

文章编号: 1674-5566(2014)06-0930-07

利用角质颚研究头足类的年龄与生长

刘必林^{1,2,3,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 方舟¹, 李建华^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国家远洋渔业工程技术研究中心, 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; 4. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 年龄与生长是渔业基础生物学研究的重要内容。体长频度法估算头足类的年龄并不可靠, 然而利用硬组织来研究头足类的年龄和生长是最为有效的方法之一。角质颚作为头足类少数硬组织之一, 具有结构稳定、耐腐蚀以及信息储存良好等特点而受到国内外学者的广泛关注。从角质颚的长度、角质颚生长纹的观察、初始纹的形成、生长纹周期性的证实以及日龄鉴定等方面综述了角质颚在头足类年龄和生长方面的研究进展。分析认为, 尽管角质颚在头足类的年龄与生长的研究中已取得一定的进展, 但是在利用生长纹鉴定年龄的方面还有所欠缺, 较为成功仅为真蛸 (*Octopus vulgaris*) 和玛雅蛸 (*O. maya*), 缺乏对其他头足类种类的研究, 需要在以后的研究过程中给予关注。

研究亮点: 本文首次全面系统地综述了角质颚在头足类年龄和生长方面的研究进展, 并在分析以往研究不足的基础上对角质颚的未来研究方向进行了展望。为我国学者在相关领域的研究提供了重要技术保障与理论基础。

关键词: 角质颚; 生长纹; 年龄; 生长; 头足类

中图分类号: S 931

文献标志码: A

年龄与生长的研究是头足类渔业生物学和生态学的重要研究内容。头足类的年龄与生长的研究方法可分为间接和直接两种^[1]。由于头足类具有生长快、产卵期长、种群结构复杂等特性, 致使利用其胴长或体重间接估算年龄不够准确^[2]。在所有的直接法中, 利用硬组织中的生长纹来鉴定头足类的年龄被认为是最有效的方法。过去几十年, 耳石被广泛用于头足类尤其是鱿鱼和乌贼类的年龄鉴定^[3-6]。近几年来, 角质颚越来越受到众多学者的关注^[7], 被认为是用来鉴定头足类尤其是章鱼的年龄最可靠的硬组织之一^[8-10], 且角质颚个体比耳石大, 具有容易提取、研磨方便等优点。为此, 本文将从角质颚的长度、生长纹的观察、初始纹的形成、生长纹周期性的证实以及日龄鉴定等方面, 回顾与分析角质颚在头足类年龄和生长方面的研究进展, 旨在为我

国头足类生物学研究提供参考。

1 角质颚长度的研究

1.1 长度的测量

头足类角质颚由上颚和下颚两部分组成, 上、下颚结构相似, 由喙部、翼部、侧壁、头盖和脊突等5个主要部分组成(图1)。主要长度参数有: 头盖长(hood length, HL), 即为喙顶端至头盖后缘末端长; 脊突长(crest length, CL), 即为喙顶端至脊突后缘末端长; 喙长(rostrum length, RL), 即为喙顶端至颚角末端长; 侧壁长(lateral wall length, LWL), 即为喙顶端至侧壁后缘末端长; 翼长(wing length, WL), 即为颚角至翼部前缘末端长(图1)。

1.2 利用角质颚长度研究头足类生长

头足类角质颚具有稳定的形态结构, 因此其

收稿日期: 2014-02-11 修回日期: 2014-04-21

基金项目: 国家自然科学基金(NFSC41306127, NSFC41276156, NSFC41476129); 上海市自然科学基金(13ZR1419700); 上海市教委创新项目(13YZ091); 教育部博士点基金(20133104120001); 大洋渔业可持续开发教育部重点实验室开放基金(S30702)

作者简介: 刘必林(1980—), 男, 副教授, 研究方向为渔业生物学和生态学。E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

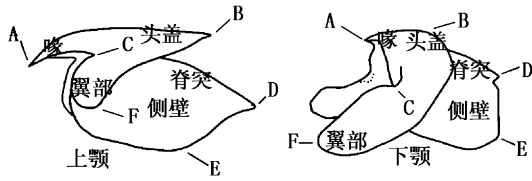


图1 角质颚形态参数示意图

Fig.1 Scheme of morphometric measurements of upper and lower beaks

A-B 头盖长; A-C 喙长; A-D 脊突长; A-E 侧壁长; C-F 翼长。

长度一定程度上可以反映头足类自身的生长状况。KASHIWADA 等^[11]分析加利福尼亚中南部海域乳光枪乌贼 (*Loligo opalescens*) 发现,角质颚上颚头盖长、下颚脊突长与胴长、体重的相关性最好,雌雄个体间没有显著差异。JACKSON^[12]研究显示,新西兰海域强壮桑椹乌贼 (*Moroteuthis ingens*) 上、下颚喙长与胴长、体重呈线性关系,雌雄个体间差异显著。JACKSON 和 MCKINNON^[13]研究发现,新西兰南部海域的新西兰双柔鱼 (*Nototodarar sloanii*) 取对数值后的上、下颚喙长与胴长、体重关系显著。JACKSON 等^[14]比较福克兰群岛强壮桑椹乌贼新鲜及干燥后角质颚喙长与胴长、体重的相关性发现,干燥后的角质颚喙长更能反映强壮桑椹乌贼的生长。GRÖGER 等^[15]建立了寒海乌贼 (*Psychroteuthis glacialis*) 的胴长、体重和下颚喙长之间的关系,所得三次非线性方程相关性极显著。郑小东等^[16]利用角质颚研究了曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 的生长,研究认为上颚头盖长、脊突长、吻长、翼长随胴长、体重呈线性增长。STAUDINGER 等^[17]根据角质颚长度重建了美国东海岸皮氏枪乌 (*L. pealeii*) 贼和滑柔鱼 (*Illex illecebrosus*) 的个体大小

及生长状况。LALAS^[18]根据角质颚长度估算了新西兰东南沿海毛利蛸 (*Macroctopus maorum*) 的个体大小及其生长。刘必林和陈新军^[19]分析了印度洋西北海域鸢乌贼角质颚,显示角质颚长度与胴长呈极显著的线性相关,与体重呈极显著的指数相关。

2 角质颚生长纹的研究

2.1 生长纹

头足类角质颚与耳石、内壳、眼晶体等硬组织一样,存在明显的生长纹结构,角质颚头盖、脊突、侧壁、翼部等各部表面的生长纹明显,肉眼可见,呈波动的条带状,而喙部的生长纹需要切割研磨后才可见。因此,角质颚的生长纹观察分为表面和内部生长纹观察法两种:①表面生长纹直接观察法,是将角质颚沿头盖部后缘向喙部顶端纵向剪开后,选取纹路清晰的侧壁内表面的生长纹直接在解剖镜下观察(图 2a);②内部生长纹观察法,是将角质颚沿头盖部后缘向喙部顶端纵向剪开后,再经过包埋、研磨、抛光后在显微镜下观察(图 2b)。RAYA 和 HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ^[20]在真蛸 (*Octopus vulgaris*) 角质颚喙内部发现规则的生长纹,HERNÁNDEZ-LÓPEZ^[21]观察了真蛸角质颚上颚侧壁表面的生长纹结构。CUCCU 等^[10]根据角质颚上颚侧壁中的生长纹估算了地中海撒丁岛海域野生真蛸的年龄结构。PERALES-RAYA 等^[8]研究显示,真蛸角质颚上下颚喙部生长纹数目相等,而利用下颚喙部生长纹数据估算其年龄更精确;对比喙部和侧壁生长纹显示,利用喙部生长纹鉴定年龄更准确,而利用侧壁生长纹鉴定年龄则更简单、方便、快捷。

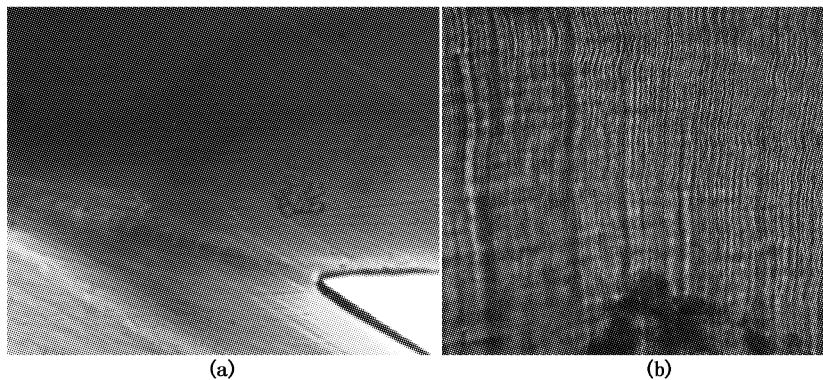


图2 茎柔鱼角质颚上颚喙部截面(a)及侧壁(b)内侧生长纹

Fig.2 Rostrum sagittal section (a) and lateral wall inner surface (b) of *D. gigas* upper beaks

PERALES-RAYA 等^[8]观察发现,真蛸角质颚上颚喙背部生长纹宽度由外围向中心逐渐增大,喙中部生长纹宽度约从第 90 纹开始逐渐减小,然而上颚侧壁生长纹宽度基本维持不变。研究表明,角质颚生长纹的宽度与耳石的轮纹相似,它与水温关系密切。HERNÁNDEZ-LÓPEZ^[21]认为,大加那利岛真蛸角质颚上颚侧壁的生长纹宽度冬季要大于夏季,而 CANALI 等^[9]则认为,那不勒斯湾夏季真蛸样本角质颚上颚侧壁的生长纹宽度大于冬季。

2.2 初始纹

CANALI 等^[9]分析野外采集的真蛸角质颚生长纹发现,侧壁的生长纹数目高于喙部的生长纹,并推测可能造成这一现象的原因有两点:一是角质颚喙部顶端腐蚀造成生长纹计数小于实际数目,二是角质喙部生长纹在真蛸孵化后几个星期以后才开始沉积。BÁRCENAS 等^[22]通过对实验饲养的玛雅蛸(*O. maya*)未受腐蚀的角质颚喙部生长纹判读发现,生长纹数目与实际饲养天数相等,因此推翻了以上第二个假设,认为蛸类角质颚喙部初始纹形成于其孵化时。然而,由于野外采集的头足类角质颚样本喙部顶端,常因捕食食物时遭受腐蚀或损坏,因此根据角质颚喙部生长纹所估算的年龄往往要比实际年龄小。日本学者酒井光夫^[23]分析了人工孵化的几种柔鱼科头足类(阿根廷滑柔鱼 *I. argentinus*、太平洋褶柔鱼 *Todarodes pacificus*、茎柔鱼 *Dosidicus gigas*、柔鱼 *Ommastrephes bartramii* 和鸢乌贼 *Sthenoteuthis oualaniensis*)仔鱼的角质颚发现,柔鱼和茎柔鱼孵化后第一天角质颚第一轮生长纹就开始形成,而阿根廷滑柔鱼和太平洋褶柔鱼孵化后第二天角质颚第一轮生长纹才开始形成。

2.3 生长纹日周期性

CLARKE^[24]在 1962 年首次报道了头足类角质颚中的生长纹结构,1965 年又对强壮桑椹乌贼角质颚生长纹进行了专门的研究^[25],NIXON^[26]和 SMALE 等^[27]也分别在头足类角质颚中发现了相似的结构,1998 年 RAYA 和 HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ 等^[20]第一次推断真蛸角质颚喙内部沉积的规律性生长纹可能与其年龄相关,直到 2001 年 HERNÁNDEZ-LÓPEZ^[21]才从实验角度证实了真蛸角质颚生长纹的日周期性。研究对比实验室饲养的幼体真蛸的实际日龄与角质颚上

颚侧壁表面的生长纹数目发现,有 48.1% 个体角质颚的生长纹数目与实际生长天数相等,22.2% 和 29.6% 个体角质颚的生长纹数目比实际生长天数少一天或多一天。因此,真蛸(至少处于幼体时期的真蛸)的角质颚生长纹基本符合“一日一轮”的生长特性。CANALI 等^[9]根据水温突然波动产生的热标记轮对实验室饲养的 39 尾成体真蛸进行研究,结果发现成体真蛸的角质颚生长纹亦具有明显的日周期性,热标记轮形成的时间为 30 d,而计数的生长纹数目为 32 ± 1.5 轮,两者基本相当。OOSTHUIZEN^[28]利用四环素标记法对实验室饲养真蛸的角质颚生长纹周期性进行了研究,结果发现两次标记之间的生长纹数目与实际逝去的天数相等。

BÁRCENAS 等^[22]分析实际日龄为 64 d、87 d、105 d 和 122 d 4 个年龄组的 40 尾玛雅蛸的上颚或下颚喙内部生长纹发现,实际日龄与角质颚生长纹数目呈显著的线性关系($P < 0.0001$),斜率与相关系数 R 分别为 0.9967 和 0.9945,几乎都接近 1。此外,他们还比较分析了根据角质颚生长纹估算的日龄与真蛸体重的关系曲线和实际日龄与体重的关系曲线,结果发现两者无明显的差异。因此,根据两方面的结果分析认为,玛雅蛸的角质颚生长纹同样具有明显的日周期性^[22]。酒井光夫等^[23]分析了人工孵化的阿根廷滑柔鱼、太平洋褶柔鱼、茎柔鱼、柔鱼和鸢乌贼等 5 种柔鱼科头足类仔鱼的角质颚发现,除鸢乌贼外,其余 4 种头足类的角质颚沉积均符合一日一轮。此外,通过比较野外采集的仔鱼角质颚生长纹与耳石轮纹的数目发现,阿根廷滑柔鱼孵化后 50 d 内的角质颚生长纹与耳石轮纹数目基本一致,而柔鱼孵化后 15 d 内的角质颚生长纹与耳石轮纹数目基本一致。尽管如此,大多数头足类角质颚的生长纹日周期性还是没有得到证实,然而实际上头足类学者们似乎存在一个共识——角质颚的生长纹符合“一日一轮”的生长规律。

2.4 日龄鉴定

从理论上来说,角质颚生长纹沉积具有日周期性的头足类,其一轮就等于一日龄,然而实际上因受各种因素的影响而导致估算日龄的偏差,例如,用作日龄鉴定部位的选择、角质颚受损的程度、假轮的分辨以及初始生长纹形成的时间等。角质颚用作日龄鉴定主要有喙部和侧壁两

个部位。野生状态下,头足类常常因捕食而造成角质颚喙部顶端的腐蚀或损坏,因此根据喙部所估算的日龄将比实际日龄小,而这并不影响利用侧壁上的生长纹来估算日龄^[8]。假轮的形成因受环境或新陈代谢改变的影响而不能反映实际的生长情况,因此,若将假轮当作真实的生长纹,则估算日龄比实际日龄大^[9]。初始生长纹也是影响日龄鉴定的重要因素,只有在其形成于头足类孵化时,估算的日龄才与实际日龄相等,当其形成于孵化前,则估算的日龄比实际日龄大,反之则比实际日龄小,这与耳石初始轮纹原理一致^[29]。此外,计数者的经验也是影响日龄计数准确性的关键,计数结果的可重复性可用作检验准确性的标准。因此,为了提高计数的准确性,可对训练有素的计数者的计数结果进行比较,如无明显差异则结果可信^[9]。一般来说,在年龄鉴定研究中,生长纹计数的可信临界标准为,独立重复计数 3 次,3 次计数值的差异不高于 10%^[28,30]。

2.5 利用角质颚生长纹研究头足类生长

HERNÁNDEZ-LÓPEZ 等^[21]根据角质颚上颚侧壁生长纹推算中东大西洋大加那利岛真蛸最大年龄约为 13 个月,雌性寿命大于雄性,幼体腹

胴长和体重与日龄均呈指数关系,成体腹胴长和体重与日龄均呈对数关系(表 1)。OOSTHUIZEN^[28]根据角质颚上颚喙部生长纹推算南非东南沿海真蛸最大年龄约为 1 年,雌性寿命大于雄性,雌、雄个体体重与日龄均成指数关系,与此同时,通过对育卵和产卵个体日龄分析推断其生命周期为 10~13 个月(表 1)。CANALI 等^[9]根据角质颚上颚侧壁的生长纹研究发现,那不勒斯海湾的真蛸最大年龄也约为 1 年,结合捕捞日期推断存在 2 个明显的孵化高峰期,雌、雄个体日龄与体重的关系适合用三次方程来描述,夏季个体间的生长差异比冬季的明显(表 1)。CASTANHARI 和 TOMÁS^[31]根据角质颚上颚侧壁生长纹推算,巴西沿海真蛸最大年龄约为 1 年,背胴长和体重与日龄均呈幂函数关系(表 1)。CUCCU 等^[10]根据角质颚上颚侧壁生长纹推算,地中海撒丁岛中西部海域雌性真蛸最大年龄为 390 天,雄性为 465 天,寿命略超过 1 年,背胴长、腹胴长和体重与日龄均呈指数关系(表 1)。PERALES-RAYA 等^[32]通过分析 20 尾中东大西洋毛里塔尼亚海域繁殖后的真蛸认为,其生命周期为 1 年,结合捕捞日期推断存在冬春生和夏秋生两个产卵群体(表 1)。

表 1 利用角质颚生长纹研究真蛸年龄与生长一览表

Tab.1 Summary information for age and growth study of *O. vulgaris*

研究海域	角质颚部位	生长纹数/个	周期性研究方法	生长方程
大加那利岛 ^[21]	上颚侧壁	53~398	实验室饲养	幼体:指数;成体:对数
南非东南沿海 ^[28]	上颚喙部	57~352	四环素标记	指数
那不勒斯海湾 ^[9]	上颚侧壁	72~371	热标记法	三次方程
巴西沿海 ^[31]	上颚侧壁	118~356	假定一日一轮	幂函数
撒丁岛中西部海域 ^[10]	上颚侧壁	61~465	假定一日一轮	指数
毛里塔尼亚海域 ^[32]	上颚侧壁	194~322	假定一日一轮	-

3 分析与展望

头足类耳石广泛应用于其年龄和生长的研究,但章鱼类耳石的生长纹结构不明显,因此,其他硬组织(如内壳、角质颚、眼晶体)用作章鱼类的年龄鉴定材料正逐步兴起^[32-34]。角质颚将为那些不具有内壳或者因损坏而无法获取内壳的头足类种类的年龄鉴定提供另外一个可靠途径。角质颚个体比耳石大许多,更容易提取、更方便研磨,而且具有结构稳定、耐腐蚀的特点,常存在

于大型鱼类、海鸟以及哺乳动物的胃内^[35-38],更易间接获取,因此角质颚的这些特点使其在头足类年龄和生长研究中的应用前景更为广阔。综述显示,头足类角质颚生长纹的周期性主要在真蛸中得到广泛证实^[9,21,28],而在乌贼类、枪乌贼类和柔鱼类等头足类中的研究甚少。尽管在角质颚的长度、生长纹的观察、初始纹的形成、生长纹周期性的证实以及日龄鉴定等方面已取得一定的进展,但是在利用生长纹鉴定年龄的方面还有所欠缺,只有真蛸和玛雅蛸两种,缺乏在其他头

足类中的研究。因此,我们需要在现有基础上,尽快开展其他头足类尤其是一些大洋性以及近海重要经济种类的相关研究。近年来,基于硬组织微结构的地球化学分析被广泛应用于海洋生物的研究中^[39]。角质颚作为头足类的主要硬组织之一,结构稳定、生长纹清晰,今后可运用地球化学分析分析手段(如,LA-ICP-MS 分析微量元素、IR-MS 分析稳定同位素),从时间序列上(角质颚生长纹所指示的日龄)提取头足类不同生长阶段的生物学和生态学信息,为进一步分析头足类的摄食生态、栖息环境以及生活史等内容提供基础。

参考文献:

- [1] ŠIFNER K S. Methods for age and growth determination in cephalopods [J]. Ribarstvo, 2008, 66(1): 25–34.
- [2] SEMMENS J M, PECL G T, VILLANUEVA R, et al. Understanding octopus growth: patterns, variability and physiology [J]. Marine Freshwater Research, 2004, 55(4): 367–377.
- [3] JACKSON G D. Application and future potential of statolith increments analysis in squids and sepioids [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1994, 51(11): 2612–2625.
- [4] ROCHA F, GUERRA A. Age and growth of two sympatric squid *Loligo vulgaris* and *Loligo forbesi*, in Galician waters (north-west Spain) [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1999, 79(4): 697–707.
- [5] ARKHIPKIN A I. Statolith as ‘black boxes’ (life recorders) in squid [J]. Marine Freshwater Research, 2005, 56(5): 573–585.
- [6] CHEN X J, LI J H, LIU B L, et al. Age, growth and population structure of Jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* off the Costa Rica Dome [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2013, 93(2): 567–573.
- [7] 刘必林,陈新军. 头足类角质颚的研究进展 [J]. 水产学报, 2009, 33(1): 157–164.
- [8] PERALES-RAYA C, BARTOLOMÉ A, GARCÍA-SANTAMARÍA M T, et al. Age estimation obtained from analysis of otopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) beaks: Improvements and comparisons [J]. Fisheries Research, 2010, 106(2): 171–176.
- [9] CANALI E, PONTE G, BELCARI P, et al. Evaluating age in *Octopus vulgaris*: estimation, validation and seasonal differences [J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 441: 141–149.
- [10] CUCCU D, MEREU M, CAU A, et al. Reproductive development versus estimated age and size in wild Mediterranean population of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda: Octopodidae) [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2013, 93(3): 843–849.
- [11] KASHIWADA J, RECKSIEK C W, KARPOV K A. Beaks of the market squid, *Loligo opalescens*, as tools for predators studies [R]. CalCOFI Report, 1979: 65–69.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] JACKSON G D, BUXTON N G, GEORGE M J A. Beak length analysis of *Moroteuthis ingens* (Cephalopoda: Onychoteuthidae) from the Falkland Islands region of the Patagonian shelf [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1997, 77(4): 1235–1238.
- [15] GRÖGER J, PIATKOWSKI U, HEINEMANN H. Beak length analysis of the Southern Ocean squid *Psychroteuthis glacialis* (Cephalopoda: Psychroteuthidae) and its use for size and biomass estimation [J]. Polar Biology, 2000, 23(1): 70–74.
- [16] 郑小东,王如才,刘维青. 华南沿海曼氏无针乌贼 *Sepiella maindroni* 表型变异研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 713–719.
- [17] STAUDINGER M D, JUANES F, CARLSON S. Reconstruction of original body size and estimation of allometric relationships for the longfin inshore squid (*Loligo pealeii*) and northern shortfin squid (*Illex illecebrosus*) [J]. Fishery Bulletin, 2009, 107(1): 101–105.
- [18] LALAS C. Estimates of size for the large octopus *Macroctopus maorum* from measures of beaks in prey remains [J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2009, 43(2): 635–642.
- [19] 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): 14–20.
- [20] RAYA C P, HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ C L. Growth lines within the beak microstructure of the *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 [J]. South African Journal of Marine Science, 1998, 20(1): 135–142.
- [21] HERNÁNDEZ-LÓPEZ J L, CASTRO-HERNÁNDEZ J L, HERNÁNDEZ-GARICA V. Age determined from the daily deposition of concentric rings on common octopus (*Octopus vulgaris*) beaks [J]. Fishery Bulletin, 2001, 99(4): 679–684.
- [22] BÁRCENAS G V, PERALES-RAYA C, BARTOLOMÉ A, et al. Age validation in *Octopus maya* (Voss and Solís, 1966)

- by counting increments in the beak rostrum sagittal sections of known age individuals [J]. *Fisheries Research*, 2014, 152(1): 93–97.
- [23] 酒井光夫, BRUNETTI N, BOWER J, et al. アカイカ科稚仔 5 種 *Illex argentinus*, *Todarodes pacificus*, *Dosidicus gigas*, *Ommastrephes bartramii*, *Sthenoteuthis oualaniensis* における上顎板輪紋の日齢形質 [R]. イカ類資源研究会議, 2007, 9: 1–7.
- [24] CLARKE M R. The identification of cephalopod beaks and the relationship between beak size and total body weight [J]. *Bulletin of the British Museum of Natural History (Zoology)*, 1962, 8(10): 419–480.
- [25] CLARKE M R. “Growth Rings” in the beaks of the squid *Moroteuthis ingens* (Oegopsida: Onychoteuthidae) [J]. *Malacologia*, 1965, 3(2): 287–307.
- [26] NIXON M. Beak and radula growth in *Octopus vulgaris* [J]. *Journal of Zoology (London)*, 1973, 170(4): 451–462.
- [27] SMALE M J, CLARKE M R, KLAGES N T W, et al. Octopod beak identification-resolution at a regional level (Cephalopoda, Octopoda: South Africa) [J]. *South African Journal of Marine Science*, 1993, 13(1): 269–293.
- [28] OOSTHUIZEN A. A development and management framework for a new *Octopus vulgaris* Fishery in South Africa [D]. Bolan: Rhodes University, 2003: 1–183.
- [29] 刘必林, 陈新军, 陆化杰, 等. 头足类耳石 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 1–202.
- [30] JACKSON G D, FORSYTHE J W, HIXON R F, et al. Age, growth, and maturation of *Lolliguncula brevis* (Cephalopoda: Loliginidae) in the northwestern Gulf of Mexico with a comparison of length-frequency versus statolith age analysis [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54(12): 2907–2919.
- [31] CASTANHARI G, TOMÁS A R G. Beak increment counts as a tool for growth studies of the common octopus *Octopus vulgaris* in Southern Brazil [J]. *Boletim do Instituto de Pesca São Paulo*, 2012, 38(4): 323–331.
- [32] PERALES-RAYA C, JURADO-RUZAF A, BARTOLOMÉ A, et al. Age of spent *Octopus vulgaris* and stress mark analysis using beaks of wild individuals [J]. *Hydrobiologia*, 2014, 725(1): 105–114.
- [33] DOUBLEDAY Z A, WHITE J, PECL G T, et al. Age determination in merobenthic octopuses using stylet increment analysis assessing future challenges using *Macroctopus maorum* as a model [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(10): 2059–2063.
- [34] CÁRDENAS E R B, CORREA S M, GUZMAN R C, et al. Eye lens structure of the octopus *Enteroctopus megalocyathus*: evidence of growth [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2011, 30(2): 199–204.
- [35] CROXALL J P, PRINCE P A. Cephalopods as prey. I. Birds [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 1996, 351(6): 1023–1043.
- [36] KLAGES N T W. Cephalopods as prey. II. Seals [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 1996, 351(6): 1045–1052.
- [37] CLARKE M R. Cephalopods as prey. III. Cetaceans [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 1996, 351(6): 1053–1065.
- [38] SMALE M J. Cephalopods as prey. IV. Fishes [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 1996, 351(6): 1067–1081.
- [39] THORROLD S R, JONES G P, HELLVERG M E, et al. Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural marks [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2002, 70(1): 291–308.

Study of age and growth of cephalopod using their beaks

LIU Bi-lin^{1,2,3,4}, CHEN Xin-jun^{1,2,3,4}, FANG Zhou^{1,2,3,4}, LI Jian-hua^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2 National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, 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; 4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: Determination of age and growth is important in the fishery biology study. Length-frequency is not reliable for cephalopod age determination, while hard tissue is one of the most effective ways to study their age and growth. Beak as one of the few hard structures of cephalopods is increasingly popular for its high stable-morphology and erosion resistance as well as good information storage. In this study, we reviewed progress in the study of the age and growth of cephalopods based on beak length, increments, formation of the first increments and age validation and determination. The result shows that some problems still exist in age identifying, that is, studies only focused on *Octopus vulgaris* and *O. maya*, which should be solved in the near future although a certain progress has been made. Our study will provide an important technical support and theoretical basis for the research in cephalopod age and growth study.

Key words: beak; increments; age; growth; cephalopod