

DOI: 10.12264/JFSC2023-0343

夏季西南大西洋阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫感染情况研究

舒月¹, 方舟^{1, 2, 3, 4, 5}

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开发重点实验室, 上海 201306;
5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306

摘要: 阿根廷无须鳕(*Merluccius hubbsi*)是西南大西洋最主要的捕捞物种之一, 近年来其捕捞产量持续上升, 异尖线虫幼虫(*Anisakid larvae*)是寄生于阿根廷无须鳕最常见的寄生虫之一, 本研究为了解西南大西洋阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的情况, 于 2022 年 10 月至 2023 年 2 月夏季阿根廷及马尔维纳斯群岛(福克兰群岛)专属经济区外的公海海域共捕获 435 尾阿根廷无须鳕, 对其进行生物学实验, 采集寄生虫进行形态学鉴别, 最后记录数据并进行分析。结果显示, 99.08%的阿根廷无须鳕均感染异尖线虫幼虫, 平均感染强度为 (19.56 ± 24.76) 条/尾, 44.37%的样本鱼感染异尖线虫幼虫的数量在 1~10 条之间。性腺成熟度为 I~IV 的样本鱼感染异尖线虫幼虫的平均感染强度分别为 (9.89 ± 10.67) 条/尾、 (13.83 ± 14.74) 条/尾、 (25.86 ± 22.17) 条/尾、 (50.61 ± 56.78) 条/尾; 样本鱼腹腔、肝脏和胃感染异尖线虫幼虫的平均感染强度分别为 (9.20 ± 10.01) 条/尾、 (8.61 ± 13.74) 条/尾、 (4.34 ± 5.10) 条/尾。统计分析结果显示, 性腺成熟度为 IV 期的样本鱼感染异尖线虫幼虫的平均感染强度显著高于 I~III 期($P < 0.05$), III期的平均感染强度显著高于 I 和 II 期($P < 0.05$); 腹腔和肝脏感染异尖线虫幼虫的平均感染强度显著高于胃($P < 0.05$), 而腹腔和肝脏之间感染异尖线虫幼虫的平均感染强度差异不显著($P > 0.05$)。综上所述, 阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的数量与样本鱼的性腺成熟度和不同感染部位有关, 并且感染数量与叉长和体重具有相关性。本研究可为阿根廷无须鳕生长特征和影响因素提供研究基础。

关键词: 阿根廷无须鳕; 异尖线虫幼虫; 感染强度; 性成熟度

中图分类号: S941

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)02-0232-08

阿根廷无须鳕(*Merluccius hubbsi*)为典型底层鱼类, 分布于大西洋西南部沿海, 即 $34^{\circ}\text{S} \sim 55^{\circ}\text{S}$ 之间的大陆架海域, 栖息于 50~400 m 水深, 主要栖息于 100~200 m 深的海域^[1]。阿根廷无须鳕为洄游性鱼类, 按照纬度可分为 5 个群体, 阿根廷北部群体是最大的阿根廷无须鳕群体, 秋季(3—5 月)于 $42^{\circ}\text{S} \sim 45^{\circ}\text{S}$ 之间水深 100 m 左右拉普拉塔河口的浅水水域产卵, 随后在大陆架斜坡较深水域进行索饵洄游^[2]。目前阿根廷无须鳕是西南大西

洋海域最主要捕捞对象之一^[3], 近年来, 其捕捞产量持续上涨, 从 2017 年的 35.6 万 t 到 2021 年达到了 41.5 万 t, 是该海域重要的经济物种之一。

异尖线虫(*Anisakid larvae*)是线虫动物(Nematoda)中的重要物种之一, 是目前海洋鱼类的主要寄生线虫类群。异尖科线虫主要通过食物链进行传播, 其虫卵在海水中经过一次蜕皮孵化出第二期幼虫(L₂), 这些幼虫可被第一中间宿主甲壳动物所吞食, 并发育为第三期幼虫(L₃), 磷

收稿日期: 2024-01-02; 修订日期: 2024-01-12.

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(42306117); 农业部外海渔业开发重点实验室开放基金项目(LOF 2021-01).

作者简介: 舒月(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类寄生虫学研究. E-mail: 1340659111@qq.com

通信作者: 方舟, 副教授, 研究方向海洋渔业生物学. E-mail: zfang@shou.edu.cn

虾是异尖科线虫生活史中的关键宿主; 鱼类或头足类等第二中间宿主通过摄食感染了异尖线虫 L₃ 期幼虫的磷虾或小鱼而被感染; 最后, 异尖科线虫则通过食物链寄生于海洋鱼类、海洋哺乳动物或食鱼鸟类等终末宿主的胃肠道中^[4]。由于该类线虫可通过食用生的、未煮熟的鱼而感染人类, 引发人畜共患疾病^[5], 称为异尖线虫病 (Anisakiasis)。

近年来, 关于海洋鱼类感染异尖科线虫的研究越来越多, Abollo 等^[6]调查了西班牙西南部加利西亚水域鱼类的寄生线虫, 在 2673 尾共 35 种头足类和鱼类的样本中鉴定到两种异尖科线虫, 即简单异尖线虫 (*Anisakis simplex*) 和派氏异尖线虫 (*Anisakis pegreffii*); Farjallah 等^[7]调查了突尼斯地中海东部海岸欧洲褐鳕感染线虫幼虫的情况, 结果显示在 592 个样本宿主中共检测出 4 种异尖科线虫; 马宏伟等^[8]对渤海鱼类和头足类异尖科线虫幼虫感染情况进行了调查, 结果在 19 种鱼和 1 种头足类的样本上共检测到 6 种异尖线虫幼虫, 共计 7327 条; 叶丽萍等^[9]于 2004—2005 年对我国东海采集的 23 种鱼类及软体动物感染异尖线虫幼虫的情况进行了调查, 在大量样本中检测出异尖线虫属 L₃ 期幼虫。然而, 对于西南大西洋海域阿根廷无须鳕感染寄生虫的研究还较少。目前 Herreras 等^[10]报道了阿根廷无须鳕肌肉组织感染异尖线虫属 L₃ 期幼虫的情况, 结果显示, 阿根廷无须鳕肌肉中感染异尖线虫幼虫的数量与其体长和体重没有显著的相关性, 但腹侧肌肉中感染异尖线虫的数量显著高于背侧肌肉, 这对降低人类感染异尖线虫的风险提供了方向。对西南大西洋海域阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的进一步了解, 有助于对阿根廷无须鳕渔获物进行食品安全评估, 以及进一步研究寄生虫的感染是否影响宿主生长发育。为此, 本研究针对 2022 年 10 月至 2023 年 2 月于西南大西洋所捕捞的阿根廷无须鳕进行解剖实验, 调查感染寄生虫的情况, 分析感染强度与性腺成熟度、感染部位以及叉长体重之间的关系, 为后续异尖科线虫的寄生生活史和影响驱动因素研究打下基础。

1 材料与方法

1.1 采样的时间与海域

依托我国拖网船于 2022 年 10 月至 2023 年 2 月, 在阿根廷及马尔维纳斯群岛 (福克兰群岛) 专属经济区外的公海海域进行捕捞作业, 共捕获 435 尾渔获样本, 所获得样本于 -20 °C 冷冻保存, 待运回实验室后进行解剖实验。

1.2 实验操作

1.2.1 样本鱼生物学测定 将冷库中的样本鱼提前进行解冻, 测量叉长和体重, 鉴定性别和性腺成熟度, 待第二步寄生虫的采集完毕后还要称量肝重和胃重。

1.2.2 寄生虫的采集与处理 对样本鱼进行解剖, 从不同感染部位采集寄生虫并进行标记和计数, 将采集到的寄生虫用纯净水洗净, 置于 70% 乙醇溶液中加热至约 70 °C 固定虫体, 再将其置于甘油透明液中使其透明, 方便后续进行显微镜观察^[11]。

1.2.3 寄生虫的显微镜观察和测量 将采集到的寄生虫从透明液中取出放置载玻片上进行显微镜观察, 拍摄形态图方便后续进行形态鉴定, 最后对寄生虫的体长和体宽进行测量。

1.2.4 寄生虫的形态鉴定 根据《水生动物寄生虫学》^[4]进行形态学分析, 异尖线虫幼虫呈乳白色盘曲状, 虫体头部钝圆, 头端腹侧有一钻齿, 尾部尖锐, 除对盲囊线虫属以外尾部末端都具有尾突。异尖线虫 L₃ 期幼虫体长在 1.5~50.0 mm 之间, 体宽在 0.05~1.2 mm 之间。由于对幼虫时期的虫体鉴定需要借助其他方法 (如分子生物学方法), 并且形态学鉴别具有一定的局限性, 因此本研究仅将幼虫鉴定到科进行后续研究。

1.3 感染指标计算

根据上述获得的样本和相关数据, 按照以下公式计算感染率、平均感染强度^[12]。

$$\text{感染率} = \frac{\text{寄生线虫的宿主数}}{\text{检查的宿主总数}} \times 100\%$$

$$\text{平均感染强度} = \frac{\text{采集到的寄生虫总数}}{\text{寄生线虫的宿主总数}}$$

1.4 数据处理

定量数据以平均值±标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示, 叉

长-体重采用 Origin2021 绘制拟合函数图像, 描述拟合程度。采用 SPSS27.0 对实验数据进行描述性统计分析, 不同性腺成熟度之间感染强度的关系进行单因素方差分析, 先进行单因素 ANOVA 检验, 检验结果为: 方差不齐, 后取对数进行数据转换, 符合等方差再进行 LSD 检验, 显著性水平 $P=0.05$ 。不同部位感染强度经检验不符合正态分布的样本数据则进行塔姆黑尼检验, 显著性水平 $P=0.05$ 。叉长、体重与感染强度之间的相关性以及肝重与肝脏感染强度之间的相关性分析, 经检验不符合正态分布则采用 Spearman 相关性进行相关性分析。得出结果采用 Origin 2021 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 阿根廷无须鳕生物学特征

所采集的阿根廷无须鳕样本叉长平均值为 (316.26 ± 57.78) mm, 体重的平均值为 (278.97 ± 187.82) g, 叉长-体重的拟合曲线函数为 $W=9.378\times10^{-6}L^{2.971}$ ($N=435, R^2=0.8140, P<0.001$) (图 1), 样本鱼叉长与体重之间呈现显著的正相关关系。不同性成熟度之间的样本量, 雌雄比以及生物学数据见表 1。采用 Spearman 相关性进行相关性分析, 得出性成熟度与样本鱼叉长之间的相关系数 $\rho=0.536$ ($P<0.01$), 说明本实验所采集样本鱼叉长与性腺成熟度之间也具有一定的正相关关系。

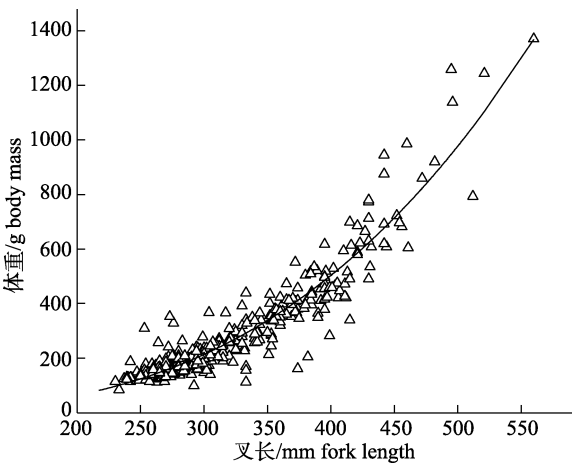


图 1 阿根廷无须鳕叉长-体重之间的关系
Fig. 1 The relationship between fork length and body mass in *Merluccius hubbsi*

表 1 不同性成熟度阿根廷无须鳕的生物学数据
Tab. 1 Biological data of *Merluccius hubbsi* at different levels of sexual maturity

性腺成熟度 sexual maturity	样本量/ ind sample number	叉长平 均值/mm fork length	体重 平均值/g body mass	雌雄比 sex ratio
I	46	277.17±25.09	161.33±43.16	I 期不分雌雄
II	241	297.64±40.83	219.92±105.15	0.37
III	115	346.55±54.37	364.17±178.33	0.62
IV	33	407.58±72.92	605.09±342.73	0.06

2.2 阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的基本特征

将从阿根廷无须鳕样本上采集的寄生虫进行显微镜观察和体长体宽的测量, 结果显示, 从 435 尾样本鱼中共采集到 8438 条寄生虫, 肉眼观测虫体呈现乳白色卷曲盘状(图 2)。在显微镜下观测, 虫体前端钝圆, 头部顶端有一钻孔齿, 尾部有明显横纹和尾突(图 3), 与异尖线虫幼虫形态相符^[4]。通过测量, 所采集的异尖科线虫体长范围在 8.04~28.57 mm 之间, 体宽范围在 0.14~0.66 mm 之间, 属于异尖线虫 L₃ 期幼虫阶段^[4]。

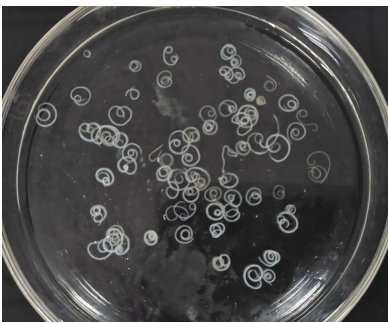


图 2 从阿根廷无须鳕上采集到的寄生虫
Fig. 2 Parasites collected from *Merluccius hubbsi*

从 435 尾阿根廷无须鳕样本鱼上采集的 8438 条寄生虫均为异尖线虫幼虫, 其感染率高达 99.08%, 平均感染强度为 (19.56 ± 24.76) 条/尾。其中, 感染强度在 1~10 条/尾的样本鱼数量所占比例最高, 占样本总数的 44.37% (图 4)。大多数样本个体所寄生的异尖线虫幼虫的条数都在 1~20 条之间, 所有样本鱼中仅有 4 尾阿根廷无须鳕没有感染异尖线虫幼虫, 感染异尖线虫幼虫的数量超过 80 条的有 11 尾, 其中感染强度最高的一尾鱼共寄生了 256 条异尖线虫幼虫。

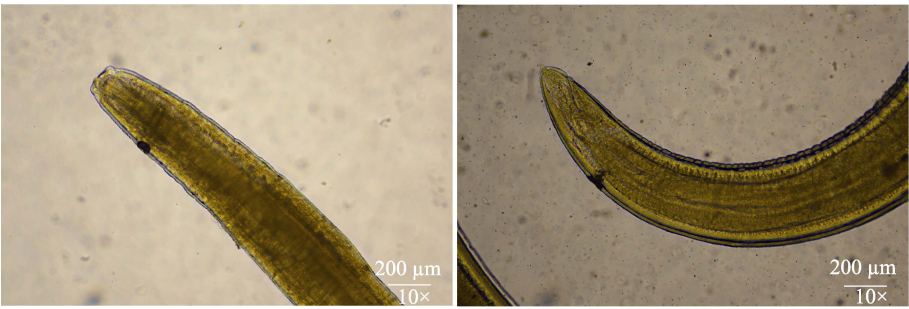


图 3 异尖线虫幼虫头部及钻齿(左); 异尖线虫幼虫尾部及尾突(右)
Fig. 3 Anisakid larvae head and drill teeth (left); anisakid larvae tail and caudal process (right)

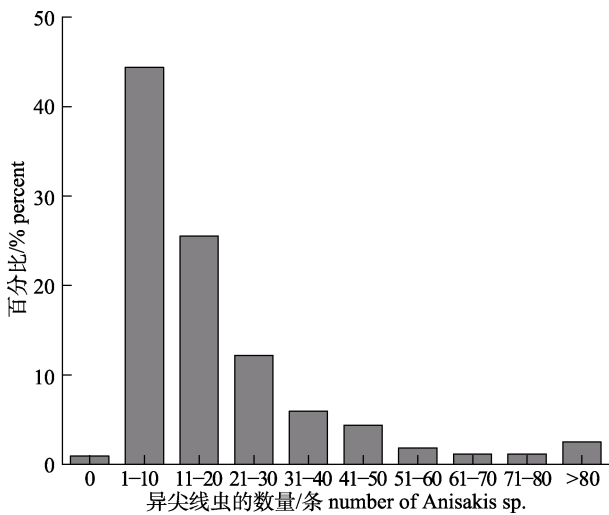


图 4 阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的频率分布情况
Fig. 4 Distribution of frequency of anisakid larvae infection in *Merluccius hubbsi*

2.3 不同性腺成熟度感染异尖线虫幼虫的情况

如图 5 所示, 性腺成熟度分别为 I~IV 的阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的平均感染强度分别为(9.89±10.67)条/尾、(13.83±14.74)条/尾、(25.86±22.17)条/尾、(50.61±56.78)条/尾。通过对不同性腺成熟度下样本鱼感染异尖线虫幼虫数量取对数进行参数检验, 结果显示, 性腺成熟度为 III 和 IV 期的阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的平均感染强度显著高于性腺成熟度为 I 期和 II 期的样本鱼; 性腺成熟度为 IV 期的样本鱼异尖线虫幼虫的平均感染强度显著高于性腺成熟度的为 III 期的样本鱼; 性腺成熟度为 I、II 期的样本鱼之间感染异尖线虫幼虫的差异不显著($P<0.05$)(图 5)。

2.4 不同感染部位感染异尖线虫幼虫的情况

经过对阿根廷无须鳕的解剖实验, 发现样本鱼的腹腔、肝脏、胃、肠道、幽门盲囊和性腺等

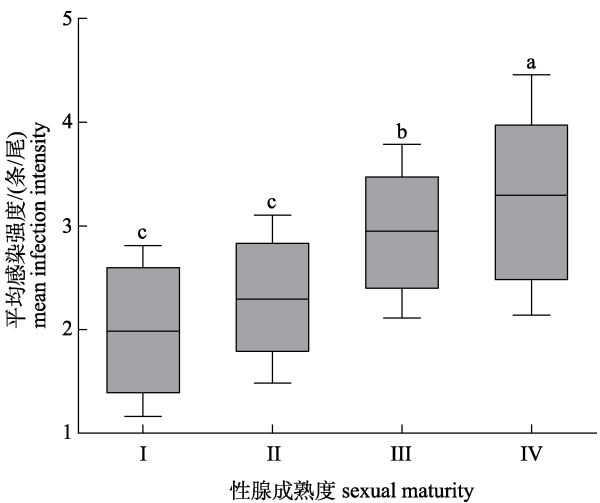


图 5 不同性成熟度的样本鱼平均感染强度的差异
不同字母表示不同

性成熟度之间存在显著差异性($P<0.05$).

Fig. 5 Differences in the mean intensity between sample fish of different sexual maturity levels
Different letters indicate significant differences between different sexual maturity ($P<0.05$).

部位都存在寄生异尖线虫幼虫的情况, 从腹腔、肝脏和胃中共检测出 8431 条异尖线虫幼虫, 而从肠道、幽门盲囊和性腺等部位采集到的异尖线虫幼虫仅 7 条, 占采集异尖线虫幼虫总数的 1% 不到, 因此本研究主要研究腹腔、肝脏和胃这 3 个主要感染部位。从腹腔中共检测出 3669 条; 肝脏上检测出 3316 条; 胃中检测出 1446 条。其中 91.72% 的样本鱼腹腔内都感染了异尖线虫幼虫, 平均感染强度为(9.20±10.01)条/尾; 88.51% 的样本鱼肝脏上感染寄生虫, 平均感染强度为(8.61±13.74)条/尾; 76.55% 的样本鱼胃内检测出异尖线虫幼虫, 平均感染强度为(4.34±5.10)条/尾(图 6)。

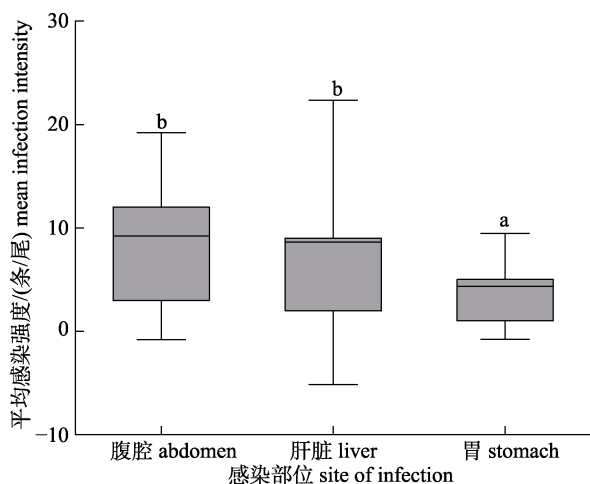


图 6 不同感染部位之间平均感染强度的差异
不同字母表示不同感染部位之间存在显著差异性($P<0.05$)。

Fig. 6 Differences in the mean intensity of infection between sites of infection
Different letters indicate significant differences between sites of infection ($P<0.05$).

由于不同部位感染强度之间的差异方差齐性检验结果为显著,拒绝原假设,则在事后多重比较中需要采用塔姆黑尼检测。结果显示,阿根廷无须鳕腹腔与肝脏之间感染异尖线虫幼虫的平均感染强度差异不显著($P=0.874>0.05$)。而肝脏和腹腔感染异尖线虫幼虫的平均感染强度却显著高于胃的平均感染强度($P<0.05$)。

2.5 叉长、体重以及肝重与感染强度之间的相关性

根据 Spearman 相关性进行相关性分析,得出阿根廷无须鳕的叉长与寄生虫感染数量的相关系数 $R^2=0.591$ ($P<0.001$),说明阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的数量与其叉长之间具有较显著的正相关关系。阿根廷无须鳕的体重与异尖线虫幼虫感染数量的相关系数 $R^2=0.619$ ($P<0.001$),说明阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的数量与其体重之间也具有较显著的正相关性。同时,阿根廷无须鳕的肝重与肝脏感染异尖线虫幼虫的数量之间的相关系数 $R^2=0.526$ ($P<0.001$),说明肝重与肝脏感染异尖线虫幼虫的强度之间同样具有一定的正相关性。

3 讨论

3.1 夏季阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫感染情况

异尖科线虫通过在不同营养级之间的传播完

成其生活史,依靠大量的宿主生物量、稳定的生态系统以及适宜的环境条件进行种群扩大^[13-14]。本研究所采样的海域为阿根廷及马尔维纳斯群岛(福克兰群岛)专属经济区外的公海海域,位于南大西洋巴塔哥尼亚大陆架,该大陆架是南半球最庞大,初级生产力最高的生态系统之一^[15]。受福克兰寒流的影响,马尔维纳斯群岛(福克兰群岛)温度随着纬度的升高而降低,而异尖科线虫适宜低温的水域^[16],在该海域内,阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的感染率随着纬度的升高而上升,在 $44^{\circ}\text{S}\sim 46^{\circ}\text{S}$ 之间,阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫的感染率可以达到 100%^[17]。本研究于 2022 年 10 月至 2023 年 2 月捕捞的阿根廷无须鳕中检测出异尖线虫幼虫感染率高达 99.08%。根据本研究展示了西南大西洋阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫感染率较高的现状,这种高感染率的情况不仅与宿主本身有关,还与非生物因素(温度、水深、渔场等)密切相关。

3.2 异尖线虫幼虫的感染强度与性成熟度关系

根据结果显示,阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫的感染强度随着样本鱼性腺成熟度的升高而显著上升。性腺成熟度为 IV 期的阿根廷无须鳕异尖线虫幼虫平均感染强度达到 (50.61 ± 56.78) 条/尾,显著高于性腺成熟度为 I-III 期的样本鱼。有许多研究结果显示宿主对寄生虫的感染率与宿主叉长或者体重之间存在正相关关系^[18-21],本实验样本中,成熟度与叉长之间也存在显著的正相关关系,叉长越长,性腺成熟度越高,感染异尖线虫幼虫的感染强度越高,这也一定程度上印证前人的研究^[19-20]。成熟度越高的宿主,感染率越高,是由于在其生命周期中寄生虫不断积累所致^[22-23]。异尖科线虫属于食源性寄生虫,在生态系统内的传播主要依靠食物网。阿根廷无须鳕作为异尖科线虫的中间宿主,在营养级中处于较高的水平,虽然仅感染异尖线虫 L₃ 期幼虫,但异尖科线虫在其体内存活期限可以跨越阿根廷无须鳕的整个生命周期,所以通过不断摄食,寄生虫会在其体内也不断积累^[22]。本研究结果与 Mattiucci 等^[24],Cavallero 等^[25]的研究结果相符。

3.3 异尖线虫幼虫的感染强度与寄生部位关系

本研究中,异尖线虫幼虫主要寄生在阿根廷

无须鳕的肝脏、腹腔和胃中。在腹腔中, 异尖线虫幼虫常黏附于性腺系膜或者性腺与肝脏之间的系膜上, 无包囊。异尖线虫幼虫在肝脏上以螺旋状盘绕, 被囊并且嵌入肝脏表面。由于肝脏富含丰富的脂肪和蛋白质, 是寄生虫最常寄生部位之一, 根据本研究结果显示肝重与肝脏感染异尖线虫幼虫的数量之间存在一定的正相关关系($R^2=0.526$), 肝脏越重异尖线虫幼虫的寄生面积越大, 并且更容易嵌入肝脏组织内^[26]。在胃内异尖线虫幼虫常附着于胃壁, 由于异尖线虫是食源性寄生虫, 其传播主要通过摄食进行, 所以胃也是其主要寄生部位之一。但是相对于腹腔和肝脏, 异尖线虫幼虫寄生于胃中的数量偏低, 腹腔和肝脏能够寄生的面积相对于胃更大, 并且胃中会分泌大量消化液, 不利于异尖线虫幼虫的生存。

4 总结与展望

本研究初步阐述了西南大西洋夏季阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的情况, 经过初步分析, 阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的数量与样本鱼的性腺成熟度和不同感染部位有关, 并且感染数量的增加与样本鱼叉长的增长和体重的增加具有相关性。在本实验的过程中还经常在腹腔末端发现大量异尖线虫幼虫被包裹在一起的现象, Cipriani等^[27]学者猜测可能与宿主死后肝脏、胃等发生物理或者化学变化有关, 刺激异尖线虫幼虫向末端运动, 最终发生集群现象。还有学者表示^[28]一些信号分子能够引导异尖线虫幼虫的扩散或者迁移, 比如在宿主死后线虫对其他线虫释放一种聚集信号, 导致聚集现象^[29]。由于缺少活体样本, 关于环境因素还是生物因子导致这一现象的发生这一科学问题在本研究中并不能得到验证, 需要在后续研究中进行。除此以外, 基于异尖线虫幼虫的感染是否影响宿主营养成分以及食用感染异尖线虫幼虫的阿根廷无须鳕是否影响人类健康等方面的研究还较少。随着经济发展和人类消费水平的改变, 在近几年, 人们对于鱼类的人均消费量几乎翻了一倍, 特别是对于生食海鲜的质量要求越来越高^[30], 鱼类感染异尖线虫幼虫存在导致人畜共患病的食品安全风险逐渐被人们重视, 另

外, 经济价值较高的鱼类感染寄生虫后, 会影响美观和销售价值。因此在后续的研究中, 主要从以下两个方面开展研究影响阿根廷无须鳕感染异尖线虫幼虫的驱动因素: 一方面是探究温度、盐度和叶绿素等环境因素的影响, 这些非生物因素可能会影响虫卵的孵化和幼虫的存活和扩散, 其中包括上升流、下沉流和涡旋等特殊的水体活动的影响; 另一方面是探究宿主所在渔场种群是否影响异尖线虫幼虫的感染, 寄生虫的传播依靠不同营养级的生物之间的相互作用, 宿主的种群分布、营养结构和迁移路线都会影响寄生虫的种群动态, 而海洋生态系统营养网的稳定性是维持这种复杂动态的必要条件。

参考文献:

- [1] Irusta G, Macchi G J, Louge E, et al. Biology and fishery of the Argentine hake (*Merluccius hubbsi*)[J]. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 2016, 28: 9-36.
- [2] Tu Q D. The spatial distribution analysis of Argentine Hake (*Merluccius hubbsi*) fishery stock in the Southwest Atlantic [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022. [涂启德. 西南大西洋阿根廷无须鳕渔业资源状况及空间分布研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.]
- [3] Liu Y. An exploratory study of bottom trawl fishery resources in the high sea of Southwest Atlantic Ocean[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. [刘岩. 西南大西洋公海底拖网资源探捕的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.]
- [4] Wu S Q. Aquatic animal parasitology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 172-185. [吴绍强. 水生动物寄生虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 172-185.]
- [5] Buchmann K, Mehrdana F. Effects of anisakid nematodes *Anisakis simplex* (s.l.), *Pseudoterranova decipiens* (s.l.) and *Contracaecum osculatatum* (s.l.) on fish and consumer health [J]. Food and Waterborne Parasitology, 2016, 4(4): 13-22.
- [6] Abollo E, Gestal C, Pascual S. *Anisakis* infestation in marine fish and cephalopods from Galician waters: An updated perspective[J]. Parasitology Research, 2001, 87(6): 492-499.
- [7] Farjallah S, Ben Slimane B, Blel H, et al. Anisakid parasites of two forkbeards (*Phycis blennoides* and *Phycis phycis*) from the eastern Mediterranean coasts in Tunisia[J]. Parasitology Research, 2006, 100(1): 11-17.
- [8] Ma H W, Jiang T J, Quan F S, et al. Investigation for infection status of *anisakid larvae* in marine fish and cephalopods from the Bohai Sea, China[J]. Journal of Medical

- Science Yanbian University, 2001, 24(2): 105-114. [马宏伟, 姜泰京, 全福实, 等. 渤海鱼类和头足类异尖线虫幼虫感染情况调查[J]. 延边大学医学学报, 2001, 24(2): 105-114.]
- [9] Ye L P, Sun F, Xu G Z, et al. Investigation on infectious status of *Anisakis simplex* larvae of fishes in the East China Sea[J]. Zhejiang Journal of Preventive Medicine, 2006, 18(7): 31, 34. [叶丽萍, 孙峰, 许国章, 等. 东海鱼类感染异尖线虫幼虫情况调查[J]. 浙江预防医学, 2006, 18(7): 31, 34.]
- [10] Herreras M V, Aznar F J, Balbuena J A, et al. *Anisakid* larvae in the musculature of the Argentinean Hake, *Merluccius hubbsi*[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(8): 1141-1143.
- [11] Li D, Ji F Y, Wang L J, et al. *Anisakis* infection in marine fishes and resident awareness of anisakiasis in Qingdao in 2021[J]. Chinese Journal of Parasitology and Parasitic Diseases, 2023, 41(1): 52-58. [李丹, 纪锋颖, 王龙江, 等. 2021 年青岛市海鱼异尖线虫感染及居民对异尖线虫病知晓情况调查[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2023, 41(1): 52-58.]
- [12] Bush A O, Lafferty K D, Lotz J M, et al. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited[J]. The Journal of Parasitology, 1997, 83(4): 575-583.
- [13] Mattiucci S, Cimmaruta R, Cipriani P, et al. Integrating *Anisakis* spp. parasites data and host genetic structure in the frame of a holistic approach for stock identification of selected Mediterranean Sea fish species[J]. Parasitology, 2015, 142(1): 90-108.
- [14] Mattiucci S, Nascetti G. Advances and trends in the molecular systematics of anisakid nematodes, with implications for their evolutionary ecology and host-parasite co-evolutionary processes[J]. Advances in Parasitology, 2008, 66: 47-148.
- [15] Piola A R, Rivas A L. Currents of the continental shelf[J]. El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros, 1997, 1: 119-132.
- [16] Timi J T, Paoletti M, Cimmaruta R, et al. Molecular identification, morphological characterization and new insights into the ecology of larval *Pseudoterranova cattani* in fishes from the Argentine coast with its differentiation from the Antarctic species, *P. decipiens* sp. E (Nematoda: Anisakidae)[J]. Veterinary Parasitology, 2014, 199(1-2): 59-72.
- [17] Cantatore D M P, Timi J T. Marine parasites as biological tags in South American Atlantic waters, current status and perspectives[J]. Parasitology, 2015, 142(1): 5-24.
- [18] Bao M, Roura A, Mota M, et al. Macroparasites of allis shad (*Alosa alosa*) and twaite shad (*Alosa fallax*) of the Western Iberian Peninsula Rivers: Ecological, phylogenetic and zoonotic insights[J]. Parasitology Research, 2015, 114(10): 3721-3739.
- [19] Cipriani P, Smaldone G, Acerra V, et al. Genetic identification and distribution of the parasitic larvae of *Anisakis pegreffii* and *Anisakis simplex* (s.s.) in European Hake *Merluccius merluccius* from the Tyrrhenian Sea and Spanish Atlantic coast: Implications for food safety[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 198: 1-8.
- [20] Cipriani P, Mattiucci S, Paoletti M, et al. Updating the biodiversity of nematodes of the genus *Anisakis* in cetaceans from different oceanographic basins[C]. Denmark: Proceeding of 31st European Cetacean Society Annual Conference. 2017.
- [21] Pierce G J, Bao M, MacKenzie K, et al. Ascaridoid nematode infection in haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) and whiting (*Merlangius merlangus*) in Northeast Atlantic waters [J]. Fisheries Research, 2018, 202: 122-133.
- [22] Münster J, Klimpel S, Fock H O, et al. Parasites as biological tags to track an ontogenetic shift in the feeding behaviour of *Gadus morhua* off West and East Greenland[J]. Parasitology Research, 2015, 114(7): 2723-2733.
- [23] Zuo S Z, Huwer B, Bahloul Q, et al. Host size-dependent anisakid infection in Baltic cod *Gadus morhua* associated with differential food preferences[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2016, 120(1): 69-75.
- [24] Mattiucci S, Abaunza P, Ramadori L, et al. Genetic identification of *Anisakis* larvae in European Hake from Atlantic and Mediterranean waters for stock recognition[J]. Journal of Fish Biology, 2004, 65(2): 495-510.
- [25] Cavallero S, Nadler S A, Paggi L, et al. Molecular characterization and phylogeny of anisakid nematodes from cetaceans from southeastern Atlantic coasts of USA, Gulf of Mexico, and Caribbean Sea[J]. Parasitology Research, 2011, 108(4): 781-792.
- [26] Cheng T C. The natural history of anisakiasis in animals[J]. Journal of Food Protection, 1976, 39(1): 32-46.
- [27] Cipriani P, Acerra V, Bellisario B, et al. Larval migration of the zoonotic parasite *Anisakis pegreffii* (Nematoda: Anisakidae) in European anchovy, *Engraulis encrasicolus*: Implications to seafood safety[J]. Food Control, 2016, 59: 148-157.
- [28] Choe A, Von Reuss S H, Kogan D, et al. Ascaroside signaling is widely conserved among nematodes[J]. Current Biology, 2012, 22(9): 772-780.
- [29] Kaplan F, Alborn H T, Von Reuss S H, et al. Interspecific nematode signals regulate dispersal behavior[J]. PLoS One, 2012, 7(6): e38735.
- [30] Fayer R. Introduction and public health importance of foodborne parasites[A]//Xiao L H, Ryan U, Feng Y Y. Biology of Foodborne Parasites[M]. Boca Raton: CRC Press, 2015: 18-35.

Infections of anisakid larvae in *Merluccius hubbsi* from the southwestern Atlantic Ocean in summer

SHU Yue¹, FANG Zhou^{1, 2, 3, 4, 5}

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 Ocean Fisheries Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China;
5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China

Abstract: *Merluccius hubbsi* is one of the most prominent fishing species in the southwestern Atlantic Ocean, and its catch has been increasing continuously in recent years. Owing to its delicate taste and rich nutritional value, it is very popular among nationals and is one of the major chilled fish imported in China. Anisakid larvae are one of the most common parasites of *Merluccius hubbsi*. Available data show that its infection rate can be as high as 90% or more, and the intensity of the infection is also high. Parasite infection not only draws nutrients from the host fish but also affects the aesthetics of the fish and reduces its economic value. This study aimed to understand the infection of *M. hubbsi* by anisakid larvae in the waters of the Southwest Atlantic, to perform biological experiments on *M. hubbsi*, to collect parasites for morphological identification, and to record and analyze the data. Samples for this study were collected from sampling sites in open ocean waters outside the exclusive economic zone of Argentina and the Malvinas Islands during the summer months of October 2022 to February 2023, with a total of 435 individuals. The results showed that the infection rate of *M. hubbsi* infected by anisakid larvae was 99.08% and the mean intensity of infection was (19.56 ± 24.76) fish/tail. The higher the sexual maturity of *M. hubbsi*, the higher the mean intensity of infection of anisakid larvae was; the mean intensity of infection of anisakid larvae was as high as (50.61 ± 56.78) fish/tail when sexual maturity was stage IV. The sites of infection of anisakid larvae were the abdominal cavity, liver, and stomach. The infection intensity of anisakid larvae was significantly higher in the abdominal cavity and liver than at other sites ($P < 0.05$). This study showed that the abundance and intensity of *M. hubbsi* infection by anisakid larvae in the Southwest Atlantic was high, which was related to the stable ecosystem of its living sea area, large host population size, and suitable environment for survival. As the host matures, the range and number of feeding objects increase, and the parasite accumulates in the host during this process; it mainly parasitizes the abdominal cavity where the environment is suitable and the area of parasitism is large, and the liver and stomach, which have high nutritional value, are suitable for its growth, development, and stable parasitism. In summary, the number of *M. hubbsi* infected with anisakid larvae was related to sexual maturity and different infection sites in the sample fish, and the number of infections was correlated with fork length and body weight. This study provides a basis for understanding the growth characteristics and factors influencing anisakid larval infection of *M. hubbsi*.

Key words: *Merluccius hubbsi*; anisakid larvae; infection intensity; sexual maturity

Corresponding author: FANG Zhou. E-mail: zfang@shou.edu.cn