DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14510

西藏雅鲁藏布江双须叶须鱼的年龄结构与生长特征

杨鑫1,霍斌1,段友健1,马宝珊2,谢从新1

- 1. 华中农业大学 水产学院、湖北 武汉 430070;
- 2. 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430223

摘要:根据 2008–2009 年、2012 年以及 2013 年采自雅鲁藏布江水系的 956 尾样本对双须叶须鱼(Ptychobarbus dipogon)的年龄结构和生长特征进行研究。雌性渔获物体长范围为 146~569 mm,雄性渔获物体长范围为 167~506 mm,性别未辨渔获物体长范围为 78~297 mm;耳石上的年轮形成于每年的 3–6 月份;估算的雌性群体年龄范围为 3~24 龄,雄性群体年龄范围为 3~13 龄,性别未辨群体年龄范围为 2~6 龄。体长(L_s)—体重(W)方程分别为:W=2.494× $10^{-5}L_s^{-2.877}$ (雌性),W=2.790× $10^{-5}L_s^{-2.856}$ (雄性);拟合出来的 von Bertalanffy 生长方程为: L_i =606.9[1- $e^{-0.114(t+0.163)}$], W_i =2538.4[1- $e^{-0.114(t+0.163)}$]^{2.88}(雌鱼); L_i =496.3[1- $e^{-0.162(t-0.018)}$], W_i =1391.1[1- $e^{-0.162(t-0.018)}$]^{2.86}(雄鱼)。估算的雌鱼和雄鱼的拐点年龄分别为 9.1 龄和 6.5 龄,对应的体长和体重分别为 396.0 mm、743.6 g 和 322.5 mm、406.3 g。研究表明,双须叶须鱼种群结构趋向低龄化,可能受全球气候变化、生物入侵和过度捕捞等因素的影响。针对这些影响因素,本研究提出了相应的渔业管理措施。

关键词: 雅鲁藏布江; 双须叶须鱼; 年龄结构; 生长

中图分类号: S96 文献标志码: A 文章编号: 1005-8737-(2015)06-1085-10

双须叶须鱼(Ptychobarbus dipogon)隶属于鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),裂腹鱼亚科(Schizothoracinae),叶须鱼属,俗称双须重唇鱼,地方名花鱼。双须叶须鱼是高原底栖冷水性鱼类,仅分布在青藏高原雅鲁藏布江中游干支流中,常见于以砾石为底,水流较为平缓的清澈水域中[1],其食物主要由水生昆虫和底栖无脊椎动物组成,藻类和有机碎屑也占一定比重^[2],根据野外采样了解双须叶须鱼繁殖季节在每年的1—3月份,对其繁殖的其他信息还未见报道。近些年来,受过度捕捞和生物入侵等诸多因素的影响,当地双须叶须鱼的种群数量急剧下降,特别是大型个体较少见到。目前关于双须叶须鱼的研究主要集中于野外资源调查^[3-4]、系统发育^[5]、染色体多样性^[6]以及肌肉脂质^[7],但是基础生物学方面

的研究较少, Li 等^[8]报道了拉萨河中双须叶须鱼的耳石微结构特征及其年龄鉴定; Li 等^[9]对比分析了拉萨河下游和中上游双须叶须鱼群体在年龄结构、生长特性和死亡率方面的差异。本文根据采自雅鲁藏布江流域的 956 尾双须叶须鱼样本,以微耳石为年龄鉴定材料,对双须叶须鱼的年龄结构和生长特征进行研究,一方面丰富了双须叶须鱼的生物学资料,另一方面为制定渔业管理政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2008 年至 2009 年、2012 年以及 2013 年使用 三层流刺网(内层网目 7.5 cm, 外层网目 18 cm)、 定置刺网(网目 6 cm)和地笼(网目 1.5 cm), 主要在

收稿日期: 2014-12-09; 修订日期: 2015-01-22.

基金项目: 农业部行业专项(201203086).

作者简介:杨鑫(1989–),男,硕士研究生,研究方向为鱼类生态学. E-mail: yangxinhzau@163.com

通信作者: 谢从新, 男, 教授, 主要从事渔业资源和渔业环境研究. E-mail: xiecongxin@mail.hzau.edu.cn

雅鲁藏布江谢通门县至仁布县江段及其支流香曲和年楚河,少数个体采自拉孜县、尼木县境内,共采集 956 尾样本(图 1,表 1)。样本在新鲜状态下进行常规生物学测量和性别鉴定、测量了

体长(standard length, L_s)和体重(body weight, W), 长度精确到 1 mm, 重量精确到 0.1 g。取左右微 耳石, 用 95%酒精进行清洗, 自然晾干后放入 0.5 mL 离心管中保存。



图 1 雅鲁藏布江中双须叶须鱼的采样地点示意图

Fig. 1 Sampling location of P. dipogon in the Yarlung Tsangpo River

表 1 雅鲁藏布江双须叶须鱼样本统计

Tab. 1 Samples collected for statistic analysis of *P. dipogon* in the Yarlung Tsangpo River

时间 time		雌性 female		雄性 1	male	性别未辨 undetermined	
年份 year	月份 month	体长 L _s	数量 number	体长 Ls	数量 number	体长 Ls	数量 numbe
	10	249~510	15	254~326	13	247~256	3
2008	11	221~459	21	254~439	12	246~265	2
	12	171~408	18	256~392	14	80~256	15
	1	146~385	20	211~342	10	110~206	3
	2	168~554	16	258~339	17	88~264	16
	3	259~569	23	286~434	11	83~111	4
	4	228~494	16	262~506	19		
2009	5	273~418	31	265~362	14		
	6	288~382	4	299~355	13	297	1
	7	258~413	23	251~371	23	78~210	5
	8	248~411	34	233~337	35	101~191	35
	9	233~452	17	267~376	12	249	1
	4	175~465	45	243~405	19	144~292	30
2012	5	162~442	97	177~365	54	144~275	47
	6	186~346	10	206~325	5	110~256	11
	7	154~457	43	167~334	27	132~246	23
2013	3	187~404	22	325~359	5	196~286	4

1.2 耳石处理

将微耳石的背面朝上,用热熔胶固定于载玻片上、水磨砂纸(600[#]~2000[#])打磨,并随时在光学

显微镜下观察。当打磨至耳石中心核时翻面,使用透明的指甲油包埋、水磨砂纸打磨和剖光纸剖光、直至耳石核区清晰为止。耳石磨片在显微镜

(Olympus BX51)下观察, 并采用与计算机连接的 图像分析系统(Ratoc System Engineering, Tokyo) 拍照、计数轮纹。

1.3 数据处理分析

1.3.1 年龄鉴定 统一采用左侧微耳石作为年龄鉴定材料。年龄确定采用同一研究者对每尾鱼进行 2 次独立读龄(间隔 15 d 以上),如果两次读龄结果一致,则采用此年龄鉴定结果,如果不一致,则再进行第 3 次读龄,如果第 3 次读龄结果与前两次中的一次结果一致,则采用第 3 次年龄鉴定结果,如果都不一致,则将此样本舍去。用平均百分比误差(IAPE)和变异系数(CV)来判断年龄鉴定材料的精确度。

IAPE_j =
$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \left(\frac{1}{R} \sum_{i=1}^{R} \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right) \times 100\%$$

$$CV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{R} (X_{ij} - X_{j})^{2} / (R - 1)}}{X_{j}} \times 100\%$$

式中 N 为用于年龄鉴定鱼的数量, R 为每条鱼鉴定的次数, X_{ij} 为第 j 尾鱼的第 i 次年龄鉴定结果, X_{j} 为第 j 尾鱼的平均年龄。

1.3.2 年轮形成周期 采用边缘增长率(marginal increment ratio, MIR)分析来研究耳石年轮形成周期。通过以下公式计算 1~8 龄耳石边缘增长率的月变化:

$$MIR = (R - R_n)/(R_n - R_{n-1})$$

式中 R 为耳石半径, R_n 为耳石中心到最后一个轮纹的距离, R_{n-1} 为耳石中心至倒数第二个轮纹的距离。

- 1.3.3 体长-体重关系 体长-体重关系采用幂函数 $W = a \times L_s^b$ 进行回归分析,式中 W 为体重, L_s 为体长,a、b 为常数,将体长和体重进行自然对数转换,然后采用协方差分析(ANCOVA)检验体长和体重关系是否存在性别差异。采用 t 检验分析异速生长指数(b)是否与理论的匀速生长值 3 之间存在差异 $^{[10]}$,从而判断双须叶须鱼是否匀速增长。
- 1.3.4 生长方程 采用 von Bertalanffy 生长方程 (VBGF)描述双须叶须鱼的生长特性,其表达式: $L_t = L_{\infty}[1-e^{-k(t-t_0)}]; W_t = W_{\infty}[1-e^{-k(t-t_0)}]^b;$ 拐点年龄: $t_i = \ln b/k + t_0$; 体长和体重的生长速度方程: $dL/dt = \frac{1}{2}$

 $L_{\infty} k \, \mathrm{e}^{-k(t-t_0)}$, $\mathrm{d}W/\mathrm{d}t = bW_{\infty} \, \mathrm{e}^{-k(t-t_0)} \, [1 - \mathrm{e}^{-k(t-t_0)}]^{b-1}$;体长和体重的生长加速度方程: $\mathrm{d}^2L/\mathrm{d}t^2 = -L_{\infty}k^2 \, \mathrm{e}^{-k(t-t_0)}$, $\mathrm{d}^2W/\mathrm{d}t^2 = bW_{\infty}k^2 \, \mathrm{e}^{-k(t-t_0)} \, [1 - \mathrm{e}^{-k(t-t_0)}]^{b-2} \, [b\mathrm{e}^{-k(t-t_0)} - 1]$ 。式中:t 为年龄, L_t 和 W_t 为 t 龄时的平均体长和平均体重, L_{∞} 和 W_{∞} 为渐近体长和渐进体重,k 为生长系数, t_0 为体长为 0 时的年龄。采用残差平方和分析法(ARSS)检验双须叶须鱼的生长是否存在性别差异[11]。采用表观生长指数($\phi=1gk+21gL_{\infty}$)来比较不同研究论文中估算的生长参数[12]。

数据用平均数±标准差(\bar{x} ±SD)表示。统计分析和图像处理采用 SPSS 19.0 (IBM, Armonk, NY, USA)和 Lab Origin pro 8.5 (Originlab, Northampton, MA, USA)和 Photoshop CS5 Extended (Adobe, San Jose, CA, USA)。统计显著性设为 α =0.05。

2 结果与分析

2.1 体长分布

双须叶须鱼群体体长分布见图 2。双须叶须鱼群体的体长分布介于 78~569 mm,均值为(277.4±75.5) mm。其中优势体长组集中在 200~380 mm,占群体总数的 79.2%。体长在 200 mm 以下个体比例为 14.3%,体长 400 mm 以上的个体数量较少,仅为群体总数的 4.6%。956 尾样本中,雌鱼 455尾,体长分布范围为 146~569 mm,优势体长组集中在 220~380 mm,占雌鱼群体总数的 80.2%;雄鱼 303 尾,体长分布范围为 167~506 mm,优势体长组集中在 240~360 mm,占雄性群体总数的 87.5%;性别未辨个体 198 尾,体长分布范围为 78~297 mm,优势体长组范围为 150~250 mm,占性别未辨群体总数的 64.6%。雌雄体长分布存在显著性差异(Mann-Whitney U 检验,Z=2.668, P<0.05)。

2.2 年轮特征

双须叶须鱼微耳石磨片程不规则的椭圆形,从核心区域向外颜色逐渐变浅。在透射光下耳石磨片呈现硬骨鱼类典型的年轮特征——透明的宽带和不透明的窄带,分别对应的是生长快速期和生长缓慢期;通常前8个年轮间距由核心到外缘逐渐减小且差异性较大,第9个年轮之后的差异性不显著(图3)。

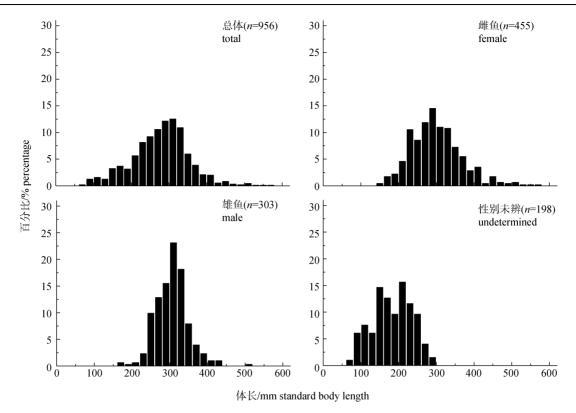


图 2 双须叶须鱼体长频率分布图

Fig. 2 Distributions of the standard length frequency of P. dipogon

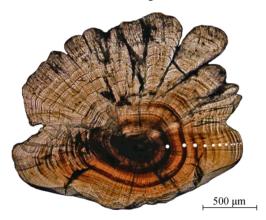


图 3 双须叶须鱼微耳石磨片的年轮特征

Fig. 3 The characteristics of annuli on sectioned lapillus of *P. dipogon*

2.3 年轮形成周期

 $1\sim8$ 龄鱼耳石磨片的边缘增长率(MIR)从 6 月 开始上升一直到次年 2 月达到峰值(0.734 ± 0.144), 随后从 3 月开始下降,直到 5 月达到最低水平(0.265 ± 0.243),各月份之间存在显著性差异(One-Way ANOVA, F=43.532, P<0.05)。1月 MIR 与 4-6 月 MIR 有显著性差异,而与 2-3 月、10-12 月无显著性差异。双须叶须鱼耳石边缘增长率在

一年中呈现一个完整的波动周期,其在 4 月至 6 月之间保持较低水平(图 4), 3 月份已有部分耳石出现新轮纹。这表明双须叶须鱼耳石每年形成一个年轮、年轮形成于每年的 3-6 月。

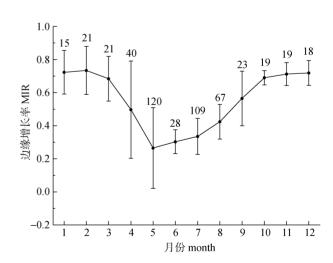


图 4 双须叶须鱼 1~8 龄微耳石边缘增长率的月变化 误差短线上数字表示当月样本数.

Fig. 4 Mean monthly MIR for lapillus otoliths of *P. dipogon* with 1–8 annuli

Numbers above bars represent sample number.

2.4 年龄结构

用于年龄鉴定的样本有 874 尾, 成功鉴定年龄的有 862 尾, 其中包括 403 尾雌鱼, 266 尾雄鱼和 193 尾性别未辨个体, 鉴定成功率为 98.6%。两次年龄鉴定结果的平均百分比误差(1.16%)和变异系数(2.40%)都较低, 反映出微耳石的年龄鉴定结果具有较高的稳定性。双须叶须鱼群体年龄结构见图 5。群体中最大年龄为 24 龄, 最小年龄为

2 龄。雌鱼年龄范围为 3~24 龄, 雄鱼年龄范围为 3~13 龄, 性别未辨个体年龄范围为 2~6 龄。4~6 龄是群体的优势年龄组(69.4%)。

2.5 体长和体重关系

双须叶须鱼的体长和体重分布如图 6 所示。 将双须叶须鱼雌性个体、雄性个体、性别未辨个 体和总体的体长和体重数据分别拟合幂函数公式, 所得公式如下:

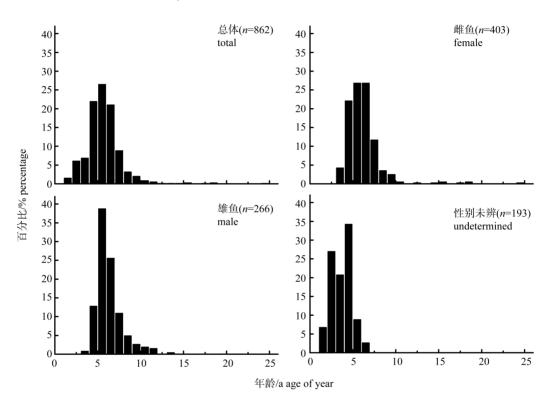


图 5 双须叶须鱼年龄组成图

Fig. 5 Age frequency composition of *P. dipogon*

雌性: W=2.494×10⁻⁵L_s^{2.877}(R²=0.974, n=455) 雄性: W=2.790×10⁻⁵L_s^{2.856}(R²=0.936, n=303) 性别未辨: W=2.456×10⁻⁵L_s^{2.878}(R²=0.964, n=198)

总体: $W=2.387\times10^{-5}L_s^{2.884}(R^2=0.974, n=956)$

式中: W 为体重(g), L_s 为体长(mm)。协方差分析(ANCOVA)表明,双须叶须鱼雌雄个体间体长和体重关系无显著性差异(F=2.512, P>0.05),故将雌雄数据合并对其总体进行拟合。估算的总体的异速生长指数 b 值与 3 存在显著性差异(t=10.495, P<0.05)。因此,双须叶须鱼为异速增长。

2.6 生长方程

双须叶须鱼雌鱼、雄鱼和性别未辨个体的各年龄组的实测体长信息见表 2。由于 3~5 龄雌鱼、雄鱼同一年龄组的平均实测体长没有显著性差异,所以将性别未辨的全部个体(除 6 龄外)加入雌鱼和雄鱼数据中进行生长方程的拟合(图 7)。拟合的双须叶须鱼体长 von Bertalanffy 生长方程:

雌鱼: L_t =606.9[1- $e^{-0.114(t+0.163)}$] (R^2 =0.915) 雄鱼: L_t =496.3[1- $e^{-0.162(t-0.018)}$] (R^2 =0.923)

将估算的异速生长指数(b)以及体长生长方程的相关系数代入体重生长方程,然后分别拟合雌

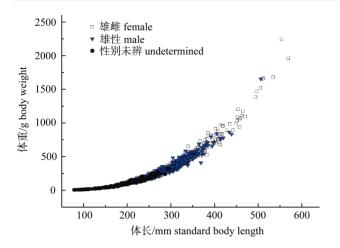


图 6 双须叶须鱼体长-体重关系图

Fig. 6 Length-body weight relationships of P. dipogon

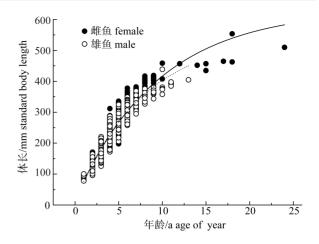


图 7 双须叶须鱼体长与耳石读龄的 von Bertalanffy 生长曲线 Fig. 7 The von Bertalanffy growth curve of *P. dipogon* with the observed standard body length at age estimated from otoliths

表 2 双须叶须鱼不同年龄组的样本数和平均体长

Tab. 2 Number of specimens and standard body length at different ages of P. dipogon

	ned			
	性别未辨 undetermined			
$\overline{x} \pm SD$	范围 range			
98.7±10.0	78~120			
60.9±23.2	114~221			
16.1±22.4	172~272			
43.5±19.7	206~275			
73.6±15.1	256~292			
	60.9±23.2 16.1±22.4 43.5±19.7			

性和雄性的体重生长方程, 所得体重 von Bertalanffy 生长方程:

雌鱼: W_t =2538.4[1-e^{-0.114(t+0.163)}]^{2.88} 雄鱼: W_t =1391.1[1-e^{-0.162(t-0.018)}]^{2.86}

雌鱼和雄鱼的表观生长指数(\emptyset)分别为 4.6231 和 4.6010。

2.7 生长速度和加速度

通过对双须叶须鱼雌雄个体体长和体重的生 长方程进行一阶求导和二阶求导、分别获得其体

长和体重的生长速度和加速度方程:

雌鱼:

$$\begin{split} & dL/dt = 69.4e^{-0.114(t+0.163)} \\ & d^2L/dt^2 = -7.9e^{-0.114(t+0.163)} \\ & dW/dt = 835.3e^{-0.114(t+0.163)} [1 - e^{-0.114(t+0.163)}]^{1.88} \\ & d^2W/dt^2 = 95.5e^{-0.114(t+0.163)} [1 - e^{-0.114(t+0.163)}]^{0.88}. \\ & [2.88e^{-0.114(t+0.163)} - 1] \end{split}$$

雄鱼:

$$dL/dt = 80.6e^{-0.162(t-0.018)}$$

$$d^{2}L/dt^{2} = -13.1e^{-0.162(t-0.018)}$$

 $\frac{dW/dt=645.1e^{-0.162(t-0.018)}[1-e^{-0.162(t-0.018)}]^{1.86}}{d^2W/dt^2=104.8e^{-0.162(t-0.018)}[1-e^{-0.162(t-0.018)}]^{0.86}}.$ [2.86e^{-0.162(t-0.018)} -1]

双须叶须鱼雌性体长和体重的生长速度和加速度变化趋势与雄性的类似(图 8)。体长生长速度和加速度都不具有拐点,生长速度随年龄的增大而递减,且递减的速度逐渐放缓;生长加速度一直为负数,随年龄增加而递增,说明双须叶须鱼体长生长速度

出生时最大,随着年龄增大体长生长速度减小。体重生长速度和加速度具有先上升后下降的特性,当体重生长加速度为 0 时,体重生长速度达到最大值,该点是体重生长的拐点,对应的年龄即拐点年龄(*t_i*)。估算的雄性拐点年龄为 6.5 龄,对应的体长和体重分别为 322.5 mm 和 406.3 g;估算的雌性拐点年龄为 9.1 龄,对应的体长和体重分别为 396.0 mm 和 743.6 g。

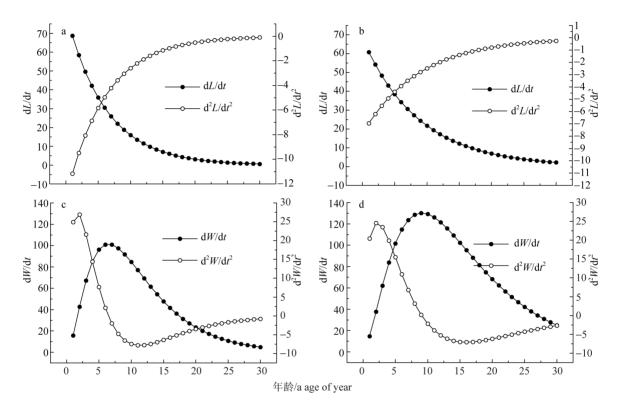


图 8 双须叶须鱼雄鱼(a, c)和雌鱼(b, d)体长体重生长速度和加速度

Fig. 8 Growth rate and growth acceleration of the standard length and weigth of male (a, c) and female (b, d) P. dipogon

3 讨论

3.1 双须叶须鱼种群年龄结构趋向低龄化

Li 等^[9]报道了依据 2004-2006 年, 采自拉萨河的双须叶须鱼, 其雌雄群体的年龄结构分别为 2~45 龄和 2~24 龄。而本研究发现栖息于雅鲁藏布江中游双须叶须鱼雌雄群体的年龄结构分别为 3~24 龄和 3~13 龄。雅鲁藏布江双须叶须鱼群体年龄结构趋于简单。造成这种现象的原因主要有两方面。首先, 对双须叶须鱼资源的过度捕捞。近些年来, 随着西藏当地经济和交通的发展, 大量外来人口涌入西藏以及藏鱼外运业务的发展,

这使得当地对野生水产品的需求量急剧增长。根据我们 2002 年以来的监测调查, 2005 年之前渔民主要捕捞对象为黑斑原鮡(Glyptpstemon macultum),造成黑斑原鮡资源急剧下降, 2005 年之后,主要渔业对象改为裂腹鱼类,网具的选择性作用使较大的个体首先遭受捕捞,从而造成种群主要由低龄鱼组成。其次,采样点环境的差异性。本研究的样本采自于雅鲁藏布江中游江段,而 Li 等^[9]的样本采自于雅鲁藏布江最大的支流拉萨河,两地水文条件不同使得栖息地环境、产卵场和饵料生物的分布不同,从而间接引起鱼类种群结构的改变。

3.2 双须叶须鱼耳石年轮形成特征

本研究表明双须叶须鱼微耳石不透明带形成 干每年的春季和初夏, 而透明带则形成干每年的 冬季、这与 Li 等^[8]报道的双须叶须鱼微耳石年轮 形成时间一致。此外、栖息于同一流域的其他裂 腹鱼类[异齿裂腹鱼(Schizothorax o'connori)[13]、 尖裸鲤(Oxvgymnocypris stewartii)[14]、拉萨裸裂尻 鱼(Schizothorax younghusbandi)[15]、拉萨裂腹鱼 (Schizothorax waltoni)[16]也观察到了类似的现 象。栖息水域水温的改变可能影响双须叶须鱼微 耳石年轮的形成,冬季较低的水温使得双须叶须 鱼的新陈代谢活动显著性降低、鱼类由夏秋季节 的生长快速期进入冬季的生长缓慢期, 这可能导 致微耳石透明带的形成, 野外采集的数据显示, 双须叶须鱼栖息水域 2 月份平均水温只有 2 摄氏 度, 而到 5 月份的时候平均水温已经达到 12 摄氏 度、水温的骤升使得鱼类新陈代谢活动显著性提 高, 鱼类由冬季的生长缓慢期向快速生长期过度, 从而导致微耳石形成不透明的暗带。

3.3 生长参数比较

通过与 Li 等^[9]所估算的生长参数进行对比,我们发现本研究所估算的生长参数偏大(表 3)。造成估算的生长参数产生差异的原因主要有以下几方面: (1)采样点的不同,本研究样本全部采集于雅鲁藏布江谢通门县至仁布县江段(海拔 3700~3900 m),而 Li 等^[9]的样本采集于雅鲁藏布江最大的支流拉萨河(海拔 3600 m)。Wootton^[17]指出即使同一物种,由于地理分布不同也可能存在高度可变得个体增长率。栖息地水域环境的差异性可能导致 2 采样点间双须叶须鱼生长特征的不同; (2)建立生长方程时使用的年龄组不同,本研究中,雌性使用 3~24 龄组,雄性使用 3~13 龄组,而 Li 等^[9]则雌性使用 4~32 龄组,雄性使用 5~24 龄组;(3)采集样本的体长分布不同。

表 3 不同文献中裂腹鱼类生长参数比较

Tab. 3 Comparison of growth characters of Schizothoracinae fishes in different studies

种类 species	采集地点 sampling region	性别 sex	L_{∞} /mm	k/a^{-1}	t_0	φ	文献来源 sources	
异齿裂腹鱼	雅鲁藏布江	\$	576.9	0.081	-0.946	4.4307	[13]	
Schizothorax o'connori	Yarlung Tsangpo River	3	499.7	0.095	-0.896	4.3751		
尖裸鲤	雅鲁藏布江	\$	618.2	0.106	0.315	4.6076	[14]	
Oxygymnocypris stewartii	Yarlung Tsangpo River	3	526.8	0.141	0.491	4.5926		
拉萨裸裂尻鱼	雅鲁藏布江 Yarlung Tsangpo River	\$	433.9	0.194	-0.397	4.5616	[15]	
Schizothorax younghusbandi		3	338.4	0.233	-0.403	4.426		
	拉萨河 Lhasa River	\$	598.7	0.09	-0.726	4.5076	[9]	
双须叶须鱼		3	494.2	0.12	-0.73	4.4659		
Ptychobarbus dipogon	雅鲁藏布江	2	606.9	0.114	-0.163	4.6231	本研究 this study	
	Yarlung Tsangpo River	3	496.3	0.162	0.018	4.601	本WI九 IIIIS Study	

注: 取样材料为耳石.

Note: The sampling material was otolith.

3.4 渔业管理

双须叶须鱼仅分布在雅鲁藏布江中上游及各支流中,生活地理环境的特殊性使其对外界的扰动十分敏感,种群资源一旦遭到破环将很难恢复。雅鲁藏布江中渔业资源下降明显^[18],可能与全球气候变化、生物入侵和过度捕捞的有关。对此,我们提出以下几点措施来保护双须叶须鱼种群资源。首先,进一步加强双须叶须鱼的研究工

作。目前关于双须叶须鱼生态学方面的研究甚少,仅见对其生活史方面的零星报道,而对其种群资源量、入侵种的生态影响以及气候变化的生态影响等方面的研究仍为空白,加强这些方面的研究将为双须叶须鱼的保护以及制定科学的管理政策提供参考数据。其次,健全政策法规和加强渔业管理,切实降低当地的捕捞强度。根据相关研究资料逐步建立并完善地方性渔业资源保护和利用

的相关法规体系,同时应大力引进具有水产专业背景的人才,完善当地渔业管理机构,从而保证渔政管理工作在相关法规的指导下顺利开展。此外,综合采取设置禁渔期和禁渔区,建立捕捞量限额制度以及限制渔具、捕捞方式等措施切实并遭败。由为充型过度捕捞现象的出现,以利于其种群资源的恢复。再次,控制外来鱼类。加强人工种群资源的恢复。再次,控制外来鱼类。同时,做好来鱼类对西藏土著鱼类危害的宣传工作,引导藏民同胞放生土著鱼类,减少或不放生外来鱼类。最后,建立风险规避措施。依据双须叶须鱼相关研究数据,建立计算机仿真模型,对当前渔业管理政策进行风险评估,针对评估结果制定行之有效的风险规避措施。

参考文献:

- [1] Wu Y F, Wu C Z. Fish of the Qinghai-Tibet plateau[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1992. [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.]
- [2] Ji Q. The study on the morphology of feeding organs and the feeding habits of six schizothoracine fishes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008. [季强. 六种裂腹鱼类摄食消化器官形态学与食性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.]
- [3] Yang H Y, Huang D M. A preliminary investigation on fish fauna and resources of the upper and middle Yalu Tsangpo River[J]. Journal of Huazhong Normal University (Nat. Sci.), 2011, 45(4): 629–633. [杨汉运, 黄道明. 雅鲁藏布江中上游鱼类区系和资源状况初步调查[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2011, 45(4): 629–633.]
- [4] Chen F, Chen Y F. Investigation and protection strategies of fishes of Lhasa River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(2): 278–285. [陈峰,陈毅峰. 拉萨河鱼类调查及保护[J]. 水生生物学报. 2010, 34(2): 278–285.]
- [5] He D K, Chen Y F, Chen Y Y, et al. Molecular phylogeny of the specialized schizothoracine fishes and uplift of the Qinghai-Xizang plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(22): 2354–2362. [何德奎,陈毅峰,陈宜瑜,等. 特化等级裂腹鱼类的分子系统发育与青藏高原隆起[J]. 科学通报, 2003, 48(22): 2354–2362.]
- [6] Wu Y F, Kang B, Men Q, et al. Chromosome diversity of

- Tibetan fishes[J]. Zoological Research, 1999, 20(4): 258–264. [武云飞, 康斌, 门强, 等. 西藏鱼类染色体多样性的研究 [J]. 动物学研究, 1999, 20(4): 258–264.]
- [7] Luo S, Bu D, Dan Z, et al. Fatty acid composition and nutrition evaluation in muscle of three freshwater fishes[J]. Freshwater Fisheries, 2009, 39(6): 74–76. [洛桑, 布多, 旦增, 等. 3 种淡水鱼肌肉脂质的组成及营养评价[J]. 淡水渔业, 2009, 39(6): 74–76.]
- [8] Li X Q, Chen Y F, He D K, et al. Otolith characteristics and age determination of an endemic *Ptychobarbus dipogon* (Regan, 1905) (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the Yarlung Tsangpo River, Tibet[J]. Environ Biol Fish, 2009, 86(1): 53–61.
- [9] Li X Q, Chen Y F. Age structure, growth and mortality estimates of an endemic *Ptychobarbus dipogon* (Regan, 1905) (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the Lhasa Rever, Tibet[J]. Environ Biol Fish, 2009, 86(1): 97–105.
- [10] Pauly D. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators[J]. ICLARM Tech Rep, 1984(8): 325.
- [11] Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49(6): 1228–1235.
- [12] Munro J D, Pauly D. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates[Z]. Fishbyte, 1983(1): 5–6.
- [13] Ma B S, Xie C X, Huo B, et al. Age and growth of a long-lived fish *Schizothorax o'connori* in the Yarlung Tsangpo River, Tibet[J]. Zool Stud, 2010, 49(6): 749–759.
- [14] Huo B, Xie C X, Ma B S, et al. Age and growth of Oxygym-nocypris stewartii (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the Yarlung Tsangpo River, Tibet, China[J]. Zool Stud, 2012, 51(2): 185–194.
- [15] Duan Y J, Xie C X, Zhou X J, et al. Age and growth characteristics of *Schizopygopsis younghusbandi* Regan, 1905 in the Yarlung Tsangpo River in Tibet, China[J]. J Appl Ichthyol, 2014, 30(5): 948–954.
- [16] Zhou X J. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax waltoni*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014. [周贤君. 拉萨裂腹鱼个体生物学和种群 动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.]
- [17] Wootton R J. Ecology of teleost fishes[M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [18] Yang H Y, Huang D M, Xie S, et al. Status quo of fishery resources in the middle reach of Brahmaputra river[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(6): 120–126. [杨汉运, 黄道明, 谢山, 等. 雅鲁藏布江中游渔业资源现状研究[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(6): 120–126.]

Age structure and growth characteristics of *Ptychobarbus dipogon* in the Yarlung Tsangpo River, Tibet

YANG Xin¹, HUO Bin¹, DUAN Youjian¹, MA Baoshan², XIE Congxin¹

- 1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
- 2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract: Ptychobarbus dipogon is one of the most important endemic fish species in the upper and middle reaches of the Yarlung Tsangpo River. However, P. dipogon populations have declined sharply in recent years and their biology is poorly understood. To better understand the biology of *P. dipogon* and their relationship with management, we describe the relationships between standard length and body weight and age, verify annual growth of lapilli otolith annuli, and estimate P. dipogon growth. The age structure and growth characteristics of P. dipogon were investigated by examining 956 specimens collected in the Yarlung Tsangpo River during 2008-2009 and 2012-2013. Standard lengths were 146-569 mm in females, 167-506 mm in males, and 78-297 mm in some undetermined specimens. Otolith annuli formed from March-June each year. Estimated ages were 3-24 years in females, 3-13 years in males, and 2-6 years in undetermined specimens, respectively. The standard length-body weight relationships were described by $W=2.494 \times 10^{-5}$ $10^{-5}L_{\rm s}^{2.877}$ for females and $W=2.790\times10^{-5}L_{\rm s}^{2.856}$ for males. The von Bertalanffy growth equations were: $L_t=606.9[1$ $e^{-0.114(t+0.163)}$ and $W_t=2538.4[1-e^{-0.114(t+0.163)}]^{2.88}$ for females and $L_t=496.3[1-e^{-0.162(t-0.018)}]$ and $W_t=1391.1[1-e^{-0.162(t-0.018)}]^{2.86}$ for males. The growth inflexion points were 9.1 years for females and 6.5 years for males, and the corresponding standard lengths and body weights were 396.0 mm and 743.6 g for females and 322.5 mm and 406.3 g for males, respectively. Our results show that the P. dipogon population tended to be younger. Climate changes, biological invasion, and over-exploitation could be the main factors threatening P. dipogon stocks. The sound management policies proposed in this study should be implemented to conserve P. dipogon populations.

Key words: Yarlung Tsangpo River; *Ptychobarbus dipogon*; age structure; growth **Corresponding author:** XIE Congxin. E-mail: xiecongxin@mail.hzau.edu.cn