

2020年夏季南极南奥克尼群岛裘氏鳕头冰鱼胃含物组成及食性分析

朱久阳, 罗旭, 朱国平

Stomach content and diet of mackerel icefish (*Champscephalus gunnari*) in South Orkney Islands, Antarctic during summer 2020

ZHU Jiuyang, LUO Xu, ZHU Guoping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220403836>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

2019年夏季西白令海峡鳕胃含物组成及其影响因素

Composition of stomach contents and its influencing factors of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) in the western Bering Sea in summer 2019

上海海洋大学学报. 2022, 31(6): 1514 <https://doi.org/10.12024/jsou.20220203706>

3种虾壳中虾青素提取工艺优化及其抗氧化活性比较

Optimization of extraction process and comparison of antioxidant activities of astaxanthin from three kinds of shrimp shells

上海海洋大学学报. 2022, 31(1): 298 <https://doi.org/10.12024/jsou.20201103223>

我国几种常见头足类角质颚碳氮稳定同位素分析

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

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 394 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171202187>

miR-210-5p对南极独角雪冰鱼心脏发育的作用机制研究

Functional mechanism researches of the *Chionodraco hamatus* miR-210-5p on the cardiac development

上海海洋大学学报. 2016, 25(4): 481 <https://doi.org/10.12024/jsou.20160101630>

基于局部附网法的南极磷虾拖网网身大网目选择性

Selectivity of Antarctic krill trawl body with large mesh using local-attached fine mesh net method

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 735 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200402995>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0369-08

DOI:10.12024/jsou.20220403836

2020 年夏季南极南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼胃含物组成及食性分析

朱久阳¹, 罗旭¹, 朱国平^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学极地研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室极地海洋生态系统研究室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 裘氏鳄头冰鱼 (*Champscephalus gunnari*) 作为南大洋冰鱼科 (Channichthyidae) 的代表, 不仅具有重要的经济价值, 同时也是南大洋生态系统中的重要物种。裘氏鳄头冰鱼主要摄食南极磷虾, 同时也是高营养级生物的捕食对象。研究裘氏鳄头冰鱼的食性, 对于了解南极磷虾种群资源变动, 预测高营养级生物的生存和发育至关重要。对南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼的胃含物分析表明, 该鱼种的饵料分为南极磷虾 (*Euphausia superba*) 和长脚虫戎 (*Themisto gaudichaudii*) 两大类, 其中: 南极磷虾在裘氏鳄头冰鱼食物组成中占绝对优势, 其出现频率和数量百分比分别为 100% 和 99.9%; 剩余饵料为长脚虫戎。广义线性模型 (Generalized linear model, GLM) 分析结果显示, 空间因素 (经度) 有显著影响, 即裘氏鳄头冰鱼摄食南极磷虾的数量与距南奥克尼群岛的距离成正比。裘氏鳄头冰鱼体长-胃含物质量关系为 $S_M = 6.639 6e^{0.017 9L}$, 胃含物质量和日消化量随着体长的增加而增加, 而日消化率为 0.98% ~ 2.08%。研究结果可为了解裘氏鳄头冰鱼摄食生态学提供基础信息, 为南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼资源养护提供参考。

关键词: 裘氏鳄头冰鱼; 南极磷虾; 食性; 胃含物; 南极半岛北侧

中图分类号: S 931.1 **文献标志码:** A

裘氏鳄头冰鱼 (*Champscephalus gunnari*) 隶属鲈形目 (Perciform) 南极鱼亚目 (Notothenioide) 冰鱼科 (Channichthyidae), 为冰鱼科的典型代表。该鱼种为冰鱼科鱼类中数量最多的物种, 营半底栖生活, 广泛分布于季节性浮冰区和亚南极岛屿周围 0 ~ 700 m 深的水层^[1]。在大西洋水域, 裘氏鳄头冰鱼主要分布于南乔治亚岛至南极半岛西侧水域, 而在印度洋, 其主要分布于凯尔盖朗群岛水域^[1]。由于裘氏鳄头冰鱼资源丰富, 1970—1990 年, 裘氏鳄头冰鱼一直是南乔治亚岛和凯尔盖朗群岛拖网渔业捕捞的主要物种之一^[2]。裘氏鳄头冰鱼在南大洋生态系统中由初级生产者向高营养级消费者的能量传递中发挥着重要作用。它是南极磷虾 (*Euphausia superba*) 的主要捕食者, 冬季和夏季南极磷虾分别约占裘氏鳄头冰鱼食物比例的 85% 和 95%^[3]; 同时, 该鱼种也是高营养级生物如南极绒毛海狗

(*Arctocephalus gazelle*) 和海鸟 (如黑眉信天翁 *Thalassarche melanophrys* 和灰头信天翁 *Diomedea chrysostoma*) 的捕食对象^[4-5]。

南奥克尼群岛位于南大洋斯科舍海, 位于威德尔环流的出口处, 鲍威尔盆地和简盆地之间。威德尔海是深水团形成的重要区域, 是海洋热盐环流的主要驱动力之一^[6]。南奥克尼群岛陆架的南侧, 威德尔锋 (Weddell Front) 沿着鲍威尔海盆北部、南奥克尼群岛南部和简盆地流动, 从而形成威德尔-斯科舍辐合区 (Weddell-Scotia Confluence) 的南部边界^[7]。MURPHY 等^[8]认为, 受威德尔-斯科舍辐合区影响的南奥克尼群岛海域是南极磷虾的重要栖息地^[8], 也是南极磷虾和裘氏鳄头冰鱼商业捕捞的主要渔场之一^[9]。

胃含物分析显示, 南极磷虾是裘氏鳄头冰鱼最为重要的食物来源, 其他的饵料包括长脚虫戎 (*Themisto gaudichaudii*) 和樱磷虾 (*Thysanoessa*

收稿日期: 2022-04-29 修回日期: 2022-06-02

基金项目: 国家自然科学基金(41776185); 国家重点研发计划(2018YFC1406801); 国家海洋局极地考察办公室委托项目(2022-zj-03)

作者简介: 朱久阳(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物学。E-mail: jiuyangzhu@yeah.net

通信作者: 朱国平, E-mail: gpzhu@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>

spp.)^[3]。研究^[2,10]表明,裘氏鳄头冰鱼种群数量存在显著的年际差异,其原因并非由渔业捕捞所致,而是与南极磷虾的丰度变化有关。南极磷虾丰度高的年份,裘氏鳄头冰鱼的生长状态较好,更多的裘氏鳄头冰鱼成体达到生殖状态^[10]。在南极磷虾稀少的年份,南乔治亚岛裘氏鳄头冰鱼的摄食对象由南极磷虾转为端足类^[2]。胃含物分析作为分析鱼类食性的传统手段,可以直观且简便地了解鱼类的食物组成及其食性变化,有着其他手段无法比拟的优势。目前,国内尚无关于南极鱼类摄食方面的研究,而国际上关于该区域裘氏鳄头冰鱼食性的研究也极为有限。因此,通过分析南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼的摄食,可以更好地了解 and 量化这种依赖南极磷虾的捕食者食性,并进一步了解裘氏鳄头冰鱼与南极磷虾之间的营养动力学关系,也为南奥克尼群岛海洋生态系统的管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

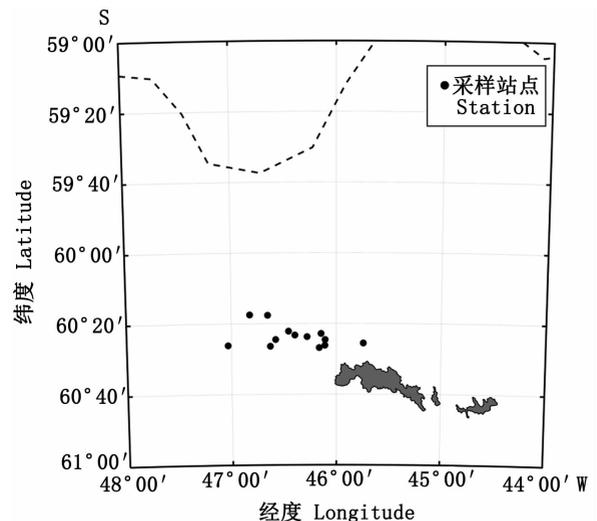
裘氏鳄头冰鱼样本取自南极南奥克尼群岛海域(60°30'S ~ 60°45'S, 44°25'W ~ 46°25'W)作业的大型中层南极磷虾拖网渔船“福荣海”轮,取样时间为2020年1—3月,采样位点如图1所示。鱼类样本作为南极磷虾捕捞过程中的兼捕物种,相关信息已按照规定上报给南极海洋生物资源养护委员会(Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR)^[11]。取样时间均在白天,网位深度为100~150 m。海上采集的样本立即保存于-20℃的冻库中,待船回国后迅速存入陆基实验室的-80℃超低温冰箱中,以便后续分析。

1.2 样品处理

将裘氏鳄头冰鱼样本($n=67$)于实验室解冻后进行生物学测量,包括测量鱼类的标准体长(L)和体质量(M)。使用精度为1 mm的钢尺测量体长(精确至1 mm),体长为下颏的前端至尾鳍基部的长度。使用精度为1 g的电子秤测量体质量(精确至0.1 g)。测量完基础生物学数据后,将样本进行解剖,取其胃进行后续分析。

取出胃含物样品,利用吸水纸吸干胃含物表面水分,将胃含物移至精度为0.001 g的电子天平上测量胃含物总质量(Stomach mass, S_M)。胃

饱满指数(Stomach fullness)通过对内容物占胃体积的比例进行人为划定等级:0(空胃)、1(0~24%)、2(25%~49%)、3(50%~100%)、4(>100%)、5(食物回流)^[13]。存在食物回流现象的样本未用于实验分析。通过目测鉴定摄食等级后,再利用解剖镜(奥林巴斯SZ61)对饵料生物进行种类鉴定,尽可能鉴定到最低分类单元。随后,分类后的胃含物转移至精度为0.001 g的电子天平上称量。对于胃含物中形态较为完整的南极磷虾,测量其体长(Total length, T_L)。南极磷虾体长为眼前尖端至尾肢末端,使用精度为0.01 mm的游标卡尺测量。对于胃含物中其他饵料,若形态完整则测量体长和体质量,否则只测量体质量。



图中虚线代表南极绕极流南部边界,锋面数据来自ORSI等^[12]。

Broken line in the figure represent Southern Boundary of Antarctic Circumpolar Current (SB), front data were derived from ORSI et al^[12].

图1 南奥克尼群岛采样站点图

Fig. 1 South Orkney Islands and sampling locations

1.3 数据处理

本实验中通过采用出现频率(F)、数量百分比(N)、质量百分比(W)对饵料进行重要性评分,计算公式如下:

$$F(\%) = (F_i / F_{\text{total}}) \times 100 \quad (1)$$

$$N(\%) = (N_i / N_{\text{total}}) \times 100 \quad (2)$$

$$W(\%) = (W_i / W_{\text{total}}) \times 100 \quad (3)$$

式中: F_i 和 F_{total} 分别为某饵料生物 i 的出现次数和总非空胃个数; N_i 和 N_{total} 分别为某饵料生物 i 的个数和胃含物中饵料生物的总个数; W_i 和 W_{total}

分别为某饵料生物 i 的总质量和胃含物中所有饵料生物的总质量。

利用幂函数和线性函数分别拟合裘氏鳄头冰鱼体长-体质量关系与裘氏鳄头冰鱼体长-裘氏鳄头冰鱼胃含物中南极磷虾体长关系:

$$M = a \times L^b \quad (4)$$

$$T_L = a \times L + b \quad (5)$$

式中: M 为裘氏鳄头冰鱼体质量, g; L 为裘氏鳄头冰鱼的标准体长, cm; T_L 为裘氏鳄头冰鱼胃含物中南极磷虾体长, cm; a 和 b 为模型参数。

利用指数模型对裘氏鳄头冰鱼体长-胃含物总质量关系进行建模^[14], 公式如下:

$$S_M = a \times e^{bL} \quad (6)$$

式中: S_M 为裘氏鳄头冰鱼胃含物总质量。考虑到裘氏鳄头冰鱼与威氏棘冰鱼 (*Chaenodraco wilsoni*) 的食性相似, 故本文利用 KOCK 等^[14] 估算胃排空率 (Gastric evacuation rate, G_{ER}) 的结果:

$$G_{ER} = a \times e^{bT} = 0.0207 \quad (7)$$

式中: G_{ER} 为鱼类胃排空率; $a = 0.018$, $bT = 0.014$ 。日消化量 (Daily consumption, D_C) 和日消化率 (Daily percentage consumption, D_{PC}) 是评估鱼类每日摄食量和摄食率的方法, 本研究假设鱼类摄食率等于胃排空率^[15]; 因此, 鱼类的日消化量和日消化率等同于鱼类每日摄入食物量和摄食率。公式如下:

$$D_C = 24 \times S_M \times G_{ER} \quad (8)$$

$$D_{PC} = 100 \times (D_C / M_A) \quad (9)$$

式中: D_C 为鱼类日消化量, g; D_{PC} 为鱼类日消化率, %; M_A 为鱼类每 1 cm 标准体长等级范围内的平均体质量。

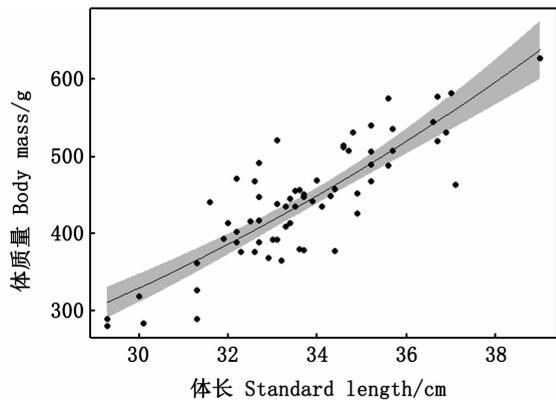
考虑到本研究中裘氏鳄头冰鱼的胃含物基本上由南极磷虾组成, 故利用广义线性模型 (Generalized linear model, GLM) 分析胃含物中南极磷虾个数与裘氏鳄头冰鱼体长、体质量、性别以及性成熟和空间因素 (经度和纬度) 之间的关系, 以探究反映裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾的因素。模型自变量之间的共线性利用方差膨胀因子 (Variance inflation factor) 甄别。本研究采用逐步加入变量的方式寻找最适模型, 并利用赤池信息准则 (Akaike information criterion, AIC) 确定最适模型, 其值越小表明模型的拟合效果越佳。取 $P < 0.05$ 为差异显著。所有的数据处理、统计分析均基于 RStudio (1.4.1106) 和 R (4.1.0)

中的“ggplot2”和“plyr”包进行。

2 结果

2.1 基础生物学

南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼体长为 29.3 ~ 39.0 cm, 平均体长为 (33.73 ± 1.93) cm; 体质量为 281.14 ~ 675.70 g, 平均体质量为 (461.89 ± 86.03) g; 南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼优势体长为 32 ~ 34 cm。南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼体长与体质量关系为 $M = 0.0318 \times L^{2.7246}$ ($R^2 = 0.5571$, $n = 67$, $P < 0.001$), 见图 2。



阴影部分为 95% 置信区间。

Shaded part represents 95% confidence interval.

图 2 南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼体长-体质量关系

Fig. 2 Relationship between standard length and body mass of *C. gunnari*, South Orkney Islands

2.2 食物组成

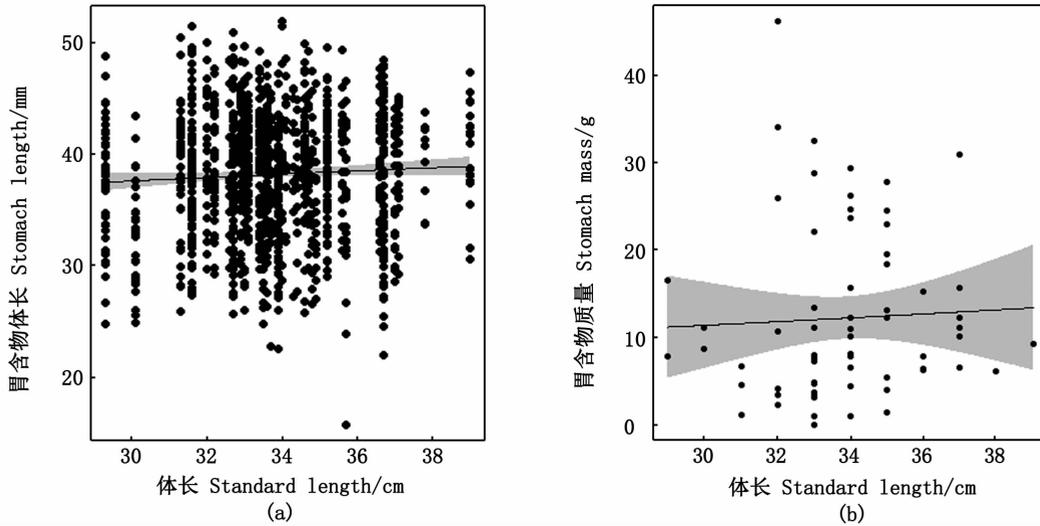
胃含物分析显示, 南奥克尼裘氏鳄头冰鱼的饵料分为南极磷虾和长脚虫戎两大类, 其中南极磷虾质量百分比 (W) 和数量百分比 (N) 和分别占 99.98% 和 99.9%。所有样本胃含物中均存在南极磷虾, 仅 1 个样本胃含物出现长脚虫戎。南极磷虾和长脚虫戎的出现频率百分比分别为 100% 和 1.49%。67 个裘氏鳄头冰鱼胃中体型完整的南极磷虾共有 1 195 尾, 体长为 15.83 ~ 51.86 mm, 平均体长为 (38.17 ± 5.39) mm, 其中优势体长为 39 ~ 40 mm [图 3(a)]。裘氏鳄头冰鱼体长与胃含物中南极磷虾个体的体长关系为 $T_L = 0.1449 \times L + 33.283$ ($R^2 = 0.003$, $P = 0.059$), 南极磷虾体长与裘氏鳄头冰鱼体长之间无显著性关系 [图 3(a)]。

2.3 胃含物质量和日消化率

裘氏鳄头冰鱼体长及其胃含物质量之间的

关系为 $S_w = 6.639 6e^{0.017 9L}$ ($R^2 = 0.002, n = 67, P = 0.706$), 见图 3(b)。裘氏鳄头冰鱼胃含物平均质量为 $(12.18 \pm 9.74) \text{g}$, 胃饱满指数处于 1~4

之间, 无空胃现象。胃含物质量和日消化量随着体长的增加而增加, 而日消化率随着体长的增加而减小, 为 0.98%~2.08% (表 1)。



阴影部分为 95% 置信区间。
Shaded part represents 95% confidence interval.

图 3 南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼体长与胃含物中南极磷虾体长及其胃含物质量关系
Fig. 3 Relationships between standard length and total length of *E. superba* in the stomach of *C. gunnari* and its stomach mass, South Orkney Islands

表 1 裘氏鳄头冰鱼每 1 cm 体长等级内的胃含物质量、日消化量、日消化率和平均体质量
Tab. 1 Predicted stomach mass, daily consumption, daily percentage consumption, average body mass against per 1 cm length class of *C. gunnari*

体长等级 Length class/cm	胃含物质量 Stomach mass/g	日消化量 Daily consumption/g	日消化率 Daily percentage consumption/%	平均体质量 Average body mass/g
29.0~29.9	11.19	5.56	2.08	266.75
30.0~30.9	11.39	5.66	1.86	304.27
31.0~31.9	11.60	5.76	1.73	332.81
32.0~32.9	11.81	5.87	1.36	430.80
33.0~33.9	12.02	5.97	1.36	439.67
34.0~34.9	12.24	6.08	1.34	454.86
35.0~35.9	12.47	6.19	1.18	524.61
36.0~36.9	12.69	6.31	1.12	560.91
37.0~37.9	12.92	6.41	1.12	571.86
≥38.0	13.40	6.66	0.98	675.7

2.4 裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾因素分析

广义线性模型显示, 经度 ($Z = -2.995, P < 0.01$) 对于南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼偏食南极

磷虾具有显著影响, 而其他因素则无显著影响 (表 2)。裘氏鳄头冰鱼胃含物中南极磷虾的数量随着经度向西推进而增加。

表 2 广义线性模型模拟裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾的影响因素

Tab. 2 Statistical results on individuals of krill in the stomach of *C. gunnari* at the South Orkney Islands modeled by Generalized Linear Model

变量 Variable	系统估计值 Estimated coefficient	标准误差 Standard error	Z 值 Z value	显著水平 Significant level
截距 Intercept	-269.22	136.21	-1.97	0.048 1
纬度 Latitude	-3.98	2.23	-1.78	0.074 6
经度 Longitude	-0.71	0.24	-2.99	0.002 7
体长 Standard length	-0.03	0.04	-0.67	0.501 1
性成熟度 I 期 Maturity stage I	0.09	0.54	0.17	0.864 3
性成熟度 II 期 Maturity stage II	-0.07	0.47	-0.14	0.882 6
性成熟度 III 期 Maturity stage III	-0.37	0.48	-0.78	0.436 4
性成熟度 IV 期 Maturity stage IV	-0.06	0.58	-0.10	0.918 4
雌性 Female	0.23	0.19	1.21	0.226 7
未成体 Juvenile	0.40	0.54	0.73	0.462 9
雄性 Male	NA	NA	NA	NA

注:NA. 无数据。

Notes: NA. no data available.

3 讨论

3.1 裘氏鳄头冰鱼食性分析

许多研究^[13,16]表明,南极磷虾为裘氏鳄头冰鱼由稚鱼期至成鱼期的专食对象。KOMPOWSKI^[17]研究发现,凯尔盖朗群岛(东南极)以及南乔治亚岛(西南极)裘氏鳄头冰鱼体长小于 25 cm 时,胃含物中有南极磷虾和长脚虫戎两种饵料,且数量各占一半,大于 25 cm 时南极磷虾的出现频率为 100%。KOCK 等^[2]通过选取南极磷虾产量稀少年份(1985、1991 和 1992 年)的南乔治亚岛裘氏鳄头冰鱼进行胃含物分析,发现 1985 和 1991 年南极磷虾的出现频率仅为 64.5% 和 22.3%,长脚虫戎出现频率显著升高为 50.5% 和 63.1%。这表明,虽然南极磷虾是裘氏鳄头冰鱼偏向的饵料,但在南极磷虾资源稀少的年份,裘氏鳄头冰鱼会通过摄食端足类来补充自身所需的营养^[2]。研究结果表明,南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼以南极磷虾为主要摄食对象,南极磷虾在数量和质量上均占绝对优势。虽然裘氏鳄头冰鱼主要摄食南极磷虾,但当环境中南极磷虾的丰度较低时,其也会寻找其他饵料。例如,在南极磷虾稀少的年份,南乔治亚岛裘氏鳄头冰鱼会摄食更多的端足类,而凯尔盖朗群岛裘氏鳄头冰鱼则会摄食其他种类的磷虾,如樱磷虾^[3]。本文结果与 KOMPOWSKI^[17]的分析结果相似,但与 KOCK 等^[2]对于裘氏鳄头冰鱼食性的分析相差较大,这可能是由于本研究取样时南极磷虾资源充

足导致其无需转变摄食对象所致。南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼体长与其胃含物中南极磷虾体长并无显著关系,这表明裘氏鳄头冰鱼对于南极磷虾并无选择性摄食。KOMPOWSKI^[17]通过分析南乔治亚岛裘氏鳄头冰鱼胃含物中南极磷虾体长与拖网中的体长分布后发现,拖网中南极磷虾体长平均值略高于裘氏鳄头冰鱼胃含物中南极磷虾体长。造成此现象的原因可能是拖网网目较大,未能保留较小体型的南极磷虾,从而导致拖网中南极磷虾整体的体长分布偏高。本文选取的裘氏鳄头冰鱼体长为 29 ~ 39 cm,而 KOCK 等^[2]认为,裘氏鳄头冰鱼体长在 25 cm 达到性成熟。因此,本文对于未成熟裘氏鳄头冰鱼摄食情况并未讨论。

3.2 裘氏鳄头冰鱼摄食估算

食物消耗量估算的先决条件是估算一个物种或一个物种组随时间摄入的食物量^[14]。每日食物消耗量通常根据消化过程中胃含物的质量损失进行估算^[14]。然而,本研究中并未实际测量鱼类在消化过程中胃排空的速率。因此,考虑到威氏棘冰鱼主要摄食南极磷虾,且其与裘氏鳄头冰鱼具有相似的生存环境^[18],本研究选择 KOCK 等^[14]估算威氏棘冰鱼胃排空率时所用的参数计算裘氏鳄头冰鱼。KOCK 等^[14]估计威氏棘冰鱼的每日摄入食物量大约为体质量的 2.4% ~ 3.0%,大多数对南极底栖鱼类每日食物摄入量的估计值为体质量的 0.5% ~ 3.0%^[13-14]。而本文所估计的裘氏鳄头冰鱼日摄入食物量约保持

为体质量的0.98%~2.08%,该比例在南极底栖鱼类中较为合理。南极磷虾是南大洋生态系统的—个关键组成部分,裘氏鳄头冰鱼和许多高营养级生物都摄食南极磷虾^[19],因此南极磷虾资源的长期变动^[20]可能会导致以南极磷虾和裘氏鳄头冰鱼为食的高营养级捕食者,如南极绒毛海狗,转而捕食裘氏鳄头冰鱼,这将进一步加剧裘氏鳄头冰鱼资源量的消耗^[3]。因此,了解裘氏鳄头冰鱼对南极磷虾的摄食对于促进南极磷虾和裘氏鳄头冰鱼的可持续渔业管理非常重要。本文估算了裘氏鳄头冰鱼对南极磷虾的摄食率,将该摄食率乘以裘氏鳄头冰鱼饵料中南极磷虾的比例和裘氏鳄头冰鱼的总生物量,可以计算裘氏鳄头冰鱼对南极磷虾的消耗量^[14]。

3.3 裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾的影响因素

本研究利用广义线性模型对南奥克尼群岛裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾的因素进行分析,结果显示,空间因素对裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾具有显著影响。随着经度向西推进,裘氏鳄头冰鱼捕食更多数量的南极磷虾,而体长及性别等生物因素对于裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾无显著影响。这表明裘氏鳄头冰鱼在远离南奥克尼群岛的区域会摄食更多的南极磷虾,推测可能的原因为南奥克尼群岛近海南极磷虾资源丰度高于近岸水体所致。南极磷虾渔业的历史数据也显示,南奥克尼群岛西北侧水域一直以来为南极磷虾渔业的重要渔场^[21-24]。考虑到裘氏鳄头冰鱼基本上以南极磷虾为摄食对象,这也导致其食物组成并无个体上的差异,这与其他鱼种食性随个体变化具显著差异,但南极其他冰鱼科鱼类也呈现出类似的食性特征,如威氏棘冰鱼^[14,25]。值得关注的是,本研究结果还显示,裘氏鳄头冰鱼胃含物中的南极磷虾体长分布也不存在个体(体长、性成熟以及性别等)上的差异。这表明,不同体长的裘氏鳄头冰鱼对南极磷虾的摄食也不存在个体上的选择性,这为以裘氏鳄头冰鱼作为指示生物表征该区域南极磷虾资源的变动提供了较好的依据。

本文分析了裘氏鳄头冰鱼在南奥克尼群岛的食性,并通过胃含物质量和体长关系建立了指数模型以计算裘氏鳄头冰鱼摄食率。通过量化裘氏鳄头冰鱼的摄食率能够为基于生态系统的渔业管理提供基础数据,而通过广义线性模型分

析裘氏鳄头冰鱼偏食南极磷虾的空间因素能够预测南极磷虾渔场的分布。未来,应该将裘氏鳄头冰鱼摄食与南极磷虾资源量在渔场中的分布规律相结合,分析环境变量等相关因素,共同探究裘氏鳄头冰鱼的摄食规律,从而更全面地了解裘氏鳄头冰鱼与其主要饵料的营养关系,为指示南极磷虾资源变动做出贡献。

感谢辽宁远洋渔业有限公司“福荣海”轮船长及海上科学观察员协助收集裘氏鳄头冰鱼样本。

参考文献:

- [1] KOCK K H, EVERSON I. Biology and ecology of mackerel icefish, *Champscephalus gunnari*: An Antarctic fish lacking hemoglobin[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1997, 118(4): 1067-1077.
- [2] KOCK K H, WILHELMS S, EVERSON I, et al. Variations in the diet composition and feeding intensity of mackerel icefish *Champscephalus gunnari* at South Georgia (Antarctic)[J]. Marine Ecology Progress Series, 1994, 108(1/2): 43-57.
- [3] KOCK K H, EVERSON I. Shedding new light on the life cycle of mackerel icefish in the Southern Ocean[J]. Journal of Fish Biology, 2003, 63(1): 1-21.
- [4] REID K, ARNOULD J P Y. The diet of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* during the breeding season at South Georgia[J]. Polar Biology, 1996, 16(2): 105-114.
- [5] REID K, CROXALL J P, PRINCE P A. The fish diet of black-browed albatross *Diomedea melanophris* and grey-headed albatross *D. chrysostoma* at South Georgia[J]. Polar Biology, 1996, 16(7): 469-477.
- [6] 万树杰, 朱国平. 2018年夏季南奥克尼群岛南极磷虾资源丰度多尺度空间异质性[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 716-725.
- [7] WAN S J, ZHU G P. Multi-scale analysis on spatial heterogeneity for abundance of Antarctica krill (*Euphausia superba*) in the South Orkney Islands in summer 2018[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 716-725.
- [8] HEYWOOD K J, GARABATO A C N, STEVENS D P, et al. On the fate of the Antarctic Slope Front and the origin of the Weddell Front[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2004, 109(C6): C06021.
- [9] MURPHY E J, THORPE S E, WATKINS J L, et al. Modeling the krill transport pathways in the Scotia Sea: spatial and environmental connections generating the seasonal distribution of krill[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2004, 51(12/13): 1435-1456.
- [10] CASAUX R, RAMÓN A. The diet of the South Georgia shag *Phalacrocorax georgianus* at South Orkney Islands in five

- consecutive years[J]. *Polar Biology*, 2002, 25(8): 557-561.
- [10] EVERSON I, PARKES G, KOCK K H, et al. Variation in standing stock of the mackerel icefish *Champsocephalus gunnari* at South Georgia[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1999, 36(4): 591-603.
- [11] CCAMLR. Scientific Observer's Manual[EB/OL]. 2020. <https://www.ccamlr.org/en/system/files/e-SISO%20Manual%20Krill%20Fisheries%202020.pdf>.
- [12] ORSI A H, WHITWORTH T, NOWLIN W D. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1995, 42(5): 641-673.
- [13] FLORES H, KOCK K H, WILHELMS S, et al. Diet of two icefish species from the South Shetland Islands and Elephant Island, *Champsocephalus gunnari* and *Chaenocephalus aceratus*[J]. *Polar Biology*, 2004, 27(2): 119-129.
- [14] KOCK K H, PSHENICHNOV L, JONES C D, et al. The biology of the spiny icefish *Chaenodraco wilsoni* Regan, 1914[J]. *Polar Biology*, 2008, 31(3): 381-393.
- [15] ELLIOTT J M, PERSSON L. The estimation of daily rates of food consumption for fish[J]. *Journal of Animal Ecology*, 1978, 47(3): 977-991.
- [16] MAIN C E, COLLINS M A, MITCHELL R, et al. Identifying patterns in the diet of mackerel icefish (*Champsocephalus gunnari*) at South Georgia using bootstrapped confidence intervals of a dietary index[J]. *Polar Biology*, 2009, 32(4): 569-581.
- [17] KOMPOWSKI A. On feeding of *Champsocephalus gunnari* Lönnberg, 1905 (Pisces, Chaenichthyidae) off South Georgia and Kerguelen Islands[J]. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 1980, 10(1): 25-43.
- [18] KOCK K H, GRÖGER J, JONES C D. Interannual variability in the feeding of ice fish (Notothenioidei, Channichthyidae) in the southern Scotia Arc and the Antarctic Peninsula region (CCAMLR Subareas 48.1 and 48.2)[J]. *Polar Biology*, 2013, 36(10): 1451-1462.
- [19] MURPHY E J, WATKINS J L, TRATHAN P N, et al. Spatial and temporal operation of the Scotia Sea ecosystem: a review of large-scale links in a krill centred food web[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 362(1477): 113-148.
- [20] ATKINSON A, SIEGEL V, PAKHOMOV E, et al. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean[J]. *Nature*, 2004, 432(7013): 100-103.
- [21] 赵国庆, 宋学锋, 徐博, 等. 基于空间自相关模型的南极半岛北部水域南极磷虾渔场时空演变特征[J]. *水产学报*, 2022, 46(3): 368-378.
- ZHAO G Q, SONG X F, XU B, et al. Spatio-temporal evolution characteristics of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishing ground in the northern waters of Antarctic Peninsula based on spatial autocorrelation model[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(3): 368-378.
- [22] 朱国平, 朱小艳, 徐怡瑛, 等. 基于 GAM 模型分析夏秋季南奥克尼群岛南极磷虾渔场时空分布及与环境因子之间的关系[J]. *极地研究*, 2012, 24(3): 266-273.
- ZHU G P, ZHU X Y, XU Y Y, et al. The spatiotemporal distribution of fishing grounds for Antarctic krill (*Euphausia superba*) around the South Orkney Islands in austral summer-autumn and its relation to environmental factors based on a generalized additive model[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2014, 24(3): 266-273.
- [23] 朱国平, 朱小艳, 夏辉, 等. 2011 年夏秋季南奥克尼群岛水域南极磷虾集群时空分布[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(4): 912-919.
- ZHU G P, ZHU X Y, XIA H, et al. Spatiotemporal distribution patterns of Antarctic krill aggregations around the South Orkney Islands in austral summer-autumn 2011[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(4): 912-919.
- [24] ARANA P M, ROLLER R, DE CASO Á. Chilean Antarctic krill fishery (2011-2016)[J]. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 2020, 48(2): 179-196.
- [25] 吴睿婕, 杨清源, 朱国平. 2016 年夏秋季南极布兰斯菲尔德海峡威氏棘冰鱼脂肪酸组成及其食性指示研究[J]. *极地研究*, 2020, 32(1): 82-89.
- WU R J, YANG Q Y, ZHU G P. Fatty acid composition of spiny icefish (*Chaenodraco wilsoni*) in the Bransfield Strait, Antarctic during summer-autumn 2016 and its implication to diet[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2020, 32(1): 82-89.

Stomach content and diet of mackerel icefish (*Champsocephalus gunnari*) in South Orkney Islands, Antarctic during summer 2020

ZHU Jiuyang¹, LUO Xu¹, ZHU Guoping^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Center for Polar Research, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Polar Marine Ecosystem Laboratory, Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: As a representative of the Channichthyidae in Southern Ocean, Mackerel icefish (*Champsocephalus gunnari*) not only has important economic values in fishery, but also plays a vital role in the Antarctic marine ecosystem. *C. gunnari* feeds mainly on Antarctic krill (*Euphausia superba*) and is also the prey of higher predators. It is very important to study the feeding habits of *C. gunnari* for understanding the variations in *E. superba* resources and predicting the survival and development of high-trophic organisms. The results of this study showed that the diet of *C. gunnari* can be divided into two groups, of which *E. superba* was dominant in the diet composition, and the frequency and quantity percentage were 100% and 99.9% respectively. The remaining diet was *Themisto gaudichaudii*. The results of Generalized Linear Model showed that the number of *E. superba* in the stomach of *C. gunnari* increased with the distance of sampling locations to the South Orkney Islands. The relationship between standard length and stomach content mass of *C. gunnari* was $S_M = 6.639 6 e^{0.017 9L}$. Stomach content mass and daily consumption increased with the increased standard length, while daily consumption percentage remained between 0.98% and 2.08%. The results of this study can provide basic information for understanding the feeding ecology of *C. gunnari* and provide data for resource conservation of *C. gunnari* in the South Orkney Islands.

Key words: *Champsocephalus gunnari*; *Euphausia superba*; diet; stomach content; northern Antarctic Peninsula