

文章编号: 1000-0615(2018)07-1050-10

DOI: 10.11964/jfc.20170310738

## 秋季我国近海不同海域短蛸角质颚形态学研究

方舟<sup>1,2,3,4</sup>, 金岳<sup>2</sup>, 胡飞飞<sup>2</sup>, 马迪<sup>2</sup>, 陈新军<sup>2,3,4\*</sup>

(1. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 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, 上海海洋大学, 上海 201306;

4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 201306)

**摘要:** 根据2015年10—11月在黄海、东海和南海北部渔业生产期间采集的393尾短蛸样本, 通过标准化方法对不同海域短蛸的10项角质颚形态值进行了差异性分析, 同时建立判别函数以区分不同群体。结果显示, 东海和黄海样本短蛸个体大小较为类似, 南海个体明显较小; 经角质颚形态值标准化处理, 南海海域个体的角质颚形态比其他2个海域更小; 方差分析显示, 3个海域短蛸角质颚形态存在显著差异, 其中除了下翼长外, 东海与黄海个体的角质颚形态值均不存在差异, 而南海与其他2个海域的角质颚形态值均存在显著差异; 主成分分析结果发现, 第一主成分因子均为下颚形态值, 第二、第三主成分均为上颚形态值; 通过逐步判别分析, 选取了6项角质颚形态值建立判别函数, 判别正确率在80%以上; 回归树分析结果发现, 短蛸的下颚形态值(下头盖长和下翼长)能够更快速地辨别不同海域的短蛸。研究表明, 因摄食和栖息环境的不同, 不同海域短蛸角质颚形态存在较大差异, 因此可通过角质颚的形态来判别短蛸的种群。

**关键词:** 短蛸; 角质颚; 形态; 判别分析; 近海

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

短蛸(*Amphioctopus fangsiao*, 常称为*Octopus ocellatus*)是我国沿海重要的经济性头足类, 广泛分布于我国近岸各个海域<sup>[1]</sup>。2000年后, 随着我国对近海捕捞强度的增大, 近海蛸类资源也得到了较大力度的开发, 短蛸在蛸类的产量中占有相当大的比重<sup>[2]</sup>。由于其分布的广泛性和较高的资源量, 了解短蛸的种群结构组成并正确划分不同地理种群是可持续利用和管理该资源的基础。目前传统的种群划分方法为形态法, 主要是应用个体的体型特征(如胴长与腕长比、鳍长与鳍宽比等)来进行估算<sup>[3-4]</sup>。由于头足类多为软体, 其胴体和腕部在捕捞过程中极易受到人为影响, 使得整体形态发生拉伸或破损<sup>[5-6]</sup>, 同时, 在不同的环境条件下, 即使同一种群也会

在体型上存在较大的差异, 这会对种群划分结果产生较大影响<sup>[7-8]</sup>。随着分子生物学的发展, 该方法以其相对准确解读遗传信息的优点, 逐渐应用在头足类的种群遗传差异研究中。但是该方法的研究样本相对较少, 个体的随机性结果较大, 同时处理过程相对较复杂, 成本较高, 因此在使用时需相对谨慎<sup>[9-11]</sup>。头足类的硬组织以其稳定的形态和富含生态信息, 得到了许多研究者的关注<sup>[12-13]</sup>。角质颚作为头足类重要的摄食器官, 有着较为独特的形态, 常常被用于日龄鉴定、摄食生态评估、资源量估算等研究中<sup>[14-16]</sup>, 同时也是种类和种群的鉴定和划分的良好材料之一<sup>[17-19]</sup>。因此本实验根据我国拖网船2015年10—11月在我国黄海、东海和南海北部

收稿日期: 2017-03-06 修回日期: 2017-04-01

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(NSFC41476129); 中国博士后科学基金面上项目(2017M610277); 上海海洋大学博士启动基金(A2-0203-17-100314); 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室开放基金(A1-0203-00-2009-6)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

近海进行渔业生产期间采集的蛸类样本, 根据不同的体长和体色变化鉴别出短蛸, 提取出角质颚, 分析比较不同海域短蛸角质颚的形态差异, 同时以角质颚形态参数值建立判别函数, 旨在为短蛸资源的开发利用和后续的资源管理提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 采集时间和范围

样本主要在黄海海域(胶州湾)、东海海域(舟山东极岛)和南海北部大陆架海域(珠江口和汕尾)的拖网船中获取, 采集时间为2015年10—11月。最终共捕获个体393尾(黄海海域135尾, 东海海域117尾, 南海海域141尾)。在船上将捕获的样品冷冻, 然后运回实验室进行后续分析。

#### 1.2 基础生物学测量

样本运回实验室解冻后, 对短蛸进行生物学测定, 包括胴长(mantel length, ML)、体质量(body weight, BW)、性别、性腺成熟度等。测量胴长用皮尺进行, 测定精确至1 mm, 测定重量用电子天平进行, 精确至0.1 g。根据Lipinski等<sup>[20]</sup>将性成熟度划分 I、II、III、IV、V 期, 选择性成熟个体(III期以上)用于本实验。最后用镊子从口球中得到完整角质颚样本467对。对取出的角质颚进行编号并存放于盛有75%乙醇溶液的50 mL离心管中, 以便清除包裹角质颚表面的有机物质。

#### 1.3 角质颚外形测量

用清水再次清洗角质颚, 并用吸水纸吸去表明的水分, 然后利用数显游标卡尺进行测量。首先沿水平和垂直两个方向进行校准, 然后对角质颚的上头盖长(upper hood length, UHL)、上脊突长(upper crest length, UCL)、上喙长(upper rostrum length, URL)、上侧壁长(upper lateral wall length, ULWL)、上翼长(upper wing length, UWL)、下头盖长(lower hood length, LHL)、下脊突长(lower crest length, LCL)、下喙长(lower rostrum length, LRL)、下侧壁长(lower lateral wall length, LLWL)、下翼长(lower wing length, LWL)10项形态参数进行测量(图1), 测量结果精确至0.01 mm。

#### 1.4 数据处理方法

采用频度分析法<sup>[21]</sup>分析渔获物胴长及体质量组成, 组间距分别为10 mm和40 g。

为校正样品规格差异(个体大小)对形态参数值的影响, 对角质颚测量的原始数据进行标准化转换, 具体公式如下<sup>[22]</sup>:

$$Y_i^* = Y_i \left[ \frac{CL_0}{CL_i} \right]^b,$$

式中,  $Y$ 为角质颚形态参数,  $Y_i^*$ 第*i*个个体的标准化后角质颚参数,  $Y_i$ 是第*i*个个体的角质颚参数值,  $CL_i$ 是第*i*个个体的脊突长值,  $CL_0$ 为所有样本脊突长的算术平均数。 $b$ 值可以通过以下公式获得:

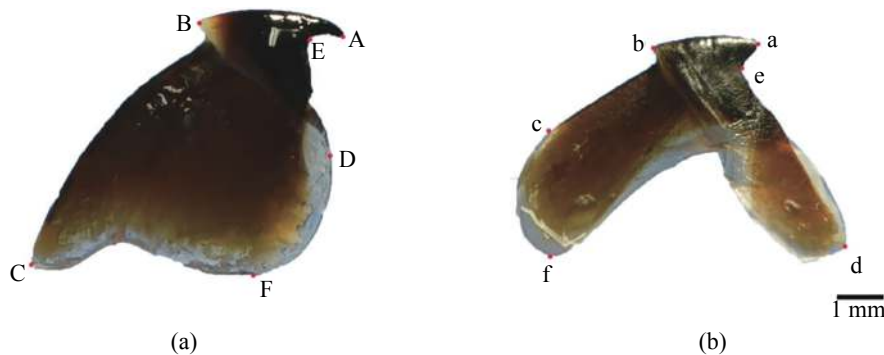


图1 短蛸角质颚外部形态测量示意图

(a)上颚, (b)下颚。AB. 上头盖长, AC. 上脊突长, AE. 上喙长, ED. 上翼长, AF. 上侧壁长 ab. 下头盖长, ac. 下脊突长, ae. 下喙长, ad. 下翼长, af. 下侧壁长

Fig. 1 Scheme of morphometric measurements of *Amphioctopus fangsiao* beak

(a) upper beak, (b) lower beak. AB. upper hood length; AC. uppercrest length. AE. upperrostrum length; AD. upperwing length; AF. upperlateral wall length; ab. lower hood length; ac. lower crest length; ae. lower rostrum length; ad. lower wing length; af. lower lateral wall length

$$\ln Y = \ln a + b \ln (CL) + \varepsilon \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

式中,  $a$ 和 $b$ 均为线性回归的估算参数,  $\sigma^2$ 是正态分布随机误差 $\varepsilon$ 的方差。最终上下角质颚的形态值主要由上脊突长和下脊突长来进行标准化。所得的标准化后的参数均在其右下角标注“s”表示(如UHLs, URLs, ULWLs, UWLs, LHLs, LRLs, LLWLs和LWLs), 以便进行后续各项分析。

采用主成分分析法对不同海域个体角质颚的形态参数进行分析。将已经标准化处理后的数据计算其样本矩阵的相关系数矩阵, 求出特征方程 $|R-\lambda I|=0$ 的 $p$ 个非负的特征值 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p \geq 0$ , 为起到筛选因子的作用, 选取前 $m(m < p)$ 个主分量 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ 为第1, 2,  $\dots, m$ 个主分量, 当这 $m$ 个主分量的方差和占全部总方差的60%以上, 基本上保留了原来绝大部分因子的信息, 即选取 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ 作为主要因子<sup>[23]</sup>。

对数据进行方差齐性检验(Levene's法), 不满足齐性方差的数据进行反正弦或者平方根处理<sup>[24]</sup>。运用方差分析(ANOVA)对不同海域短蛸个体的角质颚各项参数值进行差异性检验。对于存在极显著性差异( $P < 0.01$ )的, 采用Tukey-HSD法进一步进行组间多重比较<sup>[25]</sup>, 以便分析不同海域短蛸角质颚之间的具体差异。

利用逐步判别分析法结合上述主成分分析和方差分析的结果, 选取合适的角质颚形态参数对不同海域的短蛸个体建立判别函数, 同时计算判别正确率。利用回归树分析法对选择的角质颚形态参数进行定量分析<sup>[26]</sup>。

所有统计分析采用SPSS statistics 17.0软件进行。

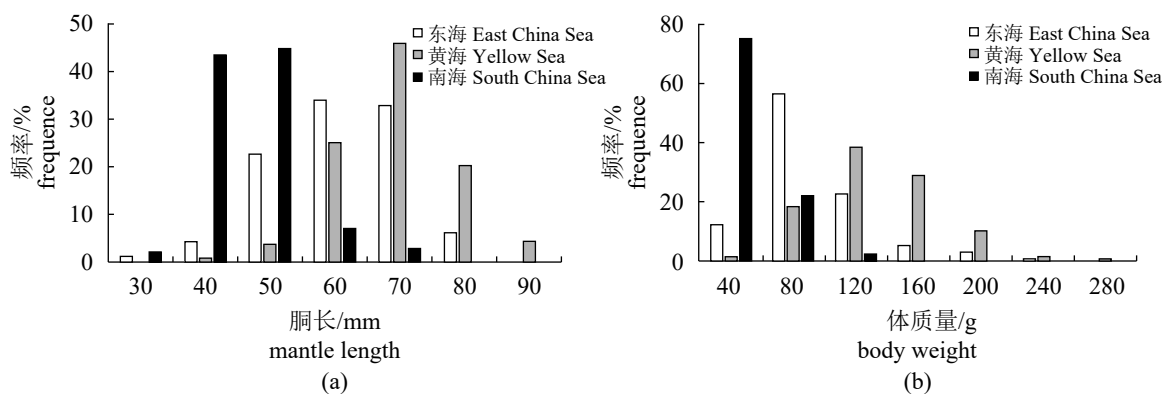


图2 不同海域短蛸胴长(a)与体质量(b)大小组成分布图

Fig. 2 Distribution of mantle length and body weight of *A. fangsiao* in different areas

## 2 结果

### 2.1 渔获物胴长及体质量组成

统计表明, 黄海海域个体胴长、体质量范围分别为36~90 mm、23~276 g, 对应的优势胴长和体质量为50~70 mm、80~160 g, 占总数的88.77%、82.65%; 东海海域胴长、体质量范围分别为30~80 mm、24~207 g, 对应的优势胴长和体质量为60~80 mm、80~160 g, 均占总数的91.11%、85.92%, 南海北部大陆坡海域个体胴长、体质量范围分别为29~67 mm、10~105 g, 对应的优势胴长、体质量为40~50 mm、40~80 g, 占总数的88.27%、75.17%。黄海海域个体较大, 东海次之, 南海个体最小(图2)。

### 2.2 不同海域的角质颚形态值差异

通过标准化后, 南海海域的短蛸角质颚形态参数明显相对较小, 下颚的各项形态值差异均较大(表1)。黄海海域与东海海域的角质颚参数则较为相似。

将3个不同海域个体的角质颚形态值进行方差分析(ANOVA), 结果表明, 3个海域个体各项角质颚形态参数变化均存在显著差异( $P < 0.01$ )。利用多重比较分析(Tukey HSD)进一步分析发现, 除了下翼长(LWL<sub>s</sub>)以外, 东海海域和黄海海域个体在其他各项参数值中不存在差异( $P > 0.01$ )。分布于东海和南海, 以及黄海与南海的个体, 在角质颚的各项参数值中均存在显著差异(表2)。

### 2.3 角质颚形态值主成分分析

将标准化后的角质颚参数进行主成份分析,

表 1 不同海域短蛸角质颚形态值

Tab. 1 Beak morphometrics of *A. fangsiao* in different areas

参数 parameter	东海 East China Sea		黄海 Yellow Sea		南海 South China Sea	
	极值 threshold	平均值±标准差 mean±std	极值 threshold	平均值±标准差 mean±SD	极值 threshold	平均值±标准差 mean±SD
UHL <sub>s</sub>	2.93~3.85	3.44±0.45	2.56~3.79	3.27±0.51	2.26~3.18	2.59±1.13
URL <sub>s</sub>	0.75~1.51	0.99±0.17	0.71~1.32	1.05±0.15	0.45~1.06	0.70±0.14
ULWL <sub>s</sub>	5.51~7.02	6.35±0.94	5.19~6.96	6.14±0.91	4.79~5.59	5.16±0.83
UWL <sub>s</sub>	1.59~2.94	2.29±0.39	1.79~3.24	2.36±0.43	1.34~2.54	1.86±0.36
LHL <sub>s</sub>	2.27~3.60	2.82±0.66	2.22~3.56	2.84±0.50	0.97~2.04	1.37±0.90
LRL <sub>s</sub>	0.87~1.57	1.18±0.24	0.89~1.69	1.24±0.24	0.44~0.95	0.60±0.18
LLWL <sub>s</sub>	6.72~8.44	7.61±1.83	6.90~9.46	8.05±1.45	3.61~5.15	4.22±1.11
LWL <sub>s</sub>	3.29~5.75	4.70±1.29	3.91~6.63	5.27±1.03	1.37~3.47	2.64±0.81

表 2 不同海域短蛸角质颚形态值方差分析

Tab. 2 Beak morphometrics variation of *A. fangsiao* in different areas

参数 parameter	整体比较 comparison		Tukey-HSD					
			东海—黄海 East-Yellow		东海—南海 East-South		黄海—南海 Yellow-South	
	F值	P值	SE	P值	SE	P值	SE	P值
UHL <sub>s</sub>	736.44	<0.01	0.17	0.195	-3.20	<0.01	-3.37	<0.01
URL <sub>s</sub>	374.80	<0.01	-0.06	0.008	0.30	<0.01	0.36	<0.01
ULWL <sub>s</sub>	835.23	<0.01	0.22	0.123	1.23	<0.01	1.00	<0.01
UWL <sub>s</sub>	150.26	<0.01	-0.07	0.360	0.44	<0.01	0.51	<0.01
LHL <sub>s</sub>	1877.16	<0.01	-0.008	0.996	-0.72	<0.01	-0.71	<0.01
LRL <sub>s</sub>	1022.95	<0.01	-0.05	0.131	0.58	<0.01	0.63	<0.01
LLWL <sub>s</sub>	4025.88	<0.01	-0.39	0.093	3.40	<0.01	3.79	<0.01
LWL <sub>s</sub>	1524.50	<0.01	-0.53	<0.01	2.06	<0.01	2.60	<0.01

结果认为, 前3个主成份的贡献率: 东海海域个体为61.85%, 黄海海域为65.53%, 南海海域为76.92%。从表3可知, 东海海域角质颚形态值的第一主成份与LWL<sub>s</sub>有着较大的正相关关系, 第二、三主成份分别与UHL<sub>s</sub>、URL<sub>s</sub>有较大的正相关, 载荷系数均在0.49~0.66之间。黄海海域角质颚形态值的第一主成份与LWL<sub>s</sub>有着较大的正相关关系, 第二、三主成份分别与URL<sub>s</sub>、ULWL<sub>s</sub>有较大的正相关, 载荷系数均在0.58~0.63之间。南海海域角质颚形态值的第一主成份与LRL<sub>s</sub>有着较大的正相关关系, 第二、三主成份分别与UHL<sub>s</sub>、UWL<sub>s</sub>有较大的正相关, 载荷系数均在0.46~0.69之间(表3)。

### 2.4 判别分析

考虑上述方差分析和主成分分析结果, 并以10项角质颚形态指标为自变量, 用逐步判别分析(Wilks' Lambda法)选取合适的因子, 同时建立判别函数。结果表明, LLWL<sub>s</sub>、UHL<sub>s</sub>、ULWL<sub>s</sub>、LHL<sub>s</sub>、LWL<sub>s</sub>和UWL<sub>s</sub>进入的判别函数分析, Wilks值范围为0.021~0.046, 总值为0.166, 判别得分如图3, 判别函数如下:

$$\text{黄海海域: } Y=83.933 \times UHL_s + 54.548 \times LHL_s + 7.836 \times UWL_s + 86.748 \times ULWL_s + 2.949 \times LWL_s + 48.725 \times LLWL_s - 649.605$$

$$\text{东海海域: } Y=79.521 \times UHL_s + 60.659 \times LHL_s + 9.699 \times UWL_s + 83.318 \times ULWL_s + 5.538 \times LWL_s + 49.869 \times LLWL_s -$$

表 3 2个柔鱼群体角质颚形态参数的主成分分析

Tab. 3 Principal components analysis for the morphometric parameters of *A. fangsiao* beak for different areas

参数 parameter	东海 East China Sea			黄海 Yellow Sea			南海 South China Sea		
	因子1 factor 1	因子2 factor 2	因子3 factor 3	因子1 factor 1	因子2 factor 2	因子3 factor 3	因子1 factor 1	因子2 factor 2	因子3 factor 3
UHL <sub>s</sub>	0.159	0.492*	0.549	0.030	0.470	-0.537	0.26	0.494*	-0.409
URL <sub>s</sub>	-0.1585	-0.079	0.655*	-0.015	0.584*	-0.173	0.226	-0.294	-0.464
ULWL <sub>s</sub>	0.051	0.631	-0.122	0.034	0.254	0.621*	0.331	0.471	-0.032
UWL <sub>s</sub>	0.0827	0.459	-0.448	0.037	0.470	0.471	0.014	0.216	0.689*
LHL <sub>s</sub>	0.5079	0.157	0.185	0.492	0.100	-0.244	0.391	0.389	0.032
LRL <sub>s</sub>	0.3965	0.016	0.095	0.411	0.227	0.093	0.468*	-0.351	-0.033
LLWL <sub>s</sub>	0.4929	-0.260	-0.070	0.488	-0.296	0.069	0.459	-0.329	0.143
LWL <sub>s</sub>	0.531*	-0.224	-0.071	0.589*	-0.050	0.038	0.435	-0.132	0.342
特征值 eigenvalue	2.25	1.52	1.18	2.53	1.42	1.29	3.34	1.51	1.29
贡献率%	28.12	18.97	14.76	31.66	17.79	16.08	41.77	18.93	16.21

注: \*为各主成分中负载绝对值最高的指标  
Notes: \* represents the highest absolute value in each principat

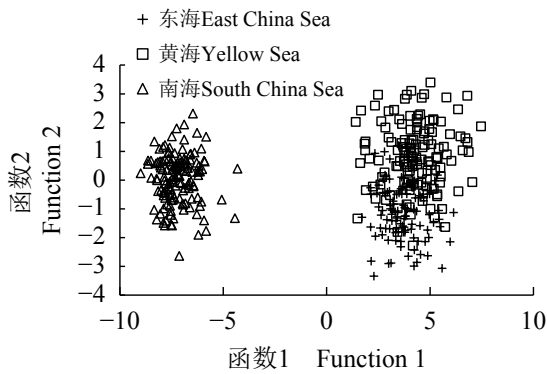


图 3 不同海域短蛸角质颚判别得分  
Fig. 3 Discriminant analysis score for *A. fangsiao* in different areas

645.858

南海海域:  $Y=62.302 \times UHL_s + 36.704 \times LHL_s + 7.288 \times UWL_s + 71.196 \times ULWL_s + 3.870 \times LWL_s + 25.248 \times LLWL_s - 343.128$

将不同海域短蛸样本相应的形态指标带入上述判别函数中, 则该样本归入所得Y值较大函数所对应的群体。其中, 东海群体原始总判别的正确率为84.60%, 交叉验证正确率为84.6%; 黄海群体原始总判别的正确率为80.7%, 交叉验证正确率为80.0%; 南海群体原始总判别的正确率为100.0%, 交叉验证正确率为100.0%(表4)。

回归树分析发现, 仅通过下颚的形态值即可区分不同海域的短蛸个体(图4)。下头盖长

表 4 不同海域短蛸角质颚判别函数的分类结果

Tab. 4 Classification results on *A. fangsiao* based on the beak morphometrics by discriminant analysis

	组别 group	预测组成员			合计 total
		东海 East China Sea	黄海 Yellow Sea	南海 South China Sea	
原始分析 original	东海 East China Sea	84.6	15.4	0.0	100.0
	黄海 Yellow Sea	19.3	80.7	0.0	100.0
	南海 South China Sea	0.0	0.0	100.0	100.0
交叉验证 cross-validation	东海 East China Sea	84.6	15.4	0.0	100.0
	黄海 Yellow Sea	20.0	80.0	0.0	100.0
	南海 South China Sea	0.0	0.0	100.0	100.0



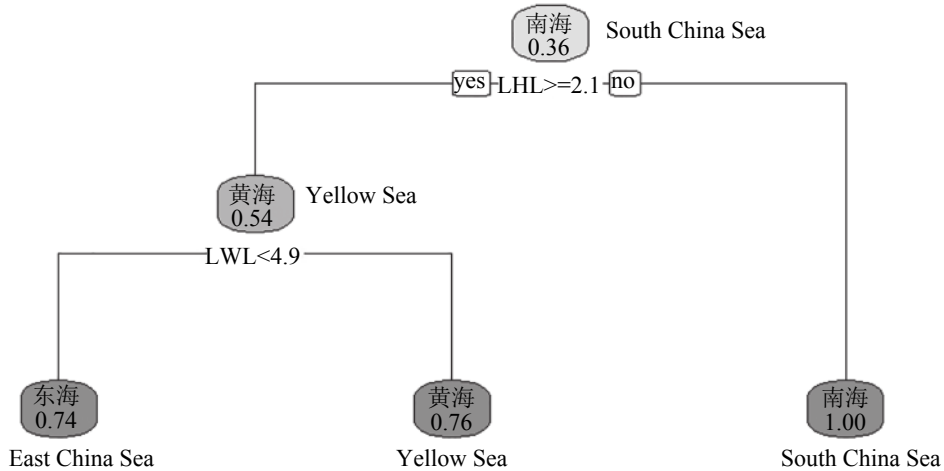


图 4 不同海域短蛸角质颚回归树分析

Fig. 4 Classification tree of beak morphometrics for *A. fangsiao* in different areas

(LHL<sub>s</sub>)可以区分南海和其他海域的个体, 分列正确率为100%; 而下翼长(LWL<sub>s</sub>)则能够有效地区分黄海和东海的个体, 分类正确率分别为76%和74%。

### 3 讨论

此次采集的短蛸样本中, 东海海域个体和黄海海域的短蛸个体较为相似, 而南海海域短蛸个体则较小。黄美珍<sup>[27]</sup>在对台湾海峡及邻近海域的短蛸生物学研究发现, 所采集的样品胴长范围为24~50 mm, 体质量范围为15~76 g, 这与在南海北部海域采集的样本大小较为接近, 也说明较近海域生活的短蛸个体差异较小。相比在同一海域内采集的个体而言<sup>[28]</sup>, 本研究中黄海海域短蛸个体则更大, 有可能是因为本次采集的时间集中于10—11月, 因此个体均趋向成熟。黄海海域的个体稍大于东海海域, 也可能是由于两个海域个体存在一定的分化, 也在外部形态上有所表现, 相关学者已经利用DNA分子标记、线粒体基因测序等方法证实了这一结果<sup>[10-11]</sup>。

头足类的生命周期较短, 是一种生态机会主义者(ecological opportunists)<sup>[29]</sup>, 需要在短时间内摄取大量的食物以供能量需求<sup>[29]</sup>。作为摄食的重要器官, 角质颚的形态会随着个体的生长而发生变化, 这种变化与摄食有着密切的关系<sup>[30]</sup>。同时, 不同海域的海洋环境也不尽相同, 这也会角质颚的形态造成影响。本研究将不同海域短蛸角质颚形态长度标准化后, 进行分析发

现, 东海和黄海个体的角质颚除了下翼长以外, 其他均不存在显著差异(表2)。造成不同海域角质颚差异的原因可能是由于海域间环境和食物组成所造成的差异。黄海沿岸海域主要受亚热带气候影响, 温暖湿润, 同时由于黄海暖流, 饵料资源丰富, 有利于个体的生长<sup>[31]</sup>, 东海沿岸海域地处长江口入海口地区, 含有大量丰富的营养盐, 对个体的生长也颇为有利<sup>[32]</sup>, 这为短蛸的生长提供了良好的条件, 也有利于角质颚适应环境和食物从而能够较快的生长。南海海域由于饵料相对缺乏, 同时种间竞争相对较为激烈, 因此短蛸个体可能无法在相对稳定的环境中生长, 也直接导致了角质颚生长较为缓慢<sup>[33]</sup>。

角质颚不同部位的变化也可以很好地反映出其摄食特征。从主成分分析来看, 3个海域短蛸的角质颚形态参数的第一主成分因子均在下颚中(LWL<sub>s</sub>和LRL<sub>s</sub>), 而第二和第三主成分因子均在上颚中, 且4项形态参数均有包含(表3)。因此可以认为, 短蛸角质颚生长主要下颚的翼部, 上颚的生长主要在头盖和翼部。相比与其他头足类的角质颚而言, 蛸类上颚的头盖较短, 且喙部较钝, 下颚的翼部更为宽大。短蛸常年栖息于较浅的海底底质, 主要摄食甲壳类和贝类, 下颚在摄食中起着更为主要的作用<sup>[34]</sup>。由于甲壳类和贝类往往有着坚硬的外壳, 因此需要有较为粗钝的喙部来磨碎其外壳, 而翼部的快速生长可以为短蛸在咬合时提供力量的支持, 可更好地撕碎猎物, 以便摄食和消化, 提

高捕食的效率。因此,角质颚形态结构也是短蛸适应栖息和摄食习性的表现。

头足类角质颚以其稳定的特征形态,常常用于种类和种群的判别中。通过本研究中逐步判别分析结果可知,利用角质颚的6个形态值可以建立不同海域短蛸的判别函数,且上下颚均有形态参数入选判别方程,最终的判别正确率也均在80%以上,说明短蛸的角质颚形态可以很好地进行不同地理群体的判别分析(表4)。角质颚的形态值与个体大小有着密切的关系,因此在判别分析前需要消除个体生长对角质颚的影响。以往的研究主要使用简单的除以胴长的方法来进行,该方法处理较为简单,但是主观臆断了角质颚与个体的生长关系是线性的,这会最终给结果造成一定的影响<sup>[35-37]</sup>。本研究基于消除异速生长的方法,以角质颚形态的标准值(脊突长)为基准,综合考虑角质颚形态参数间的系数,有效地消除了生长对角质颚形态的差异。同时回归树分析也说明,下颚在种群和种类的鉴别和划分中起着决定性的作用,这在之前许多研究中都有所证实,认为下颚是头足类种类的分类的重要材料<sup>[38]</sup>。下颚形态值的差异也是不同种群摄食习性差异的体现。

本研究着重分析了我国近海3个不同海域短蛸角质颚形态参数的差异,并且成功地建立了判别函数对不同海域的短蛸予以区分。不同海域短蛸的遗传性差异已经被证实,以往根据线粒体COI基因和16S rDNA技术对我国沿海短蛸的遗传特征进行了研究,发现在黄海、东海、南海北部海域捕获的个体均存在较为显著的差异,较弱的种群扩散力和较大的海域环境差异是造成不同海域个体遗传差异显著的原因<sup>[10-11]</sup>。环境因子对个体生长的影响,对角质颚形态造成的影响还涉及较少。因此后续的研究中,需要更关注角质颚形态和摄食的关系<sup>[39]</sup>,结合相关的海洋环境因子,综合分析不同海域角质颚差异形成的主要因素。

#### 参考文献:

- [1] Jereb P, Roper C F E, Norman M D, et al. Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. Volume 3. Octopods and Vampire Squids[M]. Rome: FAO, 2014: 72.
- [2] 董正之. 中国动物志, 无脊椎动物, 第四卷, 头足纲[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 206.
- [3] Dong Z Z. Fauna Sinica-Invertebrate (Cephalopoda)[M]. Beijing: Science Press, 1988: 206 (in Chinese).
- [3] 陈新军, 刘金立, 许强华. 头足类种群鉴定方法研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(2): 228-233.
- Chen X J, Liu J L, Xu Q H. Current status and prospects of identification methods on the Cephalopod population[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(2): 228-233(in Chinese).
- [4] Voss N A, Vecchione M, Sweeney M J. Systematics and biogeography of cephalopods[J]. Geophysics, 1998, 70(5): 37-41.
- [5] Cabanellas-Reboredo M, Alós J, Palmer M, et al. Simulating the indirect handline jigging effects on the European squid *Loligo vulgaris* in captivity[J]. Fisheries Research, 2011, 110(3): 435-440.
- [6] Kurosaka K, Yamashita H, Ogawa M, et al. Tentacle-breakage mechanism for the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* during the jigging capture process[J]. Fisheries Research, 2012, 121-122: 9-16.
- [7] Keyl F, Argüelles J, Mariátegui L, et al. A hypothesis on range expansion and spatio-temporal shifts in size-at-maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Eastern Pacific Ocean[J]. CalCOFI Report, 2008, 49: 119-128.
- [8] Keyl F, Argüelles J, Tafur R. Interannual variability in size structure, age, and growth of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) assessed by modal progression analysis[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(3): 507-518.
- [9] 张龙岗, 杨建敏, 刘相全. 短蛸AFLP分子标记分析体系的优化与建立[J]. 生物技术通报, 2010(5): 183-188.
- Zhang L G, Yang J M, Liu X Q. The establishment of AFLP analysis system for *Octopus ocellatus*[J]. Biotechnology Bulletin, 2010(5): 183-188(in Chinese).
- [10] 吕振明, 李焕, 吴常文, 等. 中国沿海六个地理群体短蛸的遗传变异研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(1): 130-138.
- Lü Z M, Li H, Wu C W, et al. Genetic variation of *Octopus ocellatus* populations in China's coastal waters based on the COI gene analysis[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(1): 130-138(in Chinese).
- [11] 吕振明, 李焕, 吴常文, 等. 基于16S rDNA序列的中国沿海短蛸种群遗传结构[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 29-37.
- Lü Z M, Li H, Wu C W, et al. Population genetic structure of *Octopus ocellatus* in coastal waters of China

- based on 16S rDNA sequence[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 29-37(in Chinese).
- [12] 胡贯宇,陈新军,方舟. 个体生长对秘鲁外海茎柔鱼角质颚形态变化的影响[J]. *水产学报*, 2016, 40(1): 36-44. Hu G Y, Chen X J, Fang Z. Effect of individual growth on beak morphometry of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zone[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(1): 36-44(in Chinese).
- [13] Neige P, Dommergues J L. Disparity of beaks and statoliths of some coleoids: A morphometric approach to depict shape differentiation[J]. *Gabhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 2002, 57(1): 393-399.
- [14] Fang Z, Li J H, Thompson K, *et al.* Age, growth, and population structure of the red flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean, determined from beak microstructure[J]. *Fishery Bulletin*, 2016, 114(1): 34-44.
- [15] Fang Z, Thompson K, Jin Y, *et al.* Preliminary analysis of beak stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) stock variation of neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the North Pacific Ocean[J]. *Fisheries Research*, 2016, 177: 153-163.
- [16] Jackson G D. The use of beaks as tools for biomass estimation in the deepwater squid *Moroteuthis ingens* (Cephalopoda: Onychoteuthidae) in New Zealand waters[J]. *Polar Biology*, 1995, 15(1): 9-14.
- [17] Smale M J, Clarke M R, Klages N T W, *et al.* Octopod beak identification - resolution at a regional level (Cephalopoda, Octopoda: Southern Africa)[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1993, 13(1): 269-293.
- [18] Ogden R S, Allcock A L, Wats P C, *et al.* The role of beak shape in octopodid taxonomy[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 29-36.
- [19] Xavier J, Cherel Y. Cephalopod Beak Guide for the Southern Ocean[M]. Cambridge: British Antarctic Survey, 2009: 126.
- [20] Lipiński M R, Underhill L G. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1995, 15(1): 207-223.
- [21] 方舟,陈新军,陆化杰,等. 北太平洋两个柔鱼群体角质颚形态及生长特征[J]. *生态学报*, 2014, 34(19): 5405-5415. Fang Z, Chen X J, Lu H J, *et al.* Morphology and growth of beaks in two cohorts for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(19): 5405-5415(in Chinese).
- [22] Lleonart J, Salat J, Torres G J. Removing allometric effects of body size in morphological analysis[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2000, 205(1): 85-93.
- [23] 唐启义,冯明光. DPS数据处理系统—实验设计、统计分析及模型优化[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 635-642. Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System-Experimental Design, Statistical Analysis and Modeling[M]. Beijing: Science Press, 2006: 635-642 (in Chinese).
- [24] 管于华. 统计学[M]. 北京: 高等教育出版, 2005: 178-182. Guan Y H. Statistics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 178-182 (in Chinese).
- [25] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 70-81. Du R Q. Biostatistics[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 70-81 (in Chinese).
- [26] Hansen M, Dubayah R, DeFries R. Classification trees: An alternative to traditional land cover classifiers[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(5): 1075-1081.
- [27] 黄美珍. 台湾海峡及邻近海域4种头足类的食性和营养级研究[J]. *台湾海峡*, 2004, 23(3): 331-340. Huang M Z. Study on feeding habits and nutrient level of four cephalopod species from Taiwan Strait and its adjacent areas[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 23(3): 331-340(in Chinese).
- [28] Wang W J, Dong G, Yang J M, *et al.* The development process and seasonal changes of the gonad in *Octopus ocellatus* Gray off the coast of Qingdao, Northeast China[J]. *Fisheries Science*, 2015, 81(2): 309-319.
- [29] Martínez P, Sanjuan A, Guerra A. Identification of *Illex coindetii*, *I. illecebrosus* and *I. argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) throughout the Atlantic Ocean; by body and beak characters[J]. *Marine Biology*, 2002, 141(1): 131-143.
- [30] Rodhouse P G, Nigmatullin C M. Role as consumers[M]//Clarke M R. The Role of Cephalopods in the World's Oceans. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1996, 351: 1003-1022.



- [31] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 2-3.  
Liu R Y. Ecology and Living Resource in Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992: 2-3 (in Chinese).
- [32] 沈新强, 晁敏, 全为民, 等. 长江河口生态系现状及修复研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 624-630.  
Shen X Q, Chao M, Quan W M, *et al.* The current situation and restoration research of the Yangtze River estuarine ecosystem[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 624-630(in Chinese).
- [33] 张伟, 孙健, 聂红涛, 等. 珠江口及毗邻海域营养盐变化特征及浮游植物变化研究[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 4034-4044.  
Zhang W, Sun J, Nie H T, *et al.* Seasonal and spatial variations of nutrient and the response of phytoplankton in PRE and adjacent sea areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4034-4044(in Chinese).
- [34] 方舟, 陈新军, 陆化杰, 等. 头足类角质颚研究进展 I —形态、结构与生长[J]. 海洋渔业, 2014, 36(1): 78-89.  
Fang Z, Chen X J, Lu H J, *et al.* Progress of beak in cephalopod I —morphogenesis, biochemistry and growth[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(1): 78-89(in Chinese).
- [35] Fang Z, Liu B L, Li J H, *et al.* Stock identification of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean on the basis of beak and statolith morphology[J]. *Scientia Marina*, 2014, 78(2): 239-248.
- [36] Liu B L, Fang Z, Chen X J, *et al.* Spatial variations in beak structure to identify potentially geographic populations of *Dosidicus gigas* in the Eastern Pacific Ocean[J]. *Fisheries Research*, 2015, 164: 185-192.
- [37] Chen X J, Lu H J, Liu B L, *et al.* Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) using beak morphological variables[J]. *Scientia Marina*, 2012, 76(3): 473-481.
- [38] Clarke M R. A Handbook for the Identification of Cephalopod Beaks[M]. Oxford: Clarendon Press, 1986: 273.
- [39] Franco-Santos R M, Iglesias J, Domingues P M, *et al.* Early beak development in *Argonauta nodosa* and *Octopus vulgaris* (Cephalopoda: Incirrata) paralarvae suggests adaptation to different feeding mechanisms[J]. *Hydrobiologia*, 2014, 725(1): 69-83.

## Beak morphometrics of short arm octopus (*Amphioctopus fangsiao*) in different sea areas of China in autumn

FANG Zhou<sup>1,2,3,4</sup>, JIN Yue<sup>2</sup>, HU Feifei<sup>2</sup>, MA Di<sup>2</sup>, CHEN Xinjun<sup>2,3,4\*</sup>

(1. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China;

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

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources,  
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Short arm octopus, *Amphioctopus fangsiao*, is widely distributed along the coast of China, and also is one of the important commercially explored cephalopod species in China. Based on 393 samples of *A. fangsiao* collected along the coast of China, including the Yellow Sea, East China Sea and South China Sea during October to November in 2015, the variation of ten standardized beak morphometrics was studied among the different areas and the discriminant analysis was also established based on the beak morphology. The results showed that the body size of *A. fangsiao* located in Yellow Sea and East China Sea was similar, and the individuals in South China Sea were smaller than other areas; the standardized beak in South China Sea was also smaller than other two areas. ANOVA test showed that the beak morphometrics in East China Sea and Yellow Sea had no significant difference except for lower beak wing ( $P>0.01$ ), and beak morphometrics in South China Sea had significant difference compared to other two areas ( $P<0.01$ ). Principal component analysis suggested that the lower beak morphometrics represented first component factor, and upper beak morphometrics represented the second and third component factors for all the individuals from three different areas. Six beak morphometrics were selected for the stepwise discriminant analysis, and the correct classification rate was over 80% for three different areas. The result of classification tree analysis showed that lower beak morphometrics (lower hood length and lower wing length) can be a good criterion for quick identification of the octopus from different areas. In conclusion, this study has confirmed that the beak morphology has different patterns in different areas due to the varied environments, and also showed that beak is a suitable criterion for identifying the population variation for cephalopods.

**Key words:** *Amphioctopus fangsiao*; beak; morphology; discriminant analysis; offshore

**Corresponding author:** CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Science Foundation of China (NSFC4147129); China Postdoctoral Science Foundation (2017M610277); Startup Foundation for Docotors of Shanghai Ocean University (A2-0203-17-100314); Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources (A1-0203-00-2009-6)