

DOI: 10.12264/JFSC2021-0451

西藏哲古措异尾高原鳅年龄、生长及繁殖特性

田娜娜¹, 杨瑞斌¹, 谭博真¹, 曾小理¹, 何林强¹, 徐兆利¹, 朱振¹, 刘海平²,
杨学芬¹

1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 西藏自治区农牧科学院水产科学研究所, 西藏 拉萨 850002

摘要: 本研究以耳石为年龄鉴定材料, 结合生物学测量数据, 利用函数拟合求得生长方程, 并解剖观察性腺发育情况, 对采自西藏哲古措的 1616 尾异尾高原鳅(*Triplophysa stewarti*)开展了年龄、生长及繁殖特性研究。结果发现, 所采集的异尾高原鳅年龄分布为 1~6 龄, 高龄个体较少。体长为 3.47~14.30 cm, 体重为 0.40~28.70 g, 生长特性符合 von Bertalanffy 生长方程: $L_t = 13.891[1 - e^{-0.168(t+2.895)}]$ ($R^2 = 0.940$); $W_t = 28.179[1 - e^{-0.168(t+2.895)}]^{3.0115}$ ($R^2 = 0.991$)。拐点年龄为 3.65, 对应的体长和体重分别为 9.26 cm、8.31 g。异尾高原鳅雌雄性比为 1 : 3.01, χ^2 检验结果显示雌雄差异极显著($P < 0.01$)。Fulton 肥满度雄体平均为 1.07, 雌体平均为 1.03; Clark 肥满度雄体平均为 0.88, 雌体平均为 0.76。异尾高原鳅 1 冬龄达到性成熟。雄性群体成熟系数为 1.57%, 雌性群体为 2.37%。绝对繁殖力为 1040~10176 粒/尾, 平均为 4397 粒/尾。研究结果, 哲古措异尾高原鳅年龄结构简单且低龄化, 生长缓慢, 肥满度低, 雌性个体性腺成熟系数低, 可能是受哲古措特殊的地理位置和生态环境等因素影响。本研究可为高原鳅属鱼类积累基础生物学资料, 并为藏南内流湖泊生态环境及渔业资源保护提供理论依据。

关键词: 哲古措; 异尾高原鳅; 年龄结构; 生长; 繁殖; 西藏

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)07-1013-09

异尾高原鳅(*Triplophysa stewarti* Hora)属鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae)、条鳅亚科(Nemacheilinae)、高原鳅属(*Triplophysa*), 别名刺突高原鳅、刺突条鳅和长鳍条鳅, 多分布于西藏湖泊和河流的缓流河段^[1]。高原鳅属作为青藏高原鱼类区系的三大主体之一^[2], 数量最多, 在西藏寒冷脆弱的高原生态环境中占据重要地位, 对维持生物多样性和生态系统的稳定具有重要意义。目前对高原鳅的研究多集中在其分布^[3]、分类^[4]、系统发育^[5]及高原适应性^[6], 关于异尾高原鳅的生物学特征缺乏研究报道。

近年来, 全球气候变暖、人类活动频繁、经济开发等因素提高了对高原湖泊生态环境及鱼类

资源破坏的风险, 特别是西藏地区的资源环境压力逐渐增大。哲古措位于西藏山南市措美县中部, 湖面海拔 4611 m, 气温较低, 是藏南典型的内流湖泊^[7-8], 生态环境脆弱, 易受到人类活动和气候变化的影响。业久曲作为哲古措最主要的入湖河流, 流经人口聚集区(哲古镇), 由于当地居民生活、畜牧等用水, 哲古措补充水量日益减少, 湖泊退缩和咸化趋势明显, 生态完整性面临被破坏的危险。

2017—2019 年, 在对哲古措进行渔业资源与环境调查时发现该湖泊中仅有 3 种鱼类[高原裸鲤(*Gymnocypris waddelli*)、拉萨裸裂尻(*Schizopygopsis younghusbandi*)、异尾高原鳅]。本研究以

收稿日期: 2021-11-08; 修订日期: 2022-02-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31971421); 农业农村部西藏重点水域渔业资源与环境调查项目.

作者简介: 田娜娜(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类种质资源保护. E-mail: 1056710395@qq.com

通信作者: 杨学芬, 副教授, 研究方向为渔业环境生态. E-mail: xfy@mail.hzau.edu.cn

湖中数量最多、个体最小的异尾高原鳅为研究对象,通过探究其年龄结构、生长及繁殖特性,了解该种群的种群结构及生长规律,为高原鳅属鱼类研究积累资料,为藏南湖泊鱼类资源评估及重要的内流湖泊湿地生态系统保护提供基础理论资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域及数据来源

研究样品数据来自 2017 年 6 月、2018 年 6 月、2018 年 9 月、2019 年 6 月在哲古措(28°39'28.97N~28°43'44.62N, 91°39'34.29E~91°39'53.99E)开展的渔业资源与环境调查资料。异尾高原鳅样品用地笼(网目 0.5 cm)采集,共 1616 尾。样本经 10%福尔马林固定保存后带回实验室进行常规生物学测量^[9],体长精确到 0.1 cm,体重精确到 0.1 g。所有实验数据均采用 Excel2016 与 SPSS19.0 进行整理、分析和图表绘制。

1.2 年龄鉴定

鉴定异尾高原鳅年龄时选择耳石为材料^[10-11]。具体操作如下:解剖异尾高原鳅时取耳石置于离心管中,做好标记。将耳石用透明指甲油包埋,用 1500#~2000#砂纸进行打磨至能较清楚地看到生长中心,打磨时随时用解剖镜观察。无水乙醇洗涤,中性树胶封片,二甲苯透明,解剖镜下观察年轮特征并进行年轮计数^[12]。并采用 2~3 人盲检的方法对每个微耳石进行年龄鉴定^[13]。

1.3 体长与体重的关系

体长与体重的关系用幂函数模型进行拟合^[14]:

$$W=aL^b \quad (1)$$

肥满度采用 Fulton 法和 Clark 法计算:

$$K_{\text{Fulton}}=100 \cdot W/L^3 \quad (2)$$

$$K_{\text{Clark}}=100 \cdot W_N/L^3 \quad (3)$$

式中, W 为体重, L 为体长, a 为生长的条件因子, b 为异速生长因子, W_N 为空壳重。

1.4 生长特性

异尾高原鳅的生长关系采用 von Bertalanffy 生长方程进行分析^[14]。

von Bertalanffy 生长方程标准公式:

$$L_t=L_{\infty}[1-e^{-k(t-t_0)}] \quad (4)$$

$$W_t=W_{\infty}[1-e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (5)$$

生长速度方程:

$$dL/dt=L_{\infty}ke^{-k(t-t_0)} \quad (6)$$

$$dW/dt=bW_{\infty}ke^{-k(t-t_0)}[1-e^{-k(t-t_0)}]^{b-1} \quad (7)$$

生长加速度方程:

$$d^2L/dt^2=-L_{\infty}k^2e^{-k(t-t_0)} \quad (8)$$

$$d^2W/dt^2=bW_{\infty}k^2e^{-k(t-t_0)}[1-e^{-k(t-t_0)}]^{b-2}[be^{-k(t-t_0)}-1] \quad (9)$$

生长拐点年龄方程:

$$t_i=\ln b/k+t_0 \quad (10)$$

生长特征指数(ϕ)方程:

$$\phi=\lg(k)+2\lg(L_{\infty}) \quad (11)$$

式中, L_t 为 t 龄时的体长(cm); W_t 为 t 龄时的体重(g); L_{∞} 为渐进体长(cm); W_{∞} 为渐进体重(g); k 为生长系数; t_0 为假设理论生长起点年龄; dL/dt 为体长生长速度; dW/dt 为体重生长速度; d^2L/dt^2 为体长生长加速度; d^2W/dt^2 为体重生长加速度; b 为体长-体重关系指数。

1.5 性比及性腺发育

结合外部特征与内部解剖对样本进行性别鉴定,并用目视判定性腺发育程度,分为 6 期(I~VI 期),以达到 IV 期为成熟判定标准^[14-15]。统计雌、雄个体数目及性腺发育情况,通过 χ^2 检验分析雌雄比例。

1.6 成熟系数及繁殖力

随机选择性腺发育到 IV 期的雌鱼,测量其卵巢总重量,再从卵巢前、中、后段取样,放入 10%福尔马林溶液固定后计数卵粒数,计算绝对繁殖力与相对繁殖力。具体公式如下^[14]:

$$\text{成熟系数 } M=W_O/W_N \times 100\% \quad (12)$$

$$\text{绝对繁殖力 } F=N'/W' \times W_O \quad (13)$$

$$\text{相对体长繁殖力 } F_L=F/L \quad (14)$$

$$\text{相对体重繁殖力 } F_W=F/W_N \quad (15)$$

式中, W_O 代表性腺重(g); W_N 代表空壳重(g); N' 代表取样卵粒数; W' 代表取样重量; L 代表体长(cm)。

2 结果与分析

2.1 种群结构特征

从采集的全部异尾高原鳅渔获物(1616 尾)体长、体重分布分析可知(图 1a、图 1b),体长频数分布为单峰型,为 3.47~14.30 cm,平均值为 8.70 cm,主要分布在 7.0~11.0 cm,占样本总量的 78.8%;

体重为 0.40~28.70 g, 平均值为 7.70 g, 96.4% 的渔获物均小于 16.0 g。

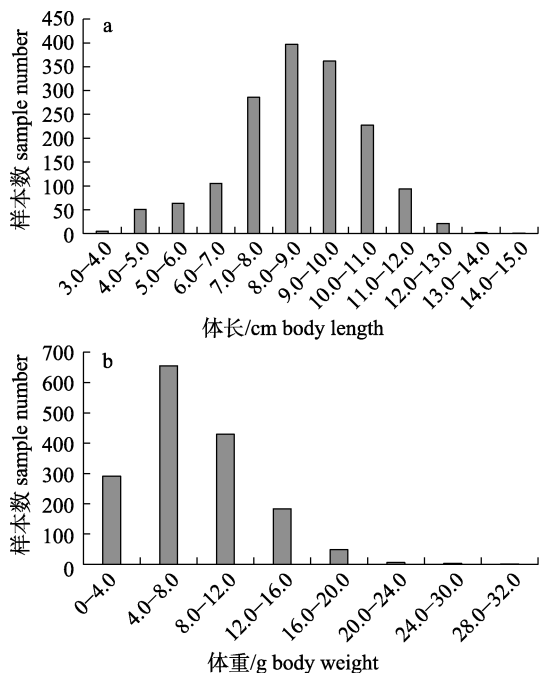


图 1 异尾高原鳅渔获物体长(a)与体重(b)分布

Fig. 1 The distribution of body length (a) and body weight (b) of *Triplophysa stewarti*

2.2 年龄分布

在渔获物中随机选取了 695 尾异尾高原鳅进行年龄鉴定。结果发现异尾高原鳅的年龄(图 2)分布在 1~6 龄, 雌性群体多为 1~2 龄, 雄性群体多为 3~4 龄。渔获物中异尾高原鳅高龄个体比例较低, 5~6 龄个体占样本总量的 7%, 雌雄群体均表现出 6 龄个体数目最少, 鱼类年龄结构简单。

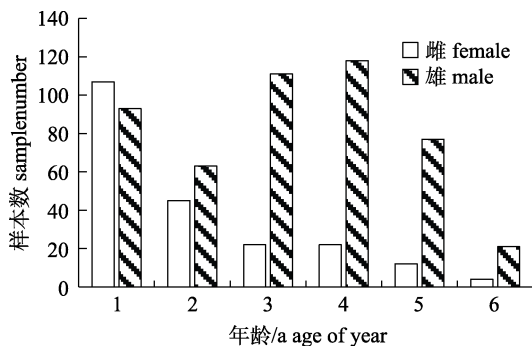


图 2 异尾高原鳅渔获物年龄分布

Fig. 2 The distribution of age of *Triplophysa stewarti*

2.3 体长体重关系

哲古措异尾高原鳅的体重(W)和体长(L)关系

经回归分析(图 3), 可得其拟合关系式为:

$$W=0.0102L^{3.0115} (R^2=0.8895)$$

其中 $b=3.0115$, 与“3”无显著差异($P>0.05$), 可选用 von Bertalanffy 生长模型。

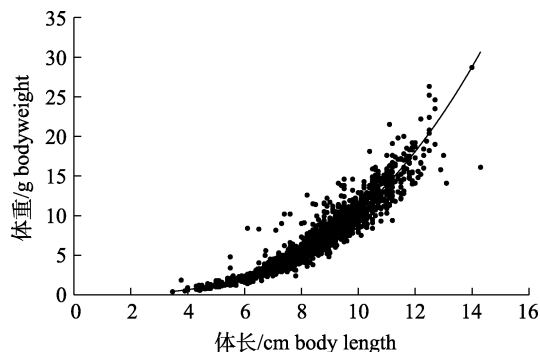


图 3 异尾高原鳅体长体重关系

Fig. 3 The relation between body length and body weight of *Triplophysa stewarti*

采用 Fulton 和 Clark 两种方法计算异尾高原鳅雌雄个体的肥满度, 结果发现 Fulton 肥满度除 12~15 cm 体长组外均略大于 1, 而 Clark 肥满度均小于 1 (表 1)。异尾高原鳅雄性个体的 Fulton 肥满度平均为 1.07, 雌性个体平均为 1.03, 略低于雄性个体。异尾高原鳅雄性个体的 Clark 肥满度平均为 0.88, 雌性个体平均为 0.76, 也低于雄性个体。所有体长组都表现出雌性个体的肥满度低于雄性个体。4~6 cm 雄性个体组的 Fulton 肥满度和 Clark 肥满度都高于其他雄性个体组, 说明雄性个体在体长为 4~6 cm 时肥满度最大; 而雌性个体的肥满度结果却不同, 4~6 cm 雌性个体组的 Fulton 肥满度最高, 而 Clark 肥满度最大值却在 8~10 cm 雌性个体组内。

2.4 生长特性

以 von Bertalanffy 生长方程来拟合异尾高原鳅体长和体重的生长关系。通过 Beverton 法和 Ford 方程求得渐进体长 $L_{\infty}=13.891$, 生长系数 $k=0.168$, $t_0=-2.895$, 将上述参数代入 von Bertalanffy 生长方程, 得到异尾高原鳅体长生长方程:

$$L_t=13.891[1-e^{-0.168(t+2.895)}] (R^2=0.940)$$

依据体长体重拟合关系得到体重增长方程:

$$W_t=28.179[1-e^{-0.168(t+2.895)}]^{3.0115} (R^2=0.991)$$

分别对体长和体重生长方程进行一阶求导、二阶求导, 得到生长速度和生长加速度方程:

表 1 不同体长组异尾高原鳅肥满度变化
Tab. 1 The fullness variety of *Triplophysa stewarti* in different body length groups

$n=1616; \bar{x}\pm SD; g/cm^3$

肥满度 指数 fullness	体长组/cm body length group										平均 mean	
	4-6		6-8		8-10		10-12		12-15			
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Fulton	1.18±0.40	1.08±0.32	1.09±0.26	1.02±0.14	1.08±0.18	1.06±0.14	1.05±0.14	1.03±0.14	0.97±0.20	0.95±0.18	1.07±0.07	1.03±0.04
Clark	0.94±0.32	0.76±0.32	0.89±0.16	0.80±0.14	0.91±0.16	0.83±0.16	0.88±0.16	0.74±0.11	0.78±0.18	0.67±0.12	0.88±0.05	0.76±0.05

体长生长速度: $dL/dt=2.330533e^{-0.168(t+2.895)}$
体重生长速度: $dW/dt=14.2375e^{-0.168(t+2.895)}$
 $[1-e^{-0.168(t+2.895)}]^{2.0115}$
体长生长加速度:
 $d^2L/dt^2=-0.39101e^{-0.168(t+2.895)}$
体重生长加速度:
 $d^2W/dt^2=2.388702e^{-0.168(t+2.895)}$
 $[1-e^{-0.168(t+2.895)}]^{1.0115}[3.0115e^{-0.168(t+2.895)}-1]$
经计算, 异尾高原鳅生长拐点年龄为 3.65, 与之对应的体长和体重分别为 $L_t=9.26\text{ cm}$ 、 $W_t=8.31\text{ g}$ 。表观生长指数 ϕ 为 1.510。

体长的生长曲线不具有拐点(图 4a), 开始上升很快, 随着年龄增大, 逐渐趋向体长渐进值 L_∞ ; 而体重增长曲线(图 4b)表现出在生长拐点($t=3.65$)后增长变得缓慢。体长生长速度和加速度曲线(图 5a)显示, 随着时间的增加, 体长生长速度不断递减。体重生长速度和加速度曲线(图 5b)显示, 当 $t<3.65$ 龄时, 体重生长速度上升, 体重生长加速度下降, 说明 3.65 龄前是体重生长递增阶段, 但其递增速度逐渐降低; 当 $t=3.65$ 龄时, 体重生长速度最大, 体重生长加速度为 0; 当 $t>3.65$ 龄时, 体重生长速度和体重生长加速度均下降, 且体重

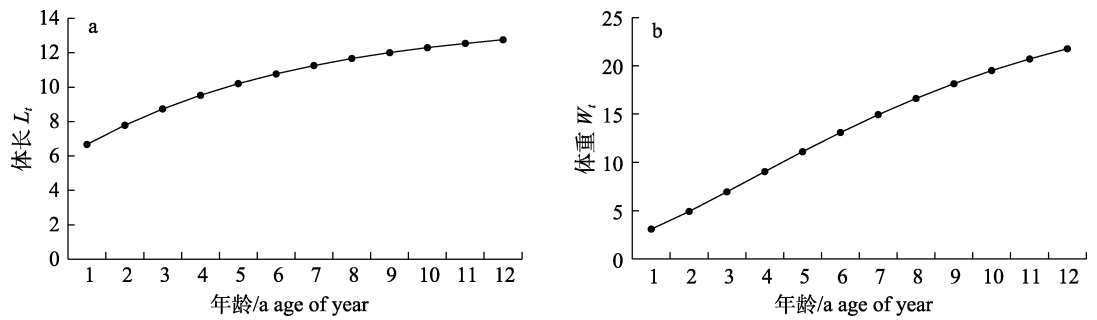


图 4 异尾高原鳅体长(a)和体重(b)增长曲线
Fig. 4 The growth curve of body length (a) and body weight (b) of *Triplophysa stewarti*

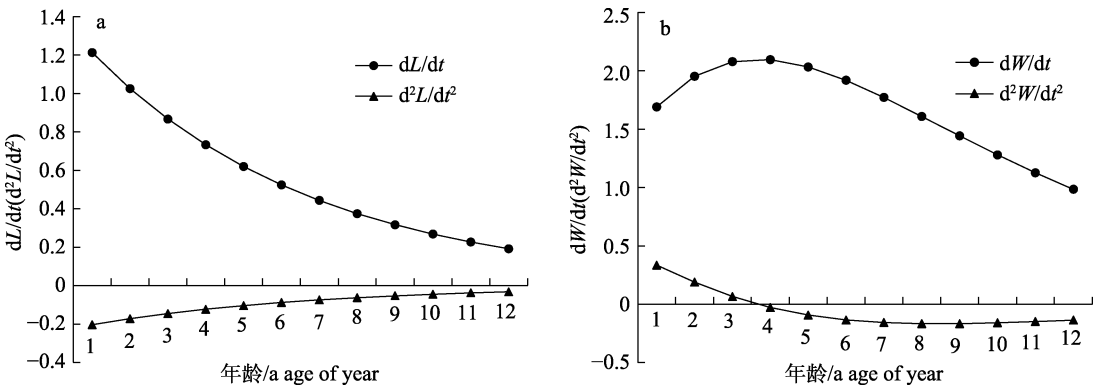


图 5 异尾高原鳅体长生长速度(dL/dt)与生长加速度(d^2L/dt^2)曲线(a)和体重生长速度(dW/dt)与生长加速度(d^2W/dt^2)曲线(b)
Fig. 5 The growth velocity and acceleration curve of body length (a) and body weight (b) of *Triplophysa stewarti*

生长加速度为负值,说明体重生长进入缓慢期;约 8 龄时,体重生长加速度降至最小值,而后又逐渐增加,说明随着体重生长速度进一步下降,其递减速度也逐渐趋于缓慢,个体开始进入衰老期。此后,鱼体体长与体重逐渐趋于渐进值,而生长速度和加速度也逐渐趋于 0。

2.5 性比及性腺发育

经观察,异尾高原鳅在生殖季节时,雌鱼腹部膨大柔软,卵巢轮廓明显,胸鳍第一根鳍条平直,生殖孔红肿,卵呈米黄色。雄鱼第二性征明显,体型瘦长,腹部较硬,胸鳍第一根鳍条粗大略弯曲,生殖孔不红肿,能挤出乳白色精液。统计得哲古措异尾高原鳅雌雄性比为 1 : 3.01。 χ^2 检验表明,雄性显著多于雌性,差异极显著($P<0.01$)。

调查结果发现异尾高原鳅的最小性成熟年龄为 1 冬龄。且 6 月捕获的异尾高原鳅性腺成熟个体多,雌性成熟个体占雌性总体的 74.65%,雄性成熟个体占 62.07%。

2.6 成熟系数及繁殖力

异尾高原鳅繁殖群体中雌性群体的成熟系数平均为 2.37%,最高可达 5.42%;雄性群体的成熟系数平均为 1.57%,小于雌性群体的成熟系数。异尾高原鳅繁殖群体的绝对繁殖力为 1040~10176 粒/尾,平均为 4397 粒/尾;相对体重繁殖力 254~976 粒/g,平均为 541 粒/g;相对体长繁殖力 165~855 粒/cm,平均为 412 粒/cm。将哲古措异尾高原鳅不同体长组(体重组)间的平均绝对繁殖力进行比较,发现随着体长(体重)的增加,其平均绝对繁殖力也有所增加(图 6a、图 6b),但增加趋势逐渐缓慢。

将异尾高原鳅绝对繁殖力(个体繁殖力)与各生物学参数进行相关分析,结果发现绝对繁殖力与异尾高原鳅个体的体长(L)、体重(W)、性腺重(W_o)、空壳重(W_N)、成熟系数(M)呈正相关且相关性显著($P<0.05$),与鱼体肥满度(K)关系不显著($P>0.05$)。采用回归分析法分别检验体长、体重、性腺重、空壳重、成熟系数与绝对繁殖力的关系(表 2)。由相关系数可知,哲古措异尾高原鳅的绝对繁殖力与性腺重关系最显著,其次为体重和成熟系数。

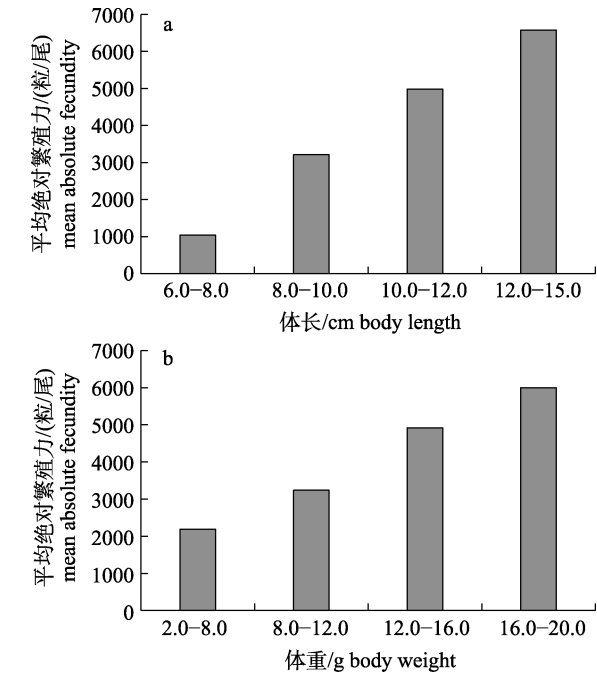


图 6 异尾高原鳅不同体长组(a)和体重组(b)的平均绝对繁殖力
Fig. 6 The mean absolute fecundity of different body length (a) and body weight (b) groups of *Triplophysa stewarti*

表 2 绝对繁殖力与生物学参数的关系		
Tab. 2 Relationship between the absolute fecundity and the biological parameter		
参数 parameter	F	
L	F=53.179L ² -68.471L-762.59 (R ² =0.4648)	
W	F=10.661W ² +139.84W+893.79 (R ² =0.6535)	
W _N	F=-14.469W _N ² +810.34W _N -1135.2 (R ² =0.4999)	
W _O	F=17760W _O +254.98 (R ² =0.9819)	
M	F=38.383M ² +1442.2M-25.306 (R ² =0.6188)	
K	-	

3 讨论

3.1 年龄结构

哲古措异尾高原鳅渔获物的年龄分布在 1~6 龄,其中高龄鱼比例较低。与同属其他种类^[13,16-17]相比,异尾高原鳅种群年龄结构简单且趋于低龄化。采集渔获物中多数个体年龄低于拐点年龄(3.65 龄),表明哲古措异尾高原鳅种群资源受到抑制,这或许与水鸟的大量捕食有关。哲古措所处的喜马拉雅山原湖盆宽谷区域存在多种鸟类^[18],是青海湖部分过境候鸟南迁路线中的重要停留补给地或越冬区^[18-19]。经调查发现,哲古措湖岸存

在诸多鸟类爪印的痕迹。异尾高原鳅多栖息在浅水处,且小型鱼类具有更大的被捕食压力^[20]。这种高强度的捕食压力使得异尾高原鳅种群数量受限,年龄组成结构简单,同水域中高原裸鲤种群的年龄结构也呈现相同特征^[12]。

3.2 生长特性

本研究中,异尾高原鳅的生长拐点年龄(3.65 龄)落后于性成熟年龄(1 龄),与中华花鳅(*Cobitis sinensis*)^[21]的生长特征相似,在性成熟后有一段快速生长期,但与东方高原鳅(*T. orientalis*)^[13]、麻尔柯河高原鳅(*T. markehenensis*)^[17]相比,异尾高原鳅的生长拐点年龄较小,快速生长期较短,较早进入慢速生长阶段;表观生长指数 ϕ 与生长速度正相关^[22],异尾高原鳅的表观生长指数较小,生长缓慢。异尾高原鳅的 Clark 肥满度均小于 1,且与同属内黑体高原鳅(*T. obscura*)^[23]和新疆高原鳅(*T. strauchii*)^[24]相比,异尾高原鳅的肥满度较小。

异尾高原鳅生长缓慢,肥满度小,可能与其生存环境恶劣、水中饵料丰富度不高有关。强光照的影响^[25]及躲避行为^[26]会增加鱼类能量消耗,不利于其快速生长。哲古措海拔高,长时间处于冰冻及低水温状态,日照时间长且光照强烈但水温回暖慢,湖中浮游生物和底栖动物的丰富度较低,这些因素导致异尾高原鳅无法获取更多的能量补充,为躲避大量过境鸟类的捕食又加剧了异尾高原鳅的能量消耗,导致其生长缓慢、肥满度小。

3.3 繁殖特性

目前对高原鳅属鱼类繁殖特性^[16,27-29]方面的研究报道较少。本研究发现异尾高原鳅的绝对繁殖力(4397 粒/尾)较西藏高原鳅(*T. tibetana*)^[29](2319.9 粒/尾)、黑体高原鳅^[23](3652 粒/尾)高,较叶尔羌高原鳅(*T. yarkandensis*)^[16](28716 粒/尾)、新疆高原鳅^[24](20096 粒/尾)低,高原鳅属鱼类种间繁殖力存在较大差异,这种差异主要由遗传因素决定,但也体现了物种或种群对环境改变的适应性,受诸多环境因子的影响,与栖息场所、卵径大小及产卵类型等有关,其大小直接影响到种群的补充数量^[30]。哲古措异尾高原鳅雌性群体性腺

成熟系数比其他高原鳅^[16,23-24,29]都低很多。一般来说,成熟系数越高,性腺发育越好^[14]。在硬骨鱼类生殖周期中,雌性个体的性腺发育会受到多种因素的干扰与制约,其中环境因子主要包括气象水文因子(光照、温度、降雨、水流等)、水体生物因子(营养、产卵基质等)、水体化学因子(盐度等),而温度、光照周期和营养状况是影响鱼类性腺发育的重要因子^[31]。哲古措所处地理环境长期低温、日照长、饵料贫乏,这或许是造成异尾高原鳅雌性群体性腺成熟系数较低的部分原因。至于渔获物中雄性个体明显多于雌性个体现象,可能与采样时期有关,不同季节雌雄比例出现较大差异现象也出现在保安湖沙塘鳢(*Odontobutis obscura*)中^[32]。今后的研究中需要优化在哲古措这类特殊环境的采样时间以进一步深入探明。

3.4 渔业资源保护

随着全球气温升高,高海拔地区的气候变暖效应较低海拔地区更为明显^[33]。高原地区主要依赖周围冰川融水的湖泊发生扩张,如藏北湖泊色林措^[34],而藏南湖泊中诸多湖泊因升温后蒸发量增加,发生退缩和咸化^[35-36]。且哲古措附近集雨区雪山也因气候变暖逐渐消失,导致入湖补水不足,加深哲古措面临沼泽化盐碱化的困境。哲古措几乎每十年左右都会发生一次大面积干涸的情况,其特殊的湖泊生态完整性面临着被破坏的危险。哲古措中鱼类资源量少,年龄结构简单,生长速度慢,而哲古措地处高海拔,环境相对恶劣且脆弱,一旦其鱼类种群资源遭到破坏,恢复难度更大。因此,对哲古措鱼类资源的保护,应着眼于青藏高原大生态系统保护的基础上,针对藏南极具代表性的内流小型湖泊,采取相应保护措施。统筹协调好农牧用水与入湖水的平衡,确保业久曲的常流水,保证入湖水量,延缓湖泊沼泽化,并开展鱼类资源与环境长期监测工作,定期监控区域内土著鱼类和其它水生生物资源现状及变动情况、监控水域环境质量变化情况等。

3.5 不足与展望

由于哲古措特殊的地理环境,未能采集周年样本开展相关研究,未来可结合青藏高原水域重要生态环境监测点建设,对藏南湖泊中重要、特

殊的鱼类及其生境开展定期采样, 更准确地了解西藏渔业资源及水生态系统的变化。

参考文献:

- [1] Wu Y F, Wu C Z. The Fishes of Tibetan Plateau[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1992: 168-171. [武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1992: 168-171.]
- [2] Chen Y Y, Chen Y F, Liu H Z. Studies on the position of the Qinghai-Xizang plateau region in zoogeographic divisions and its eastern demarcation line[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(2): 97-103. [陈宜瑜, 陈毅峰, 刘焕章. 青藏高原动物地理区的地位和东部界线问题[J]. 水生生物学报, 1996, 20(2): 97-103.]
- [3] Feng C G, Tong C, Zhang R Y, et al. Biodiversity and distribution patterns of *Triplophysa* species in the northeastern margin of the Tibetan Plateau[J]. Biodiversity Science, 2017, 25(1): 53-61. [冯晨光, 童超, 张仁意, 等. 青藏高原东北部边缘高原鳅属鱼类的多样性与分布格局[J]. 生物多样性, 2017, 25(1): 53-61.]
- [4] Li J X, Wang Y, Jin H F, et al. Identification of *Triplophysa* species from the Qinghai-Tibetan Plateau (QTP) and its adjacent regions through DNA barcodes[J]. Gene, 2017, 605: 12-19.
- [5] He D K, Chen Y X, Chen Y F. Molecular phylogeny and biogeography of the genus *Triplophysa*[J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(11): 1395-1404. [何德奎, 陈咏霞, 陈毅峰. 高原鳅属 *Triplophysa* 鱼类的分子系统发育和生物地理学研究[J]. 自然科学进展, 2006, 16(11): 1395-1404.]
- [6] Wang Y, Yang L D, Wu B, et al. Transcriptome analysis of the plateau fish (*Triplophysa dalaica*): Implications for adaptation to hypoxia in fishes[J]. Gene, 2015, 565(2): 211-220.
- [7] Pan Y Z, Fu P P, Zhou J S, et al. Community structure and seasonal dynamics of gastrointestinal helminths in two native fish species in Lake Chugutso, Tibet[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(11): 1295-1304. [潘瑛子, 付佩佩, 周建设, 等. 西藏哲古措 2 种土著鱼类消化道寄生蠕虫的群落结构及感染状况[J]. 中国水产科学, 2020, 27(11): 1295-1304.]
- [8] Wang S M, Dou H S. Records of Lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 1996: 430. [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 430.]
- [9] Zhang J M. Handbook of Fisheries Natural Resource Surveys in Inland Water[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991: 256-264. [张觉民. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 256-264.]
- [10] 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. [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.]
- [11] Liu Y C, Liu S Y, Liu H P. Values of eight structures as age determination of *Ptychobarbus dipogon*, Tibet Autonomous Region[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(3): 579-588. [刘艳超, 刘书蕴, 刘海平. 西藏双须叶须鱼八种年龄鉴定材料的比较研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(3): 579-588.]
- [12] Tan B Z, Yang X F, Yang R B. Age structure and growth characteristics of *Gymnocypris waddelli* in the Zhegu Lake, Tibet[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(8): 879-885. [谭博真, 杨学芬, 杨瑞斌. 西藏哲古措高原裸鲤年龄结构与生长特性[J]. 中国水产科学, 2020, 27(8): 879-885.]
- [13] Li L T, Yang X F, Yang R B, et al. Age structure and growth characteristics of *Triplophysa orientalis* in the middle of the Yarlung Tsangpo River, Tibet[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(6): 117-123. [李亮涛, 杨学芬, 杨瑞斌, 等. 雅鲁藏布江中游东方高原鳅的年龄与生长特性[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 117-123.]
- [14] Yin M C. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 34-63. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 34-63.]
- [15] Liu H P, Liu Y C, Liu S Y, et al. Fecundity and reproductive strategy of *Ptychobarbus dipogon* populations from the middle reaches of the Yarlung Zangbo River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(6): 1169-1179. [刘海平, 刘艳超, 刘书蕴, 等. 雅鲁藏布江中游双须叶须鱼群体繁殖力与繁殖策略研究(英文)[J]. 水生生物学报, 2018, 42(6): 1169-1179.]
- [16] Zeng L, Tang W Q. Age, body growth and reproductive characteristics of *Triplophysa yarkandensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(5): 29-38. [曾霖, 唐文乔. 叶尔羌高原鳅的年龄、生长与繁殖特征[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 29-38.]
- [17] Zhang X F, He C L, Song Z B. Age and growth of *Triplophysa markehenensis* from the Markehe River in upper reaches of the Dadu River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(4): 11-20. [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.]
- [18] Yang L, Tsamchu Drolma, Wen D M. Investigation report on bird resources in Shannan Area of Tibet[J]. Tibet Science and Technology, 2013(6): 29-30, 32. [杨乐, 仓决卓玛, 闻

- 冬梅. 西藏山南地区鸟类资源调查初报[J]. 西藏科技, 2013(6): 29-30, 32.]
- [19] Liu D P. Breeding movement and migration of bar-headed goose (*Anser indicus*) at Qinghai Lake and spatial-temporal relationship with HPAI outbreaks[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010. [刘冬平. 青海湖斑头雁(*Anser indicus*)的繁殖期活动性、迁徙路线及其与禽流感暴发的时空关系[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.]
- [20] Ye S W, Feng G P, Zhang B, et al. Characteristics of community structure and biomass estimates of small-size fishes in Niushan Lake, Hubei Province, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(5): 854-862. [叶少文, 冯广朋, 张彬, 等. 牛山湖小型鱼类群落结构特征及生物量估算[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 854-862.]
- [21] Yang J, He X H, Sun Z Y. Growth and reproductive biology of Chinese spined loach *Cobitis sinensis*[J]. Fisheries Science, 2020, 39(2): 209-217. [杨骏, 何兴恒, 孙治宇. 中华花鳅的生长和繁殖生物学的研究[J]. 水产科学, 2020, 39(2): 209-217.]
- [22] Pauly D, Moreau J, Prein M. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture[C]// ICLARM Conference Proceedings of the Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 1988: 469-479.
- [23] Wang H, Guo Y S, Qi W H, et al. The study on the biology of *Triplophysa obscura* in the upper reaches of Bailong River[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2008, 21(1): 42-48. [王华, 郭延蜀, 戚文华, 等. 白龙江上游黑体高原鳅生物学研究[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 42-48.]
- [24] Guo Y, Cai L G, Tu E X, et al. The study on the biology of *T. strauchii* (Kessler) in the Lake of Sailimu[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2002, 15(2): 6-11. [郭焱, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖新疆高原鳅生物学研究[J]. 水产学杂志, 2002, 15(2): 6-11.]
- [25] Di Z K, Li K, Liu R C, et al. Effects of photoperiod and light intensity on the growth, muscle nutrition and economic performance of Murray cod (*Maccullochella peelii*) in the recirculating aquaculture system[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(4): 781-789. [狄正凯, 李慷, 刘如聪, 等. 光照周期和光照强度对循环水系统中墨瑞鳕的生长、肌肉营养成分及养殖收益的影响[J]. 水生生物学报, 2021, 45(4): 781-789.]
- [26] Xi J, Zheng Z L, Mou Z B, et al. Study on the hiding behavior of the *Glyptosternum maculatum* larvae and juveniles[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(5): 1129-1137. [席杰, 郑宗林, 牟振波, 等. 黑斑原鲃仔稚鱼藏匿行为研究[J]. 水生生物学报, 2021, 45(5): 1129-1137.]
- [27] Chen S A, Ma C H, Ding H P, et al. The reproductive biology of *Triplophysa* (Hedinichthys) *yarkandensis* (day) in Tarim River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(5): 810-816. [陈生熬, 马春晖, 丁慧萍, 等. 塔里木河叶尔羌高原鳅繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 2013, 37(5): 810-816.]
- [28] Wang Z J, Huang J, Zhang Y G. The reproductive traits of *Triplophysa bleekeri* in the Daning River[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(5): 8-13. [王志坚, 黄静, 张耀光. 大宁河贝氏高原鳅的繁殖特性[J]. 淡水渔业, 2013, 43(5): 8-13.]
- [29] Liu H Y, Xie C X, Zheng Y P, et al. Study on the individual fecundity of *Triplophysa tibetana*[J]. Freshwater Fisheries, 2009, 39(4): 12-16. [刘鸿艳, 谢从新, 郑跃平, 等. 西藏高原鳅个体繁殖力的研究[J]. 淡水渔业, 2009, 39(4): 12-16.]
- [30] Liu F, Wu J M, Wang J W. Growth and reproductive characteristics of *Ancherythroculter kurematsui* Kimura[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(4): 586-595. [刘飞, 吴金明, 王剑伟. 高体近红鲃的生长与繁殖[J]. 水生生物学报, 2011, 35(4): 586-595.]
- [31] Wen H S, Lin H R. Effect of environmental factors on gonadal maturation as well as its ovulation and spawning in teleosts[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 151-155. [温海深, 林浩然. 环境因子对硬骨鱼类性腺发育成熟及其排卵和产卵的调控[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 151-155.]
- [32] Zhu B K, Xie C X, Wang M X, et al. A study on feeding, reproduction, age and growth of dark sleeper *Odontobutis obscura* in Bao'an Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(4): 316-323. [朱邦科, 谢从新, 王明学, 等. 保安湖沙塘鳢的食性、繁殖、年龄及生长的研究[J]. 水生生物学报, 1999, 23(4): 316-323.]
- [33] Pepin N, Bradley R S, Diaz H F, et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world[J]. Nature Climate Change, 2015, 5(5): 424-430.
- [34] Yan L J, Zheng M P, Wei L J. Change of the lakes in Tibetan Plateau and its response to climate in the past forty years[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(4): 310-323. [闫立娟, 郑绵平, 魏乐军. 近 40 年来青藏高原湖泊变迁及其对气候变化的响应[J]. 地学前缘, 2016, 23(4): 310-323.]
- [35] Jiang J H, Huang Q. Distribution and variation of lakes in Tibetan Plateau and their comparison with lakes in other part of China[J]. Water Resources Protection, 2004, 20(6): 24-27, 70. [姜加虎, 黄群. 青藏高原湖泊分布特征及与全国湖泊比较[J]. 水资源保护, 2004, 20(6): 24-27, 70.]
- [36] Yan L J. The influence of climate change on lake variations of the Tibet Plateau in the period of 1973—2017[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2020, 41(4): 493-503. [闫立娟. 气候变化对西藏湖泊变迁的影响(1973—2017)[J]. 地球学报, 2020, 41(4): 493-503.]

Age, growth, and reproductive characteristics of *Triplophysa stewarti* in Lake Chugutso, Tibet

TIAN Nana¹, YANG Ruibin¹, TAN Bozhen¹, ZENG Xiaoli¹, HE Linqiang¹, XU Zhaoli¹, ZHU Zhen¹, LIU Haiping², YANG Xuefen¹

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

2. Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850002, China

Abstract: Evaluations of the age structure, growth pattern, and reproductive characteristics of *Triplophysa stewarti* are required for collecting basic biological data on *Triplophysa* and providing a theoretical basis for the protection of the ecological environment and fishery resources in the endorheic lake area in southern Tibet. In this study, we analyzed the age, growth, and reproductive characteristics of 1616 *Triplophysa stewarti* samples collected from Lake Chugutso, Tibet, using otolith identification for age data and biological measurement data. The growth equation was obtained using a functional fit, and dissected the gonads to observed their development. The age distribution of the collected *Triplophysa stewarti* ranged from 1 to 6 years, with fewer fishes having greater age and showing a tendency for lower age instead. The age of the female population mainly ranged from 1 to 2 years, while that of the male population mainly ranged from 3 to 4 years. The body length of all *Triplophysa stewarti* samples ranged from 3.47–14.30 cm, while their body weight ranged from 0.40–28.70 g. The relationship between body length and body weight was described by the linear equation, $W=0.0102L^{3.0115}$. Its growth characteristics are in accordance with the von Bertalanffy growth equation: $L_t=13.891[1-e^{-0.168(t+2.895)}](R^2=0.940)$; $W_t=28.179[1-e^{-0.168(t+2.895)}]^{3.0115}$ ($R^2=0.991$). The inflection age of the growth curve occurred at 3.65 years at a body length of 9.26 cm and body weight of 8.31 g. The male to female population ratio of *Triplophysa stewarti* was 1 : 3.01, with highly significant differences revealed by the χ^2 test ($P<0.01$). The Fulton fertility and Clark fertility for male fishes were 1.07 and 0.88, respectively, and 1.03 and 0.76, respectively, for female fishes. The sexual maturity of *Triplophysa stewarti* was identified at the age of 1. Further, the maturity coefficient was 1.57% for the male population and 2.37% for the female population. Absolute fecundity ranged from 1040 to 10176 grains/tail, with an average of 4397 grains/tail. *Triplophysa stewarti* exhibited slow growth and less fullness, with a low gonadal maturation coefficient in females, which may be affected by the special geographical location and ecological environment of Lake Chugutso, Tibet. The age distribution of *Triplophysa stewarti* followed a simple pattern due to a large proportion of young individuals, which is intrinsically linked to the predatory behavior of numerous migratory and transit birds. Both the age distribution and growth characteristics of *Triplophysa stewarti* indicate that the population exists in a limited state. Therefore, the management of the domestic sewage and waste of the residents of Zhegu Town should be strengthened to reduce the impact of human activities on the fish habitat. Further, water flowing into the lake must be managed, the amount of water entering the lake must be monitored, and the swampiness of the lake must be reduced. A scientific guide should also be provided to the residents, and the importance of protecting local ecosystems should be emphasized.

Key words: Lake Chugutso; *Triplophysa stewarti*; age distribution; growth; reproduction; Tibet

Corresponding author: YANG Xuefen. E-mail: xfy@mail.hzau.edu.cn