

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19378

西藏哲古错高原裸鲤年龄结构与生长特性

谭博真, 杨学芬, 杨瑞斌

华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070

摘要: 对西藏哲古错高原裸鲤(*Gymnocypris waddelli*)的年龄结构与生长特性进行研究。2017—2019 年, 在西藏哲古错共采集高原裸鲤样本 432 尾, 采用微耳石鉴定年龄, 测量耳石半径, 进行体长推算, 研究其年龄结构与生长特性。结果显示, 所采集高原裸鲤样本体长范围为 3.1~35.6 cm, 体重范围为 0.4~645.9 g; 年龄范围为 1~11 龄, 6~8 龄鱼比例超过 35%。体长(L)和体重(W)拟合关系式为 $W=0.0095L^{3.1514}$ ($R^2=0.9911$, $n=432$), 符合匀速生长特性。雌雄间体长、体重与年龄关系差异不显著($P>0.05$), 拟合建立 von Bertalanffy 生长方程, $L_t=410.159[1-e^{-0.149(t-0.620)}]$; $W_t=1114.233[1-e^{-0.149(t-0.620)}]^{3.1514}$, 拐点年龄为 8.263, 对应的体长体重分别为 $L_t=27.826$ cm、 $W_t=333.811$ g; 表观生长指数 ϕ 为 4.399。综上, 哲古错高原裸鲤年龄结构简单化, 处于增长期, 可能是受哲古错特殊的地理位置和生态生境等因素影响。本研究旨在为西藏脆弱的生态系统中该物种的保护提供基础数据, 并建议通过入湖河流水量管理、限制捕捞等人类活动等措施, 改善哲古错生态环境, 对哲古错高原裸鲤种群进行保护。

关键词: 哲古错; 高原裸鲤; 年龄结构; 生长特性; 西藏

中图分类号: S931; S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)08-0879-07

高原裸鲤(*Gymnocypris waddelli*)隶属于鲤科(Cyprinidae), 裂腹鱼亚科(Schizothoracinae), 裸鲤属(*Gymnocypris*), 主要分布于莫特里胡河、定日鲁曲河以及山南地区羊卓雍措、哲古错、多钦湖等河流与湖泊^[1]。目前裸鲤属的研究大部分集中于青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)^[2-4], 而高原裸鲤基础生物学的研究较少, 仅有分类学^[5]和繁殖生物学^[6]研究。

近年来西藏人口增加, 给西藏鱼类栖息地环境带来巨大压力, 同时捕捞强度的增加也使得高原裸鲤资源迅速减少, 2016 年, 高原裸鲤已被列入《中国脊椎动物红色名录》^[7], 属于“易危”等级, 开展保护工作刻不容缓。但基础生物学研究的不足使我们在开展资源保护和合理开发利用中面临很大的困难。同时, 哲古错为典型藏南内流湖泊, 退缩和咸化趋势明显, 加之湖边哲古镇为

该区域为数不多的人口聚集区, 因此对其脆弱的生态环境保护尤为重要。本文以哲古错高原裸鲤为研究对象, 以微耳石为年龄鉴定材料, 开展高原裸鲤的年龄结构和生长特性研究, 旨在为高原裸鲤资源保护和合理开发利用提供理论基础和参考资料, 也为脆弱的藏南内流湖泊生态系统保护提供基础支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2017 年 9 月至 2019 年 6 月, 在哲古错进行 4 次样品采集, 前 3 次仅用刺网(2 cm)进行采集, 最后一次为补充低龄个体, 增加了地笼作为采集工具, 共采集高原裸鲤 432 尾(表 1)。新鲜状态下测量全长和体长(精确到 0.1 cm), 电子天平称重(精确到 0.1 g), 常规解剖, 现场判断其性别及性腺分

收稿日期: 2020-01-15; 修订日期: 2020-02-10.

基金项目: 农业农村部财政专项“西藏重点水域渔业资源与环境调查”。

作者简介: 谭博真(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态. E-mail: m13277085539@163.com

通信作者: 杨学芬, 副教授. E-mail: xfy@mail.hzau.edu.cn

期,并取一对微耳石,清洗、编号。

1.2 实验方法

1.2.1 实验材料处理方法 耳石处理及年龄鉴定方法参考陈毅峰等^[8],选取微耳石,用透明指甲油包埋在载玻片上,分别用 600[#]、1200[#]砂纸将耳石双面打磨到生长中心,打磨时随时用解剖镜观察直至轮纹清晰。无水酒精清洗后,用中性树脂胶封于载玻片上,二甲苯透明后在解剖镜下检查年轮特征并进行年轮计数。

针对微耳石进行年龄鉴定,年轮确认及计数方法以 1 龄为第 1 个年轮未形成至刚形成阶段,2 龄为第 1 个年轮外有新轮至第 2 个年轮刚形成阶段,以此类推。以耳石中心到边缘的最长距离(OR)作为材料半径的长度,并测量各年轮间的距离。

1.2.2 计算及分析方法 数据用 Microsoft Excel 进行初步整理,通过 SPSS 19.0 软件进行方程拟合及显著性检验,相关计算方法依照文献[9-12]。

(1) 体长体重的相关关系

体长和其相对应的体重之间关系式采用幂函数进行拟合:

$$W=aL^b$$

式中, W 表示体重(g); L 表示体长(cm); a 是常数, b 是幂指数。方程中 b 值反映鱼类生长情况。

用 t 检验比较 b 值与“3”之间是否存在显著性差异,公式如下:

$$t = \frac{SD(L)}{SD(W)} \times \frac{|b-3|}{\sqrt{1-r^2}} \times \sqrt{n-2}$$

式中, $SD(L)$ 、 $SD(W)$ 分别表示体长、体重对数值的标准差; n 、 r 分别为标本数和相关系数。

(2) 体长和鳞径的相关关系

对微耳石半径(OR)与全长(L)选取直线方程式进行回归拟合:

$$L=a+b \times OR$$

(3) 生长指数

相对增长率: $w=(l_2-l_1)/l_1(t_2-t_1)$

生长比速: $C_v=(\lg l_2-\lg l_1)/0.4343 \cdot (t_2-t_1)$

生长常数: $C_{vt}=C_v(t_2+t_1)/2$

生长指标: $C_{lt}=C_v l_1$

式中, l_1 和 l_2 分别代表鱼体年龄为 t_1 和 t_2 时的体长。

(4) 生长方程及生长特征

采用 von Bertalanffy 生长方程来描述高原裸鲤的生长特性,并用协方差分析(ANCOVA)判断雌雄间差异性:

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

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

生长速度方程:

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

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

生长加速度方程:

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

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

生长拐点年龄:

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

生长特征指数(ϕ)计算如下:

$$\phi=\lg k+2\lg L_{\infty}$$

式中, t 为年龄; L_t 和 W_t 分别为 t 龄时的体长(cm)和体重(g); L_{∞} 和 W_{∞} 分别为渐近体长(cm)和渐近体重(g); k 为生长系数; b 为体长-体重关系式指数; t_0 为假设理论生长起点年龄。

2 结果与分析

2.1 样本组成

2.1.1 体长体重构成 2017—2019 年共计 4 次采样,共采集 432 尾高原裸鲤进行研究(其中 267 尾雌鱼,165 尾雄鱼),体长范围为 3.1~35.6 cm,体重范围为 0.4~645.9 g,具体见表 1。

2.1.2 年龄结构 采集的高原裸鲤样本,雌性群体由 1~11 龄组成,雄性群体由 1~10 龄组成。图 1 表示的是年龄分布,可以看出雄鱼较为集中地分布在 6~8 龄,而雌鱼则集中在 5~9 龄,分别占比 39.85%和 62.18%。

2.2 生长特性

2.2.1 体长体重关系 高原裸鲤体长体重拟合关系式为: $W=0.0095L^{3.1514}$ ($R^2=0.9911$, $n=432$) (图 2),其中 $b=3.1514$,与“3”差异不显著,属于匀速生长,符合 von Bertalanffy 生长方程退算前提。

2.2.2 体长与耳石半径关系及体长退算 使用直线方程进行体长(L)与耳石半径(OR)拟合,拟合得到结果为 $OR=20.807L-8.701$ ($R^2=0.8876$, $n=270$) (图 3),根据耳石半径退算体长,如表 2 所示。

表 1 哲古错高原裸鲤统计数据
Tab. 1 Summary statistics for the *Gymnocypris waddelli* from Zhegu Lake

采样时间 sampling date	样本数 number of specimens	体长/cm body length		体重/g body weight		采样工具 sampling instrument
		最大值 maximum	最小值 minimum	最大值 maximum	最小值 minimum	
Sep. 2017	83	32.4	17.6	479.1	90.4	刺网 gill net
Jun. 2018	127	35.9	15.5	645.9	58.1	刺网 gill net
Sep. 2018	116	32.0	16.0	516.5	46.6	刺网 gill net
Jun. 2019	161	35.6	3.1	639.2	0.4	刺网 gill net, 地笼 cage net

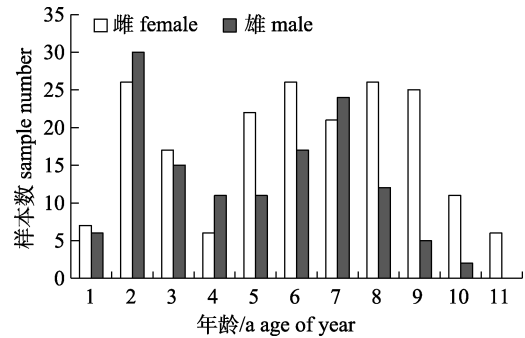


图 1 高原裸鲤渔获物年龄分布
Fig. 1 The distribution of age of *Gymnocypris waddelli*

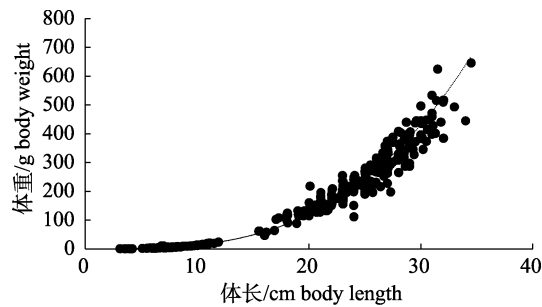


图 2 高原裸鲤体长与体重的关系
Fig. 2 The relation between body length and body weight of *Gymnocypris waddelli*

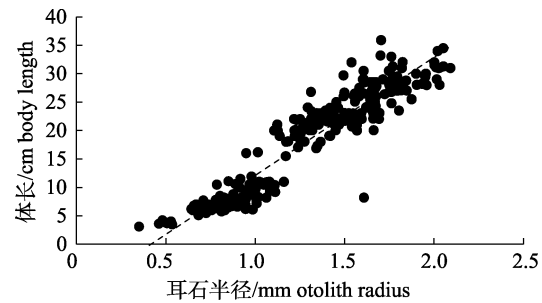


图 3 高原裸鲤体长与耳石半径的关系
Fig. 3 Regression linear for body length and otolith radius of *Gymnocypris waddelli*

2.2.3 生长方程与表观生长指数 哲古错高原裸鲤为匀速生长, 所以采用 von Bertalanffy 生长方

程分别对它体长、体重与年龄之间的关系进行描述, 协方差分析结果显示体长与年龄关系雌雄差异不显著($F=0.086, P>0.05$), 故拟合时未区分雌雄, 得到高原裸鲤体长增长方程(图 4): $L_t=410.159[1-e^{-0.149(t-0.620)}]$ ($R^2=0.952$); 协方差分析结果显示其体重与年龄关系雌雄差异不显著($F=0.106, P>0.05$), 故拟合时未区分雌雄, 依据体长体重拟合关系得到体重增长方程(图 5): $W_t=1114.233[1-e^{-0.149(t-0.620)}]^{3.1514}$ ($R^2=0.870$)。依据以上数据求得高原裸鲤表观生长指数 ϕ 为 4.399。

2.2.4 生长速度与生长加速度 高原裸鲤体长体重生长速度与加速度描述如下:

体长生长速度: $dL/dt=61.114e^{-0.149(t-0.620)}$
体长生长加速度: $d^2L/dt^2=-9.106e^{-0.149(t-0.620)}$
体重生长速度: $dW/dt=523.198e^{-0.149(t-0.620)}[1-e^{-0.149(t-0.620)}]^{2.1514}$
体重生长加速度: $d^2W/dt^2=77.254e^{-0.149(t-0.620)}[1-e^{-0.149(t-0.620)}]^{1.1514}[3.1514e^{-0.149(t-0.620)}-1]$

依据公式 $t_i=t_0+\ln(b/k)$, 求得高原裸鲤拐点年龄为 8.263, 此时生长速度最大, 与之对应的体长体重分别为 $L_i=27.826$ cm、 $W_i=333.811$ g。高原裸鲤体长生长速度随年龄增长而不断减小, 而结合生长加速度来看, 生长速度的递减趋势越来越慢, 具体如图 6 和图 7 所示; 其体重生长速度均为正值, 随年龄增长呈现先上升后下降的趋势, 在拐点年龄处具有明显的生长拐点, 在 8.263 龄后, 体重生长速度逐渐下降。约 14 龄之后, 体重生长加速度逐渐上升, 并趋近于 0, 具体如图 8 和图 9 所示。

2.2.5 生长指标 高原裸鲤生长指标如表 3 所示, 可以看出, 其生长速度随年龄生长而逐渐下降。

表 2 高原裸鲤样本的退算体长
Tab. 2 Back-calculated body length of *Gymnocypris waddelli*

年龄 age of year	退算体长/cm back-calculated body length										
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
1	3.46										
2	3.00	9.25									
3	3.70	9.22	11.64								
4	3.45	9.56	12.14	16.48							
5	3.23	11.22	13.85	16.27	19.56						
6	1.41	6.34	11.35	15.72	19.10	21.54					
7	1.79	6.78	11.92	16.19	19.45	21.99	23.98				
8	1.80	7.87	13.16	18.30	21.47	23.88	26.03	27.90			
9	0.75	5.40	11.57	17.00	20.72	23.49	25.80	27.79	29.14		
10	2.99	7.86	13.39	18.19	21.29	23.77	26.08	28.00	29.32	30.04	
11	2.17	8.47	14.76	18.13	21.49	24.56	27.50	30.08	31.96	32.89	33.35
退算平均体长/cm average of back-calculated body length	2.20	7.94	12.77	17.04	20.44	23.21	25.88	28.44	30.14	31.47	33.35
实测平均体长/cm average of back-measured body length	4.55	7.28	10.00	18.10	21.30	22.80	24.66	27.73	28.89	30.56	32.44
差值 difference	-2.36	0.66	2.77	-1.06	-0.86	0.41	1.22	0.71	1.25	0.91	0.92

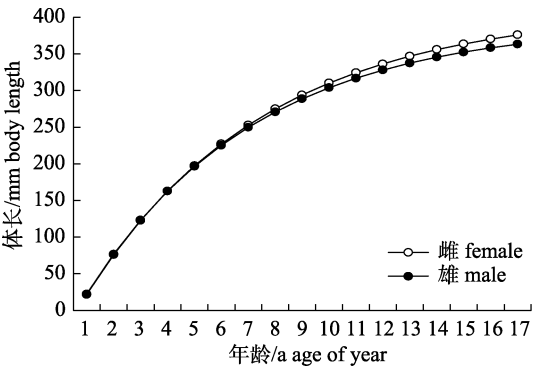


图 4 高原裸鲤体长生长曲线
Fig. 4 The growth curve of body length of *Gymnocypris waddelli*

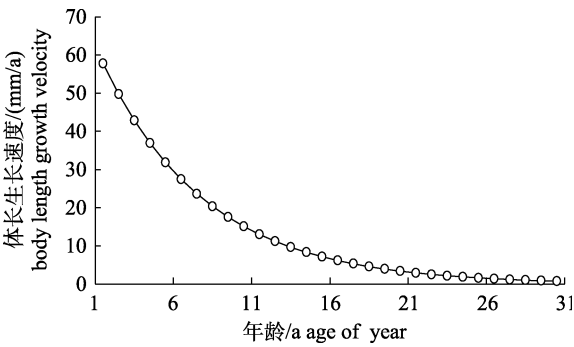


图 6 高原裸鲤体长生长速度曲线
Fig. 6 The growth velocity curve of body length of *Gymnocypris waddelli*

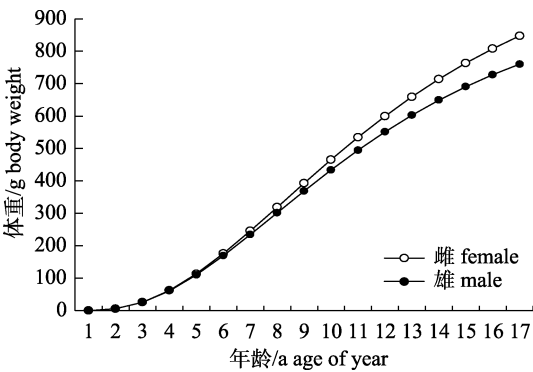


图 5 高原裸鲤体重增长曲线
Fig. 5 The growth curve of body weight of *Gymnocypris waddelli*

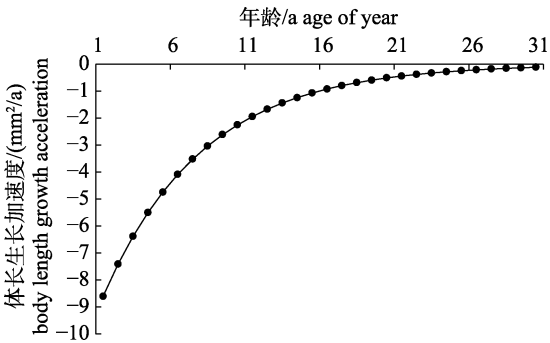


图 7 高原裸鲤体长生长加速度曲线
Fig. 7 The growth acceleration curve of body length of *Gymnocypris waddelli*

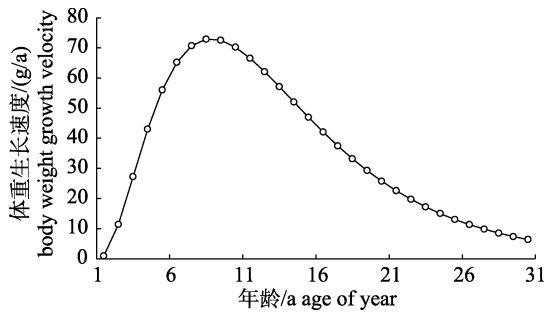


图 8 高原裸鲤体重增长速度曲线
Fig. 8 The growth velocity curve of body weight of *Gymnocypris waddelli*

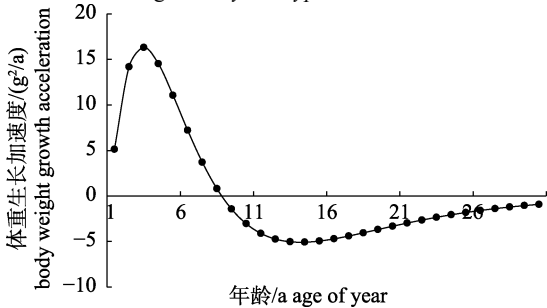


图 9 高原裸鲤体重增长加速度曲线
Fig. 9 The growth acceleration curve of body weight of *Gymnocypris waddelli*

表 3 高原裸鲤体长的生长指标

Tab. 3 Growth indexes of body length of <i>Gymnocypris waddelli</i>					
年龄 age of year	推算体长/cm back- calculated of body length	相对生 长率 relative growth rate	生长 比速 growth rate	生长 常数 growth constant	生长 指标 growth index
1	2.26				
2	7.62	2.37	1.22	1.82	2.75
3	12.25	0.61	0.47	1.18	3.61
4	16.23	0.33	0.28	0.99	3.45
5	19.66	0.21	0.19	0.86	3.11
6	22.62	0.15	0.14	0.77	2.75
7	25.16	0.11	0.11	0.69	2.41
8	27.36	0.09	0.08	0.63	2.10
9	29.25	0.07	0.07	0.57	1.83
10	30.88	0.06	0.05	0.51	1.59
11	32.28	0.05	0.04	0.47	1.37

3 讨论

3.1 高原裸鲤年龄结构

通常, 环境对鱼类产生的影响以及鱼类自身对于环境的适应可以在其年龄结构中有所体现^[9]。为保证年龄结构完整, 本研究在第 4 次采样中补

充地笼作为采样工具, 以补充小型个体。结果显示, 哲古错高原裸鲤最大年龄仅为 11 龄, 其中 6~8 龄鱼比例为 35%, 且 2 龄个体占比较大。与同样在高原湖泊生长的裂腹鱼相比, 错鄂裸鲤最大年龄可达 24 龄^[13], 色林错裸鲤最大年龄可达 29 龄^[14], 这表明哲古错高原裸鲤年龄组成结构简单。这与哲古错特殊而脆弱的生态生境有关: 哲古错作为典型的藏南内流湖泊, 仅有长度为 50 km 的业久曲作为唯一的入湖河长年有流水流入, 外源性营养供给缺乏, 同时, 由于补水不足, 存在退缩趋势, 生境条件仅能支撑小规模种群数量; 此外, 哲古错高原裸鲤种群年龄结构组成简单还可能与哲古错地处候鸟迁徙路线关系密切。现场调查显示, 哲古错高原裸鲤活动区域在冬春低水位时有大量水鸟活动, 而据文献, 哲古错所处的喜马拉雅山原湖盆宽谷区域有 75 种鸟类, 其中多为过境鸟^[15], 青海湖部分水鸟南迁路线会经过该区域^[16], 哲古错作为其中重要的湖泊湿地, 是多数水鸟选择的停留补给地。包括高原裸鲤在内的有限的哲古错水生生物, 在冬春季浅水位时成为过往候鸟重要的食物来源, 高强度的捕食压力使得哲古错高原裸鲤种群数量受限, 年龄组成结构简单。

3.2 高原裸鲤生长特性

生长系数 k 代表的是鱼类到达渐近体长 L_{∞} 的斜率参考值^[17], 哲古错高原裸鲤 k 值为 1.490, 相较于其他高原鱼类较大, 这可能与该地区捕获的高原裸鲤样本年龄结构较小有关。同为雅鲁藏布江流域生活的异齿裂腹鱼, Yao 等^[18]和马宝珊^[19]分别进行了研究, 结果表明, 年龄范围较小的一方, 其 k 值较大; 霍斌^[20]曾对尖裸鲤生长特性进行研究显示, 其年龄结构较小的雄性群体, k 值明显大于雌性群体。这表明, k 值大小很可能与捕获样本年龄结构相关, 无法直接使用 k 值断定高原裸鲤生长速度快慢。而相较于 k 值, 表观生长指数 ϕ 综合了 L_{∞} 和 k 值, 与生长速度正相关, 可以较为系统地对不同地理种群的生长性能进行描述^[12]。本文哲古错高原裸鲤表观生长指数 ϕ 为 4.399, 比高原湖泊生存的裂腹鱼都要高^[13-14, 21], 表明哲古错高原裸鲤与其他湖泊比较相对群体生

长速度较快,可能与以下情况有关:一是哲古错高原裸鲤年龄组成以低龄鱼为主,种群处于增长阶段;二是可能与哲古错周期性大面积干涸有关,据当地居民介绍,哲古错存在每 10 年左右发生一次大面积干涸的情况,本研究采样期间可能正处于干涸后的生态恢复期。需要进行继续采样观察来确证。

3.3 哲古错高原裸鲤资源保护

近年来,由于气候变化等原因,西藏南部内流湖泊退化趋势明显,使其特殊的湖泊生态完整性面临着被破坏的危险,为保证其可持续发展,必须维护湖泊生态系统的多样性与完整性。哲古错高原裸鲤在脆弱的高原湖泊生态系统中处于顶级消费者地位,但在青藏高原生态系统中又为越冬候鸟掠食,表明其不仅在高原湖泊生态系统乃至在高原生态系统中同样占据重要地位,对其开展有效的生态保护就显得尤为重要。哲古错高原裸鲤年龄组成结构及生长特性表明该种群已处于种群数量受限状态,建议采取以下措施开展保护工作:一是限制捕捞等人类活动,确保现存资源的数量;二是对唯一长年有流水的业久曲进行水量控制管理,控制上游过度开发农牧养殖用水,保护入湖河生境,确保高原裸鲤的产卵洄游通道及仔稚鱼栖息场所,确保资源补充群体的有效补充。

参考文献:

- [1] Bureau of Fisheries of Tibet Autonomous Region. Fishes and Fish Resources in Xizang, China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 107-108. [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: 107-108.]
- [2] Shi J Q, Qi H F, Yang J X, et al. Study on breeding biology of *Gymnocypris przewalskii*[J]. Qinghai Science and Technology, 2000, 7(2): 12-15. [史建全, 祁洪芳, 杨建新, 等. 青海湖裸鲤繁殖生物学研究[J]. 青海科技, 2000, 7(2): 12-15.]
- [3] Xiong F, Chen D Q, Liu S P, et al. Annuli characteristics of the different ageing materials of *Gymnocypris przewalskii* (Kessler)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(2): 185-191. [熊飞, 陈大庆, 刘绍平, 等. 青海湖裸鲤不同年龄鉴定材料的年轮特征[J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 185-191.]
- [4] Chen D Q, Zhang X, Xiong F, et al. Studies on growth characteristics of *Gymnocypris przewalskii* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(2): 173-179. [陈大庆, 张信, 熊飞, 等. 青海湖裸鲤生长特征的研究[J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 173-179.]
- [5] Tang Y T, Feng C G, Wanghe K Y, et al. Taxonomic status of a population of *Gymnocypris waddellii* Regan, 1905 (Cypriniformes: Schizothoracinae) distributed in Pengqu River, Tibet, China[J]. Zootaxa, 2016, 4126(1): 123-137.
- [6] Yang H Y, Huang D M, Chi S Y, et al. Reproductive biology of *Gymnocypris waddellii* Regan in Yanmdrok region[J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(2): 277-280. [杨汉运, 黄道明, 池仕运, 等. 羊卓雍错高原裸鲤(*Gymnocypris waddellii* Regan)繁殖生物学研究[J]. 湖泊科学, 2011, 23(2): 277-280.]
- [7] Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, et al. Red list of China's vertebrates[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(5): 501-551, 615. [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 501-551, 615.]
- [8] Chen Y F, He D K, Chen Y Y. Age discrimination of *Selincuo schizothoracini* (*Gymnocypris selincuoensis*) in Selincuo Lake, Tibetan Plateau[J]. Acta Zoologica Sinica, 2002, 48(4): 527-533. [陈毅峰, 何德奎, 陈宜瑜. 色林错裸鲤的年龄鉴定[J]. 动物学报, 2002, 48(4): 527-533.]
- [9] Yin M C. Fishery 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.]
- [10] Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 18-47. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 18-47.]
- [11] Pauly D. Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for Use with Programmable Calculators[M]. The WorldFish Center, 1984: 23-51.
- [12] 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.
- [13] Yang J S, Chen Y F, He D K, et al. Studies on age determination and growth characteristics of *Gymnocypris cuoensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(4): 378-387. [杨军山, 陈毅峰, 何德奎, 等. 错鄂裸鲤年轮与生长特征的探讨[J]. 水生生物学报, 2002, 26(4): 378-387.]
- [14] Chen Y F, He D K, Cao W X, et al. Growth of *Selincuo schizothoracini* (*Gymnocypris selincuoensis*) in Selincuo Lake, Tibetan Plateau[J]. Acta Zoologica Sinica, 2002, 48(5): 667-676. [陈毅峰, 何德奎, 曹文宣, 等. 色林错裸鲤的生长[J]. 动物学报, 2002, 48(5): 667-676.]
- [15] 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.]
- [16] Chu G Z, Hou Y Q, Zhang G G, et al. Satellite-tracking migration route of great black-headed gulls breeding at Qinghai Lake, China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 99-104. [楚国忠, 侯韵秋, 张国钢, 等. 卫星跟踪青海湖繁殖地渔鸥的迁徙路线[J]. 林业科学, 2008, 44(4): 99-104.]
- [17] Branstetter S. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern gulf of Mexico[J]. *Copeia*, 1987, 1987(4): 964-974.
- [18] Yao J L, Chen Y F, Chen F, et al. Age and growth of an endemic Tibetan fish, *Schizothorax o'connori*, in the Yarlung Tsangpo River[J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2009, 24(2): 343-345.
- [19] Ma B S. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax oconnori*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011: 39-54. [马宝珊. 异齿裂腹鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 39-54.]
- [20] Huo B. Study on the biology and population dynamics of *Oxygymnocypris stewartia*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014: 40-53. [霍斌. 尖裸鲤个体生物学和种群动态学研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 40-53.]
- [21] Gong J H, Wang J L, Li L, et al. Preliminary study on age and growth of *Schizothorax integrilabiatu*s in the Buqun Lake, Tibet[J]. *Freshwater Fisheries*, 2017, 47(6): 26-31. [龚君华, 王继隆, 李雷, 等. 西藏布裙湖全唇裂腹鱼年龄与生长的初步研究[J]. 淡水渔业, 2017, 47(6): 26-31.]

Age structure and growth characteristics of *Gymnocypris waddelli* in the Zhegu Lake, Tibet

TAN Bozhen, YANG Xuefen, YANG Ruibin

College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: *Gymnocypris waddelli* is one of the most important endemic fish species in the Zhegu Lake of Tibet. The age structure and growth characteristics of *G. waddelli* were investigated by examining 432 samples collected in Zhegu Lake from 2017 to 2019. The body length (L), body weight (W), otolith radius, and age were measured to describe the relationships between body length, body weight, and age. The results showed that the body length of *G. waddelli* ranged 3.1-35.6 cm and that body weight ranged from 0.4 to 645.9 g. Estimated age was between 1 and 11 years, and most individuals were 6 to 8 years of age (accounting for about 35% of the total samples). The relationship between body weight and body length was described by the linear equation, $W=0.0095L^{3.1514}$ ($R^2=0.9911$, $n=432$), which is consistent with uniform growth characteristics. There was no significant difference in the relationship between body length, body weight, and age between males and females ($P>0.05$). The growth pattern of *G. waddelli* was described by the von Bertalanffy equation as $L_t=410.159[1-e^{-0.149(t-0.620)}]$; $W_t=1114.233[1-e^{-0.149(t-0.620)}]^{3.1514}$. The inflection age of the growth curve occurred at 8.263 years at a body length of 27.826 cm and weight of 333.811 g. The apparent growth index was 4.399. The age structure of *G. waddelli* in Zhegu Lake is simplified and the population is in the growing period, which may be affected by the special geographical location and ecological habitat of Zhegu Lake. The purpose of this study was to provide basic data for the protection of this species in Tibet's fragile ecosystem. This study proposes to suggest measures to control water management in the river entering the lake and limit human activities such as fishing and tourism, so as to improve the ecological environment of Zhegu Lake and protect the population of *G. waddelli*.

Key words: Zhegu Lake; *Gymnocypris waddelli*; age structure; growth characteristics; Tibet

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