

西白令海狭鳕肝脏异尖线虫感染特性的影响因素分析

朱国平, 郑智泓, 钱胡蕊, 刘方达

Factors impacting infection characteristics of *Anisakis* sp. in liver of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) in the western Bering Sea

ZHU Guoping, ZHENG Zhihong, QIAN Hurui, LIU Fangda

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210303362>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西白令海狭鳕夏季卵巢发育特征

Ovary development of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) in the western Bering Sea summer

上海海洋大学学报. 2021, 30(2): 331 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200202919>

东海区黄鳍东方寄生异尖线虫的鉴定及河毒素检测

Identification of TTX *Anisakis pegreffii* parasites in *Takifugu xanthopterus* from the East China Sea

上海海洋大学学报. 2020, 29(4): 585 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190502637>

气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析

Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 874 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603074>

江鳕生物学与养殖技术研究进展

Research perspectives on biology and culture of burbot *Lota lota*: a review

上海海洋大学学报. 2020, 35(5): 762 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-222>

盐酸氯苯胍在异育银鲫体内的药代动力学研究

The Pharmacokinetics of Robenidine hydrochloride in Crucian Carp (*Carassius auratus gibelio*)

上海海洋大学学报. 2018, 27(6): 916 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180102203>

文章编号: 1674-5566(2022)02-0471-08

DOI:10.12024/jsou.20210303362

西白令海狭鳕肝脏异尖线虫感染特性的影响因素分析

朱国平^{1,2,3,4}, 郑智泓¹, 钱胡蕊¹, 刘方达¹

(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: 狭鳕(*Gadus chalcogrammus*)为白令海至北太平洋海域最为重要的商业性鱼种,也是生态系统中关键鱼种。异尖线虫为狭鳕体内,尤其是肝脏,最为常见的寄生虫。为探究狭鳕肝脏寄生虫感染情况及其影响因素,本研究对 2019 年 6—8 月西白令海狭鳕肝脏中异尖线虫(*Anisakis* sp.)感染状况进行了分析,并利用广义线性模型(generalized linear model, GLM)解释了异尖线虫感染特性的因素。结果显示,西白令海狭鳕肝脏异尖线虫感染程度较高,感染率为 93.3%,雄性和雌性狭鳕感染强度差异不显著;异尖线虫感染强度随着体长和采样点经度的增加而增加,随着采样点时间的推移而减小。研究结果为西白令海狭鳕与其寄生虫的生物学特性的研究提供科学信息,为北太平洋食物网结构研究提供基础数据。

关键词: 西白令海; 狭鳕; 肝脏; 异尖线虫; 寄生虫

中图分类号: S 941.5 **文献标志码:** A

狭鳕(*Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814), 隶属鳕形目(Gadiformes)鳕科(Gadidae)狭鳕属(*Gadus*), 属底栖鱼类^[1], 广泛分布于北太平洋、日本海、鄂霍次克海、白令海、阿留申群岛水域和北加利福尼亚沿海等水域^[2]。在白令海, 狭鳕主要分布于陆架和陆坡水域^[1]。狭鳕不仅是西白令海生态系统中的重要物种, 同时也具有较高的商业价值^[3]。2018 年, 全球产量达到 340 万 t, 而我国是全球最大的狭鳕加工市场, 年加工量约 50 万 t^[4]。

异尖线虫(*Anisakis* sp.), 隶属蛔目(Ascaris)蛔亚目(Ascardina)异尖科(Anisakidae)^[5], 为海洋中常见寄生虫^[6], 其在鱼类、头足类、甲壳类和海洋哺乳动物中均有寄生^[7]。目前常见异尖线虫种有简单异尖线虫(*Anisakis simplex*)、典型异尖线虫(*A. typica*)、抹香鲸异尖线虫(*A. physeteris*)等^[8]。异尖线虫卵随大型哺乳动物, 如海狮、海獭、鲸等终末宿主粪便排入海水, 被第一宿主——甲壳类吞食后形成二期幼虫, 在其肠内脱去残存的被膜后进入血体腔, 完成第二次脱

皮, 形成三期幼虫。当感染的甲壳类及鱼类或软体动物被海洋哺乳动物以及其他终末宿主捕食后, 在其胃内经历 2 次脱皮后发育为成虫^[9]。

肝脏是鱼类内脏的主要成分, 肝脏的质量和脂质含量受季节、性成熟度和动物营养状况等因素的影响^[10]。因此, 寄生虫对肝脏的感染情况能够显著反映鱼类和寄生虫间的营养关系。异尖线虫寄生在狭鳕体内, 尤其是肝脏, 是最为常见的寄生虫, 它的存在也明显影响到狭鳕的商业化利用。目前, 在韩国东部海域^[11]、日本北海道^[12]、太平洋东北部^[13]、西白令海^[14]等海域的狭鳕均发现了不同程度的异尖线虫感染。我国对狭鳕寄生虫感染报道较少; 朴洪淳等^[15]在对进口海产品铜色纹狭鳕寄生虫的研究中, 首次报道了异尖线虫 I 型第 3 期幼虫的感染; 杨玉祥等^[16]的研究再次报道了这种情况, 而这些研究仅报道了狭鳕感染异尖线虫的基本特性; 宁静等^[14]曾对西白令海狭鳕寄生虫感染特性进行了调查, 但该文仅考虑到异尖线虫与狭鳕的生物学特性之间的关系, 并未考虑外界环境所带来的影响。为

收稿日期: 2021-03-30 修回日期: 2021-06-03

基金项目: 极地办协同创新平台建设项目(JDXT2019-07); 国家自然科学基金(41776185); 国家重点研发计划(2018YFC1406801)

作者简介: 朱国平(1976—), 男, 博士, 教授, 研究方向为生物海洋学、渔业生态学与资源管理。E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

此,本文旨在进一步探究西白令海狭鳕寄生虫随时间和外界环境条件等的变化,以期了解西白令海狭鳕鱼类及其寄生虫的生物学特性提供参考,为进一步研究北太平洋食物网结构提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样本来源

狭鳕样本由大型拖网加工船新宇1号于2019年6—8月采样于西白令海海域,取样站点如图1所示,采集的样本于 -20°C 冷冻保存,待运回实验室后开展进一步分析。

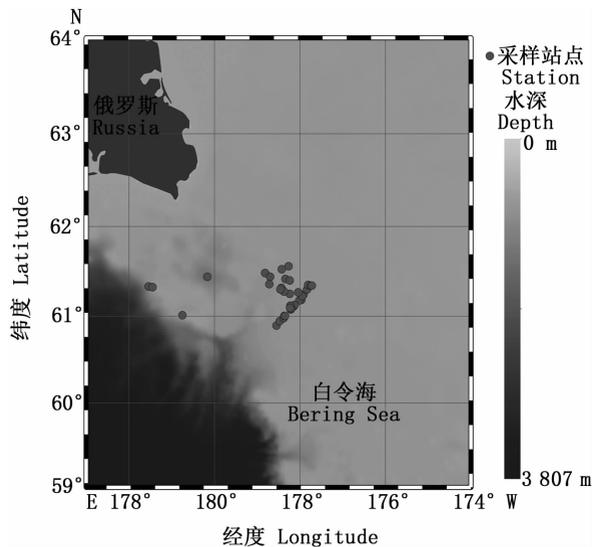


图1 西白令海采样站点图

Fig. 1 Western Bering Sea and sampling locations

1.2 实验方法

1.2.1 样本处理

将样本于实验室解冻后,进行标准体长(L)和体质量(M)等生物学测量。体长精确至0.1 cm,体质量精确至0.1 g。基础生物学数据采集后,用解剖刀和镊子取狭鳕肝脏,收集虫体并计数。

1.2.2 虫体处理及鉴定

将所收集异尖线虫用生理盐水冲洗,放入体积分数为70%的乙醇溶液水浴加热至 70°C ,待虫体完全伸直固定后,置于甘油透明液中使其透明,待乙醇挥发后置于显微镜下观察其形态结构以鉴定种类。鉴定完成后使用游标卡尺测量虫体体长和体宽(精确至0.01 mm)。

1.2.3 寄生虫感染强度分析

按照以下公式计算寄生虫感染率和平均感染强度:

$$P = (N_i/N_f) \times 100 \quad (1)$$

$$I = N_p/N_i \quad (2)$$

式中: P 为寄生虫感染率,%; N_i 为被寄生虫感染的宿主数量,尾; N_f 为所检查的所有宿主数量,尾; N_p 为检查到的寄生虫总数,只; I 为平均感染强度,只/尾。

1.3 统计分析

使用幂函数分析狭鳕体长-体质量关系,采用单因子方差分析两者关系是否显著。首先利用Shapiro-Wilk检验样本总体是否符合正态分布,若符合正态分布,则采用 t 检验,若不符合,则将数据转换为对数形式后再进行检验,以使数据符合正态分布。利用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)检验寄生虫感染率和感染强度随月份和体长是否存在显著性差异,显著性水平 $P < 0.05$ 。

利用广义线性模型(generalized linear model, GLM)探究异尖线虫与寄主(狭鳕体长和体质量)、空间(采集地点和采样深度)、时间(采样日期和采样时间)、环境因素(海表面温度和采样水层水温)以及当地狭鳕资源量之间的关系。其中,采集地点以拖网作业的开始位置经度(slon)、纬度(slat)表示,采样深度以拖网的作业深度(depth, m)表示,采样日期以采样日在一年中的天数(DOY, d)表示,采样时间以拖网下网当天的世界时时间(ftm, h)表示,海表面温度为拖网下网时记录的海表面温度(sea surface temperature, SST, $^{\circ}\text{C}$)和采样水层水温(temp, $^{\circ}\text{C}$),当地资源量以拖网的狭鳕单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE, t/h)表示。GLM模型一般形式表示如下:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

式中: y_i 为狭鳕个体中的寄生虫数量,只; x_i 为响应变量; β_0 和 β_1 为各变量的系数; ε_i 为误差项。

考虑到因变量为计数数据,本研究采用负二项函数作为联接函数。采用方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)检验变量之间的多重共线性,结果发现体质量与其他因子有显著的共线性($VIF > 5$),故在后续的分析中剔除。模拟

寄生虫数量随各变量变化时,考虑到异常值存在,本研究使用了稳健线性模拟方法,以消除异常值对趋势的影响。利用赤池信息准则(akaike information criterion, AIC)选择进入模型的响应变量,AIC 值最小时为最佳模型。所有分析采用 R(4.0.0 处理。数据如无说明,均以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。

2 结果

2.1 狭鳕基础生物学信息

狭鳕样本体长范围为 23.8 ~ 53.8 cm,平均体长为(36.88 \pm 5.71)cm,体质量范围为138.7 ~ 1 120.4 g,平均体质量为(485.80 \pm 203.07)g。体长-体质量关系为 $M = 0.022 L^{2.756}$ ($R^2 = 0.952, n = 90, P < 0.001$)。见图 2。

2.2 异尖线虫基本特征

狭鳕肝脏内检出的寄生虫初步鉴定为蛔目(Asodris)蛔亚目(Aseardina)异尖科(Aniskidae)

异尖线虫属简单异尖线虫幼体。虫体呈无色,半透明,呈螺旋状卷曲于肝脏表面及内部,两端钝圆,较细,头端的唇瓣尚未分化(图版)。体长为 8.41 ~ 37.23 cm,平均体长为(24.71 \pm 5.32)mm,宽度 0.06 ~ 0.88 mm,平均宽度为(0.45 \pm 0.11)mm。

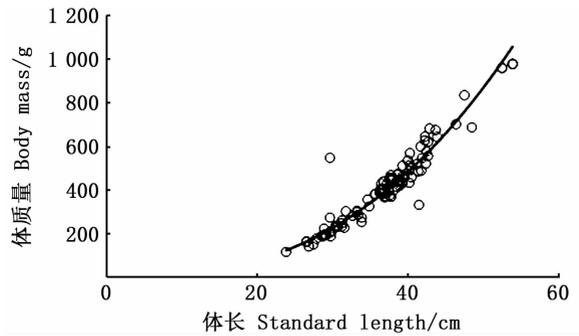
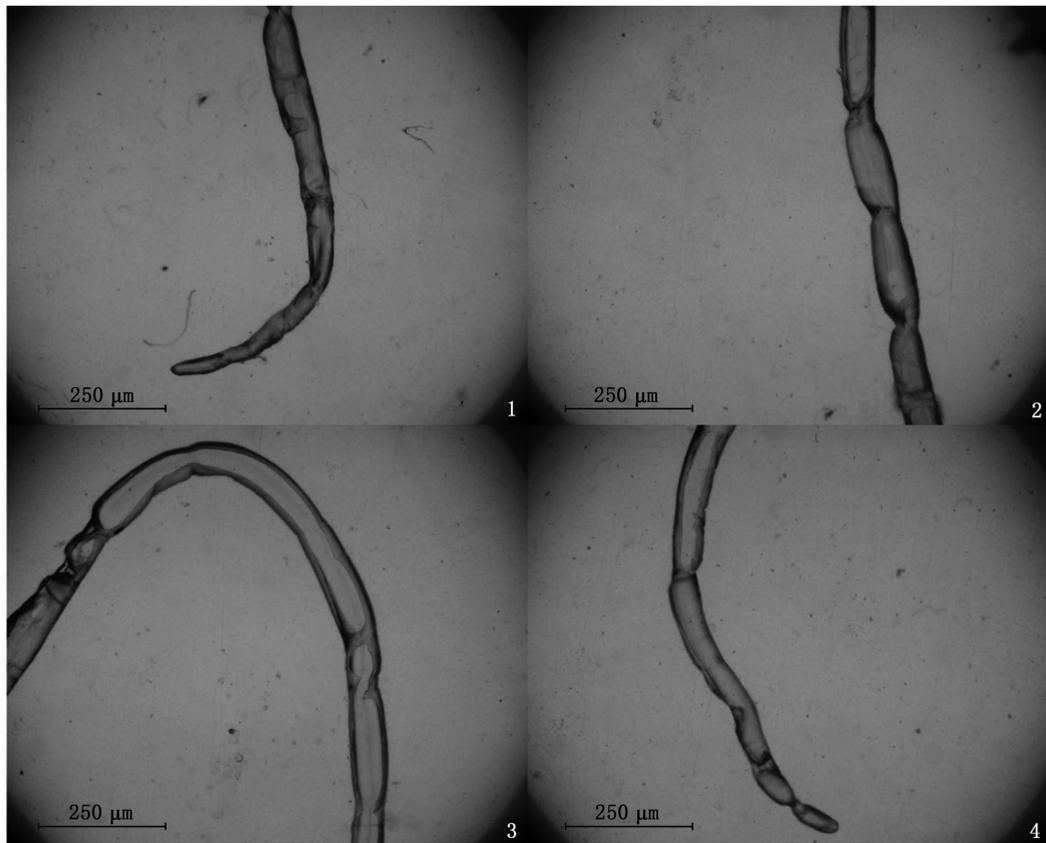


图 2 西白令海峡狭鳕体长-体质量关系
Fig.2 Standard length and body mass of *Gadus chalcogrammus* in the western Bering Sea



图版 异尖线虫显微镜照片
Plate Microscopic photo of *Anisakis* sp.

2.3 异尖线虫感染强度与狭鳕性别关系

90 尾狭鳕肝脏样本中,感染异尖线虫的样本为 84 尾,感染率为 93.3%。其中,雌、雄狭鳕肝脏样本感染率分别为 91.5% 和 95.3%。对不同

性别狭鳕肝脏异尖线虫感染强度取对数后,进行独立样本 t 检验,发现雌、雄个体间感染强度差异不显著($t = -1.194, P = 0.236 > 0.05$),见表 1。

表 1 西白令海异尖线虫分性别感染狭鳕情况
Tab.1 Infection of *Anisakis* sp. on *Gadus chalcogrammus* in the western Bering Sea by sex

性别 Sex	检查样本数 Number of fish sample/尾	感染样本数 Infected fish number/尾	感染率 Infection rate/%	平均感染强度 Mean intensity of <i>Anisakis</i> sp./(只/尾)	寄生虫数量 <i>Anisakis</i> sp. number/只
雄性 Male	43	41	95.3	7.44 ± 8.29	320
雌性 Female	47	43	91.5	9.00 ± 10.10	420
合计 Total	90	84	93.3	8.26 ± 9.26	740

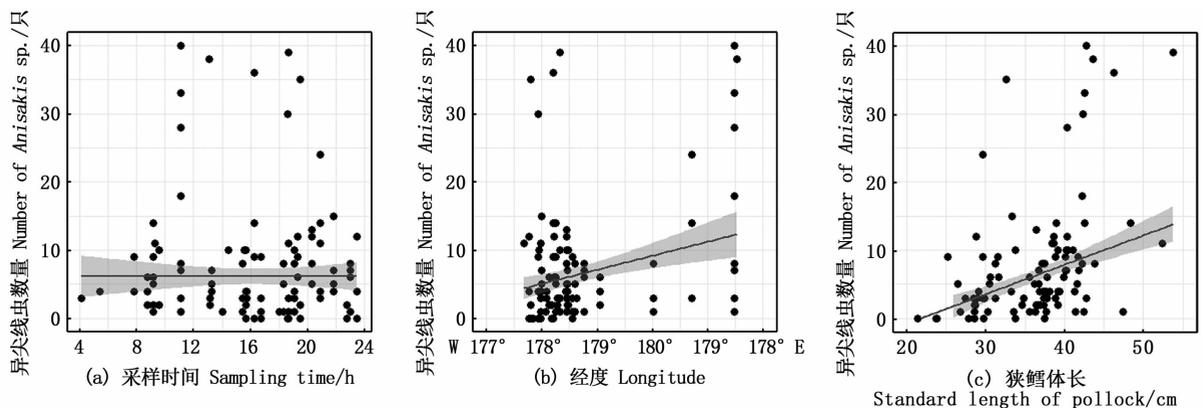
2.4 异尖线虫对狭鳕肝脏的感染因素分析

GLM 分析结果(表 2)显示,采样时间($Z = 2.518, P = 0.0118$)、经度($Z = 1.428, P = 0.0045$)以及狭鳕体长($Z = 3.491, P = 0.0005$)具有显著影响,而其他因素则无显著影响。异尖

线虫对狭鳕肝脏的感染随着采样时间的推移逐渐减弱(图 3a),但随着经度向东推进而增加(图 3b)。异尖线虫对狭鳕肝脏的感染程度随着寄主体长的增加而明显加强(图 3c)。

表 2 广义线性模型模拟异尖线虫对狭鳕肝脏的感染状况统计结果
Tab.2 Statistical results on infection of *Anisakis* sp. in liver of *Gadus chalcogrammus* in the western Bering Sea modelled by Generalized Linear Model

变量 Variable	系数估计值 Estimated coefficient	标准误差 Standard error	Z 值 Z value	显著水平 Significance level
截距 Intercept	-53.470 0	756 600	0	0.999 9
采样时间 Sampling time	0.048 5	0.019 3	2.518	0.011 8
采样深度 Sampling depth	0.006 0	0.0042	1.428	0.153 2
经度 Longitude	0.218 1	0.076 8	2.841	0.004 5
纬度 Latitude	-0.320 0	0.482 0	-0.664	0.506 7
单位捕捞努力量渔获量 Catch per unit fishing effort	-0.008 0	0.019 5	-0.412	0.680 7
海表温度 Sea surface temperature	0.280 8	0.243 4	1.154	0.248 5
采样水层水温 Temperature at sampling depth	-0.864 5	0.739 1	-1.170	0.242 2
狭鳕体长 Standard length of <i>G. chalcogrammus</i>	0.053 1	0.015 2	3.491	0.000 5
采样日期 Date of year	-0.004 4	0.006 8	-0.645	0.518 7



图中阴影部分为 95% 置信区间。
Shaded areas signify 95% confident intervals.

图 3 异尖线虫数量与采样时间、经度以及狭鳕体长之间的关系
Fig.3 Relationship between number of *Anisakis* sp. and sampling time, longitude and standard length of *Gadus chalcogrammus*

3 讨论

3.1 异尖线虫特征及感染特性

寄生异尖线虫的鱼类多达数百种,鲈鱼 (*Scomber japonicus*)、马鲛鱼 (*Scomberomorus nipponius*)、竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*)、鳕鱼 (*Gadus* sp.)、鲑鱼 (*Oncorhynchus* sp.)、乌贼 (*Decapodiformes*) 等均对异尖线虫有较高的感染性^[9]。异尖线虫成虫将其头部钻入终末宿主(海洋哺乳动物,如鲸、海豹、海狮和海豚等)胃壁而寄生。寄主胃内的雌虫排卵,卵随宿主粪便排入海水。排出的虫卵在适宜温度下经数次分裂后发育成幼虫。由卵中孵化出 2 期幼虫并进入第一中间宿主,即海生浮游甲壳类(如磷虾等)的体内,发育成为 3 期幼虫,也可能仍停留在 2 期幼虫阶段。这类含幼虫的浮游甲壳类被第二中间宿主,即某些海鱼和乌贼等软体动物吞食,2 期幼虫在后者体内脱皮而成为 3 期幼虫,并在它们的内脏表面和肌肉中形成包囊而寄生。含有 3 期幼虫的鱼类和乌贼等被终末宿主吞食,并在它们胃内发育为成虫^[5]。异尖线虫寄生显示出较低的宿主特异性,但在杂食类鱼类中感染强度较高,这已在多数海洋鱼类中予以报道^[17],而本研究对象——狭鳕即属于杂食类鱼种。

本研究检出的异尖线虫特征与周源昌等^[18]所描述的异尖线虫 I 型幼体相符合。异尖线虫主要寄生于狭鳕肝脏中,NURHIDAYAT 等^[11]对日本海狭鳕异尖线虫感染情况调查时发现,大多数异尖线虫(74.7%)盘旋在肝脏中。同样地,欧洲无须鳕 (*Merluccius merluccius*)^[19]和牙鳕 (*Merlangius merlangus*)^[19]肝脏中也记录到异尖线虫的高感染水平。造成鳕鱼肝脏异尖线虫感染率较高的原因之一是肝脏比其他内脏器官体积更大,且富含脂质,故异尖线虫幼虫较易进入肝脏组织并以其为食。此外,狭鳕属于非脂肪类鱼种,其中的脂质主要储存于肝脏或肠系膜中,这也使得肝脏感染率显著高于其他器官。

3.2 狭鳕性别与异尖线虫感染程度

本研究中,尽管不存在显著差异,但异尖线虫对雄性狭鳕感染率略高于雌性,感染个体中雌性体长显著大于雄性。李萍等^[20]于 2010 年对冷冻铜色纹狭鳕进行了采样调查,发现雄性个体感染率高于雌性;宋华宾等^[21]对进口冷冻铜色纹狭

鳕异尖线虫感染情况进行统计后发现,雄性狭鳕感染率显著高于雌性,这与本文结果较为一致。一般来说,雌性狭鳕比雄性狭鳕生长快,在体长相等或相近的条件下,雄性年龄大于雌性;因此,雄性个体会更多的长寿命寄生虫寄生,如异尖线虫等,这也导致随着宿主年龄增加而致寄生虫累积的数量和概率增加,并进一步导致雄性感染率较高^[22]。同时,年龄较大的个体通常也具有较高的摄食率,这也在一定程度上增加了感染异尖线虫的机会^[12]。POLTEV 等^[23]研究狭鳕感染情况时发现,受感染个体雌性狭鳕通常比雄性大,体长较雄性长,这可能与栖息在近底层水域中的中间宿主有关,因为体型较大的狭鳕一般生活在近底层水域中。HEMMINGSSEN 等^[24]也指出,鳕鱼感染异尖线虫的性别差异可能因摄食习性不同而致,考虑到本研究并未分析狭鳕的食性,故无法判断该情况是否也会发生在狭鳕上。但从统计上看,本研究中雄性和雌性狭鳕肝脏感染异尖线虫的差异不显著,除样本较少外,狭鳕肝脏感染异尖线虫的程度可能与多种因素有关,这点仍需要进一步研究。

3.3 狭鳕体长与异尖线虫感染程度

研究发现,随着狭鳕体长的增长,其肝脏中异尖线虫感染强度明显增强,这与其他研究较为相似。相关研究已描述了狭鳕体长与异尖线虫感染强度间的正相关关系。例如:ARTHUR 等^[22]发现,在某些情况下,针对感染狭鳕肌肉和体腔的寄生虫,其感染率和感染强度为寄主体长的函数;宁静等^[14]则进一步描述了狭鳕体长与异尖线虫感染呈显著的线性关系。这种关系被归因于寄生虫反复感染所造成的累积效应^[11],即随着宿主的体长和年龄的增长,较长寿命的寄生虫可以感染较大年龄的个体,并通过摄食持续进行再感染。

其他海洋生物种类也大量报道了异尖线虫感染程度随体长增加的情况。ABATTOUY 等^[25]指出,异尖线虫感染强度与日本鲈 (*Scomber japonicus*) 体长呈显著正相关关系,这种关系与随着宿主年龄增长而产生的寄生虫累积效应有关,而不同年龄段宿主的摄食选择性也会影响其寄生虫感染程度。RELLO 等^[26]探究了异尖线虫感染率与欧洲鳀 (*Engraulis encrasicolus*) 的体长呈线性增加关系,TAKAHARA 等^[13]在对太平洋褶柔

鱼(*Todarodes pacificus*)感染异尖线虫调查时发现,体型较大的宿主感染异尖线虫的机率更高,并将其归因为随着鱼体生长而逐渐增加的摄食量和不同时期宿主的摄食差异。

3.4 影响异尖线虫感染的环境因素

研究利用 GLM 对狭鳕肝脏的异尖线虫感染程度进行了分析,结果显示采样时间和采样站点(经度)对异尖线虫感染程度具有显著影响。随着采样时间的推移,异尖线虫的感染强度逐渐减弱,这可能与西白令海狭鳕的昼夜垂直移动现象有关。唐启升等^[27]于 1993 年夏季对白令海狭鳕资源进行调查时指出,夏季白令海阿留申盆区狭鳕幼鱼昼夜垂直移动现象极为明显,日间狭鳕幼鱼主要栖息在 80~120 m 水层,随着时间的推移,下午 16 时后鱼群逐渐向上移动,至午夜(22:00 至次日凌晨 2:00)鱼群密集在表层至 10 m 水层。而异尖线虫虫卵随海洋哺乳动物粪便排入海水^[9],海洋哺乳动物的上下移动影响着异尖线虫虫卵的分布,从而间接影响不同深度处狭鳕异尖线虫感染强度。如小须鲸(*Balaenoptera acutorostrata*)作为西北太平洋区域内简单异尖线虫的主要终末宿主之一^[28],在摄食海洋底栖动物时,直接潜入海洋底层^[29],其摄食与排泄行为会将异尖线虫虫卵带到海底,造成海水底层异尖线虫丰度较大。这也印证了寄生虫可以作为一种有潜力的生物标签^[11],为探究狭鳕昼夜垂直移动现象提供参考。但目前关于采样时间与寄生虫感染强度的研究较少,且引起这些变化的机理尚不清楚,仍需要进一步探究。

由于夏季狭鳕较多栖息于白令海中部陆架和外陆架的浅水部分,白令海夏季浮游动物的产量在陆架中间最高,因此会吸引大量狭鳕摄食^[30]。随着西白令海经度向东推进,其海域水深较西部浅,引起狭鳕栖息聚集,从而增加异尖线虫感染狭鳕的机率和程度。这样可能导致狭鳕异尖线虫感染强度随区域东移逐渐增加。

此外,近些年来,海洋类寄生虫,包括异尖线虫,在海洋生态系统的生物学和生态学调查中已被广泛用作食物网稳定性和栖息地干扰的生物学指标^[31]。研究和了解西白令海环境因子对狭鳕异尖线虫感染程度关系可为西白令海海洋哺乳动物种群及其寄生虫变化提供依据,同时为北太平洋食物网结构提供参考数据。

感谢中国水产有限公司及拖网渔船新宇 1 号及全体船员协助收集并提供样品,感谢刘慧和宁静为本文中站位绘制及异尖线虫鉴定提供的帮助。本研究还得到了上海海洋大学优秀本科生进实验室以及大学生创新项目支持。

参考文献:

- [1] YANAGIMOTO T, NISHIMURA A, MITO K, et al. Interannual changes of biological properties of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the central Bering Sea [J]. *Progress in Oceanography*, 2002, 55(1/2): 195-208.
- [2] DE BRITO A P X, UENO D, TAKAHASHI S, et al. Organochlorine and butyltin residues in walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) from Bering Sea, Gulf of Alaska and Japan Sea [J]. *Chemosphere*, 2002, 46(3): 401-411.
- [3] 林倩倩, 朱国平. 北极阿拉斯加水域鱼类生态特征及其重要性评价 [J]. *水产学报*, 2019, 43(7): 1581-1592.
LIN Q Q, ZHU G P. Ecological characteristics and importance evaluation of fish species in the Arctic Alaska [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(7): 1581-1592.
- [4] 楼乔明, 张问, 刘连亮, 等. 狭鳕鱼皮脂肪胺组成分析及其营养评价 [J]. *核农学报*, 2016, 30(2): 332-337.
LOU Q M, ZHANG W, LIU L L, et al. Analysis and nutritional evaluation of fatty acids in fishskin of *Theragra chalcogramma* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(2): 332-337.
- [5] 孙世正. 异尖线虫和异尖线虫病 [J]. *国际医学寄生虫病杂志*, 1985(3): 97-102.
SUN S Z. Anisakis and anisakiasis [J]. *International Journal of Medical Parasitic Diseases*, 1985(3): 97-102.
- [6] MURATA R, SUZUKI J, SADAMASU K, et al. Morphological and molecular characterization of *Anisakis* larvae (Nematoda: Anisakidae) in *Beryx splendens* from Japanese waters [J]. *Parasitology International*, 2011, 60(2): 193-198.
- [7] BUENDIA E. *Anisakis*, anisakidosis, and allergy to *Anisakis* [J]. *Allergy*, 1997, 52(5): 481-482.
- [8] 吴绍强. 水生动物寄生虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 172-185.
WU S Q. Aquatic animal parasitology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 172-185.
- [9] 罗朝科. 海鱼与异尖线虫病 [J]. *畜牧与兽医*, 2003, 35(12): 40-43.
LUO C K. Marine fish and anisakiasis [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2003, 35(12): 40-43.
- [10] OLIVEIRA A C M, BECHTEL P J. Protein and lipid composition of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) livers [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2006, 15(3): 5-19.
- [11] NURHIDAYAT S W, NAM U H, KIM J H. Occurrence of

- anisakid nematodes in walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) caught off the East Sea of Korea; their molecular identification and biological implication[J]. *Ocean Science Journal*, 2018, 53(4): 679-689.
- [12] KONISHI K, SAKURAI Y. Geographical variations in infection by larval *Anisakis simplex* and *Contracaecum osculatatum* (Nematoda, Anisakidae) in walleye pollock *Theragra chalcogramma* stocks off Hokkaido, Japan [J]. *Fisheries Science*, 2002, 68(3): 534-542.
- [13] TAKAHARA H, SAKURAI Y. Infection of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) by larval anisakid nematodes [J]. *Fisheries Research*, 2010, 106(2): 156-159.
- [14] 宁静, 黄开, 韦贝贝, 等. 西白令海夏季狭鳕肝脏异尖线虫感染特性研究[J]. *海洋渔业*, 2020, 42(3): 296-303.
- NING J, HUANG K, WEI B B, et al. Parasitic characteristics of *Anisakis* sp. in the liver of *Gadus Chalcogrammus* in the Western Bering Sea during summer [J]. *Marine Fisheries*, 2020, 42(3): 296-303.
- [15] 朴洪淳, 李德峰, 崔春权. 进口海产品铜色纹狭鳕寄生虫的研究[J]. *动物学杂志*, 1990(2): 10-13, 65.
- PIAO H C, LI D F, CUI C Q. Studies of imported pollock parasites[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1990(2): 10-13, 65.
- [16] 杨玉祥, 林成志. 进口铜色纹狭鳕寄生虫的调查[J]. *中国国境卫生检疫杂志*, 1989(4): 250-252.
- YANG Y X, LIN C Z. Investigation of imported pollock parasites [J]. *Chinese Journal of Frontier Health and Quarantine*, 1989(4): 250-252.
- [17] ARTHUR J R. A survey of the parasites of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) from the northeastern Pacific Ocean off Canada and a zoogeographical analysis of the parasite fauna of this fish throughout its range[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1984, 62(4): 675-684.
- [18] 周源昌, 郑建咸, 罗公平, 等. 狭鳕(*Theragra chalcogramma*) 鱼体内检出异尖线虫(*Anisakis*)幼虫[J]. *东北农学院学报*, 1990(3): 295-297.
- ZHOU Y C, ZHENG J X, LUO G P, et al. Occurrence of *Anisakis* Larvae in marine fish (*Theragra chalcogramma*) [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1990(3): 295-297.
- [19] MLADINEO I, POLJAK V. Ecology and genetic structure of zoonotic *Anisakis* spp. from adriatic commercial fish species [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2014, 80(4): 1281-1290.
- [20] 李萍, 吴跃双. 冷冻铜色纹狭鳕异尖线虫感染情况调查[J]. *吉林畜牧兽医*, 2010, 31(6): 11-12.
- LI P, WU Y S. Investigation on frozen *Theragra Chalcogrammas* infected by *Anisakis* sps[J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2010, 31(6): 11-12.
- [21] 宋华宾, 金龙云, 吴跃双. 进口冷冻铜色纹狭鳕异尖线虫感染情况调查[J]. *肉品卫生*, 1994(9): 6-8.
- SONG H B, JIN L Y, WU Y S. Investigation on imported frozen *Theragra Chalcogrammas* infected by *Anisakis* sp. [J]. *Meat Hygiene*, 1994(9): 6-8.
- [22] ARTHUR J R, MARGOLIS L, WHITAKER D J, et al. A Quantitative study of economically important parasites of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) from British Columbian waters and effects of postmortem handling on their abundance in the musculature [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1982, 39(5): 710-726.
- [23] POLTEV Y N, FAIZULIN D R. Infestation of walleye pollock with the parasitic copepod *Haemobaphes diceraus* Wilson, 1917 (Copepoda: Pennellidae) in waters of Sakhalin and the Kuril Islands[J]. *Russian Journal of Marine Biology*, 2013, 39(1): 76-79.
- [24] HEMMINGSEN W, HALVORSEN O, MACKENZIE K. The occurrence of some metazoan parasites of Atlantic cod, *Gadus morhua* L., in relation to age and sex of the host in Balsfjord (70°N), North Norway[J]. *Polar Biology*, 2000, 23(5): 368-372.
- [25] ABATTOUY N, VALERO A, BENAJIBA M H, et al. *Anisakis simplex* s. l. parasitization in mackerel (*Scomber japonicus*) caught in the north of Morocco-Prevalence and analysis of risk factors [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 150(2/3): 136-139.
- [26] RELLO F J, ADROHER F J, BENÍTEZ R, et al. The fishing area as a possible indicator of the infection by anisakids in anchovies (*Engraulis encrasicolus*) from southwestern Europe [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 129(3): 277-281.
- [27] 唐启升, 金显仕, 李富国, 等. 白令海阿留申海盆区狭鳕当年生幼鱼数量分布的调查研究[J]. *中国水产科学*, 1994, 1(1): 37-47.
- TANG Q S, JIN X S, LI F G, et al. Distribution and abundance of age zero walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Aleueian basin [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1994, 1(1): 37-47.
- [28] GOMES T L, QUIAZON K M, KOTAKE M, et al. *Anisakis* spp. in toothed and baleen whales from Japanese waters with notes on their potential role as biological tags [J]. *Parasitology International*, 2021, 80: 102228.
- [29] NORDØY E, BLIX A. Diet of minke whales in the northeastern Atlantic [R]. Report-International Whaling Commission, 1992, 42: 393-398.
- [30] SWARTZMAN G, SILVERMAN E, WILLIAMSON N. Relating trends in walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance in the Bering Sea to environmental factors [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(2): 369-380.
- [31] KUZMINA T A, LYONS E T, SPRAKER T R. Anisakids (Nematoda: Anisakidae) from stomachs of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) on St. Paul Island, Alaska; parasitological and pathological analysis [J]. *Parasitology Research*, 2014, 113(12): 4463-4470.

Factors impacting infection characteristics of *Anisakis* sp. in liver of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) in the western Bering Sea

ZHU Guoping^{1,2,3,4}, ZHENG Zhihong¹, QIAN Hurui¹, LIU Fangda¹

(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, Ministry of Education Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: Walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) is the most important commercial fish species in the waters through the Bering Sea to the North Pacific Ocean, and is the keystone species in the ecosystem of this region. *Anisakis* sp. is the common parasite in walleye pollock, particularly in the liver of this species. Therefore, In order to explore infection of *Anisakis* sp. to liver of walleye pollock and the factors that affect this process, this study analyzed infection of *Anisakis* sp. to liver of walleye pollock in the western Bering Sea and explained the factors that impact infection of *Anisakis* sp. to liver of walleye pollock using generalized linear model. The results indicated that the infection intensity was high and reached 93.3%, however, no significant difference could be observed in infection intensity of *Anisakis* sp. between sexes of host. The infection intensity of *Anisakis* sp. increased with the increasing of host size and eastern moving of sampling locations, but decreased with the lapse of time in a day. The study provides the scientific information about biology of walleye pollock and *Anisakis* sp. in the western Bering Sea and provides the basic data for food web structure in the North Pacific Ocean.

Key words: western Bering Sea; walleye pollock; liver; *Anisakis* sp.; parasite