

文章编号: 1004 - 7271(2008)05 - 0604 - 06

## 印度洋西北海域鸢乌贼耳石的形态特征分析

刘必林<sup>1,2</sup>, 陈新军<sup>1,2</sup>, 钟俊生<sup>3</sup>

- (1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 200090;
2. 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 200090;
3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090)

**摘要:** 根据 2004 - 2005 年我国鱿钓船在印度洋西北海域鸢乌贼资源调查期间获得的 114 尾鸢乌贼(胴长为 142 ~ 575 mm)的耳石, 对其形态特征进行观察与测量。观测表明, 鸢乌贼耳石具有很大的翼区, 背区则较小, 其形态结构与一些其它科种类如躄乌贼科有明显差异。耳石总长 TSL、最大宽度 MW、侧区长 LDL、背侧区长 DLL、吻侧区长 RLL 和翼区长 WL 等 6 个主要形态参数值与胴长呈明显的幂函数关系( $P < 0.05$ )。随着胴长不断增加, 耳石绝对尺寸逐渐增大, 相对尺寸逐渐减小, 背区、侧区、吻区、翼区的长度与耳石总长之比则基本保持不变, 分别为 42%、57%、49% 和 75% 左右。

**关键词:** 鸢乌贼; 耳石形态特征; 主成分分析; 印度洋西北海域

中图分类号: S 931 文献标识码: A

## Statolith morphology of the purpleback flying squid *Sthenoëuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean

LIU Bi-lin<sup>1,2</sup>, CHEN Xin-jun<sup>1,2</sup>, ZHONG Jun-sheng<sup>3</sup>

- (1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China;
2. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai 200090, China;
3. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The morphology and microstructure of statolith of the purple back flying squid *Sthenoëuthis oualaniensis* were studied for the 114 samples with 142 - 575 mm mantle length (ML), which were collected during jigging surveys in the northwest Indian Ocean from October to December 2004 and in April 2005. The study indicated that its statolith has the structure with great rostrum and small dorsal dome, and its morphological structure is obviously different compared with other family squids like *Gonatus fabricii*. Six most important featured parameters including total statolith length (TSL), maximum width (MW), lateral dome length (LDL), ventral dorsal dome length (DLL), rostrum lateral dome length (RLL) and wing length (WL) were best described by power functions with ML ( $P < 0.05$ ). With the squid growing, the size of statolith gradually develops, while the ratio of each featured parameter to ML slowly decrease, and the ratio of FDL,

收稿日期: 2008-03-05

基金项目: 教育部新世纪优秀人才计划 (NCET - 06 - 0437); 国家科技支撑计划 (2006BAD09A05); 上海市重点学科建设项目 (T1101)

作者简介: 刘必林 (1980 - ), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 主要从事头足类生物学方面的研究。E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

通讯作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

LDL, FRL and WL to TSL almost remain the same level, corresponding to 42%, 57%, 49% and 75%.

**Key words:** purple back flying squid; morphology characteristic of statolith; principal component analysis; the northwest Indian Ocean

鸢乌贼 *Stheno euthis oualaniensis* 生活在热带、亚热带水域,在我国南海和印度洋西北部海域分布数量较大<sup>[1]</sup>。2003-2005 年我国鱿钓船对印度洋西北海域鸢乌贼资源进行了调查,取得了一些研究成果<sup>[2-4]</sup>。耳石是头足类良好的信息载体,其形态特征常用作种类或种群鉴定,其生长轮纹可用作年龄估算、孵化日期和生长率推算等分析<sup>[5-6]</sup>。通常柔鱼科耳石具有复杂的吻区、背区、侧区和翼区结构,但不同种类之间耳石形态特征不同<sup>[7]</sup>。Suzuki 等<sup>[8]</sup>、Bigelow<sup>[9]</sup>等曾利用耳石对分布在夏威夷附近海域鸢乌贼的年龄与生长,以及耳石形态结构等进行了研究,并认为其生命周期不超过 1 年。Arkhipkin<sup>[10]</sup>、Arkhipkin 和 Mikheev<sup>[11]</sup>及 Laptikhovsky 等<sup>[12]</sup>对分布在大西洋海域鸢乌贼的相近种 *Sthenoteuthis pteropus*, 从幼体到成体整个生活周期期间的耳石形态结构、年龄等进行了较为详细研究。目前还未见对印度洋西北海域鸢乌贼耳石形态结构及其参数特征进行研究,为此,本研究的目的主要有(1)观测鸢乌贼耳石形态结构,判别其是否与其它科种类具有差异性;(2)从众多的鸢乌贼耳石形态参数中,寻找能够表征形态特征的主成分,以便为科学、简洁地描述其耳石形态结构提供基础;(3)探讨耳石形态结构变化与个体生长的关系,获得各特征参数与胴长之间的最适关系式。通过这些基础性研究,为下一步利用耳石开展鸢乌贼年龄与生长等方面的研究提供基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

样本采集时间为 2004 年 10-12 月和 2005 年 4 月;采集海域为 59°30'~64°00'E, 13°00'~20°00' N。鸢乌贼左耳石样本 114 枚,胴长范围 142~575 mm。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 耳石形态测量

耳石研磨前后分别置于 Nikon ZOOM645S 体式显微镜(物镜  $\times 0.8, \times 1, \times 2, \times 3, \times 4, \times 5$ ; 目镜  $\times 10$ ) $\times 50$  倍, Olympus 光学显微镜(物镜  $\times 4, \times 10, \times 40$ , 目镜  $\times 10$ ) $\times 40$  倍下采用 CCD 拍照,然后利用 WT-Tiger3000 专业图像分析软件,分别测量出耳石各形态参数值,具体包括耳石总长 TSL、最大宽度 MW、侧区长 LDL、背侧区长 DLL、吻侧区长 RLL、吻区游离端长 RL、吻区宽 RW、翼区长 WL、翼区宽 WW(图 1-a),以及耳石中心到吻区的长度(吻区长 FRL)、耳石中心到背区的长度(背区长 FDL)和耳石中心到上下侧区的长度长(上侧区长 FULL,下侧区长 FDLL)(图 1-b)。

#### 1.2.2 数据处理方法

利用 DPS3.01 统计软件对 13 个耳石形态参数进行主成分分析,得出 6 个综合性指标,即互不关联的 4 个主成分。

分析耳石各比值(主要形态参数值与胴长之比)与胴长关系,以及利用幂函数模型来拟合耳石形态特征参数值与胴长的关系。

## 2 结果

### 2.1 形态特征

观测发现,鸢乌贼耳石具有典型的背区、侧区、吻区和翼区结构,背区小、侧区和翼区宽大,吻区长窄(图 2)。样本中,各形态参数值分别为:TSL 为 960~1 878  $\mu\text{m}$ , MW 为 545~1 159  $\mu\text{m}$ , LDL 为 597~1 101  $\mu\text{m}$ , DLL 为 441~1 133  $\mu\text{m}$ , RLL 为 734~1 344  $\mu\text{m}$ , RL 为 359~728  $\mu\text{m}$ , RW 为 152~580  $\mu\text{m}$ , WL 为 707~1 456  $\mu\text{m}$ , WW 为 283~798  $\mu\text{m}$ , FDL 为 432~793  $\mu\text{m}$ , FRL 为 510~924  $\mu\text{m}$ , FULL 为

148 ~ 306  $\mu\text{m}$ ,FDLL 为 126 ~ 311  $\mu\text{m}$ (图 1)。

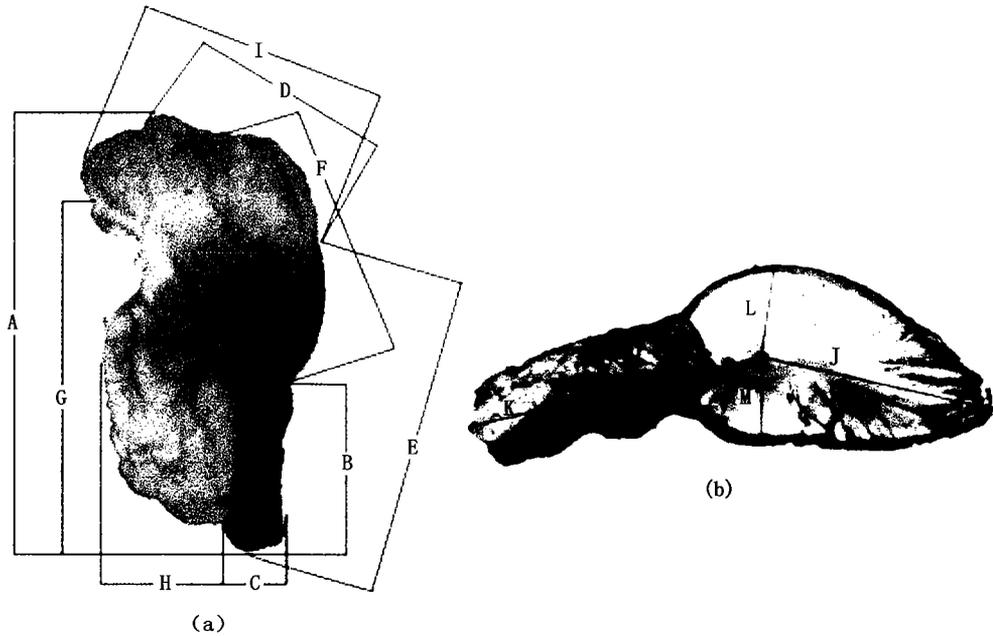


图 1 耳石形态参数示意图(a. 体式显微镜下  $\times 50$ ;b. 光学显微镜下  $\times 40$ )

Fig.1 Scheme of morphometric measurements of statolith(a. under diploid microscope  $\times 50$ ; b. under optical microscope  $\times 40$ )  
注: A-TSL;B- RL;C- RW;D-DLL;E-RLL;F- LDL;G- WL;H- WW;I- MW;J-FDL;K-FRL;L-FULL;M-FDLL

对上述 13 个形态参数进行主成分分析(表 1),结果显示第一、第二、第三、第四、第五和第六主成分解释形态参数的贡献率分别为 59.45%、10.59%、6.91%、5.43%、4.34% 和 3.34%,累计约为 90%。第一主成分中,各形态参数负载系数较大,均在 0.2 以上。

### 2.2 耳石生长

#### 2.2.1 耳石相对尺寸变化

分析发现,当个体胴长小于 200 mm 时,TSL、MW、LDL、DLL、RLL 和 WL 值与胴长的比值随个体大小变化不明显(图 3)。随着鸢乌贼个体的不断增大,各比值总体呈现下降趋势,并一致持续到胴长 500 mm(图 3)。胴长大于 500 mm,各比值出现不同的变化趋势(图 3)。总的来看,从幼体到成体,耳石相对尺寸(各特征值与胴长之比)随着个体增大而减少,分别由胴长 150 mm 时的 6.76‰、3.84‰、4.31‰、3.12‰、5.17‰、5.19‰下将到胴长 600 mm 时的 3.18‰、1.96‰、1.44‰、1.75‰、1.74‰、2.28‰(图 3)。

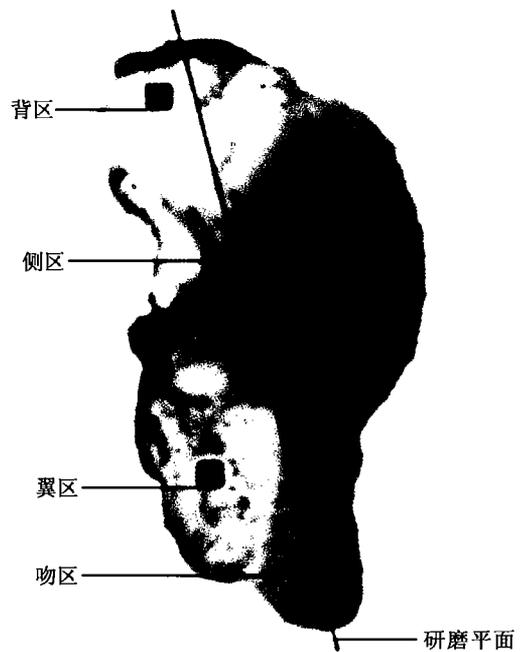


图 2 耳石各区分布示意图(体式显微镜下  $\times 50$ )  
Fig.2 Scheme of each dome of statolith (under diploid microscope  $\times 50$ )

表 1 鳶乌贼耳石 13 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 13 morphometric measurements of purple flying squid statolith

形态参数值 ( $\mu\text{m}$ )	主成分					
	1	2	3	4	5	6
TSL	0.347 92	0.049 04	0.092 00	-0.020 33	-0.049 05	-0.068 16
MW	0.321 81	-0.237 67	-0.082 07	0.064 23	-0.049 55	-0.214 50
LDL	0.292 99	0.105 93	-0.131 33	-0.448 53	0.181 86	0.230 13
DLL	0.305 82	-0.318 10	0.067 88	0.206 83	-0.049 69	-0.217 16
RLL	0.289 04	0.442 72	-0.017 24	-0.266 92	0.111 83	0.073 61
WL	0.207 03	0.612 47	0.073 17	-0.040 76	-0.068 40	-0.119 96
FULL	0.252 07	-0.215 86	0.339 44	-0.386 40	0.049 03	-0.536 42
FDL	0.320 58	0.051 56	-0.020 73	0.157 89	-0.037 68	-0.153 91
RW	0.209 28	0.174 87	-0.672 58	0.339 76	-0.232 53	-0.200 47
FDLL	0.275 82	-0.265 89	-0.115 63	-0.195 69	-0.083 30	0.547 34
WW	0.205 82	0.200 12	0.602 01	0.510 85	-0.090 35	0.273 95
RL	0.280 35	-0.220 87	0.002 87	-0.034 53	-0.476 53	0.295 03
FRL	0.249 94	-0.134 99	-0.116 11	0.297 45	0.801 45	0.126 98
贡献率	59.45%	10.59%	6.91%	5.43%	4.34%	3.34%

### 2.2.2 主要形态特征参数值与胴长的关系

TSL、MW、LDL、DLL、RLL 和 WL 与胴长之间呈幂函数关系 ( $P < 0.05$ ), 其关系式分别如下:

$$\text{TSL} = 244.15 \times \text{ML}^{0.314} (R^2 = 0.7329, n = 114)$$

(图 4-A)

$$\text{MW} = 105.09 \times \text{ML}^{0.363} (R^2 = 0.6572, n = 114)$$

(图 4-B)

$$\text{LDL} = 150.18 \times \text{ML}^{0.300} (R^2 = 0.5427, n = 114)$$

(图 4-C)

$$\text{DLL} = 74.86 \times \text{ML}^{0.403} (R^2 = 0.5758, n = 114)$$

(图 4-D)

$$\text{RLL} = 239.29 \times \text{ML}^{0.250} (R^2 = 0.5037, n = 114)$$

(图 4-E)

$$\text{WL} = 166.86 \times \text{ML}^{0.329} (R^2 = 0.6189, n = 114)$$

式中: TSL、MW、LDL、DLL、RLL、WL 分别为耳石总长、最大宽度、侧区长、背侧区长、吻侧区长、翼区长, 单位  $\mu\text{m}$ ; ML 为胴长 (mm)。

### 2.2.3 耳石各区长度与其总长之比与胴长的关系

由图 5 可看出, 尽管样本胴长逐渐增加, 但其 DLL、LDL、RLL、WL 与 TSL 的比值分别维持在 42%、57%、49%、75% 左右, 耳石各区的总体形态基本维持不变。

## 3 讨论

鳶乌贼与其它柔鱼科种类一样, 生长早期耳石结构简单, 呈水滴状, 背区和侧区较大但分割不明显, 而吻区小, 翼区尚未形成; 随着个体生长, 各区也不断形成; 成体具有典型的背区、侧区、吻区和翼区结构, 背区小、吻区长窄、侧区和翼区宽大。

耳石形态特征是反映柔鱼类栖息水层的重要信息, 底层生活种类耳石尺寸大、吻区前端平短、翼区窄; 上层生活种类的耳石尺寸小、吻区前端长窄、翼区宽<sup>[13-15]</sup>。鳶乌贼属于上层水域生活的种类, 具有长窄的吻区和宽大的翼区。

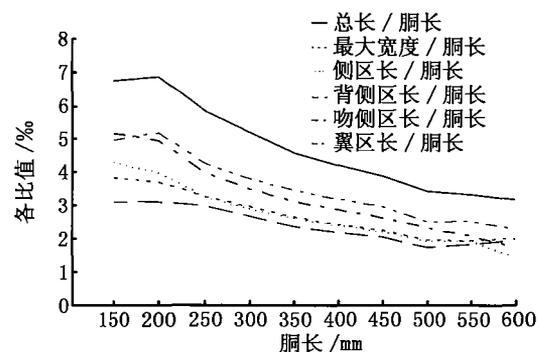


图 3 各参数比值与胴长关系

Fig. 3 Relationships between ratio of main parameters and mantle length

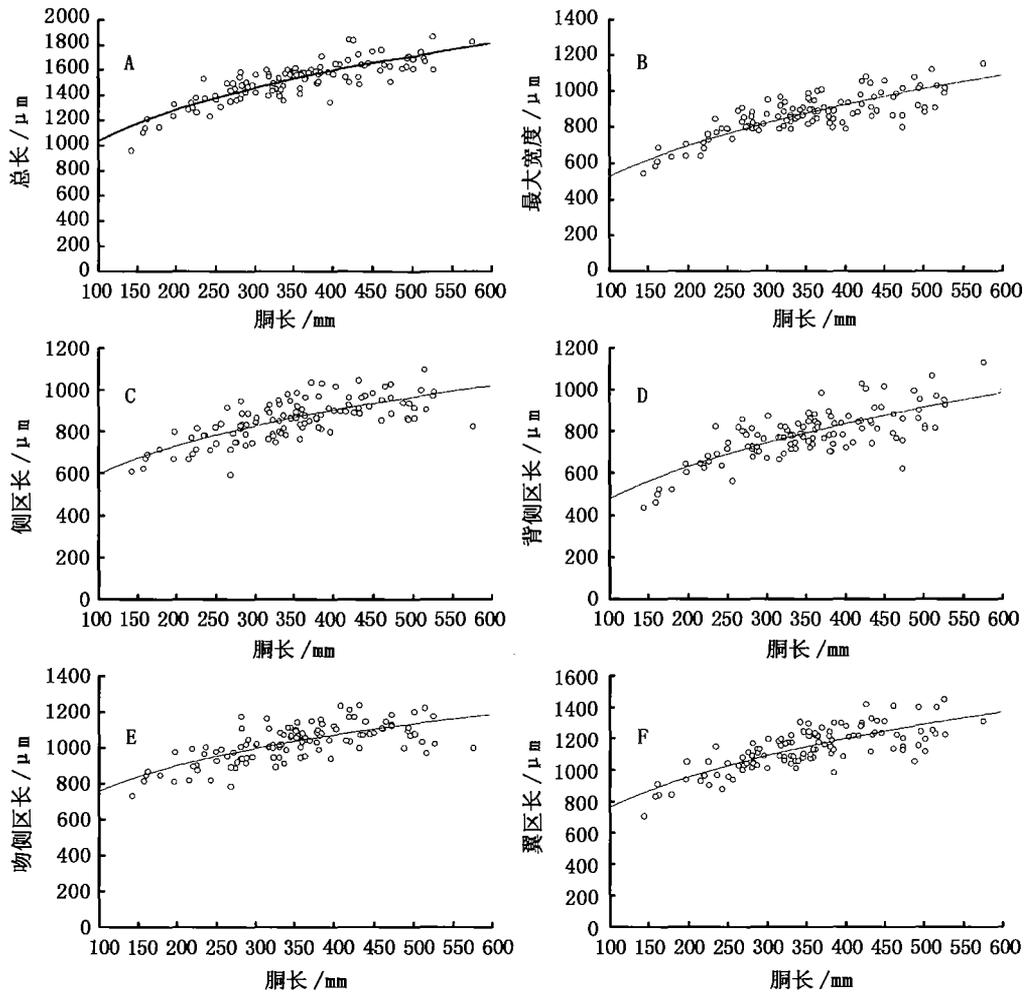


图4 主要形态参数值与胴长关系

Fig.4 Relationships between main parameters value and mantle length

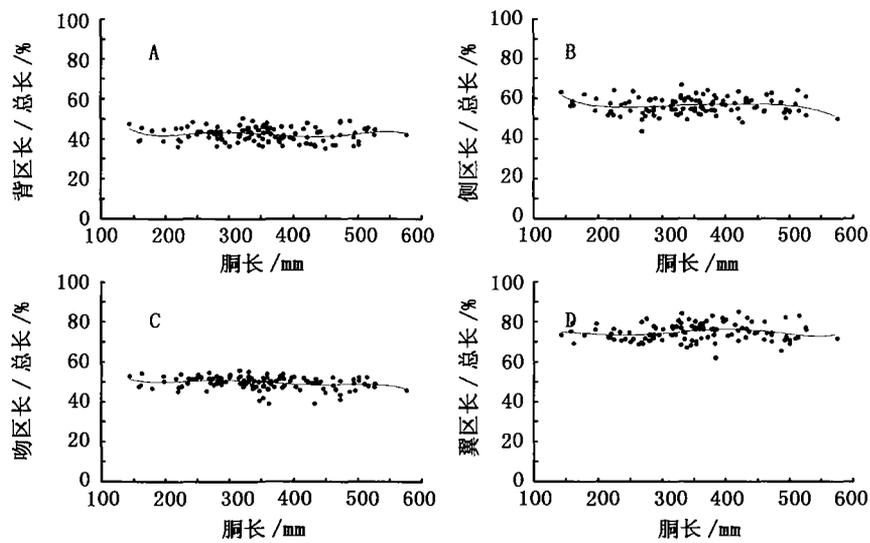


图5 相对耳石总长的耳石各区长度与胴长关系

Fig.5 Relationships between relative length of each dome in respect to the total statolith length and mantle length

鸢乌贼耳石主要形态参数(TSL、MW、LDL、DLL、RLL和WL)与胴长呈明显的幂函数关系,Unai<sup>[16]</sup>对茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)的研究也有同样的结果。在个体发育过程中,随着胴长不断增加,鸢乌贼耳石绝对尺寸逐渐增大,相对尺寸却逐渐减小,这一变化特点可能与耳石调节头足类淋巴液流动和检测游泳加速度有关<sup>[17]</sup>。

鸢乌贼各区长与耳石总长之比基本保持不变,说明耳石生长较均匀,无明显的滞后和快速生长期。Arkhipkin和Bjørke<sup>[18]</sup>研究鸢乌贼科的鸢乌贼(*Gonatus fabricii*)耳石发现,相对于耳石总长的背区、侧区和翼区长度分别维持52%、36%和52%,而鸢乌贼相应值为42%、57%和75%,两者形态结构存在很大差异,因此耳石形态特征在科水平的分类上具有一定意义。

本研究样本采集的方法为钓捕作业,因此难以钓获胴长小于150 mm的个体,需要在以后的研究中加以补充和完善。

### 参考文献:

- [1] 王尧耕,陈新军. 世界大源性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京:海洋出版社,2005:284-295.
- [2] 叶旭昌,陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼生物学特性初步研究[J]. 上海水产大学学报,2004,13(4):316-322.
- [3] 田思泉,钱卫国,陈新军. 印度洋西北部海域鸢乌贼渔获量、渔获率和脱钩率的初步研究[J]. 上海水产大学学报,2004,13(3):224-229.
- [4] 陈新军,钱卫国. 印度洋西北部海域鸢乌贼资源密度分布的初步分析[J]. 上海水产大学学报,2004,13(3):218-223.
- [5] Arkhipkin A I. Statolith as 'balck boxes' (life recorders) in squid[J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56:573-583.
- [6] Radtke R L. Chemical and structural characteristics of statoliths from the short-finned squid *Illex illecebrosus*[J]. Mar Biol, 1983, 76:47-54.
- [7] Clarke M R, Maddock L. Statolith from living species of Cephalopods and Evolution[C]// The Mollusca, paleontology and Neontology of Cephalopods (Clarke M R, Trueman E R, eds) Academic Press, San Diego, 1988:169-184.
- [8] Suzuki T, Yamamoto S, Ishii K, et al. On the flying Squid *Stenoteuthis oualaniensis* (Lesson) in Hawaiian waters[J]. Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 1986,37(2):111-123.
- [9] Bigelow K. Age and growth of three species of squid paralarvae from Hawaiian waters, as determined by statolith microstructures[R]. M. S. Thesis, Univ of Hawaii, 1991,78.
- [10] Arkhipkin A I, Loktionov Y A, Shchetinnikov A S. Environmental conditions of the formation of mesoscale concentrations of *Sthenoteuthis pteropus* in the western part of the Guinean Bay[J]. Okeanologiã,1988, 28(1):140-145 (in Russian).
- [11] Arkhipkin A, Mikheev A. Age and growth of the squid *Sthenoteuthis pteropus* (Oegopsida: Ommastrephidae) from the central-east Atlantic [J]. J Exp Mar Biol Ecol,1992, 163: 261-276.
- [12] Laptikhovskiy V V, Arkhipkin A I, Golub A A. Larval age, growth and mortality in the oceanic squid *Sthenoteuthis pteropus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) from the eastern tropical Atlantic[J]. J Plankton Res, 1993,15: 375-384.
- [13] Clarke M R. The cephalopod statolith-an introduction to its form [J]. J Mar Biol Assoc UK, 1978, 58: 701-712.
- [14] Arkhipkin A I, Bizikov V A. Statolith in accelerometers of squid and cuttlefish[J]. Ruthenica, 1998, 8: 81-84.
- [15] Arkhipkin A I. Towards identification of the ecological life style in nektonic squids using statolith morphometry [J]. The Journal of Molluscan Studies, 2003,(69): 171-178.
- [16] Unai M, Casimiro Q V, Oscar S N. Age, growth and maturation of jumbo flying squid (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of Californian, Mexico[J]. Fisheries Research, 2004, 66: 31-47.
- [17] Hanlon R T, Messenger J B. Cephalopod behavior[M]. Cambridge University Press, Cambridge. 1996: 1-248.
- [18] Arkhipkin A I, Bjørke H. Statolith shape and microstructure as indicators of ontogenetic shifts in the squid *Gonatus fabricii* (Oegopsida, Gonatidae) from the Norwegian sea[J]. Pol Biol, 2000, 23: 1-10.