

中东太平洋赤道海域茎柔鱼营养模式年间差异分析

樊庆王¹, 葛钰婧¹, 李 纲^{1,2,3,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 贡 艺^{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. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 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: 为探究茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)食性和洄游模式的变动规律及其与异常气候事件和捕捞强度变化的潜在关系, 本研究选取中东太平洋赤道海域茎柔鱼, 通过测定其内壳连续切割片段碳、氮稳定同位素比值($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$), 结合气候与环境指数, 比较分析不同年份茎柔鱼生长过程营养模式的变化规律及其动因。结果显示, 2019年茎柔鱼内壳 $\delta^{13}\text{C}$ 随个体生长显著升高, 且营养生态位缩小, 可能与该年份厄尔尼诺发生后, 茎柔鱼从赤道向南半球高纬度洄游有关。在发生拉尼娜的2018、2020和2021年, 茎柔鱼的营养模式存在年间差异。2018年茎柔鱼内壳 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 随个体生长显著升高, 但营养生态位无显著变化, 体现了茎柔鱼向南半球高纬度洄游但食物来源相对稳定。而实施公海自主休渔的2020和2021年, 茎柔鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 随个体生长无显著变化, 但生活史后期营养生态位面积较高。说明其生活史过程洄游范围较小、食性稳定且群体生态弹性较高。以上结果表明, 异常气候事件和捕捞强度变化可能都会对茎柔鱼的营养模式造成影响, 但要确定各因素的影响程度还需进一步深入研究。

关键词: 茎柔鱼; 营养生态位; 稳定同位素; 厄尔尼诺; 拉尼娜

中图分类号: S 923

文献标志码: A

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是重要的大洋性经济头足类, 广泛分布于东太平洋, 资源量丰富^[1]。中国是该物种的主要捕捞国家, 近年来年捕捞量为30~40万t, 约占全球茎柔鱼总产量的30%以上^[2]。全球气候变化背景下, 厄尔尼诺-拉尼娜这类年际异常气候事件的发生频率明显增加, 对茎柔鱼资源的可持续利用构成了挑战^[3]。为践行“海洋命运共同体”理念, 科学养护和开发茎柔鱼资源, 中国自2020年起实施年度公海自主休渔措施^[4]。每年9月1日至11月30日, 所有中国籍鱿钓船停止在中东太平洋赤道海域(5°N~5°S, 95°W~110°W)的捕捞作业^[5]。因此, 通过比较分析不同年份中东太平洋赤道海域茎柔鱼营养模式, 有助于了解异常气候事件与捕捞强度变化对该物种的潜在生态效应。

稳定同位素技术广泛应用于海洋生物营养生态学研究^[6]。碳稳定同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)在营养

级间变化较小, 可反映海洋生物的食物来源^[7]。氮稳定同位素比值($\delta^{15}\text{N}$)在营养级间逐步富集, 可量化海洋生物的营养级^[8]。同时, 低营养级海洋生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 在纬度梯度上存在变化。对东南太平洋浮游动物(磷虾和桡足类)的稳定同位素研究发现, 该海域浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 随纬度增大而降低, $\delta^{13}\text{C}$ 在0~12°S间随纬度增大而增加, 在12°S达到最大值, 后随纬度增大而降低^[9]。这种纬度梯度的变化特征会随食物链向包括茎柔鱼在内的高营养级生物传递^[10]。因此, 通过对茎柔鱼体内物理结构和化学成分稳定的硬组织进行连续取样, 分析其稳定同位素比值, 可以揭示茎柔鱼生活史过程中食性与洄游模式的变动情况^[11]。结合稳定同位素比值和贝叶斯计算方法构建二维图谱, 还可对不同个体或群体间的营养生态位关系进行图示化分析^[12]。茎柔鱼内壳是由几丁质和蛋白质分子构成的稳定角质结构, 生

收稿日期: 2024-10-09 修回日期: 2025-01-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31900333); 农业农村部远洋渔业公海自主休渔效果评价与优化专项(D-8021-21-0049)

作者简介: 樊庆王(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为摄食生态学。E-mail: 15255253574@163.com

通信作者: 贡 艺, E-mail: ygong@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>

长具有不可逆性,记录着茎柔鱼生活史过程的完整信息^[13]。基于此,本研究通过采集不同年份中东太平洋赤道海域的茎柔鱼内壳,测定连续切割片段的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$,比较分析内壳 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 时间序列变化及年间差异,探究茎柔鱼食性和洄游模式的变动规律及其与异常气候事件和捕捞强度变化的潜在关系。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究选取了2018—2021年中国鱿钓船在中东太平洋捕捞的茎柔鱼样本进行研究。样本经冷冻后运输回实验室,解冻后进行基础生物学

测量。选取各年份捕获日期相近、捕捞地点位于中东太平洋赤道海域内($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $95^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$)的茎柔鱼个体用于后续研究(图1),2018、2020和2021年均为10尾,2019年为8尾。解剖后,从茎柔鱼胴体背内侧的外套腔中取出内壳,在超声波清洗器中清洗5 min去除残留的软组织。根据内壳叶轴生长方向,按照“V”型生长纹对叶轴每2 cm进行连续切段,见图2^[14]。切割后的内壳片段使用超纯水清洗干净,使用冷冻干燥机(Christ Alpha 1-4)在 -55°C 条件下冷冻干燥24 h,使用混合型球磨机(Mixer mill MM440)将冻干后的内壳片段磨成粉末。

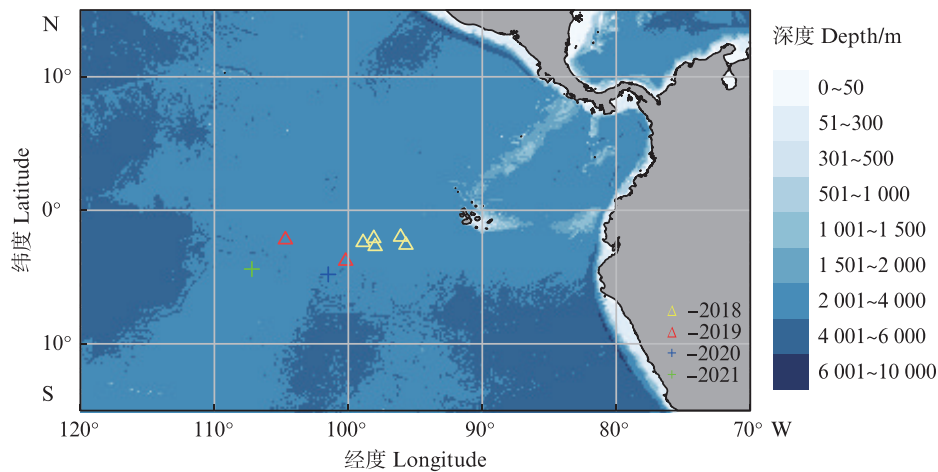


图1 茎柔鱼采样站点

Fig. 1 Sampling locations of *Dosidicus gigas*

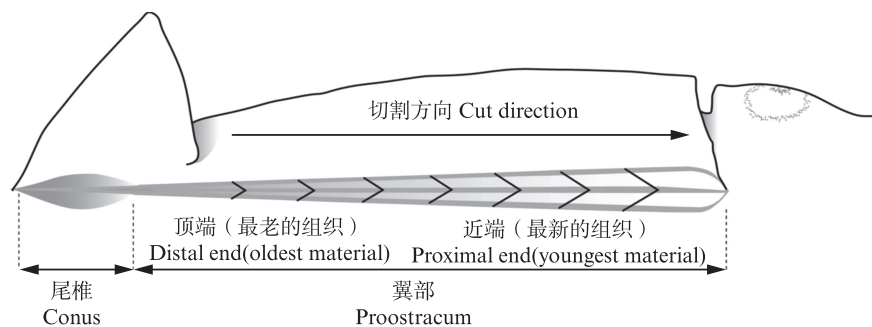


图2 茎柔鱼内壳横截图

Fig. 2 Schematic figure of *Dosidicus gigas* gladius

1.2 稳定同位素分析

称取内壳粉末约1.2 mg,使用锡舟包裹后,通过元素分析仪(IsoPrime 100)和稳定同位素分析质谱仪(vario ISOTOPE cube)进行测定。每10个样本放入3个实验室标准品(蛋白质: $\delta^{13}\text{C}=-26.98\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}=5.96\text{‰}$)以校准 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 测定结

果,误差为 0.02‰ ($\delta^{13}\text{C}$)和 0.04‰ ($\delta^{15}\text{N}$)。

1.3 尼诺指数与环境因子

为了分析不同气候条件对茎柔鱼营养生态位的潜在影响,本研究基于美国NOAA气候预报中心(https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monit-oring/ensostuff/ONI_v5.php)发布

的海洋尼诺指数(Oceanic Niño index, ONI)对样本采集时间所处的气候背景进行划分;以海表面温度(Sea surface temperature, SST)和叶绿素 a 质量浓度(Chlorophyll-a mass concentration, *Chl.a*)表征栖息环境,数据来自哥白尼海洋环境观测服务中心(The Copernicus Marine Environment Monitoring Service, CMEMS)官方网站(<https://marine.copernicus.eu/>),时间为 2017 年 11 月—2021 年 12 月,将上述环境均处理为时间分辨率为月。根据本研究采样站位的经纬度范围,绘制月平均 SST 和月平均 *Chl.a* 折线图,用于探究 SST 和 *Chl.a* 与茎柔鱼生态位变动的潜在关系。

1.4 数据统计

根据茎柔鱼内壳叶轴生长方程,连续取样的内壳片段稳定同位素序列可反映茎柔鱼生长过程中营养模式的变动情况^[14]。利用 Kruskal-Wallis 检验分析内壳稳定同位素年间差异的显著性。将相同日龄内壳片段的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 归为一组,对同一年份内壳稳定同位素时间序列进行

Pearson 相关分析。基于 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 与个体生长的相关关系,推测茎柔鱼的摄食和洄游趋势的变动。利用 R 统计软件中 SIBER 程序包计算标准校正椭圆面积(Standard ellipse corrected area, SEA_c)和重叠关系,并结合线性回归统计分析,探究茎柔鱼营养生态位的时间变化^[14]。本研究中数值以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。

2 结果

2.1 稳定同位素年间比较

本研究中 38 尾茎柔鱼的胴长为 20.2~36.2 cm。通过茎柔鱼胴长与日龄计算公式计算可知^[15],2018 年采样群体为冬春生群体,2019—2021 年为夏秋生群体^[16](表 1)。比较发现, $\delta^{13}\text{C}$ 在各年间存在显著差异($P<0.001$)。2020 年 $\delta^{13}\text{C}$ 最高,2018 年 $\delta^{13}\text{C}$ 最低。各年份内壳中 $\delta^{15}\text{N}$ 也存在差异($P<0.001$),但 2020 和 2021 年间 $\delta^{15}\text{N}$ 差异不显著($P=1.00$),2018 和 2019 年间 $\delta^{15}\text{N}$ 也不存在显著差异($P=1.00$)。2019 年 $\delta^{15}\text{N}$ 最高,2020 年 $\delta^{15}\text{N}$ 最低。

表 1 茎柔鱼生物学信息
Tab. 1 Biological parameters of *Dosidicus gigas*

采样时间 Sampling data	样本量 Sample size/尾	胴长 Mantle length/cm	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
2018.07	10	31.2 \pm 4.0	-19.01 \pm 0.03	3.34 \pm 0.09
2019.03	8	25.4 \pm 2.2	-18.74 \pm 0.04	3.68 \pm 0.18
2020.12	10	25.0 \pm 3.9	-18.30 \pm 0.28	2.11 \pm 0.71
2021.12	10	25.9 \pm 1.0	-18.83 \pm 0.18	2.22 \pm 0.88

2018 年茎柔鱼内壳 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 随个体生长显著升高($\delta^{13}\text{C}$: $r=0.91$, $P<0.001$; $\delta^{15}\text{N}$: $r=0.88$, $P<0.001$),见图 3。而 2019 年个体仅 $\delta^{13}\text{C}$ 随个体生

长显著升高($r=0.92$, $P<0.001$), $\delta^{15}\text{N}$ 无显著变化。2020 和 2021 年个体的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 随个体生长均无显著变化($P>0.05$)。

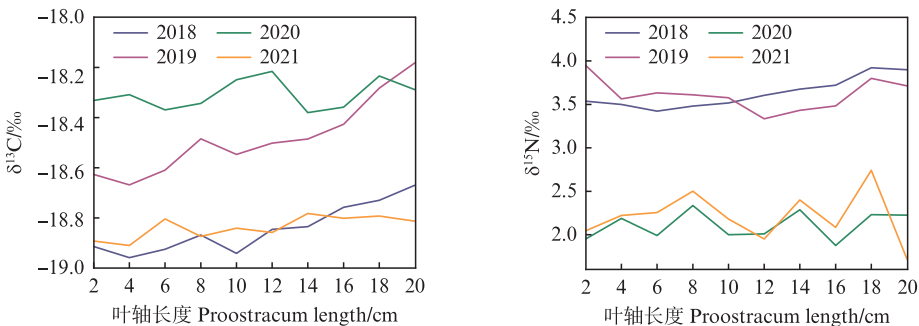


图 3 各年份茎柔鱼内壳叶轴 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 均值变化
Fig. 3 Variations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the gladius proostracum of *Dosidicus gigas* among studied years

2.2 营养生态位

SEA_c 结果显示,茎柔鱼的营养生态位存在年

间差异($P<0.01$)。 SEA_c 最小值出现在 2019 年茎柔鱼的生活史后期,而最大值位于 2020 年茎柔鱼

的生活史后期(图4)。2021年 SEA_c 值随个体生长显著增加,其他年份 SEA_c 值随个体生长无显著变化。2020年茎柔鱼 SEA_c 值在其个体生长中期较小,在个体生长后期,达到最大值(图4)。

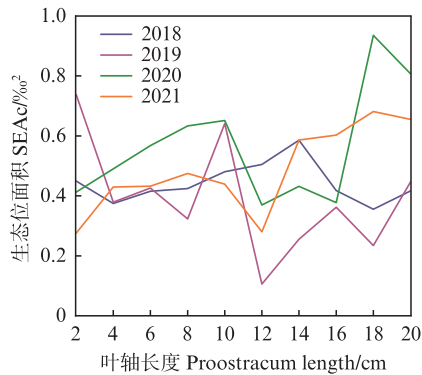


图4 茎柔鱼营养生态位随个体生长变化

Fig. 4 Ontogenic variations in the values of the trophic niche of *Dosidicus gigas*

2.3 厄尔尼诺指数及环境因子

根据ONI,本研究中2019年茎柔鱼经历了厄尔尼诺时期,而其他3年样本处于拉尼娜时期(图5)。2018至2021年采样海域平均SST分别为25.51、25.15、23.0和23.6℃,平均 $Chl.a$ 分别为0.32、0.28、0.36和0.33 mg/m³。比较发现,各年份间SST存在显著差异($P < 0.05$),2019年厄尔尼诺时期SST最高,而2020年拉尼娜时期SST最低(图6)。对比各年间 $Chl.a$ 发现,2019年厄尔尼诺时期 $Chl.a$ 显著低于其他各年份($P < 0.01$)。2020年和2021年间SST无显著差异($P = 0.24$)。2018、2020和2021年间 $Chl.a$ 无显著差异($P = 0.51$)。

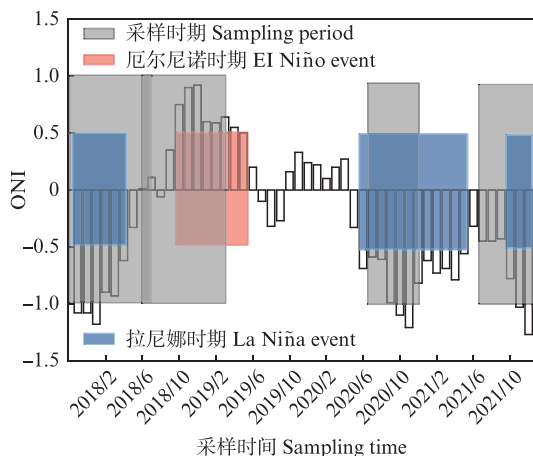


图5 本研究采样时期(灰)与厄尔尼诺(红)和拉尼娜(蓝)事件时期示意图

Fig. 5 Schematic illustration of sampling period (gray), El Niño (red) and La Niña (blue) events

3 讨论

3.1 茎柔鱼食性和洄游行为变化

作为短生命周期海洋动物,茎柔鱼的摄食和洄游行为易受环境变动影响,并可在其机体组织的稳定同位素特征中得到体现^[17]。本研究中,2019年茎柔鱼内壳的 $\delta^{13}C$ 序列显著升高,说明该年份茎柔鱼生长过程中食性和洄游行为发生了变化(图3)。研究发现,在东太平洋海域,茎柔鱼 $\delta^{13}C$ 在0°~12°S之间随纬度增大而增加, $\delta^{15}N$ 自赤道向高纬度海域逐渐增加^[10]。因此推测茎柔鱼内壳 $\delta^{13}C$ 的升高与其从赤道向南半球高纬度海域洄游有关,但本研究未观察到 $\delta^{15}N$ 升高。这可能是受到2019年厄尔尼诺的影响。厄尔尼诺时期,赤道暖水团东移会减弱秘鲁寒流对中东太平洋赤道海域的营养盐输送^[18,20]。这与 $Chl.a$ 分析结果一致,即2019年研究海域的初级生产力较低(图6)。这可能导致茎柔鱼食性转变,并增大对较低的 $\delta^{15}N$ 低营养级生物的摄食比例^[19],进而减缓了因洄游造成的 $\delta^{15}N$ 升高趋势。

同理,拉尼娜的发生也会对茎柔鱼的食性和洄游模式造成影响^[20]。采集自2020和2021年的茎柔鱼内壳 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{15}N$ 序列随个体生长无显著变化,表明这些个体在其生活史过程中栖息地变动较小,其主要洄游范围可能保持在中东太平洋赤道海域,食物来源较为稳定^[9]。而2018年样本 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{15}N$ 序列随个体生长显著升高,如前文所述,这可能与茎柔鱼向南半球高纬度海域洄游有关。相比于2019年,2018年研究海域的 $Chl.a$ 浓度较高,即初级生产力较高,说明茎柔鱼食物可获得性较好。随茎柔鱼体型增大,其对高营养级生物的捕获能力增强,进一步促使其 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 的升高^[21]。

3.2 营养生态位变化

本研究中2019年茎柔鱼群体营养生态位面积较小,且在生活史后期出现最小值,这可能与厄尔尼诺引起的SST升高有关(图6)。茎柔鱼是昼夜垂直洄游物种,较高的SST会缩短茎柔鱼在海表面的摄食时间^[22-23]。此外,2019年研究海域较低的初级生产力会影响茎柔鱼的食物可获得性,食物来源的减少也可能造成其营养生态位缩小^[23]。因此,茎柔鱼的摄食时间、洄游和食物来源都会受到厄尔尼诺的影响,造成其营养生态位

面积低于其他研究年份。该现象在前期对研究海域茎柔鱼肌肉的稳定同位素研究中也有发现^[24]。

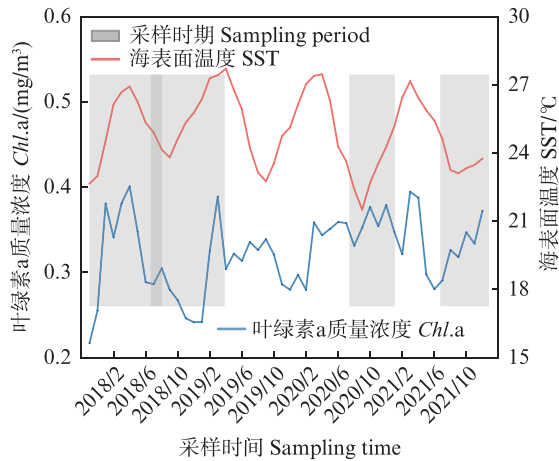


图6 研究海域月均海面温度及叶绿素a质量浓度
Fig. 6 Monthly mean chlorophyll-a mass concentration and sea surface temperature of the studied area

在发生拉尼娜的年份,2018年茎柔鱼不同生长阶段的营养生态位相似,说明其群体生态弹性相对稳定。而2020和2021年茎柔鱼的营养生态位面积在生活史后期出现较高水平,这可能与自主休渔措施有关。已有研究表明,实施自主休渔措施后,研究海域的茎柔鱼资源量高于未休渔年份^[4]。本研究中2020和2021年的Chl.a无显著差异,即初级生产力相似。这种情况下,茎柔鱼资源量的增加可能会导致种内食物竞争程度增高,迫使其趋向个体差异化的摄食策略,表现出营养生态位面积的增大^[25]。而较大的营养生态位也反映出2020和2021年茎柔鱼群体对拉尼娜引发的环境变动的生态弹性较强。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] 崔佳楠,金鹏超,余为,等. 东太平洋不同海域环境因子对茎柔鱼分布的影响差异分析[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(3): 741-754.
CUI J N, JIN P C, YU W, et al. Difference of the effects of environmental factors on habitat distribution of *Dosidicus gigas* in different regions in the Eastern Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(3): 741-754.
- [2] 张洪亮,李哲,李德伟,等. 东南太平洋公海鱿渔渔业业状况分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2022, 41(4): 294-298.
- [3] ZHANG H L, LI Z, LI D W, et al. Analysis on the fishery status of squid fishing in the highseas of southeast Pacific Ocean[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2022, 41(4): 294-298.
- [4] ARKHIPKIN A, ARGÜELLES J, SHCHERBICH Z, et al. Ambient temperature influences adult size and life span in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2015, 72(3): 400-409.
- [5] 蒋明峰,陈新军. 中东太平洋赤道公海海域鱿钓渔业自主休渔效果初步评价[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 670-676.
- [6] JIANG M F, CHEN X J. Preliminary evaluation of the seasonal moratorium of squid fishery on the high seas in the equatorial waters of Central Eastern Pacific [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 670-676.
- [7] JIANG M F, WANG J T, LI G, et al. Is seasonal closure an effective way to conserve oceanic squids—Taking Chinese autonomic seasonal closure on the high seas as an example[J]. Fisheries Research, 2024, 271: 106914.
- [8] 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 B: Biological Sciences, 2005, 272(1572): 1601-1607.
- [9] 高小迪,陈新军,李云凯. 水生食物网研究方法的发展和应用[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1347-1360.
- [10] GAO X D, CHEN X J, LI Y K. A review on the methods used in aquatic food web research: development and applications [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1347-1360.
- [11] CHEREL Y, FONTAINE C, JACKSON G D, et al. Tissue, ontogenic and sex-related differences in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the oceanic squid *Todarodes filippovae* (Cephalopoda: *Ommastrephidae*) [J]. Marine Biology, 2009, 156(4): 699-708.
- [12] 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.
- [13] 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(9): 2105-2116.
- [14] LORRAIN A, ARGÜELLES 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.

- [12] GONG Y, LI Y K, CHEN X J, et al. Trophic niche and diversity of a pelagic squid (*Dosidicus gigas*): a comparative study using stable isotope, fatty acid, and feeding apparatuses morphology[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 642.
- [13] KATO Y, SAKAI M, NISHIKAWA H, et al. Stable isotope analysis of the gladius to investigate migration and trophic patterns of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*)[J]. *Fisheries Research*, 2016, 173: 169-174.
- [14] LI Y K, GONG Y, ZHANG Y Y, et al. Inter-annual variability in trophic patterns of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off the exclusive economic zone of Peru, implications from stable isotope values in gladius[J]. *Fisheries Research*, 2017, 187: 22-30.
- [15] 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.
- [16] 胡振明, 陈新军, 周应祺. 东南太平洋茎柔鱼渔业生物学研究进展[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(3): 98-102.
- HU Z M, CHEN X J, ZHOU Y Q. Research progress of fish biology in the Southeast Pacific Ocean[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(3): 98-102.
- [17] STEWART J S, HAZEN E L, BOGRAD S J, et al. Combined climate- and prey-mediated range expansion of Humboldt squid (*Dosidicus gigas*), a large marine predator in the California current system[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(6): 1832-1843.
- [18] FIEDLER P C, TALLEY L D. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review[J]. *Progress in Oceanography*, 2006, 69(2/4): 143-180.
- [19] JONES J B, BUSTAMANTE P, GUILLOU G, et al. Using stable isotope chronologies within squid gladii (*Doryteuthis gahi*) to evaluate dietary differences by fishing region and season[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2023, 703: 95-108.
- [20] ICHII T, MAHAPATRA K, WATANABE T, et al. Occurrence of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* aggregations associated with the countercurrent ridge off the Costa Rica Dome during 1997 El Niño and 1999 La Niña[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 231: 151-166.
- [21] SCHIELKE E G, POST D M. Size matters: comparing stable isotope ratios of tissue plugs and whole organisms[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2010, 8(7): 348-351.
- [22] 贡艺. 基于生物化学示踪物的东太平洋茎柔鱼摄食生态学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- 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.
- [23] FIELD J C, ELLIGER C, BALTZ K, et al. Foraging ecology and movement patterns of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the California Current System[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 95: 37-51.
- [24] 汪惠琼, 陈洁南, 李云凯, 等. 厄尔尼诺对柔鱼亚科近缘种茎柔鱼与鸢乌贼营养生态位的影响[J]. *海洋渔业*, 2020, 42(5): 524-532.
- WANG H Q, CHEN J N, LI Y K, et al. Impact of El Niño event on trophic niches of closely related Ommastrephinae species, *Dosidicus gigas* and *Sthenoteuthis oualaniensis*[J]. *Marine Fisheries*, 2020, 42(5): 524-532.
- [25] RAUBENHEIMER D, SIMPSON S J, MAYNTZ D. Nutrition, ecology and nutritional ecology: toward an integrated framework[J]. *Functional Ecology*, 2009, 23(1): 4-16.

Inter-annual variations in the trophic pattern of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Central Eastern Pacific Ocean

FAN Qingwang¹, GE Yujing¹, LI Gang^{1,2,3,4}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}, GONG Yi^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: To explore the changing patterns of the dietary habits and migratory patterns of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) and their potential relationship with abnormal climate events and variations in fishing intensity. In this study, we selected *D. gigas* from the Central Eastern Pacific Ocean as research object, and evaluated the sequential stable isotope values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in sectioned fragments of gladius. Using climate and environmental indices, the inter-annual variations in the ontogenetic trophic patterns of the *D. gigas* were compared and their causes were explored. The results indicated that the $\delta^{13}\text{C}$ values of 2019 *D. gigas* gladius significantly increased with individual growth, and the trophic niche narrowed, which may be related to the migration from equator to the southern hemisphere after the El Niño occurred. Differences were also found in the trophic patterns of the *D. gigas* collected in the La Niña periods, i. e. , 2018, 2020, and 2021. In 2018, the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ value of *D. gigas* gladius significantly increased with individual growth, indicating a southward migration to higher latitudes in the Southern Hemisphere. However, there was no significant change in the trophic niche, suggesting a relatively stable food source for *D. gigas*. During the implementation of seasonal moratorium in the high seas in 2020 and 2021, there were no significant changes in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values with individual growth, while higher trophic niche width during the later stages of life span. This indicated that these individuals had narrow migratory range, stable dietary, and high ecological resilience. These findings illustrate the sensitivity of *D. gigas* to abnormal climatic events and variation of fishing intensity. However, further research is needed to determine the extent of each factor's influence.

Key words: *Dosidicus gigas*; trophic ecology; stable isotope; El Niño; La Niña