

赵子龙,熊皓,刘季松,等.姚氏高原鳅的年龄结构与生长特性[J].华中农业大学学报,2026,45(2):1-8.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.02.001

主持人语:金沙江位于青藏高原东南缘,是我国第一大河——长江的上游河段。水域环境中独特的高落差、激流、低温等因素造就了其特有鱼类区系组成。由于该区域水体生产力水平低下,能维持的鱼类种类偏少,区系组成相对简单,鱼类以裂腹鱼类、条鳅类和鮡科鱼类为主,河流生态系统脆弱。金沙江流域面积47.32万km²,约占长江全流域面积的26%,从河源到宜宾干流河长及落差分别占长江干流全长和总落差的55%和95%。充沛的流量和巨大的落差使金沙江成为我国十三大水电基地之首,金沙江水电梯级开发已成为我国清洁能源体系建设重点。脆弱的河流生态系统极易受水电站建设等人为因素影响,一旦遭受破坏特别难以恢复,因此,在水电资源开发的同时开展生态系统及生物多样性保护意义重大。与我们大多熟知的长江中下游经济鱼类生物学特性不同,在金沙江水域栖息的鱼类为适应这一独特的生境,已在形态学、生态学、繁殖生物学等方面形成独特的适应性进化,但我们对这些特有种类的适应性特性知之甚少。开展金沙江特色鱼类生物学特性等基础性研究,进而阐明这些独特的适应性机制,可为这些特色鱼类增殖放流等鱼类资源保护、脆弱的河流生态系统保护等实践提供理论支撑,服务于长江上游生态安全屏障建设,助力水电开发与生态保护的“双碳”协同,践行习近平总书记提出的生态文明思想,意义重大。本期专栏以“金沙江特色鱼类繁育与保护”为主题,聚焦于鮡科鱼类和高原鳅属鱼类年龄与生长特性、消化系统和生殖系统结构特征等基础生物学特性、以及计算机视觉和人工智能技术在生物学研究方面的应用研究,形成的基础性成果将为金沙江特色鱼类繁育与保护提供基础支撑。

姚氏高原鳅的年龄结构与生长特性

赵子龙¹,熊皓²,刘季松²,杨瑞斌¹,杨学芬¹

1. 华中农业大学水产学院,武汉 430070; 2. 华电金沙江上游水电开发有限公司叶巴滩分公司,甘孜 627153

摘要 为有效开展姚氏高原鳅(*Triplophysa yaopeizhii*)的资源保护工作,以微耳石作年龄鉴定材料,对采集自西昌安宁河的362尾姚氏高原鳅开展了年龄结构与生长特性研究。结果显示:姚氏高原鳅样本体长范围为3.3~10.7 cm,体质量范围为0.7~14.2 g;年龄范围为2~9龄,5~6龄为优势年龄,约占样本总数的42.27%。体长(L)与体质量(W)的拟合关系式为 $W=0.0126L^{2.9606}$ ($R^2=0.9619$, $n=362$),符合匀速生长特性。雌、雄群体体长、体质量与年龄之间差异不显著($P>0.05$),通过 von Bertalanffy 生长方程拟合得到体长体质量生长方程: $L_t=10.415[1-e^{-0.155(t+1.750)}]$, $W_t=12.981[1-e^{-0.155(t+1.750)}]^{2.9606}$;拐点年龄为5.248龄,与之对应的体长 $L_i=6.895$ cm,体质量 $W_i=3.827$ g;表观生长指数 ϕ 为1.295,表明姚氏高原鳅生长缓慢,生长周期长。

关键词 姚氏高原鳅;安宁河;微耳石;年龄结构;生长特性

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)02-0001-08

在遗传因子与自然环境的共同作用下,不同鱼类种群形成了其特有的年龄结构和生长规律^[1-2]。和生长潜力等的重要指标,是评价种群资源量的关键^[3-4]。研究鱼类的年龄特征有助于了解鱼类种群年龄结构可以作为反映种群生长率、死亡率的生活史过程,进而准确评估渔业资源的动态

收稿日期:2025-04-23

基金项目:华电集团金沙江上游远期放流鱼种人工繁育技术研究项目(T-2022-04)

赵子龙,E-mail:zhuwanying1999@163.com

通信作者:杨学芬,E-mail:xfy@mail.hzau.edu.cn

变化^[5]。

姚氏高原鳅(*Triplophysa yaopeizhii*),隶属于鲤形目鳅科条鳅亚科高原鳅属,是金沙江水域的重要土著鱼类之一^[6]。近年来,由于水电站的开发建设、人们对自然水域环境的肆意破坏和过度捕捞等,金沙江水域的鱼类资源急剧衰退^[7-9]。科学增殖放流是保护鱼类资源的有效方式,姚氏高原鳅已纳入多个水电站增殖放流对象。目前已有姚氏高原鳅的分类地位、外部特征和地理分布的报道^[10-11],未见姚氏高原鳅基础生物学特性研究报道。我们于2023年6月至12月在金沙江水系——安宁河采样调查,选取微耳石用于年龄鉴定,开展姚氏高原鳅年龄组成与生长特性研究,以期为开展姚氏高原鳅人工繁育、增殖放流等资源保护工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

于2023年在西昌安宁河冕宁河段进行样本采集,通过地笼捕获384尾姚氏高原鳅。样本鱼经低温保存运输至实验室后,测量体长、全长(精确至0.1 cm)和体质量(精确至0.1 g)等形态学数据。体长大于4.0 cm个体通过解剖性腺来分辨雌雄,并取头部两侧的1对微耳石作为年龄鉴定的材料;体长小于4.0 cm个体,若性腺发育程度很低,则不区分雌雄,仅取微耳石备用。

1.2 材料处理和年龄鉴定

姚氏高原鳅微耳石处理及年龄鉴定方法参照文献^[12-13]。使用拍照显微镜(Olympus CX31)与计算机相连的图像分析软件(Capture 2.3)对微耳石图片拍照并测量,以微耳石中心到边缘的最大长度作为微耳石半径,同时测量各年轮间的距离。

1.3 数据处理与分析

用幂函数拟合体长与其对应的体质量之间的关系式,选择 von Bertalanffy 生长方程用于生长分析。采用 SPSS22.0 对实验数据进行整理、分析和图表绘制。生长方程和生长特性参数的计算参照文献^[14-16]。

2 结果与分析

2.1 渔获物组成

1)体长和体质量分布。总共获得姚氏高原鳅样本384尾,其中22尾无法辨认性别,对剩下362尾姚氏高原鳅个体进行性别统计和体长体质量数据测量

分析。结果显示雌、雄个体分别有213尾、149尾,雌雄性比为1.43:1,总体的体长范围为3.3~10.7 cm,体质量范围为0.7~14.2 g。

分别统计姚氏高原鳅雌、雄群体的体长和体质量数据,结果如图1、图2所示。雄性个体的体长以5.0~6.0 cm居多,占总体的30.20%;雌性个体中4.1~8.0 cm的个体占总体的77.46%,且体长在4.1 cm以上的各分组的个体数均要多于雄性个体数(图1)。姚氏高原鳅雄性群体的平均体质量为(3.3±2.6) g,优势体质量组为0.7~4.5 g,占总体的77.86%;雌性群体平均体质量为(4.1±3.0) g,优势体质量组为1.5~3.0 g,占总体的27.14%(图2)。

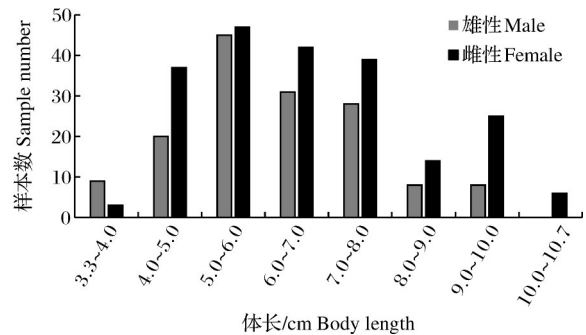


图1 姚氏高原鳅雌、雄群体的体长分布

Fig. 1 The body length distribution of male and female populations of *T. yaopeizhii*

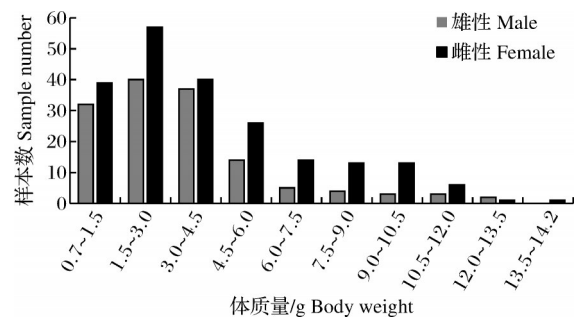


图2 姚氏高原鳅雌、雄群体的体质量分布

Fig. 2 The body weight distribution of male and female populations of *T. yaopeizhii*

2)年龄结构。对已辨别雌雄的362尾姚氏高原鳅样本鉴定年龄,样本年龄范围为2~9龄,5~6龄为优势年龄,占样本总数的42.27%,2龄个体很少,仅有11尾,且这部分个体主要来自体长小于4.0 cm的群体。各龄的最大体长、平均体长、最大体质量和平均体质量整体上都随着年龄的增加而呈现逐渐增大趋势,8龄之前各龄的平均体质量均不超过5.5 g,且平均体质量随年龄增加而增大趋势比较缓慢,而9龄的平均体质量达到了8.1 g,相比于7龄的平均体质量

增加了50.84%(表1)。

表1 不同年龄组姚氏高原鳅的体长和体质量组成

Table 1 The body length and body weight composition of *T. yaopeizhii* in different age groups

年龄 Age	样本数 Sample number	体长/cm Body length		体质量/g Body weight	
		范围 Range	平均值± 标准差 Mean±SD	范围 Range	平均值± 标准差 Mean±SD
2	11	3.3~6.1	4.4±0.8	0.8~3.3	1.1±0.8
3	30	4.1~6.6	5.0±0.7	0.7~3.3	1.7±0.7
4	52	4.1~7.3	5.2±0.8	0.8~4.7	2.0±0.9
5	63	4.1~9.4	5.8±1.2	0.7~9.1	2.6±1.7
6	90	4.6~9.7	6.8±1.3	1.0~9.1	4.0±2.2
7	58	5.1~10.0	7.2±1.6	1.4~11.4	5.1±3.0
8	34	5.9~10.2	7.5±1.5	2.2~12.7	5.4±3.2
9	24	6.6~10.7	8.8±1.2	3.6~14.2	8.1±3.5

雄性、雌性个体在2~9龄各龄之间均有一定分布,雄性群体的优势年龄为5~6龄,雌性群体的优势年龄为6~7龄,6龄在雌、雄群体中均占最大比例,其中雄性的6龄个体约占26.85%,雌性的6龄个体约占23.48%。除5龄群体中雄性个体数量略高于雌性个体外,其余各龄均表现为雌性个体数量高于雄性个体(图3)。

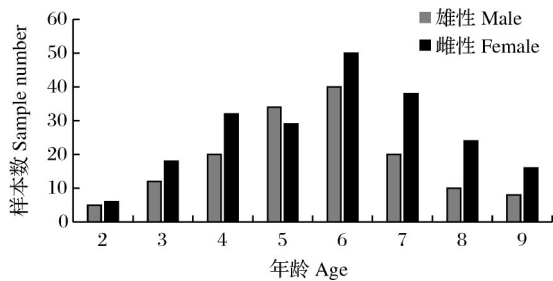


图3 姚氏高原鳅雌雄个体年龄分布

Fig. 3 Age distribution of male and female individuals of *T. yaopeizhii*

2.2 生长特性

1)体长和体质量关系。姚氏高原鳅雌、雄个体的体长(L)、体质量(W)数据经幂函数公式 $W=aL^b$ 拟合后,结果如下:

$$W_1=0.0081L^{3.1888}(R^2=0.9699, n=149)$$

$$W_2=0.0168L^{2.8163}(R^2=0.9631, n=213)$$

其中, W_1 、 W_2 分别为姚氏高原鳅雄性、雌性个体的体质量。

以姚氏高原鳅雌、雄体长为协变量,通过协方差分析结果显示姚氏高原鳅雌、雄群体体质量差异不显著($F=1.412, P=0.235>0.05$)。因此,在拟合时不区分雌雄,合并后的体长体质量关系式为:

$$W=0.0126L^{2.9606}(R^2=0.9619, n=362)$$

其中 $b=2.9606$, 将 b 值与数值“3”进行 t 检验,结果显示无显著差异($t=1.259<t_{0.05}=1.967$),说明姚氏高原鳅整体表现为匀速增长,符合 von Bertalanffy 生长方程的拟合条件,可进行体长、体质量生长方程的拟合运算(图4)。

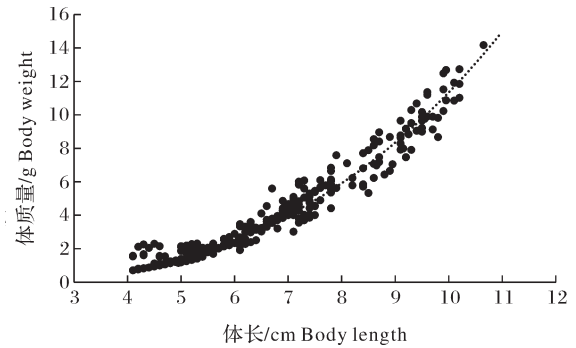


图4 姚氏高原鳅样本体长与体质量的关系

Fig. 4 Body length-weight relationship characteristics of sampled *T. yaopeizhii*

2)体长与耳石半径关系。将姚氏高原鳅的体长(L)与耳石半径(otolith radius, R_o)进行拟合(图5),得到线性关系式为 $L=15.633R_o-0.3011(R^2=0.8976, n=362)$ 。根据耳石年轮半径数据计算得到各年龄组的推算体长,结果如表2所示。由于缺少1龄实测数据,将2~8龄数据经 t 检验,实测体长和推算体长之间无显著差异($P>0.05$),可用来计算生长参数。

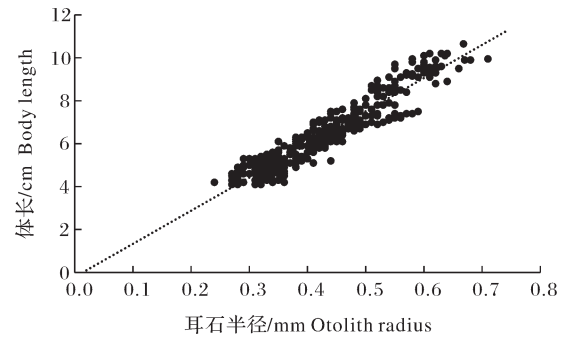


图5 姚氏高原鳅体长与耳石半径的关系

Fig. 5 Body length-otolith radius relationship characteristics of sampled *T. yaopeizhii*

3)生长方程与表观生长指数。以姚氏高原鳅雌、雄群体体长为协变量,协方差分析结果表明姚氏高原鳅雌、雄群体体长与年龄之间差异不显著($F=0.019, P=0.890>0.05$)。以姚氏高原鳅雌、雄群体体质量为协变量,进行协方差分析,结果显示,姚氏高原鳅雌、雄群体体质量与年龄之间差异不显著($F=0.014, P=0.906>0.05$)。因此,在拟合时不区分雌

表2 姚氏高原鳅样本的实测体长与推算体长

Table 2 The measured and back-calculated body length of *T. yaopeizhii* samples cm

项目 Item	推算体长 Back-calculated body length							
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
2龄 2 age	1.47	2.86						
3龄 3 age	1.50	2.84	3.87					
4龄 4 age	1.51	2.83	3.86	4.72				
5龄 5 age	1.51	2.83	3.90	4.69	5.19			
6龄 6 age	1.53	2.86	3.94	4.81	5.50	5.97		
7龄 7 age	1.50	2.73	3.86	4.92	5.78	6.16	6.48	
8龄 8 age	1.42	2.72	3.84	4.80	6.06	6.48	6.91	7.66
9龄 9 age	1.51	2.75	3.84	4.75	5.55	6.42	7.23	7.58
推算平均体长 Average of back-calculated body length	1.49	2.80	3.87	4.78	5.61	6.26	6.87	7.62
实测平均体长 Average of measured body length		4.35	4.96	5.21	5.77	6.76	7.21	7.53
差值 Differentials		1.55	1.09	0.43	0.16	0.50	0.34	-0.09

雄,通过 von Bertalanffy 生长方程分别对体长、体质量与年龄间的关系进行拟合,如图6和图7所示,得到的关系式如下:

姚氏高原鳅体长生长方程:

$$L_t = 10.415 [1 - e^{-0.155(t+1.750)}]$$

姚氏高原鳅体质量生长方程:

$$W_t = 12.981 [1 - e^{-0.155(t+1.750)}]^{2.9606}$$

根据线性回归方程,采用最小二乘法计算得出姚氏高原鳅渐近体长 $L_\infty = 10.415$ cm,渐近体质量 $W_\infty = 12.981$ g,生长系数 $k = 0.155$,假设理论生长起点年龄 $t_0 = -1.750$ 。姚氏高原鳅的表观生长指数为 1.295。

4) 生长速度与生长加速度。通过计算得知姚氏高原鳅体长体质量生长速度和生长加速度如下:

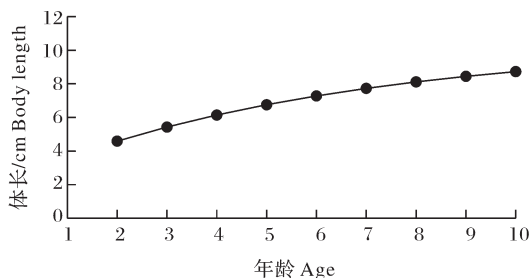


图6 姚氏高原鳅体长生长曲线

Fig. 6 The body length growth curve of *T. yaopeizhii*

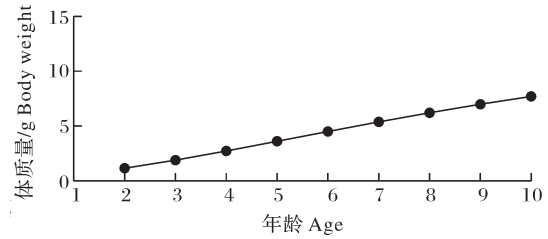


图7 姚氏高原鳅体质量生长曲线

Fig. 7 The body weight growth curve of *T. yaopeizhii*

体长生长速度方程:

$$dL/dt = 1.614e^{-0.155(t+1.750)}$$

体长生长加速度方程:

$$d^2L/dt^2 = -0.250e^{-0.155(t+1.750)}$$

体质量生长速度方程:

$$dW/dt = 5.958e^{-0.155(t+1.750)} [1 - e^{-0.155(t+1.750)}]^{1.961}$$

体质量生长加速度方程:

$$d^2W/dt^2 = 0.923e^{-0.155(t+1.750)} [1 - e^{-0.155(t+1.750)}]^{0.961} [2.961e^{-0.155(t+1.750)} - 1]$$

根据拐点年龄公式,计算得出姚氏高原鳅的拐点年龄为 5.248 龄,与之对应的体长 $L_i = 6.895$ cm,体质量 $W_i = 3.827$ g。

由图8、图9可知,随着年龄的增加,姚氏高原鳅体长的生长速度逐渐减小,同时其体长生长加速度的绝对值也在逐渐减小,说明体长生长速度的递减趋势越来越慢,最终趋向渐近值。由图10、图11可见,姚氏高原鳅的体质量生长速度先增加后减小,且均为正值,在 5.248 龄时具明显的生长拐点,此时体质量生长加速度为 0,体质量生长速度达到最大值,之后体质量生长速度逐渐减小,体质量趋于渐近值。

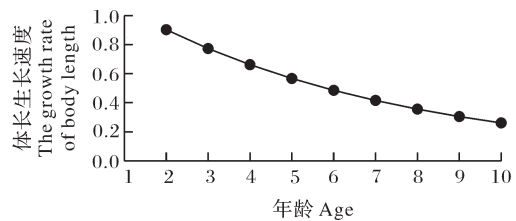


图8 姚氏高原鳅体长生长速度曲线

Fig. 8 The growth rate curve of body length of *T. yaopeizhii*

5) 生长指标。根据姚氏高原鳅各龄的平均推算体长体质量数据,计算姚氏高原鳅体长体质量的生长指数见表3。由表3可知,姚氏高原鳅在7龄之前,其体长、体质量的瞬时生长率、相对生长率,以及生长比速、生长常数和生长指标都随着年龄的增加而

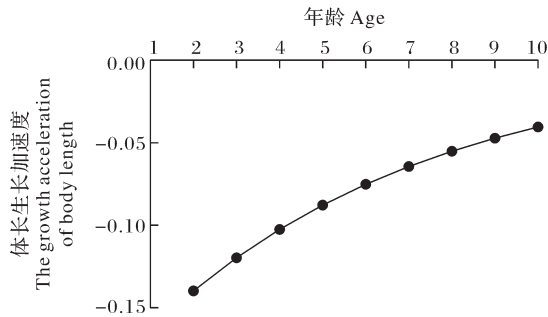


图9 姚氏高原鳅体长生长加速度曲线

Fig. 9 The body length growth acceleration curve of *T. yaopeizhii*

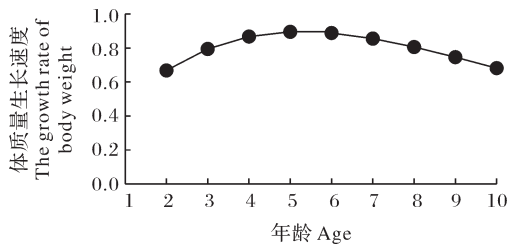


图10 姚氏高原鳅体质量生长速度曲线

Fig. 10 The growth rate curve of body weight of *T. yaopeizhii*

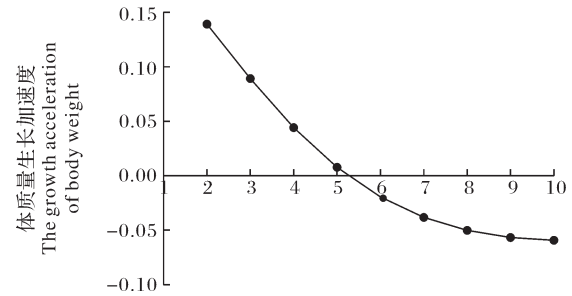


图11 姚氏高原鳅体质量生长加速度曲线

Fig. 11 The body weight growth acceleration curve of *T. yaopeizhii*

3 讨论

3.1 姚氏高原鳅年龄结构特征

年龄鉴定在分析鱼类生物学特性和评估种群数量变动中具有重要意义,结果可以为鱼类资源的保护提供重要信息^[17]。种群年龄结构受物种自身遗传特性以及外部环境因子影响,可有效反映出种群资源的稳定性。本研究以微耳石作为年龄鉴定材料,查明安宁河姚氏高原鳅的年龄组成为2~9龄,优势年龄组为5~6龄,年龄结构符合正态分布。由于缺乏姚氏高原鳅种群研究的前期资料,无法对现有种群状况开展科学评价,但本研究结果可为后期评价种群动态变化提供基础支撑。

逐渐减小;在8龄时,各项生长指数相对于7龄时有一定程度的增大;8龄之后,继续维持7龄之前的减小趋势,且减小幅度更加明显。

表3 姚氏高原鳅样本体长与体质量生长指数

Table 3 The body length and body weight growth index of *T. yaopeizhii*

年龄 Age	平均 Mean		相对增长率/(%/a) Relative growth rate		瞬时增长率/(%/d) Instantaneous growth rate		生长比速 Specific growth rate		生长常数 Growth constant		生长指标 Growth index
	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	
2	2.80	0.27									
3	3.87	0.69	0.38	1.61	118.39	350.50	0.32	0.96	0.81	2.40	1.26
4	4.78	1.29	0.23	0.86	76.78	227.31	0.21	0.62	0.74	2.18	1.01
5	5.61	2.08	0.17	0.61	58.76	173.96	0.16	0.48	0.72	2.14	0.90
6	6.26	2.87	0.11	0.38	39.55	117.09	0.11	0.32	0.60	1.76	0.68
7	6.87	3.79	0.10	0.32	34.35	101.71	0.09	0.28	0.61	1.81	0.65
8	7.62	5.14	0.11	0.35	37.44	110.84	0.10	0.30	0.77	2.28	0.78
9	7.83	5.57	0.03	0.08	9.98	29.53	0.03	0.08	0.23	0.69	0.21

安宁河是雅砻江左岸一级支流(金沙江二级支流),流域人口资源较多,人类生产活动对水环境的影响较大。罗小利等^[18]根据2016—2020年安宁河流域的水质监测数据研究发现,受人类生产活动的影响,总氮和粪大肠杆菌是安宁河流域水体的主要污染因子,水质恶化会破坏水体正常生理环境,进而导致水体中的鱼类资源受到威胁。此外,安宁河流

域属典型的亚热带季风气候,有明显的枯水期和丰水期,枯水期河道几乎断流,而丰水期则洪涝灾害泛滥,水域生态环境的不稳定会对鱼类生长繁殖产生影响,进而影响种群的稳定性。建议对姚氏高原鳅的种群资源变化进行持续关注,同时定期监测安宁河水体中的理化因子,通过维持生境的稳定性以加强对其资源保护。

3.2 姚氏高原鳅生长特性

鱼类的生长发育是构成其生活史的重要环节,是遗传特性与外界环境共同作用的结果,同种鱼类还会因地理位置差异而表现出不同的种内差异^[19-20]。生长系数和表观生长指数是分析种群生长性能的重要参数^[21]。将安宁河姚氏高原鳅种群的相关生长参数与不同水域的长身高原鳅^[22](*T. tenuis*)、叶尔羌高原鳅^[23-24](*T. yarkandensis*)、拟硬刺高原鳅^[25](*T. pseudoscleroptera*)、麻尔柯高原鳅^[26](*T. markehenensis*)种群进行了比较。相比于其他不同河流中的4种高原鳅,姚氏高原鳅的生长系数 k 值偏小,根据Branstetter^[27]的研究结果, k 值在0.10~0.20属于均速生长型, k 值在0.20~0.50属于快速生长型,安宁河姚氏高原鳅种群的 k 值介于0.10~0.20,属于均速生长型的鱼类。姚氏高原鳅的表观生长指数 φ 为1.295,均小于另外4种高原鳅;同时,其渐近体长也是如此,表明安宁河姚氏高原鳅种群生长速度较慢,总体的生长性能逊于其他4种高原鳅,这与姚氏高原鳅自身遗传特性以及所处环境中饵料生物、水温、光照等环境因子影响有关。马宝珊等^[28-30]对安宁河流域底栖动物多样性和空间分布研究结果表明,由于水电站的开发建设和河道采砂等工作的影响,安宁河干流底栖动物密度沿“上游-下游”纵向梯度呈下降趋势;此外,安宁河处于青藏高原的东南边缘,海拔高,水温低,大部分水生昆虫的丰度与海拔梯度呈负相关,而姚氏高原鳅营底栖生活,主要摄食小型底栖动物和水生昆虫等,饵料生物丰度的不足导致其个体摄食能量无法满足其正常生长需求,生长速度减慢。该生长特性可能是对长期食物匮乏等恶劣生存条件的一种适应^[26]。

3.3 姚氏高原鳅资源保护

金沙江水域环境中独特的高落差、激流、低温等因素造就了其独特的鱼类区系组成,由于该区域水体生产力水平很低,能维持的鱼类种类偏少,区系组成相对简单。金沙江流域大落差和充沛的流量水文特征又使金沙江成为我国十三大水电基地之首。在开展水电资源开发的同时开展生态系统及生物多样性保护意义重大。姚氏高原鳅作为金沙江流域重要的土著鱼类之一,在多个水电站建设中被列为增殖放流对象。本研究结果可为姚氏高原鳅种群资源评价提供基础数据支撑,为开展人工繁殖、增殖放流等资源保护工作提供科学依据。

参考文献 References

- [1] 潘文杰,高雷,杨浩,等.长江中游宜昌—荆州江段鲢种群年龄结构和生长特征[J].中国水产科学,2019,26(2):362-370. PAN W J, GAO L, YANG H, et al. Studies on population structure and growth characteristics of *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang to Jingzhou section of the middle branch of the Yangtze River[J]. Journal of fishery sciences of China, 2019, 26(2): 362-370 (in Chinese with English abstract).
- [2] 廖雨松,李为,苑晶,等.三峡水库光泽黄颡鱼年龄、生长与死亡特征研究[J].水生生物学报,2022,46(1):29-36. LIAO C S, LI W, YUAN J, et al. Age, growth, and mortality characteristics of *Pelteobagrus nitidus* (Sauvage et Dabry) in the Three Gorges Reservoir[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2022, 46(1): 29-36 (in Chinese with English abstract).
- [3] 黎雨轩,何文平,刘家寿,等.长江口刀鲚耳石年轮确证和年龄与生长研究[J].水生生物学报,2010,34(4):787-793. LI Y X, HE W P, LIU J S, et al. Annulus validation and age and growth estimation of anadromous *Coilia ectenes* in the Yangtze estuary[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2010, 34(4): 787-793 (in Chinese with English abstract).
- [4] 周成,朱国平,陈锦海,等.印度洋南部大眼金枪鱼年龄鉴定及其与生长的关系[J].中国水产科学,2012,19(3):536-544. ZHOU C, ZHU G P, CHEN J T, et al. Relationship between age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the southern Indian Ocean[J]. Journal of fishery sciences of China, 2012, 19(3): 536-544 (in Chinese with English abstract).
- [5] 沈永富,吴峰,戴小杰,等.中东太平洋长鳍真鲨年龄与生长[J].中国水产科学,2021,28(8):1030-1040. SHEN Y F, WU F, DAI X J, et al. Age and growth of oceanic whitetip shark, *Carcharhinus longimanus*, from the Central and Eastern Pacific[J]. Journal of fishery sciences of China, 2021, 28(8): 1030-1040 (in Chinese with English abstract).
- [6] 许涛清,张春光.西藏条鳅亚科高原鳅属鱼类一新种(鲤形目:鳅科)[J].动物分类学报,1996,21(3):377-379. XU T Q, ZHANG C G. A new species of cobitid fish from Tibet, China (Cypriniformes: Cobitidae)[J]. Zoological systematics, 1996, 21(3): 377-379 (in Chinese with English abstract).
- [7] 孙赫英,隋晓云,何德奎,等.金沙江流域鱼类的系统保护规划研究[J].水生生物学报,2019,43(S1):110-118. SUN H Y, SUI X Y, HE D K, et al. Fish systematic conservation planning in the Jinsha River basin[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2019, 43(S1): 110-118 (in Chinese with English abstract).
- [8] 白洁.金沙江上游鱼类及底栖动物多样性和保护[D].上海:上海海洋大学,2021:33-82. BAI J. Species diversity and conservation of fish and benthic fauna in upper reaches of the Jinsha River[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021: 33-82 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘飞,林鹏程,黎明政,等.长江流域鱼类资源现状与保护对

- 策[J].水生生物学报,2019,43(S1):144-156. LIU F, LIN P C, LI M Z, et al. Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2019, 43(S1): 144-156 (in Chinese with English abstract).
- [10] 肖海,代应贵.中国高原鳅属多样性研究概述[J].水产科学,2011,30(1):53-57. XIAO H, DAI Y G. A review of study on diversity of *Triplophysa* in China[J]. Fisheries science, 2011, 30(1): 53-57 (in Chinese with English abstract).
- [11] 谭刚.西昌高原鳅、大桥高原鳅、西溪高原鳅、姚氏高原鳅和巴塘高原鳅的分类厘定及高原鳅属鱼类一新种的描述[D].南充:西华师范大学,2017:6-47. TAN G. Taxonomy of Xichang plateau loach, daqiao plateau loach, Xixi plateau loach, Yaoshi plateau loach and Batang plateau loach and description of a new species of Alpine loach[D]. Nanchong: China West Normal University, 2017: 6-47 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李亮涛.雅鲁藏布江中游东方高原鳅年龄生长和种群动态研究[D].武汉:华中农业大学,2016:15-27. LI L T. Study on the age, growth and population dynamics of *Triplophysa orientalis* in the middle of the Yarlung Tsangpo river, Tibet [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 15-27 (in Chinese with English abstract).
- [13] 田娜娜.异尾高原鳅的生物学特性研究[D].武汉:华中农业大学,2022:35-49. TIAN N N. Biological characterization of *Triplophysa stewarti* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022: 35-49 (in Chinese with English abstract).
- [14] 殷名称.鱼类生态学[M].北京:中国农业出版社,1995:34-63. YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 34-63 (in Chinese).
- [15] 詹秉义.渔业资源评估[M].北京:中国农业出版社,1995:18-47. ZHAN B Y. Fish stock assessment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 18-47 (in Chinese).
- [16] SKUD B E. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. ICLARM studies and reviews 8. Daniel pauly [J]. The quarterly review of biology, 1986, 61(1): 126-127.
- [17] 王健,张富斌,胡华明,等.雅鲁藏布江下游弧唇裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J].水生生物学报,2022,46(12):1770-1779. WANG J, ZHANG F B, HU H M, et al. Characteristics of age and growth of *Schizothorax curvilabiatus* in the lower reaches of the Yarlung Zangbo river [J]. Acta hydrobiologica sinica, 2022, 46(12): 1770-1779 (in Chinese with English abstract).
- [18] 罗小利,杨玖,张利.安宁河流域(攀枝花市段)主要污染物特征及水质变化分析[J].四川环境,2022,41(3):132-139. LUO X L, YANG J, ZHANG L. Analysis of main pollutant characteristics and water quality variation trend in Anning River Basin (Panzhihua section) [J]. Sichuan environment, 2022, 41(3): 132-139 (in Chinese with English abstract).
- [19] BOISCLAIR D, LEGGETT W C. Among-population variability of fish growth: III. Influence of fish community [J]. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 1989, 46(9): 1539-1550.
- [20] 王金娜,周其椿,安苗,等.草海鲫鱼的年龄和生长[J].水产科学,2014,33(9):578-582. WANG J N, ZHOU Q C, AN M, et al. Age and growth of crucian carp *Cauratus auratus* in Caohai Lake [J]. Fisheries science, 2014, 33(9): 578-582 (in Chinese with English abstract).
- [21] 谢从新.雅鲁藏布江中游裂腹鱼类生物学与资源保护[M].北京:科学出版社,2019:388-400. XIE C X. Biology and resource conservation of schizothoracinae fishes in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River [M]. Beijing: Science Press, 2019: 388-400 (in Chinese).
- [22] 金珊珊,王新月,林欣,等.新疆开都河长身高原鳅的年龄与生长的关系[J].新疆农业科学,2020,57(1):181-189. JIN S S, WANG X Y, LIN X, et al. Age and growth of *Triplophysa tenuis* in Kaidu River, Xinjiang [J]. Xinjiang agricultural sciences, 2020, 57(1): 181-189 (in Chinese with English abstract).
- [23] 王新月.叶尔羌高原鳅年龄、生长、繁殖和种群判别的研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2022:10-37. WANG X Y. Age, growth, reproduction and population discrimination of *Triplophysa yarkandensis* [D]. Alar: Tarim University, 2022: 10-37 (in Chinese with English abstract).
- [24] 赵金发,邱龙辉,周琼,等.新疆车尔臣河叶尔羌高原鳅的年龄结构与生长特征[J].华中农业大学学报,2023,42(5):221-228. ZHAO J F, QIU L H, ZHOU Q, et al. Age structure and growth characteristics of *Triplophysa yarkandensis* in the Qarqan River, Xinjiang [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(5): 221-228 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张书玉,王继隆,李培伦,等.黄河中上游拟硬刺高原鳅年龄鉴定与生长模型筛选[J].北方农业学报,2023,51(4):105-111. ZHANG S Y, WANG J L, LI P L, et al. Age identification and growth model selection of *Triplophysa pseudoscleroptera* in the middle and upper reaches of the Yellow River [J]. Journal of northern agriculture, 2023, 51(4): 105-111 (in Chinese with English abstract).
- [26] 张雪飞,何春林,宋昭彬.大渡河上游麻尔柯河高原鳅的年龄与生长[J].动物学杂志,2010,45(4):11-20. ZHANG X F, HE C L, SONG Z B. Age and growth of *Triplophysa markeheensis* from the markehe river in upper reaches of the Dadu River [J]. Chinese journal of zoology, 2010, 45(4): 11-20 (in Chinese with English abstract).
- [27] BRANSTETTER S. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern gulf of Mexico [J]. Copeia, 1987(4): 964-974.
- [28] 马宝珊,徐滨,魏开金,等.安宁河中游底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J].水生生物学报,2019,43(3):643-

653. MA B S, XU B, WEI K J, et al. Macroinvertebrate community structure and its relation to the environmental conditions in the middle Anning river[J]. *Acta hydrobiologica sinica*, 2019, 43(3): 643-653 (in Chinese with English abstract).
- [29] 马宝珊, 徐滨, 魏开金, 等. 安宁河中游浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(10): 3332-3341. MA B S, XU B, WEI K J, et al. Phytoplankton community structure and its relation to environmental conditions in the middle Anning River, China[J]. *Chinese journal of ecology*, 2020, 39(10): 3332-3341 (in Chinese with English abstract).
- [30] 马宝珊, 魏开金, 徐进, 等. 安宁河流域夏季底栖动物多样性及其空间分布格局[J]. *生态学杂志*, 2021, 40(12): 4020-4028. MA B S, WEI K J, XU J, et al. Diversity and spatial distribution pattern of benthic macroinvertebrates in summer in the Anning River Basin[J]. *Chinese journal of ecology*, 2021, 40(12): 4020-4028 (in Chinese with English abstract).

Age structure and growth characteristics of *Triplophysa yaopeizhii*

ZHAO Zilong¹, XIONG Hao², LIU Jisong², YANG Ruibin¹, YANG Xuefen¹

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Yebatan Branch of Huadian Jinshajiang Upstream Hydropower Development Co., Ltd., Ganzi 627153, China

Abstract The age structure and growth characteristics of 362 *Triplophysa yaopeizhii* specimens collected from the Anning River in Xichang were studied using otoliths for age determination. The main results were as follows: the body length of *T. yaopeizhii* ranged from 4.1 to 10.7 cm, and the body weight ranged from 0.7 to 14.2 g. The age of the specimens ranged from 2 to 9 years, with 5~6 years being the dominant age group, accounting for about 42.27% of the total samples. The relationship between body length and body weight was described by the equation $W=0.0126L^{2.9606}$ ($R^2=0.9619$, $n=362$), indicating isometric growth characteristics. There was no significant difference in age, body length, or body weight between the female and male groups ($P>0.05$). The von Bertalanffy growth equation was used to fit the growth equation of body length and body weight as follows: $L_t=10.415[1-e^{-0.155(t+1.750)}]$, $W_t=12.981[1-e^{-0.155(t+1.750)}]^{2.9606}$. The inflection point occurred at 5.248 years of age, with a corresponding body length $L_i=6.895$ cm and body weight $W_i=3.827$ g. The apparent growth index ϕ was 1.295. These findings indicate that the growth of *T. yaopeizhii* is slow and characterized by a long cycle. These results provide a foundational basis for the artificial breeding, stock enhancement, and resource conservation of *T. yaopeizhii* in the Jinsha River basin.

Keywords *Triplophysa yaopeizhii*; Anning River; otolith; age structure; growth characteristics

(责任编辑:边书京)