

文章编号: 1674-5566(2024)04-0878-10

DOI: 10.12024/jsou.20230704292

西北太平洋公海两种大洋性鱿鱼营养生态位分析

刘庭羽¹, 张嘉琦¹, 刘必林^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 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可持续利用重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为了深入了解大洋性鱿鱼在西北太平洋食物网中的作用, 根据2021年和2022年上海海洋大学“淞航”号开展农业农村部公海渔业资源综合科学调查专项时采集的样品, 利用碳氮稳定同位素技术对西北太平洋柔鱼和日本爪乌贼两种头足类肌肉稳定同位素以及营养生态位进行研究。结果表明: 柔鱼各站点间的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值都存在显著性差异; 日本爪乌贼2个站点间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在显著性差异, $\delta^{15}\text{N}$ 值差异性不显著。柔鱼和日本爪乌贼间的肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值存在显著差异。个体发育过程中, 柔鱼、日本爪乌贼的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值与胴长相关性不显著。柔鱼营养生态位宽度($\text{SEAc}=0.35\%e^2$)大于日本爪乌贼生态位宽度($\text{SEAc}=0.20\%e^2$), 两者之间的重叠率中等(0.314)。柔鱼和日本爪乌贼种内雌雄间生态位重叠率高, 分别为0.988和0.760。分析认为, 柔鱼和日本爪乌贼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值受海表温及摄食作用的影响; 柔鱼和日本爪乌贼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值受摄食作用的影响; 两种头足类雌性和雄性群体对食物和栖息地资源的利用高度相似。

关键词: 柔鱼; 日本爪乌贼; 稳定同位素; 营养生态位

中图分类号: S 931.1 **文献标志码:** A

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)和日本爪乌贼(*Onychoteuthis borealijaponicus*)均为大洋性头足类。柔鱼栖息地广泛分布于三大洋, 日本爪乌贼栖息在日本和加利福尼亚之间的北太平洋沿岸水域, 柔鱼和日本爪乌贼是世界上重要的大洋性经济鱼种^[1-3]。柔鱼和日本爪乌贼作为饵料生物^[4], 是海洋哺乳动物以及鱼类重要的捕食对象^[5-6]。

稳定同位素技术与胃含物分析法相比, 胃含物分析法存在所需样本量大、不能代表长期食物组成、存在人为误差等局限^[7], 而稳定同位素技术是近年来被广泛应用于示踪水域生态系统物质循环和能量流动的一种新技术, 其中 $\delta^{13}\text{C}$ 值在各营养级富集较低, 因此可用来指示初级生产力的来源, 也可以用来区分生物个体摄食区域的水平和垂直变化^[8]。而 $\delta^{15}\text{N}$ 值在各营养级间的富集程度较高, 因此可用来确定研究对象的营养位置,

也可用于指示个体在其生命周期内的摄食营养变化^[9]。营养生态位是指物种所处的营养层次, 尤其是在食物网中的位置关系, 反映的是对食物资源的利用状况及产生的影响, 是了解物种在生态系统中种间相互关系的重要依据^[10]。碳、氮稳定同位素因具有相对稳定的分馏系数, 因此被广泛用于量化营养生态位^[11]。

生物个体在不同时间尺度上的摄食情况变化可以通过个体不同组织的不同周转速率以及分馏系数反映, 可以通过具有周期性生长增量的硬组织(如眼睛晶体、角质颚等)回溯头足类生长史过程^[12]。与硬组织相比, 肌肉可以反映生物体一段时间内摄食信息, 一般为几个月至一年, RUIZ-COOLEY等^[13]发现胴长40 cm的茎柔鱼个体约需80 d才能将食物信息反映在肌肉中。张嘉琦等^[14]通过肌肉组织稳定同位素值对西北太

收稿日期: 2023-07-31 修回日期: 2023-11-10

基金项目: 上海市高校特聘教授“东方学者”岗位跟踪计划项目(GZ2022011); 农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项(D-8025-23-1002)

作者简介: 刘庭羽(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源学。E-mail: 153883797@qq.com

通信作者: 刘必林, E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

太平洋富山武装乌贼和相拟钩腕乌贼两种小型头足类的生态位变化进行了研究,研究发现富山武装乌贼 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值主要受同位素基线值空间变化以及摄食作用的影响,而相拟钩腕乌贼 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值则更多受同位素基线值空间变化的影响。

目前,国内对日本爪乌贼的研究较少,而柔鱼和日本爪乌贼作为西北太平洋众多高级捕食者的重要饵料生物,在生态系统中发挥着重要的作用。因此本文通过它们的肌肉碳氮稳定同位素来研究这两种头足类以及它们种内雌雄间营

养生态位,了解两种鱿鱼的营养生态,进一步掌握柔鱼、日本爪乌贼种群生活史特征,为西北太平洋生态系统养护提供基础资料。

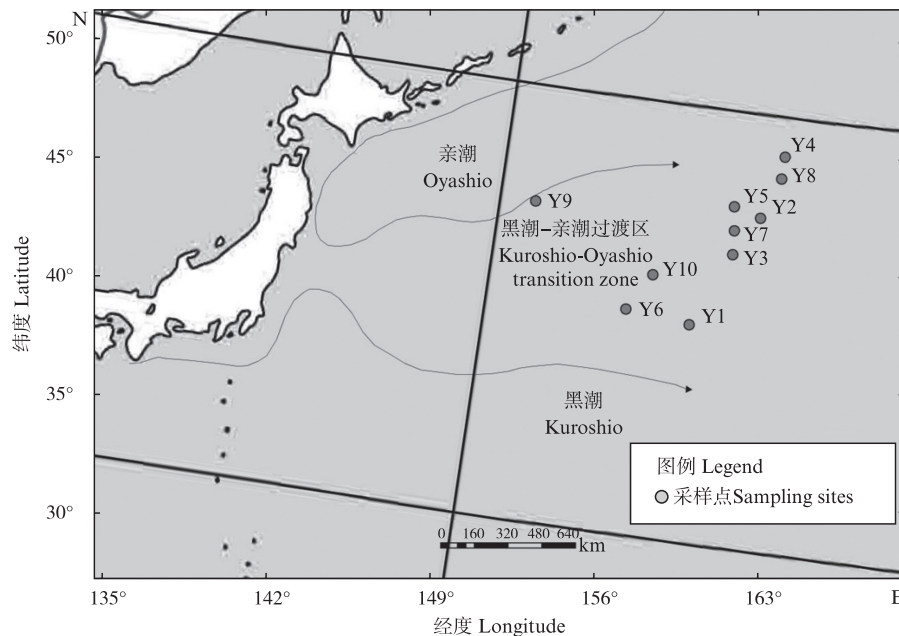
1 材料与方法

1.1 样品来源与预处理

所有柔鱼、日本爪乌贼样品均由上海海洋大学渔业资源调查船“淞航”号在执行农业农村部公海渔业资源综合科学调查专项任务时采集(表 1)。采集站点如图 1^[15]所示。

表 1 渔业生物采样站点信息
Tab.1 Biological sampling sites information

种类 Species	采样日期 Sampling date	站点编号 Site number	站点信息 Site information	样本数 Sample size/尾	胴长 Mantle length/mm
柔鱼 <i>Ommastrephes bartramii</i>	2022/7/8	Y1	160°04'E, 38°00'N	2	160 ~ 161
	2022/7/11	Y2	163°07'E, 42°32'N	5	359 ~ 423
	2022/7/16	Y3	161°56'E, 40°59'N	4	377 ~ 441
	2022/7/22	Y4	164°10'E, 45°08'N	5	375 ~ 449
	2022/7/15	Y5	162°00'E, 43°02'N	3	371 ~ 398
	2022/7/26	Y6	157°22'E, 38°40'N	14	166 ~ 236
	2022/7/24	Y7	162°00'E, 42°00'N	3	210 ~ 212
	2022/7/21	Y8	164°01'E, 44°12'N	4	359 ~ 398
日本爪乌贼 <i>Onychoteuthis borealijaponicus</i>	2021/6/28	Y9	153°31'E, 43°16'N	28	176 ~ 329
	2022/6/30	Y10	158°31'E, 40°08'N	4	94 ~ 136



基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4392号标准地图为底图,底图边界无修改。

The figure is based on the standard map GS (2020)4392 in the Standard Map Service website of Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, with no modifications of the boundaries in the standard map.

图 1 西北太平洋柔鱼、日本爪乌贼采集站点及黑潮-亲潮过渡区分布

Fig. 1 Sampling sites of *Ommastrephes bartramii* and *Onychoteuthis borealijaponicus* the distribution Kuroshio-Oyashio transition zone in Northwest Pacific Ocean

样品采集并分类清洗后放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻存。将两种头足类放在实验室常温解冻后,进行基础生物学测量,用米尺(精度为 1 mm)测量胴长,用电子天平(精度为 0.01 g)测量体质量。剪取各样品胴体腹部适量肌肉,用于碳氮稳定同位素分析。

所有的肌肉样品去除表皮后,使用Milli-Q超纯水冲洗 5 min ,以去除可能的污染物质,通过冷冻干燥机进行冷冻干燥($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$,干燥 40 h),干燥后使用球形研磨仪将其研磨成均匀粉末,粉末经过筛绢过滤处理后,称取 1.5 mg 粉末放入锡舟中包样待测。

1.2 稳定同位素测定

使用ISOPRIME 100稳定同位素质谱仪(Isoprime Corporation, Cheadle, UK)以及vario ISOTOPE cube元素分析仪(Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany)进行碳氮稳定同位素测定,所有测定过程均在上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室进行。计算公式:

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

式中: δ 值为国际通用的稳定同位素比值; X 为 ^{13}C 或 ^{15}N ; R_{sample} 和 R_{standard} 分别为样品和标准物中 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 或 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 的值。在测定过程中,采用美洲拟箭石(PDB)和纯化大气氮(N_2)作为碳、氮稳定同位素的标准物质。同时,为保证测样结果的稳定性,每10个测试样品后插入3个标准同位素样品,分析精度为 $\pm 0.06\text{‰}$ 。根据POST等^[16]的研究,进行碳氮稳定同位素分析时,当C:N<3.5时,则不需要进行脂类去除处理。本次测量的柔鱼和日本爪乌贼的肌肉C:N<3.5,所以不需要进行脂类去除处理。

1.3 数据处理

使用方差分析(ANOVA)对柔鱼站点间的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异进行显著性分析。使用独立样本T检验对两个物种间 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异进行显著性分析,同时使用独立样本T检验分别对柔鱼雌雄间及日本爪乌贼雌雄间的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异进行显著性分析。在R语言中使用SIBER包绘制营养生态位,计算贝叶斯标准椭圆面积(Corrected

standard ellipse area, SEAc),使用SIAR包计算营养生态位重叠率,并根据LAYMAN等^[17]的判定方法计算种间及种内雌雄间的营养生态位重叠率(R 4.2.0),当重叠率低于0.29时视为低重叠,0.30~0.65为中度重叠,0.66~1为高度重叠。使用非参数估计的局部加权回归散点平滑法(LOESS)对柔鱼和日本爪乌贼的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 与胴长的关系分别进行拟合(R 4.2.0)。所有统计检验均在SPSS27.0软件中进行,显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 胴长组成

柔鱼的胴长范围为 $160\sim 449\text{ mm}$,优势胴长为 $161\sim 210\text{ mm}$ 和 $361\sim 410\text{ mm}$;日本爪乌贼胴长范围为 $94\sim 329\text{ mm}$,优势胴长为 $261\sim 310\text{ mm}$ 。物种间胴长具有显著性差异($t=2.612, P<0.05$)。雌性柔鱼胴长范围为 $166\sim 449\text{ mm}$,优势胴长为 $361\sim 410\text{ mm}$;雄性柔鱼胴长范围为 $160\sim 236\text{ mm}$,优势胴长为 $161\sim 210\text{ mm}$ 。雌性日本爪乌贼胴长范围为 $109\sim 329\text{ mm}$,优势胴长为 $261\sim 310\text{ mm}$;雄性日本爪乌贼胴长范围为 $94\sim 250\text{ mm}$,优势胴长为 $211\sim 260\text{ mm}$ (图2)。柔鱼雌雄间胴长差异显著($t=4.193, P<0.05$),日本爪乌贼雌雄间胴长也差异显著($t=3.912, P<0.05$)。

2.2 稳定同位素值

柔鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-20.451\text{‰}\sim -18.999\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $8.096\text{‰}\sim 10.150\text{‰}$;日本爪乌贼 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-20.754\text{‰}\sim -19.990\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $6.944\text{‰}\sim 8.515\text{‰}$ 。柔鱼各站点间的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值都存在显著性差异($\delta^{13}\text{C}: F=3.073, P<0.05$; $\delta^{15}\text{N}: F=4.164, P<0.05$);日本爪乌贼两个站点间的 $\delta^{13}\text{C}$ 存在显著性差异($t=-3.108, P<0.05$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异性不显著($t=1.317, P>0.05$)。柔鱼和日本爪乌贼间的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值存在显著性显著($\delta^{13}\text{C}: t=8.681, P<0.05$; $\delta^{15}\text{N}: t=13.465, P<0.05$)。柔鱼雌雄间 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在显著性显著($t=-5.279, P<0.05$), $\delta^{15}\text{N}$ 值不存在显著性差异($t=-0.375, P>0.05$);日本爪乌贼雌雄间 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在显著性差异($t=-2.289, P<0.05$), $\delta^{15}\text{N}$ 值不存在显著性差异($t=-0.269, P>0.05$)。

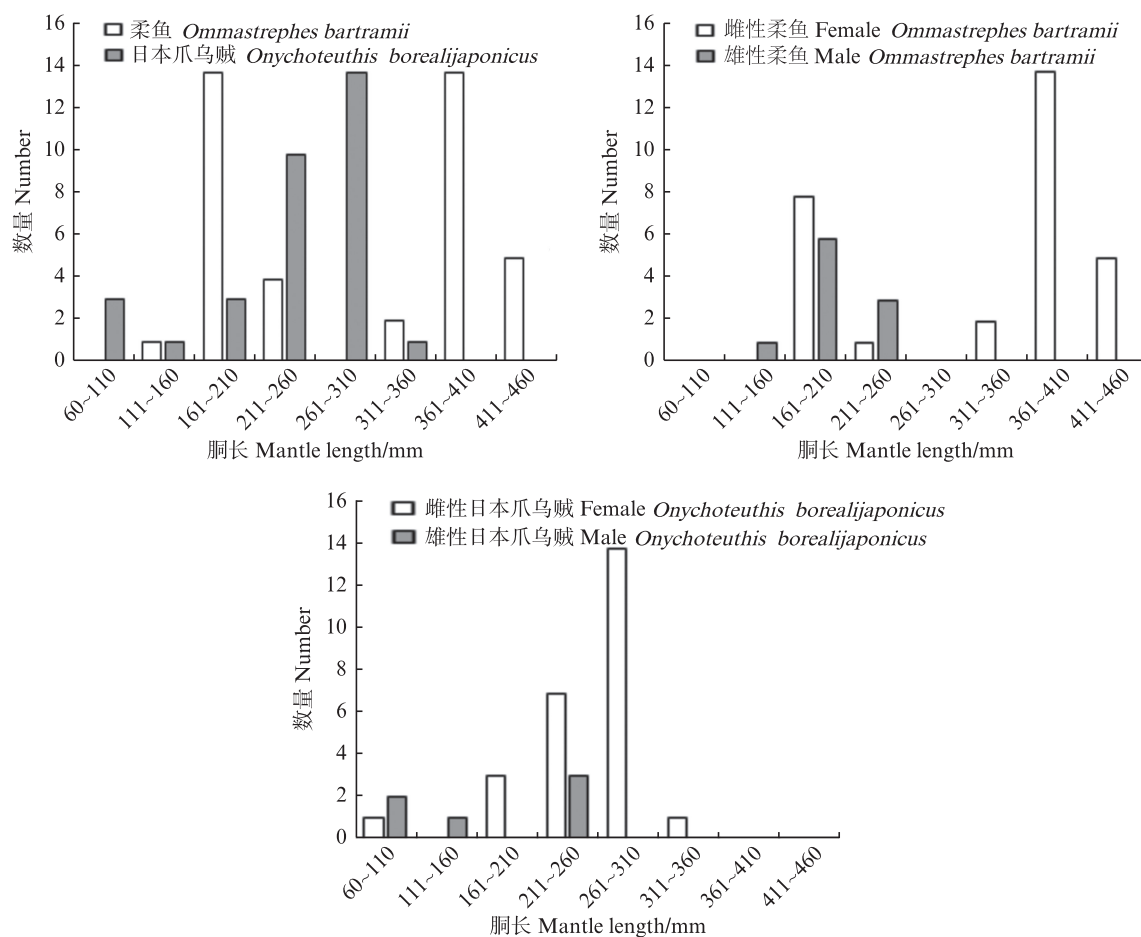


图2 柔鱼和日本爪乌贼胴长分布图、柔鱼雌雄间胴长分布图、日本爪乌贼雌雄间胴长分布图
 Fig. 2 Mantle length distribution for *Ommastrephes bartramii* and *Onychoteuthis borealijaponicus*, male and female *Ommastrephes bartramii*, and male and female *Onychoteuthis borealijaponicus*

表2 渔业生物样本信息
 Tab.2 Biological information for samples

种类 Species	站点编号 Site number	胴长 Mantle length/mm	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
柔鱼 <i>Ommastrephes bartramii</i>	Y1	160.500±0.707	-19.863±0.115	8.307±0.299
	Y2	391.600±23.933	-20.116±0.064	8.828±0.101
	Y3	413.000±29.944	-19.896±0.131	9.281±0.474
	Y4	407.800±27.833	-20.110±0.142	9.209±0.320
	Y5	386.670±14.012	-20.129±0.294	9.089±0.603
	Y6	185.500±18.262	-19.866±0.323	8.890±0.263
	Y7	211.000±1.000	-19.554±0.093	9.698±0.391
	Y8	373.750±16.840	-20.190±0.139	9.120±0.408
日本爪乌贼 <i>Onychoteuthis borealijaponicus</i>	Y9	259.210±36.708	-20.477±0.155	7.776±0.352
	Y10	108.750±19.346	-20.220±0.154	7.513±0.524

表3 渔业生物同位素信息
Tab. 3 Isotope information for samples

站点编号 Site number	编号 ID	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	C:N	站点编号 Site number	编号 ID	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	C:N
Y1	O-1	-19.944	8.518	3.196	Y8	O-37	-19.993	9.487	3.082
Y1	O-2	-19.782	8.096	3.171	Y8	O-38	-20.241	8.562	3.082
Y2	O-3	-20.060	8.764	3.089	Y8	O-39	-20.208	9.348	3.091
Y2	O-4	-20.086	8.982	3.140	Y8	O-40	-20.317	9.083	3.095
Y2	O-5	-20.169	8.800	3.189	Y9	J-1	-20.478	7.916	3.462
Y2	O-6	-20.066	8.725	3.131	Y9	J-2	-20.485	7.867	3.418
Y2	O-7	-20.199	8.868	3.139	Y9	J-3	-20.116	8.039	3.374
Y3	O-8	-19.954	9.086	3.087	Y9	J-4	-20.567	7.387	3.420
Y3	O-9	-20.034	8.774	3.070	Y9	J-5	-20.644	8.083	3.392
Y3	O-10	-19.867	9.378	3.116	Y9	J-6	-20.424	8.490	3.451
Y3	O-11	-19.729	9.888	3.096	Y9	J-7	-20.750	7.238	3.413
Y4	O-12	-20.204	9.237	3.052	Y9	J-8	-20.593	7.303	3.391
Y4	O-13	-20.053	8.926	3.088	Y9	J-9	-20.466	7.845	3.364
Y4	O-14	-20.134	9.066	3.104	Y9	J-10	-20.524	7.878	3.473
Y4	O-15	-19.898	9.746	3.083	Y9	J-11	-20.224	8.102	3.398
Y4	O-16	-20.263	9.070	3.065	Y9	J-12	-20.264	7.859	3.421
Y5	O-17	-20.451	8.495	3.215	Y9	J-13	-20.550	7.625	3.406
Y5	O-18	-19.874	9.700	3.104	Y9	J-14	-20.204	7.985	3.360
Y5	O-19	-20.062	9.071	3.082	Y9	J-15	-20.539	7.136	3.371
Y6	O-20	-20.104	8.991	3.123	Y9	J-16	-20.556	7.682	3.455
Y6	O-21	-18.999	9.292	3.141	Y9	J-17	-20.560	7.334	3.407
Y6	O-22	-19.700	8.486	3.133	Y9	J-18	-20.754	7.341	3.440
Y6	O-23	-19.747	8.774	3.164	Y9	J-19	-20.597	7.487	3.390
Y6	O-24	-20.137	8.853	3.098	Y9	J-20	-20.448	7.540	3.387
Y6	O-25	-20.102	8.863	3.091	Y9	J-21	-20.698	7.455	3.422
Y6	O-26	-19.960	8.539	3.110	Y9	J-22	-20.434	7.950	3.454
Y6	O-27	-19.495	9.347	3.114	Y9	J-23	-20.341	8.515	3.388
Y6	O-28	-20.047	8.878	3.073	Y9	J-24	-20.393	8.015	3.383
Y6	O-29	-20.206	8.912	3.090	Y9	J-25	-20.422	8.020	3.421
Y6	O-30	-19.800	8.759	3.102	Y9	J-26	-20.418	7.965	3.389
Y6	O-31	-19.888	8.560	3.136	Y9	J-27	-20.498	7.767	3.455
Y6	O-32	-19.799	9.113	3.101	Y9	J-28	-20.412	7.901	3.408
Y6	O-33	-20.134	9.092	3.067	Y10	J-29	-19.990	7.559	3.325
Y7	O-34	-19.489	9.471	3.133	Y10	J-30	-20.296	8.199	3.322
Y7	O-35	-19.512	10.150	3.151	Y10	J-31	-20.308	6.944	3.429
Y7	O-36	-19.661	9.473	3.156	Y10	J-32	-20.288	7.352	3.368

2.3 稳定同位素与胴长关系

在个体生长发育过程中, 柔鱼、日本爪乌贼的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值与胴长相关性不显著($P>0.05$), 见图3。柔鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在150~250 mm时随胴长增加而变大, 在250~350 mm时随胴长增加而减小; 在350~450 mm时, 柔鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化较大; 在150~250 mm阶段的柔鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围大于350~450 mm阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围。日本爪乌贼在100~290 mm时, 随着胴长增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现出下降趋势; 在100~230 mm时, 随着日本爪乌贼胴长增加, $\delta^{15}\text{N}$ 值呈现出上升趋势。

2.4 营养生态位对比

基于柔鱼、日本爪乌贼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值绘制的贝叶斯椭圆显示(图4), 柔鱼营养生态位宽度($\text{SEAc}=0.35\text{‰}^2$)大于日本爪乌贼生态位宽度($\text{SEAc}=0.20\text{‰}^2$), 两者之间的重叠率中等(0.314)。雄性柔鱼营养生态位宽度($\text{SEAc}=0.53\text{‰}^2$)大于雌性柔鱼生态位宽度($\text{SEAc}=0.19\text{‰}^2$), 两者之间的重叠率高(0.988)。雄性日本爪乌贼营养生态位宽度($\text{SEAc}=0.28\text{‰}^2$)大于雌性日本爪乌贼生态位宽度($\text{SEAc}=0.16\text{‰}^2$), 两者之间的重叠率高(0.76)。

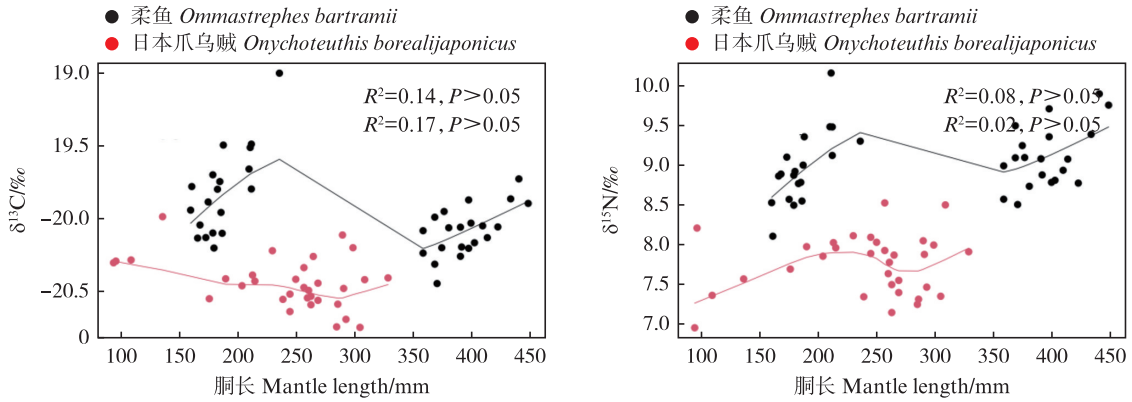


图3 柔鱼和日本爪乌贼胴长的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值以及与胴长(ML)关系的平滑拟合

Fig. 3 Smooth fit of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the mantle length (ML) of *Ommastrephes bartramii* and *Onychoteuthis borealijaponicus* and their relationship with mantle length

表4 两种头足类雌雄间生物信息

Tab. 4 Biological information between two cephalopods

种类 Species	性别 Sex	胴长 Mantle length/mm	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
柔鱼 <i>Ommastrephes bartramii</i>	F	331.000±102.654 ^a	-20.061±0.173 ^a	9.016±0.364 ^a
	M	192.500±24.309 ^b	-19.653±0.304 ^b	9.074±0.586 ^a
日本爪乌贼 <i>Onychoteuthis borealijaponicus</i>	F	257.270±46.765 ^a	-20.477±0.164 ^a	7.734±0.365 ^a
	M	167.330±67.289 ^b	-20.307±0.166 ^b	7.781±0.462 ^a

注:同列中标有不同字母者表示组间有显著性差异($P<0.05$),标有相同字母者表示组间无显著性差异($P>0.05$)。

Notes: Values within the same column with different letters indicate significant differences between groups ($P<0.05$), while values with the same letters indicate no significant difference between groups ($P>0.05$).

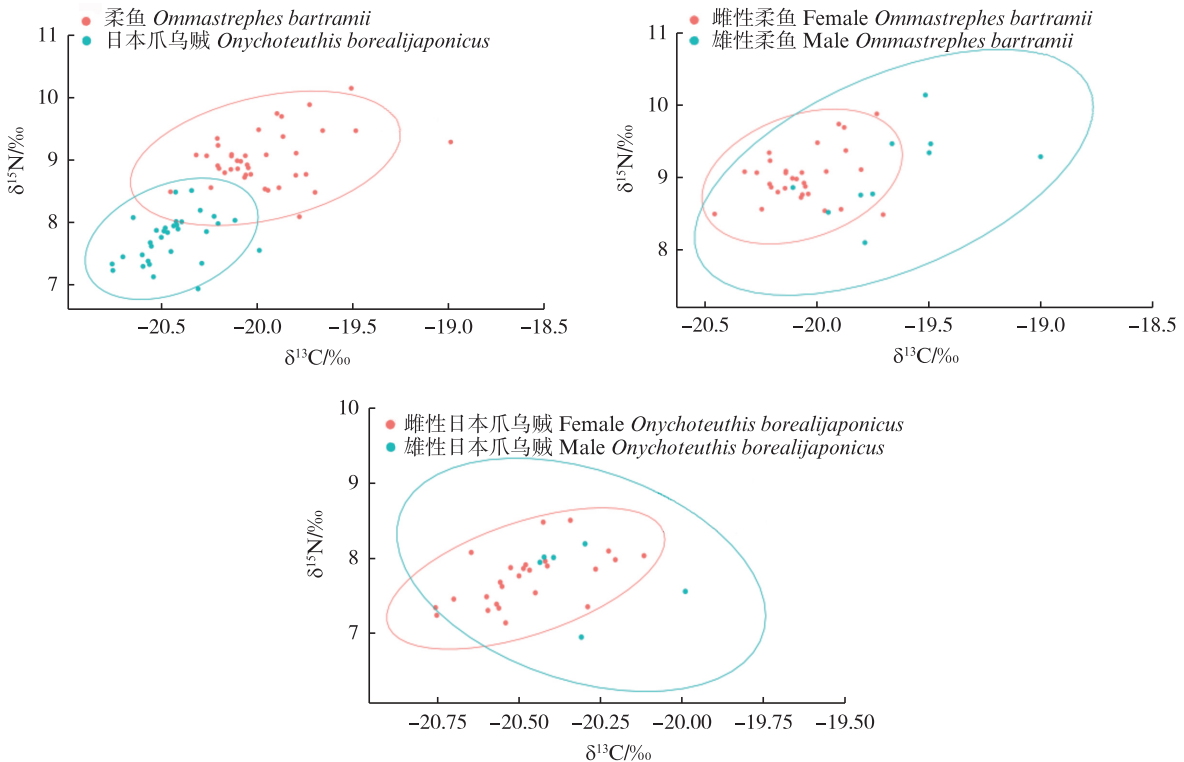


图4 柔鱼和日本爪乌贼以及种内雌雄间营养生态位

Fig. 4 Trophic niche of *Ommastrephes bartramii*, *Onychoteuthis borealijaponicus* and intermale trophic niche with in the species

3 讨论

3.1 碳、氮稳定同位素值的地理差异

生物组织中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值反映了初级生产力的来源,并随着纬度和海岸水平距离产生变化^[14]。本研究所有采样站点均位于黑潮以北的黑潮-亲潮过渡区,根据NISHIKAWA等^[15]的研究,黑潮、亲潮的交汇会带来丰富的营养物质,所以黑潮、亲潮交汇区是小型中上层鱼类重要的索饵育肥场,该区域渔业资源非常丰富。柔鱼、日本爪乌贼不同站点 $\delta^{13}\text{C}$ 值的显著变化差异可能与地理变化差异有关,柔鱼的Y1、Y6比Y4、Y8更靠近黑潮-亲潮过渡区,日本爪乌贼的Y10比Y9更靠近过渡区,所以更靠近过渡区的站点具有更高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。RAU等^[18]研究得出浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值会随着海水表面温度(Sea surface temperature, SST)的升高而随之增大,碳同位素的分馏作用会受水中 CO_2 浓度以及浮游植物的生长速度影响^[19],而浮游植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化会影响到鱿鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[20]。本研究中,柔鱼的采样点Y1、Y3、Y6、Y7的SST高于Y2、Y4、Y5、Y8, Y1、Y3、Y6、Y7四个站点的柔鱼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值高于Y2、Y4、Y5、Y8站点的柔鱼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值;日本爪乌贼的采样站点Y10的SST高于Y9, Y10的日本爪乌贼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值高于Y9的日本爪乌贼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值。Y1: 21.55 °C, Y2: 13.20 °C, Y3: 17.63 °C, Y4: 11.07 °C, Y5: 15.35 °C, Y6: 20.86 °C, Y7: 15.79 °C, Y8: 13.95 °C, Y9: 13.62 °C, Y10: 14.86 °C (<https://resources.marine.copernicus.eu/products>),因此Y1、Y3、Y6、Y7、Y10等5个站点较高的SST以及这5个站点所处地理位置丰富的营养物质,使得较大的初级生产力随着食物网中的能量和物质流动最终反映在Y1、Y3、Y6、Y7站点的柔鱼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 和Y10站点日本爪乌贼肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 上。

柔鱼不同采样站点间的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著性差异可能是受营养效应方面的影响^[21],由于柔鱼各采样站点间的胴长存在显著性差异,而且成体的柔鱼摄食甲壳类比幼年期的柔鱼摄食甲壳类的数量会有所减少^[22],所以各站点肌肉中 $\delta^{15}\text{N}$ 值的空间差异可能是由站点间物种胴长差异所带来的摄食结构变化造成的。大多数头足类的洄游行为会导致其在生命周期中跨越多个不同的栖息

地环境^[23],在西北太平洋海域,柔鱼稚鱼期一般会处于黑潮逆流区,并且在此区域成长至幼年期,此后会随着黑潮向北移动^[22],因此柔鱼的洄游迁移运动也对各采样站点间 $\delta^{15}\text{N}$ 值的空间差异产生一定程度的影响。

3.2 个体发育对稳定同位素值变化的影响

本研究显示,在150~250 mm时,柔鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随胴长增加而变大,表明未成熟个体随着体型不断增大(图3),捕食能力提高,增加捕捉更高营养层级的食物的比例,以满足自身生长发育和储存能量的需求。在250~350 mm时,柔鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随胴长增加出现下降趋势(图3),SOMES等^[24]的研究发现鱿鱼在生长过程中 $\delta^{15}\text{N}$ 值会出现系统性下降,这一过程往往与迁移运动中的栖息地变化所带来的基线生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值的降低有关。在350~450 mm时,柔鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化较大,且在这个范围内 $\delta^{15}\text{N}$ 值随胴长增加而变大(图3)。推测随着柔鱼个体发育,其游泳能力增强,摄食范围增加,且随着其角质颚的生长,其选择摄食的对象由营养水平较低的生物向营养水平较高的生物转变,这种摄食现象也在茎柔鱼^[25]身上发现过。柔鱼在150~250 mm阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围大于350~450 mm阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围。因为随着柔鱼个体发育的逐渐成熟,其摄食的种类趋向稳定^[22],所以在这两个阶段, $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围有减小的趋势,在富山武装乌贼生命后期出现过该现象^[14]。

在日本爪乌贼100~290 mm时,随着胴长的增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现出的下降趋势,可能是因为海洋浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 从赤道逐渐向两极递减^[26],而日本爪乌贼在西北太平洋运动过程中,食物来源发生改变导致其肌肉 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化^[27]。在日本爪乌贼100~230 mm时,随着胴长增加, $\delta^{15}\text{N}$ 值呈现出上升趋势,科达乌贼和位于凯尔盖朗群岛和克罗泽群岛的强壮桑椹乌贼有随着个体生长,营养级提高, $\delta^{15}\text{N}$ 值增加的现象^[28],所以 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化可能是由于随着日本爪乌贼的胴长增加,其营养级随着食性改变提高造成的。

3.3 营养生态位对比

营养生态位宽度体现了生物摄食资源的多样性和均匀度^[29],营养生态位的重叠则体现了物种的资源利用的相似程度和竞争程度^[30]。随着垂直和水平活动范围增大,摄食营养水平提高,

营养生态位宽度会随之增大^[14]。柔鱼栖息水层是表层至 1 500 m,日本爪乌贼栖息水层是表层至千余米^[22],推测因柔鱼的垂直活动范围大于日本爪乌贼的垂直活动范围从而柔鱼的生态位宽度明显高于日本爪乌贼。FANG 等^[31]发现北太平洋东西部两个柔鱼群体的生态位重叠很小,认为摄食习性差异是造成这一现象的原因之一,柔鱼和日本爪乌贼间的胴长具有显著性差异($t=2.612$, $P<0.05$),分析认为柔鱼和日本爪乌贼胴体长短的不同造成它们摄食习性差异是柔鱼和日本爪乌贼的生态位中等程度的重叠的原因之一。对于柔鱼和日本爪乌贼,雄性群体的生态位宽度高于雌性群体,而生态位宽度越大,表明其对饵料资源的利用度更高,食物的来源也更加广泛^[32]。黄洪亮等^[33]对 1996—2001 不同年份的北太平洋柔鱼摄食等级和胃含物组成进行了研究,发现所有年份的柔鱼的摄食等级均以 1 级和 2 级为主,占 70% 以上。两种头足类的雌雄之间生态位的重叠度很高,表明雌性和雄性群体对食物和栖息地资源的利用高度相似,具有相同的洄游模式,并存在种内竞争,这种现象在茎柔鱼的雌雄个体间也有体现^[34]。

4 结论

本文分析比较了西北太平洋两种重要经济头足类(柔鱼、日本爪乌贼)因地域差异、个体发育引起肌肉碳、氮同位素比值不同的原因,也对其营养生态位进行了对比。通过分析比较,可以更加清晰地了解两种重要经济头足类摄食生态,为西北太平洋生态系统养护提供基础资料。在今后的研究中,样本的数量会因为项目的进行不断增加,后续会根据耳石来划分生长期,结合肌肉的碳、氮同位素比值对两种重要经济头足类进行不同生长时期的营养生态位研究。

参考文献:

- [1] YATSU A, MIDORIKAWAS, SHIMADAT, et al. Age and growth of the neon flying squid, *Ommastrephes bartrami*, in the North Pacific ocean[J]. Fisheries Research, 1997, 29(3): 257-270.
- [2] CHEN X J, LIU B L, CHEN Y. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries [J]. Fisheries Research, 2008, 89(3): 211-221.
- [3] MURATA M. Oceanic resources of squids [J]. Marine Behaviour and Physiology, 1990, 18(1): 19-71.
- [4] SEKI M P, POLOVINA J J, KOBAYASHI D R, et al. An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the spring time subtropical North Pacific [J]. Fisheries Oceanography, 2002, 11(5): 251-266.
- [5] FLINN R D, TRITES A W, GREGR E J, et al. Diets of Fin, Sei, and sperm whales in British Columbia: an analysis of commercial whaling records, 1963-1967 [J]. Marine Mammal Science, 2002, 18(3): 663-679.
- [6] TAMURA T, KUBODERA T, OHIZUMI H, et al. Feeding habits of sperm whales and their impact on neon flying squid resources in the western North Pacific [R]. 2008.
- [7] GEE J M. An ecological and economic review of meiofauna as food for fish [J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 1989, 96(3): 243-261.
- [8] 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.
- [9] TANAKA Y, MINAMI H, ISHIHI Y, et al. Relationship between prey utilization and growth variation in hatchery-reared Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel), larvae estimated using nitrogen stable isotope analysis [J]. Aquaculture Research, 2014, 45(3): 537-545.
- [10] LEIBOLD M A. The niche concept revisited: mechanistic models and community context [J]. Ecology, 1995, 76(5): 1371-1382.
- [11] PHILLIPS D L, NEWSOME S D, GREGG J W. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods [J]. Oecologia, 2005, 144(4): 520-527.
- [12] JIN Y, LIN F L, CHEN X J, et al. Microstructure comparison of hard tissues (statoliths, beaks, and eye lenses) of *Uroteuthis chinensis* in the South China Sea [J]. Bulletin of Marine Science, 2019, 95(1): 13-26.
- [13] RUIZ-COOLEY R I, VILLA E C, GOULD W R. Ontogenetic 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.
- [14] 张嘉琦, 刘必林. 基于碳氮稳定同位素技术的西北太平洋富山武装乌贼和相拟钩腕乌贼生态位变化研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(3): 515-523.
- [15] ZHANG J Q, LIU B L. Comparative analysis of ecological niche of *Enoploteuthis chunii* and *Aburria similis* in the Northwest Pacific Ocean [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2023, 38(3): 515-523.
- [15] NISHIKAWA H, NISHIKAWA S, ISHIZAKI H, et al.

- Detection of the Oyashio and Kuroshio fronts under the projected climate change in the 21st century[J]. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2020, 7(1): 941-976.
- [16] POST D M, LAYMAN C A, ARRINGTON D A, et al. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses[J]. *Oecologia*, 2007, 152(1): 179-189.
- [17] LAYMAN C A, ARRINGTON D A, MONTAÑA C G, et al. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? [J]. *Ecology*, 2007, 88(1): 42-48.
- [18] RAU G H, TAKAHASHI T, DES MARAIS D J. Latitudinal variations in plankton $\delta^{13}\text{C}$: implications for CO_2 and productivity in past oceans [J]. *Nature*, 1989, 341(6242): 516-518.
- [19] RUIZ-COOLEY R I, GERRODETTE T. Tracking large-scale latitudinal patterns of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ along the E Pacific using epi - mesopelagic squid as indicators [J]. *Ecosphere*, 2012, 3(7): 1-17.
- [20] CLARKE M R. The role of cephalopods in the World's Oceans: general conclusions and the future [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1996, 351(1343): 1105-1112.
- [21] LAWS E A, POPPB N, BIDIGARE R R, et al. Dependence of phytoplankton carbon isotopic composition on growth rate and $(\text{CO}_2)_{\text{aq}}$: theoretical considerations and experimental results [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(6): 1131-1138.
- [22] 陈新军, 刘必林, 方舟, 等. 头足纲[M]. 北京: 海洋出版社, 2019.
- CHEN X J, LIU B L, FANG Z, et al. Tou Zu Gang[M]. Beijing: China Ocean Press, 2019.
- [23] 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.
- [24] SOMES C J, SCHMITTNER A, GALBRAITH E D, et al. Simulating the global distribution of nitrogen isotopes in the ocean [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(4): GB4019.
- [25] 操亮亮, 力清影, 刘必林. 东太平洋公海茎柔鱼饵料中鱼类和头足类组成初步分析[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(12): 4515-4522.
- CAO L L, LI Q Y, LIU B L. Preliminary analysis on the composition of fish and cephalopod in diet of *Dosidicus gigas* in the high sea of Eastern Pacific Ocean [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(12): 4515-4522.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] BEARHOP S, ADAMS C E, WALDRON S, et al. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2004, 73(5): 1007-1012.
- [30] HURLBERT S H. The measurement of niche overlap and some relatives [J]. *Ecology*, 1978, 59(1): 67-77.
- [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] 倪文静, 邓华堂, 何春, 等. 长江中上游3种鮠的营养生态位比较[J]. *中国水产科学*, 2023, 30(2): 236-246.
- NI W J, DENG H T, HE C, et al. Trophic niche comparison of three species of Culter from the middle and upper reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(2): 236-246.
- [33] 黄洪亮, 郑元甲, 程家骅. 北太平洋海区柔鱼生物学特征研究[J]. *海洋渔业*, 2003, 25(3): 126-129, 135.
- HUANG H L, ZHENG Y J, CHENG J H. Study on the biological characteristics of *Ommastrephes bartrami* in the North Pacific [J]. *Marine Fisheries*, 2003, (3): 126-129, 135.
- [34] 贡艺. 基于生物化学示踪物的东太平洋茎柔鱼摄食生态学[D]. 上海: 上海海洋大学.
- GONG Y. Feeding ecology of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) in the eastern Pacific Ocean inferred by biochemical tracers [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.

Trophic niche analysis of two species of Oceanic squid in the high sea of Northwest Pacific Ocean

LIU Tingyu¹, ZHANG Jiaqi¹, LIU Bilin^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, 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 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to have a deep understanding of the role of ocean squid in Northwest Pacific Ocean food web, samples were collected during the comprehensive scientific survey launched by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs in 2021 and 2022. Carbon and nitrogen stable isotope technology was used to analyze the muscle stable isotopes and nutritional niches of two cephalopod species, *Ommastrephes bartramii* and *Onychoteuthis borealijaponicus*, in Northwest Pacific Ocean. The results show that *O. bartramii* $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values between sites were significantly different. *O. borealijaponicus* $\delta^{13}\text{C}$ values between the two sites showed significant differences, while the $\delta^{15}\text{N}$ values were not significant. Muscle $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values between *O. bartramii* and *O. borealijaponicus* showed significant differences. During ontogeny, the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of *O. bartramii* and *O. borealijaponicus* were not significantly associated with carcass length. The nutrient niche width of *O. bartramii* ($\text{SEAc}=0.35\%o^2$) is greater than that of *O. borealijaponicus* ($\text{SEAc}=0.20\%o^2$), with a moderate overlap between the two squids (0.314). The high niche overlap between males and females is 0.988 and 0.76, respectively. The analysis shows that the $\delta^{13}\text{C}$ values of *O. bartramii* and *O. borealijaponicus* are influenced by SST and feeding effects, while the $\delta^{15}\text{N}$ values are influenced by feeding effects. The utilization of food and habitat resources was highly similar in both female and male cephalopod groups.

Key words: *Ommastrephes bartramii*; *Onychoteuthis borealijaponicus*; stable isotopes; trophic niche