

文章编号: 1674-5566(2019)03-0373-11

DOI:10.12024/jsou.20181202465

## 中国南海西沙群岛海域鳶乌贼角质颚生长特性

陈子越<sup>1</sup>, 陆化杰<sup>1,2,3,4,5</sup>, 童玉和<sup>6</sup>, 唐悦<sup>1</sup>, 刘维<sup>6</sup>, 程馨<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 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 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306; 6. 海南省海洋与渔业科学研究院, 海南海口 570100)

**摘要:** 角质颚是头足类重要的硬组织之一, 被广泛用于研究类头足类渔业生物、生态学。根据我国灯光罩网渔船 2016 年 1—3 月和 2017 年 1—3 月在中国南海西沙群岛海域采集的 818 尾鳶乌贼样本, 研究了鳶乌贼角质颚的外部形态生长特性。主成分分析表明, 鳶乌贼的上头盖长(UHL)、上脊突长(UCL)、上翼长(UWL)、上侧壁长(ULWL)、下头盖长(LHL)、下脊突长(LCL)、下翼长(LWL)和下侧壁长(LLWL)可以作为鳶乌贼角质颚外形变化的特征参数。协方差分析表明: UHL、LWL 与胴长的生长关系存在性别间显著性差异, 其余参数均不存在显著性差异; 所有外形特征参数与体质量间的生长关系均存在性别间显著性差异。AIC 分析表明: 除 LLWL 和雄性个体的 UHL 与胴长的关系最适合用线性方程表示外, 其余均最适用指数方程表示; 雌性个体所有外形参数与体质量的生长关系均最适合用对数函数表示, 而雄性个体除 UCL 和 UWL 最适合用指数函数表示外, 其余均最适合用线性方程表示。

**关键词:** 鳶乌贼; 角质颚; 外部形态; 生长特性; 中国南海; 西沙群岛

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*), 属柔鱼科(Ommastrephidae)、鳶乌贼属(*Sthenoteuthis*), 为大洋性浅海头足类<sup>[1]</sup>, 广泛分布于印度洋、太平洋的热带及亚热带海域<sup>[2]</sup>。鳶乌贼资源量大, 是我国南海重要的头足类资源<sup>[3]</sup>, 潜在的资源评估量超过 28.3 万 t<sup>[4]</sup>。掌握渔业生物学特性是实现渔业资源科学有效开发、科学管理的前提和基础<sup>[2]</sup>, 国内外许多学者对分布于各海域鳶乌贼的种群结构<sup>[5-6]</sup>、年龄生长<sup>[7]</sup>和繁殖习性<sup>[8]</sup>等特性进行了研究。角质颚是头足类重要的摄食器官, 具有形态结构稳定、信息储存量大和抗腐蚀等优点<sup>[9]</sup>, 被广泛用于研究头足类的年龄与生长<sup>[10]</sup>、种群鉴定<sup>[11]</sup>和资源评估<sup>[12]</sup>等。掌握角质颚的外形变化特征是利用其研究头足类渔业生物学的基础, 一些学者<sup>[13-15]</sup>对其他头足类角质颚的外形

变化特征开展了研究, 但针对中国南海西沙群岛海域鳶乌贼角质颚的外形变化研究尚未见报道。利用 2016 年 1—3 月和 2017 年 1—3 月中国灯光罩网渔船在中国南海西沙群岛海域生产调查期间采集的鳶乌贼样本, 对其角质颚外部形态变化特征开展了研究, 为后续利用角质颚研究鳶乌贼的年龄生长、种群鉴定和摄食生态等提供科学基础。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样本来源

样品来自“琼三亚渔 72060 号”和“琼三亚渔 72106 号”灯光罩网作业渔船, 采集时间为 2016 年 1—3 月和 2017 年 1—3 月, 采集海域分别为 12°18'N ~ 18°46'N、110°10'E ~ 115°58'E(图 1)。

收稿日期: 2018-12-09 修回日期: 2019-01-23

基金项目: 国家自然科学基金(41506184); 国家科技支撑计划(2013BAD13B06); 海南省省属科研院所技术开发研究专项(TV45987); 公益性行业(农业)科研专项经费(201403008)

作者简介: 陈子越(1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业生物学。E-mail: m170300682@st.shou.edu.cn

通信作者: 陆化杰, E-mail: hjlu@shou.edu.cn

调查中每个站点渔获中随机抽取 20 尾,共采集鸢乌贼 818 尾,获得的样本经冷冻保存运回实验室。

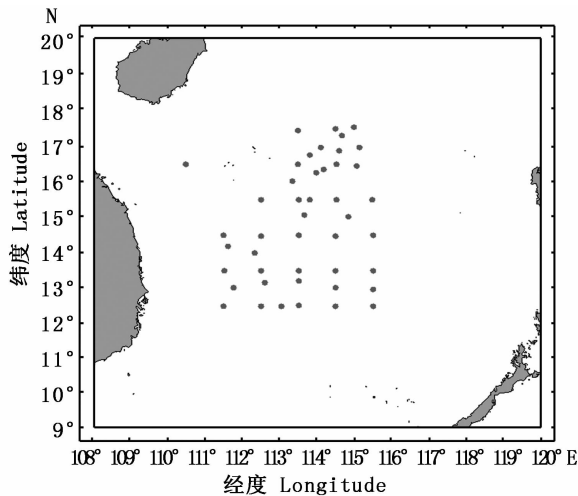


图 1 调查采样图

Fig. 1 Site of investigations and samples

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 生物学测定与角质颚提取

实验室解冻后对鸢乌贼进行生物学测定,包括胴长(mantle length, ML)、体质量(body mass, BM)、性别等,并对角质颚进行提取和外部形态参数测量。其中胴长测定精确至 1 mm,体质量精

确至 1 g<sup>[8]</sup>。

共提取和测量完整角质颚样本 685 对(雌 267 对、雄 418 对),雌、雄鸢乌贼的胴长范围分别为 110 ~ 235 mm 和 110 ~ 138 mm,体质量范围分别为 8 ~ 185 g 和 5 ~ 127 g。对取出的角质颚进行编号并存放于盛有 75% 乙醇溶液的 10 mL 离心管中,以便清除包裹角质颚表面的有机物质。根据其他研究,此次样本属于同一群体,即秋冬孵化群体<sup>[7]</sup>。

### 1.2.2 角质颚外部形态测量

利用游标卡尺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)、上喙宽(upper rostrum width, URW)、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)、下喙宽(lower rostrum width, LRW)、下侧壁长(lower lateral wall length, LLWL)和下翼长(lower wing length, LWL) 12 项形态参数进行测量(图 2),测量结果精确至 0.1 mm。

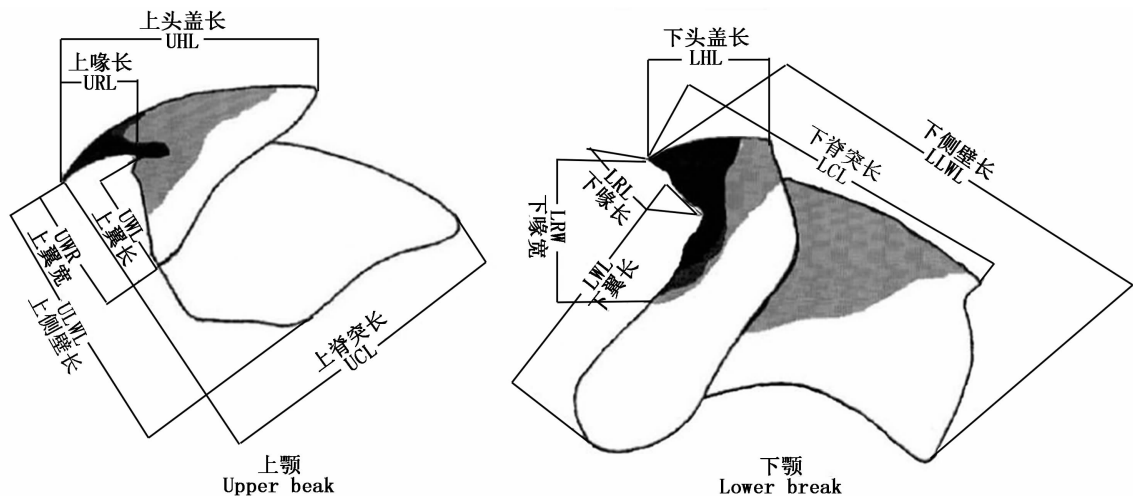


图 2 角质颚外部形态测量示意图

Fig. 2 Scheme of morphometric measurements of beak of *S. oualaniensis*

### 1.2.3 生长模型选取

分上、下颚对 12 个角质颚形态参数进行主成分分析,获得能够表征角质颚长度和宽度的外

部特征参数<sup>[9,13]</sup>。

利用协方差分析不同性别间外部特征参数与胴长、体质量的生长关系是否存在显著性差

异<sup>[9,13]</sup>。

采用线性生长模型、指数生长模型、幂函数生长模型和对数生长模型<sup>[13-16]</sup>,拟合鸢乌贼角质颚外部形态参数的生长方程:

线性方程: $L = ax + b$  (1)

指数方程: $L = ae^{bx}$  (2)

幂函数方程: $L = ax^b$  (3)

对数函数方程: $L = a \ln x + b$  (4)

式中: $L$ 为角质颚外形参数(UHL、UCL和UWL等),mm; $x$ 为胴长或体质量,mm或g; $a$ 、 $b$ 为常数。

采用最大似然法估计模型生长参数,公式为

$$L(\tilde{L} | L_{\infty}, K, t_0, \sigma^2) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[L_i - f(L_{\infty}, K, t, t_0, t_i)]^2}{2\sigma^2} \right\}$$
 (5)

式中: $\sigma^2$ 为误差项方差,其初始值设定为总体样本平均体长的15%。最大似然法取自然对数后估算求得,生长参数在Excel 2010中拟合求得<sup>[17-18]</sup>。

应用赤池信息准则(akaike's information criterion, AIC)进行生长模型比较,计算公式为

$A_{IC} = -2 \ln L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2) + 2m$  (6)

式中: $L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2)$ 为胴长重量数据的最大似然值; $\sigma^2$ 为模型参数的最大似然估计值; $m$ 为模型中待估参数的个数。4个生长模型中,取得最小AIC值的模型为最适生长模型<sup>[16,19]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 外部形态参数

测量得鸢乌贼角质颚各形态参数值。上颚:UHL为0.06~21.74 mm,UCL为3.97~18.35 mm,URL为0.24~6.64 mm,URW为1.23~7.23 mm,ULWL为0.66~10.96 mm,UWL为1.01~7.44 mm;下颚:LHL为0.94~7.07 mm,LCL为1.56~13.19 mm,LRL为1.00~6.12 mm,

LRW为0.98~10.12 mm,LLWL为1.38~18.67 mm,LWL为0.39~33.12 mm。

### 2.2 主成分分析

对角质颚上、下颚的12个形态参数在SPSS 19.0分析软件中分别进行主成分分析,结果分别见表1和表2。从表1可以看出,对于上颚,其第一、第二因子解释形态参数的贡献率分别为68.36%和14.47%,累计贡献率为82.82%。第一主成分与上颚的UHL、UCL、URL、UWL、URW和ULWL都有近似相等的正相关,载荷系数均在0.421以上,其中URW、UHL的载荷系数最大,在0.910以上,因此第一主成分可以被认为是上颚各区长度特征的代表;第二主成分与UWL和ULWL正相关,且与UWL载荷系数大于0.904,而与UHL、UCL、URL和ULWL呈负相关;第三主成分与UCL有较大的正相关,与ULWL呈较大的负相关;第四主成分与UHL、UCL有中等程度正相关,与UWL有较大负相关。因此UCL、UHL和URL可以作为角质颚外形长度参数表征因子,URW、ULWL和UWL可以作为角质颚上颚外形宽度参数表征因子。

从表2可以看出,第一、第二主成分解释形态参数的贡献率分别为65.30%和15.27%,累计贡献率约为80.57%,其中:第一主成分与下颚的LHL、LCL、LRL、LWL、LRW和LLWL都有近似相等的正相关,载荷系数均在0.636以上,因此第一主成分可以被认为是下颚各区长度特征的表征参数;第二主成分与LCL、LWL、LLWL呈正相关,并且与LCL载荷系数达到0.488;第三主成分与LWL有较大的正相关,载荷系数为0.644,而与LCL呈较大的负相关。因此,LCL、LHL和LRL可以作为角质颚下颚外形长度参数表征因子,LHL、LLWL和LWL可以作为角质颚下颚外形宽度参数表征因子。

根据上述分析,选取鸢乌贼角质颚的UCL、LCL、UHL、LHL、UWL、LWL、ULWL和LLWL代替12项形态参数来描述角质颚的外部形态特征。

表 1 鸢乌贼角质颚上颌 6 个形态参数 6 个主成分负荷值和贡献率

Tab. 1 Loadings of six principal components for 6 morphometric parameters of *S. oualaniensis* upper beak

| 外形参数 Morphologic indices | 主成分分析 Principal component |        |        |        |        |        |
|--------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 1                         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 上头盖 UHL                  | 0.910                     | -0.062 | -0.054 | 0.277  | -0.288 | -0.070 |
| 上脊突 UCL                  | 0.876                     | -0.158 | 0.256  | 0.300  | 0.200  | 0.114  |
| 上喙长 URL                  | 0.886                     | -0.083 | 0.188  | -0.359 | -0.123 | 0.169  |
| 上喙宽 URW                  | 0.928                     | -0.125 | 0.087  | -0.185 | 0.112  | -0.264 |
| 上侧壁 ULWL                 | 0.826                     | 0.003  | -0.548 | -0.038 | 0.100  | 0.075  |
| 上翼长 UWL                  | 0.421                     | 0.904  | 0.072  | 0.013  | 0.019  | -0.006 |
| 贡献率 Contribution rate/%  | 68.36                     | 14.47  | 6.94   | 5.52   | 2.68   | 2.03   |
| 累积贡献 Cumulative rate/%   | 68.36                     | 82.82  | 89.76  | 95.28  | 97.97  | 100.00 |

表 2 鸢乌贼角质颚下颌 6 个形态参数 6 个主成分负荷值和贡献率

Tab. 2 Loadings of six principal components for 6 morphometric parameters of *S. oualaniensis* lower beak

| 外形参数 Morphologic indices | 主成分分析 Principal component |        |        |        |        |        |
|--------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 1                         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 下头盖 LHL                  | 0.854                     | -0.369 | 0.034  | 0.212  | 0.266  | -0.135 |
| 下脊突 LCL                  | 0.768                     | 0.488  | -0.324 | -0.001 | 0.176  | 0.190  |
| 下喙长 LRL                  | 0.898                     | -0.073 | -0.127 | -0.389 | -0.016 | -0.141 |
| 下喙宽 LRW                  | 0.771                     | -0.564 | 0.130  | -0.023 | -0.118 | 0.237  |
| 下侧壁 LLWL                 | 0.882                     | 0.194  | -0.200 | 0.222  | -0.294 | -0.095 |
| 下翼长 LWL                  | 0.636                     | 0.425  | 0.644  | -0.014 | 0.004  | -0.002 |
| 贡献率 Contribution rate/%  | 65.30                     | 15.27  | 9.90   | 4.11   | 3.37   | 2.33   |
| 累积贡献 Cumulative rate/%   | 65.30                     | 80.57  | 90.20  | 94.30  | 97.67  | 100.00 |

### 2.3 角质颚外部形态参数与胴长的生长关系

协方差分析表明,不同性别间,角质颚主要外部形态参数 UHL ( $F = 5.313, P < 0.05$ )、LWL ( $F = 3.971, P < 0.05$ ) 与胴长的生长关系存在性别间显著性差异,因此分不同性别研究角质颚 UHL 和 LWL 与胴长的关系;而其余参数 UCL ( $F = 1.315, P > 0.05$ )、UWL ( $F = 3.671, P > 0.05$ )、ULWL ( $F = 0.74, P > 0.05$ )、LHL ( $F = 1.754, P > 0.05$ )、LCL ( $F = 2.790, P > 0.05$ ) 和 LLWL ( $F = 2.340, P > 0.05$ ) 都不存在显著性差异,因此不分性别研究它们与胴长的生长关系。通过方程的拟合和 AIC 的比较(表 3),得到所有外形特征参数中,除 LLWL 和雄性个体的 UHL 与胴长的关系最适合用线性方程表示外,其余均最适用指数方程表示(图 3)。

### 2.4 角质颚外部形态参数与体质量的生长关系

协方差分析表明,不同性别间,角质颚主要外部形态参数与体质量的生长均存在显著性差异:UHL ( $F = 85.838, P < 0.05$ )、UCL ( $F = 67.068, P < 0.05$ )、UWL ( $F = 38.934, P < 0.05$ )、ULWL ( $F = 52.216, P < 0.05$ )、LHL ( $F = 49.494, P < 0.05$ )、LCL ( $F = 62.357, P < 0.05$ )、LWL ( $F = 21.090, P < 0.05$ )、LLWL ( $F = 67.363, P < 0.05$ )。因此,分不同性别研究角质颚外形参数与体质量的关系。通过方程的拟合及 AIC 值比较(表 4),得到雌性个体所有外形参数与体质量的生长关系均最适合用对数函数表示,而雄性个体除 UCL 和 UWL 最适合指数函数表示外,其余均最适合用线性方程表示(图 4)。

表 3 鸢乌贼角质颚外形与胴长生长模型的参数比较

Tab. 3 Comparison of parameters of beak and mantel length growth models of *S. oualaniensis*

| 外形参数<br>Morphologic<br>indices | 生长模型<br>Growth<br>model | a  | b       | $R^2$     | AIC     | 外形参数<br>Morphologic<br>indices | 生长模型<br>Growth<br>model | a  | b       | $R^2$    | AIC       |           |           |
|--------------------------------|-------------------------|----|---------|-----------|---------|--------------------------------|-------------------------|----|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 雌性 Females                     | UHL                     | 线性 | 0.065 7 | 1.792 9   | 0.935 8 | 395.397 2                      | UHL<br>雄性<br>Males      | 线性 | 0.057 0 | 2.251 3  | 0.623 7   | 341.324 2 |           |
|                                |                         | 幂  | 0.179 1 | 0.652 7   | 0.933 3 | 405.179 2                      |                         |    | 幂       | 0.171 0  | 0.698 3   | 0.613 1   | 350.638 1 |
|                                |                         | 指数 | 3.936 9 | 0.007 4   | 0.943 7 | 362.781 0                      |                         |    | 指数      | 3.836 5  | 0.007 3   | 0.614 0   | 343.385 6 |
|                                |                         | 对数 | 5.849 1 | -18.460 3 | 0.921 7 | 445.068 4                      |                         |    | 对数      | 5.399 8  | 16.799 1  | 0.621 0   | 343.673 8 |
| UCL                            |                         | 线性 | 0.055 9 | 2.274 6   | 0.576 5 | 675.428 6                      | UWL                     | 线性 | 0.017 0 | 0.724 4  | 0.560 5   | 423.976 6 |           |
|                                |                         | 幂  | 0.168 7 | 0.632 0   | 0.551 5 | 703.604 4                      |                         |    | 幂       | 0.052 0  | 0.578 8   | 0.533 7   | 398.612 6 |
|                                |                         | 指数 | 3.925 7 | 0.006 9   | 0.609 1 | 648.787 5                      |                         |    | 指数      | 1.140 7  | 0.007 4   | 0.610 4   | 376.659 6 |
|                                |                         | 对数 | 5.117 8 | -15.630 5 | 0.521 0 | 736.252 0                      |                         |    | 对数      | 1.451 3  | -4.244 4  | 0.505 7   | 394.372 4 |
| LHL                            |                         | 线性 | 0.004 0 | 2.054 1   | 0.879 6 | 22.742 4                       | LCL                     | 线性 | 0.036 9 | 0.990 2  | 0.546 2   | 417.140 7 |           |
|                                |                         | 幂  | 0.001 7 | 0.071 0   | 0.875 4 | 31.376 5                       |                         |    | 幂       | 0.100 3  | 0.846 7   | 0.531 1   | 433.726 2 |
|                                |                         | 指数 | 2.065 2 | 0.001 7   | 0.879 3 | 22.079 4                       |                         |    | 指数      | 2.063 5  | 0.008 1   | 0.603 5   | 362.062 6 |
|                                |                         | 对数 | 0.210 4 | 1.484 5   | 0.882 2 | 29.257 7                       |                         |    | 对数      | 3.019 3  | -9.189 1  | 0.463 3   | 503.233 9 |
| LWL<br>雌性 Females              |                         | 线性 | 0.030 8 | 1.011 1   | 0.971 4 | 70.523 6                       | LWL<br>雄性 Males         | 线性 | 0.037 1 | 0.330 8  | 0.649 8   | 39.504 8  |           |
|                                |                         | 幂  | 0.087 5 | 0.591 8   | 0.965 9 | 80.111 1                       |                         |    | 幂       | 0.086 6  | 0.843 4   | 0.643 4   | 33.653 6  |
|                                |                         | 指数 | 1.954 1 | 0.007 3   | 0.975 1 | 40.084 2                       |                         |    | 指数      | 1.510 0  | 0.009 7   | 0.666 3   | 25.230 4  |
|                                |                         | 对数 | 2.660 8 | -8.105 5  | 0.965 6 | 111.177 0                      |                         |    | 对数      | 3.418 0  | -9.653 7  | 0.623 6   | 36.118 1  |
| ULWL                           |                         | 线性 | 0.030 0 | 1.555 0   | 0.934 4 | 164.732 9                      | LLWL                    | 线性 | 0.084 2 | -1.399 3 | 0.819 9   | 442.637 1 |           |
|                                |                         | 幂  | 0.097 9 | 0.540 9   | 0.903 5 | 208.548 7                      |                         |    | 幂       | 0.151 4  | 1.174 3   | 0.775 1   | 560.077 6 |
|                                |                         | 指数 | 2.316 4 | 0.006 7   | 0.938 8 | 129.544 4                      |                         |    | 指数      | 2.728 9  | 0.009 3   | 0.794 6   | 512.122 7 |
|                                |                         | 对数 | 2.484 3 | -6.849 0  | 0.932 6 | 237.103 1                      |                         |    | 对数      | 8.402 8  | -31.554 5 | 0.796 0   | 508.467 5 |

### 3 讨论

#### 3.1 角质颚外形特征对比

本研究表明,中国西沙群岛海域鸢乌贼角质颚的 UCL、UHL、URL、LHL、LLWL 和 LWL 可以作为角质颚外部形态长度特征参数, LCL、URW、ULWL、UWL、和 LRL 可以作为角质颚外形宽度特征参数。一些学者分别对西南大西洋阿根廷滑柔鱼<sup>[13]</sup>、西北太平洋柔鱼<sup>[20]</sup>、东南太平洋茎柔鱼<sup>[21]</sup>、中国南海中国枪乌贼和剑尖枪乌贼<sup>[6]</sup>角质颚的外部形态参数进行了研究,得到角质颚的主要外部形态特征参数相似,都包含 UHL、UCL、URL、LHL、LCL 和 LRL 等 6 个参数,为利用这些外形参数进行种群鉴定提供了基础依据<sup>[22]</sup>(表 5)。

#### 3.2 角质颚外形参数与胴长关系

本研究表明:西沙群岛海域鸢乌贼角质颚的 UHL、LWL 与胴长的生长关系存在性别间显著性差异,其余特征参数均不存在显著性差异;除了 LLWL 和雄性个体的 UHL 与胴长的生长最适合用线性方程表示外,其余均最适用指数方程表

示。相关研究表明西北印度洋鸢乌贼角质颚的 UHL、UCL、URL、ULWL、LLWL 和 LWL 与胴长均呈线性生长关系<sup>[23]</sup>,与本研究中的 LLWL 和 UHL 生长方式相同。其他一些学者认为近海头足类东海剑尖枪乌贼<sup>[24]</sup>、东海火枪乌贼<sup>[25]</sup>、太平洋褶柔鱼<sup>[26]</sup>角质颚的外形特征参数与胴长之间的关系都最适合用线性方程表示,结果与本研究不完全相同,这可能与数据处理方法和样本数量有关。上述研究中作者直接用线性方程进行拟合,而没有对不同的模型进行拟合并选择,而且样本数据稍小,对拟合结果会有一定的影响。而对大洋性的头足类包括西南大西洋阿根廷滑柔鱼<sup>[13]</sup>、北太平洋柔鱼<sup>[20]</sup>、东南太平洋茎柔鱼<sup>[21]</sup>等角质颚外形参数与胴长之间分别最适用幂函数(UHL、UCL、LHL、LCL 和 LWL)、指数(LCL 和 LWL)、对数和线性生长方程表示,与本研究结果部分相同。不同头足类角质颚外形参数与胴长生长方程也不完全相同,这可能与不同头足类自身生长有关<sup>[27]</sup>,也可能与头足类生活环境有关<sup>[28]</sup>,为间接利用角质颚外形研究头足类种群鉴定提供了科学依据<sup>[22]</sup>。

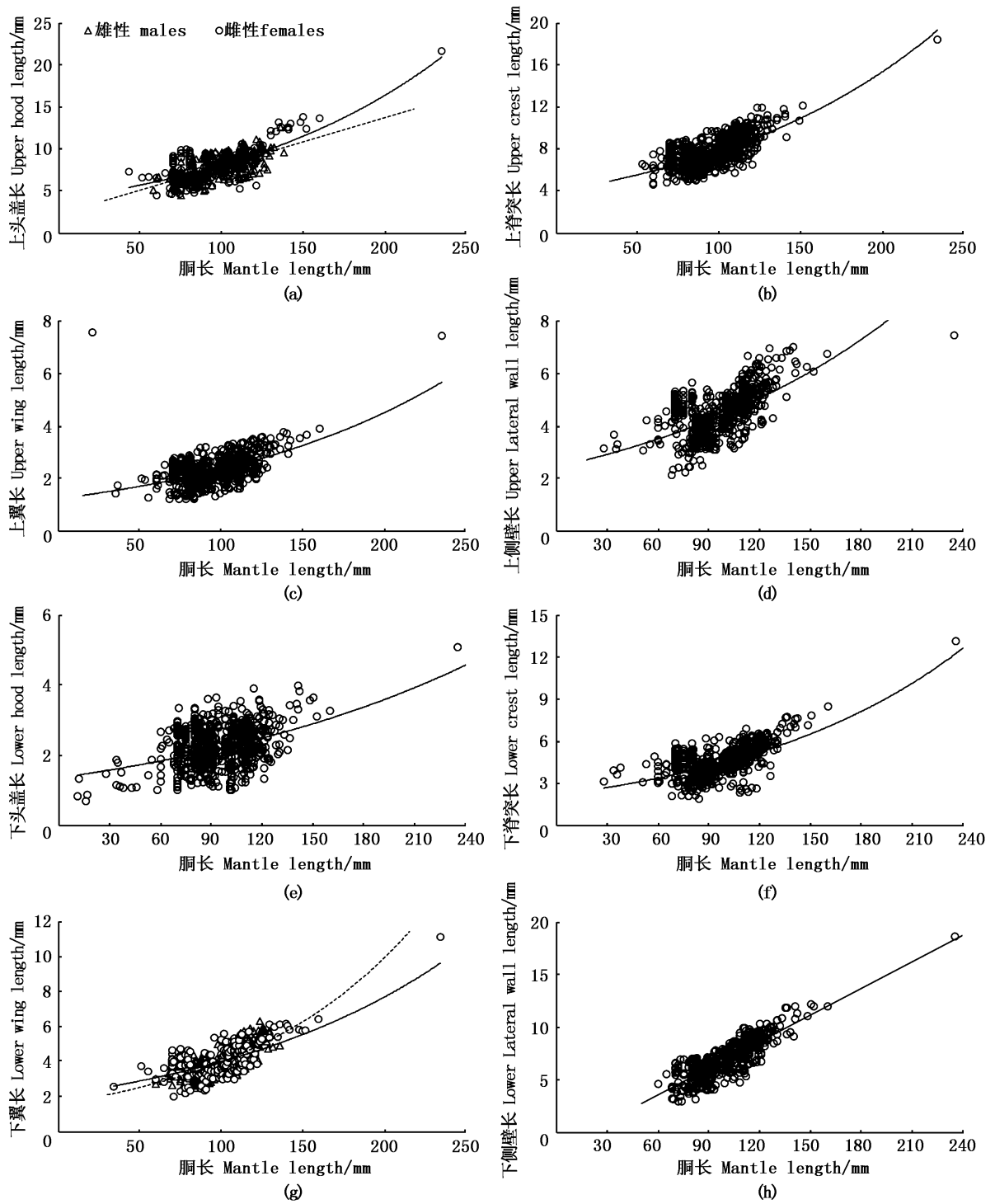


图3 鸢乌贼角质颌外形参数与胴长的关系

Fig. 3 Relationship between morphometric parameters of beak and mantle length of *S. oualaniensis*

表 4 鸢乌贼角质颚外形与体质量生长模型的参数比较

Tab. 4 Comparison of parameters of beak and body weight growth models of *S. oualaniensis*

| 外形参数<br>Morphologic<br>indices | 生长模型<br>Growth<br>model | a       | b        | $R^2$   | AIC       | 外形参数<br>Morphologic<br>indices | 生长模型<br>Growth<br>model | a       | b        | $R^2$   | AIC       |
|--------------------------------|-------------------------|---------|----------|---------|-----------|--------------------------------|-------------------------|---------|----------|---------|-----------|
| UHL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.030 1 | 6.837 2  | 0.900 6 | 370.625 8 | UHL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.062 1 | 5.253 6  | 0.899 0 | 105.526 0 |
|                                | 幂                       | 0.247 8 | 0.338 5  | 0.950 0 | 464.251 3 |                                | 幂                       | 0.312 5 | 0.322 9  | 0.885 7 | 133.473 3 |
|                                | 指数                      | 7.653 0 | 0.001 6  | 0.852 3 | 474.660 3 |                                | 指数                      | 5.737 0 | 0.007 2  | 0.878 0 | 121.545 9 |
|                                | 对数                      | 2.963 4 | -2.611 1 | 0.943 3 | 222.916 0 |                                | 对数                      | 2.536 5 | -1.215 0 | 0.900 3 | 155.259 5 |
| UCL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.021 6 | 6.869 5  | 0.859 4 | 357.885 6 | UCL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.052 7 | 5.437 3  | 0.798 3 | 269.704 7 |
|                                | 幂                       | 2.825 8 | 0.275 0  | 0.832 1 | 564.566 0 |                                | 幂                       | 3.026 4 | 0.254 2  | 0.798 2 | 280.369 4 |
|                                | 指数                      | 7.366 3 | 0.001 4  | 0.832 6 | 402.077 8 |                                | 指数                      | 5.739 0 | 0.006 6  | 0.800 5 | 265.511 5 |
|                                | 对数                      | 2.251 9 | -0.349 3 | 0.898 9 | 274.424 9 |                                | 对数                      | 1.994 5 | 0.515 1  | 0.756 5 | 342.494 4 |
| UWL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.009 1 | 1.971 7  | 0.926 7 | 325.710 2 | UWL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.016 7 | 1.645 9  | 0.639 6 | 202.652 5 |
|                                | 幂                       | 0.073 1 | 0.331 5  | 0.374 6 | 306.044 5 |                                | 幂                       | 0.094 4 | 0.266 0  | 0.568 5 | 117.049 7 |
|                                | 指数                      | 2.199 5 | 0.001 7  | 0.903 2 | 356.559 2 |                                | 指数                      | 1.738 4 | 0.006 9  | 0.641 6 | 104.662 9 |
|                                | 对数                      | 0.833 7 | -0.646 8 | 0.931 4 | 291.896 0 |                                | 对数                      | 0.621 2 | 0.123 5  | 0.594 5 | 159.613 7 |
| ULWL<br>雌性<br>Females          | 线性                      | 0.014 4 | 3.831 3  | 0.872 5 | 167.714 0 | ULWL<br>雄性<br>Males            | 线性                      | 0.032 7 | 3.056 8  | 0.828 5 | 163.538 0 |
|                                | 幂                       | 0.134 3 | 0.333 5  | 0.105 4 | 268.318 6 |                                | 幂                       | 1.507 9 | 0.295 8  | 0.786 2 | 186.718 3 |
|                                | 指数                      | 4.197 1 | 0.001 5  | 0.843 9 | 219.690 2 |                                | 指数                      | 3.286 0 | 0.006 8  | 0.818 1 | 241.294 4 |
|                                | 对数                      | 1.522 8 | -1.064 0 | 0.915 4 | 162.334 6 |                                | 对数                      | 1.294 5 | -0.190 3 | 0.819 4 | 243.969 2 |
| LHL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.009 4 | 2.054 3  | 0.940 2 | 261.834 2 | LHL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.019 8 | 1.537 4  | 0.787 9 | 468.530 6 |
|                                | 幂                       | 0.074 6 | 0.347 9  | 0.568 5 | 328.099 8 |                                | 幂                       | 0.710 9 | 0.328 5  | 0.651 2 | 497.327 1 |
|                                | 指数                      | 2.307 8 | 0.001 7  | 0.918 7 | 285.888 4 |                                | 指数                      | 1.689 8 | 0.007 6  | 0.776 8 | 504.911 5 |
|                                | 对数                      | 0.913 8 | -0.848 9 | 0.955 6 | 235.904 3 |                                | 对数                      | 0.762 2 | -0.353 5 | 0.769 0 | 535.489 3 |
| LCL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.016 3 | 3.839 7  | 0.962 6 | 128.018 9 | LCL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.037 3 | 2.884 8  | 0.835 7 | 173.635 5 |
|                                | 幂                       | 0.143 2 | 0.350 2  | 0.712 7 | 221.401 7 |                                | 幂                       | 1.360 4 | 0.324 8  | 0.775 6 | 203.479 1 |
|                                | 指数                      | 4.235 0 | 0.001 6  | 0.953 1 | 182.818 1 |                                | 指数                      | 3.161 5 | 0.007 8  | 0.826 9 | 183.674 1 |
|                                | 对数                      | 1.640 1 | -1.378 1 | 0.971 4 | 103.296 1 |                                | 对数                      | 1.429 1 | -0.651 3 | 0.807 3 | 162.686 8 |
| LWL<br>雌性<br>Females           | 线性                      | 0.014 7 | 3.183 6  | 0.556 1 | 151.857 2 | LWL<br>雄性<br>Males             | 线性                      | 0.030 9 | 2.525 5  | 0.792 1 | 176.826 0 |
|                                | 幂                       | 0.116 3 | 0.380 2  | 0.512 2 | 133.014 4 |                                | 幂                       | 1.195 5 | 0.317 5  | 0.787 1 | 196.781 0 |
|                                | 指数                      | 3.584 5 | 0.001 7  | 0.405 5 | 143.168 8 |                                | 指数                      | 2.748 9 | 0.007 5  | 0.674 2 | 267.224 1 |
|                                | 对数                      | 1.512 4 | -1.676 9 | 0.709 2 | 131.314 9 |                                | 对数                      | 1.196 6 | -0.449 3 | 0.655 8 | 247.323 2 |
| LLWL<br>雌性<br>Females          | 线性                      | 0.027 0 | 5.904 4  | 0.868 6 | 335.116 1 | LLWL<br>雄性<br>Males            | 线性                      | 0.055 7 | 4.628 1  | 0.801 8 | 105.170 7 |
|                                | 幂                       | 0.216 3 | 0.394 4  | 0.239 7 | 293.267 8 |                                | 幂                       | 0.278 4 | 0.319 4  | 0.795 7 | 147.424 4 |
|                                | 指数                      | 6.658 2 | 0.001 6  | 0.825 7 | 308.877 6 |                                | 指数                      | 5.044 3 | 0.007 4  | 0.786 4 | 193.366 6 |
|                                | 对数                      | 2.832 6 | -3.223 5 | 0.924 6 | 290.081 3 |                                | 对数                      | 2.223 6 | -0.989 3 | 0.775 3 | 112.347 8 |

### 3.3 角质颚外形参数与体质量关系

研究表明,西沙群岛海域鸢乌贼角质颚所有外形特征参数与体质量的生长均存在性别间显著性差异,雌性个体所有外形参数与体质量的生长关系均最适合用对数函数,雄性个体除 UCL 和 UWL 最适合指数函数表示外,其余均最适合用线性方程表示。一些学者对其他几种头足类角质颚的外形参与与体质量的关系进行了研究,结果显示西北太平洋柔鱼<sup>[13]</sup>和西北印度洋鸢乌贼<sup>[23]</sup>

最适合用指数函数表示,西南大西洋阿根廷滑柔鱼<sup>[30]</sup>、东南太平洋茎柔鱼<sup>[15]</sup>和东海剑尖枪乌贼<sup>[24]</sup>最适合用幂函数表示,东海太平洋褶柔鱼<sup>[26]</sup>则最适合用线性方程表示。头足类种类不同、生长海域不同,其角质外形参数与体质量之间关系也不完全相同<sup>[29]</sup>,为利用头足类角质颚进行渔业资源评估提供了基础,本研究结果也将完善西沙群岛海域鸢乌贼渔业资源评估。

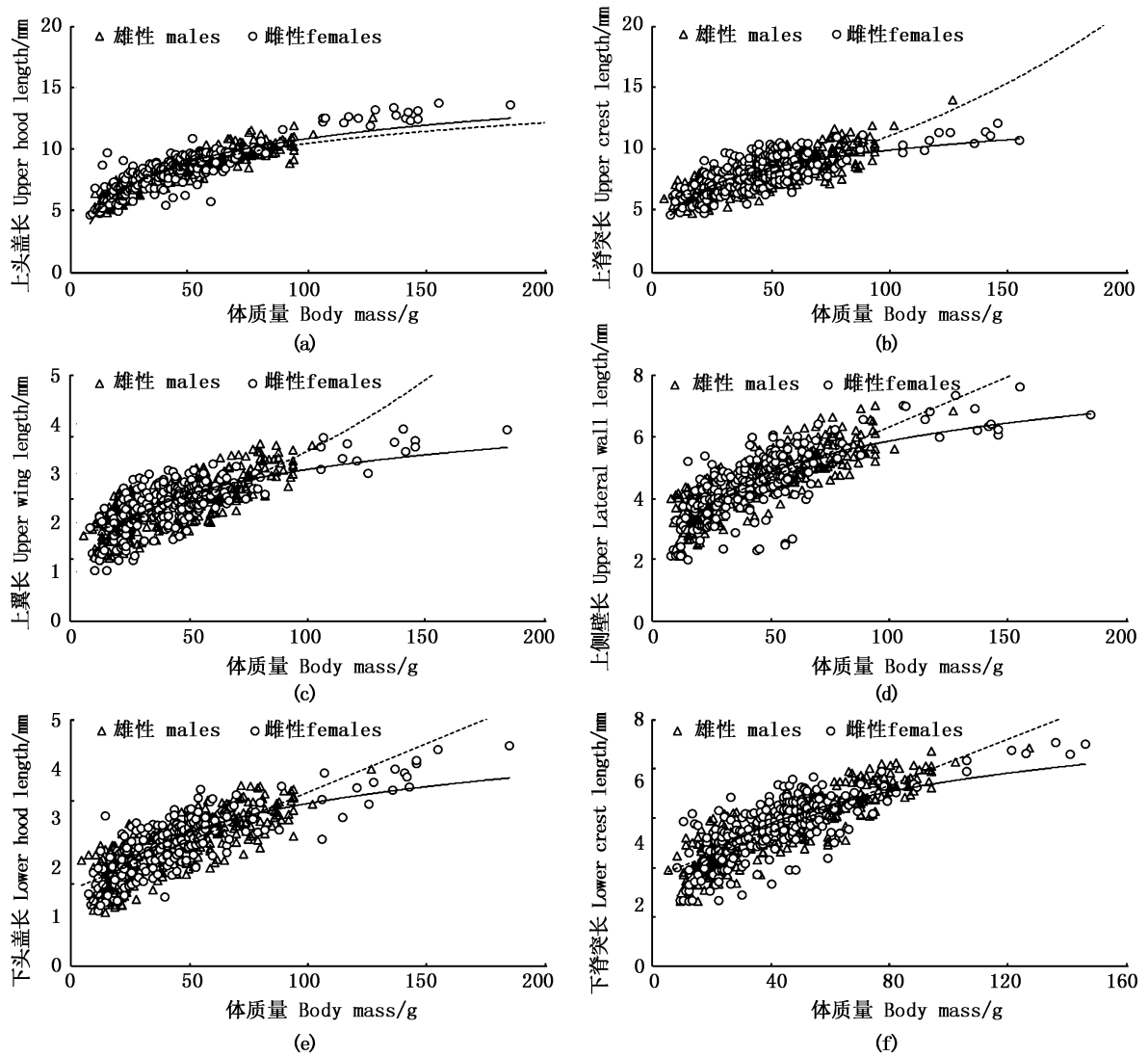


图 4 鸢乌贼角质颚外形参数与体质量的关系

Fig. 4 Relationship between morphometric parameters of beak and body mass of *S. oualaniensis*

表 5 6 种不同头足类角质颚外形特征参数

Tab. 5 Morphological characteristic parameters of beak for 6 species of Cephalopods

| 种类<br>Species of Cephalopoda                     | 角质颚外形特征因子 Mutative characteristic of beak shape                |
|--|--|
| 鸢乌贼 <i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>            | UHL, UCL, URL, URW, ULWL, UWL<br>LHL, LCL, LRL, LLWL, LWL      |
| 阿根廷滑柔鱼 <i>Illex argentinus</i> <sup>[13]</sup>   | UHL, UCL, URL, URW, ULWL, UWL<br>LHL, LCL, LRL, LRW, LLWL, LWL |
| 柔鱼 <i>Ommastrephes bartramii</i> <sup>[20]</sup> | UHL, UCL, URL, URW, ULWL, UWL                                  |
| 茎柔鱼 <i>Dosidicus gigas</i> <sup>[21]</sup>       | UHL, UCL, LRL, ULWL, LCL, LLWL                                 |
| 中国枪乌贼 <i>Uroteuthis chinensis</i> <sup>[6]</sup> | UHL, UCL, URL, URW, ULWL, UWL<br>LHL, LCL, LRL, LRW, LLWL, LWL |
| 剑尖枪乌贼 <i>Uroteuthis edulis</i> <sup>[6]</sup>    | UHL, UCL, URL, URW, ULWL, UWL<br>LHL, LCL, LRL, LRW, LLWL, LWL |



### 3.4 研究展望

通过本研究,初步掌握了西沙群岛海域鸢乌贼角质颚外形特征参数,并拟合了这些参数与胴长和体质量的关系,为后续鸢乌贼种群鉴定和资源评估打下良好的基础。但是由于中国南海面积广阔,鸢乌贼分布也比较广泛,从西沙群岛海域南下到中沙群岛海域、南沙群岛海域均有分布<sup>[1,3]</sup>,而且这些群体是否属于同一个孵化群体目前尚不得知。鉴于角质颚良好的稳定性和耐腐蚀性、丰富的蕴藏信息,后续将扩大采样海域,利用角质颚轮纹和微化学、同位素等研究方法对中国南海鸢乌贼的种群划分、洄游路线和生活史等开展相关研究,为南海鸢乌贼渔业资源开发和科学管理提供基础。

### 参考文献:

- [1] 王尧耕,陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京:海洋出版社,2005:284-295.  
WANG Y G, CHEN X J. The resources and biology of economic oceanic squid in the world[M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 284-295.
- [2] 陈新军,韩宝平,刘必林,等. 世界头足类资源及其渔业[M]. 北京:科学出版社,2013:28-31.  
CHEN X J, HAN B P, LIU B L, et al. The resources and fisheries of cephalopod in the world[M]. Beijing: Science Press, 2013: 28-31.
- [3] 张鹏,杨吝,张旭丰,等. 南海金枪鱼和鸢乌贼资源开发现状及前景[J]. 南方水产,2010,6(1):68-74.  
ZHANG P, YANG L, ZHANG X F, et al. The present status and prospect on exploitation of tuna and squid fishery resources in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(1): 68-73.
- [4] 贾晓平,李永振,李纯厚,等. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京:科学出版社,2004:385-391.  
JIA X P, LI Y Z, LI C H, et al. Fishery ecological environment and fishery resources in the exclusive economic zone and continental shelf of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 385-391.
- [5] CHEN X J, LIU B L, TIAN S Q, et al. Fishery biology of purpleback squid, *Sthenoteuthis oualaniensis*, in the northwest Indian Ocean[J]. Fisheries Research, 2007, 83(1): 98-104.
- [6] JIN Y, LIU B L, CHEN X J, et al. Morphological beak differences of loliginid squid, *Uroteuthis chinensis* and *Uroteuthis edulis*, in the northern South China Sea[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2018, 36(2): 559-571.
- [7] 招春旭,陈昭澎,何雄波,等. 基于耳石微结构的南海春季鸢乌贼日龄、生长与种群结构的研究[J]. 水生生物学报,2017,41(4):884-890.  
ZHAO C X, CHEN Z P, HE X B, et al. Age, growth and population structure of purple back flying squid, *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea in spring based on statolith microstructure[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 884-890.
- [8] 陆化杰,王从军,陈新军. 4—6月东太平洋赤道公海鸢乌贼生物学特性初步研究[J]. 上海海洋大学学报,2014,23(3):441-447.  
LU H J, WANG C J, CHEN X J. Preliminary study on the biological characteristics of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the high seas nearby the equator of eastern Pacific during April to June[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(3): 441-447.
- [9] CLARKE M R. The identification of cephalopod Z' beaks' and the relationship between break size and total body weight[J]. Bulletin of the British Museum of Natural History, Zoology, 1962, 8(10): 419-480.
- [10] HERNÁNDEZ-LÓPEZ J L, CASTRO-HERNANDEZ J L, HERNÁNDEZ-GARCIA V. Age determined from the daily deposition of concentric rings on common octopus (*Octopus vulgaris*) beaks[J]. Fishery Bulletin, 2001, 99(4): 679-684.
- [11] 陈芑,方舟,陈新军. 基于角质颚外部形态学的柔鱼种群判别[J]. 海洋渔业,2015,37(1):1-9.  
CHEN P, FANG Z, CHEN X J. Population identification of *Ommastrephes bartramii* based on beak's external morphological characters[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(1): 1-9.
- [12] LU C C, ICKERINGILL R. Cephalopod beak identification and biomass estimation techniques: tools for dietary studies of southern Australian finfishes[R]. Victoria: Museum Victoria Science, 2002.
- [13] 陆化杰,陈新军,方舟. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼2个不同产卵群间角质颚外形生长特性比较[J]. 中国海洋大学学报,2012,42(10):33-40.  
LU H J, CHEN X J, FANG Z. Comparison of the beak morphologic growth characteristics between two spawning populations of *Illex argentinus* in southwest Atlantic Ocean[J]. Journal of Ocean University of China, 2012, 42(10): 33-40.
- [14] 许嘉锦. *Octopus* 与 *Cistopus* 属章鱼口器地标点之几何形态学研究[D]. 台北:中山大学海洋生物研究所,2003.  
HSU C C. Geomorphometric study of *Octopus* and *Cistopus* (Cephalopoda: Octopodidae) based on landmarks of beaks[D]. Taipei: Institute of Marine Biology, Central University, 2003.
- [15] 胡贯宇,金岳,陈新军. 秘鲁外海茎柔鱼角质颚的形态特征及其与个体大小和日龄的关系[J]. 海洋渔业,2017,39(4):361-371.  
HU G Y, JIN Y, CHEN X J. Beak morphological

- characteristics of *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zone (EEZ) and their relationship with body size and daily age[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(4): 361-371.
- [16] JACKSON G D, MCKINNON J F. Beak length analysis of arrow squid *Nototodarus sloanii* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in southern New Zealand waters[J]. *Polar Biology*, 1996, 16(3): 227-230.
- [17] MALCOLM H. Modelling and quantitative methods in fisheries [M]. 2nd ed. Florida: Chapman & Hall/CRC, 2001: 227-232.
- [18] HIRAMATSU K. Application of maximum likelihood method and AIC to fish population dynamics [M]//MATSUMIYA Y. Fish Population Dynamics and Statistical Models. Tokyo: Koseisha Koseikaku, 1993: 9-21.
- [19] IMAI C, SAKAI H, KATSURA K, et al. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamurai* based on otolith analyses[J]. *Fisheries Science*, 2002, 68(4): 843-848.
- [20] 金岳, 方舟, 李云凯, 等. 北太平洋东部柔鱼群体角质颚生长特性分析[J]. *海洋渔业*, 2015, 37(2): 101-106.  
JIN Y, FANG Z, LI Y K, et al. Growth characteristics analysis of *Ommastrephes bartramii* beaks in eastern North Pacific[J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37(2): 101-106.
- [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.
- [22] CHEN X J, LU H J, LIU B L, et al. Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) by using beak morphological variables[J]. *Scientia Marina*, 2012, 76(3): 473-481.
- [23] 刘必林, 陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼角质颚长度分析[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(1): 8-14.  
LIU B L, CHEN X J. Beak length analysis of the purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in northwest Indian Ocean [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(1): 8-14.
- [24] 徐杰, 刘尊雷, 李圣法, 等. 东海剑尖枪乌贼角质颚的外部形态及生长特性[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(3): 245-253.  
XU J, LIU Z L, LI S F, et al. Morphology and growth characteristics of *Uroteuthis edulis* beak in the East China Sea [J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(3): 245-253.
- [25] 杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 东海火枪乌贼角质颚的形态特征[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(4): 586-593.  
YANG L L, JIANG Y Z, LIU Z L, et al. Analysis of beak morphology of *Loligo beka* in the East China Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(4): 586-593.
- [26] 杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 东海太平洋褶柔鱼角质颚的形态学分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(10): 51-57.  
YANG L L, JIANG Y Z, LIU Z L, et al. Variation analysis on partial morphometric measurements of beak of *Todarodes pacificus* inhabiting East China Sea [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2012, 42(10): 51-57.
- [27] QUEIRÓS J P, CHEREL Y, CEIA F R, et al. Ontogenic changes in habitat and trophic ecology in the Antarctic squid *Kondakovia longimana* derived from isotopic analysis on beaks[J]. *Polar Biology*, 2018, 41(12): 2409-2421.
- [28] GUERREIRO M, PHILLIPS R A, CHEREL Y, et al. Habitat and trophic ecology of Southern Ocean cephalopods from stable isotope analyses[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2015, 530: 119-134.
- [29] ARKHIPKIN A, LAPTIKHOVSKY V. Seasonal and interannual variability in growth and maturation of winter-spawning *Illex argentinus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) in the Southwest Atlantic [J]. *Aquatic Living Resources*, 1994, 7(4): 221-232.
- [30] CHEN X J, LU H J, LIU B L, et al. Relationship between beak morphological variables and body size and mantle length of male and female Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2012, 11(4): 539-546.

## Beak growth characteristic of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the waters of Xisha Islands in the South China Sea

CHEN Ziyue<sup>1</sup>, LU Huajie<sup>1,2,3,4,5</sup>, TONG Yuhe<sup>6</sup>, TANG Yue<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>6</sup>, CHENG Xin<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,4,5</sup>  
(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Science, Haikou 570100, Hainan, China)

**Abstract:** The beak was one of the most important hard tissues of cephalopods which was widely used in the study of cephalopod fisheries biology and fishery ecology research. According to the measurement of the morphological parameters of the beak from 818 *Sthenoteuthis oualaniensis* samples collected by Chinese falling-net fishery during January to March of 2017 and 2018 in the Xisha Islands waters of the South China Sea, the morphological growth characteristic of the beak of *S. oualaniensis* was studied. The principal component analysis showed that the upper hood length (UHL), the upper crest length (UCL), the upper wing length (UWL), the upper lateral wall length (ULWL), the lower hood length (LHL), the lower crest length (LCL), the lower wing length (LWL) and the lower lateral wall length (LLWL) could be used as themorphological characteristic parameters to study the morphological changes of the beak. The analysis of covariance (ANCOVA) showed that there were significant differences in the relationships between UHL, LWL versus mantel length (ML) between males and females, but no significant difference was found in other characteristic parameters. The relationships between beak morphological variables and body weight (BW) differed significantly between males and females in all of the morphological characteristic parameters. The relationships between LLWL, UHL of males and ML were optimally described by the linear growth models, and exponential functions were optimal for the other parameters. The logarithmic functions were optimal for the relationship between the ULWL, LHL, LCL, LWL, LLWL and BW for females, however exponential equations were optimal for the UCL, UWL, and linear functions were optimal for the other parameters for males.

**Key words:** *Sthenoteuthis oualaniensis*; beak; external morphology; growth characteristic; South China Sea; Xisha Islands