

性成熟和个体大小对西北太平洋柔鱼耳石形态的影响

陈新军^{1,2,3*}, 马金¹, 刘必林^{1,2,3}, 陆化杰¹, 李思亮¹, 曹杰¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学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2007年7-10月我国鱿钓船在西北太平洋海域连续采集的柔鱼样本,以耳石最大宽度(MW)与其总长(TSL)之比作为耳石形态变化的指标,利用方差分析和最小显著差法分析了性成熟和个体大小对耳石形态的影响。结果表明,耳石的生长持续出现在柔鱼的整个生命周期,性成熟度为I期与II~V期之间的个体,其耳石MW/TSL皆存在显著差异($P < 0.05$),而性成熟度为II~V期的个体,它们之间的MW/TSL无显著差异($P > 0.05$),说明性成熟度I期后的个体,其耳石形态不随性成熟度的增加而变化;胴长为200~280 mm的4个胴长组,耳石MW/TSL大多与其它组存在显著差异($P < 0.05$),而个体大于280 mm的各组间,其耳石MW/TSL无显著差异($P > 0.05$),说明胴长大于280 mm后的个体,其耳石形态不随胴长的增大而变化。性成熟度I期和胴长范围200~280 mm对耳石形态影响一致,这一时期与柔鱼开始进入亚北极海域(42~46°N)进行索饵洄游的时间相对应,柔鱼耳石的MW/TSL可以作为表征其性成熟和早期生长变化的有效指标。

关键词: 柔鱼; 耳石形态; 耳石最大宽度与耳石总长之比; 性成熟; 胴长组; 西北太平洋

中图分类号: S 917.4

文献标识码: A

头足类的耳石位于其头部的平衡囊中,通常具有复杂的背区(dorsal dome)、侧区(lateral dome)、吻区(rostrum)和翼区(wing)结构^[1],但不同种类之间耳石形态特征不同^[2]。耳石作为头足类生态信息的良好载体,具有信息输入稳定和输入信息储存良好的特点^[3],头足类耳石形态特征的差异及其具备轮纹结构是起初众多生物学者对其感兴趣的主要原因,因此,耳石微结构在头足类的种群鉴别^[4]、年龄鉴定和生长周期估算^[5-6]等生物学研究方面得到了较好的应用。近年来,耳石微化学的研究逐渐兴起,耳石微量元素在头足类生活史推算^[7-8]的研究中也得到了初步应用。作为耳石研究的重要研究内容之一^[9],耳石的形态特征是种群鉴别的一种手段,也是基于耳石微结构的头足类年龄和生长的研究基础,不同生活阶段,头足类耳石的形态存在差别,形态特

征的改变往往与头足类生活环境的转变相对应^[10]。柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)是我国远洋渔业重要的捕捞对象^[11],广泛分布在北太平洋海域,其生命周期小于1年^[6],在副热带的产卵场和亚北极海域的索饵场之间进行一年一次的南北向洄游,生命周期中经历多个生活阶段。本文根据2007年7-10月我国鱿钓船在西北太平洋海域连续采集的柔鱼样本,对其耳石形态进行观测与分析,旨在探究柔鱼耳石形态变化规律,推测耳石形态变化与柔鱼生活环境变化之间的关系,为柔鱼种群结构、年龄生长等生物学的进一步研究打下基础。

1 材料与方 法

1.1 材料来源

柔鱼样本取自沪金渔701船于2007年7-10

收稿日期:2009-11-15 修回日期:2010-03-01

资助项目:国家自然科学基金项目(NSFC40876090);上海市曙光跟踪计划(08GG14);上海市优秀学科带头人计划(10XD1402000);上海市捕捞学重点学科(S03702)

通讯作者:陈新军, Tel:021-61900306, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

月在西北太平洋生产期间渔获,采集海域为 $151^{\circ}07' \sim 157^{\circ}36'E, 40^{\circ}06' \sim 44^{\circ}24'N$ 。样本采集时,从每个站点渔获中随机抽取柔鱼 15 尾,获得的样本经冷冻保藏运回实验室。

1.2 研究方法

生物学测定及耳石提取 实验室解冻后对柔鱼进行生物学测定,包括胴长(mantle length, ML)、性别、性成熟度等。ML 测定精确至 1 mm,参考 Ehrhardt 等^[12]将性成熟度划分 I、II、III、IV、V 5 期。

从头部平衡囊提取耳石,得到完整耳石样本 1 050 对,其中雌 517 对、雄 533 对,ML 范围分别为 200 ~ 395 mm 和 200 ~ 353 mm。

耳石形态测量 将耳石凸面向上置于 Nikon ZOOM645S 体式显微镜(物镜 $0.8 \times, 1 \times, 2 \times, 3 \times, 4 \times, 5 \times$;目镜 $10 \times$)50 倍下采用 CCD 拍照,然后利用 YR-MV1.0 显微图像测量软件对耳石总长(total statolith length, TSL)、最大宽度(maximum width, MW)(图 1)进行测量,测量结果精确至 $0.1 \mu\text{m}$ 。

数据处理方法 (1) 计算各样本耳石 MW 与 TSL 之比,以此比值代表耳石形态的变化。

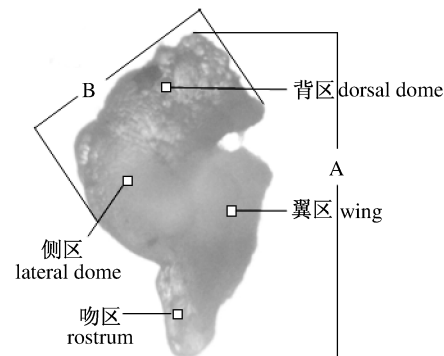


图 1 耳石各区分布及形态参数示意图

A: 耳石总长 TSL; B: 耳石最大宽度 MW。

Fig. 1 Scheme of each dome and morphometric measurements of statolith for *O. bartramii*

A. total statolith length; B. maximum width.

(2) 样本中,雌性个体的性成熟度为 I ~ V 期(表 1),雄性个体为 I ~ IV 期,缺少 V 期样本(表 2)。鉴于以 10 mm 为组距进行 ML 组划分时,个别 ML 组无样本,缺乏连续性,因此,本文以 20 mm 为组距进行不同个体大小间耳石 MW/TSL 的比较,雌性个体分为 10 个 ML 组(表 1),雄性个体分为 8 个 ML 组(表 2)。

表 1 雌性个体各性成熟时期、各胴长组下样本数

Tab. 1 Sample number of female *O. bartramii* in different sexual maturity stages and mantle length groups

性成熟度 maturity stage	胴长组 (mm) mantle length group										合计 total
	200 ~ 220	220 ~ 240	240 ~ 260	260 ~ 280	280 ~ 300	300 ~ 320	320 ~ 340	340 ~ 360	360 ~ 380	380 ~ 395	
I 期 stage I	11	18	79	101	40	1	1	1	-	-	252
II 期 stage II	-	3	13	42	50	25	20	2	2	-	157
III 期 stage III	-	-	1	2	6	15	15	16	4	3	62
IV 期 stage IV	-	-	-	-	1	4	1	2	-	2	10
V 期 stage V	-	-	-	-	-	-	9	15	9	3	36
合计 sum	11	21	93	145	97	45	46	36	15	8	517

表 2 雄性个体各性成熟时期、各胴长组下样本数

Tab. 2 Sample number of male *O. bartramii* in different sexual maturity stages and mantle length groups

性成熟度 maturity stage	胴长组 (mm) mantle length group								合计 total
	200 ~ 220	220 ~ 240	240 ~ 260	260 ~ 280	280 ~ 300	300 ~ 320	320 ~ 340	340 ~ 353	
I 期 stage I	5	41	124	73	6	2	-	-	251
II 期 stage II	1	2	19	43	40	5	-	-	110
III 期 stage III	-	-	4	14	50	31	10	-	109
IV 期 stage IV	-	-	-	1	9	25	22	6	63
合计 total	6	43	147	131	105	63	32	6	533

(3) 首先采用单因子方差分析分雌雄个体对不同性成熟度和个体大小(ML)的耳石 MW/TSL

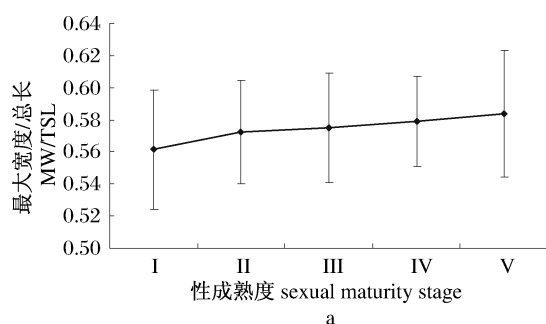
进行差异性比较,如果存在显著差异,则用多个样本均数间的多重比较方法(LSD 法)进行各组间

的多重比较^[13],进而分析性成熟度和个体大小对耳石 MW/TSL 的影响。数据统计分析采用 SPSS 13.0 软件进行。

2 结果

2.1 耳石形态特征

观测发现,柔鱼耳石具有明显的吻区和翼区结构,背区和侧区界线不明显。在四个区域中,翼区宽大,侧区和背区次之,吻区长窄(图 1)。雌性样本中,TSL 范围为 1 203.5 ~ 1 692.4 μm ,MW 范围为 614 ~ 1 011.8 μm ;雄性样本中,TSL 范围为 1 175.6 ~ 1 681.7 μm ,MW 范围为 587.3 ~ 1 005.7 μm 。



2.2 不同性成熟度间耳石 MW/TSL 的比较

样本中,雌性个体的性成熟度为 I ~ V 期。方差分析结果显示: I ~ V 期 5 个不同性成熟时期之间,耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$)。利用 LSD 法对 I ~ V 期之间耳石 MW/TSL 进行多重比较,结果显示:性成熟 II ~ V 期与 I 期之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$),而 II ~ V 各期之间耳石 MW/TSL 无显著差异 ($P > 0.05$)。各性成熟时期,耳石 MW/TSL 均值变化如图 2-a 所示。

性成熟度 I ~ V 期,各期 TSL、MW 均值随性成熟度等级增大而增加(图 2-b),I 期 TSL、MW 均值与其它 4 期之间差异显著 (t 检验, $P < 0.05$)。

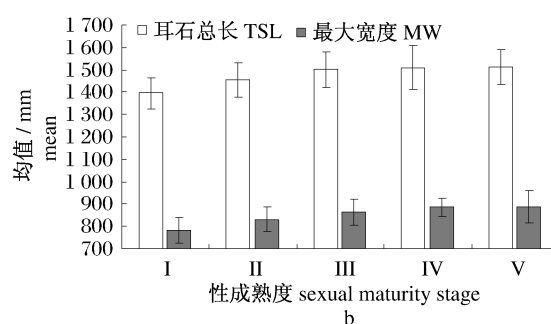


图 2 柔鱼雌性个体不同性成熟度 TSL、MW 及 MW/TSL 均值变化

Fig. 2 Mean value of TSL, MW and MW/TSL of female *O. bartramii* in different sexual maturity stages

样本中,雄性个体的性成熟度为 I ~ IV 期,缺少 V 期样本。方差分析结果显示: I ~ IV 期 4 个不同性成熟时期之间,耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$)。利用 LSD 法对 I ~ IV 期之间耳石 MW/TSL 进行多重比较,结果显示:性成熟 II、III、IV 期与 I 期之间耳石 MW/TSL 存在显著差异

($P < 0.05$),而 II、III、IV 各期之间耳石 MW/TSL 无显著差异 ($P > 0.05$)。各性成熟时期,耳石 MW/TSL 均值变化如图 3-a 所示。

性成熟度 I ~ IV 期,各期 TSL、MW 均值随性成熟度等级增大而增加(图 3-b),I 期 TSL、MW 均值与其它 3 期之间差异显著 (t 检验, $P < 0.05$)。

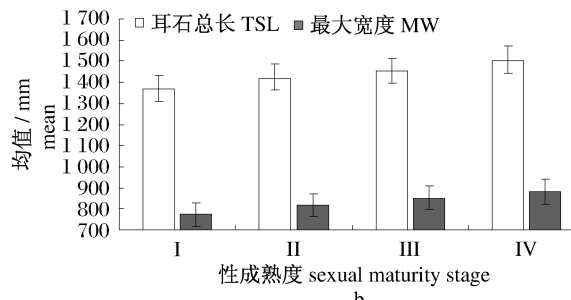
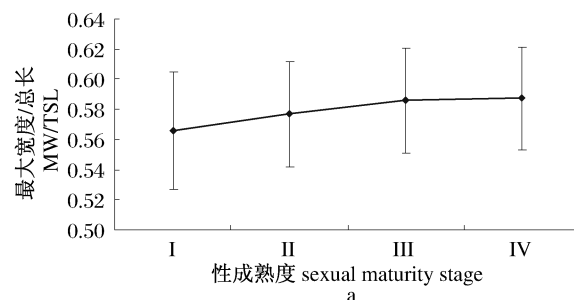


图 3 柔鱼雄性个体不同性成熟度 TSL、MW 及 MW/TSL 均值变化

Fig. 3 Mean value of TSL, MW and MW/TSL of male *O. bartramii* in different sexual maturity stages

2.3 不同个体大小间耳石 MW/TSL 的比较

样本中,雌性个体 ML 范围为 200 ~ 395 mm,

分为 10 组。对 10 组 ML 组个体耳石 MW/TSL 进行方差分析,结果显示:不同 ML 组间 MW/

TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$)。利用 LSD 法对 10 组 ML 组之间耳石 MW/TSL 进行多重比较,结果显示:200 ~ 220 mm ML 组与其余 9 组之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 220 ~ 240 mm 与 320 ~ 340 mm、380 ~ 395 mm 之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 240 ~ 260 mm 与 280 ~ 300 mm、300 ~ 320 mm、320 ~ 340 mm、360 ~ 380 mm、380 ~ 395 mm 之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 260 ~ 280 mm 与 320 ~ 340 mm 之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), ML 大于 280 mm 的各组间耳石 MW/TSL 无显著差异 ($P > 0.05$)。各 ML 组,耳石 MW/TSL 均值变化如图 4-a 所示。

雌性个体,从 200 ~ 220 mm 至 380 ~ 395 mm 的 10 个 ML 组序列,耳石 TSL、MW 均值逐渐增大(图 4-b);不同 ML 组间,耳石 TSL、MW 均值差异显著 ($P < 0.05$)。

样本中,雄性个体 ML 范围为 200 ~ 353 mm,

分为 8 组。对 8 组 ML 组个体耳石 MW/TSL 进行方差分析,结果显示:不同 ML 组间 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$)。利用 LSD 法对 8 组 ML 组之间耳石 MW/TSL 进行多重比较,结果显示:200 ~ 220 mm 与 ML 大于 260 mm 的 5 组 ML 组序列之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 220 ~ 240 mm 与 ML 大于 240 mm 的 6 组 ML 组序列之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 240 ~ 260 mm 与 280 ~ 300 mm、300 ~ 320 mm 之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), 260 ~ 280 mm 与 300 ~ 320 mm 之间耳石 MW/TSL 存在显著差异 ($P < 0.05$), ML 大于 280 mm 的各组间耳石 MW/TSL 无显著差异 ($P > 0.05$)。各 ML 组,耳石 MW/TSL 均值变化如图 5-a 所示。

雄性个体,200 ~ 220 mm 至 340 ~ 353 mm 的 8 个 ML 组序列,耳石 TSL、MW 均值逐渐增大(图 5-b);不同 ML 组间,耳石 TSL、MW 均值差异显著 ($P < 0.05$)。

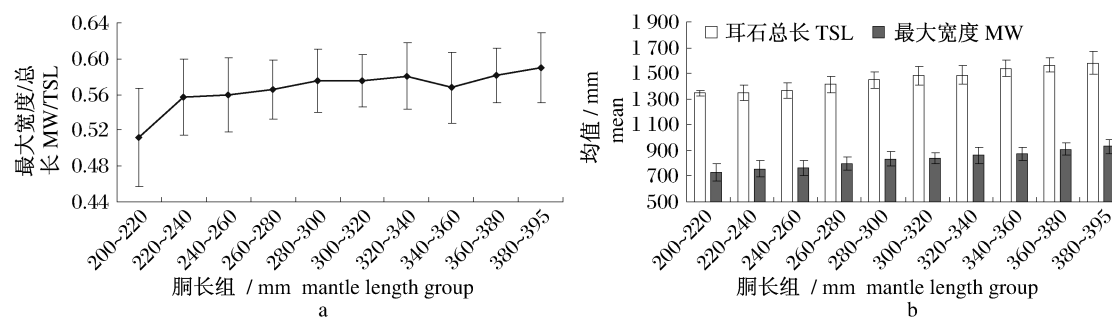


图 4 柔鱼雌性个体不同胴长组 TSL、MW 及 MW/TSL 均值变化

Fig. 4 Mean value of TSL, MW and MW/TSL female of *O. bartramii* in different mantle length groups

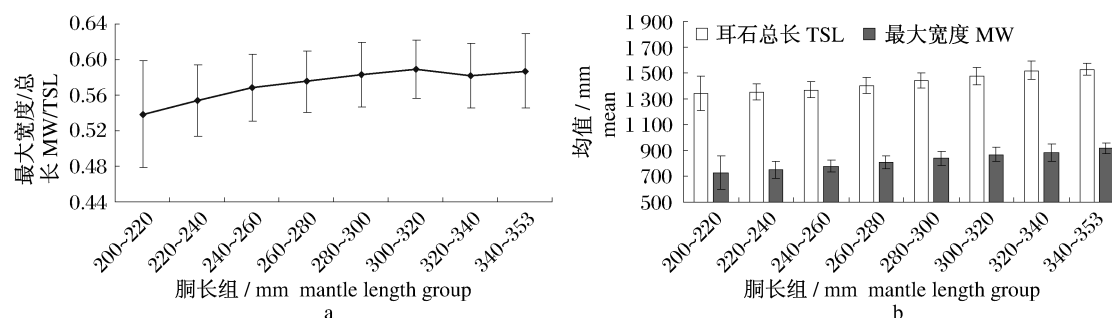


图 5 柔鱼雄性个体不同胴长组 TSL、MW 及 MW/TSL 均值变化

Fig. 5 Mean value of TSL, MW and MW/TSL of male *O. bartramii* in different mantle length groups

3 讨论

头足类耳石外部形态最初呈水滴状,随着耳

石的生长,逐渐形成具有背区、侧区、吻区和翼区的完整结构^[10],耳石生长过程受温度^[14-15]、盐度^[7]和食物条件^[16]的影响,不同性成熟阶段和

ML 范围下,耳石的生长和形态也不同。柔鱼雌雄个体,从性未成熟至性成熟时期,ML 组从小到大,其耳石的 TSL、MW 均值逐渐增大,说明耳石的生长持续柔鱼整个生命周期。

研究认为,西北太平洋柔鱼耳石形态特征与性成熟度相关。雌性个体,II~V 期 4 个不同性成熟时期之间,耳石 MW/TSL 无显著差异($P > 0.05$),而 II、III、IV、V 与 I 期之间,耳石 MW/TSL 存在显著差异($P < 0.05$),说明在性成熟 I 期后,耳石的形态不随性成熟度的增加而变化;雄性个体(样本中无 V 期),II、III、IV 期 3 个不同性成熟时期之间,耳石 MW/TSL 无显著差异($P > 0.05$),而 II、III、IV 与 I 期之间,耳石 MW/TSL 存在显著差异($P < 0.05$),说明在性成熟 I 期后,耳石的形态不随性成熟度的增加而变化。因此,我们认为柔鱼在性成熟度 I 期以后,其耳石是均匀生长的。有研究认为,头足类的早期生活阶段占据了其生命周期相对较长的一部分时间^[17],此阶段很小的海水温度变化就能给头足类的初期生长带来很大影响^[18],而耳石的生长受温度等环境条件的影响,这或许是性成熟 I 期与其它性成熟时期之间耳石形态存在差异的原因。

雌雄个体在不同 ML 组(20 mm 组距)下,其耳石形态也不同。研究结果显示:小于 280 mm 的 4 个 ML 组在耳石 MW/TSL 上多与其他组存在差异($P < 0.05$),而 ML 大于 280 mm 的各组间耳石 MW/TSL 无显著差异($P > 0.05$),这说明 ML 大于 280 mm 的柔鱼个体,其耳石的形态不随 ML 的增大而变化。已有相关研究得出类似结论,Arkhipkin 等^[10]研究发现,贻乌贼

(*Gonatus fabricii*) 耳石的生长可分为两个阶段:内壳长(pen length, PL)小于 50mm 时,耳石生长很快,PL 大于 50 mm 后耳石生长较慢,且耳石形状不再发生变化,他们认为这一现象与贻乌贼幼鱼生活在表层、成体生活中下水层的生物学特性对应。Yatsu 等^[6]分地理区域对柔鱼的年龄和生长进行了研究,得出采自 150~169 °E 的柔鱼雌雄个体 ML(mm) 和日龄(age, d)分别存在 $ML = 1.94age - 46.87$ 和 $ML = 1.05age + 76.73$ 的线性关系,根据这一结果,柔鱼雌雄个体 ML 为 200 mm 时的年龄分别为 127、117 d,ML 为 280 mm 时的年龄分别为 168、194 d,此阶段(孵化后 4~6 个月)柔鱼开始进入亚北极海域(42~46 °N)进行索饵洄游^[6,19],此前柔鱼从低纬度的产卵场(春冬生群:21~30 °N,秋生群:29~34 °N)^[19]向北洄游至高纬度的索饵场(亚北极海域)经历的海水温度变化或许是柔鱼 ML 280 mm 前后耳石形态存在显著差异的原因,因此推测柔鱼 ML 范围 200~280 mm 或可作为其生活阶段发生转变的一个外在标志。

分析发现,ML 小于 280mm 的雌雄个体样本中,性成熟度主要为 I 期(图 6),约占各组样本数的 70% 以上(图 6-a),雄性个体也达到 63%(图 6-b)。而 ML 大于 280mm 的雌雄个体样本中, I 期个体很少,性成熟度主要为 II~V 期(图 6)。因此,我们推测性成熟度 I 期的柔鱼主要为 ML 小于 280 mm 的个体,不同成熟度和不同个体大小对耳石形态的影响是一致的。

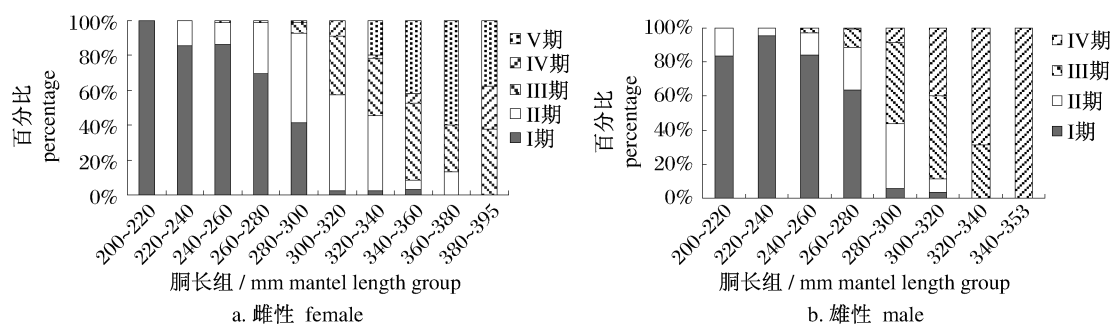


图 6 不同胴长组下性成熟度百分比组成

Fig. 6 Percentage of each sexual maturity stage in different mantle length groups

本文以 MW/TSL 作为柔鱼耳石形态变化的指标,得出了耳石形态变化的规律:性未成熟

(ML 小于 280 mm) 的柔鱼,其耳石尚未形成固定的形态,耳石生长更容易受到温度等环境条件的

影响,尔后耳石形态则不随性成熟度的增加和 ML 的增大而变化。在头足类耳石、角质颚等硬组织的形态学研究方面,传统的形态测量法^[4,10,20-21]、角度法^[22]是较为常用的研究方法。随着统计分析方法的发展,地标点法^[23-24]被逐渐应用在头足类硬组织的形态学研究当中,这是今后此类研究的主要方向。

参考文献:

- [1] 陈新军,刘必林,钟俊生. 头足类年龄与生长特性的研究方法进展[J]. 大连水产学院学报,2006,21(4):371-377.
- [2] Clarke M R, Maddock L. Statolith from living species of Cephalopods and Evolution [M] // Wilbur K M eds. The Mollusca, 12; paleontology and Neontology of Cephalopods. San Diego: Academic Press, 1988: 169-184.
- [3] 肖述,郑小东,王如才,等. 头足类耳石轮纹研究进展[J]. 中国水产科学,2003,10(1):73-76.
- [4] 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.
- [5] Yatsu A, Mori J. Early growth of the autumn cohort of neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the North Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 2000, 45:189-194.
- [6] Yatsu A, Midorikawa S, Shimada T, et al. Age and growth of the neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the North Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 1997, 29:257-270.
- [7] Zumholz K, Hansteen T H, Piatkowski U, et al. Influence of temperature and salinity on the trace element incorporation into statoliths of the common cuttlefish (*Sepia officinalis*) [J]. Marine Biology, 2007, 151:1321-1330.
- [8] Arkhipkin A I. Statolith as 'black boxes' (life recorders) in squid [J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56(5):573-583.
- [9] 马金,陈新军,刘必林,等. 环境对头足类耳石微结构的影响研究进展[J]. 上海海洋大学学报,2009, 18(5):616-622.
- [10] Arkhipkin A I, Bjorke H. Statolith shape and microstructure as indicators of ontogenetic shifts in the squid *Gonatus fabricii* (Oegopsida, Gonatidae) from the Norwegian sea [J]. Polar Biology, 2000, 23:1-10.
- [11] 王尧耕,陈新军. 世界大多样性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京:海洋出版社,2005:124-137.
- [12] Ehrhardt N M, Jacquemin P, Garcia F, et al. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico [R]. FAO. Advances in Assessment of World Cephalopod Resources. Rome: FAO Fisheries Technical Paper NO. 231, 1983:306-320.
- [13] 张熙,张晋昕. 多个样本均数间的两两比较[J]. 循证医学,2008,(3):167-176.
- [14] Villanueva R. Effect of temperature on statolith growth of the European squid *Loligo vulgaris* during early life [J]. Marine Biology, 2000, 136(3): 449-460.
- [15] Durholtz M D, Lipinski M R. Influence of temperature on the microstructure of statoliths of the thumbstall squid *Lolliguncula brevis* [J]. Marine Biology, 2000, 136(6):1029-1037.
- [16] Zumholz K, Hansteen T H, Klugel A, et al. Food effects on statolith composition of the common cuttlefish (*Sepia officinalis*) [J]. Marine Biology, 2006, 150(2):237-244.
- [17] Sakai M, Brunetti N, Ivanovic M, et al. Interpretation of statolith microstructure in reared hatchling paralarvae of the squid *Illex argentine* [J]. Marine and Freshwater Research, 2004, 55(1):403-413.
- [18] Forsythe J W. A worlding hypothesis of how seasonal temperature change may impact the field growth of young cephalopods [C] // Okutani T, O'Dor R K, Kubodera T. Recent advances in Cephalopod Fisheries Biology. Tokyo: Tokai University Press, 1993:133-143.
- [19] Bower J R, Ichii T. The red flying squid (*Ommastrephes bartramii*): a review of recent research and the fishery in Japan [J]. Fisheries Research, 2005, 76(1):39-55.
- [20] 刘必林,陈新军,钟俊生. 印度洋西北海域鸢乌贼耳石的形态特征分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(5):604-609.
- [21] 马金,陈新军,刘必林,等. 西北太平洋柔鱼耳石形态特征分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(2): 215-220.
- [22] Arkhipkin A I, Bizikov V A. Statolith shape and microstructure in studies of systematics, age and growth in planktonic paralarvae of gonatid squids (Cephalopoda, Oegopsida) from the western Bering Sea [J]. Journal of Plankton Research, 1997, 19(12):1993-2030.

- [23] 许嘉锦. *Octopus* 与 *Cistopus* 属章鱼口器地标点之几何形态测量学研究[D]. 台湾: 国立中山大学海洋生物研究所, 2003.
- [24] Koueta N, Andrade J P, Boletzky S V, et al. Morphometrics of hard structures in cuttlefish[J]. *Vie et Milieu-life and Environment*, 2006, 56(2): 121-127.

Effects of sexual maturity and body size on statolith shape of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean

CHEN Xin-jun^{1,2,3*}, MA Jin¹, LIU Bi-lin^{1,2,3}, LU Hua-jie¹, LI Si-liang¹, CAO Jie¹

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

2. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

Abstract: According to the samples of *Ommastrephes bartramii* collected by Chinese squid jigging vessels from July to October in 2007 in the Northwest Pacific Ocean, the ratio of statolith maximum width (MW) to total statolith length (TSL), as an indicator of shape change of statolith, was analyzed in different sexual maturity stages and individual sizes using the method of ANOVA and LSD. The results indicated that the statolith grew constantly in the entire life cycle of *O. bartramii*. MW/TSL values between sexual maturity stage I and II, III, IV, V showed significant differences, and MW/TSL values among sexual maturity stage II, III, IV and V showed no significant differences. We conclude that the statoliths of *O. bartramii* hardly change their shape after the sexual maturity stage I. Between the four groups whose mantle length were less than 280 mm and most other groups, MW/TSL values showed significant differences, and MW/TSL values among groups whose mantle length were more than 280 mm, showed no significant differences. We conclude that the statoliths of *O. bartramii* hardly change their shape after mantle length of 280 mm. Mantle length of 200 to 280 mm corresponds with sexual maturity stage I, and the period *O. bartramii* to with mantling length of 200 to 280 mm corresponds to the days for *O. bartramii* migrate into the sub-Arctic waters. MW/TSL might serve as a valid indicator of sexual maturity and early ontogenetic shifts for the squid *O. bartramii*.

Key words: *Ommastrephes bartramii*; statolith shape; the ratio of statolith maximum width to total statolith length; sexual maturity; mantle length group; the Northwest Pacific Ocean

Corresponding author: CHEN Xin-jun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn