

文章编号: 1674-5566(2013)06-0936-08

哥斯达黎加海域茎柔鱼角质颚稳定同位素研究

李建华^{1,2,3,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 方舟²

(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. 上海海洋大学大洋渔业可持续发展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: 头足类的角质颚具有结构单一和不易腐蚀的特性, 其稳定同位素分析已成为头足类生态学研究的主要方法之一。根据2009年7-8月我国鱿钓船在哥斯达黎加外海捕捞的茎柔鱼样本, 对其角质颚进行稳定同位素分析, 探讨其与胴长、日龄、性腺成熟度等之间的关系。结果表明, 茎柔鱼样本的胴长范围在25.6~35.8 cm之间, 体重范围在447.6~1122.3 g之间, 为小型群体; 上、下角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 有所差别, 但无显著性差异($P>0.05$); $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值随着胴长和日龄的增大而增大, 两者均符合线性关系; 不同性成熟度的个体也有着不同的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 其中性成熟度为Ⅲ期个体的值最大。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值反应出茎柔鱼在生长过程中, 其栖息环境从大陆架向大洋转变, 活动范围也向着生产力更高的海域聚集, 同时与性成熟和个体生长过程密切相关。建议今后应结合研究海域的浮游生物, 对角质颚等不同硬组织及其不同部位稳定同位素进行深入分析, 以便为了解和掌握茎柔鱼的生态学提供理论参考。

研究亮点: 首次以茎柔鱼角质颚为研究材料, 利用IR-MS法初步了解角质颚稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的含量, 分析不同个体大小、不同年龄角质颚的稳定同位素的变化, 为掌握茎柔鱼的摄食和栖息环境等渔业生物学特性提供基础, 同时研究方法也为其他头足类稳定同位素的研究提供借鉴和参考。

关键词: 茎柔鱼; 哥斯达黎加外海; 角质颚; 稳定同位素

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是一种大型柔鱼类, 资源量丰富, 广泛分布于中太平洋(125°W)以东的太平洋海域^[1-2]。自20世纪90年代以来, 茎柔鱼得到了大规模的开发与利用, 目前主要的作业海域集中在秘鲁、中美洲和墨西哥加利福尼亚湾^[3-4]。我国在2001年开发了东太平洋秘鲁外海的茎柔鱼资源后, 2006年对智利外海茎柔鱼资源进行了探捕调查, 并取得了成功, 2009年对哥斯达黎加外海茎柔鱼资源进行了调查^[5]; 近2年来, 我国捕捞茎柔鱼的年产量均在20万吨左右。目前已有各国学者对分布于加利福尼亚湾、秘鲁以及智利海域的茎柔鱼年龄、生长、繁殖和食性等^[6-10]生物学特性方面进行了大量研究。

角质颚作为头足类的硬组织, 是头足类记录

生态信息的优良载体, 具有不易腐蚀等特性。同时, 角质颚是头足类的主要摄食器官, 在其形态结构变化以及食性的转变方面都有着很重要的关系^[11-12]。随着稳定同位素(stable isotope)研究的兴起^[13], 角质颚以其单一的组成结构(主要由几丁质组成)和稳定的形态特征^[14], 得到了许多学者的重视和关注, 目前已对一些头足类角质颚进行了稳定同位素的研究和分析^[15-16], 取得了较好的效果。本文基于2009年7-8月在哥斯达黎加外海采集的茎柔鱼样本, 对其角质颚的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 进行分析, 同时探讨稳定同位素与胴长、日龄、性腺成熟度等之间的关系, 为掌握哥斯达黎加外海茎柔鱼的摄食、栖息环境和洄游等渔业生物学特性提供价值。

收稿日期: 2013-05-15 修回日期: 2013-07-11

基金项目: 国家自然科学基金(NSFC41276156); 国家高技术研究发展计划(2012AA092303); 国家发改委产业化专项(2159999); 上海市科技创新行动计划(12231203900)

作者简介: 李建华(1987—), 女, 助理工程师, 研究方向为渔业资源学。E-mail: M100301441@stmail.shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 材料来源

样本采集由鱿钓生产船“丰汇 16 号”于 2009 年 7 月 23 日 - 8 月 30 日进行。调查海域为 10°30'N ~ 4°30'S、100°W ~ 91°W,共获得样本 66 尾,样本经冷冻保藏运回实验室。

1.2 研究方法

1.2.1 耳石和角质颚提取

将样品带回实验室解冻后,分别测定茎柔鱼的胴长(mantle length)、体重(body weight),鉴定性别和性腺成熟度。胴长精确至 1 mm;体重精确到 0.1 g;性腺成熟度划分为 I、II、III、IV、V 五期^[17]。

用解剖刀切开头部平衡囊,用镊子轻轻将耳石从平衡囊取出,并对耳石进行编号,然后存放于盛有 95%乙醇溶液的 1.5 mL 离心管中,以便清除包裹耳石的软膜和表面的有机物质。

从头部口器中提取角质颚,用镊子先将下角质颚取出,然后再取出上角质颚。最后得到完整角质颚样本 21 对(雌 18 对、雄 4 对)。对取出的角质颚进行编号并存放于盛有 75%乙醇溶液的 50 mL 离心管中,以便清除包裹角质颚表面的有机物质。

1.2.2 耳石研磨与日龄读取

将取出的耳石样本进行研磨,耳石研磨方法根据刘必林等^[18],最终得到 48 个完整的耳石切片。研磨好的耳石切片置于 ×400 的光学显微镜下采用 CCD(连接装置)拍照,并运用 PhotoShop 7.0 对图像进行叠加处理。计数过程中,每个耳石轮纹由两个不同的人计数,每次计数的轮纹数目与均值的差值低于 5%,则认为计数准确^[18],否则重新计数。

1.2.3 稳定同位素的测定

将角质颚用去离子水清洗,放入冷冻管 -20 °C 冷冻保存以备后续同位素分析使用。稳定同位素分析前,先将清洗后的角质颚放入冷冻干燥机,在 -55 °C 条件下干燥 24 h 以上,研磨成细小颗粒后过 100 目筛。称重 1.5 mg 并用铝箔包被后送入 ISOPRIME 100 稳定同位素质谱仪(Isoprime Corporation, Cheadle, UK)和 vario ISOTOPE cube 元素分析仪(Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany)测定

碳、氮稳定同位素比值,结果以 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值形式来表示。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 以下面的公式进行计算:

$$S_x = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000 \quad (1)$$

式中: X 为 ^{13}C 和 ^{15}N ; R_{sample} 为所测得的同位素比值。碳稳定同位素的标准样本值 R_{standard} 采用 PDB 值(Pee Dee Belemnite),氮同位素的标准采用大气氮^[19]。为保证实验结果的精度和准确度,每 10 个样品,放入标准样本,分别使用 USGS 24 (-16.049‰ VPDB) 和 USGS 26 (53.7‰ VN₂) 校准碳、氮稳定同位素,分析精度为 0.05 ‰ ($\delta^{13}\text{C}$)、0.06 ‰ ($\delta^{15}\text{N}$)。

1.2.4 数据处理

(1)利用频度分析法,对茎柔鱼的胴长和体重进行分析。(2)利用方差分析(ANOVA),对上下角质颚的稳定同位素进行比较。(3)将胴长分别与对应的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 建立关系,以此分析在不同胴长下角质颚的稳定同位素的变化。(4)读取耳石轮纹所对应的日龄,将日龄分别与对应的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 建立关系,对不同年龄的角质颚稳定同位素进行分析。(5)将不同性腺成熟度与其对应的角质颚稳定同位素进行分析,以揭示性成熟度对角质颚稳定同位素的影响。

2 结果

2.1 胴长和体重组成

实验室内共测量样本 66 尾,其中雌性为 48 尾,雄性为 18 尾。经过统计分析发现,哥斯达黎加外海茎柔鱼的胴长范围为 25.6 ~ 35.8 cm,平均胴长为 30.9 cm,优势胴长为 31 ~ 35 cm,占总数的 80.3% (如图 1a);体重范围为 447.6 ~ 1 122.3 g,平均体重为 751.9 g,优势体重为 800 ~ 1 000 g,占总数的 72.2% (如图 1b)。

2.2 上、下角质颚稳定同位素比较

对取出的 22 对角质颚样本进行稳定同位素分析,发现上角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ 范围在 5.14‰ ~ 9.84‰ 间,平均为 6.77‰;下角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ 范围在 5.94‰ ~ 10.04‰ 间,平均为 7.28‰。上角质颚 $\delta^{13}\text{C}$ 范围在 -18.67‰ ~ -17.02‰ 间,平均为 -18.05‰;下角质颚范围在 -18.36‰ ~ -16.69‰ 间,平均为 -17.81‰。上角质颚 C/N 范围在 3.21‰ ~ 4.39‰ 间,平均为 3.83‰;下角

质颚范围在 3.15‰~3.49‰间,平均为 3.30‰。下角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于上角质颚,但通过方差分析(ANOVA)发现,上、下角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ ($F = 0.9957, P = 0.49 > 0.05$) 与 $\delta^{13}\text{C}$ ($F =$

1.20, $P = 0.30 > 0.05$) 值未呈显著差异,而 C/N 值在上、下角质颚之间存在显著差异($F = 8.83, P < 0.01$)。

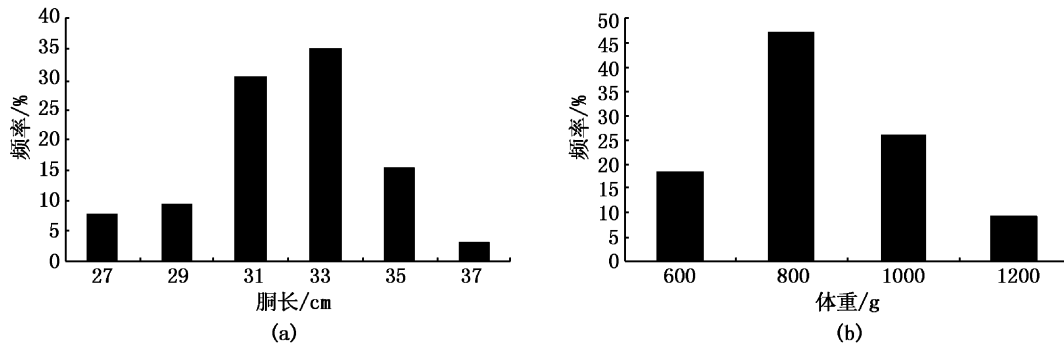


图 1 哥斯达黎加外海茎柔鱼胴长和体重组成

Fig. 1 Composition of mantle length and body weight of *Dosidicus gigas* off the Costa Rica water

表 1 哥斯达黎加外海茎柔鱼上下角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 极值、平均值和方差

Tab. 1 The extreme values, standard deviation and mean values of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ for *Dosidicus gigas* in beaks

分类	上角质颚				下角质颚			
	最小值	最大值	平均值	方差 SD	最小值	最大值	平均值	方差 SD
$\delta^{15}\text{N}$	5.14‰	9.84‰	6.77‰	1.09	5.94‰	10.04‰	7.28‰	1.02
$\delta^{13}\text{C}$	-18.67‰	-17.02‰	-18.05‰	0.36	-18.36‰	-16.69‰	-17.81‰	0.35
C/N	3.21‰	4.39‰	3.83‰	0.29	3.15‰	3.49‰	3.30‰	0.09

2.3 胴长与角质颚稳定同位素的关系

茎柔鱼胴长和角质颚的稳定同位素存在着一定的关系(图 2),将胴长分别与上、下角质颚的稳定同位素值建立关系,拟合后发现其较为符合线性模型,其关系式分别为:

上角质颚: $\delta^{15}\text{N} = 0.4165\text{ML} - 6.4724$ ($N = 21, R^2 = 0.4643, P < 0.01$)

$\delta^{13}\text{C} = 0.1398\text{ML} - 22.458$ ($N = 21, R^2 = 0.4701, P < 0.01$)

下角质颚: $\delta^{15}\text{N} = 0.3637\text{ML} - 4.2694$ ($N = 21, R^2 = 0.401, P < 0.01$)

$\delta^{13}\text{C} = 0.1447\text{ML} - 22.385$ ($N = 21, R^2 = 0.5395, P < 0.01$)

2.4 日龄与角质颚稳定同位素的关系

将耳石切片在显微镜下拍照读取日龄。结果表明,日龄范围在 163~238 d,平均日龄为 197.75 d。根据日龄逆推,可以发现哥斯达黎加外海茎柔鱼的主要孵化月份在 1-2 月,分别占 52.08% 和 41.67%,还有少量 12 月和 3 月份孵化个体,分别占 4.17% 和 2.08% (图 3)。

将所获得的日龄与其角质颚稳定同位素建

立关系,拟合后发现其同样符合线性模型(图 4),关系式分别为:

上角质颚: $\delta^{15}\text{N} = 0.0632\text{Age} - 6.1314$ ($N = 13, R^2 = 0.61, P < 0.01$)

$\delta^{13}\text{C} = 0.0139\text{Age} - 20.817$ ($N = 13, R^2 = 0.7049, P < 0.01$)

下角质颚: $\delta^{15}\text{N} = 0.0464\text{Age} - 2.2788$ ($N = 13, R^2 = 0.5586, P < 0.01$)

$\delta^{13}\text{C} = 0.0142\text{Age} - 22.749$ ($N = 13, R^2 = 0.676, P < 0.01$)

2.5 性腺成熟度与角质颚稳定同位素的关系

在所有采集的样本中,茎柔鱼性腺成熟度范围在 II~V 期间。其中取出角质颚所对应的 21 尾个体中,性成熟度范围在 II~IV 期间,II、III、IV 期个体所占比例分别为 28.57%、23.81% 和 47.62%。对不同性腺成熟度的角质颚稳定同位素分析可看出,处在 III 期的个体角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于其他时期个体,IV 期次之,II 期的值最低。无论上下角质颚,不同性腺成熟度角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ (上角质颚: $F = 1.464, P = 0.258 > 0.05$; 下角质颚: $F = 0.935, P = 0.413 > 0.05$) 和 $\delta^{13}\text{C}$

(上角质颚: $F = 1.185, P = 0.329 > 0.05$; 下角质颚: $F = 0.586, P = 0.567 > 0.05$) 值均不存在差异。C/N 值随着性腺成熟度的增大而不断减少,

不同性腺成熟度间也不存在差异(上角质颚: $F = 1.729, P = 0.206 > 0.05$; 下角质颚: $F = 1.592, P = 0.231 > 0.05$, 图 5)。

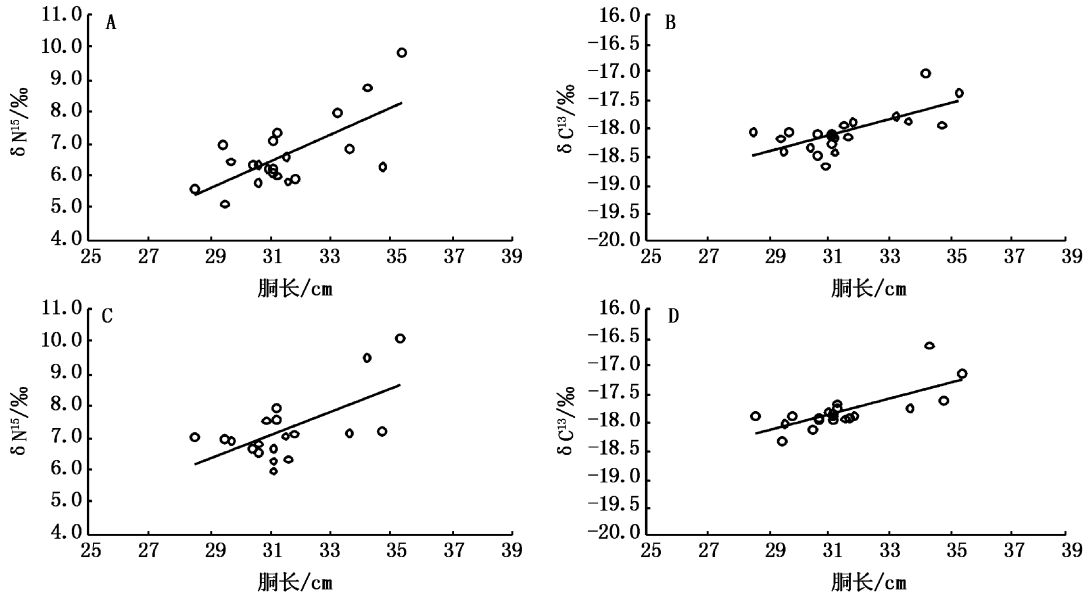


图 2 哥斯达黎加外海茎柔鱼胴长与上下角质颚稳定同位素的关系

Fig. 2 Relationship between mantle length and stable isotope of upper/lower beak of *Dosidicus gigas* off the Costa Rica water

A, B 分别为上角质颚 $\delta^{15}N$ 、 $\delta^{13}C$ 与胴长的关系, C, D 分别为下角质颚 $\delta^{15}N$ 、 $\delta^{13}C$ 与胴长的关系。

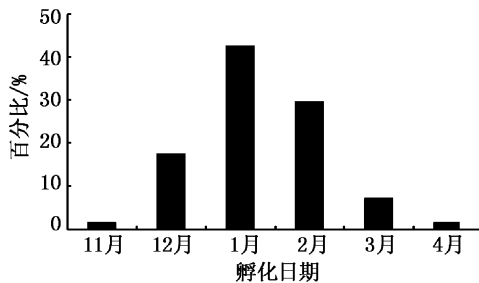


图 3 哥斯达黎加外海茎柔鱼样本孵化日期分布图

Fig. 3 Distribution of hatching date of *Dosidicus gigas* off the Costa Rica water

3 讨论与分析

本研究发现,哥斯达黎加外海茎柔鱼的胴长范围在 25.6 ~ 35.8 cm 间,平均胴长为 30.9 cm,体重范围在 447.6 ~ 1 122.3 g 间,平均体重为 751.9 g,样本雌性多于雄性。NIGMATULLIN 等^[20]按照个体大小将茎柔鱼划分为 3 个种群:小型群(雄性 ML130 ~ 260 mm, 雌性 ML140 ~ 340 mm),中型群(雄性 ML260 ~ 420 mm, 雌性

ML340 ~ 650 mm) 和大型群(雄性 ML 大于 420 mm, 雌性 ML 大于 650 mm)。李纲等^[21]对采集样本的胴长分布并结合性成熟度,初步判断哥斯达黎加外海茎柔鱼属于小型或中型群体。

角质颚主要由几丁质组成,成分单一,对 C 和 N 稳定同位素来说,不会因为其结构对分析结果造成影响^[14]。但角质颚上、下两部分结构的形态和功能差异,使得它们所含的稳定同位素含量有所区别。研究发现,下角质颚的 $\delta^{15}N$ 和 $\delta^{13}C$ 值虽然都要高于上角质颚,但是上下角质颚之间并不存在差异 ($P > 0.05$)。HOBSON 和 CHEREL^[22]在对乌贼角质颚研究中也认为,上、下角质颚 $\delta^{15}N$ 和 $\delta^{13}C$ 值不存在差异。CHEREL 等^[23]从抹香鲸胃含物中取出的深海中各种头足类的角质颚,对其进行稳定同位素分析发现,成年大王乌贼的下角质颚的 $\delta^{15}N$ 相对上角质颚偏低,可见不同的头足类在不同角质颚的 $\delta^{15}N$ 和 $\delta^{13}C$ 值积累是有差别的。而在 C/N 的比值上,上、下角质颚存在着显著的差别 ($P < 0.05$),其中下角质颚的平均值与 ARGUELLES 等^[24]的研究

结果类似,而其他种类的头足类 C/N 的比值也基本上在 3‰~4‰的范围内。

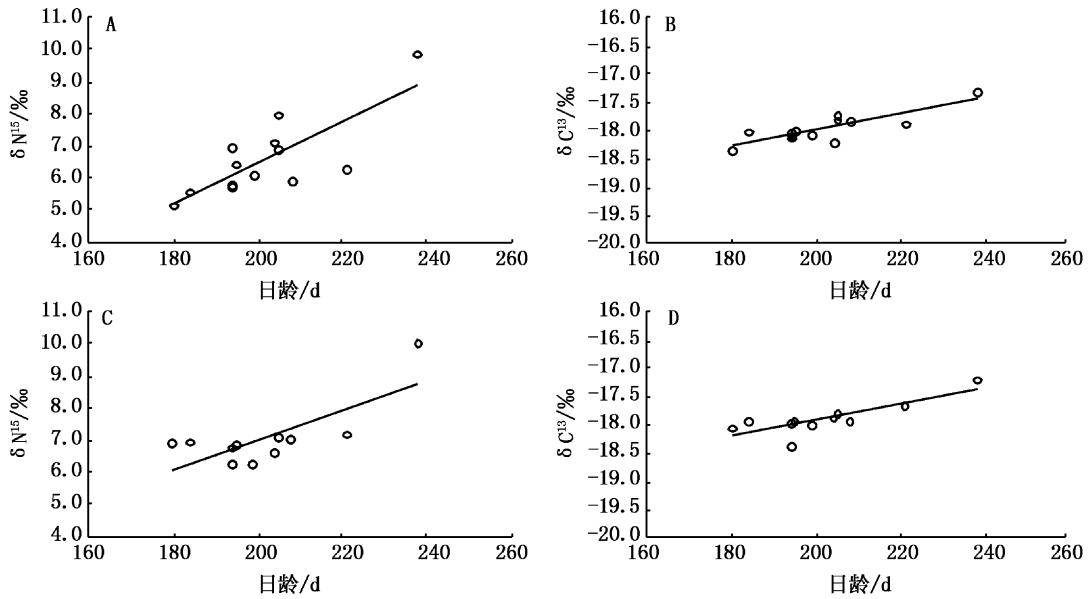


图 4 哥斯达黎加外海茎柔鱼日龄与上下角质颚稳定同位素的关系

Fig. 4 Relationship between age and stable isotope of upper/lower beak of *Dosidicus gigas* off the Costa Rica water

A, B 分别为上角质颚 $\delta^{15}N$ 、 $\delta^{13}C$ 与日龄的关系, C, D 分别为下角质颚 $\delta^{15}N$ 、 $\delta^{13}C$ 与日龄的关系。

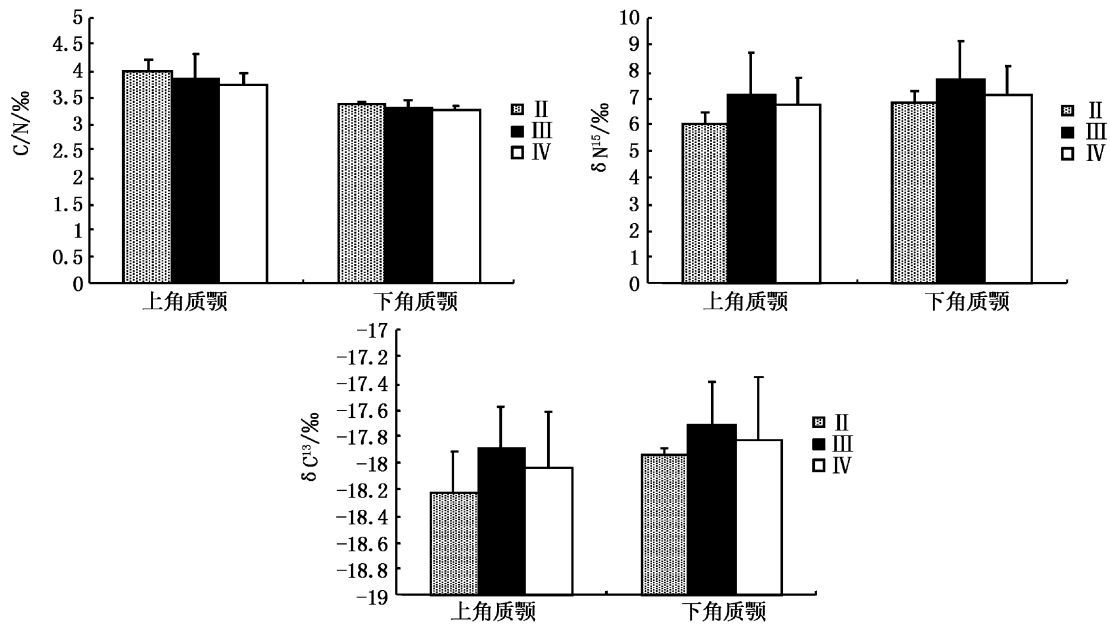


图 5 不同性腺成熟度与上下角质颚稳定同位素的关系

Fig. 5 Relationship between sex maturity stage and stable isotope of upper/lower beak of *Dosidicus gigas* off the Costa Rica water

随着茎柔鱼的生长,其食性会发生一定的变化,这也会在稳定同位素上有所反应。研究表明,无论上下角质颚,其 $\delta^{15}N$ 值均随着胴长的增

长而不断增大。RUIZ-COOLEY 等^[16,25]在对不同年份的茎柔鱼研究中也发现了这个规律。茎柔鱼在幼体时主要摄食浮游动植物以及甲壳类,而

随着个体的生长,食物开始转变为鱼类以及同类^[1]。 $\delta^{15}\text{N}$ 值能够很好地反应出个体在食物链及生态系统中的地位, $\delta^{15}\text{N}$ 随个体的生长不断升高,说明茎柔鱼所捕食的对象在不断地变化。而在胴长相似的情况下, $\delta^{15}\text{N}$ 值也会有所不同(胴长在 31 cm 左右出现几个不同的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,但差异不显著),这在其他国外学者的研究中也发现^[26]。LORRAIN 等^[26] 认为,出现这样的情况,是因为茎柔鱼是机会主义物种,即使个体大小有所不同,也有可能以相同或相似的食物为生,这在对茎柔鱼胃含物的研究中也体现^[27]。但是在日龄与 $\delta^{15}\text{N}$ 的关系分析中,其相关系数明显高于胴长与 $\delta^{15}\text{N}$ 关系的相关系数,相近日龄的 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化幅度明显较小,因此用日龄来表达与 $\delta^{15}\text{N}$ 的关系可能会更为可行。

大洋性头足类通常会有较大范围的洄游情况,同时在不同生活阶段也有着不同的栖息地和栖息环节,这一结论可从 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化上有所反应,因为 C 稳定同位素值能够反应初级生产者的富集情况。本研究中, $\delta^{13}\text{C}$ 随着胴长和日龄的增大而增加,反应出茎柔鱼栖息环境从大陆架向大洋的转变,同时活动范围也向着生产力更高的海域聚集^[28-29]。TAKAI 等^[30] 在对鸢乌贼 (*Sthenotheutis oualaniensis*) 进行稳定同位素分析时发现,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值随着纬度的增大而升高,且上升趋势明显,认为是由不同的温度和二氧化碳含量所造成的。但是在本研究中,由于采样点的范围比较小,所以并不能以此来解释^[29]。

在不同的性腺成熟度中,可以发现Ⅲ期个体的 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均是最高,从摄食的角度来说($\delta^{15}\text{N}$),这可能是因为在Ⅱ期时性腺发育较为缓慢,摄取量相对较小;处在Ⅲ期的个体由于性腺正在成熟,生长发育需要大量的能量,因而摄食量也大;而处在Ⅳ期的个体,性腺发育基本已经完成,因此摄食强度有所减少。NIGMATULLIN 等^[20] 以及 NESIS^[31] 认为茎柔鱼会季节性地洄游至沿岸来摄食和生长,而后又回到大洋中产卵,从洄游移动的角度来说,性成熟与 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系也表明了其生活史过程及其栖息场所的变化。

本次研究通过对角质颚稳定同位素的研究($\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$),对哥斯达黎加外海茎柔鱼的摄食、栖息环境和洄游有了初步的了解。在今后的

研究中,应该加强对不同组织的比较(如肌肉和内壳等),分析茎柔鱼不同组织稳定同位素的差异^[26];同时也应采集相应海域的浮游生物,对其初级生产力进行分析,从而能够更好地了解它们的摄食变化^[24];可进一步将不同部位角质颚的稳定同位素进行分析^[32],以便对个体的生长过程有更深入的了解。

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: 240-264.
- [2] ANATOLIO T, CARMEN Y, MARIATEGUI L, et al. Distribution and concentrations of Jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) of the Peruvian coast between 1991 and 1999[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 21-32.
- [3] YAMASHIRO C, MARITEGUI L, RUBIO J, et al. Jumbo flying squid fishery in Peru[M]//OKUTANI T. Large Pelagic Squids. Tokyo: Japan Marine Fishery Resources Research Center, 1998: 119-125.
- [4] TAIPE A, YAMASHIRO C, MARITEGUI L, et al. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999[J]. Fishery Research, 2001, 54(1): 21-32.
- [5] 陈新军,赵小虎. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1): 65-70.
- [6] ARGUELLES J P, RODHOUSE P, VIUEGAS G, et al. Age, growth and population structure of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in Peruvian waters[J]. Fishery Research, 2001, 54(1): 51-61.
- [7] MARKAIDA U, SOSA-NISHIZAKE O, QUI NEZ-VLE ZQYEZ C. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico[J]. Fishery Research, 2004, 66(1): 31-47.
- [8] MARKAIDA U, SOSA-NISHIZAKE O. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995-1997[J]. Fishery Research, 2001, 54(1): 63-82.
- [9] 叶旭昌,陈新军. 秘鲁外海茎柔鱼胴长组成及性成熟初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2001, 16(4): 347-350.
- [10] MARKAIDA U, SALINAS-ZAVALA C A, ROSAS-LUIS R, et al. Food and Feeding of Jumbo Squid *Dosidicus gigas* in the Central Gulf of California During 2005-2007[R]. CalCOFI Report, 2008, 49: 90-103.
- [11] HERNÁNDEZ-GARCÍA V. Contribución al conocimiento bioecológico de la familia Ommastrephidae Steenstrup, 1857 en el Atlántico Centro-Oriental[D]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de GC, 1995.
- [12] CASTRO J J, HERNÁNDEZ-GARCÍA V. Ontogenetic changes

- in mouth structures, foraging behavior and habitat use of *Scomber japonicus* and *Illex coindetii* [J]. *Scientia Marina*, 1995, 59 (3/4): 347–355.
- [13] 高全贺, 高孟春, 彭艳超, 等. 稳定碳同位素在海洋生态学上的应用[J]. *中国新技术新产品*, 2010(4): 14.
- [14] 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): 157–161.
- [15] 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]. *Proceeding Research Society of Biology* 2005, 272: 1601–1607.
- [16] RUIZ-COOLEY R I, MARKAIDA U, GENDRON D, et al. Stable isotopes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) beaks to estimate its trophic position: comparison between stomach contents and stable isotopes [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2006, 86: 437–445.
- [17] LIPINSKI M R, UNDERHILL L G. Sexual maturation in squid: quantum or continuum [J]. *South Africa Journal of Marine Science*, 1995, 15: 207–223.
- [18] 刘必林, 陈新军, 陆化杰, 等. 头足类耳石[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [19] 郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 采用碳氮稳定同位素技术对黄海中南部鳀鱼食性的研究[J]. *海洋学报*, 2007(2): 100–104.
- [20] 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.
- [21] 李纲, 贾涛, 刘必林, 等. 哥斯达黎加外海茎柔鱼生物学特性初步研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(2): 270–274.
- [22] HOBSON K A, CHEREL Y. Isotopic reconstruction of marine food webs using cephalopod beaks new insight from captivity raised *Sepia officinalis* [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 2006, 84: 766–770.
- [23] CHEREL Y, RIDOUX V, SPITZ J, et al. Stable isotopes document the trophic structure of a deep-sea cephalopod assemblage including giant octopod and giant squid [J]. *Biology Letters*, 2009, 5: 364–367.
- [24] ARGÜELLES J, LORRAIN A, CHEREL Y, et al. Tracking habitat and resource use for the jumbo squid *Dosidicus gigas*: a stable isotope analysis in the Northern Humboldt Current System [J]. *Marine Biology*, 2012, 159: 2105–2116.
- [25] RUIZ-COOLEY I, VILLA E, GOULD W. Ontogenic variation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ recorded in the gladius of the jumbo squid *Dosidicus gigas*: geographic differences [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2010, 399: 187–198.
- [26] LORRAIN A, ARGUELLES J, ALEGRE A, et al. Sequential isotopic signature along gladius highlights contrasted individual foraging strategies of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) [J]. *PLoS One*, 2011, 6(7): e22194.
- [27] IBÁÑEZ C, ARANCIBIA H, CUBILLOS L. Biases in determining the diet of jumbo squid *Dosidicus gigas* (D'Orbigny 1835) (Cephalopoda: Ommastrephidae) off southern-central Chile (34° S – 40° S) [J]. *Helgoland Marine Research*, 2008, 62: 331–338.
- [28] PENNINGTON T, MAHONEY K, KUWAHARA V, et al. Primary production in the eastern tropical Pacific: a review [J]. *Progress in Oceanography*, 2006, 69: 285–317.
- [29] MILLER T W, BRODEUR R D, RAU G H. Carbon stable isotopes reveal relative contribution of shelf-slope production to the northern California Current pelagic community [J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(4): 1493–1503.
- [30] TAKAI N, ONAKA S, IKEDA Y, et al. Geographical variations in carbon and nitrogen stable isotope ratios in squid [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2000, 80: 675–6847.
- [31] NESIS K N. *Dosidicus gigas*. Cephalopod life cycles, vol 1 [M]. London: Academic Press, 1983: 215–231.
- [32] ÁNGEL GUERRA, ALEJANDRO B R, ÁNGEL F G, 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, 16(7): 1425–1431.

Stable isotope of beak for *Dosidicus gigas* off Costa Rica coast

LI Jian-hua^{1,2,3,4}, CHEN Xin-jun^{1,2,3,4}, FANG Zhou²

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. 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: Stable isotope in the beaks has become a good material for ecological study of cephalopod as the characteristic of single structure and incorrosiveness. In this study, the stable isotopes of beak and its relationship between mantle length, age and sexual maturity were analyzed based on the samples of *Dosidicus gigas* collected by Chinese jigging vessel during July to August in 2009. The results showed that the mantle length of samples ranged from 25.6 to 35.8 cm, body weight ranged from 447.6 to 1 122.3 g, and these samples belonged to small group. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of lower beaks was higher than upper beak, but the difference was not significant ($P > 0.05$). The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ increased by mantle length and age, their relationships were fitted by the linear model. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were variable with different sexual maturity stage, and the sample with stage III has the maximum value of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. The results indicated that its habitat shifted from the continental shelf to the ocean and the scope of activities of *Dosidicus gigas* gathered toward more productive waters from the changes of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ during the growth process of *Dosidicus gigas*. At the same time, the changes of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were closely related with sexual maturity and individual growth process. It is recommended that the stable isotope of the beak and other hard tissues and its different parts should be studied combined with marine plankton in the studying area in order to provide a basis to understand and master the ecology of *Dosidicus gigas* in the future.

Key words: *Dosidicus gigas*; Costa Rica offshore; beak; stable isotope