

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2016. 06. 009

东太平洋公海大青鲨的胃含物组成研究

耿 喆, 朱江峰, 戴小杰

(上海海洋大学海洋科学学院, 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)

摘要: 根据 2011 年 10 月 ~2013 年 12 月期间金枪鱼延绳钓渔船海上兼捕采集的样品(雌性 66 尾、雄性 81 尾, 未鉴定性别 1 尾), 首次对东太平洋公海海域($25^{\circ}\text{S} \sim 15^{\circ}\text{N}$, $175^{\circ}\text{E} \sim 105^{\circ}\text{W}$)的大青鲨(*Prionace glauca*)胃含物组成及其多样性进行了探究。结果表明, 摄食强度以 1 级为主(68%), 雌雄间无显著差异(χ^2 , $df=4$, $P>0.1$); 胃含物种类组成结构, 硬骨鱼类占最大比例(占 57.3%), 其次是头足类(其中鱿占总饵料数的 97.9%), 雌雄间无显著差异(χ^2 检验, $df=15$, $P>0.05$), 但个体间差异大, 重叠率低。饵料总体多样性 Shannon-Weiner 指数(H)为 1.78, Simpson 指数(C)为 0.28。随大青鲨叉长增加, H 略呈下降趋势, C 略呈上升趋势。成熟中、排卵中、已怀孕 3 个阶段的雌性个体饵料组成多样性略有差异。聚类分析显示, 1 月 ~3 月、8 月 ~10 月和 11 月 ~12 月的饵料组成结构中, 8 月 ~10 月和 11 月 ~12 月的相似性较高。

关键词: 大青鲨; 胃含物; 摄食强度; 延绳钓; 东太平洋

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2016) 06 - 0068 - 08

Composition of stomach content of blue shark (*Prionace glauca*) in the tropical eastern Pacific Ocean

GENG Zhe, ZHU Jiangfeng, DAI Xiaojie

(Key Lab. of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education;
College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on the samples collected by tuna long-line fishery in the tropical waters of the eastern Pacific Ocean ($25^{\circ}\text{S} \sim 15^{\circ}\text{N}$, $175^{\circ}\text{E} \sim 105^{\circ}\text{W}$) during October 2011 to December 2013, we analyzed the stomach content and prey diversity of blue shark (*Prionace glauca*). The feeding intensity of blue shark was dominated by level one (68%). The composition of feeding intensity between female and male was not significantly different (χ^2 -test, $P>0.1$). Teleosts were major prey items (57.3%), followed by cephalopods (97.9% were squid). The diet composition was not significantly different between female and male, but significantly different among individuals. The Shannon-Weiner diversity index (H) and Simpson diversity index (C) for prey items were 1.78 and 0.28, respectively. The index H decreased but index C increased with increasing blue shark size. The prey diversity indices for female blue sharks in maturing, ovulating and gravid stages were slightly different. Cluster analysis shows that the diet compositions of August ~October and November ~December were more similar than that of January ~March.

Key words: *Prionace glauca*; stomach content; feeding intensity; longline; eastern Pacific Ocean

鲨类是大洋性软骨鱼类的主要成员, 处于大洋生态系统的最高级, 捕食鱼类(包括大型的金

枪鱼类)、甲壳类、头足类等, 在食物网稳定和生态系统多样性的维持中扮演着重要的角色^[1]。

大洋海域面积广、水较深, 同时大部分大洋性海域的生产力和生物多样性都较近海或沿岸水域低^[2], 这使得大洋性鱼类的生态习性往往与近海种类有所不同。常见的个体较大的大洋性鲨类包括大青鲨(*Prionace glauca*)、镰状真鲨(*Carcharhinus falciformis*)、长鳍真鲨(*C. longimanus*)、尖吻鲭鲨(*Isurus oxyrinchus*)、长鳍鲭鲨(*I. paucus*)、大白鲨(*Carcharodon carcharias*)和3种长尾鲨(*Alopias* spp.)等。

大青鲨是几种常见大洋性鲨类中分布范围最广的种类之一^[3], 在太平洋、大西洋和印度洋的广阔公海海域, 大青鲨长期以来都是主捕金枪鱼类、旗鱼类的延绳钓的常见兼捕种类^[4-5], 在一些沿海地区(如智利)还存在以大青鲨为主捕种类的手钓渔业^[6]。同样是延绳钓的常见兼捕种类, 镰状真鲨和长鳍真鲨的资源已经遭受了较为严重的破坏, 区域性渔业管理组织也已对其实施了严格的管理。大青鲨的资源状态已经受到了广泛的关注^[7], 但相对而言, 其资源状态明显较好, 主要原因很可能是其生物学特征和生态习性更有利于其种群增长(如生长较快、成熟较早、繁殖力较强、生境空间广阔)^[8-9], 从而能“抵抗”较高强度的渔业捕捞压力。鱼类摄食是与生长、成熟等紧密相关的生活史过程, 摄食的变化间接地影响种群数量变动^[10-11]。作为顶级捕食者, 鲨类的摄食变化还直接影响着整个食物链以及生态系统结构^[12-13]。

虽然稳定同位素分析法、生物标志化合物分析法等研究手段正逐渐在鱼类营养生态研究中发挥越来越重要的作用^[14], 但基于胃含物的食性分析仍然是认识鱼类摄食生态的基础工作。在大西洋, 对大青鲨胃含物的研究涉及东北大西洋英格兰沿海^[15]、西南大西洋赤道以南海域^[16]、爱尔兰沿海^[17]、西北大西洋加拿大沿海^[18]、巴西沿海^[19], 以及中国研究者对大西洋公海大青鲨食性的报道^[3]。而在太平洋, 虽然国际上对大青鲨食性的研究最早是在阿拉斯加海域^[20], 但之后的几十年里, 未见有对大青鲨胃含物的研究报道; 直到近期, KUBODERA等^[21]才开展了西北太平洋大青鲨的胃含物研究, GALVAN等^[22]专门分析了墨西哥和厄瓜多尔沿海大青鲨对头足类的摄食情况, PRETI等^[23]比较了加利福尼亚沿岸包括大青鲨在内的3种鲨类的食性。中国也开始了对太平洋大洋性鲨鱼的营养生态研究, 如基于稳定同位素的营养

级估算^[24-25], 但就东太平洋公海海域的大青鲨胃含物的基础性研究还未开展。文章以中国远洋金枪鱼延绳钓渔业中兼捕的大青鲨为研究对象, 首次通过胃含物对热带东太平洋公海海域的大青鲨饵料组成进行分析, 为进一步研究大青鲨的种群动态和相关种类的营养生态提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品来源与观测

大青鲨样品由中国金枪鱼科学观察员于2011年10月~2012年1月、2012年9月~2013年3月、2013年8月~2013年12月在执行海上观测期间收集。共随机采集兼捕的大青鲨148尾(雌性66尾、雄性81尾, 未鉴定性别1尾), 采集的站点位置见图1(25°S~15°N, 175°E~105°W)。

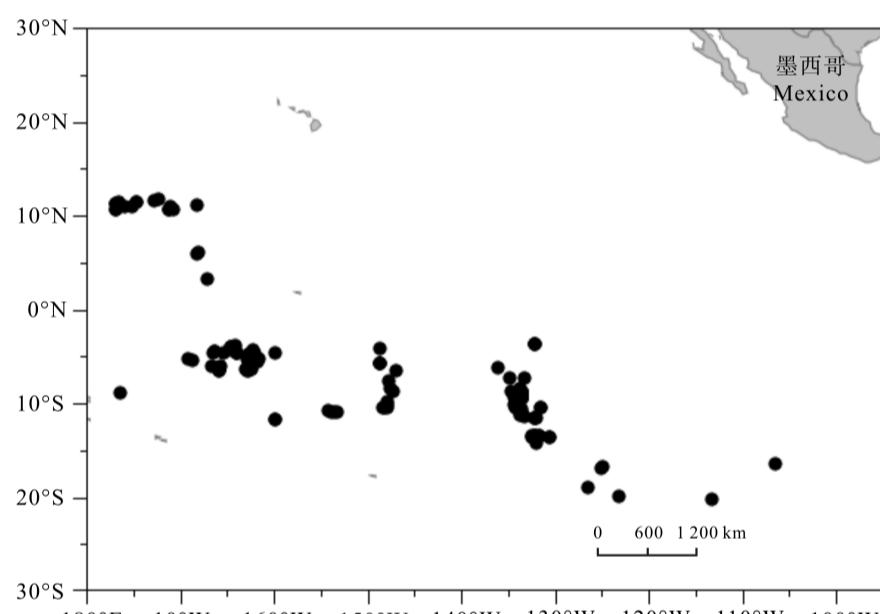


图1 东太平洋公海海域大青鲨采样站点

Fig. 1 Sampling stations for blue shark in the tropical eastern Pacific Ocean

观察员在甲板上, 对捕获的大青鲨直接测定叉长, 解剖观察摄食强度, 对胃含物清洗后根据形态学特征进行种类鉴定, 并计数。现场未能鉴定的种类带回实验室作进一步鉴定, 尽可能鉴定到种。摄食强度分为0~4五个等级^[26]。根据PRATT^[27]和BRANSTETTE^[28]提出的判断依据, 对雌性的成熟状态分为4期: 幼鲨、成熟中、排卵中、已怀孕; 雄性的成熟状态分为2期: 未成熟、成熟。因采样区域的因素, 样品中的雄性仅有2尾未成熟, 雌性均为幼鲨期以上的个体。对样本组成进行常规的统计分析, 包括采用t检验比较雌、雄样品的叉长均值, 采用²检验判断性别比例是否符合1:1假设。

1.2 胃含物数据分析

1.2.1 胃含物组成 对胃含物组成的基本统计, 采用饵料的物种数目及其百分比、物种出现频率来表示。优势饵料种类的确定采用相对多度 (*RD*) 指标, 优势种的 *RD* 为 10% 以上, *RD* 为 1% 以下为稀有种^[29]。*RA* 为相对饵料丰度 (relative abundance of prey)。饵料种类组成采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (*H*) 和 Simpson 多样性指数 (*C*) 表示, 前者越高、后者越低, 表示饵料种类多样性越高。有关的计算公式如下:

$$RD = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

$$RA = \frac{n_i}{N_i} \quad (2)$$

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$C = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

式中 n_i 为样品中第 i 种饵料的总个体数, N 为样品中包含的饵料总个体数, N_i 为有第 i 种饵料出现的样品中包含的饵料个体总数, S 为饵料种类数, P_i 为样品中第 i 种饵料的数量比率。

根据各种饵料的相对比例和出现频率, 采用 AMUNDSEN 等^[30] 提出的图示法分析大青鲨的食性, 即对于广食性鱼种, 饵料分布在左上角说明其种群内不同个体食物组成差异大, 食物重叠率低; 饵料分布在右下角则说明种群内不同个体食物组成差异小, 食物重叠率高^[11, 30]。

1.2.2 摄食强度与个体长度和成熟度的关系

运用两因子联列表分析摄食强度与叉长和成熟度的关系, 并计算随叉长和成熟度变化时, 饵料多样性指数和优势种饵料百分比的变化情况。为此, 将所

有样品按叉长分为 <180 cm、180 ~200 cm、201 ~220 cm、>220 cm 等 4 组。但在观测多样性指数和优势饵料物种随叉长的变化时, 为使各组样品数量相对平均, 以 6 cm 为间隔将样品划分为 10 个叉长组: <166 cm、167 ~173 cm、174 ~180 cm、181 ~187 cm、188 ~194 cm、195 ~201 cm、202 ~208 cm、209 ~215 cm、216 ~222 cm、>223 cm。

此外, 比较了 2012 年 9 月 ~12 月和 2013 年 9 月 ~12 月采集的胃含物样品在摄食强度和饵料组成上是否存在(年)差异。根据采样时间将样品分为 1 月 ~3 月、8 月 ~10 月、11 月 ~12 月共 3 组, 运用两因子联列表检验各组间摄食强度和饵料组成是否存在(季节间)差异; 并以胃含物中饵料个体所占比率为标准(去除不可辨认种)进行平方根转化, 得到 Bray-curtis 相似性矩阵并进行聚类分析。

2 结果

2.1 样品组成和性别比

根据雌性样品 66 尾、雄性样品 81 尾计算, 性比符合 1:1 的假设 (χ^2 检验, $P > 0.05$)。雄性大青鲨叉长范围 118 ~254 cm, 优势叉长组为 200 ~210 cm; 雌性大青鲨叉长范围为 155 ~216 cm, 优势叉长组为 190 ~200 cm(图 2)。雄性的平均叉长显著大于雌性(t 检验, $P < 0.01$)。

2.2 摄食强度组成

摄食强度以 1 级为主(占 68%), 其次为 2 级(图 3-a)。从性别差异看来, 雌性与雄性大青鲨的摄食强度组成无显著差异(χ^2 检验, $df=4$, $P > 0.1$); 从叉长看, 仅 201 ~220 cm 与 220 cm 叉长组的摄食强度组成存在差异(χ^2 检验, $df=4$, $P < 0.1$), 其余各

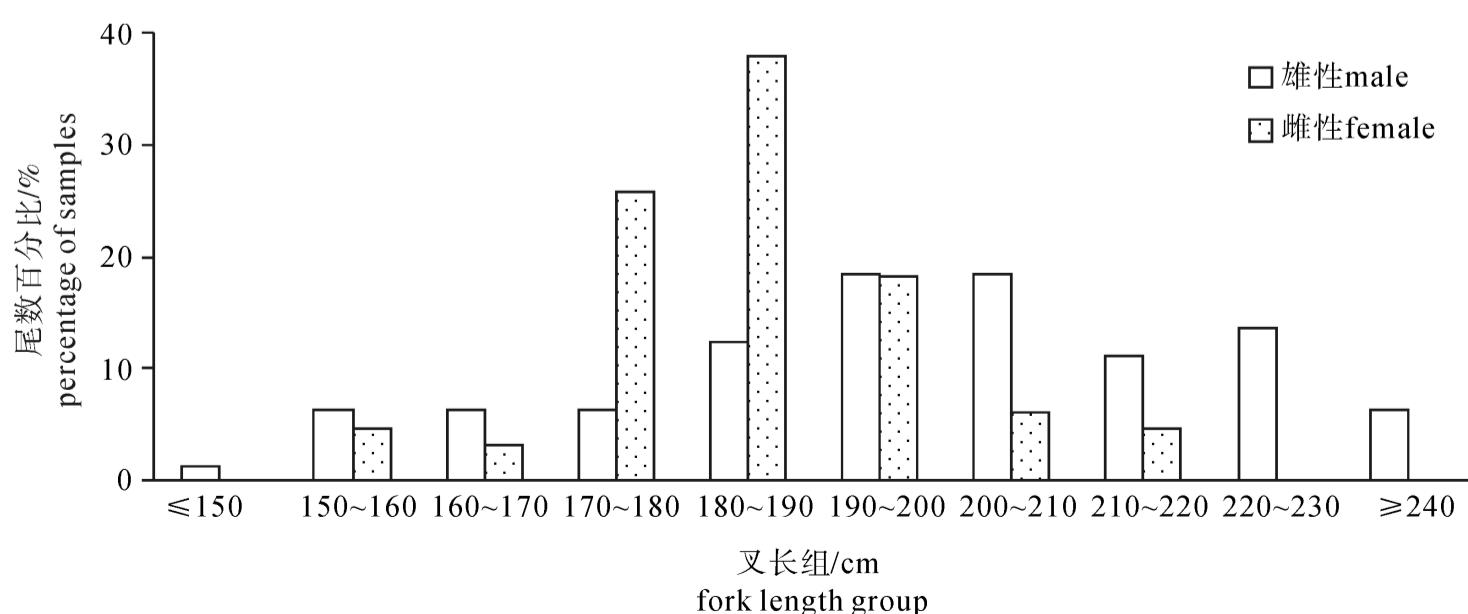


图 2 大青鲨样品的叉长组成

Fig 2 Fork length composition of sampled blue sharks

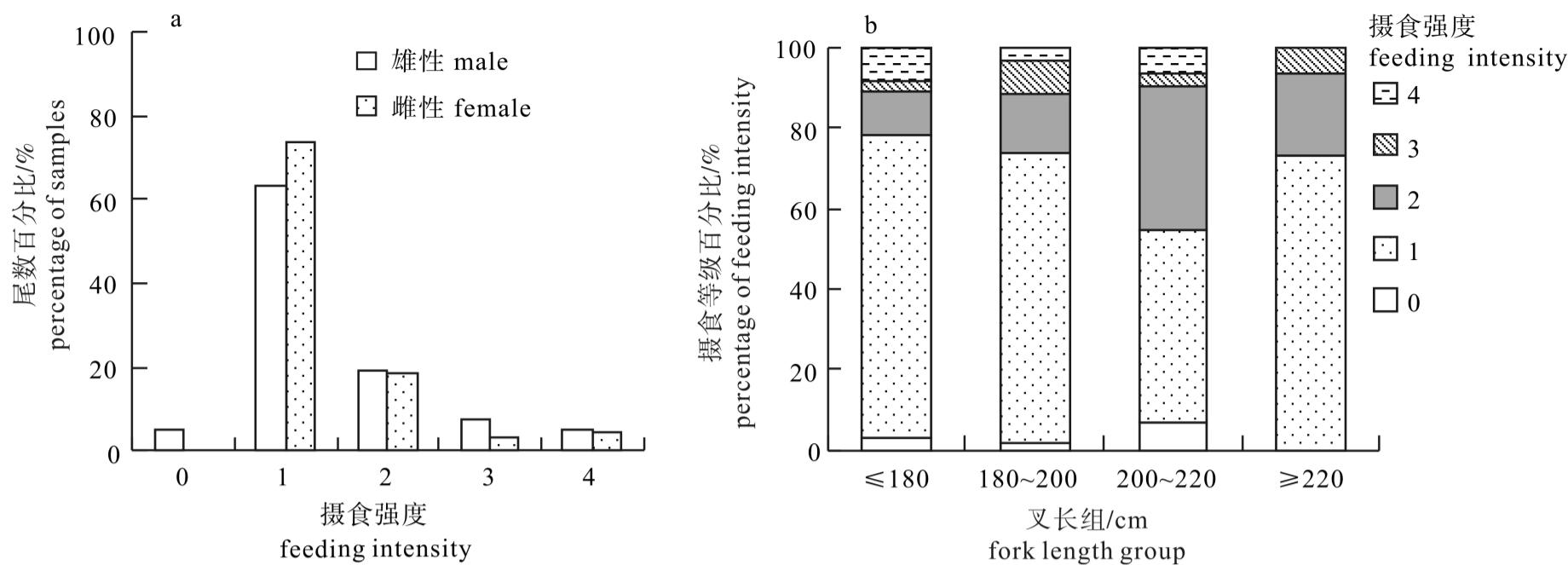


图3 大青鲨不同性别(a)、叉长组(b)的摄食强度组成

Fig 3 Feeding intensity composition by sex (a) and fork length (b) for blue shark

叉长组之间均无显著差异(χ^2 检验, $df=4$, $P>0.1$) (图3-b)。不同成熟期的雌性大青鲨间摄食强度均无显著差异(χ^2 检验, $df=4$, $P>0.1$)。

2.3 饵料组成

2.3.1 饵料种类 在大青鲨胃含物中共发现 16 个饵料种类(部分未鉴定到种)。无论是相对多度还是出现频率, 硬骨鱼类均为最高, 其次是头足类, 而头足类中基本为鱿(表 1)。在性别上, 雌性大青鲨的优势饵料为鱿、鲐和沙丁鱼, 而雄性大青

鲨的优势饵料仅为鱿和鲐(表 2)。雌、雄大青鲨的饵料组成结构无显著性差异(χ^2 检验, $df=15$, $P>0.05$), 主要原因是优势饵料组成差别不大。大青鲨食物组成较广, 根据 AMUNDSEN 图示法, 其饵料分布在 AMUNDSEN 图的左上角(图 4), 即大青鲨饵料组成反映了较高的表型间成分(即高 BPC 类型; 与之相反的称为高表型内成分, 即高 WPC 类型)。因此, 大青鲨的摄食饵料组成体现了较大的个体间差异。

表1 东太平洋公海大青鲨的胃含物饵料种类

Tab. 1 Stomach content of blue shark in the tropical eastern Pacific Ocean

饵料种类 prey species (group)	相对多度/% percentage	出现频率/% frequency
鱿 Squid	43.52	43.92
章鱼 Octopoda	0.93	1.35
头足类 Cephalopoda	44.44	45.27
鲐 <i>Pneumatophorus japonicus</i>	27.78	36.49
沙丁鱼 Sardine	7.41	8.78
帆蜥鱼 <i>Alepisaurus ferox</i>	3.24	4.73
凹尾长鳍乌鲂 <i>Taractichthys steindachneri</i>	2.78	4.05
异鳞蛇鲭 <i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	1.85	2.70
剑鱼 <i>Xiphias gladius</i>	1.39	2.03
长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	1.39	2.03
红棱鲹 <i>Taractes rubescens</i>	0.93	1.35
长体翻车鲀 <i>Ranzania laevis</i>	0.93	1.35
棘鳞蛇鲭 <i>Ruvettus pretiosus</i>	0.46	0.68
大鳞鲹 <i>Sphyraena barracuda</i>	0.46	0.68
鲯鳅 <i>Coryphaena hippurus</i>	0.46	0.68
大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	0.46	0.68
未知金枪鱼 unknown tuna	2.31	2.70
未知鱼类 unknown fish	1.85	2.70
硬骨鱼 Osteichthyes	53.70	66.22
海鸟 seabird	1.85	2.70

表 2 东太平洋公海大青鲨的胃含物饵料组成的性别间比较

Tab. 2 Stomach content by sex for blue shark in the tropical eastern Pacific Ocean

饵料种类 prey species (group)	相对多度/% percentage	
	雌性 female	雄性 male
鱿 Squid	47.37	40.83
鲐 <i>Pneumatophorus japonicus</i>	25.26	30.00
沙丁鱼 Sardine	10.53	5.00
帆蜥鱼 <i>Alepisaurus ferox</i>	4.21	2.50
凹尾长鳍乌鲂 <i>Taractichthys steindachneri</i>	4.21	1.67
未知金枪鱼 unknown tuna	-	4.17
异鳞蛇鲭 <i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	1.05	2.50
未知鱼类 unknown fish	2.11	1.67
海鸟 seabird	1.05	2.50
长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	-	1.67
剑鱼 <i>Xiphias gladius</i>	2.11	0.83
长体翻车鲀 <i>Ranzania laevis</i>	-	1.67
章鱼 Octopoda	-	1.67
红棱鲂 <i>Taractes rubescens</i>	-	1.67
棘鳞蛇鲭 <i>Ruvettus pretiosus</i>	1.05	-
鲯鳅 <i>Coryphaena hippurus</i>	-	0.83
大鳞魣 <i>Sphyraena barracuda</i>	1.05	-
大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	-	0.83

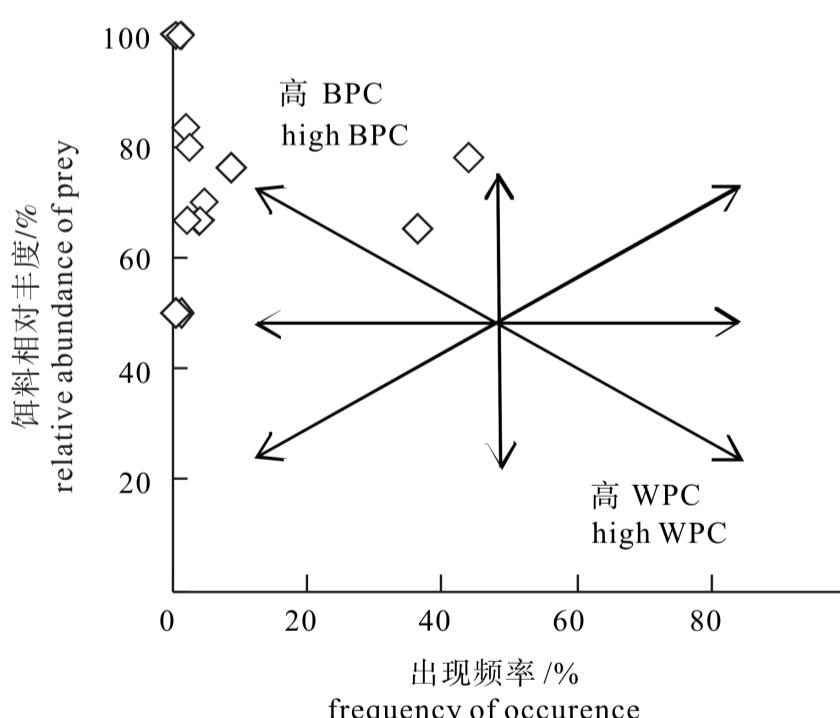


图 4 大青鲨饵料组成的 AMUNDSEN 图示

Fig. 4 AMUNDSEN plot of blue shark diet composition

2.3.2 摄食随个体长度变化 随着大青鲨叉长的增大, 对鱿(图 5 - a) 和鲐(图 5 - b) 2 个优势种类的摄食频率均无显著变化; 饵料组成多样性指数 H 值随叉长增加略有下降(图 6 - a), C 值呈相反变化。全部样品的 $H=1.78$, $C=0.28$ 。分性别看,

雌性的饵料种类多样性($H=1.56$, $C=0.3$)略低于雄性($H=1.81$, $C=0.26$), 从表 2 中也可以看出雄性的饵料种类略多。分成熟期看, 排卵中的雌性大青鲨摄食多样性指数 H 最低, 相对集中性指数 C 最高, 成熟中的大青鲨次之, 已怀孕的大青鲨摄食多样性指数 H 最高, 集中度指数 C 最低(图 6 - b)。雄性因仅有 2 尾未成熟个体, 故不作成熟期的比较。

2.3.3 摄食随时间变化 从年间看, 对 2012 年和 2013 年相同月份(9 月 ~12 月)的两组胃含物进行比较(2012 年组包含 50 尾样品, 2013 年组包含 68 尾样品), 两组样品的摄食强度组成有显著差异(χ^2 检验, $df=4$, $P < 0.05$), 主要表现为摄食强度为 1 级的比例不同(图 7)。此外, 2012 年组的胃含物 $H=1.29$, $C=0.40$; 2013 年组的胃含物 $H=1.81$, $C=0.25$ 。从季节间看, 两因素联列表检验表明, 1 月 ~3 月、8 月 ~10 月、11 月 ~12 月 3 组样品的摄食强度组成无显著差异($P > 0.05$); 但胃含物饵料组成的聚类分析表明, 8 月 ~10 月和 11 月 ~12 月 2 组的饵料组成 Bray-curtis 相似性系数较高(图 8)。

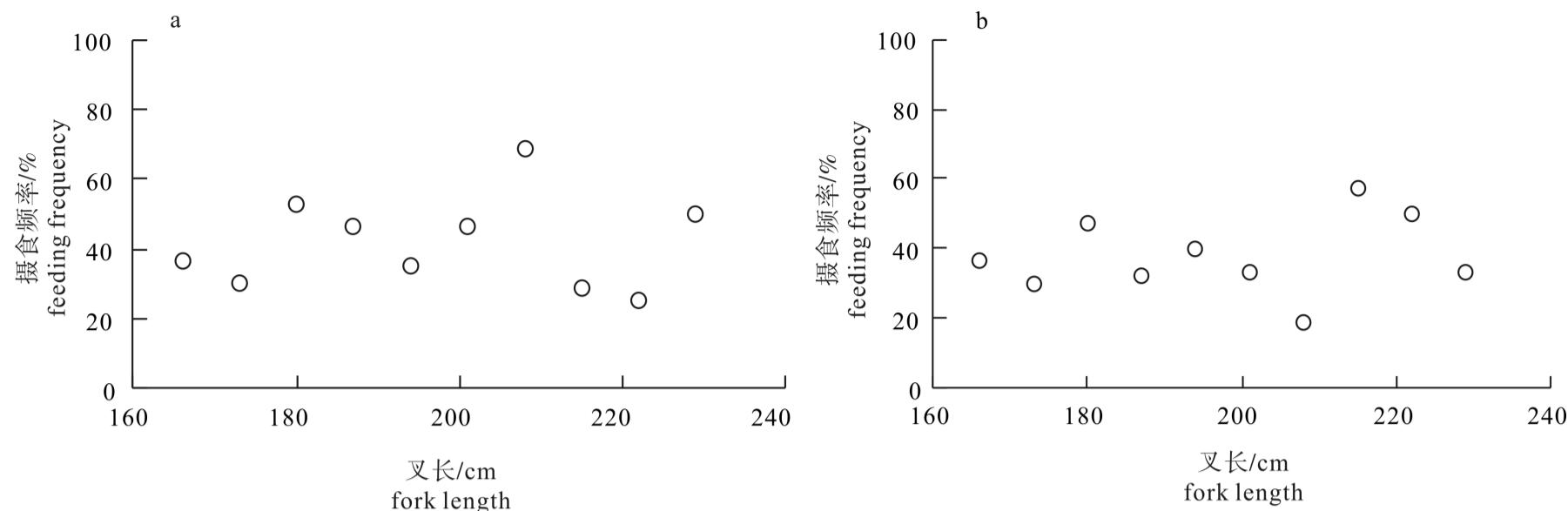


图5 大青鲨对鱿(a)、鲐(b)的摄食频率与叉长的关系

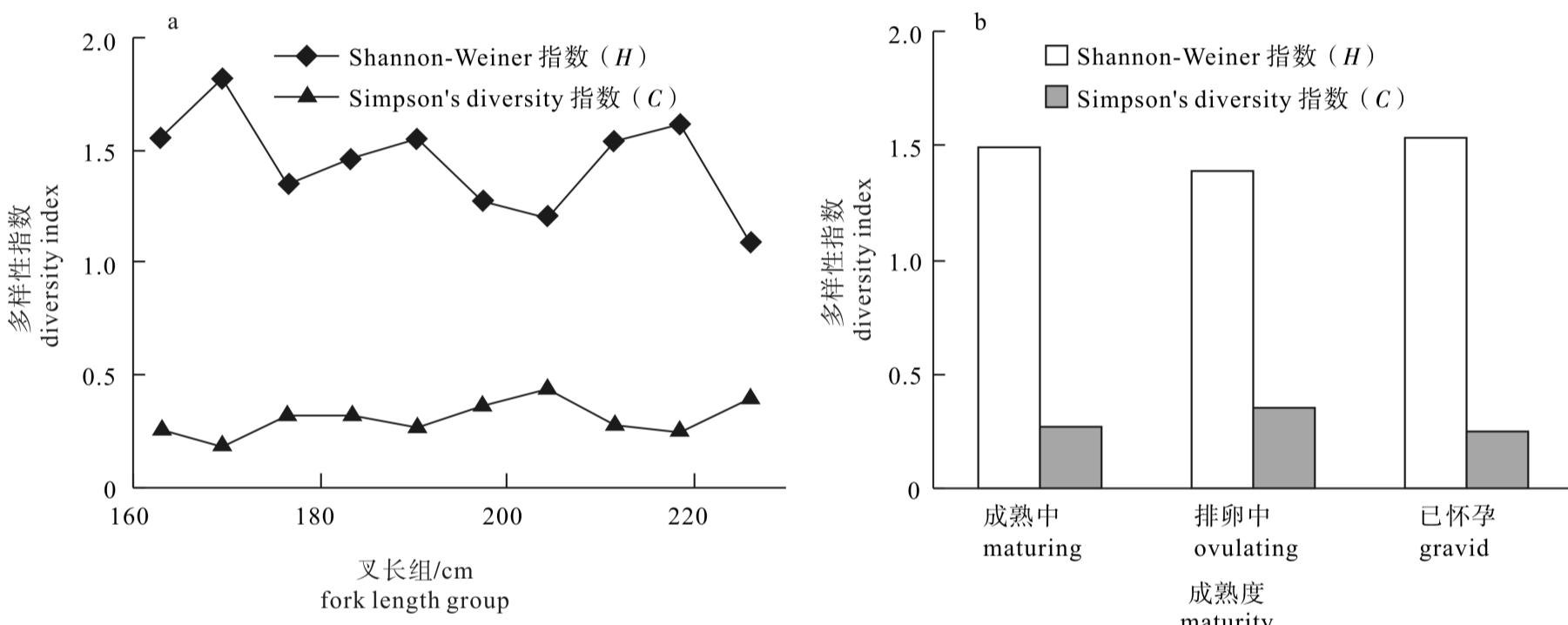
Fig 5 Trend of blue shark size with feeding frequency to squid (a) and *P. japonicus* (b)

图6 大青鲨饵料组成 Shannon-Weiner 指数和 Simpson 指数随叉长组(a)和成熟度(b)的变化

Fig 6 Shannon-Weiner index and Simpson's diversity index for blue shark prey composition by fork length class (a) and female maturity stage (b)

3 讨论

3.1 大青鲨资源现状

分叉长组的比较表明, 大青鲨大部分叉长组之间的摄食强度组成无显著差异, 表明其摄食强度组成基本不随个体大小变化。雌性大青鲨不同成熟期样品的摄食强度也无显著差异, 不过, 因该样品中无幼鱼, 无法比较成鱼和幼鱼之间的摄食差异。由于雄性大青鲨仅2尾幼鱼, 未将其与成熟个体作比较。这也是基于延绳钓渔业对大青鲨采样的局限性, 大洋延绳钓渔业捕获的大青鲨个体通常较大, 成熟期也较高^[9]。从对资源的影响角度看, 这也是有利的。同样是延绳钓的兼捕鲨类, 镰状真鲨和长鳍真鲨的资源已经严重下降, 可能与其幼鱼的渔

获率高有关。

3.2 胃含物组成特征

该研究中的大青鲨摄食强度以1级为主, 与大西洋公海的大青鲨摄食强度组成基本一致^[3], 但2级的比例(20%)较大西洋的高, 后者为10%。关于摄食强度低的原因可能与延绳钓的作业方式有关: 1) 鲨类处于饥饿状态下更易被捕获^[31]; 2) 延绳钓单次作业时间跨度大(从上钩到被捕上甲板的时间间隔可达20 h以上), 大青鲨体内高浓度的胃酸使得食物快速消化^[32]; 3) 少数大青鲨在被拖曳到海面时, 由于压力差而产生“吐胃”现象。这也是该样品获取途径存在的弱点。

作为顶级肉食动物, 大青鲨的饵料组成一定程度上反映了栖息海域的高营养级生物构成和资源状

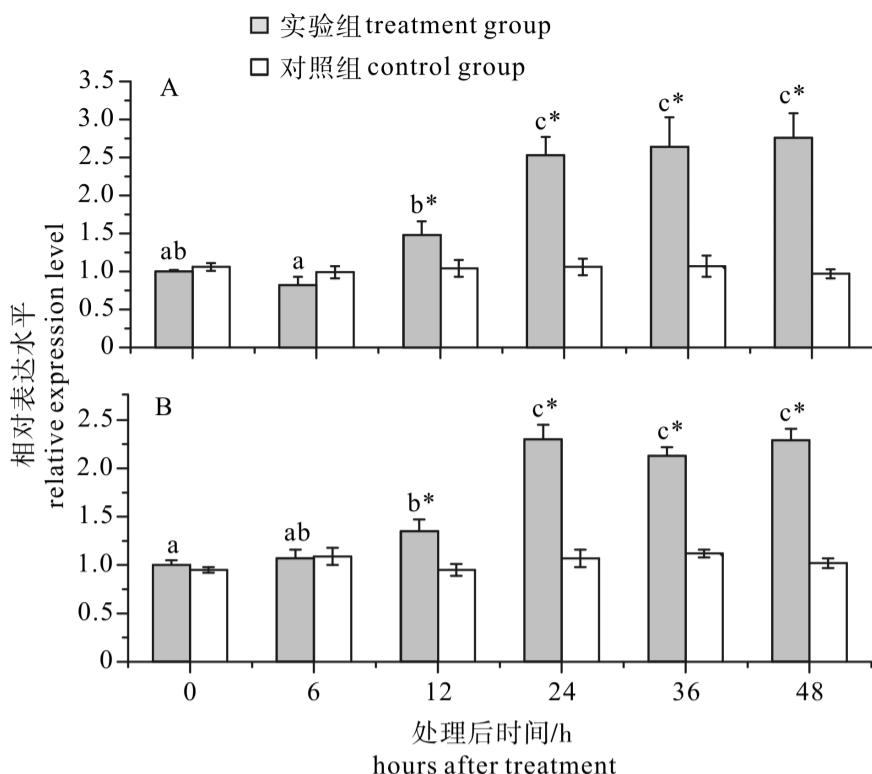


图 7 大青鲨不同捕获年份(2012 和 2013)的摄食强度组成

Fig 7 Feeding intensity of blue shark in different years (2012 and 2013)

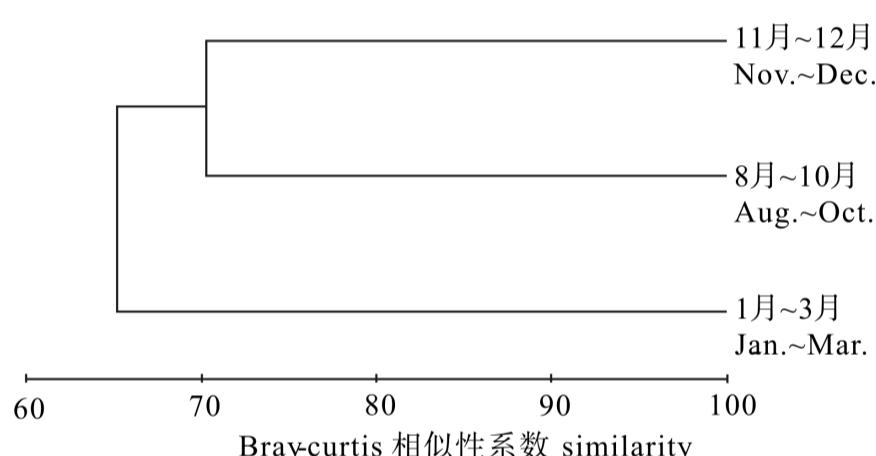


图 8 大青鲨各季节食物组成的聚类分析

Fig 8 Cluster analysis dendrogram of diet composition of blue shark by season

况^[15]。该研究中, 大青鲨最主要的捕食对象是大洋性硬骨鱼类(数量百分比 53.7%, 出现频率 66.2%), 其次是以鱿为主的头足类(数量百分比 44.4%, 出现频率 45.3%), 硬骨鱼类和鱿出现频率与大西洋公海的大青鲨胃含物十分接近(两者分别为 64.4% 和 43.2%), 其他饵料种类组成也与大西洋公海的大青鲨胃含物有很多相似之处^[3]。但大洋区大青鲨的饵料组成与近海或沿岸的大青鲨可能会明显不同。例如, 西北大西洋加拿大沿海的大青鲨胃含物以该海域的硬骨鱼类和底栖生物为主, 头足类的出现频率仅为 4.2%^[18]。

无论是大西洋公海的大青鲨^[3], 还是太平洋公海的大青鲨, 头足类均是胃含物中的优势种类, 表明头足类对大洋区大青鲨的营养生态具有重要的作用。但大西洋公海大青鲨胃含物中的乌贼类, 在

该研究中未出现。头足类也是分布在某些近海的大青鲨的主要饵料种类, 例如, 在赤道东太平洋厄瓜多尔海域和加利福尼亚海域的大青鲨^[22], 对头足类的摄食数量和质量可达总胃含物的 79% 和 98%, 摄食的头足类来自上层、中层和深层水域。不仅是大青鲨, 头足类也是镰状真鲨、双髻鲨(*Sphyrna spp.*)、长尾鲨等种类的主要饵料。GALVAN 等^[22]通过对镰状真鲨、大青鲨等 6 种鲨的胃含物分析, 发现了 21 种头足类生物。

3.3 不同地域、深度下胃含物变化

鲨类作为顶级捕食者, 在一定程度上可以作为“生物取样器”。传统的“渔具取样器”(如底拖网、延绳钓等渔具)的主要缺点是采样时间、区域和水深范围有限。标志放流研究表明^[33], 大型鲨类的活动水层范围很大, 白天可以下潜到几百米水深, 夜间可以到达温跃层深度。例如, 大青鲨可以下潜到水深 600 m 进行捕食^[1], 其活动范围可达 980 m 水深^[34]。因此, 通过鲨的胃含物分析, 不仅可以开展鲨类本身的食性和营养研究, 也为扩展海洋生物群落的研究范围提供了重要的取样途径。当然, 这方面的研究需要依靠多种鲨类, 因为不同鲨类的捕食活动规律不同, 对饵料的偏好也有所不同。GALVAN-MAGA A 等^[22]认为, 鲨类对大洋区的头足类来说是十分有效的取样工具。反之, 掌握饵料鱼种群的分布特点也可为了解鲨类的活动范围提供辅助信息。

参考文献:

- [1] AMHIM D, PIKITCH E K, BABCOCK E A. Sharks of the Open Ocean [M]. Oxford: Blackwell, 2008: 3-10.
- [2] WORM B, LOTZE H K, MYERS R A. Predator diversity hotspots in the blue ocean [J]. PNAS, 2003, 100(17): 9884-9888.
- [3] 耿喆, 朱江峰, 陈彦, 等. 中部大西洋大青鲨胃含物组成及其多样性研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(1): 108-114.
- [4] GALLAGHER A J, ORBESEN E S, HAMMERSCHLAG N, et al. Vulnerability of oceanic sharks as pelagic longline bycatch [J]. Global Eco Conser, 2014, 1(1): 50-59.
- [5] PORSMOGUER S B, BANARU D, BOUDOURESQUE C F, et al. Hooks equipped with magnets can increase catches of blue shark (*Prionace glauca*) by longline fishery [J]. Fish Res, 2015, 172(4): 345-351.
- [6] BUSTAMANTE C, BENNETT M B. Insights into the reproductive biology and fisheries of two commercially exploited species, shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue shark (*Prionace glauca*), in the south-east Pacific Ocean [J]. Fish Res, 2013, 143(1): 174-183.

- [7] MEJUTO J, GARCIA-CORTES B. Reproductive and distribution parameters of blue shark (*Prionace glauca*) on the Atlantic Indian and Pacific Ocean [J]. ICCAT Coll Vol Sci Pap, 2005, 58(3): 951-973.
- [8] MONTEALEGRE Q S, CARDOSO A T C, SILVA R Z, et al. Sexual development, size at maturity, size at maternity and fecundity of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) in the Southwest [J]. Fish Res, 2014, 160(1): 18-32.
- [9] ZHU J F, DAI X J, XU L X, et al. Reproductive biology of female blue shark *Prionace glauca* in the southeastern Pacific Ocean [J]. Environ Biol Fish, 2011, 91(1): 95-102.
- [10] 邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学 [M]. 北京: 农业出版社, 1991: 58-60.
- [11] 薛莹, 金显仕. 鱼类食性和食物网研究综述 [J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 76-87.
- [12] 窦硕增. 鱼类摄食生态研究的理论及方法 [J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(5): 556-561.
- [13] DAMBACHER J M, YOUNG J W, OLSON R J, et al. Analyzing pelagic food webs leading to top predators in the Pacific Ocean: a graph-theoretic approach [J]. Prog Oceanogr, 2010, 86 (s1 / s2): 152-165.
- [14] 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 [J]. 水产学报, 2011, 35(1): 145-153.
- [15] STEVENS J D. Stomach contents of the blue shark (*Prionace glauca*) off south-west England [J]. J Mar Biol Assoc UK, 1973, 53 (2): 357-361.
- [16] HAZIN F H V, LESSA R P, CHAMMAS M. First observations on stomach contents of the blue shark, *Prionace glauca*, from southwestern equatorial Atlantic [J]. Rev Bras Biol, 1994, 54 (2): 195-198.
- [17] MACNAUGHTON R, ROGAN E, HERNANDES G. The importance of cephalopods in the diet of blue sharks (*Prionace glauca*) south and west of Ireland [J]. ICES-Council Meeting, 1998, 7 (1): 1-12.
- [18] MCCORD M E, STEVEN E C. A quantitative assessment of the diet of the blue shark (*Prionace glauca*) off Nova Scotia Canada [J]. J Northw Atl Fish Sci, 2003, 32(2): 57-63.
- [19] JUNIOR T V, LESSA R P, GADIG O B F. Feeding habits of the blue shark (*Prionace glauca*) off the coast of Brazil [J]. Biota Neotrop, 2009, 9(3): 55-60.
- [20] LOBNASSEUR R J. Stomach contents of blue shark (*Prionace glauca*) taken in the gulf of Alaska [J]. J Fish Res Board Can, 1964, 21(4): 861-862.
- [21] KUBODERA T, WATANABE H, ICHII T. Feeding habits of the blue shark (*Prionace glauca*) and salmon shark (*Lamna ditropis*) in the transition region of the Western North Pacific [J]. Rev Fish Biol Fish, 2007, 17(2/3): 111-124.
- [22] GALVAN-MAGA A F, POLO-SILVA C, HERNANDEZ-AGUILAR S B, et al. Shark predation on cephalopods in the Mexican and Ecuadorian Pacific Ocean [J]. Deep-Sea Res II, 2013(95): 52-62.
- [23] PRETI A, SOYKAN C U, DEWAR H, et al. Comparative feeding ecology of shortfin mako, blue and thresher sharks in the California Current [J]. Environ Biol Fish, 2012, 95(1): 127-146.
- [24] LI Y K, GONG Y, CHEN X, et al. Tropic ecology of sharks in the mid-east Pacific Ocean inferred from stable isotopes [J]. J Ocean Univ China, 2014, 13(2): 278-282.
- [25] 朱江峰, 王洁, 戴小杰. 东太平洋大青鲨脊椎骨的稳定同位素比值研究 [J]. 南方水产科学, 2015, 11(4): 40-45.
- [26] 陈新军. 渔业资源与渔场学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 78-90.
- [27] PRATT H L. Reproduction in the blue shark (*Prionace glauca*) [J]. Fish Bull, 1979, 77(2): 445-470.
- [28] BRANSTETTER S. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico [J]. Environ Biol Fish, 1987, 19(3): 161-173.
- [29] 郑颖, 戴小杰, 朱江峰. 长江河口定置张网渔获物组成及其多样性分析 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9510-9513.
- [30] AMUNDSEN P A, GABLER H M, STALDVIK F J. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data-modification of the Costello (1990) method [J]. J Fish Biol, 1996, 48(4): 607-614.
- [31] JOYCE W N, CAMPANA S E, NATANSON L J. Analysis of stomach contents of the porbeagle shark (*Lamnanaus bonnairei*) in the northwest Atlantic [J]. ICES J Mar Sci, 2002, 59(6): 1263-1269.
- [32] LABORATORIO E P, CENTRO I, CIENTFCAY E, et al. Food and feeding habits of the blue shark *Prionace glauca* caught off Ensenada, Baja California, Mexico, with a review on its feeding [J]. J Mar Biol Assoc UK, 2010, 90(5): 977-994.
- [33] HAMMERSCHLAG N, GALLAGHER A J, LAZARRE D M. A review of shark satellite tagging studies [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2011, 398(1): 1-8.
- [34] STEVENS J D, BRADFORD R W, WEST G J. Satellite tagging of blue sharks (*Prionace glauca*) and other pelagic sharks off eastern Australia: depth behavior, temperature experience and movements [J]. Mar Biol, 2010, 157(3): 575-591.