

文章编号: 1674-5566(2019)03-0394-08

DOI:10.12024/jsou.20171202187

我国几种常见头足类角质颚碳氮稳定同位素分析

林静远¹, 刘必林^{1,2,3,4}, 桓梦瑶¹, 刘娜¹, 欧利国¹

(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. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘要: 头足类角质颚具有稳定的化学成分和物理结构, 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。本文分别对 4 种近海头足类(曼氏无针乌贼、杜氏枪乌贼、短蛸和剑尖枪乌贼)角质颚进行稳定同位素分析, 研究角质颚中碳、氮稳定同位素比值($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$; $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}$)、摄食生态和栖息环境在物种间的差异, 分析可能形成差异的原因以及 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值与头足类胴长间的相关性, 旨在解读不同头足类所生活栖息的渔场, 了解它们所处生态系统中的地位, 为渔业开发与管理提供材料, 同时也为我们可以更好地利用这些物种提供基础。结果表明, 4 种头足类的平均胴长关系为杜氏枪乌贼 > 剑尖枪乌贼 > 曼氏无针乌贼 > 短蛸 (122.72 mm > 67.93 mm > 67.93 mm > 35.3 mm), 平均体质量关系为杜氏枪乌贼 > 曼氏无针乌贼 > 短蛸 > 剑尖枪乌贼 (70.39 g > 50.67 g > 47.35 g > 19.93 g), 其中: 曼氏无针乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最大 ($10.81\text{‰} \pm 0.38\text{‰}$), $\delta^{13}\text{C}$ 值最小 ($-14.98\text{‰} \pm 0.55\text{‰}$), C/N 比值最小 (3.08 ± 0.03); 剑尖枪乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最小 ($8.21\text{‰} \pm 0.30\text{‰}$), $\delta^{13}\text{C}$ 值最大 ($-13.00\text{‰} \pm 0.54\text{‰}$), C/N 比值最大 (3.57 ± 0.06)。曼氏无针乌贼可能具有较高营养水平, 剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼相较于短蛸、曼氏无针乌贼生活在较浅水域的栖息环境。杜氏枪乌贼与短蛸的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$), 它们的生态位圆存在重叠, 处于相近的营养级, 其他物种间角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值存在显著差异 (ANOVA, $P < 0.05$), 生态位圆无重叠。此外杜氏枪乌贼角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值与胴长 (ML) 均呈显著的线性关系 ($\delta^{13}\text{C} = 0.0236 \times L_{\text{ML}} - 17.429$, $P < 0.05$; $\delta^{15}\text{N} = 0.0176 \times L_{\text{ML}} + 6.873$, $P < 0.05$), 而曼氏无针乌贼、短蛸以及剑尖枪乌贼的胴长与角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值相关性不显著 ($P > 0.05$), 说明其摄食习性随体长变化无显著相关。

关键词: 碳、氮同位素; 角质颚; 近海头足类; 摄食生态; 栖息地

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

剑尖枪乌贼 (*Uroteuthis edulis*)、杜氏枪乌贼 (*Uroteuthis duvauceli*)、曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 和短蛸 (*Octopus ocellatus*) 是我国沿海经济头足类代表种。头足类角质颚是位于口球内的几丁质硬组织, 由上颚和下颚两部分组成, 因其形态结构稳定、耐腐蚀、易获取以及信息储存良好等特点而被广泛应用于头足类的种类鉴定^[1-4]、种群判别^[5]、摄食分析^[6-7]、年龄和生长的估算^[8]以及资源评估^[9]等。近年来, 稳定同位素分析技术在不断成熟, 由于不同环境中稳定同位素组成存在差异, 且它在生物新陈代谢过程中具有复杂的分馏机制, 使得生物体内的稳定同位素

特征值可用于示踪物质在生态系统中的流动^[10]。生物组织中的碳、氮稳定同位素 (^{13}C 、 ^{15}N) 可提供较长的摄食信息及食物网中物质和能量的传递信息^[11-12]。在国内, 稳定碳、氮同位素技术在海洋生态系统结构分析上取得了一定成果。隋昊志等^[12]利用碳、氮稳定同位素分析了胶州湾普氏栉虾虎鱼 (*Ctenogobius giurinus*) 的食性。蔡德陵等^[13]利用碳、氮稳定同位素技术分析了东、黄海生态系统中鲈鱼 (*Miichthys miuy*) 和鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 的营养级。近年来, 稳定同位素分析技术也逐渐成为研究头足类摄食生态学的重要手段^[14], 本文分析了我国近海 4 种主

收稿日期: 2017-12-08 修回日期: 2018-11-13

基金项目: 国家自然科学基金(41306127); 上海市浦江人才计划项目(18PJ1404100)

作者简介: 林静远(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源学。E-mail: 1045703396@qq.com

通信作者: 刘必林, E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

要经济头足类(剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼、曼氏无针乌贼和短蛸)的角质碳氮稳定同位素值之间的差异,探寻碳、氮稳定同位素与头足类胴长之间的关系,通过比较碳、氮稳定同位素的种间差异,分析导致存在差异的可能性,以此可进一步了解这些经济种类间营养级关系、生态系统中营养流动^[15]、摄食生态、栖息环境以及它们在我国近海海洋生态系统的中地位。

1 材料和方法

1.1 材料来源及基础生物学测定

根据 2013 年 8 月在东海海域(27°00'N ~ 32°00'N、121°30'E ~ 126°30'E)采集的杜氏枪乌贼样本 18 尾、曼氏无针乌贼样本 18 尾、短蛸 20 尾、剑尖枪乌贼 15 尾,冷冻保存。实验室解冻后,对 4 种近海头足类样本分别进行基础生物学测量,用米尺(精度为 1 mm)测量胴长,电子天平(精度为 1 g)称量其体质量。随后用镊子把角质颚从口球中取出,并保存于 75% 的酒精溶液内供后续同位素分析使用。

1.2 稳定同位素的测定

首先使用 1% 的硝酸或盐酸将角质颚样品浸洗 1 min,然后用去离子水或超纯水冲净。将角质颚放入冷冻干燥机内干燥(-55 °C,干燥 24 h 以上),用 MM 400 混合型球磨仪(Retsch GmbH, Haan, Germany)研磨 1.5 min,研磨得到的颗粒用 100 目筛筛滤。称取 1.5 mg 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 Analysen systeme GmbH, Hanau, Germany)测定碳、氮稳定同位素比值

($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$)。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 计算公式如下:

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

式中: X 代表 ^{13}C 和 ^{15}N ; R_{sample} 为所测得的同位素比值($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 或者 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)^[16]。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。为保证实验结果的精度和准确度,每 10 个样品,放入 1 个标准样本,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‰ ($\delta^{15}\text{N}$)。

1.3 数据处理

采用方差分析(analysis of variance, ANOVA)比较 4 种头足类角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 差异的显著性。利用 R 语言程序“geomorph”包^[17],采用贝叶斯椭圆法^[18]分析 4 种头足类的生态位。对 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 与胴长进行线性回归分析。

2 结果

2.1 生物学测量

18 尾杜氏枪乌贼的胴长范围为 96 ~ 135 mm,平均胴长值为 122.72 mm,体质量范围为 42 ~ 102 g,平均体质量为 70.39 g;18 尾曼氏无针乌贼的胴长范围为 60 ~ 75 mm,平均胴长值为 64.78 mm,体质量范围为 31 ~ 73 g,平均体质量为 50.67 g;20 尾短蛸的胴长范围为 30 ~ 42 mm,平均胴长值为 35.30 mm,体质量范围为 28 ~ 78 g,平均体质量为 47.35 g;15 尾剑尖枪乌贼的胴长范围为 60 ~ 78 mm,平均胴长值为 67.93 mm,体质量范围为 13 ~ 27 g,平均体质量为 19.93 g。见表 1。

表 1 近海 4 种头足类平均胴长、体质量值,胴长、体质量标准差以及样本尾数

Tab. 1 The values of the average ML, average BW, SD and tails of four kinds of offshore cephalopods

	平均胴长值 Average ML/mm	平均体质量 Average BM/g	胴长标准差 SD(ML)	体质量标准差 SD(BM)	尾数 Tails/尾
杜氏枪乌贼(<i>Uroteuthis duraucei</i>)	122.72	70.39	11.92	14.40	18
曼氏无针乌贼(<i>Sepiella maindrani</i>)	64.78	50.67	4.03	11.46	18
短蛸(<i>Octopus ocellatus</i>)	35.30	47.35	3.64	13.98	20
剑尖枪乌贼(<i>Uroteuthis edulis</i>)	67.93	19.93	5.72	3.98	15

2.2 稳定同位素比值

杜氏枪乌贼角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 值范围分别为 9.06‰ ~ 9.85‰ (9.03‰ ± 0.38‰)、-15.60‰ ~ -13.29‰ (-14.53‰ ± 0.54‰) 和

3.12 ~ 3.64 (3.32 ± 0.11)。曼氏无针乌贼角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 值范围分别为 10.46‰ ~ 12.18‰ (10.81‰ ± 0.38‰)、-15.20‰ ~ -14.06‰ (-14.98‰ ± 0.55‰) 和 3.04 ~ 3.12

(3.08 ± 0.03)。短蛸角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 值范围分别为 $8.66\text{‰} \sim 10.12\text{‰}$ ($8.78\text{‰} \pm 0.45\text{‰}$)、 $-15.07\text{‰} \sim -13.85\text{‰}$ ($-14.54\text{‰} \pm 0.55\text{‰}$) 和 $3.11 \sim 3.24$ (3.18 ± 0.05)。剑尖枪乌

贼角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 值范围分别为 $7.48\text{‰} \sim 9.12\text{‰}$ ($8.21\text{‰} \pm 0.30\text{‰}$)、 $-13.55\text{‰} \sim -12.75\text{‰}$ ($-13.00\text{‰} \pm 0.54\text{‰}$) 和 $3.52 \sim 3.73$ (3.57 ± 0.06)。具体数值如表 2 所示。

表 2 近海 4 种头足类角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 值

Tab. 2 The values of $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ and C/N of four kinds of offshore cephalopods beaks

种类 Species	分类 Classification	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	标准差 SD
杜氏枪乌贼 <i>Uroteuthis duvauceli</i>	$\delta^{15}\text{N}$	9.85‰	9.06‰	9.03‰	0.38‰
	$\delta^{13}\text{C}$	-13.29‰	-15.60‰	-14.53‰	0.54‰
	C/N	3.64	3.12	3.32	0.11
曼氏无针乌贼 <i>Sepiella maindrani</i>	$\delta^{15}\text{N}$	12.18‰	10.46‰	10.81‰	0.38‰
	$\delta^{13}\text{C}$	-14.06‰	-15.20‰	-14.98‰	0.55‰
	C/N	3.12	3.04	3.08	0.03
短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>	$\delta^{15}\text{N}$	10.12‰	8.66‰	8.78‰	0.45‰
	$\delta^{13}\text{C}$	-13.85‰	-15.07‰	-14.54‰	0.55‰
	C/N	3.24	3.11	3.18	0.05
剑尖枪乌贼 <i>Uroteuthis edulis</i>	$\delta^{15}\text{N}$	9.12‰	7.48‰	8.21‰	0.30‰
	$\delta^{13}\text{C}$	-12.75‰	-13.55‰	-13.00‰	0.54‰
	C/N	3.73	3.52	3.57	0.06

2.3 稳定同位素种间差异

ANOVA 显示,4 种近海头足类角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 种间差异显著 ($P < 0.01$, 表 3)。两两物种间对比分析后发现,除了杜氏枪乌贼与短蛸外 ($P > 0.05$),其余物种间角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 存在显著差异 ($P < 0.01$),其中:曼氏无针乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最大, $\delta^{13}\text{C}$ 值最小,C/N 比值最小;剑尖枪乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最小, $\delta^{13}\text{C}$ 值最大,C/N 比值最大。见图 1~3。

表 3 近海 4 种头足类角质颚碳、氮同位素间差异 ANOVA 分析结果

Tab. 3 ANOVA result of four kinds of offshore cephalopods for the difference between their $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values

同位素 Stable isotope	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square error	F	显著性 SD
$\delta^{13}\text{C}$	35.893	3	11.964	53.537	<0.01
$\delta^{15}\text{N}$	65.263	3	21.754	86.519	<0.01

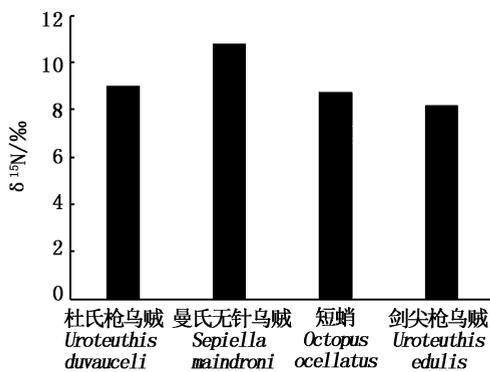


图 1 近海 4 种头足类角质颚 $\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$ 比较柱状图

Fig. 1 The $\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$ values for four kinds of offshore cephalopods beaks

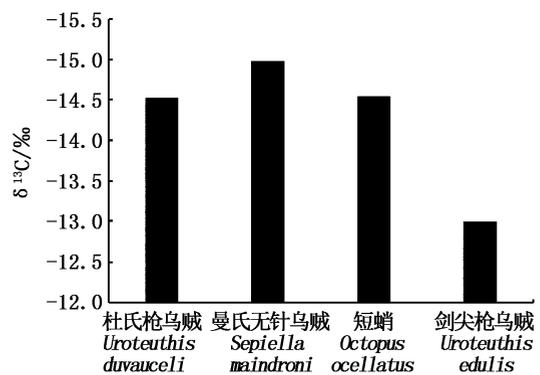


图 2 近海 4 种头足类角质颚 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ 比较柱状图

Fig. 2 The $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ values for four kinds of offshore cephalopods beaks

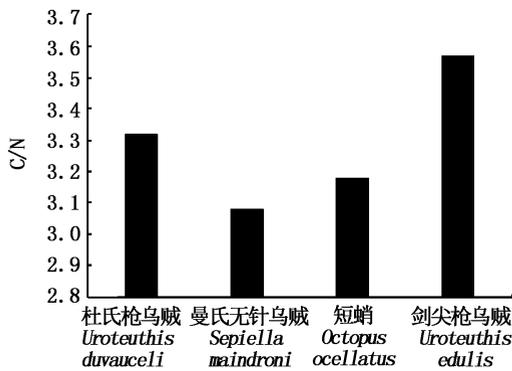


图3 近海4种头足类角质碳 C/N 比较柱状图

Fig. 3 The C/N values for four kinds of offshore cephalopods beaks

2.4 近海4种头足类生态位

贝叶斯椭圆法分析显示,曼氏无针乌贼处于较高营养级,杜氏枪乌贼与短蛸的生态位存在重叠,它们的营养水平相近,而剑尖枪乌贼处于较低营养水平(图4)。

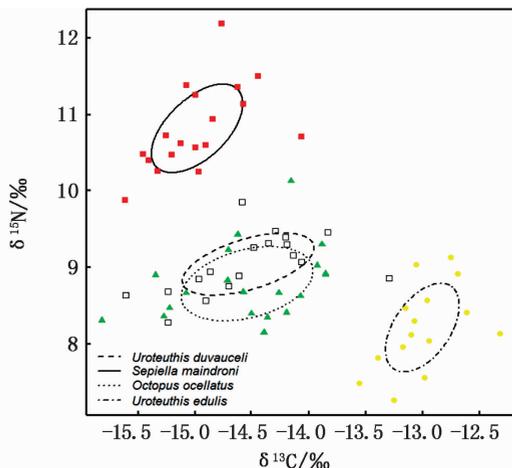


图4 近海4种头足类角质碳 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ 分布散点图

Fig. 4 The $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ values for four kinds of offshore cephalopods beaks

2.5 4种头足类角质碳氮同位素与胴长的关系

线性回归分析显示,杜氏枪乌贼角质碳、氮稳定同位素与胴长呈显著线性关系($P < 0.5$, 图5),曼氏无针乌贼、短蛸以及剑尖枪乌贼的碳、氮稳定同位素值与胴长无显著相关关系($P > 0.5$)。

3 分析与讨论

研究发现,造成近海4种头足类碳、氮稳定

同位素比值不同的原因主要是它们各自的摄食营养水平、所栖息海域深浅以及个体胴长大小不同。碳稳定同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)一般用来指示消费者的食物来源^[11],在海洋生态系统中, $\delta^{13}\text{C}$ 一方面指示低纬度或高纬度浮游生物量,另一方面指示近岸或离岸、中上层或底栖食物的摄入量^[19-20]。在4种近海头足类中,剑尖枪乌贼角质碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值最高($-13.00\text{‰} \pm 0.54\text{‰}$),其次是杜氏枪乌贼($-14.53\text{‰} \pm 0.54\text{‰}$)、短蛸($-14.54\text{‰} \pm 0.55\text{‰}$)和曼氏无针乌贼($-14.98\text{‰} \pm 0.55\text{‰}$),其中杜氏枪乌贼角质碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 与短蛸角质碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值十分接近,说明两者有可能具有相似的食物来源。扇贝分析显示,浮游植物 $\delta^{13}\text{C}$ 可能存在梯度,导致从深层到浅水 $\delta^{13}\text{C}$ 逐渐增加^[21],而本文中剑尖枪乌贼为浅海种,生活在30~170 m水层,相比于其他3种头足类,生活的水域较浅,曼氏无针乌贼,则生活在较深海域^[22]。再者, $\delta^{13}\text{C}$ 还可能受到离岸距离远近、陆源物质补充输入等因素的影响,同为枪乌贼科的杜氏枪乌贼和剑尖枪乌贼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异显著,而它们生活水层深度相近,因此 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差主要来自剑尖枪乌贼,相较于杜氏枪乌贼,其生活在更近岸水域^[22]。上述原因均可能造成 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异。

生物体中氮稳定同位素比值($\delta^{15}\text{N}$)用于指示消费者的营养级^[11,23]。国外已有学者通过分析相同海域头足类角质碳的氮稳定同位素,研究其在海洋生态系统中的营养级水平。RUIZ-COOLEY等^[24]通过角质碳 $\delta^{15}\text{N}$ 分析发现,加利福尼亚湾茎柔鱼大型群和中型群的食物组成存在明显差异,大型群食物组成的营养级水平要比中型群高。NEGRI等^[25]发现威德尔海豹在南极海域捕食的蒂尔近爱尔兰斗蛸(*Pareledone turqueti*)和多形艾爱尔兰斗蛸(*Adelieledone polymorpha*),它们角质碳的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异不显著,表明其营养级相近。研究发现,曼氏无针乌贼角质碳的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值最高($10.81\text{‰} \pm 0.38\text{‰}$),其次是杜氏枪乌贼($9.03\text{‰} \pm 0.38\text{‰}$)、短蛸($8.78\text{‰} \pm 0.45\text{‰}$)和剑尖枪乌贼($8.21\text{‰} \pm 0.30\text{‰}$),这4种近海头足类 $\delta^{15}\text{N}$ 值存在显著差异,可能是它们摄食种类不同所导致的。曼氏无针乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高,推测其在食物链中可能处于较高地位,其所摄食的食物营养层次较高;也可能是相较于杜氏枪乌贼、短

蛸和剑尖枪乌贼,其栖息水层较深^[26],近岸水域如果水层混合不充分情况下,底层的基线生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值较高导致的^[27]。杜氏枪乌贼和短蛸角质

颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值相近,说明它们可能处于相近的营养级水平,而剑尖枪乌贼相较于其他4种近海头足类则处于较低的营养级水平。

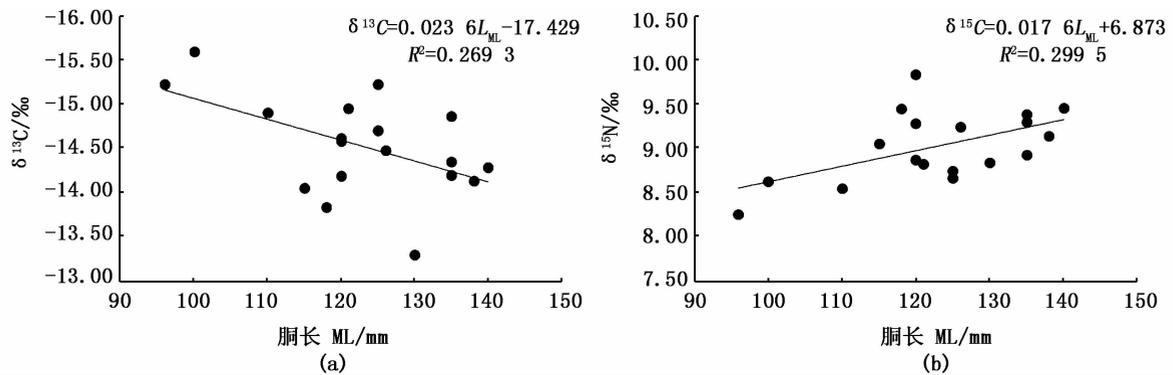


图5 杜氏枪乌贼胴长与角质颚 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值关系图

Fig. 5 Relationships between the mantle length and $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ values of *Uroteuthis duvauceli*

分析近海4种头足类胴长与角质颚 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值发现:杜氏枪乌贼角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 与胴长呈显著线性负相关关系($P < 0.05$),随着杜氏枪乌贼胴长增加,角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈显著下降状态;而角质颚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与胴长呈显著线性正相关关系($P < 0.05$),这与金岳等^[28]的研究结果相一致。分析认为随着杜氏枪乌贼胴长的增加,角质颚的 $\delta^{13}\text{C}$ 有明显下降趋势,这可能是因为海洋浮游植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 从赤道逐渐向两极递减^[25],而杜氏枪乌贼夏季在东海海区向西北方向移动,食物来源发生转变,其食物链基线生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化导致了其角质颚 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化^[29]。 $\delta^{15}\text{N}$ 的变化可能是由于头足类随着胴长增加,食性发生转变,营养级提高造成的,这与科达乌贼(*Kondakovia Longimana*)的角质颚,随着个体的增长, $\delta^{15}\text{N}$ 值增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值减少,以及位于凯尔盖朗群岛和克罗泽群岛的强壮桑椹乌贼(*Moroteuthis ingens*)有着相同的变化规律^[30]。其余3种头足类的角质颚 $\delta^{15}\text{N}$ 与它的胴长之间均无显著相关性($P > 0.05$),这有可能是它们胴长变化范围较小,个体生长过程中,摄食习性没有显著变化导致的。

利用碳、氮稳定同位素比值可以绘制出头足类所处的生态位圆,更加直观准确地了解头足类所处的营养层次。FANG等^[31]根据北太平洋柔鱼东部和西部群体的角质颚 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值的显著差异,发现这两个群体的摄食生态位重叠很小,认为主要是不同地理种群的不同生长率、洄游路

径以及摄食习性差异所导致的。本文研究4种近海头足类生态位圆,发现其中杜氏枪乌贼与短蛸存在摄食生态位圆重叠,说明它们处于相近的营养级水平,曼氏无针乌贼的营养级则较高,剑尖枪乌贼的营养级较低。造成这4种近海头足类碳、氮稳定同位素比值差异的主要原因是各自的摄食习性、栖息海域深浅以及个体胴长大小不同。

头足类角质颚存在色素沉着现象,色素含量与C/N比值有关,且角质颚的色素沉积情况可以反映其栖息环境,例如:底栖生活的蛸类和乌贼角质颚侧壁与翼部色素沉着往往较深,C/N值低;而中上层水域生活的枪乌贼类角质颚侧壁与翼部则较透明,C/N值较高^[32]。研究比较了4种近海头足类C/N值,发现剑尖枪乌贼角质颚的C/N值(3.57 ± 0.06) > 杜氏枪乌贼(3.32 ± 0.11) > 短蛸(3.18 ± 0.05) > 曼氏无针乌贼(3.08 ± 0.03),通过比较不同种类之间角质颚的C/N可以确定它们之间角质颚色素沉积度的差异:C/N值越高则 $\delta^{15}\text{N}$ 越低,角质颚几丁质含量越高,蛋白质含量越低,色素沉积越浅;C/N值越低则 $\delta^{15}\text{N}$ 越高,几丁质含量越低,蛋白质含量越高,色素沉积越深。这刚好与本文中剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼相较于短蛸、曼氏无针乌贼生活在较浅水域的栖息环境相吻合。

本文分析比较了我国近海4种主要经济头足类(杜氏枪乌贼、曼氏无针乌贼、短蛸和剑尖枪

乌贼)角质颚碳、氮稳定同位素比值之间差异存在的可能性,并且探究了碳、氮稳定同位素与头足类胴长之间的关系,通过比较碳、氮稳定同位素的种间差异,进一步更加清晰地了解这些经济种类间营养级关系、摄食生态、栖息环境以及它们在我国近海海洋生态系统的中地位,为今后近海头足类资源的合理开发利用提供材料。在今后的研究中,可以选取更多的样本进行头足类营养级的计算,结合碳、氮稳定同位素比值进行生态位的比较分析研究,此外还可以取不同的断面(喙部、侧壁和翼部)的角质颚进行碳、氮稳定同位素测定,角质颚的生长是几丁质不断堆积的,并且是不可逆的过程,通过研究角质颚不同断面的碳、氮稳定同位素,可以了解头足类在不同生活史阶段所处栖息环境、摄食生态和洄游等情况。

参考文献:

- [1] 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.
LIU B L, CHEN X J. Review on the research development of beaks in Cephalopoda [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(1): 157-164.
- [2] 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.
- [3] CLARKE M R. A handbook for the identification of cephalopod beaks[M]. Oxford: Clarendon Press, 1986: 273.
- [4] CHEN X J, LU H J, LIU B L, et al. Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) using beak morphological variables[J]. Scientia Marina, 2012, 76(3): 473-481.
- [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] CLARKE M R, TRILLMICH F. Cephalopods in the diet of fur seals of the Galapagos Islands[J]. Journal of Zoology, 1980, 190(2): 211-215.
- [7] SEKIGUCHI K, KLAGES N T W, BEST P B. The diet of strap-toothed whales (*Mesoplodon layardii*) [J]. Journal of Zoology, 1996, 239(3): 453-463.
- [8] HERNÁNDEZ-LÓPEZ J L, CASTRO-HERNÁNDEZ J L. Age determined from the daily deposition of concentric rings on common octopus (*Octopus vulgaris*) beaks [J]. Fishery Bulletin, 2001, 99(4): 679-684.
- [9] 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.
- [10] AUDZIJONYTE A, FULTON E A, KUPARINEN A. Corrections: Stable carbon isotopes and carbon flow in ecosystems [J]. BioScience, 1986, 36(7): 475.
- [11] POST D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions[J]. Ecology, 2002, 83(3): 703-718.
- [12] 隋昊志, 韩东燕, 薛莹, 等. 基于碳、氮稳定同位素研究胶州湾普氏栉虾虎鱼的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3789-3796.
SUI H Z, HAN D Y, XUE Y, et al. Feeding habits of *Rhinogobius pflaumi* in Jiaozhou Bay, China based on carbon and nitrogen stable isotope analysis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(11): 3789-3796.
- [13] 蔡德陵, 李红燕, 唐启升, 等. 黄东海生态系统食物网连续营养谱的建立: 来自碳氮稳定同位素方法的结果[J]. 中国科学 C 辑 生命科学, 2005, 35(2): 123-130.
CAI D L, LI H Y, TANG Q S, et al. Establishment of trophic continuum in the food web of the Yellow Sea and East China Sea ecosystem: Insight from carbon and nitrogen stable isotopes[J]. Science in China Series C Life Sciences, 2005, 48(6): 531-539.
- [14] 李忠义, 金显仕, 庄志猛, 等. 稳定同位素技术在水域生态系统研究中的应用 [J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3052-3060.
LI Z Y, JIN X S, ZHUANG Z M, et al. Applications of stable isotope techniques in aquatic ecological studies [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3052-3060.
- [15] OVERMAN N C, PARRISH D L. Stable isotope composition of walleye: ^{15}N accumulation with age and area-specific differences in $\delta^{13}\text{C}$ [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(6): 1253-1260.
- [16] SMITH K A. Soil analysis: modern instrumental techniques [M]. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [17] ADAMS D C, OTÁROLA-CASTILLO E. Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data [J]. Methods in Ecology and Evolution, 2013, 4(4): 393-399.
- [18] LAYMAN C A, ARRINGTON D A, MONTANA C G, et al. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure [J]. Ecology, 2007, 88(1): 42-48.
- [19] HOBSON K A, PIATT J F, PITOCHELLI J. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships [J]. Journal of Animal Ecology, 1994, 63(4): 786-798.
- [20] CHEREL Y, HOBSON K A. Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the southern Ocean [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 329: 281-287.

- [21] 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(4): 675-684.
- [22] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
CHEN X J, LIU B L, WANG Y G. *Cephalopods of the world* [M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [23] DENIRO M J, EPSTEIN S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42(5): 495-506.
- [24] 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(2): 437-445.
- [25] NEGRI A, DANERI G A, CEIA F, et al. The cephalopod prey of the Weddell seal, *Leptonychotes weddellii*, a biological sampler of the Antarctic marine ecosystem [J]. *Polar Biology*, 2016, 39(3): 561-564.
- [26] 方舟, 金岳, 胡飞飞, 等. 秋季我国近海不同海域短蛸角质颚形态学研究[J]. *水产学报*, 2018, 42(7): 1050-1059.
FANG Z, JIN Y, HU F F, et al. Beak morphometrics of short arm octopus (*Amphioctopus fangsiao*) in different sea areas of China in autumn[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1050-1059.
- [27] GRAHAM B S, KOCH P L, NEWSOME S D, et al. Using Isoscapes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems[M]//WEST J B, BOWEN G J, DAWSON T E, et al. *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping*. New York: Springer, 2010: 299-318.
- [28] 金岳, 陈新军, 李云凯, 等. 基于稳定同位素技术的北太平洋柔鱼角质颚信息[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(8): 2101-2107.
JIN Y, CHEN X J, LI Y K, et al. Information in beaks of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean using stable isotope technology [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(8): 2101-2107.
- [29] RAU G H, SWEENEY R E, KAPLAN I R. Plankton ^{13}C : ^{12}C ratio changes with latitude: differences between northern and southern oceans [J]. *Deep Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, 1982, 29(8): 1035-1039.
- [30] 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(3): 364-367.
- [31] FANG Z, THOMPSON K, JIN Y, et al. Preliminary analysis of beak stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) stock variation of neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the North Pacific Ocean [J]. *Fisheries Research*, 2016, 177: 153-163.
- [32] LU C C, ICKERINGILL R. Cephalopod beak identification and biomass estimation techniques: tools for dietary studies of southern Australian finfishes [R]. *Museum Victoria Science Reports*. Australia: Fisheries Research and Development Corporation, 2002: 1-65.

Carbon and nitrogen stable isotopes analysis of the common cephalopods beaks in the offshore of China

LIN Jingyuan¹, LIU Bilin^{1,2,3,4}, HUAN Mengyao¹, LIU Na¹, OU Ligu¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: The beaks of cephalopods have stable chemical compositions and firm physical structures. Recently, with the increasing use of stable isotope analysis in ecology, it becomes a powerful tool and complement of traditional methods for investigating the trophic ecology and migration patterns of invertebrates. This research was based on 18 *Uroteuthis duvauceli* specimens, 18 *Sepiella maindroni* specimens, 20 *Octopus ocellatus* specimens and 15 *Uroteuthis edulis* specimens, which were collected in August 2013 from the East China Sea. The beaks of these four kinds of offshore species were studied by determining their carbon stable isotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen stable isotope ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}$). In order to find the differences of these species' habitats and the foraging behaviors, the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values were analyzed to see whether there was a correlation with their mantle lengths. The study aimed to explain the habitats of different cephalopods and find their position in the ecological system, not only providing materials for further development and management, but also giving a basis for the better use of these species. The results showed that the average values of mantle length for four species: *U. duvauceli* > *U. edulis* > *S. maindroni* > *O. ocellatus* (122.72 mm > 67.93 mm > 67.93 mm > 35.3 mm). The average values of body weight for four species: *U. duvauceli* > *S. maindroni* > *O. ocellatus* > *U. edulis* > (70.39 g > 50.67 g > 47.35 g > 19.93 g). *S. maindroni* have the maximum $\delta^{15}\text{N}$ value (10.81‰ ± 0.38‰), the minimum $\delta^{13}\text{C}$ value (−14.98‰ ± 0.55‰), the minimum C/N (3.08 ± 0.03) and *U. edulis* have the minimum $\delta^{15}\text{N}$ value (8.21‰ ± 0.30‰), the maximum $\delta^{13}\text{C}$ value (−13.00‰ ± 0.54‰), the maximum C/N (3.57 ± 0.06), *U. duvauceli* and *U. edulis* live in the shallower water area than the *S. maindroni* and *O. ocellatus*. And the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values between *U. duvauceli* and *O. ocellatus* were very similar (ANOVA, $P > 0.05$), their ecological niches were much overlapped, they may have the similar trophic level. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of other kinds of species had significant differences (ANOVA, $P < 0.05$). In addition, the $\delta^{13}\text{C}$ values of *U. duvauceli* and the mantle length (ML) showed a significant liner relationship ($\delta^{13}\text{C} = 0.0236 \times L_{\text{ML}} - 17.429$, $P < 0.05$), $\delta^{15}\text{N}$ values also showed a significant liner relationship with the mantle length (ML) ($\delta^{15}\text{N} = 0.0176 \times L_{\text{ML}} + 6.873$, $P < 0.05$), but there was no significant correlation between carbon and nitrogen stable isotopes with the mantle length in *S. maindroni*, *O. ocellatus* and *U. edulis* ($P > 0.05$). It showed that there was no significant connection between feeding habit and mantle length.

Key words: carbon and nitrogen stable isotope; beak; offshore cephalopods; foraging ecology; habitat