

# 个体生长对秘鲁外海茎柔鱼角质颚形态变化的影响

胡贯宇<sup>1,2</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4\*</sup>, 方舟<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306;

3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 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:** 为研究个体生长对茎柔鱼角质颚形态变化的影响, 本研究根据2009–2014年中国鱿钓船在秘鲁外海(79°22'~84°30'W、10°00'~18°16'S)采集的茎柔鱼样本, 提取出1208尾茎柔鱼的角质颚, 对角质颚的12项外部形态进行测量, 并利用角质颚微结构的生长纹来估算茎柔鱼的日龄, 采用方差分析法(ANOVA)分析了不同胴长组、不同日龄组以及不同性成熟阶段角质颚主要外部形态特征的差异。结果表明, 角质颚各形态参数在雌、雄个体间的差异性极显著( $P < 0.01$ ), 且雌性个体的角质颚大于雄性个体。最小显著差多重比较法(LSD)结果显示, 在不同胴长组、不同日龄组和不同性成熟阶段, 雌、雄个体角质颚的生长存在差异, 相同性别个体角质颚不同部位的生长也不同; 在胴长大于400 mm、雌性个体大于300日龄、雄性个体大于250日龄以及性腺成熟度在Ⅲ期以后时, 角质颚的生长较为缓慢。研究表明, 个体大小、日龄和性成熟对茎柔鱼角质颚的形态变化有一定的影响。

**关键词:** 茎柔鱼; 角质颚; 形态学; 日龄; 性成熟

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)广泛分布于东太平洋, 在秘鲁海域的资源量最为丰富, 在柔鱼科中, 茎柔鱼是个体最大、资源量最为丰富的种类之一<sup>[1-2]</sup>。茎柔鱼是主动捕食者, 主要捕食的种类为浮游动物、甲壳类、鱼类和头足类, 同时, 茎柔鱼又是许多大型鱼类、海鸟以及海洋哺乳动物的重要捕食对象, 在海洋生态系统中具有重要地位<sup>[1]</sup>。据FAO统计, 2012年世界茎柔鱼总产量达到95.1万t, 为历史最高, 2013年总产量为84.7万t; 2012年中国产量为26.1万t, 2013年中国产量达26.4万t, 为历史新高。目前, 茎柔鱼是中国鱿钓渔业最为重要的目标种类之一。

角质颚是头足类的主要摄食器官, 具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及耐腐蚀等特点<sup>[3]</sup>, 被广泛应用于种群鉴定<sup>[4-5]</sup>、分类<sup>[6]</sup>、资源

评估<sup>[7-8]</sup>、日龄鉴定<sup>[9-10]</sup>和摄食<sup>[11]</sup>等研究。作为头足类的重要摄食器官, 角质颚形态的变化可能暗示着头足类食性的转变<sup>[12]</sup>。因此, 本研究分析了茎柔鱼在不同胴长组、不同日龄组以及不同性腺成熟阶段其角质颚的形态差异, 探讨了个体大小、日龄和性成熟对角质颚形态变化的影响, 初步探讨了角质颚的形态变化与茎柔鱼食性的关系, 为茎柔鱼食性的研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本来源

样品采集的时间为2009年9–12月、2010年1–8月、2013年7–10月和2014年6–8月, 作业的海域为79°22'~84°30'W、10°00'~18°16'S。样本

收稿日期: 2015-07-08 修回日期: 2015-10-14

资助项目: 国家自然科学基金(41306127, 41276156); 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)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

委托“岱远渔807号”“丰汇16号”“普远802号”和“宁渔821号”专业鱿钓船在生产期间采集。每一采集站点的样本从渔获物中随机获得,每次约为30尾,采集的样本冷冻后运回实验室,样本总数为1 208尾,其中雌性个体838尾,雄性个体370尾。

## 1.2 研究方法

**生物学测定与角质颚提取** 将茎柔鱼样本带回实验室解冻后进行生物学测定,测量内容包括胴长(mm)、体质量(g),鉴别茎柔鱼的性别并划分性成熟阶段,根据个体的发育情况可将其划分为未成熟期(I和II)、成熟期(III)和已成熟期(IV和V)<sup>[13]</sup>。

从茎柔鱼头部口中取出角质颚,用水将其清洗干净,尽量去除附在表面的有机物质,并将其保存在70%乙醇溶液中,共取得1 208对角质颚,并对其进行形态学测量。

**角质颚的形态测量** 将角质颚清洗干净后,用游标卡尺对其进行测量。首先沿水平方向和垂直方向进行校准,然后测量角质颚的12个外部形态参数(图1),测量结果精确至0.01 mm。

**角质颚研磨与轮纹计数** 胡贯宇等<sup>[15]</sup>对茎柔鱼耳石和角质颚微结构进行了分析,研究发现,耳石轮纹数和角质颚轮纹数间的差异性不显著,角质颚微结构可以用来估算茎柔鱼的日

龄。本研究通过分析上角质颚喙部矢状切面上的生长纹对茎柔鱼进行日龄估算,参考Perales-Raya等<sup>[16]</sup>的方法来制作角质颚的切片。每一个角质颚的生长纹由2个观察者分别计数一次,2人计数的轮纹数与均值的差值低于10%,则认为准确,否则计数无效<sup>[17]</sup>。

## 1.3 数据处理

**角质颚主要外部形态参数的标准化** 据方舟等<sup>[18]</sup>研究,角质颚的外部形态参数UHL、UCL、ULWL、LCL、LRL和LLWL可用来表征茎柔鱼角质颚的大小。为了校正样品规格差异对角质颚形态参数值的影响,将6个角质颚形态参数除以胴长,以便进行后续的差异性分析。

**探讨性别、胴长组、日龄组等对角质颚形态的影响** 利用方差分析(One-Way ANOVA)法检验不同性别、胴长组、日龄组以及不同性成熟度角质颚的形态差异, $P < 0.05$ 时差异显著, $P < 0.01$ 时差异极显著。本研究均利用SPSS 17.0软件进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 不同性别角质颚的形态差异

利用方差分析法对雌、雄个体角质颚的6个形态参数进行差异性分析,结果显示,雌、雄个体间角质颚各形态参数的差异性均极显著( $P < 0.01$ ),而且,统计分析结果显示,雌性个体角质颚各形态的平均值均大于雄性个体(表1)。角质颚的形态参数在雌、雄个体间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。因此,应将雌、雄分开分析个体大小、日龄以及性成熟对角质颚形态的影响。

### 2.2 不同胴长组角质颚的形态差异

对于雌性个体,以50 mm为组间距,可将其划分为7个胴长组。ANOVA分析表明,角质颚各形态参数在7个胴长组间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。LSD分析表明,UHL/ML、UCL/ML和ULWL/ML在胴长组401~450与451~500 mm之间的差异性不显著( $P > 0.05$ ),在胴长组201~250与251~300 mm、251~300与301~350 mm之间的差异性显著( $P < 0.05$ );LCL/M、LLWL/ML和LRL/ML在胴长组201~250与251~300 mm、401~450与451~500 mm、451~500与501~550 mm之间的差异性不显著( $P > 0.05$ ),在胴长组

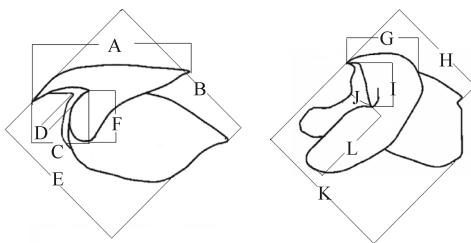


图1 角质颚外部形态测量示意图(引自Fang等<sup>[14]</sup>)

A:上头盖长(UHL); B:上脊突长(UCL); C:上喙长(URL); D:上喙宽(URW); E:上侧壁长(ULWL); F:上翼长(UWL); G:下头盖长(LHL); H:下脊突长(LCL); I:下喙长(LRL); J:下喙宽(LRW); K:下侧壁长(LLWL); L:下翼长(LWL)

Fig. 1 Scheme of morphometric measurements of beak (Cited Fang *et al.* <sup>[14]</sup>)

A: upper hood length(UHL); B: upper crest length(UCL); C: upper rostrum length(URL); D: upper rostrum width(URW); E: upper lateral wall length(ULWL); F: upper wing length(UWL); G: lower hood length(LHL); H: lower crest length(LCL); I: lower rostrum length(LRL); J: lower rostrum width(LRW); K: lower lateral wall length(LLWL); L: lower wing length(LWL)

表1 秘鲁外海茎柔鱼角质颚形态参数值

Tab. 1 Morphometric parameters of beaks for *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone

形态参数 morphologic indices	雌性/mm female			雄性/mm male			P值 P value
	最大值 maximum	最小值 minimum	均值±标准差 mean±SD	最大值 maximum	最小值 minimum	均值±标准差 mean±SD	
上头盖长 UHL	46.87	12.07	22.98±6.41	38.96	11.53	19.39±5.13	<0.01
上脊突长 UCL	53.80	15.10	28.19±7.76	43.20	14.00	23.92±5.98	<0.01
上侧壁长 ULWL	46.84	11.05	23.02±7.73	37.33	10.11	19.07±6.22	<0.01
下脊突长 LCL	25.50	7.20	13.57±3.78	28.30	7.00	11.58±3.17	<0.01
下喙长 LRL	15.38	3.39	7.84±2.25	13.18	4.12	6.64±1.79	<0.01
下侧壁长 LLWL	42.64	11.46	21.11±5.74	34.03	11.04	18.00±4.48	<0.01

注:  $P < 0.01$  表示角质颚形态在雌、雄间差异性极显著

Notes:  $P < 0.01$  means that morphometric parameters of beak have extremely significant difference between females and males

251 ~ 300与301 ~ 350 mm之间的差异性显著( $P < 0.05$ )。从整体上看,随着胴长的增加,雌性个体角质颚各形态参数也逐渐增加,角质颚逐渐增大(图2)。

对于雄性个体,以50 mm为组间距,可将其划分为6个胴长组。ANOVA分析表明,角质颚各形态参数在6个胴长组间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。LSD分析表明,UHL/ML、UCL/ML、LRL/ML和LLWL/ML表现出一致性,在胴长组251 ~ 300与301 ~ 350 mm之间的差异性显著( $P < 0.05$ ),在其它相邻胴长组之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); ULWL/ML和LCL/ML在胴长组201 ~ 250与251 ~ 300 mm、351 ~ 400与401 ~ 450 mm、401 ~ 450与451 ~ 500 mm之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ),在胴长组301 ~ 350与351 ~ 400 mm之间的差异性显著( $P < 0.05$ )。从整体上看,

随着胴长的逐渐增加,雄性个体角质颚各形态参数也逐渐增加,角质颚逐渐增大(图3)。

### 2.3 不同日龄组角质颚的形态差异

雌、雄个体的日龄范围分别为123 ~ 402和106 ~ 369 d,平均日龄分别为230.7和199.6 d,以50 d为组间距对雄、雌个体不同日龄组角质颚的形态进行差异性分析。

对于雌性个体,以50 d为组间距,可划分为6个日龄组。ANOVA分析表明,角质颚各形态参数在6个日龄组间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。LSD分析表明,UHL/ML、UCL/ML和ULWL/ML在日龄组151 ~ 200与201 ~ 250 d、201 ~ 250与251 ~ 300 d之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ),在其他相邻日龄组之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); LCL/ML和LLWL/ML在日龄组

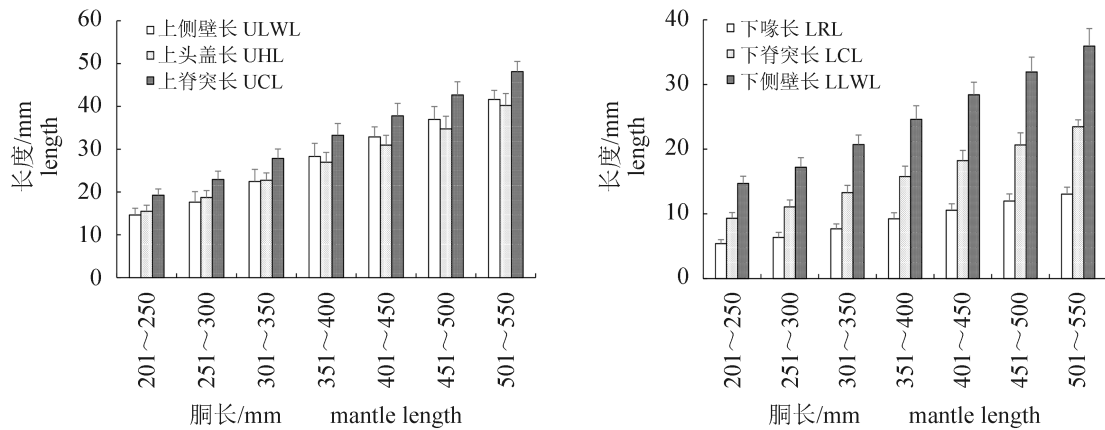


图2 秘鲁外海茎柔鱼雌性个体角质颚各形态参数与胴长组间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 2 Relationships between main parameters of beaks and mantle length groups for females of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

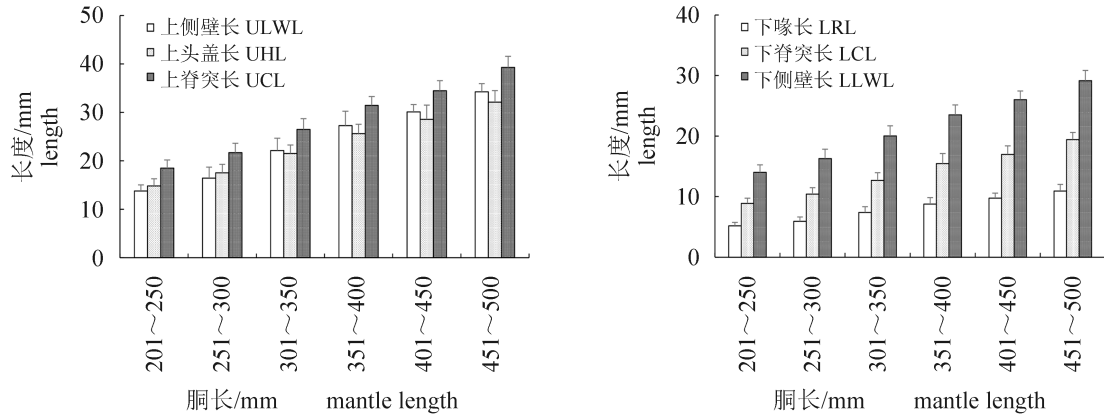


图 3 秘鲁外海茎柔鱼雄性个体角质颚各形态参数与胴长组间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 3 Relationships between main parameters of beaks and mantle length groups for males of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

201 ~ 250与251 ~ 300 d之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ), 在其他相邻日龄组之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); LRL/ML在日龄组101 ~ 150与151 ~ 200 d、201 ~ 250与251 ~ 300 d之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ), 在其他相邻日龄组之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ )。从整体上看, 随着日龄的增加, 雌性个体角质颚各形态参数也逐渐增加, 角质颚逐渐增大(图4)。

对于雄性个体, 以50 d为组间距, 可将其划分为5个日龄组。ANOVA分析表明, 除下喙长外, 角质颚其他各形态参数在6个日龄组间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。LSD分析表明, UHL/ML在日龄组101 ~ 150与151 ~ 200 d之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ), 在其他相邻日龄组之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); UCL/ML和LRL/ML在各相邻日龄组之间的差异性均不显著

( $P > 0.05$ ); ULWL/ML、LCL/ML和LLWL/ML在日龄组101 ~ 150与151 ~ 200 d、251 ~ 300与301 ~ 350 d之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ), 在日龄组151 ~ 200与201 ~ 250 d之间的差异性均显著( $P < 0.05$ )。从整体上看, 随着日龄的逐渐增加, 雄性个体角质颚各形态参数也逐渐增加, 角质颚逐渐增大(图5)。

### 2.4 不同性成熟度角质颚的形态差异

对于雌性个体, ANOVA分析表明, 角质颚各形态参数在各性成熟度间的差异性均极显著( $P < 0.01$ )。LSD分析表明, UHL/ML、UCL/ML和LRL/ML在 I 期与 II 期之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ), 在 II 期与 III 期、III 期与 IV 期之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); ULWL/ML和LLWL/ML在 III 期与 IV 期之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ), 在

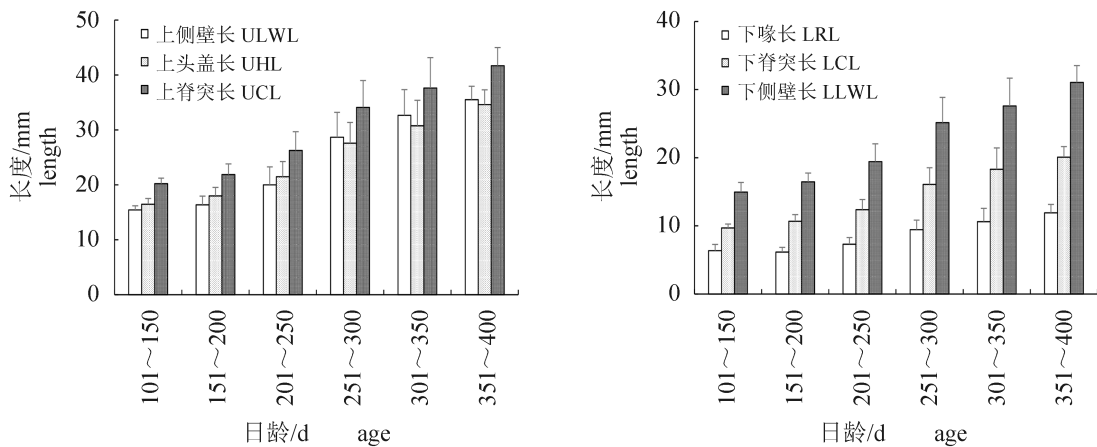


图 4 秘鲁外海茎柔鱼雌性个体角质颚各形态参数与日龄组间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 4 Relationships between main parameters of beaks and age groups for females of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

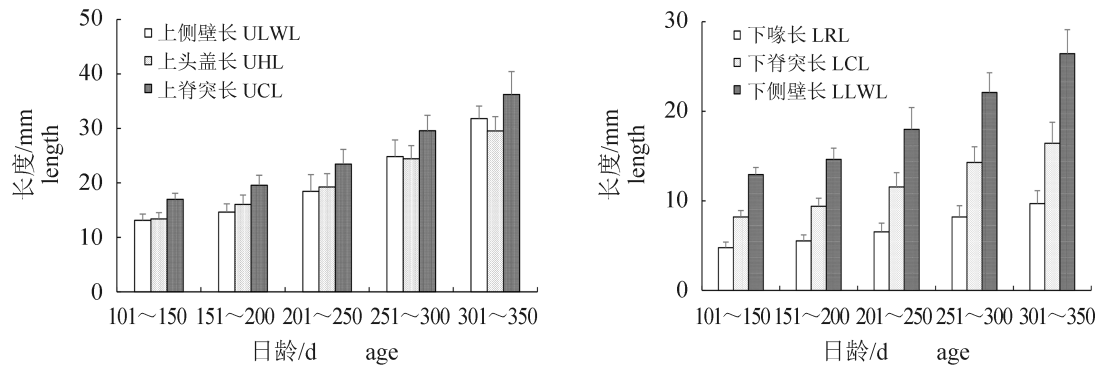


图5 秘鲁外海茎柔鱼雄性个体角质颌各形态参数与日龄组间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 5 Relationships between main parameters of beaks and age groups for males of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

I期与II期、II期与III期之间的差异性均显著( $P < 0.05$ ); LCL/ML在II期与III期之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ),在I期与II期、III期与IV期之间的差异性均显著( $P < 0.05$ )。从整体上看,随着性腺的逐渐成熟,雌性个体角质颌各形态参数也逐渐增加,角质颌逐渐增大(图6)。

对于雄性个体,ANOVA分析表明,上头盖长、下脊突长和下喙长在各性成熟度间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ),其他形态参数在各性成熟度间的差异性均显著( $P < 0.05$ )。LSD分析表明,UHL/ML、UCL/ML、ULWL/ML、LRL/ML和LCL/ML在各相邻性成熟度间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ); LLWL/ML在III期与IV期之间的差异性均不显著( $P > 0.05$ ),在I期与II期、II期与III期之间的差异性均显著( $P < 0.05$ )。从整体上看,随着性腺的逐渐成熟,雄性个体角质颌各形态参数也逐渐增加,角质颌逐渐增大(图7)。

### 3 讨论

#### 3.1 角质颌与摄食

在海洋生态系统中,茎柔鱼是主动的捕食者,主要捕食的种类为浮游动物、甲壳类、鱼类和头足类<sup>[1]</sup>。头足类在生长的过程中会发生食性的变化,在稚鱼期主要以甲壳类为食,在成鱼期主要以鱼类和其他头足类为食<sup>[19]</sup>,角质颌是头足类的重要摄食器官,角质颌形态的变化可能暗示着被捕食者的大小和种类的转变<sup>[12,20]</sup>。因此,茎柔鱼在不同大小、不同日龄以及不同性成熟度阶段其角质颌的形态差异可能反映着食性的变化。

#### 3.2 不同性别角质颌的形态差异

在头足类种类中,雌、雄个体的异速生长是普遍存在的<sup>[21-23]</sup>,因此,这可能导致雌、雄个体角质颌的大小也存在差异。本研究表明,茎

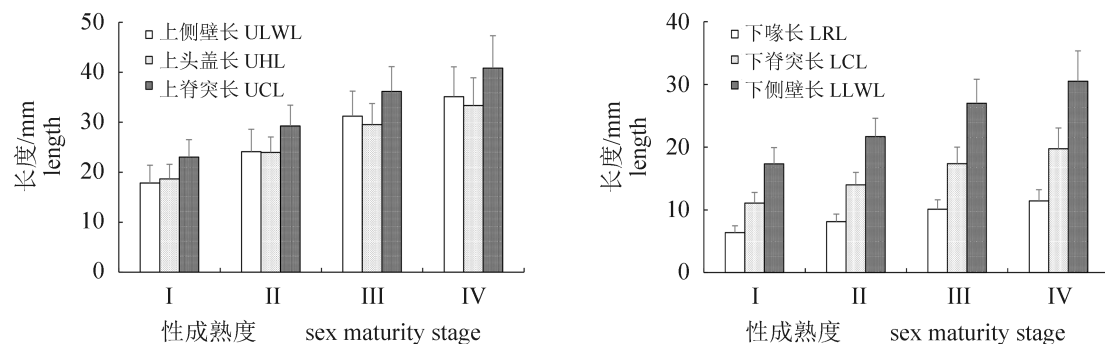


图6 秘鲁外海茎柔鱼雌性个体角质颌各形态参数与性成熟度间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 6 Relationships between main parameters of beaks and sex maturity stages for females of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

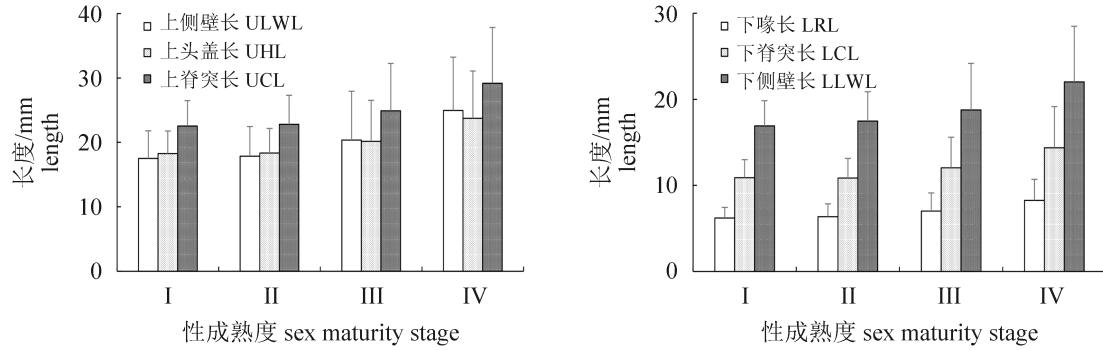


图 7 秘鲁外海茎柔鱼雄性个体角质颚各形态参数与性成熟度间的关系(误差线表示标准差的值)

Fig. 7 Relationships between main parameters of beaks and sex maturity stages for males of *D. gigas* caught off the Peruvian exclusive economic zone (error lines indicate values of standard deviation)

柔鱼角质颚的形态参数在雌、雄个体间的差异性均极显著( $P < 0.01$ ), 且雌性个体角质颚各形态参数的均值均大于雄性个体。Bolstad<sup>[24]</sup>研究认为, 强壮桑椹乌贼(*Moroteuthis ingens*)角质颚的生长在雌、雄个体间具有差异性。方舟等<sup>[25]</sup>研究发现, 同一群体的阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)角质颚的形态参数在不同性别间存在显著性差异, 布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚群体雌性个体角质颚形态参数的均值均大于雄性, 而南巴塔哥尼亚群体角质颚外部形态参数值总体上以雄性个体为大。

### 3.3 不同胴长组角质颚的形态差异

通常情况下, 随着个体的不断生长, 头足类的角质颚也不断增大<sup>[26-28]</sup>, 然而, 在不同的生长阶段, 其角质颚增长的快慢可能不同。本研究发现, 对于雌性个体, 在胴长为201~350 mm时, 上角质颚生长较快, 在胴长为251~351 mm时, 下角质颚生长较快, 在胴长为451~550 mm时, 上角质颚和下角质颚生长均较为缓慢。对于雄性个体, 上颚的脊突、上颚的头盖、下颚的喙和下颚的侧壁的生长较为同步, 在胴长为301~350 mm时生长迅速, 在其他阶段的生长较为缓慢; 在胴长为401~550 mm时, 上颚的侧壁和下颚的脊突生长缓慢, 在胴长为301~400 mm时生长较快。由此可以发现, 雌、雄个体角质颚的生长存在差异, 并不是完全同步生长, 而且相同性别个体角质颚的不同部位的生长也并不完全同步, 然而, 从整体上看, 在胴长大于400 mm以后, 茎柔鱼角质颚的生长趋于缓慢。

### 3.4 不同日龄组角质颚的形态差异

陆化杰等<sup>[29]</sup>研究了阿根廷滑柔鱼角质颚的生长特性, 并建立了角质颚的外部形态参数与日龄的关系。Perales-Raya等<sup>[16]</sup>研究了真蛸(*Octopus vulgaris*)的角质颚, 发现角质颚微结构的生长纹数与上头盖长呈幂指数关系。本研究发现, 对于雌性个体, 在日龄为151~300 d时, 上角质颚生长迅速, 日龄大于300 d以后, 上角质颚生长缓慢, 下角质颚在251~300 d生长较快。对于雄性个体, 上颚的脊突和下颚的喙在茎柔鱼中均生长较为缓慢, 上颚的侧壁、下颚的脊突和下颚的侧壁在201~251 d生长较快, 上颚的头盖在151~200 d生长较快, 在200 d之后生长较缓慢。因此, 从整体上看, 雌性个体的角质颚在300 d以后生长缓慢, 而雄性个体的角质颚在250 d之后生长较为缓慢。

### 3.5 不同性成熟度角质颚的形态差异

方舟等<sup>[18]</sup>研究认为, 北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)角质颚各形态参数在不同性成熟度间的差异性均显著。陆化杰等<sup>[30]</sup>研究了西南大西洋阿根廷滑柔鱼的角质颚, 认为角质颚在I期和II期生长较快, 在III期以后生长放慢。本研究认为, 对于雌性个体, 上颚的头盖、上颚的脊突和下颚的喙在I期和II期生长较快, 在III期以后生长缓慢; 上颚的脊突和下颚的侧壁在IV期生长缓慢, 在I~III期生长较快。对于雄性个体, 下颚的侧壁在IV期生长缓慢, 在I~III期生长较快, 角质颚的其他形态参数在各性成熟阶段均生长缓慢。因此, 总体而言, 随着性腺的逐渐成熟, 角质颚也不断增大, 但

在 I ~ III 期生长较快, III 期以后生长较为缓慢。

综上所述,本研究分析了茎柔鱼在不同胴长组、不同日龄组以及不同性腺成熟阶段其角质颚的形态差异,研究认为,在不同胴长组、不同日龄组和不同性成熟阶段,雌、雄个体角质颚的生长存在差异,相同性别个体角质颚不同部位的生长也不同,这可能是由于角质颚的不同部位在摄食过程中所起到的作用不同,同时,茎柔鱼在不同的生长阶段,其食性也有所差异,导致角质颚不同部位的生长也有所差异。然而,研究发现,在胴长大于400 mm、雌性个体大于300日龄、雄性个体大于250日龄、性腺成熟度在 III 期以后时,角质颚的生长较为缓慢,这可能是由于茎柔鱼达到性成熟后,所捕食的对象基本相似,食性趋于稳定,从而角质颚的生长也较为缓慢。

#### 4 展望

本研究分析了茎柔鱼在不同生长阶段角质颚的形态差异,初步探讨了角质颚的形态变化与茎柔鱼食性的关系。然而,茎柔鱼的生活史较为复杂,目前对茎柔鱼摄食生态学的研究仍较少,角质颚作为头足类的重要摄食器官,储存着大量的生态信息<sup>[31-32]</sup>,因此,在今后的研究中,应更加多地利用稳定同位素技术对茎柔鱼的食性进行研究。

#### 参考文献:

- [1] Nigmatullin C M, Nesis K N, Arkhipkin A I. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 9-19.
- [2] Taibe A, Yamashiro C, Mariategui L, et al. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999 [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 21-32.
- [3] Clarke M R. The identification of cephalopod "beaks" and the relationship between beak size and total body weight [J]. Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology, 1962, 8(10): 419-480.
- [4] Borges T C. Discriminant analysis of geographic variation in hard structures of *Todarodes sagittatus* from the North Atlantic [C]ICES Marine Science Symposia. Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea, 1995: 433-440.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Hernández-López J L, Castro-Hernández J J, Hernández-García V. Age determined from the daily deposition of concentric rings on common octopus (*Octopus vulgaris*) beaks [J]. Fishery Bulletin, 2001, 99(4): 679-684.
- [10] 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, 2012, 38(4): 323-331.
- [11] Cherel Y, Hobson K A. Stable isotopes, beaks and predators: A new tool to study the trophic ecology of cephalopods, including giant and colossal squids [J]. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 2005, 272(1572): 1601-1607.
- [12] Franco-Santos R M, Vidal E A G. Beak development of early squid paralarvae (Cephalopoda: Teuthoidea) may reflect an adaptation to a specialized feeding mode [J]. Hydrobiologia, 2014, 725(1): 85-103.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 胡贯宇, 陈新军, 刘必林, 等. 茎柔鱼耳石和角质颚微结构及轮纹判读[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 361-370.

- Hu G Y, Chen X J, Liu B L, *et al.* Microstructure of statolith and beak for *Dosidicus gigas* and its determination of growth increments [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 361–370 (in Chinese).
- [16] Perales-Raya C, Bartolomé A, García-Santamaría M T, *et al.* Age estimation obtained from analysis of octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) beaks: Improvements and comparisons [J]. Fisheries Research, 2010, 106(2): 171–176.
- [17] 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(3): 257–270.
- [18] 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).
- [19] Arkhipkin A, Bizikov V. Statolith in accelerometers of squids and cuttlefish [J]. Ruthenica, 1998, 8(1): 81–84.
- [20] Castro J J, Hernández-García V. Ontogenetic changes in mouth structures, foraging behaviour and habitat use of *Scomber japonicus* and *Illex coindetii* [J]. Scientia Marina 1995, 59(3–4): 347–355.
- [21] Liu B L, Chen X J, Chen Y, *et al.* Age, maturation, and population structure of the Humboldt squid *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zones [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(1): 81–91.
- [22] 陆化杰, 陈新军. 利用耳石微结构研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼的日龄、生长与种群结构[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1049–1056.
- Lu H J, Chen X J. Age, growth and population structure of *Illex argentinus* based on statolith microstructure in Southwest Atlantic Ocean [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(7): 1049–1056 (in Chinese).
- [23] 陈新军, 马金, 刘必林, 等. 基于耳石微结构的西北太平洋柔鱼群体结构、年龄与生长的研究[J]. 水产学报, 2011, 35(8): 1191–1198.
- Chen X J, Ma J, Liu B L, *et al.* Population structure, age and growth of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific Ocean based on statolith microstructure [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(8): 1191–1198 (in Chinese).
- [24] Bolstad K S. Sexual dimorphism in the beaks of *Moroteuthis ingens* Smith, 1881 (Cephalopoda: Oegopsida: Onychoteuthidae) [J]. New Zealand Journal of Zoology, 2006, 33(4): 317–327.
- [25] 方舟, 陈新军, 陆化杰, 等. 阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 5986–5997.
- Fang Z, Chen X J, Lu H J, *et al.* Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5986–5997 (in Chinese).
- [26] Lefkaditou E, Bekas P. Analysis of beak morphometry of the horned octopus *Eledone cirrhosa* (Cephalopoda: Octopoda) in the Thracian Sea (NE Mediterranean) [J]. Mediterranean Marine Science, 2004, 5(1): 143–150.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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(自然科学版), 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]. Periodical of ocean university of China (Natural Science), 2012, 42(10): 33–40 (in Chinese).
- [30] 陆化杰, 陈新军, 刘必林. 个体差异对西南大西洋阿根廷滑柔鱼角质颚外部形态变化的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 1040–1049.
- Lu H J, Chen X J, Liu B L. Effects of individual size on beak morphology of *Illex argentinus* in the southwestern Atlantic Ocean [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 1040–1049 (in Chinese).



- [31] Hobson K A, Cherel Y. Isotopic reconstruction of marine food webs using cephalopod beaks: New insight from captive raised *Sepia officinalis* [J]. Canadian Journal of Zoology, 2006, 84(5): 766–770.
- [32] Guerra Á, Rodríguez-Navarro A B, González Á F, *et al.* Life-history traits of the giant squid *Architeuthis dux* revealed from stable isotope signatures recorded in beaks [J]. ICES Journal of Marine Science, 2010, 67(7): 1425–1431.

## Effect of individual growth on beak morphometry of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zone

HU Guanyu<sup>1,2</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,4\*</sup>, FANG Zhou<sup>1,2</sup>

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

2. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China;

3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

**Abstract:** In order to study the effect of individual growth on beak morphology of *Dosidicus gigas*, the samples of the jumbo flying squid were collected by the Chinese jigging fleet between 2009 and 2014 off the Peruvian Exclusive Economic Zone (79°22′–84°30′W, 10°00′–18°16′S). The beaks were extracted from 1208 samples and 12 morphometric parameters of beaks were measured. Meanwhile, the microstructure of beak was used to estimate the age of *D. gigas*. The differences of beak morphometry were analyzed which were influenced by body size, age and sexual maturity. The results showed that upper hood length (UHL), upper crest length (UCL), upper lateral wall length (ULWL), lower crest length (LCL), lower rostrum length (LRL) and lower lateral wall length (LLWL) could be used to represent the length features of beak. The ANOVA indicated that morphologic parameters of beak had significant differences between females and males, the average of the beak morphometric parameters of females was greater than that of males. The Least Significant Difference (LSD) analysis showed that the growth of beak between females and males varied according to mantle length, age and sex maturity. The growth had differences among the sections of beak of same sex individuals. However, if the mantle length is greater than 400mm, the age of female is greater than 300 days, the age of male is greater than 250 days or the sex maturity stage is greater than stage 3, then the growth of beak is slow. This study suggested that the morphometry of beak was influenced by body size, age and sex maturity.

**Key words:** *Dosidicus gigas*; beak; morphometry; age; sex maturity

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

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41306127, 41276156); National Science Foundation of Shanghai, China (13ZR1419700); Innovation Program of Shanghai Municipal Education Commission (13YZ091); Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China (20133104120001)