大洋上层,具有高度洄游特性(陈峰等,2013;李欢欢等,2015;孟晓梦等,2007),是金枪鱼属中产量最大的种类(李炎璐等,2016)。黄鳍金枪鱼在我国主要分布于南海,由于资源密度较低,渔船无法全年生产以及未能准确把握渔场渔期等原因,目前,我国对南海黄鳍金枪鱼资源尚未形成规模化的开发。

鱼类的摄食生态是鱼类生态学的重要内容之一,了解鱼类的摄食食性对研究和判断鱼类生长状况、行为、洄游、种间关系、营养传递和海洋生态系统结构及功能等方面起着关键作用(张宇美等,2013;朱国平等,2011)。鱼类通过摄食活动获得能量和营养,为个体的存活、生长、发育和繁殖以及种群的增长提供物

质基础(殷名称,1995)。黄鳍金枪鱼在海洋生态系统及海洋食物网中有着非常重要的地位(朱国平等,2007)。在国外,已有学者对印度洋、大西洋(Logan *et al*, 2013)、太平洋(Kim *et al*, 1997; Perrin *et al*, 1973)海域的黄鳍金枪鱼摄食生态进行了相关研究,并专门对黄鳍金枪鱼不同捕捞方式(Bashmakov *et al*, 1992)、不同水层(Potier *et al*, 2004),与大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*) (Kornilova *et al*, 1980)和鰹(*Katsuwonus pelamis*) (Roger, 1984)等鱼类的食性做对比分析;Potier等(2001、2002、2004)也对黄鳍金枪鱼主要食物组成及原因进行了分析研究等。近几年,国内学者对黄鳍金枪鱼的渔业资源(张鹏等,2010)、群体遗传结构(王中锋等,2012)、生物学特性及分布(冯波等,2014;李炎璐等,2016)等开展了研究,有关黄鳍金枪鱼的食性研

* 国家自然科学基金项目(41376158)和广东海洋大学创新强校工程项目(GDOU2013050212; GDOU2013050303)共同资助[This work was supported by National Natural Science Foundation of China (41376158), and Project of Enhancing School with Innovation of Guangdong Ocean University (GDOU2013050212; GDOU2013050303)]. 陶雅晋, E-mail: 1129230184@qq.com

① 通讯作者: 颜云榕, 教授, E-mail: yanyr@gdou.edu.cn

收稿日期: 2016-07-16, 收修改稿日期: 2016-08-18

究,国内仅有朱国平等(2008)对印度洋中西部和许柳雄等(2004)对大西洋中部黄鳍金枪鱼的摄食进行相关研究,对我国南海黄鳍金枪鱼摄食方面的研究暂未见报道。

2012–2013年利用金枪鱼延绳钓和灯光罩网作业方式对南海海域黄鳍金枪鱼进行调查采样,并结合碳、氮稳定同位素技术对南海黄鳍金枪鱼摄食生态进行研究,旨在了解我国南海黄鳍金枪鱼的生物学特性及其食性关系,为南海黄鳍金枪鱼资源的可持续开发提供理论依据和基础性资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

1.1.1 样品采集 黄鳍金枪鱼于2012年2月—2013年1月在南海海域采用延绳钓和灯光罩网的方式捕获,2012年2、3月取样调查船为海南“琼儋州15029”和广西北海“桂北渔60011”,4–8月取样调查船为广西北海“桂北渔60011”,11月取样调查船为广州远洋渔业公司“穗远渔29号”,2013年1月取样调查船为中国水产有限公司“昌荣2号”。调查海区及站点见图1。

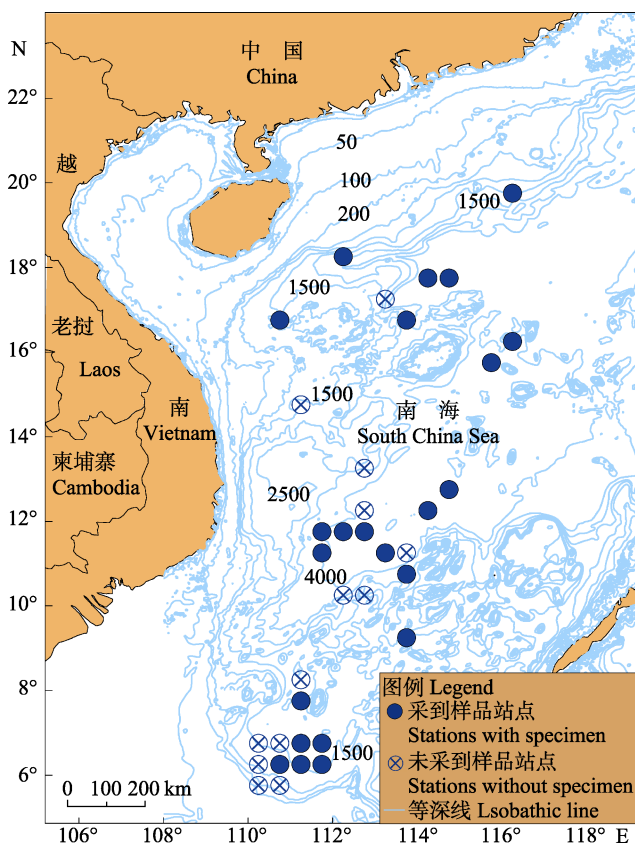


图1 南海黄鳍金枪鱼样品采集站点分布

Fig.1 The locations of sampling fishing sites of *T. albacores* in the South China Sea

1.1.2 生物学测定及胃含物的分析 体长、叉长、体重、胃重、胃饱满度等生物学测定在渔船现场按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)(2007)进行。长度测量精度为1 cm,体重精确到0.1 g,胃重精确到0.001 g,摄食等级分为0–4级。黄鳍金枪鱼的胃从接近口部的食道处剪断,肌肉取于其背部,分别装入封口袋并在-20℃下速冻带回实验室作分析。共采集黄鳍金枪鱼样品96尾,叉长范围为41–180 cm。其中,雌性38尾,叉长范围72–169 cm;雄性54尾,叉长范围62–180 cm(表1)。肌肉样品10尾,叉长范围为114–169 cm。

表1 黄鳍金枪鱼的叉长组成

Tab.1 The fork-length compositions of *T. albacores*

性别 Sex	尾数 Numbers	叉长范围 Fork length range (cm)		平均值 Mean	标准误 SE	标准差 SD
		范围	范围			
雌性 Female	38	72–169		115.5	3.65	22.22
雄性 Male	54	62–180		125.3	3.78	27.48
雌性+雄性 Female+Male	92	62–180		121.3	2.72	25.77

在实验室内,使用双筒解剖镜(Leica Zoom 2000 Z45V)通过传统胃含物分析方法并参考海洋生物分类资料(王尧耕等,2009;郑葆珊等,1987)对黄鳍金枪鱼胃含物进行识别,鉴定到最低分类单元,采用精度为0.001 g的电子天平(Shimadzu Auy 220)分别计量称重。肌肉样品剪碎,在冷冻干燥机(ALPHA 1–4 LDplus)–50℃恒温条件下干燥48 h,取出后立即用玛瑙研钵充分磨匀成粉状,作碳、氮稳定同位素分析。实验样品的稳定同位素分析在中国农业大学资源与环境学院同位素分析实验室进行,用德国Fini-gan公司生产的DeltaplusXP型全自动在线操作质谱仪进行测定,样品的碳、氮百分含量用%表示。

1.2 数据处理

用于评价饵料重要性的指标包括重量百分比($W\%$)、个数百分比($N\%$)、出现频次($F\%$)和相对重要性指标(IRI)(Hyslop *et al*, 1980),其计算公式如下:

$$\text{重量百分比}(\%) = \frac{\text{某种饵料生物的重量}}{\text{所有饵料生物的总重量}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{个数百分比}(\%) = \frac{\text{某种饵料生物的个数}}{\text{所有饵料生物的总个数}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{出现频次}(\%) = \frac{\text{某种饵料生物出现的频次}}{\text{所有食物的胃的个数}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{出现频次百分比组成}(\%) =$$

$$\frac{\text{某成分的出现频次}}{\text{各成分出现频次的总和}} \times 100 \quad (4)$$

IRI=(重量百分比+个数百分比)×出现频次×10000 (5)

$$IRI(\%) = \frac{IRI \times 100}{\sum IRI} \quad (6)$$

由于鱼类食物重量与鱼体体长之间的相关性较大,因此,饱满指数能够反映鱼类的摄食情况,但仅利用饱满指数不能准确地反映出鱼类摄食强度的变化情况。因此,本研究采用饱满指数和空胃率2个指标研究黄鳍金枪鱼摄食强度的变化情况,其计算公式如下:

$$\text{饱满指数} = \frac{\text{食物团实际重量(kg)}}{\text{叉长(cm)}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{空胃率}(\%) = \frac{\text{空胃数}}{\text{总胃数}} \times 100 \quad (8)$$

鱼类食物组成的生态位宽度,即鱼类食物组成的多样性用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J 表示(Krebs, 1989),计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \ln P_i \quad (9)$$

$$J = \frac{H'}{\ln s} \quad (10)$$

式中, s 为饵料生物种数, P_i 为饵料生物 i 在食物中所占的个数百分比。Shannon-Wiener 指数对于稀有饵料很敏感,因此,适合描述鱼类总的食物生态位宽度(Marshall *et al*, 1997)。

碳、氮稳定同位素比值以国际通用的 δ 值形式表达,定义为:

$$\delta X = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000 \quad (11)$$

式中, X 为 ^{13}C 或 ^{15}N ; R_{sample} 为所测得的同位素比值,碳同位素为 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$,氮的同位素为 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, R_{standard} 为国际通用标准物的重轻同位素丰度之比, δ 值越小表示样品中同位素(^{13}C 或 ^{15}N)含量越低,越大表示样品中同位素(^{13}C 或 ^{15}N)含量越高。碳稳定同位素标准采用 PDB(箭石),氮同位素标准则采用大气氮。为保证研究结果的准确性和仪器的稳定性,每测试5个样品后插测1个工作标准,个别样品则进行2-3次复测。碳、氮稳定同位素比值精密密度为 $\pm 0.02 \times 10^{-3}$ 。

营养级计算如下:

$$TL = \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{样品}} - \delta^{15}\text{N}_0}{\delta^{15}\text{N}_c} + 3.3 \quad (12)$$

式中, TL 为某种鱼类营养级, $\delta^{15}\text{N}_{\text{样品}}$ 为鱼类样

品所测得的 δ 值, $\delta^{15}\text{N}_0$ 为营养等级的基线,取 10.56% (张宇美等, 2014), $\delta^{15}\text{N}_c$ 为营养等级富集度,取 3.4% (Post, 2002)。计算营养级时,一般采用生态系统中常年存在、食性简单且为该鱼类主要摄食对象之一的生物作为基线生物(郭旭鹏等, 2007; 彭士明等, 2011)。本研究基线生物选择南海鸢乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*), 该物种属于南海黄鳍金枪鱼的主要摄食对象,而且其在研究海域中分布广泛、食性较简单,符合作为基线生物的基本条件,营养级设定为 3.3 (张宇美, 2014)¹⁾。

本研究使用的统计软件为 Excel 2007 和 SPSS 17.0。

2 结果与分析

2.1 食物组成

南海黄鳍金枪鱼主要摄食鱼类(IRI=47.58%)、头足类(IRI=51.52%)和甲壳类(IRI=0.91%) 3 大生态类群(表 2)。从表 2 可以看出,鸢乌贼(IRI=51.07%)为南海黄鳍金枪鱼的主要饵料生物,其次为圆鲈属 (*Decapterus*) (IRI=39.81%) 和不可辨别鱼类 (IRI=6.62%)。

表 2 南海黄鳍金枪鱼的食物组成
Tab.2 The diet compositions of *T. albacores* in the South China Sea (%)

饵料种类 Prey items	重量 百分比 W	个数 百分比 N	出现频次 百分比 F	相对重要 性指标 IRI
鸢乌贼 <i>S. oualaniensis</i>	39.97	32.10	25.71	51.07
枪乌贼属 <i>Uroteuthis</i>	1.30	1.00	5.71	0.36
乌贼属 <i>Sepia</i>	0.07	0.52	5.71	0.09
圆鲈属 <i>Decapterus</i>	49.84	51.30	14.29	39.81
蛇鲭属 <i>Gempylus</i>	2.18	2.07	5.71	0.67
帆蜥鱼 <i>Alepisaurus ferox</i>	0.56	1.60	5.71	0.34
日本乌鲂 <i>Brama japonica</i>	0.10	1.00	2.86	0.09
燕鲷属 <i>Cypselurus</i>	0.12	0.52	2.86	0.05
不可辨别鱼类 Unidentified fishes	5.19	4.15	25.71	6.62
不可辨别甲壳类 Unidentified crustacean	0.05	5.70	5.71	0.91

1) Zhang YM. Feeding habits and trophic level of purpleback flying squid, *Sthenoteuthis oualaniensis* based on carbon and nitrogen stable isotope analysis in the South China Sea. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2014, 29-39 [张宇美. 基于碳氮稳定同位素的南海鸢乌贼摄食生态与营养级研究. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2014, 29-39]

2.2 南海黄鳍金枪鱼主要饵料类群重量百分比的月变化

南海黄鳍金枪鱼食物组成也有明显的月变化(图2),由饵料重量百分比可以看出,2012年2月,鸢乌贼是黄鳍金枪鱼的主要饵料,达到了最高值,为88.75%;2012年3月和2013年1月黄鳍金枪鱼则以圆鲹属为主要饵料;而2012年6、8、11月则以不可辨别鱼类为主要摄食对象。各月黄鳍金枪鱼的食物组成中,除不可辨别鱼类外,鸢乌贼所占的比例最大,平均为26.66%。

2.3 摄食强度的月变化以及随叉长组变化

在调查所获得的数据中显示,黄鳍金枪鱼的空胃

率和平均饱满指数都有明显的月变化(图3)。空胃率在1-3月达到了最高值,其中,2月最高(空胃率达到41%)。到了7、8月降为0,空胃率随月变化总体呈先上升后下降趋势,各月之间与空胃率差异性显著($F=6.06, P<0.05$)。平均饱满指数在3月达到了峰值,平均饱满指数随月变化总体也是呈先上升后下降趋势,各月之间平均饱满指数差异性极显著($F=13.66, P<0.01$)。

随着叉长组的不断增大,空胃率呈较明显的上升趋势(图4),各叉长组之间空胃率变化显著($F=7.07, P<0.05$)。平均饱满指数随叉长变化极显著($F=22.33, P<0.01$)。

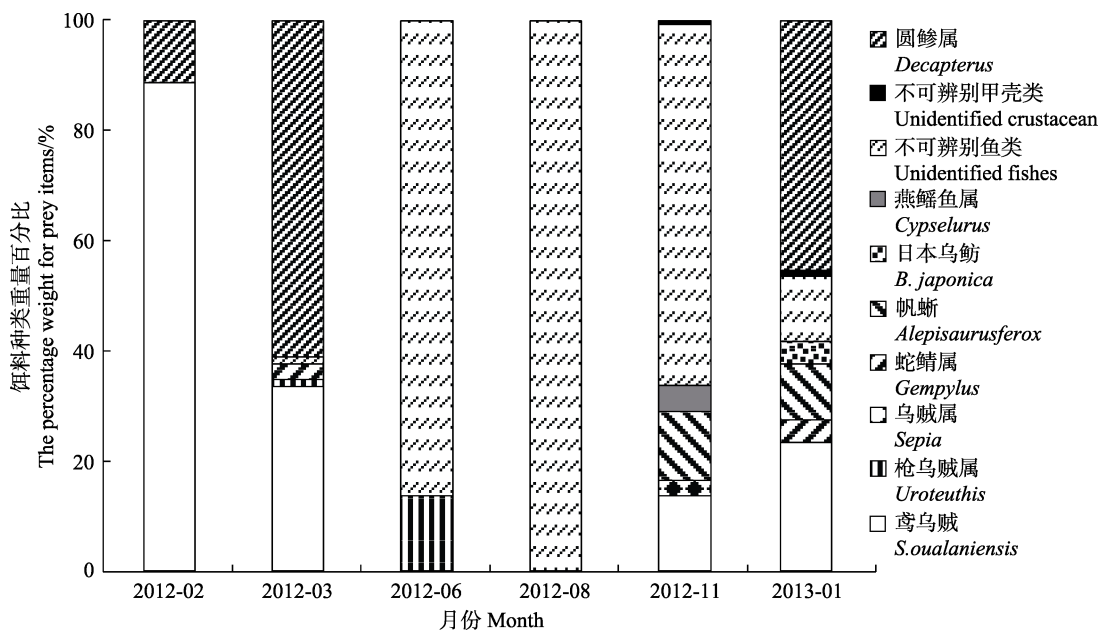


图2 南海黄鳍金枪鱼主要饵料类群重量百分比的月变化

Fig.2 Monthly variation in the percentage weight of major prey groups to the diets of *T. albacores* in the South China Sea

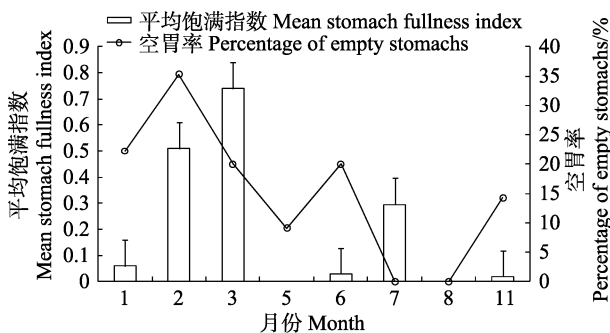


图3 南海黄鳍金枪鱼各月的空胃率和平均饱满指数(竖线表示正偏差)

Fig.3 Monthly mean repletion index of gutted weight and percentage of empty stomachs of *T. albacores* in the South China Sea (Vertical bars indicated positive standard deviation)

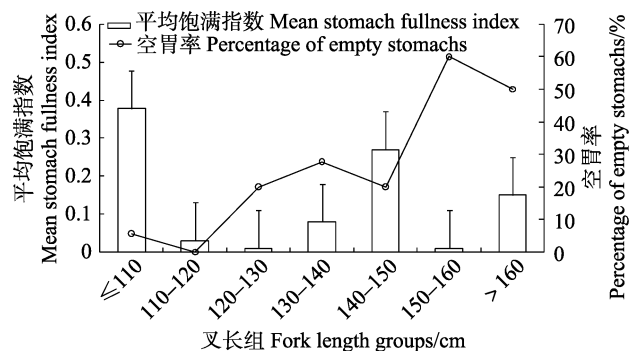


图4 南海黄鳍金枪鱼各叉长组的空胃率和平均饱满指数(竖线表示正偏差)

Fig.4 Mean repletion index of gutted weight and percentage of empty stomachs for each fork length class of *T. albacores* in the South China Sea (Vertical bars indicated positive standard deviation)

2.4 食物组成的生态位宽度与叉长的变化

南海黄鳍金枪鱼 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J 结果见图 5。从图 5 可以看出, 叉长组在 130–160 cm 时, Shannon-Weiner 多样性指数 H' 最低为 0.52(140–150 cm), 最高为 1.25 (150–160 cm); 对于 Pielou 均匀度指数 J , 最小值为 0.10 (140–150 cm), 最大值为 0.31(150–160 cm) (注: 因为样品尾数较少或胃含物为 0, 为避免造成太大误差, H' 和 J 为 0 的数值不在图中显示)。

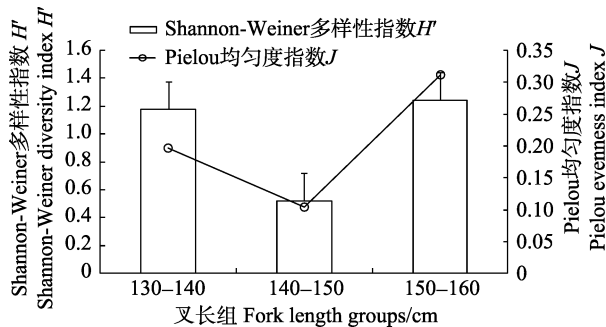


图 5 南海黄鳍金枪鱼各叉长组 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J (竖线表示正偏差)

Fig.5 Shannon-Weiner diversity index H' and Pielou evenness index J calculated for each fork length group of *T. albacores* in the South China Sea (Vertical bars indicated positive standard deviation)

2.5 稳定同位素特征及营养位置

南海黄鳍金枪鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -19.92‰ — -18.29‰ , 其平均值为 -19.05‰ , 最大差值为 1.63‰ ; $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围为 10.36‰ – 12.29‰ , 其平均值为 11.39‰ , 最大差值达 1.93‰ 。黄鳍金枪鱼的碳百分含量的范围为 46.69% – 49.33% , 氮百分含量的范围为 19.20% – 21.05% (表 3)。

根据 $\delta^{15}\text{N}$ 值计算出不同叉长组南海黄鳍金枪鱼的营养级, 其范围为 3.24 – 3.80 , 平均值为 3.54 , 营养级较高, 各叉长组之间营养级 TL 差异性不显著 ($F=0.31$, $P>0.05$)。

3 讨论

3.1 食物组成和食性类型

通常情况下, 利用饵料生物的生态类群出现频次百分比组成来划分鱼类的食性类型(张其永等, 1981), 但并没有给出严格的划分标准。采用一般多数原则, 本研究以出现频次百分比组成的 60% 为标准, 即饵料生物的出现频次百分比组成超过 60% 即为主要的摄

表 3 南海黄鳍金枪鱼的碳氮稳定同位素比值和碳、氮百分含量及营养级

Tab.3 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, carbon nitrogen contents and trophic level of *T. albacores* in the South China Sea

叉长组 Fork length groups (cm)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	碳 C(%)	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	氮 N(%)	营养级 Trophic level
110–120	-19.92	46.69	11.44	19.20	3.56
120–130	-18.29	47.68	12.29	21.05	3.81
130–140	-19.20	47.24	10.74	19.26	3.35
140–150	-18.53	49.33	10.36	20.26	3.24
150–160	-18.82	47.15	11.28	20.02	3.51
160–170	-19.53	47.69	12.25	21.02	3.80

食对象(唐启升等, 2003)。从表 2 可以看出, 鱼类 (57.14%) 和头足类 (37.14%) 是南海黄鳍金枪鱼的主要摄食对象, 甲壳类 (5.71%) 也占少量。南海黄鳍金枪鱼以摄食圆鲈属、帆蜥、蛇鲭属、日本乌鲂、燕鲷鱼属、不可辨别鱼类等鱼类和鸢乌贼、枪乌贼属、乌贼属等头足类上层或中上层水生生物为主, 说明该鱼种主要在上层或中上层水域摄食, 属于上层或中上层水域的动物食性鱼类。根据各海域黄鳍金枪鱼摄食食性对比发现(表 4), 黄鳍金枪鱼主要摄食鱼类对象大多栖息在中上层, 这与本研究的结论相一致。

本研究采用传统胃含物分析方法并结合碳、氮稳定同位素技术对南海黄鳍金枪鱼的食物组成、摄食强度、碳氮稳定同位素及营养位置进行研究, 黄鳍金枪鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的差值较大, 结果表明, 黄鳍金枪鱼是一种广食性鱼类, 食物种类来源广泛, C 和 N 的来源复杂, 包括鱼类、头足类和甲壳类等。与其他海域黄鳍金枪鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 比较发现, 在采样年份相近、叉长组大小相同情况下, 南海黄鳍金枪鱼的稳定同位素的比值要低很多(表 5)。与印度洋海域对比发现, 在叉长组具有明显的优势下, 南海海域黄鳍金枪鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值依然要比印度洋海域的低。其原因可能是不同海域的饵料生物不尽相同, 其能量来源有所不同, 有机物的积累情况也有区别。

3.2 摄食的月变化

由于月或季节的更替, 海洋中的温度、盐度、含氧量、潮汐、潮流等环境因子会发生一定的变化, 这会影响黄鳍金枪鱼饵料物种的分布; 黄鳍金枪鱼本身的活动活跃程度、鱼体新陈代谢和繁殖也发生变化, 这些因素都会影响黄鳍金枪鱼的摄食随月或季节变化。鱼类食性随月或季节的变化是对环境适应性的行为, 这是一种极为常见的现象。朱国平等(2008)对

表4 各海域黄鳍金枪鱼摄食食性对比
Tab.4 Comparison of diet composition in *T. albacares* in different ocean regions

海域 Sea areas	样品尾数/实胃数 Samples numbers/ Stomachs with contents	叉长范围 Fork length ranges (cm)	主要摄食种类 Main diet species
印度洋中西部 West-central Indian Ocean (朱国平等, 2008)	256/205	94-168	帆蜥鱼属 <i>Alepisaurus</i> 、鲈属 <i>Scomber</i> 、鲹 <i>Katsuwonus pelamis</i> 、沙丁鱼 <i>Sardina</i> 、鳞鲀属 <i>Balistoides</i> 、竹荚鱼属 <i>Trachurus</i> 、鱿鱼 Squid、章鱼 Octopus、虾 Shrimp、蟹类 Crab、鹦鹉螺属 <i>Nautilus</i> 等
大西洋中部 Central Atlantic Ocean (宋利明等, 2004)	32/24	101-181	鱿鱼 Squid、沙丁鱼 <i>Sardina</i> 、不可辨别鱼类 Unidentified fishes、虾 Shrimp 等
斯里兰卡海域 Sri Lankan waters (Rekha, 1996)	4181/2634	22-164	舵鲹 <i>Auxis</i> sp.、鲹科 Carangidae、飞鱼科 Exocoetidae、鳀科 Engraulidae、鲱科 Clupeidae、鲱科 Hemiramphidae、蝴蝶鱼科 Chaetodontidae、头足类 Cephalopods、蟹类 Crabs、磷虾 Euphausiids 等
太平洋东部 Eastern tropical Pacific (Perrin <i>et al.</i> , 1973)	231/152	84.6-116.4	小鳍针飞鱼 <i>Oxyporhamphus micropterus</i> 、舵鲹 <i>Auxis</i> sp.、墨西哥珍灯鱼 <i>Nannobranchium idostigma</i> 、小尾珍灯鱼 <i>Lampanyctus parvicauda</i> 、巴拿马底灯鱼 <i>Bentosema panamense</i> 、大鳞鳞孔鲷 <i>Scopelogadus mizolepis</i> 、矮方头鲳 <i>Cubiceps nanus</i> 、斑乌贼 <i>Onykia carribbaea</i> 、近缘小钩腕乌贼 <i>Abraliopsis affinis</i> 、钩虾属 <i>Gammarus</i> 等
美属萨摩亚 American Samoa (Buckley <i>et al.</i> , 1994)	228/226	30-148	磷虾科 Euphausiidae、蟹类 Crabs、鱿鱼 Crabs、鳀科 Engraulidae、珍珠鱼科 Carapidae、金鳞鱼科 Holocentridae、烟管鱼科 Fistulariidae、豹鲂科 Dactylopteridae、大眼鲷科 Priacanthidae、鲹科 Carangidae、羊鱼科 Mullidae、蝴蝶鱼科 Chaetodontidae 等
中国台湾海域 Taiwan sea areas of China (Weng <i>et al.</i> , 2016)	1128/1477	28-108	日本光鳞鱼 <i>Lestrolepis japonica</i> 、七星底灯鱼 <i>Bentosema pterotum</i> 、眼镜鱼 <i>Mene maculata</i> 、飞鱼科 Exocoetidae、蝴蝶鱼科 Chaetodontidae、圆舵鲹 <i>Auxis rochei</i> 、四齿鲀科 Tetraodontidae、竹荚鱼属 <i>Trachurus</i> 等
阿拉伯海东部 Eastern Arabian Sea (Varghese <i>et al.</i> , 2016)	343/406	48-165.5	蛸类 Octopodidae、纺锤乌贼 <i>Liocranchia reinhardti</i> 、菱鳍乌贼 <i>Thysanoteuthis rhombus</i> 、日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i> 、红牙鳞鲀 <i>Odonus niger</i> 、纺锤鲷 <i>Elagatis bipinnulata</i> 、斯氏鲱鱼 <i>Chauliodus sloani</i> 、棘鲱 <i>Coryphaena equiselis</i> 、舵鲹 <i>Auxis</i> sp.、鲷 <i>Euthynnus affinis</i> 等

印度洋中西部水域黄鳍金枪鱼食性月变化做了相关的研究, 得出黄鳍金枪鱼摄食强度各月差异显著, 各月饱满指数存在显著性差异, 黄鳍金枪鱼的食物组成随月有明显变化, 这与本研究的结果一致。表明了南海金枪鱼摄食强度和食物组成与印度洋海域一样, 都有明显的月变化。

另外, 在研究中出现 2、3 月黄鳍金枪鱼的空胃率和平均饱满指数均偏高的现象, 分析其原因, 可能是受到作业方式的影响。黄鳍金枪鱼渔获是由灯光罩网“琼儋州 15029”和广西北海由拖网改造的延绳钓

船“桂北渔 60011”共同捕获。受到灯光影响, 趋光性饵料鱼类大量聚集, 黄鳍金枪鱼更容易摄食到食物, 被捕获时胃含物多数因未消化而保存完整, 致使 2、3 月黄鳍金枪鱼的平均饱满指数偏高。而造成 2 月空胃率最高的原因是由钓船捕获的黄鳍金枪鱼, 空胃率高达 42% 左右, 灯光罩网船捕获的黄鳍金枪鱼空胃率只有 20%。

3.3 摄食随生长发育的变化

随着鱼类的生长发育, 一方面, 鱼类本身个体体

表 5 各海域黄鳍金枪鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 比较
Tab.5 Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of *T. albacores* in different ocean regions

采样年 Year	海域 Sea areas	样品叉长范围 Fork length ranges (cm)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
2003–2005	太平洋东部海域 Eastern Pacific Ocean (Olson <i>et al.</i> , 2010)	45–129	-17.8 – -15.4	13.1–16.8
2012–2013	南非西南海域 Southwest Coast of South Africa (Norman, 2013 ¹)	55–175	-17.8 – -16	12.6–15.3
2010–2011	中国台湾海域 Taiwan sea areas of China (Weng <i>et al.</i> , 2016)	24–108	-17.5 – -16.7	6.2–12.6
2001–2006	印度洋海域 Indian Oceans (Lorrain <i>et al.</i> , 2010)	56–95		11.3–13.8
2001–2006	太平洋海域 Pacific Oceans (Lorrain <i>et al.</i> , 2010)	48–129		7.1–16.5
2012–2013	南海 South China Sea	110–170	-19.92 – -18.29	10.4–12.3

长增加, 游泳能力和活跃程度增强, 生殖系统逐渐发育成熟, 其自身生命活动所需的能量逐渐增加; 另一方面, 鱼类的消化器官逐渐发育成熟, 其消化饵料的能力也自然发生一定的变化。本研究结果显示, 空胃率随着叉长的增加整体呈上升趋势, 叉长组与空胃率之间变化显著。从生物学的角度来分析, 可能是成鱼生命活动和繁殖等所需的能量比较多, 消化饵料的能力比幼鱼强, 因此, 成鱼的空胃率较幼鱼高。陈峰等(2013)发现, 南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼不同叉长组的摄食等级也同样存在显著性变化, 叉长组大于 150 cm 时, 空胃率高达 50% 以上, 并且摄食等级未达到 4 级, 这与本研究的结果相一致。平均饱满指数也可以反映出这一点, 随着叉长增加, 平均饱满指数波动更为明显。另外, 作业方式的不同也会对空胃率造成影响, 本研究所取得的样品多数是由金枪鱼延绳钓作业方式捕获, 黄鳍金枪鱼在钓线上剧烈挣扎以及从海中被提升至表层出现“吐胃”现象, 会对食性研究产生一定的影响(颜云榕等, 2010)。

鱼类消化器官的成熟和生命所需能量增加的同时, 部分鱼的食性也会发生变化。Potier 等(2001)的研究发现, 黄鳍金枪鱼在叉长大于 90 cm 后, 有少量摄食甲壳类动物的行为。本研究结果显示, 黄鳍金枪鱼在叉长组为 111–140 cm 时有少量摄食甲壳类动物的现象。同样在朱国平等(2008)的研究中发现, 叉长组在 131–135 cm 范围时, 黄鳍金枪鱼有摄食甲壳类动物的现象, 此现象已被证实(Zudaire *et al.*, 2015; Olson *et al.*, 2010; Perrin *et al.*, 1973)。摄食甲壳类的原因, 是黄鳍金枪鱼本身食性变化所致, 亦或是饵料生物残留, 还有待进一步证实。

3.4 食物组成的生态位宽度

生态位宽度, 又称生态位广度, 是衡量了一个物种所能利用各种资源的总和, 当资源的可利用性减少时, 一般会使生态位宽度增加(Holt, 1983)。如黄鳍金枪鱼在食物充足的情况下, 会选择最习惯摄食的少数被捕食者, 当食物供应不足时, 更多的被捕食者将会成为捕食对象, 这就会造成黄鳍金枪鱼食物组成生态位宽度的增加(王少琴等, 2014)。本研究中, 南海黄鳍金枪鱼叉长组为 130–160 cm 时, Shannon-Weiner 多样性指数 H' 值在 0.52–1.25 之间, Pielou 均匀度指数 J 值在 0.10–0.30 范围内, 低于朱国平等(2008)对印度洋海域黄鳍金枪鱼食物组成的生态位宽度的研究结果(叉长组为 130–160 cm 时, H' 值为 0.52–1.25, J 值为 0.6–1.8)。一方面是南海黄鳍金枪鱼的摄食主要对象较为单一, 鱼类和头足类是南海黄鳍金枪鱼的主要摄食对象, 其中, 鸢乌贼(IRI=51.07%)是南海黄鳍金枪鱼的主要饵料生物, 其次为圆鲐属(IRI=39.81%), 间接反映出南海鸢乌贼和圆鲐属资源量确实较为丰富(冯波等, 2014; 张鹏等, 2016); 另一方面可能是本研究中实验分析的胃含物样品相对较少, 受调查数据等客观原因限制, 本研究只做初步统计分析。

本研究中, 由于所采集到的样品数量有限而且月份是不连续的, 胃含物分析采用传统胃含物肉眼分析法, 只将食物进行了初步的鉴定, 某些鱼类和甲壳类未能辨认, 也有些鱼类和头足类只鉴定到了属, 这都会产生一定的误差。碳、氮稳定同位素技术早在 20 世纪 80 年代就应用于生态系统研究, 目前, 已被广泛应用于鱼类摄食生态研究, 但此技术应用的准确性

1) Norman SJ. Biology of Albacore tuna (*Thunnus alalunga*, Bonnaterre 1788) off the South West Coast of South Africa. Master's Thesis of the University of Cape Town, 2013, 43–47

取决于基线生物的选择。因此,未来还需采集完整的周年数据,运用分子生物学技术鉴别饵料生物种类以及运用碳、氮稳定同位素技术测量黄鳍金枪鱼饵料生物稳定同位素值,结合黄鳍金枪鱼及基线生物稳定同位素值与时空变化及周年变化进行进一步研究。

参 考 文 献

- Bashmakov VF, Zamorov VV, Romanov E V. Diet composition of tunas caught with long lines and purse seines in the Western Indian Ocean. *Marine Biology*, 1991, 12: 53–59
- Buckley TW, Miller BS. Feeding habits of yellowfin tuna associated with fish aggregation devices in American Samoa. *Bulletin of Marine Science*, 1994, 55(2–3): 445–459
- Chen F, Guo A, Zhu WB, *et al.* Preliminary study on fishery biology of yellowfin tuna in the South Pacific Islands near Solomon Island. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(3): 12–20 [陈峰, 郭爱, 朱文斌, 等. 南太平洋所罗门群岛海域黄鳍金枪鱼的渔业生物学特性. *渔业科学进展*, 2013, 34(3): 12–20]
- Consoli P, Romeo T, Battaglia P, *et al.* Feeding habits of the albacore tuna *Thunnus albacares* (Perciformes, Scombridae) from central Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 2008, 155(1): 113–120
- Feng B, Li ZL, Hou G. Biology and distribution of *Thunnus obesus* and *Thunnus albacares* in the South China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(4): 886–894 [冯波, 李忠炉, 侯刚. 南海大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼生物学特性及其分布. *海洋与湖沼*, 2014, 45(4): 886–894]
- Feng B, Yan YR, Zhang YM, *et al.* A new method to assess the population of *Sthenoteuthis oualaniensis* in South China Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(04): 1–6 [冯波, 颜云榕, 张宇美, 等. 南海鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)资源评估的新方法. *渔业科学进展*, 2014, 35(4): 1–6]
- General Administration of Quality Supervision, Standardization Administration of the People's Republic of China. Series of National Standards on Specifications for Oceanographic Survey(GB/T12763.6–2007). Beijing: China Standards Press, 2007, 56–62 [国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范 (GB/T12763.6–2007). 北京: 中国标准出版社, 2007, 56–62]
- Guo XP, Li ZY, Jin XS, *et al.* Diet competition between two Anchovies fishes in the southern Yellow Sea with stable isotope techniques. *Journal of Hangzhou Normal University (Natural Science)*, 2007, 6(4): 283–287 [郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 应用稳定同位素技术对南黄海两种鲱科鱼类食物竞争的研究. *杭州师范学院学报(自然科学版)*, 2007, 6(4): 283–287]
- Holt RD. Optimal foraging and the form of the predator isocline. *American Naturalist*, 1983, 122(4): 521–541
- Hyslop EJ. Stomach contents analysis—A review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 1980, 17(4): 411–429
- Kim JB, Moon DY, Kwon JN, *et al.* Diets of bigeye and yellowfin tunas in the western tropical Pacific. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 30(5): 719–729
- Kornilova GN. Feeding of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the equatorial zone of the Indian Ocean. *Journal of Ichthyology*, 1980, 20(6): 111–119
- Krebs CJ. *Ecological methodology*. New York: Harper Collins Publishers, 1989
- Li HH, Tian SQ. Study on reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Central and Western Indian Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(4): 594–602 [李欢欢, 田思泉. 中西印度洋的黄鳍金枪鱼繁殖生物学研究. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(4): 594–602]
- Li YL, Chen C, Yu H, *et al.* Morphological characteristics and their relationships with the body weight of wild juvenile *Thunnus albacares*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(1): 8–14 [李炎璐, 陈超, 于宏, 等. 中国南海黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)幼鱼形态特征及其与体重的关系. *渔业科学进展*, 2016, 37(1): 8–14]
- Logan JM, Toppin R, Smith S, *et al.* Contribution of cephalopod prey to the diet of large pelagic fish predators in the central North Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 95(6): 74–82
- Lorrain A, Graham BS, Popp BN, *et al.* Nitrogen isotopic baselines and implications for estimating foraging habitat and trophic position of yellowfin tuna in the Indian and Pacific Oceans. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2014, 113(8): 188–198
- Marshall S, Elliott M. A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter and intraspecific feeding relationship in estuarine fish. *Journal of Fish Biology*, 1997, 51(3): 526–545
- Meng XM, Ye ZJ, Wang YJ. Review on fishery and biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *South China Fisheries Science*, 2007, 3(4): 74–80 [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. *南方水产*, 2007, 3(4): 74–80]
- Olson RJ, Popp BN, Graham BS, *et al.* Food–web inferences of stable isotope spatial patterns in copepods and yellowfin tuna in the pelagic eastern Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, 2010, 86(1–2): 124–138
- Peng SM, Shi ZH, Yin F, *et al.* Feeding habits of silver pomfret (*Pampus argenteus*) in East China Sea based on stable isotope techniques. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(7): 1565–1569 [彭士明, 施兆鸿, 尹飞, 等. 利用碳氮稳定同位素技术分析东海银鲧食性. *生态学杂志*, 2011, 30(7): 1565–1569]
- Perrin WF, Warner RR, Fiscus CH, *et al.* Stomach contents of

- porpoise, *Stenella* spp., and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in mixed-species aggregations. *Fishery Bulletin*, 1973, 71(4): 1077–1092
- Post DM. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*, 2002, 83(3): 703–718
- Potier M, Sabatie R, Menard F, *et al.* Preliminary result of tuna diet studies in the West equatorial Indian Ocean. *IOTC Proceedings*, 2001, 4: 273–278
- Potier M, Marsac F, Lucas V. Feeding partitioning among tunas taken in surface and mid-water layers: The case of yellowfin (*T. albacares*) and bigeye (*T. obesus*) in the western tropical Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 2004, 3(1): 51–62
- Potier M, Lucas V, Marsac F. On-going research activity on trophic ecology of tuna in equatorial ecosystems of the Indian Ocean. *IOTC Proceedings*, 2002, 5: 368–374
- Rekha M. Food consumption of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in Sri Lankan waters. *Environmental Biology of Fisheries*, 1996, 47(1): 101–107
- Roger C. Relationships among yellowfin and skipjack tuna their prey-fish and plankton in the tropical western Indian Ocean. *Fisheries Oceanography*, 1994, 3(2): 133–141
- Song LM, Chen XJ, Xu LX. Preliminary analysis of biological characteristics of yellowfin tuna *Thunnus albacares* in the tuna longline fishing ground of the Central Atlantic Ocean. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(6): 538–542 [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. *海洋与湖沼*, 2004, 35(6): 538–542]
- Varghese SP, Somvanshi VS. Feeding ecology and consumption rates of yellowfin tuna *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) in the eastern Arabian Sea. *Indian Journal of Fisheries*, 2016, 63(1): 16–26
- Wang ZD, Guo YS, Yan YR, *et al.* Population genetics of tunas in South China Sea inferred from control regions. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(2): 191–201 [王中锋, 郭昱嵩, 颜云榕, 等. 南海大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的群体遗传结构. *水产学报*, 2012, 36(2): 191–201]
- Wang GY, Chen XJ, Liu BL. *World cephalopods*. Beijing: China Ocean Press, 2009 [王尧耕, 陈新军, 刘必林. 世界头足类. 北京: 海洋出版社, 2009]
- Wang SQ, Xu LX, Wang XF, *et al.* A review of impacts of fish aggregation devices (FADs) on feeding patterns for tropical tunas. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(13): 3490–3498 [王少琴, 许柳雄, 王学昉, 等. 人工集鱼装置对热带金枪鱼类摄食模式的影响研究进展. *生态学报*, 2014, 34(13): 3490–3498]
- Weng JS, Lee MA, Liu KM, *et al.* Feeding ecology of juvenile yellowfin tuna from waters southwest of Taiwan inferred from stomach contents and stable isotope analysis. *Marine and Coastal Fisheries*, 2016, 7(1): 537–548
- Yan YR, Lu HS, Jin XS. Marine fish feeding ecology and food web: Progress and perspectives. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(1): 145–153 [颜云榕, 卢伙胜, 金显仕. 海洋鱼类摄食生态与食物网研究进展. *水产学报*, 2011, 35(1): 145–153]
- Yan YR, Wang TT, Hou G, *et al.* Feeding habits and monthly and ontogenetic diet shifts of the greater Lizard fish, *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf of the South China Sea. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(7): 1089–1098 [颜云榕, 王田田, 侯刚, 等. 北部湾多齿蛇鲷摄食习性及其随生长发育的变化. *水产学报*, 2010, 34(7): 1089–1098]
- Yin MC. *Fish ecology*. Beijing: Agriculture Press, 1995 [殷名称. 鱼类生态学. 北京: 农业出版社, 1995]
- Zhang P, Yang L, Zhang XF, *et al.* The present status and prospect on exploitation of tuna and squid fishery resources in South China Sea. *South China Fisheries Science*, 2010, 6(1): 68–74 [张鹏, 杨吝, 张旭丰, 等. 南海金枪鱼和鳶乌贼资源开发现状及前景. *南方水产*, 2010, 6(1): 68–74]
- Zhang P, Zhang J, Li Y, *et al.* An exploratory fishing survey of light falling-net fisheries in the central and southern South China Sea in autumn. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(2): 67–74 [张鹏, 张俊, 李渊, 等. 秋季南海中南部海域的一次灯光罩网探捕调查. *南方水产科学*, 2016, 12(2): 67–74]
- Zhang YM, Dai CT, Yan YR, *et al.* Feeding habits and trophic level of crimson sea bream, (*Parargyrops edita* Tanaka) in the Beibu Gulf. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 265–273 [张宇美, 代春桃, 颜云榕, 等. 北部湾二长棘犁齿鲷摄食习性和营养级. *水产学报*, 2014, 38(2): 265–273]
- Zhang QY, Lin QM, Lin YT, *et al.* Food web of fishes in the Minnan-Taiwan chientan fishing ground. *Acta Oceanologica Sinica*, 1981, 3(2): 275–290 [张其永, 林秋眠, 林允通, 等. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类食物网研究. *海洋学报*, 1981, 3(2): 275–290]
- Zheng BS, Cheng QT. *Systematic synopsis of Chinese fishes*. Beijing: China Ocean Press, 1987 [郑葆珊, 成庆泰. 中国鱼类系统检索. 北京: 海洋出版社, 1987]
- Zhu GP, Xu LX, Zhou YQ, *et al.* Feeding habits and its seasonal variations of *Thunnus albacares* in the west-central Indian Ocean. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(5): 725–732 [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. *水产学报*, 2008, 32(5): 725–732]
- Zhu GP, Liu W, Dai XJ, *et al.* Spatial-temporal variation in feeding intensity of bigeye tuna *Thunnus obesus* in the tropical eastern and central Pacific Ocean. *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. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(1): 68–73]
- Zhu GP, Xu LX, Zhou YQ, *et al.* A comparative study of feeding behavior of *Thunnus obesus* in the west-central Indian Ocean and the western Atlantic Ocean. *Acta Ecologica*

Sinica, 2007, 27(1): 135–141 [朱国平, 许柳雄, 周应祺, 等. 印度洋中西部和太平洋西部水域大眼金枪鱼的食性比较. 生态学报, 2007, 27(1): 135–141]
Zudaire I, Murua H, Grande M, *et al.* Variations in the diet

and stable isotope ratios during the ovarian development of female yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean. *Marine Biology*, 2015, 162 (12): 2363–2377

(编辑 陈严)

Feeding Habits and Ontogenetic Diet Shifts of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacores*) in the South China Sea

TAO Yajin¹, MO Meng¹, HE Xiongbo¹, FENG Bo^{1,2}, LU Huosheng^{1,2}, YAN Yunrong^{1,2①}

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088; 2. Center of South China Sea Fisheries Resources Monitoring and Assessment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088)

Abstract To understand the diet composition of wild yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) and its ontogenetic variations, some surveys were conducted from February 2012 to January 2013 in the South China Sea. Both stomach content and stable isotope analysis were used to study the feeding ecology of yellowfin tuna. A total of 94 yellowfin tuna samples, ranging between 41 cm and 180 cm in fork length (FL), were measured according to the national standards on specifications for oceanographic survey (GB/T 12763.6–2007). Results showed that diet compositions of *Thunnus albacores* mainly consisted of *Sthenoteuthis oualaniensis*, *Uroteuthis* sp., *Sepia* sp., *Decapterus* sp., *Gempylus*, *Alepisaurus*, *Brama japonica*, *Cypselurus* sp., unidentified crustacean and fishes, *etc.* *S. oualaniensis* was the primary prey components of the diet, averaging 51.07% by percentage of Index of Relative Importance (IRI%). *Decapterus* was the second most important diet, with IRI of 39.81%. The percentage of empty stomach, mean stomach fullness index and diet compositions had significant monthly variation ($P < 0.05$). The vacuity coefficient changed significantly in each group of FL and showed the upward trend ($P < 0.05$). Mean stomach fullness index had significant monthly variation. With the group between 130 and 160 cm FL, Shannon-Weiner diversity index H' ranged between 0.05 to 1.18 and Pielou evenness index J varied from 0.10 to 0.32. The average trophic level of yellowfin tuna in the South China Sea was 3.54. In conclusion, the results improved the understanding of the yellowfin tuna biological characteristics and feeding habits, also provided some empirical data for marine ecosystem modeling in the South China Sea.

Key words South China Sea; *Thunnus albacores*; Feeding ecology; Shannon-Weiner diversity index H' ; Pielou evenness index J

① Corresponding author: YAN Yunrong, E-mail: yanyr@gdou.edu.cn