

巨须裂腹鱼年龄与生长的初步研究

朱秀芳 陈毅峰*

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072; 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要: 巨须裂腹鱼 (*Schizothorax macropogon*) 是雅鲁藏布江的重要经济鱼类。作者利用 2004~2006 年在雅鲁藏布江水系收集的 293 尾样本, 以背鳍条磨片作为主要鉴定年龄的材料, 对西藏雅鲁藏布江巨须裂腹鱼种群进行了年龄结构和生长特性的研究。结果表明, 巨须裂腹鱼的雅鲁藏布江种群由 2~14 龄和 16 龄共 14 个龄组组成。其中优势龄组为 4~6 龄 (占 74.85%)。群体总性比为 () = 1 0.881。体长与体重的关系方程分别为: $W = 0.023L^{2.904}$ (), $W = 0.018L^{2.962}$ (), 属于匀速生长类型。用 von Bertalanffy 方程描述的生长方程分别为: $L_t = 65.676 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]$, $W_t = 4 520.633 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]^{2.904}$; $L_t = 49.622 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]$, $W_t = 2 034.481 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]^{2.962}$ 。雌、雄个体生长的拐点年龄分别为 16.6 龄和 10.7 龄, 对应的体长及体重分别为 43.06 cm、1 326.75 g () 和 32.86 cm、600.31 g ()。

关键词: 巨须裂腹鱼; 特有鱼类; 年龄; 生长; 雅鲁藏布江

中图分类号: Q954, Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)03-76-07

Preliminary Study on the Age and Growth Characteristics of *Schizothorax macropogon*

ZHU Xiur-Fang CHEN Yi-Feng*

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;
The Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Schizothorax macropogon* is one of the most important commercial species in the Yarlung Zangbo River. We aged all the specimens and indentified growth characteristics by examining 293 specimens collected in the Yarlung Zangbo River during 2004 and 2006 based on dorsal fin ray sections. The specimen was formed by 14 age groups from age 2 to age 14 and age 16. The most proportion of the specimen were formed by individuals age 4 to age 6, accounting 74.85% to the total specimen examined. Sex ratio () was 1 0.881. The relationship between standard body length and weight was described by formula $W = 0.018L^{2.962}$ for males and $W = 0.023L^{2.904}$ for females respectively. Therefore, the growth of *S. macropogon* was in a constant speed which can be described with von Bertalanffy equation, $L_t = 49.622 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]$, $W_t = 2 034.481 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]^{2.962}$ for males and $L_t = 65.676 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]$, $W_t = 4 520.633 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]^{2.904}$ for females. The growth inflexion points were 10.7 years and 16.6 years for males and females respectively with the corresponding standard body lengths 32.86 cm (), 43.06 cm () and body weights of 600.31 g (), 1 326.75 g () .

基金项目 中国科学院创新方向性项目 (No. KSCX2-SW-125), 国家自然科学基金项目 (No. 30471345);

*通讯作者, E-mail: chenyf@ihb.ac.cn;

第一作者介绍 朱秀芳, 女, 博士研究生, 研究方向: 鱼类生态学; E-mail: zhuxiufang@ihb.ac.cn。

收稿日期: 2008-09-05, **修回日期:** 2009-02-12

Key words: *Schizothorax macropogon*; Endemic fish; Age; Growth; The Yarlung Zangbo River

裂腹鱼亚科为特产于亚洲高原地区的一群鲤科鱼类,它们的共同特征是具有臀鳞,并由此形成了腹部中线上的一条裂缝,故称“裂腹鱼”。裂腹鱼类适应于高原地区水体环境,一般栖息于江河的上游,很少下降到海拔较低的中、下游,其生长缓慢,繁殖力低。裂腹鱼属是裂腹鱼亚科中分布最广、种类最多的属,以下颌角质锐缘存在与否分为两个亚属,巨须裂腹鱼(*Schizothorax macropogon*)隶属于其中下颌无锐利角质前缘的裂尻鱼亚属(*Racomia*)^[1]。据报道,以往常见个体体重超过 2 kg/尾^[2],近年来,其种群数量已有所下降,尤其是其个体大小已经呈现小型化的现象。曹文宣等依据臀鳞对 9 种裂腹鱼类进行了年龄鉴定^[3]。鱼类的年龄与生长是研究鱼类生物学和生态学特性的重要组成部分,也是分析和评价鱼类种群数量变动的基本依据之一^[4-5]。巨须裂腹鱼的基础生物学资料还很少,仅见少量分布和形态特征描述。本文根据采自雅鲁藏布江水系的 293 尾巨须裂腹鱼样本,以背鳍条和耳石为材料,对巨须裂腹鱼的年龄和生长进行研究,以探求其生长规律,为开展人工养殖和渔业管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集 材料鱼于 2004 年 4~12 月和 2006 年 5~9 月用刺网与流刺网采自西藏雅鲁藏布江及其支流,部分从市场购得,共 293 尾。样品在野外先进行全长、叉长、体长等外部特征的测量(精确至 0.1 mm),称量体重(精确至 0.1 g)。然后解剖取出生殖腺进行称重(精确至 0.01 g)并进行性别与性成熟度的判定。最后称量去除内脏后的空壳重(精确至 0.1 g)。解剖后取出臀鳞、微耳石和背鳍条(背鳍最末一根不分支鳍条)。部分标本用 5%~8% 的福尔马林溶液固定保存。

1.2 年龄鉴定材料处理 耳石:将微耳石用无水乙醇洗净后置 54 烘箱中烘至干燥,称其重量(精确至 0.1 mg)。将微耳石用热熔胶固定于

载玻片上,先用 1000# 砂纸粗磨,再用 1500# 砂纸细磨,打磨时经常用解剖镜观察,直到能见到耳石核后翻面,继续打磨至轮纹清晰为止。打磨好的磨片在解剖镜下观察计数。

背鳍条:背鳍条用 1%NaOH 溶液浸泡 24~48 h,然后用解剖剪及解剖刀剔除上附的肌肉和结缔组织。背鳍条用细齿钢锯从距基部膨大处约 3 mm 处锯开,锯截面应尽量与鳍条保持垂直。将长的一段的锯口在砂纸上磨平,继而锯成约 2 mm 的小段,依此方法取三小段用热熔胶将磨平的一面固定于载玻片上,待热熔胶冷却后在砂纸上磨至平整,用解剖镜观察计数。

臀鳞:臀鳞从鱼体取下后于 95%乙醇中保存于指管中,观察时先用 1%NaOH 浸泡 24~36 h。

1.3 数据处理分析

1.3.1 体长体重关系 $W = aL^b$,式中, W 为体重(g), L 为体长(cm), a 、 b 为通过回归分析估算的常数指数^[6]。

1.3.2 体长体重的生长方程 采用 von Bertalanffy 生长方程: $L_t = L [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, $W_t = W [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$;拐点年龄: $t_{IP} = \ln b/k + t_0$;体长、体重的生长速度方程: $dL/dt = L k e^{-k(t-t_0)}$, $dW/dt = bW e^{-k(t-t_0)} (1 - e^{-k(t-t_0)})^{b-1}$;体长、体重的生长加速度方程: $d^2L/dt^2 = -L k^2 e^{-k(t-t_0)}$, $d^2W/dt^2 = bW k^2 e^{-k(t-t_0)} (1 - e^{-k(t-t_0)})^{b-2} (be^{-k(t-t_0)} - 1)$,式中, t 为年龄, L_t 和 W_t 为 t 龄时的平均体长(cm)和体重(g), L 和 W 为平均渐近体长(cm)和体重(g), k 为生长系数, t_0 为假设的理论生长起点年龄^[7]。

通过统计分析软件 SPSS 13.0 和 STATISTICA 6.0 进行数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 渔获物组成

2.1.1 渔获物体长和体重分布 巨须裂腹鱼

渔获物体长为 14.70 ~ 42.40 cm。其优势体长集中在 17.00 ~ 30.00 cm, 占总数的 84.3%。没有体长 14.00 cm 以下的个体, 可能是由于渔具的选择性捕捞所致。体长 30.00 cm 以上的个体较少, 37.00 cm 以上的个体仅占群体总量的 5.2% (图 1)。

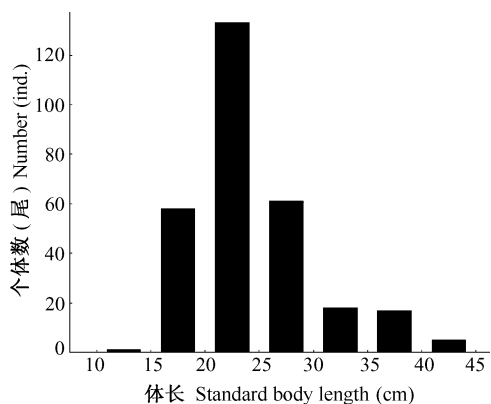


图 1 巨须裂腹鱼体长分布

Fig. 1 Standard body length distribution of Schizothorax macropogon

巨须裂腹鱼体重范围在 66 ~ 1 621 g 之间, 其中 75 ~ 325 g 为优势体重组, 占群体总数的 79.1%, 325 ~ 1 000 g 体重范围内的个体占群体总数的 19.5%, 1 000 g 以上的个体仅占总数的 2.4% (图 2)。

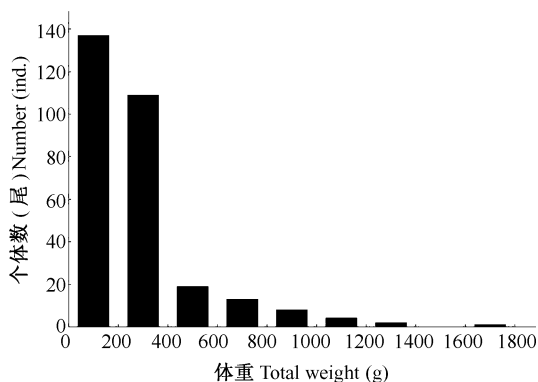


图 2 巨须裂腹鱼体重分布

Fig. 2 Weight distribution of Schizothorax macropogon

2.1.2 年龄组成及性比 巨须裂腹鱼渔获物由 2 ~ 14 龄和 16 龄共 14 个龄组组成, 优势龄

组为 4 ~ 6 龄, 占总数的 74.85% (图 3)。巨须裂腹鱼渔获物雌性个体 126 尾, 雄性个体 111 尾, 雌雄性比 () = 1.0881, 经 χ^2 检验, 符合 1:1 的理论比例 ($P=0.332$)。

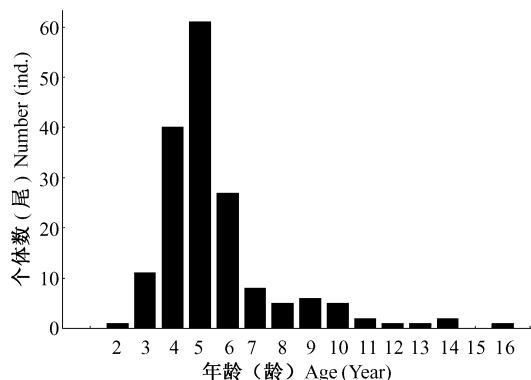


图 3 巨须裂腹鱼的年龄组成

Fig. 3 Age distribution of Schizothorax macropogon

2.2 巨须裂腹鱼的年轮特征和年轮形成时间

2.2.1 年轮特征

耳石: 巨须裂腹鱼的微耳石磨片呈不规则的椭圆形, 在解剖镜透射光下观察, 白色亮带和暗灰色暗带围绕中心相间排列 (图 4), 但是外缘不清晰, 轮纹比较清晰的方向又有很多不明轮纹, 一般呈不连续排列, 缺乏规律性, 很难将年轮与之区分开来, 极易影响读数, 不易准确判读年龄大小。

背鳍条: 观察发现在基部膨大处年轮数目较少, 而且只是在中心附近处才有, 且极不规则, 而鳍条基部收缩处磨片年轮数目较多, 也较为清晰规则, 但远离基部的磨片, 其年轮数目也逐渐减少。背鳍条磨片在透射光下可观察到左右两侧均有围绕中心环状排列的亮色窄带与暗色宽带相间的环纹 (图 5), 相邻的亮色窄带与暗色宽带共同构成了一个完整的生长年代。相邻亮色窄带与包围其的暗色宽带的交界处即为年轮。背鳍条磨片年轮较为清晰, 排列比较有规律, 中心明确, 因此本研究将背鳍条磨片作为年龄鉴定的主要材料, 耳石作为辅助材料。

臀鳞: 臀鳞大小不一, 靠近肛门处鳞片较大。其形状亦很不一致, 有圆形、椭圆形、长蚌



图 4 巨须裂腹鱼微耳石磨片的年轮特征

Fig. 4 The characters of annuli on sectioned lapillus of *Schizothorax macropogon*



图 5 巨须裂腹鱼背鳍条磨片的年轮特征

Fig. 5 The characters of annuli on dorsal fin ray section of *Schizothorax macropogon*

形等,还有一些极不规则的特化形状。环片疏密相间比较明显,环纹呈现由疏逐渐向密的过渡。密带向疏带转变处即为年轮。鳞片表面相邻年轮之间的间距随年龄的增长而变窄。高龄个体臀鳞上的年轮很难观察出来,可能是由于重吸收所致。如用背鳍条可看到 14 个年轮的个体,而鳞片上只看到 5 个年轮。鳞片的生长随个体生长而趋向停滞,因此影响年龄的鉴定结果。

2.2.2 年轮形成时间 表 1 表明,巨须裂腹鱼背鳍条磨片在 5、6、7、8、9 月均有新轮形成。其中在 6、7、8 月新轮的出现率较高。巨须裂腹鱼新年轮形成及持续时间在一定程度上反映了其

生长和摄食的适应性,在青藏高原 12 月和 1 月温度最低,1 月之后逐渐升高,到 5 月最高温度接近 20℃,此时巨须裂腹鱼的摄食量增加,生长加速,透明窄带开始形成。

表 1 巨须裂腹鱼各月背鳍条磨片新轮的出现率

Table 1 Frequency of new annuli on dorsal fin ray sections of *Schizothorax macropogon* Regan of specimens collected in different months

| 月份 Month | 标本数 No. of specimens | 形成新轮尾数 No. of growth ring formed | 新轮出现率(%) Percentage of growth ring formed |
|-------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| 1 | 6 | 0 | 0.00 |
| 2 | 3 | 0 | 0.00 |
| 3 | 2 | 0 | 0.00 |
| 5 | 17 | 1 | 5.88 |
| 6 | 27 | 9 | 33.33 |
| 7 | 25 | 17 | 68.00 |
| 8 | 32 | 13 | 40.63 |
| 9 | 35 | 4 | 11.43 |
| 10 | 7 | 0 | 0.00 |
| 11 | 3 | 0 | 0.00 |
| 12 | 15 | 0 | 0.00 |

2.3 生长特征

2.3.1 体长与体重的关系 将巨须裂腹鱼雌鱼、雄鱼以及种群的体长(L)和体重(W)分别进行拟合,获得体长体重的关系式,雌性: $W = 0.023L^{2.904}$ ($r = 0.975$, $n = 64$),雄性: $W = 0.018L^{2.962}$ ($r = 0.972$, $n = 77$),总体: $W = 0.024L^{2.876}$ ($r = 0.949$, $n = 287$)。比较可以发

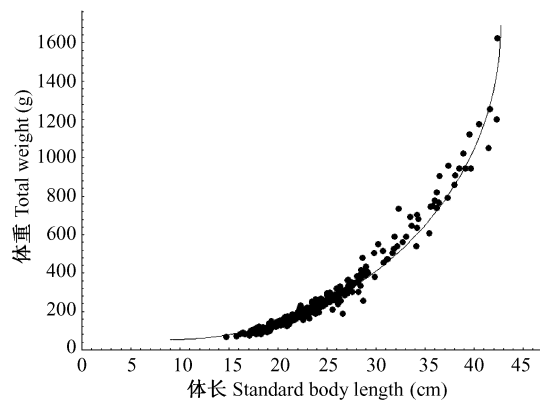


图 6 巨须裂腹鱼体长体重关系曲线

Fig. 6 Correlation curve between standard body length and weight of *Schizothorax macropogon*

现,巨须裂腹鱼不同群体的体长体重关系(图6)大致相同,群体的b值接近于3,说明巨须裂腹鱼总体生长符合匀速生长类型。

2.3.2 生长方程和生长参数 巨须裂腹鱼体长生长的 von Bertalanffy 生长方程,雄性: $L_t = 49.622 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]$; 雌性: $L_t = 65.676 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]$ 。巨须裂腹鱼体重生长的 von Bertalanffy 生长方程,雄性: $W_t = 2034.481 [1 - e^{-0.074(t+4.017)}]^{2.962}$; 雌性: $W_t = 4520.633 [1 - e^{-0.053(t+3.305)}]^{2.904}$ 。如图7,巨须裂腹鱼体长生长曲线没有拐点,逐渐趋向于渐近体长;体重生长呈非对称的“S”形曲线,体重生长先呈加速趋势,在拐点处增长速度最大,其后生长速度逐渐下降并趋向于渐近体重。

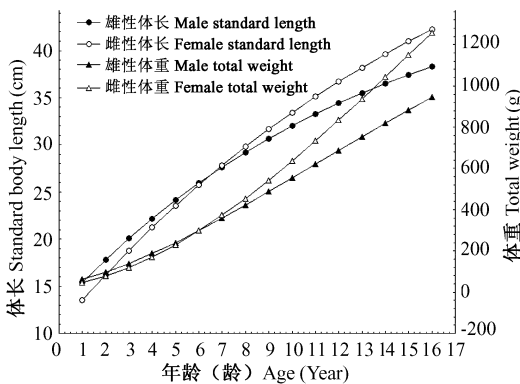


图7 巨须裂腹鱼体长生长和体重生长的 von Bertalanffy 生长方程曲线

Fig. 7 Von Bertalanffy growth curves of standard length and total weight of Schizothorax macropogon

2.3.3 生长速率和生长加速度 采用生长速度和生长加速度方程可进一步分析生长过程的变化特征,将巨须裂腹鱼体长、体重生长公式通过一阶求导和二阶求导,分别求得体长、体重生长速度及加速度的方程。雄性: $dL/dt = 3.66e^{-0.074(t+4.017)}$; $d^2L/dt^2 = -0.270e^{-0.074(t+4.017)}$; $dW/dt = 444.789e^{(-0.074t+4.017)}(1 - e^{(-0.074t+4.017)})^{1.962}$; $d^2W/dt^2 = 32.830e^{-0.074(t+4.017)}(1 - e^{-0.074(t+4.017)})^{0.962}(2.962e^{-0.074(t+4.017)} - 1)$ 。雌性: $dL/dt = 3.510e^{-0.053(t+3.305)}$; $d^2L/dt^2 = -0.188e^{-0.053(t+3.305)}$; $dW/dt = 701.688e^{-0.053(t+3.305)}(1 - e^{-0.053(t+3.305)})^{1.904}$;

$d^2W/dt^2 = 37.505e^{-0.053(t+3.305)}(1 - e^{-0.053(t+3.305)})^{0.904}(2.906e^{-0.053(t+3.305)} - 1)$ 。当体重生长加速度为0时,体重生长速度达到最大值,即体重生长拐点。设拐点年龄为 t_i ,由于 $d^2W/dt^2 = 0$,则 $t_i = \ln b/k + t_0$,将生长方程中的b、k和 t_0 值分别代入此方程,求得巨须裂腹鱼雄性的生长拐点为10.7龄,对应的体长、体重分别为 $L_T = 32.86$ cm, $W_T = 600.31$ g;雌性的生长拐点为16.6龄,对应的体长、体重分别为 $L_T = 43.06$ cm, $W_T = 1326.75$ g。

如图8所示,巨须裂腹鱼体长增长的速度和加速度都不具有拐点,生长速度随年龄增长呈递减趋势,体长生长加速度逐渐上升,生长速度和加速度都趋向于0。表明巨须裂腹鱼的体长生长速度出生时最高,随后其体长生长速度逐渐下降,且递减速度渐趋缓慢,鱼体体长逐渐趋向渐近值。如图9所示,未达到拐点年龄时,体重生长速度逐渐上升,体重生长加速度下降,但为正值,表明尽管递增速度渐趋缓慢,但拐点年龄前是体重生长的递增阶段;到拐点年龄之后,生长速度和生长加速度均下降,但生长加速度为负值,表明此时是体重生长递减阶段,且递减速度逐渐增加,体重生长速度逐渐趋向于0,鱼体体重逐渐趋向渐近值。

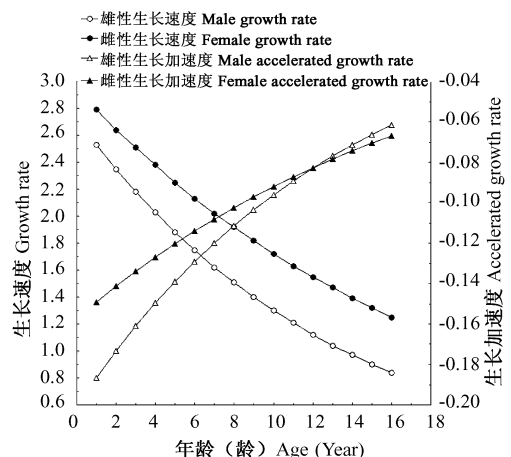


图8 巨须裂腹鱼体长生长速度和加速度曲线
Fig. 8 Growth rates and their accelerations with respect to standard length of Schizothorax macropogon

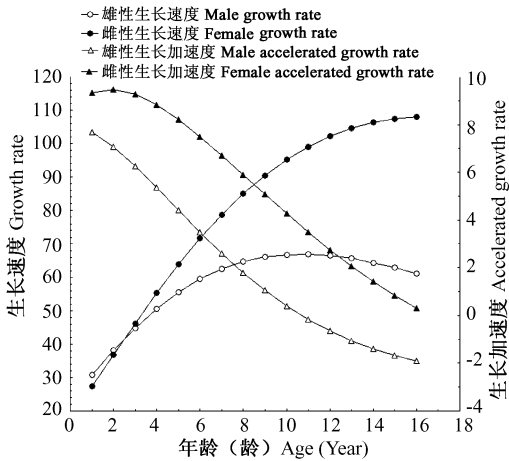


图9 巨须裂腹鱼体重生长速度和加速度曲线

Fig. 9 Growth rates and their accelerations with respect to total weight of *Schizothorax macropogon*

3 讨论

3.1 年龄鉴定材料的选择 鱼类年轮特征的研究是进行鱼类年龄鉴定的前提。而鱼类年龄鉴定是研究生物学和生态学特性的基础,也是分析和评价鱼类种群数量变动趋势的基本依据之一^[8]。可供用于鱼类年龄鉴定的材料较多,如鳞片、鳍条、主鳃盖骨、匙骨、泪骨、脊椎骨和耳石等。但不同种类鱼进行年龄鉴定的理想材料不同。鉴定鱼类年龄最常用的是鳞片,因为取材方便,观察简便,不需特殊加工^[7]。但是,由于裂腹鱼类特有的臀鳞与其繁殖行为密切相关,因此鳞片的磨损难以避免。由此,鳞片相对于体长的生长变慢且鳞片的磨损都是造成年龄计数误差的原因^[9]。而且,越来越多的研究表明,仅仅运用鳞片鉴定年龄是不可靠的,这使得鱼类学家利用其他的钙化组织来鉴定年龄,尤其是耳石。运用耳石鉴定鱼类年龄的最大缺点是必须将鱼杀死才能取得耳石^[10]。耳石作为鉴定年龄的材料,其不确定性有如下几个方面:一是磨片要通过中心,若未通过中心,很难准确判定年龄,这主要与实验员的技巧有关。本实验中用耳石判定年龄不够理想,其主要原因就在于作者的熟练程度不够;二是耳

石的背侧外缘通常都有暗黑色物质,有碍年龄的正确判读;三是耳石磨片有很多不明的轮纹。此外,运用鱼类耳石鉴定年龄比鳞片方法耗时得多。耳石磨片也较鳍条磨片更难判读。因此,如果运用耳石来作为鉴定年龄的材料,建议判读人员要经过训练,具有一定的经验。使用鳍条磨片鉴定年龄成为继传统的鳞片和耳石方法的另一个有用的选择^[11]。运用鳍条磨片的优点在于鳍条比较容易收集且易于准备,相对来说准备过程比较短,新手比较容易上手。高龄(一般9龄以上)个体的鳍条磨片年龄较难判读,其年轮之间的暗带逐渐变得越来越窄和亮,一直到各轮都在鳍条边缘紧密聚集,这使得数清最边缘的年轮数有些难度,但是这个问题随着成像技术越来越发达而可以得到解决,一般将磨片置于高倍镜下观察、拍照,就可以数清年轮。鳞片的年轮不够清晰,不宜单独作为年龄鉴定材料。

3.2 渔业资源利用和保护 鱼类的生长速度反映了鱼类在整个生命过程中长度或重量增加的快慢程度。了解鱼类各个生活阶段的生长速度,可以选择其快速生长以后转入缓慢生长时期加以利用^[12]。巨须裂腹鱼雌、雄鱼生长的拐点年龄分别为16.64龄和10.69龄,对应的体长、体重分别为43.06 cm、1 326.75 g()和32.86 cm、600.31 g()。虽然本研究得到的拐点年龄及相应体长、体重,可以为渔业管理提供一个理论依据,但仅从生长角度提出参照标准,不能最终决定巨须裂腹鱼的开捕标准。起捕规格的确定还需进一步考虑巨须裂腹鱼的资源量、死亡、捕捞压力等多方面因素。巨须裂腹鱼种群数量日趋减少,调查还发现种群年龄结构趋于低龄化,捕捞群体的年龄偏小,表明雅鲁藏布江自然水域中成熟亲鱼数量的减少,也直接说明了野外资源衰竭现象的严重性。未性成熟或正在进入成熟阶段的群体即遭捕捞,使得自然条件下的种群稳定面临更大危险。从保证足够的巨须裂腹鱼天然补充群体的角度来看,应适当降低《西藏自治区实施〈中华人民共和国渔业法〉办法》所制定的巨须裂腹鱼最低单体

重量 400 g 的捕捞标准,应该严格控制捕捞幼鱼,确保幼鱼的生长发育和资源的恢复。同时,还应加强对其他野生鱼类资源的管理,完善相关渔业法规,广泛宣传并保证执行切实有效的行政措施,坚决杜绝药鱼、炸鱼等不法行为;全面保护当地生态环境,尤其是产卵场的保护。此外,还应开展人工繁殖、养殖、放流等多方面的工作,力求尽快提高巨须裂腹鱼的资源量。

参 考 文 献

- [1] 乐佩琦. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(下卷). 北京:科学出版社,2000,273~274,322~324.
- [2] 西藏自治区水产局. 西藏鱼类及其资源. 北京:中国农业出版社,1995,94~96.
- [3] 曹文宣,伍献文. 四川西部甘孜阿坝地区鱼类生物学及渔业问题. 水生生物学集刊,1962,2:79~111.
- [4] Beamish R J, Mcfarlane G A. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1983,112:735~743.
- [5] 王晓辉,代应贵. 瓣结鱼的年轮特征与年龄鉴定. 上海水产大学学报,2006,15(2):247~251.
- [6] Wootton R J. *Ecology of Teleost Fishes*. New York: Chapman and Hall Ltd,1990,117~119.
- [7] 殷名称. 鱼类生态学. 北京:中国农业出版社,1993,57~61,16~23.
- [8] 叶富良,张健东. 鱼类生态学. 广州:广东教育出版社,2002,30~31.
- [9] 杨军山,陈毅峰,何德奎等. 错鄂裸鲤年轮和生长特征的探讨. 水生生物学报,2002,26(4):378~387.
- [10] Niewinski B C, Ferreri C P. A comparison of three structures for estimating the age of Yellow Perch. *North American Journal of Fisheries Management*, 1999,19:872~877.
- [11] Cass A J, Beamish R J. First evidence of validity of the fin-ray method of age determination for marine fishes. *North American Journal of Fisheries Management*, 1983,3:182~188.
- [12] 刘勇,严利平,胡芬等. 东海北部和黄海南部鲈鱼年龄和生长的研究. 海洋渔业,1995,27(2):133~138.