

Hao C L, Qun P, LI J H, *et al.* The infection status and distribution pattern of *Diplostomum* in six native fish species from Basomtso Lake, Xizang Autonomous Region, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(8): 082614. [郝翠兰, 群培, 李嘉豪, 等. 西藏巴松措6种土著鱼类寄生复口吸虫的感染情况与分布模式 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(8): 082614.]

西藏巴松措6种土著鱼类寄生复口吸虫的感染情况与分布模式

郝翠兰^{1,2} 群培^{1,3,4} 李嘉豪⁵ 张柏东⁵ 曾世敏² 王舜杰² 潘瑛子^{1,3,4,5}

(1. 西藏自治区农牧科学院水产科学研究所, 拉萨 850032; 2. 新疆农业大学动物医学学院, 乌鲁木齐 830052;

3. 西藏土著鱼类繁育与利用技术工程研究中心, 拉萨 850032; 4. 西藏自治区渔业与种质资源利用

重点实验室, 拉萨 850032; 5. 青岛农业大学, 青岛 266109)

摘要: 为了解西藏巴松措6种土著鱼类复口吸虫(*Diplostomum*)的感染情况, 本研究对西藏巴松措6种土著鱼类(3种裂腹鱼和3种高原鳅)的复口吸虫感染进行了系统调查, 通过形态学与分子生物学方法鉴定虫种, 分析不同宿主的感染参数、体长相关性、宿主频数分布及空间分布格局。结果显示, 复口吸虫在6种鱼类中的感染程度存在显著差异, 拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi*)感染率最高(81.43%), 平均感染丰度为 34.23 ± 54.36 , 最大寄生量为230; 而3种高原鳅感染率均低于40%, 平均感染丰度最高的为 1.65 ± 4.48 , 结果均显著低于裂腹鱼类。不同体长组中裂腹鱼寄生复口吸虫的感染率普遍高于50%, 高原鳅寄生复口吸虫的感染率则低于50%。空间分布分析显示, 该虫在宿主左、右眼中无显著偏好($P > 0.05$), 但寄生部位呈现显著的宿主特异性: 在裂腹鱼类中主要寄生于晶状体, 而在高原鳅属鱼类中则仅见于玻璃体。所有宿主中虫体均呈聚集分布, 其中在拉萨裸裂尻鱼中的聚集程度最高($S^2/X = 86.34$)。本研究揭示了复口吸虫在巴松措土著鱼类中的感染特征及空间分布规律, 为理解寄生虫与宿主协同演化及高原鱼类寄生虫病防控提供了基础资料。

关键词: 巴松措; 复口吸虫; 土著鱼类; 感染特征; 空间分布; 生态风险

中图分类号: S941.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2026)08-082614-11

doi: 10.3724/1000-3207.2026.2026.0027 **CSTR:** 32229.14.SSSWXB.2026.0027



复口吸虫(*Diplostomum*)是广泛分布于全球淡水生态系统的一类具有复杂生活史的复殖吸虫, 其发育需相继交替利用螺类、鱼类和鸟类作为宿主。自20世纪中叶起, 全球范围内已报道的复口吸虫不同生活史阶段虫种超过50种, 呈现出丰富的物种多样性和广泛的宿主谱^[1,2]。我国对该类寄生虫的研究起步于20世纪50年代末, 杨复曦^[3]于1959年首次报道我国复口吸虫成虫的存在。此后, 潘金培等^[4]开展了系统的分类学研究, 鉴定并命名了湖北复口吸虫(*Diplostomum hupehensis*)和倪氏复口吸虫(*Diplostomum niedashui*), 奠定了我国复口吸虫分类学的基础。此后数十年间, 我国学者围绕复口吸虫的物种鉴定与形态学展开了持续探索。郑小英^[5]在

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)晶状体中检获并描述了山西复口吸虫(*Diplostomum shanxinensis*)。吕军仪^[6]则对湖北复口吸虫和倪氏复口吸虫各发育阶段的形态特征进行了系统描述, 丰富了对其生活史各阶段形态学特征的认知。在此基础上, 聂品^[7]进一步关注其种群生态学, 系统研究了鲮(*Aristichthys nobilis*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)等经济鱼类眼部复口吸虫囊蚴的感染季节动态与空间分布格局, 揭示其在宿主种群中的聚集分布特征。进入21世纪, 我国复口吸虫的研究范畴显著拓展, 从传统的分类与形态描述, 逐步向流行病学调查、宿主-寄生虫相互作用及分子系统发育等多元化方向发展^[8-14]。大量针对不

收稿日期: 2026-01-21; **修订日期:** 2026-03-30

基金项目: 国家自然科学基金(32403088、32403085和31960738)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (32403088, 32403085 and 31960738)]

作者简介: 郝翠兰(1987—), 女, 副教授; 主要从事水生动物保护学。E-mail: haocuilan@126.com

通信作者: 潘瑛子(1984—), 女, 副研究员; 主要从事高原鱼类病害与养殖研究。E-mail: pyingzi_tibet@163.com

同地理区域及宿主鱼类的寄生虫区系调查表明,复口吸虫囊蚴已成为多种野生和养殖鱼类的优势感染虫种,感染率和感染强度均处于较高水平^[15-23]。例如,谭士艳等^[24]发现其在凶猛鱼类中的感染率可达25%—100%。党瑞等^[25]对河鲈(*Perca fluviatilis*)的研究进一步证实了该虫在宿主种群内呈聚集分布,且对晶状体和玻璃体等不同眼部微生境具有选择偏好性。与此同时,分子生物学技术的应用为疑难虫种的准确鉴定提供了有力工具。番林古丽·热哈提等^[26]利用分子标记对白斑狗鱼(*Esox lucius*)眼内假尾复口吸虫(*Diplostomum paracaudum*)的物种分类地位进行了厘定;马江霞等^[27]则对江鳕(*Lota lota*)眼内寄生的默氏复口吸虫(*Diplostomum mergi*)的种群动态进行了系统研究。近年来,复口吸虫的研究视角进一步深化,已从宏观的流行病学描述拓展至微观的病理学、免疫学机制解析,并基于线粒体基因组和核糖体DNA等分子标记,深入开展其系统发育关系、种群遗传结构与进化适应策略的研究,为理解该类寄生虫的物种形成、扩散机制及其与宿主的共进化关系提供了新的科学依据^[28-34]。

复口吸虫是一种宿主范围广泛且生活史复杂的寄生虫^[35,36]。其完整生活史涉及多个宿主:成虫阶段寄生于食鱼鸟类,如鸥鸟的肠道中,虫卵随鸟类粪便排入水体;卵在水中孵化出毛蚴,进而侵入第一中间宿主——某些淡水螺类,在螺体内发育并最终产出尾蚴;尾蚴从螺体逸出后,在水中自由游动并通过尾叉上的感受器主动寻找鱼类宿主,尾蚴的头部会向鱼体的上皮层或鳃组织侵入,随后经血管或神经系统迁移至眼部^[4,35]。囊蚴在鱼眼内寄生可导致晶状体混浊、白内障甚至晶状体脱落,从而严重损害宿主视力;受感染的鱼类往往因行动与摄食能力下降,更易被终末宿主鸟类捕食,从而完成其生活史循环^[36]。

巴松措位于西藏工布江达县的巴河上游,隶属于雅鲁藏布江支流尼洋河水系^[37,38]。该湖泊因其特殊的地理环境,孕育了多种特有土著鱼类,主要包括拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi*)、双须叶须鱼(*Ptychobarbus dipogon*)、异齿裂腹鱼(*Schizothorax oconnori*)、斯氏高原鳅(*Triplophysa stoliczkae*)、西藏高原鳅(*Triplophysa tibetana*)和异尾高原鳅(*Triplophysa stewarti*)等,分属于裂腹鱼亚科和高原鳅科^[39]。然而,目前尚未有该水域复口吸虫的相关研究报道,本研究旨在系统探究复口吸虫在巴松措土著鱼类中的感染情况、宿主感染频数、空间分布格局及寄生偏好,揭示其在相同水环境条件下和不同鱼类宿主中采取的生存策略,从而

深化对寄生虫生活史的认识。研究结果不仅可为后续分子层面的适应性研究提供基础数据与实证支持,并为寄生虫病的传播风险评估和预防策略制定提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 解剖与数据采集

于2020年10月—2021年1月,对巴松措土著鱼类进行了随机采样。鱼类宿主依据物种分类进行编号,分别测量其标准体长,随后进行剖检。以鱼体背部朝上时的形态来界定身体的左、右侧。将鱼类左、右眼完整取出,放置于10 mm×10 mm玻璃板上,使用眼科剪沿眼中部剪开,取出晶状体及其连接的玻璃体,依次在解剖镜下检查。用玻璃胶头滴管吸取复口吸虫囊蚴并计数。收集的复口吸虫经0.65%盐水冲洗干净后,保存于95%的乙醇中。

1.2 虫种鉴定

将宿主眼球取下后,滴加生理盐水置于玻片上,在解剖镜下挑取虫体,通过水封片对虫体拍照并依据文献^[36]进行鉴定。随后随机选取保存在95%乙醇中的复口吸虫囊蚴进行分子测序并鉴定。先用双蒸水去除虫体表面的乙醇,放置TE缓冲液6h。选取复口吸虫核糖体18S rDNA作为目的片段,参考已公开的序列设计并合成引物:上游引物18SF (5'-ACCTGGTTGATCCTGCCAGT-3')和下游引物18SR (5'-CTTGTTACGA CTTTACTTCC-3'),引物合成及测序由上海生工生物工程股份有限公司完成。使用DNA提取试剂盒(北京全式金生物技术有限公司)进行DNA提取。PCR扩增体系总体积为25 μ L, 12.5 μ L 2 × EasyTaq PCR SuperMix, 8.5 μ L ddH₂O, 18S-F/ 18S-R各1 μ L和2 μ L模板DNA,每次反应均设阴性对照以排除DNA被污染,PCR扩增反应条件为94℃预变性5min; 94℃变性30s, 55℃退火30s, 72℃延伸30s,共35个循环; 72℃终延伸8min,终止于4℃。PCR产物经1.5%琼脂糖电泳,将阳性PCR产物回收纯化,送往上海生物工程技术公司进行测序。将测序结果进行拼接,并在NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)中进行Blast比对。

本实验所有操作均遵循实验动物福利伦理要求,并已获得新疆农业大学实验动物福利伦理委员会批准(2023045)。

1.3 统计方法

对寄生于拉萨裸裂尻鱼、双须叶须鱼、异齿裂腹鱼、斯氏高原鳅、西藏高原鳅和异尾高原鳅6种宿主的复口吸虫进行统计,分别记录其在宿主左眼、右眼,以及晶状体和玻璃体中的寄生数量。

根据Margolis等^[40]和Bush等^[41]定义的生态学术语, 分别计算上述6种宿主整体感染情况与不同寄生部位寄生复口吸虫的感染率、平均感染强度及平均感染丰度, 采用方均比判断复口吸虫种群的空间分布模式。

计算公式和统计、判定方法:

(1)感染率: 感染某种寄生虫的宿主数占检查宿主总数的百分比, 计算公式: 感染率(%)=(感染该寄生虫的宿主数/检查的宿主总数)×100。

(2)平均感染强度: 某种寄生虫在所有被感染宿主中的平均数量, 计算公式: 平均感染强度=该寄生虫的个体总数/感染宿主总数。

(3)平均感染丰度: 某种寄生虫在所有被检宿主(包括感染和未感染个体)中的平均数量, 计算公式: 平均感染丰度=该寄生虫的个体总数/检查宿主总数。

(4) $S^2/X > 1$ 为聚集分布; $S^2/X = 1$ 为随机分布; $S^2/X < 1$ 为均匀分布。

通过独立样本非参数检验中的曼-惠特尼U (Mann-Whitney U) 检验分析数据差异的显著性。按感染复口吸虫的数量范围, 统计宿主感染复口吸虫的频数分布, 包括未感染(感染0只)、感染1—10、11—20、21—30、31—40及41只以上的宿主数量。

(5)体长组: 裂腹鱼类和高原鳅的大小分组按体长进行, 从小到大分别分为3个体长范围, 裂腹鱼组为 $L < 30$ cm, $30 \text{ cm} \leq L < 40$ cm 和 $L \geq 40$ cm; 高原鳅组为 $L < 5$ cm, $5 \text{ cm} \leq L < 7$ cm 和 $L \geq 7$ cm。

2 结果

2.1 六种土著鱼类寄生复口吸虫的感染情况

通过3次采样, 共采集到6种土著鱼类, 包括3种裂腹鱼和3种高原鳅, 其中获得拉萨裸裂尻鱼70尾、双须叶须鱼35尾、异齿裂腹鱼61尾, 斯氏高原鳅48尾、西藏高原鳅60尾和异尾高原鳅147尾。寄生虫检查结果如表1所示, 6种巴松措土著鱼类的复口吸虫感染程度存在显著差异。其中, 拉萨裸裂尻鱼的感染率最高, 达81.43%, 最大寄生量为230只/尾, 其平均感染强度(42.03 ± 57.51)和平均感染丰度(34.23 ± 54.36)均显著高于其他鱼类。双须叶须鱼和异齿裂腹鱼的感染率分别为60.00%和59.02%, 感染强度与丰度处于中等水平, 分别为 14.33 ± 21.59 、 8.60 ± 18.02 和 12.42 ± 14.66 、 7.33 ± 12.77 。相比之下, 3种高原鳅的感染程度较低。斯氏高原鳅和西藏高原鳅感染率分别为37.50%和31.67%, 均低于50%; 异尾高原鳅感染率仅为8.16% (表1)。3种高原鳅的平均感染强度均低于10只/尾(表1)。

本研究分别从拉萨裸裂尻鱼、双须叶须鱼、异齿裂腹鱼、斯氏高原鳅、西藏高原鳅和异尾高原鳅各选取1只虫体进行测序, 获得6条18S rDNA序列, 经比对显示其一致性为100%。通过NCBI BLAST进行同源性分析, 发现所得序列与已报道的匙形复口吸虫(*Diplostomum spathaceum*; 登录号: KR269765)相似性最高, 为99.75%, 该结果表明, 本次从巴松措鱼类送测的复口吸虫应鉴定为匙形复口吸虫。

2.2 六种土著鱼类不同体长段寄生复口吸虫的感染情况

根据图1可知, 裂腹鱼组(A组)和高原鳅组(B组)不同体长段寄生复口吸虫的情况存在显著差异。在感染强度方面, 裂腹鱼组鱼类感染率均高于50%, 其中拉萨裸裂尻鱼的感染率最高, 为78.90%—100%, 双须叶须鱼为50.00%—59.10%, 而异齿裂腹鱼的感染率为55.17%—64.00%。裂腹鱼组鱼类感染强度存在差异, 拉萨裸裂尻鱼个体的平均感染数量较高, 为24—45.6只/尾, 双须叶须鱼和异齿裂腹鱼的感染强度均低于24只/尾。在高原鳅组中, 所有鱼类的感染率均在50%以下, 感染强度均在14只/尾以下。结果表明, 不同鱼类对复口吸虫的易感性存在差异, 其中裂腹鱼的感染率和感染强度均较高。

2.3 六种土著鱼类寄生复口吸虫感染的宿主频数

对6种土著鱼类寄生复口吸虫的宿主频数进行统计(表2), 结果显示, 除拉萨裸裂尻鱼外, 其余5种土著鱼类未感染(0)复口吸虫的宿主频数最高, 均在40%及以上; 感染1—10只的宿主频数次之, 除异尾高原鳅外, 其余宿主均在20%—40%。而拉萨裸裂尻鱼中感染41个及以上寄生虫的个体占比达21.43%, 而其他鱼类的感染数量多集中在20只以下。异尾高原鳅未发现感染超过10只复口吸虫的个体。综

表1 六种土著鱼类寄生复口吸虫的感染情况

Tab. 1 The infection status of *Diplostomum* in six native fish species

鱼种 Species	样本数 Number	感染率 Prevalence rate (%)	平均感染 强度 Average infection intensity	平均感染 丰度 Average infection abundance
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	70	81.43	42.03 ± 57.51	34.23 ± 54.36
双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>	35	60.00	14.33 ± 21.59	8.60 ± 18.02
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	61	59.02	12.42 ± 14.66	7.33 ± 12.77
斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>	48	37.50	5.27 ± 6.86	1.65 ± 4.48
西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>	60	31.67	3.26 ± 2.81	1.03 ± 2.17
异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	147	8.16	2.17 ± 2.59	0.18 ± 0.93

上可知,多数土著鱼类不感染或仅少量感染复口吸虫,只有较少宿主出现较高感染强度。

2.4 复口吸虫在巴松措鱼类宿主中的寄生偏好及空间分布格局

对巴松措不同鱼类左右眼寄生复口吸虫的感

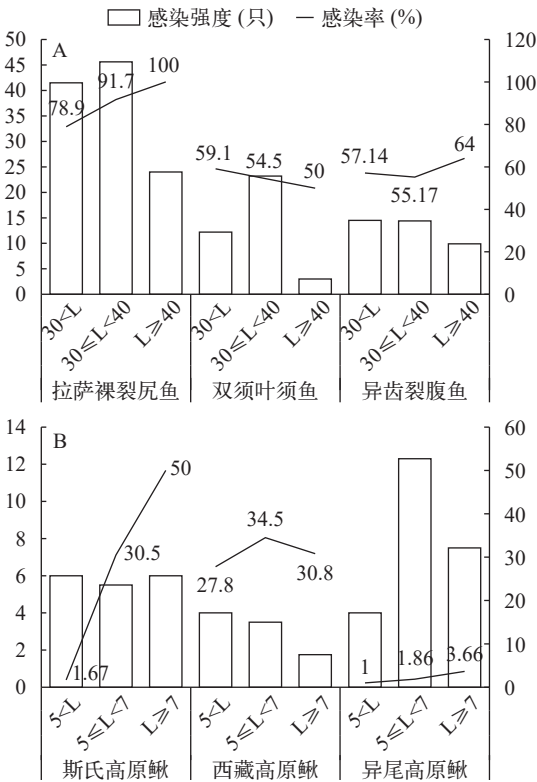


图1 六种土著鱼类不同体长组感染情况比较

Fig. 1 The infection status of *Diplostomum* in different body length groups of six native fish species
A. 裂腹鱼组 Schizothoracines group; B. 高原鳅组 Triplophysa group

染情况进行统计,结果显示该虫在6种宿主眼睛的左、右侧分布呈现不同趋势。复口吸虫在所有6种宿主眼中均有检出,其中拉萨裸裂尻鱼的感染率最高,左右眼均超过72%;其次是异齿裂腹鱼,左右眼感染率均高于49%;双须叶须鱼位居第三,左右眼感染率均为42.86%。相比之下,斯氏高原鳅、西藏高原鳅和异尾高原鳅的感染率较低,均未超过30%。在感染强度方面,裂腹鱼感染复口吸虫的数量高于鳅科鱼类。在95%的置信水平下,6种宿主左右眼中寄生虫数量的差异性均不显著(相伴概率均大于0.05),表明复口吸虫在巴松措土著鱼类左右眼中的寄生未表现出明显偏好(表3)。

复口吸虫在宿主体内呈现明显的寄生部位偏好性(表4)。在拉萨裸裂尻鱼中,绝大多数虫体寄生于晶状体,少数寄生于玻璃体,晶状体感染率高达80.00%,平均丰度为 34.23 ± 54.36 。在双须叶须鱼和异齿裂腹鱼中,该虫体仅分布于晶状体里,玻璃体内未检出。相反,在几种高原鳅体内,复口吸虫仅寄生于玻璃体,而未在晶状体内发现。独立样本非参数检验中的曼-惠特尼U (Mann-Whitney U)检验结果显示,6种土著鱼类眼部不同结构中复口吸虫寄生数量存在极显著差异($\text{Sig.} = 0 < 0.001$)。以上结果表明,复口吸虫寄生部位因宿主种类而异:其对裂腹鱼类更偏好寄生于晶状体,而对高原鳅类则更倾向于寄生于玻璃体。

复口吸虫在6种土著鱼类宿主体内的方均比均大于1,表明其分布均呈现明显的聚集性(表5)。其中,拉萨裸裂尻鱼的聚集程度最高,其方差($S^2 = 2955.19$)和平均拥挤度($M^* = 119.57$)均最高,方均比高达86.34。双须叶须鱼和异齿裂腹鱼的聚集性次

表2 复口吸虫在不同宿主中的宿主频数

Tab. 2 Host frequency of *Diplostomum* in different hosts

宿主Host	复口吸虫数Number of <i>Diplostomum</i>					
	0	1—10	11—20	21—30	31—40	41≤
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	18.57	22.86	21.43	11.43	4.29	21.43
双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>	40.00	40.00	8.57	5.71	0.00	5.71
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	40.98	36.07	9.84	1.64	9.84	1.64
斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>	62.50	35.00	0.00	2.50	0.00	0.00
西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>	68.33	30.00	1.67	0.00	0.00	0.00
异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	91.84	8.16	0.00	0.00	0.00	0.00

表3 复口吸虫在巴松措土著鱼类左右眼显著性检验

Tab. 3 Significance test of *Diplostomum* in left and right eyes of native fish from Basomtso Lake

指标 Index	拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>		双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>		异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>		斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>		西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>		异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	
	左眼Left	右眼Right	左眼left	右眼Right	左眼Left	右眼Right	左眼Left	右眼Right	左眼Left	右眼Right	左眼Left	右眼Right
Sig.	0.564		0.938		0.917		0.153		0.205		0.580	

表 4 复口吸虫在巴松措土著鱼类眼部不同结构的感染情况

Tab. 4 Infection condition of <i>Diplostomum</i> in different structure of eyes in native fishes from Basomtso Lake												
指标 Index	拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>		双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>		异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>		斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>		西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>		异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	
	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body	晶状体 Crystalline lens	玻璃体 Vitreous body
吸虫总数 Number	2378	18	301	0	207	0	0	25	0	44	0	79
感染率 Prevalence rate (%)	80.00	8.57	60.00	0	50.00	0	0	8.87	0	0.31	0	32.61
感染强度 Average infection intensity	1—248	1—5	1—84	0	1—29	0	0	1—9	0	1—11	0	1—29
平均感染丰度 Average infection abundance	34.23±54.36	2.57±0.99	8.60±18.03	0	3.45±6.00	0	0	0.20±1.00	0	1.05±2.42	0	1.72±4.57

之,方均比分别为37.80和22.28。相比之下,高原鳅类的各项聚集参数较低,说明复口吸虫分布更为均匀(表 5)。

复口吸虫宿主体内不同寄生部位主要呈现聚集分布模式(表 6)。在拉萨裸裂尻鱼中,除左侧玻璃体的方均比($S^2/X<1$)为均匀分布外,右侧晶状体和左右侧玻璃体的方均比均为聚集分布($S^2/X>1$)。在双须叶须鱼、异齿裂腹鱼的晶状体和斯氏高原鳅的玻璃体也均呈现聚集分布($S^2/X>1$)。在西藏高原鳅左右侧玻璃体均为均匀分布($S^2/X<1$),而在异尾高原鳅的左侧玻璃体为均匀分布($S^2/X<1$),在右侧玻璃体仍为聚集分布($S^2/X>1$)。

3 讨论

首次报道了复口吸虫在巴松措6种土著鱼类(包括拉萨裸裂尻鱼、双须叶须鱼、异齿裂腹鱼、斯氏高原鳅、西藏高原鳅和异尾高原鳅)中的寄生情况,这些宿主均为复口吸虫的新宿主记录。本研究指出巴松措复口吸虫的宿主范围较广,宿主特异性不强,其中裂腹鱼感染率和平均感染强度均较高,与欧洲已报道的匙形复口吸虫及其他复口吸虫的流行特征相一致^[1]。此外,研究结果显示,裂腹鱼眼部复口吸虫的感染率和平均感染丰度均高于高原鳅,且复口吸虫在宿主体内主要呈现聚集分布,对上述6种土著鱼类宿主的左、右眼无显著偏好性,但对宿主的晶状体和玻璃体则表现出明显的寄生部位偏好性。

3.1 西藏巴松措土著鱼类复口吸虫的感染情况
复口吸虫在全球广泛分布^[1]。我国目前已报道的复口吸虫共10余种,包括湖北复口吸虫、倪氏复口吸虫、山西复口吸虫、匙形复口吸虫、伪匙形

表 5 复口吸虫在不同宿主中的空间分布格局

Tab. 5 Spatial distribution of <i>Diplostomum</i> in different hosts				
宿主Host	方差 Variance (S^2)	方均比 Standard variance average ratio (S^2/X)	平均拥挤度 Mean crowding (M^*)	负二项参数 Negative binomial parameter (K)
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	2955.19	86.34	119.57	0.40
双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>	325.07	37.80	45.40	0.23
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	163.29	22.28	28.61	0.34
斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>	20.11	12.22	12.86	0.15
西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>	4.74	4.59	4.62	0.29
异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	0.86	4.86	4.03	0.05

复口吸虫(*D. pseudospathaceum*)、贝氏复口吸虫(*D. baeri*)、假尾复口吸虫(*D. paracaudum*)、默氏复口吸虫(*D. mergi*)、棒状瘤宫吸虫(*Tylodelphys clavata*)及瘤宫吸虫未定种(*Tylodelphys* sp.)等^[1],主要分布于长江流域、额尔齐斯河流域和西藏色林错等水域^[1, 11, 24]。值得注意的是,与新疆研究存在差异,匙形复口吸虫、默氏复口吸虫、伪匙形复口吸虫、贝氏复口吸虫、棒状瘤宫吸虫等已在新疆鲤科、鲑科、鲈科、鳅科和鳊科的鱼类上有所报道。目前在色林错裸鲤眼中仅报道了匙形复口吸虫的寄生^[11],而本研究在巴松措6种土著鱼类眼部也均检出该虫,这提示了在已调查的西藏高原水体中,复口吸虫的物种组成相对单一,匙形复口吸虫可能为该区域鱼类中的优势复口吸虫物种,但因形态学及分子数据有限,西藏可能还存在着其他复口吸虫物种。这种现象可能与复口吸虫的中间宿主和终末宿主的分布有关,周磊曾对西藏不同海拔高

度的地区进行了螺的种类调查, 结果指出西藏地区的主要螺种为耳萝卜螺^[42]还对螺内寄生虫的调查发现, 螺体内存在数量不多的尾部分叉的复口吸虫尾蚴^[42], 由此可以看出西藏的特定水域中少数螺类能够适应当地的特殊水文条件, 同时这也从源头上限制了能够在此地完成生活史的复口吸虫的种类。另外, 张塔星^[43]调查指出青藏高原鸟类共有25目103科1147种, 其中留鸟数量最多, 为676种(58.9%), 其次是夏候鸟(235种, 20.5%)、旅鸟(159种, 13.9%)、冬候鸟(56种, 4.9%)和偶见鸟(21种, 1.8%), 由此可以看出该地区主要以留鸟居多, 其高原地理阻隔及生境特殊性可能导致低海拔地区常见的食鱼鸟类难以进入此类区域, 从而可能限制了其他复口吸虫虫种随终末宿主的传入, 无法在此建立种群。关于匙形复口吸虫感染鱼类种类、螺类及鸟类种类介绍较少, 应结合这些来与本研究结果详细讨论。

从感染情况看, 拉萨裸裂尻鱼的感染率最高(81.43%), 感染强度和感染丰度均显著高于其他鱼种; 双须叶须鱼和异齿裂腹鱼的感染率也较高(均

高于55%); 而三种高原鳅的感染率和感染强度均相对较低(约为30%), 由此可见, 在巴松措, 复口吸虫更倾向于寄生于体型较大的裂腹鱼类, 尤其是拉萨裸裂尻鱼。该结果与潘瑛子^[11]对色林错裸鲤感染匙形复口吸虫的研究结果相似, 后者报道其感染率周年均在40%以上, 最高可达72%。类似现象也见于额尔齐斯河流域, 段成任对额尔齐斯河流域4种凶猛鱼类江鳕(*Lota lota*)、白斑狗鱼(*Esox lucius*)、河鲈(*Perca fluviatilis*)和梭鲈(*Sander lucioperca*)的复口吸虫调查显示, 江鳕和梭鲈的感染率均超过50%, 白斑狗鱼与河鲈的感染率也高于30%^[44]。郭爱民等^[45]报道新疆温泉县虹鳟的感染率可达100%。上述感染情况可能与鱼类的眼部空间及生活习性等因素有关^[45]。另外, 在裂腹鱼类中, 拉萨裸裂尻鱼各体长组感染率均维持在78.9%—100%的高位水平, 各体长段的平均感染强度随体长增加呈先上升后下降的趋势。双须叶须鱼和异齿裂腹鱼感染率在各体长组也普遍高于50% (分别为50%—59.1%和55.17%—64.00%)。而3种高原鳅在所有体长组中感染率均低于50%, 感染强度均低于14, 且

表6 复口吸虫在各宿主不同寄生部位的空间分布格局

Tab. 6 Spatial distribution of *Diplostomum* in different sites of hosts

宿主 Host	寄生部位 Position	方差 Variance (S^2)	方均比 Average ratio (S^2/X)	平均拥挤度 Mean crowding (M^*)	负二项参数 Negative binomial parameter (K)
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	晶状体 (L)	1155.88	48.24	0.51	71.20
	晶状体 (R)	825.88	34.99	0.69	57.59
	玻璃体 (L)	1.00	0.50	-4.00	1.50
	玻璃体 (R)	2.80	1.17	14.40	2.57
双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>	晶状体 (L)	65.83	8.66	0.99	15.26
	晶状体 (R)	289.84	23.25	0.56	34.72
	玻璃体 (L)	—	—	—	—
	玻璃体 (R)	—	—	—	—
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	晶状体 (L)	182.64	23.59	0.34	30.33
	晶状体 (R)	13.53	1.96	7.18	7.86
	玻璃体 (L)	—	—	—	—
	玻璃体 (R)	—	—	—	—
斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>	晶状体 (L)	—	—	—	—
	晶状体 (R)	—	—	—	—
	玻璃体 (L)	18.04	5.31	0.79	7.71
	玻璃体 (R)	14.10	4.07	1.13	6.54
西藏高原鳅 <i>T. tibetana</i>	晶状体 (L)	—	—	—	—
	晶状体 (R)	—	—	—	—
	玻璃体 (L)	3.16	0.93	-47.29	3.33
	玻璃体 (R)	1.24	0.74	-6.48	1.41
异尾高原鳅 <i>T. stewarti</i>	晶状体 (L)	—	—	—	—
	晶状体 (R)	—	—	—	—
	玻璃体 (L)	1.00	0.67	-4.50	1.17
	玻璃体 (R)	3.56	1.78	2.57	2.78

未表现出随体长增加而明显上升, 然后下降的趋势。孙军^[35]指出, 随着鱼类宿主年龄增长, 眼内复口吸虫囊蚴数量也会相应增加, 因此宿主眼睛的大小可能直接影响复口吸虫囊蚴的寄生数量^[46], 这可能与季节性的重复感染以及囊蚴寿命较长有关^[36], 说明长期暴露于尾蚴环境中会导致感染率和感染强度升高。相较于高原鳅, 裂腹鱼类作为水体中上层活动鱼类, 整个生活史阶段均持续暴露于复口吸虫尾蚴的侵染风险中, 随着年龄和体长增长, 暴露时间累积, 感染强度随之增加。与此同时, 马江霞在对额尔齐斯河鳅科鱼类复口吸虫的研究中指出新疆高原鳅、小体高原鳅等鳅科鱼类感染默氏复口吸虫的感染率可达60%以上, 与本研究中的三种高原鳅感染率(8.16%—37.50%)有明显差异, 可能反映了两水系间寄生虫区系、宿主密度或环境条件的差异。

3.2 西藏巴松措土著鱼类复口吸虫的感染频数

对巴松措6种土著鱼类中复口吸虫的感染频数分析表明, 多数宿主个体未受感染, 而在已感染的宿主中, 双须叶须鱼和异齿裂腹鱼感染1—10只虫体的宿主频数均高于35%, 3种高原鳅感染1—10只复口吸虫的宿主频数也均超过30%。可见多数宿主不感染或仅少量感染, 只有较少宿主感染较多的匙形复口吸虫, 从而呈现较高的感染强度, 该结果与番林古丽·热哈提^[23]在白斑狗鱼中的研究结果基本一致。高强度感染可造成鱼类失明、摄食能力下降, 更易被鸥鸟等终末宿主捕食, 从而完成寄生虫生活史。宿主频数受宿主、寄生虫与环境相互作用的共同影响^[7]。此外, 拉萨裸裂尻鱼的感染频数与其他5种土著鱼类存在显著差异: 其感染1—10、11—20和 ≥ 41 只虫体的频率均高于20%, 超过未感染的宿主频数。尽管该鱼种仍表现为多数宿主个体感染少量的复口吸虫, 但其感染 ≥ 41 只虫体的宿主频数占比达21.43%, 显著高于已有报道; 单个宿主最高可感染248只复口吸虫, 而其他鱼种的感染数量多集中于40只以下, 异尾高原鳅甚至未发现超过感染10只的个体。由此推测拉萨裸裂尻鱼应该为复口吸虫的优势宿主。这可能与宿主鱼类的食性相关, 复口吸虫的第一中间宿主螺类通常栖息在水体的底层、沿岸带的水草或底泥上, 其中靠近鸟类栖息地或水草丰茂的区域可能是“热点”感染区^[47]。拉萨裸裂尻鱼是一种典型的底栖刮食性鱼类, 主要食物是附着在湖底石头、砂砾上的藻类(如硅藻)和水生植物碎屑^[39], 暴露于尾蚴的机会相对较高。Kennedy等^[48]对欧洲某湖泊的研究也推测鲈胃内容物与复口吸虫感染类型的相关性较高。

因此, 因食性或可增加与自然环境中的尾蚴接触机会, 同时可感染的复口吸虫囊蚴数量也在逐渐增多。

3.3 西藏巴松措土著鱼类复口吸虫的分布模式

在自然条件下, 寄生虫种群多呈聚集分布。在本研究中, 6种土著鱼类寄生的复口吸虫均呈现聚集分布特征, 且裂腹鱼体内寄生虫的聚集程度显著高于鳅科鱼类。研究表明, 重度感染常集中于少数宿主个体, 其成因涉及宿主易感程度、寄生虫的繁殖特性、宿主对虫体的限制能力以及宿主的免疫反应等多种因素^[7, 49]。从栖息习性来看, 裂腹鱼偏好栖息于开阔、流速中等至较缓的水域, 如宽谷河段、支流、湖泊沿岸及水库等; 而高原鳅则多见于水流湍急、底质为砾石或岩石的浅水溪流、河滩, 以及湖泊的硬质浅水区^[39]。裂腹鱼的体型相较于高原鳅更大, 其眼内容纳复口吸虫囊蚴的数量空间也较高, 因此裂腹鱼栖息环境更易接触尾蚴, 且眼部空间可容纳更多的复口吸虫, 因而表现出较高的聚集强度。

然而, 复口吸虫在6种宿主不同眼部组织中的分布模式存在差异: 拉萨裸裂尻鱼的左侧玻璃体、西藏高原鳅的双侧玻璃体及异尾高原鳅的左侧玻璃体中, 虫体均呈均匀分布。在自然状态下, 均匀分布相对少见。复口吸虫在宿主眼睛玻璃体内的均匀分布现象可能与宿主的密度制约调节机制有关, 即当虫体数量达到一定阈值时, 宿主免疫系统被有效激活, 从而限制寄生虫在单个宿主体内的进一步定殖, 避免过度聚集^[50]。

通过对6种土著鱼类不同寄生部位寄生的复口吸虫的统计分析显示, 该寄生虫在左右眼的分布无显著偏好性($P>0.05$), 但对晶状体和玻璃体的选择存在明显的种类差异, 即在裂腹鱼中, 虫体更偏好于寄生在晶状体, 而在高原鳅中则更多分布于玻璃体。本研究关于裂腹鱼感染复口吸虫的研究结果与潘琰子^[11]关于色林错裸鲤感染匙形复口吸虫的偏好报道一致, 高原鳅感染复口吸虫的结果则与郭爱民等^[45]、党瑞等^[25]在虹鳟和河鲈中感染复口吸虫的研究结果相符。从眼部组织特性分析, 晶状体作为主要屈光介质, 其营养主要来源于房水和玻璃体, 而玻璃体则主要由水分构成, 仅含约1%的蛋白质^[51]。复口吸虫在晶状体和玻璃体的寄生偏好, 可能与两者在大小、内部结构、组成成分、宿主免疫特性及寄生虫逃避宿主免疫等方面的差异有关^[11]。例如晶状体缺乏血管和免疫细胞, 可能为寄生虫提供一定的免疫豁免环境^[45], 但其详尽机理仍需要进一步研究。

4 结论

本研究通过对西藏巴松措6种土著鱼类寄生的复口吸虫进行种类鉴定、感染情况、宿主频数、空间分布格局及寄生偏好研究,明确了该区域鱼类复口吸虫的寄生特征。结果显示,拉萨裸裂尻鱼的复口吸虫感染率与感染强度最高,且裂腹鱼类的感染程度明显高于高原鳅类。在寄生部位上,复口吸虫对宿主左右眼无明显偏好,但对晶状体和玻璃体的选择表现出明显的种类差异。此外,其在各宿主不同寄生部位均以聚集分布为主要模式。本研究为理解复口吸虫在高寒水体中的分布规律与宿主适应性提供了基础数据,也为该类寄生虫病的生态防控提供了科学依据。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Zhu M Y, Jia S A, Wang N, *et al.* Progress on *Diplostomum* in fish [J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2013, **34**(5): 103-106. [朱梦莹, 贾舒安, 王娜, 等. 鱼类寄生复口吸虫研究进展 [J]. *动物医学进展*, 2013, **34**(5): 103-106.]
- [2] Roberts S L, Janovay J. Foundations of Parasitology. 7th [M]. New York: McGraw-Hill College, 2005: 702.
- [3] Yang F X. Studies on strigeid trematodes from birds. I. On a new genus and three new speciesins diplostomati-
dae [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1959(4): 482-498. [杨复曦. 广东鸟类鸬形类吸虫的研究 I. 双穴科(吸虫纲)的吸虫, 包括一新属三新种的描述 [J]. *动物学报*, 1959(4): 482-498.]
- [4] Pan J P, Wang W J. Research on *Diplostomum* and its prevention and control methods: Including descriptions of two new species [J]. *Collected Papers of Aquatic Biology*, 1963(1): 1-45. [潘金培, 王伟俊. 复口吸虫病的研究及其防治方法, 包括二新种的描述 [J]. *水生生物学集刊*, 1963(1): 1-45.]
- [5] Zheng X Y. Research on *Diplostomum* of *Oncorhynchus mykiss* and its pathogenic biology [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1987. [郑小英. 虹鳟复口吸虫病及其病原生物学的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1987.]
- [6] Lü J Y. Studies on the life histories of *Diplostomum niedashui* and *Diplostomum hupehensis* descriptions of the early larvae and adults [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, **14**(3): 265-273. [吕军仪. 倪氏复口吸虫和湖北复口吸虫生活史的研究 II. 各期幼虫及成虫形态的描述 [J]. *水生生物学报*, 1990, **14**(3): 265-273.]
- [7] Nie P. Frequency distribution and seasonal dynamics of *Diplostomulum* spp. in eyes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), bighead carp (*Aristichthys nobilis*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Acta Parasitologica et Medica Entomologica Sinica*, 1996, **3**(4): 256-259. [聂品. 寄生鲢、鳙和草鱼复口吸虫的频率分布和季节动态 [J]. *寄生虫与医学昆虫学报*, 1996, **3**(4): 256-259.]
- [8] Xue J Z. Diagnosis and control of fish *Trematodes* [J]. *China Agricultural Information*, 2014, **26**(23): 97. [薛加忠. 鱼类复口吸虫病诊断与防治 [J]. *中国农业信息*, 2014, **26**(23): 97.]
- [9] Qin P, Yang Y X, Su N F. Diagnosis and treatment for a case of fluke disease in *Tinca tinca* [J]. *Scientific Fish Farming*, 2022(10): 57. [覃普, 杨云贤, 苏娜芬. 一例丁(鲃)复口吸虫病的诊断与治疗 [J]. *科学养鱼*, 2022(10): 57.]
- [10] Han J G, Lin C Y, Sun Y, *et al.* Prevention and control technique for *Plagiognathops microlepis* diplostomumiasis of smallscale yellowfin [J]. *Scientific Fish Farming*, 2023(2): 56-57. [韩进刚, 林春友, 孙悦, 等. 细鳞斜颌鲴双穴吸虫病及防控技术 [J]. *科学养鱼*, 2023(2): 56-57.]
- [11] Pan Y Z. Population dynamics of *Diplostomum spathaceum* and its preference in infecting *Gymnocypris selincuoensis* from Siling lake, Xizang Autonomous Region, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(6): 924-930. [潘瑛子. 色林错裸鲤感染匙形双穴吸虫的种群动态和寄生偏好 [J]. *水生生物学报*, 2023, **47**(6): 924-930.]
- [12] Zhou X X, Zhang X L, Xu L M. Discovery and control of trematode in large water ecological fishery [J]. *Current Fisheries*, 2023, **48**(9): 69-70. [周序协, 张小立, 徐黎明. 大水面生态渔业中复口吸虫的发现与控制 [J]. *当代水产*, 2023, **48**(9): 69-70.]
- [13] Sun J, Yao W J, Lin X T. Effects of *Diplostomum niedashui* on growth of silver carp and the parasite-induced otolith checks [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, **28**(3): 346-350. [孙军, 姚卫建, 林小涛. 倪氏复口吸虫的寄生对鲢及其耳石生长的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2009, **28**(3): 346-350.]
- [14] Sun J, Yao W J, Nie P. Migration of *Diplostomum niedashui* cercariae in the rare minnow *Gobiocypris rarus* with observation on the parasite-induced otolith checks [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(4): 333-338. [孙军, 姚卫建, 聂品. 倪氏复口吸虫在稀有鮡鲫体内的移行及对其耳石微结构的影响 [J]. *水生生物学报*, 2003, **27**(4): 333-338.]
- [15] Jiao L, Fan J, Zhao J S, *et al.* Investigation and Study on Parasites of *Abramis brama orientalis* Berg in Ergis River [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2010, **33**(6): 489-491. [焦丽, 樊江, 赵江山, 等. 额尔齐斯河东方欧鳊(*Abramis brama orientalis* Berg)寄生虫调查研究 [J]. *新疆农业大学学报*, 2010, **33**(6): 489-491.]
- [16] Hao C L, Zhao J S, Jiao L, *et al.* Investigation on parasite species and infected condition of *Esox lucius* Linnaeus in Ergis River [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, **48**(1): 135-138. [郝翠兰, 赵江山, 焦丽, 等. 额尔齐斯河白斑狗鱼寄生虫种类及感染情况的调查研究 [J]. *新疆*

- 农业科学, 2011, **48**(1): 135-138.]
- [17] Wang B L, Zhao J S, Jiao L, *et al.* The parasites fauna of *Carassius auratus gibelio* Bloch in Ergis River [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, **48**(8): 1505-1508. [汪博良, 赵江山, 焦丽, 等. 额尔齐斯河银鲫寄生虫区系调查研究 [J]. 新疆农业科学, 2011, **48**(8): 1505-1508.]
- [18] Wang X, Jiao L, Wang B L, *et al.* Investigation on the seasonal dynamic state of parasites and parasitic condition of dominant species in *Rutilus rutilus* Lacustris from Ergis River [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2012, **35**(1): 38-41. [王新, 焦丽, 汪博良, 等. 额尔齐斯河拟鲤寄生虫季节动态及其优势虫种的寄生情况调查研究 [J]. 新疆农业大学学报, 2012, **35**(1): 38-41.]
- [19] Jia S A, Zhu M Y, Wang N, *et al.* Population ecology of *Perca fluviatilis* Linnaeus in Ergis River [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, **50**(3): 545-552. [贾舒安, 朱梦莹, 王娜, 等. 额尔齐斯河河鲈寄生虫种群生态学研究 [J]. 新疆农业科学, 2013, **50**(3): 545-552.]
- [20] Wang J J, Jiao L, Hao C L, *et al.* Parasite classification and epidemic characteristics of Cobitidae in Irtysh River, Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2015, **38**(6): 456-458. [王京京, 焦丽, 郝翠兰, 等. 额尔齐斯河鳅科鱼类寄生虫分类研究及流行特点分析 [J]. 新疆农业大学学报, 2015, **38**(6): 456-458.]
- [21] Guo S, Jiao L, Parengul R, *et al.* Epidemiological studies of parasitic on *Lota lota* in Ergis River (China section) [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, **53**(10): 1940-1946. [郭帅, 焦丽, 番林古丽·热哈提, 等. 额尔齐斯河(中国段)江鳕寄生虫的流行病学研究 [J]. 新疆农业科学, 2016, **53**(10): 1940-1946.]
- [22] Zhang X L, Jiao L, Hao C L, *et al.* Species composition and parasitic characteristics of parasites of *Cyprinus carpio* Linnaeus in Ergis River [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, **49**(3): 576-580. [张晓玲, 焦丽, 郝翠兰, 等. 额尔齐斯河鲤鱼寄生虫的种类组成及寄生特性 [J]. 新疆农业科学, 2012, **49**(3): 576-580.]
- [23] Parengul R, Jiao L, Dang R, *et al.* Epidemiology of *Diplostomum* in the eyes of *Esox lucius* in the Ergis River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, **37**(2): 96-100. [番林古丽·热哈提, 焦丽, 党瑞, 等. 额尔齐斯河白斑狗鱼复口吸虫的流行病学调查 [J]. 水生态学杂志, 2016, **37**(2): 96-100.]
- [24] Tan S Y, Jiao L, Yan H, *et al.* Epidemiologic survey on diplostomum in ferocious fishes in Ergis River [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2010, **33**(2): 155-157. [谭士艳, 焦丽, 闫昊, 等. 额尔齐斯河凶猛鱼类复口吸虫流行病学调查 [J]. 新疆农业大学学报, 2010, **33**(2): 155-157.]
- [25] Dang R, Hao C L, Jiao L, *et al.* Spatial distribution of *Diplostomum* in *Perca fluviatilis* Linnaeus in Ergis River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, **37**(3): 102-106. [党瑞, 郝翠兰, 焦丽, 等. 额尔齐斯河河鲈复口吸虫的空间分布研究 [J]. 水生态学杂志, 2016, **37**(3): 102-106.]
- [26] Parengul R, Jiao L, Yue C. Molecular identification of *Diplostomum paracaudum* on *Esox lucius* in Irtysh River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(5): 992-996. [番林古丽·热哈提, 焦丽, 岳城. 额尔齐斯河白斑狗鱼假尾复口吸虫的分子鉴定 [J]. 水生生物学报, 2016, **40**(5): 992-996.]
- [27] Ma J X, Dang R, Jiao L, *et al.* Research on population dynamics of *Lota lota*'s *Diplostomum mergi* in the Irtysh River, Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, **54**(6): 1160-1166. [马江霞, 党瑞, 焦丽, 等. 新疆额尔齐斯河江鳕墨氏复口吸虫种群动态研究 [J]. 新疆农业科学, 2017, **54**(6): 1160-1166.]
- [28] Faltýnková A, Kudlai O, Pantoja C, *et al.* Another plea for 'best practice' in molecular approaches to trematode systematics: *Diplostomum* sp. clade Q identified as *Diplostomum baeri* Dubois, 1937 in Europe [J]. *Parasitology*, 2022, **149**(4): 503-518.
- [29] Lebedeva D I, Popov I Y, Yakovleva G A, *et al.* No strict host specificity: Brain metacercariae *Diplostomum petromyzifluviatilis* Müller (Diesing, 1850) are conspecific with *Diplostomum* sp. Lineage 4 of Blasco-Costa *et al.* (2014) [J]. *Parasitology International*, 2022(91): 102654.
- [30] Mikheev V N, Pasternak A F. Structure of aggressive behavior in underyearlings of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Salmonidae) changes under the influence of *Diplostomum pseudospathaceum* (Trematoda) parasites [J]. *Journal of Ichthyology*, 2023, **63**(4): 816-821.
- [31] Sokolov S G, Ieshko E P, Lebedeva D I. Resurrection of *Diplostomum numericum* niewiadomska, 1988 (*Digenea*, *Diplostomatoidea*: *Diplostomidae*) based on novel molecular data from the type-host [J]. *Diversity*, 2023, **15**(7): 840.
- [32] Chaudhary A, Singh K, Baliyan R, *et al.* Molecular phylogeny and morphological identification of two species of *Diplostomum* (*Digenea*: *Diplostomidae*) in fishes from the Ganga River, India: an integrative taxonomic approach [J]. *Biology*, 2024, **79**(12): 3589-3599.
- [33] Izrailskaya A V, Besprozvannykh V V, Shchelkanov M Y. *Diplostomum* Cf. *vanelli yamaguti*, 1935 (Trematoda: *Diplostomidae* poirier, 1886): morpho-molecular data and life cycle [J]. *Diversity*, 2024, **16**(5): 286.
- [34] Ondračková M, Valigurová A, Hodová I, *et al.* *Diplostomum*-induced sac formation in lenses of *Ameiurus* Bullheads: a host defence response [J]? *Journal of Fish Diseases*, 2025, **48**(10): e14137.
- [35] Sun J. *Diplostomum* and its progress in advance on ecology [J]. *Ecological Science*, 2005, **24**(2): 168-172. [孙军. 复口吸虫的研究进展 [J]. 生态科学, 2005, **24**(2): 168-172.]
- [36] Pan J H, Zhang J Y, Li Z C, *et al.* Fish Parasitology [M]. Beijing: Science Press, 1990. [潘炯华, 张剑英, 黎振昌,

- 等. 鱼类寄生虫学 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.]
- [37] Xizang Autonomous Region Fisheries Bureau. Fishes and Fish Resources in Xizang, China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [西藏自治区水产局. 西藏鱼类及其资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [38] Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau, Chinese Academy of Sciences. Rivers and Lakes in Xizang [M]. Beijing: Science Press, 1984. [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.]
- [39] Wu Y F. The Fishes of the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Publishers, 1982. [武云飞. 青藏高原鱼类 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1982.]
- [40] Margolis L, Esch G W, Holmes J C, *et al.* The use of ecological terms in parasitology (report of an ad hoc committee of the American society of parasitologists) [J]. *The Journal of Parasitology*, 1982, **68**(1): 131-133.
- [41] 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.
- [42] Zhou L. Serological investigation of *Fasciola hepatica* in yak and Xizang's sheep in Qinghai-Xizang Plateau and identification of snails in Xizang [D]. Lhasa: Xizang University, 2020. [周磊. 青藏高原牦牛、藏羊肝片吸虫血清学调查及西藏螺内寄生虫鉴定 [D]. 拉萨: 西藏大学, 2020.]
- [43] Zhang T X. Study on the distribution pattern and influencing factors of bird diversity in Qinghai-Xizang Plateau [D]. Chengdu: Sichuan University, 2023. [张塔星. 青藏高原鸟类多样性分布格局及影响因素研究 [D]. 成都: 四川大学, 2023.]
- [44] Duan C R. Study on the epidemic characteristics and classification of Diplostomidae of ferocious fish in Irtysh River [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018. [段成任. 额尔齐斯河凶猛鱼类复口吸虫的流行特点及分类研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018.]
- [45] Guo A M, Kadierring A, Hao C L, *et al.* Spatial distribution of *Diplostomum baeri* in *Oncorhynchus mykiss* in Xinjiang province [J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, **41**(4): 102-107. [郭爱民, 喀迪尔丁·艾尔肯, 郝翠兰, 等. 新疆虹鳟贝氏复口吸虫的空间分布 [J]. *水生态学杂志*, 2020, **41**(4): 102-107.]
- [46] Chappell L H. Ecological and experimental studies on the parasites of freshwater fishes in Northern England [D]. Leeds: University of Leeds, 1967.
- [47] Chappell L H, Hardie L J, Secombes C J. Diplostomiasis: the Disease and Host-parasite Interactions [M]. Pike A W, Lewis J W (Eds.), Samara Publishing, Dyfed, Wales, 1994: 59-86.
- [48] Kennedy C R, Burrough R. The population biology of two species of eyefluke, *Diplostomum gasterostei* and *Tylodelphys clavata*, in perch [J]. *Journal of Fish Biology*, 1977, **11**(6): 619-633.
- [49] Yao W J, Nie P. Population distribution and seasonal alternation of two species of monogeneans on the gills of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(6): 664-667. [姚卫建, 聂品. 鲢和草鱼鳃部寄生单殖吸虫的种群分布和季节动态 [J]. *水生生物学报*, 2004, **28**(6): 664-667.]
- [50] Ashworth S T, Kennedy C R. Density-dependent effects on *Anguillicola crassus* (Nematoda) within its European eel definitive host [J]. *Parasitology*, 1999, **118**(Pt 3): 289-296.
- [51] Liu D P. Encyclopedia of Chinese Medicine-Basic Medicine, Human Anatomy [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2015. [刘德培. 中华医学百科全书-基础医学, 人体解剖学: 基础医学 人体解剖学 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2015.]

THE INFECTION STATUS AND DISTRIBUTION PATTERN OF *DIPLOSTOMUM* IN SIX NATIVE FISH SPECIES FROM BASOMTSO LAKE, XIZANG AUTONOMOUS REGION, CHINA

HAO Cui-Lan^{1,2}, QUN Pei^{1,3,4}, LI Jia-Hao⁵, ZHANG Bai-Dong⁵, ZENG Shi-Min²,
WANG Shun-Jie² and PAN Ying-Zi^{1,3,4,5}

(1. Institute of Fishery Sciences, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China; 2. College of Veterinary Medicine, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 3. Xizang Native Fish Breeding and Utilization Technology Engineering Research Center, Lhasa 850032, China; 4. Key Laboratory of Fishery and Germplasm Resources Utilization of Xizang Autonomous Region, Lhasa 850032, China; 5. Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: *Diplostomum* is an ocular parasite known to impair vision in fish. Understanding its infection dynamics and spatial distribution in natural host populations is essential for assessing ecological risks and supporting the conservation of native fish species. In this study, we investigated *Diplostomum* infection in six native fish species—three schizothoracines and three loaches—from Basomtso Lake, Xizang, China. Parasites were identified using morphological and molecular approaches. We then compared infection parameters, body length trends, host frequency distributions, and spatial patterns across host species. Infection levels varied considerably among the six species. *Schizopygopsis younghusbandi* showed the highest prevalence (81.43%), with a mean abundance of 34.23 ± 54.36 and a maximum intensity of 230 parasites per host. In contrast, prevalence in the three loach species was below 40%, and the highest mean abundance among them was 1.65 ± 4.48 —both significantly lower than that in schizothoracines. Prevalence of *Diplostomum* exceeded 50% across most body length groups in schizothoracines but remained below 50% in all *Triplophysa* groups. No significant difference in infection was detected between left and right eyes of the host ($P > 0.05$). However, parasite site selection showed strong host specificity: *Diplostomum* occurred mainly in the lens of schizothoracines but was confined to the vitreous body in loaches. Parasite distribution was aggregated in all hosts, with the highest aggregation in *S. younghusbandi* ($S^2/X = 86.34$). These findings reveal host-dependent infection patterns and spatial distribution of *Diplostomum* in native fish from Basomtso Lake, offering a basis for further research on host-parasite interactions and parasite management in plateau fish populations.

Key words: Basomtso Lake; *Diplostomum*; Native fish; Infection characteristics; Spatial distribution; Ecological risk