

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2013. 02. 005

## 西江广东肇庆段赤眼鳟的年龄鉴定及生长研究

朱书礼<sup>1,2</sup>, 李新辉<sup>2</sup>, 李跃飞<sup>2</sup>, 王超<sup>2</sup>, 杨计平<sup>2</sup>, 李琳<sup>2</sup>

(1. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023; 2. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广东 广州 510380)

**摘要:** 于2006年5月~6月和2008年5月在珠江的干流西江广东肇庆段采用刺网捕捞赤眼鳟(*Spualiobarbus curriculus*)标本296尾。采集赤眼鳟的鳞片材料进行年轮特征观察研究, 并对赤眼鳟的生长情况进行分析。结果表明, 渔获中3龄、4龄赤眼鳟占优势。3龄前体长的相对增长率较大, 3龄以后生长缓慢。赤眼鳟体质量生长曲线拐点为8龄, 应属衰老拐点。总死亡系数 $Z=0.3379$ , 自然死亡系数 $M=0.1936$ , 捕捞死亡系数 $F=0.1443$ , 开发率为 $E=0.427$ 。为确保资源的可持续利用, 可允许捕捞体长应不小于230 mm, 体质量不小于220 g。

**关键词:** 西江; 肇庆; 赤眼鳟; 年龄; 生长

中图分类号: S 931. 1

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2013) 02 - 0027 - 05

## Age and growth of *Spualiobarbus curriculus* from Zhaoqing Guangdong Section of Xijiang River

ZHU Shuli<sup>1,2</sup>, LI Xinhui<sup>2</sup>, LI Yuefei<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>2</sup>, YANG Jiping<sup>2</sup>, LI Lin<sup>2</sup>

(1. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

**Abstract:** In base of the 296 specimens of *Spualiobarbus curriculus* captured by gill-net in the Zhaoqing Guangdong section of Xijiang River during May ~ June, 2006 and May, 2008, we observed the annual rings on scales of *S. curriculus* and studied the growth of the fish. The results reveal that the individual catches of age 3 and age 4 are dominant. The relative growth rate of length is greater before age 3 and then decreases. The inflection point of weight growth curve is aging inflection point at age 8. The total mortality coefficient  $Z$  is 0.3379; the natural mortality coefficient  $M$  is 0.1936; the fishing mortality coefficient  $F$  is 0.1443; the fishing mortality rate  $E$  is 0.427. To protect the fishery resources, the capture specifications of length should not be less than 230 mm and the weight should not be less than 220 g.

**Key words:** Xijiang River; Zhaoqing; *Spualiobarbus curriculus*; age; growth

赤眼鳟(*Spualiobarbus curriculus*), 隶属于鲤形目、鲤科、雅罗鱼亚科、赤眼鳟属, 又称红眼鳟、赤眼鱥、红眼鱼。在中国广泛分布于除青藏高原外各水系<sup>[1-2]</sup>。赤眼鳟虽然生长速度较慢, 个体较小, 但具有分布广、适应性强、食性广泛的特点, 因此种群数量较大, 产量较高, 而且肉质鲜美<sup>[3]</sup>, 是目前珠江中下游地区的主要经济鱼类之一。

西江广东肇庆江段位于珠江的干流西江下游, 长约160 km, 属于亚热带, 气候温暖, 降雨量充沛, 鱼类种类多样性高, 渔业资源十分丰富。近年来关于西江鱼类资源及区系分布、鱼类多样性和生物学特征的研究有所报道<sup>[4-6]</sup>。赤眼鳟是西江主要渔获种类之一, 约占渔获物总量的1/5<sup>[7]</sup>。赤眼鳟在西江鱼类群落中属于定居性优势类群, 其生物量

收稿日期: 2012-08-13; 修回日期: 2012-11-04

资助项目: 科技部社会公益项目(2005DIB3J023); 公益性行业(农业)科研专项(200903048-05)

作者简介: 朱书礼(1987-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源研究。E-mail: zshuli2009@126.com

通信作者: 李新辉, E-mail: lxhui01@tom.com

在渔获物中居于首位。在西江建立的鱼类自然保护区中, 赤眼鳟的数量和生物量均列前三位, 在西江鱼类资源中占有重要地位<sup>[8-9]</sup>。关于赤眼鳟生物学方面, 除长江和黑龙江有研究外<sup>[10-11]</sup>, 20世纪80年代进行珠江流域鱼类资源调查时曾进行了研究, 后来也有繁殖生物学方面的报道<sup>[12-13]</sup>。几十年来, 中国江河生态环境与野生鱼类资源发生了很大的变化, 鱼类资源衰退严重, 重新了解渔业资源的现况对江河资源与生态管理具有重要意义。笔者采集2006年5月~6月和2008年5月刺网捕捞的赤眼鳟鳞片作为试验材料进行年龄鉴定, 探讨赤眼鳟的种群生长情况, 并与历史调查结果进行比较, 分析其资源变化情况, 以期为西江赤眼鳟的资源保护和可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

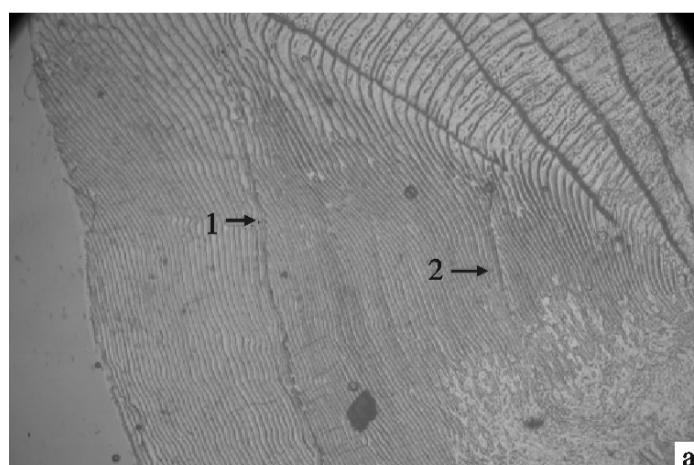
2006年5月~6月和2008年5月, 在西江肇庆段用刺网捕捞赤眼鳟标本共296尾, 在新鲜状态下测量每尾标本的体长(精确至1.0 mm)、体质量(精确至0.1 g), 摘取背鳍下侧线上的体侧鳞片用于年龄鉴定和生长分析。鳞片用1%的氢氧化钾(KOH)浸泡除去表面的粘液, 再用清水冲洗干净, 放在双筒解剖镜下观察并测量鳞径及轮径<sup>[14]</sup>。

### 1.2 分析方法

用EXCEL 2003和ORIGIN 6.1软件处理数据。体长与体质量的相关关系参照何美峰等<sup>[14]</sup>的方程式:

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

$$\text{相对增长率} = (M_2 - M_1) / M_1 \times 100\% \quad (2)$$



$$\text{生长指标} = (\ln M_2 - \ln M_1) \times M_1 \quad (3)$$

体长与体质量的生长采用Von Bertalanffy方程<sup>[15]</sup>:

$$L_t = L_0 (1 - e^{-k(t - t_0)}) ; \quad W_t = W_0 (1 - e^{-k(t - t_0)})^b \quad (4)$$

式中  $W$  为体质量(g);  $L$  为体长(mm);  $a$ 、 $b$  为相关系数;  $M_1$ 、 $M_2$  分别为相邻两龄  $t_1$ 、 $t_2$  的体长( $L_1$ 、 $L_2$ )或体质量( $W_1$ 、 $W_2$ )。 $L$  和  $W$  分别为渐近体长与体质量,  $k$  和  $b$  均为参数。

采用Rosa Lee公式<sup>[16]</sup>进行体长逆算:

$$L_n = a + [(L - a) / R] \times r_n \quad (5)$$

式中  $a$  为体长与鳞径关系直线在  $y$  轴的截距,  $L$  为体长,  $R$  为鳞径,  $r_n$  为第  $n$  轮的轮径,  $L_n$  为  $n$  龄的个体体长。

## 2 结果

### 2.1 年龄

2.1.1 年轮特征 赤眼鳟的鳞片为圆鳞, 中等大, 椭圆形。年轮特征为普通切割型, 该特征在鳞片侧区尤为明显, 表现为生长环片的内环被外环切割; 基区有加密和断裂的深沟(图1-a和图1-b)。鳞片上存在幼轮, 还存在副轮, 但由于其不完整性而容易与年轮区分(图1-a)。鳞片的骨质层所形成的环片围绕鳞焦, 基本上呈同心圆排列, 但不完整闭合, 在后区被放射沟分割呈波纹状结构。

2.1.2 渔获物的年龄组成 赤眼鳟渔获物种群由0<sup>+</sup>龄~3<sup>+</sup>龄共4个年龄组组成, 其中0<sup>+</sup>龄占3.4%, 1<sup>+</sup>龄占11.1%, 2<sup>+</sup>龄占68.6%, 3<sup>+</sup>龄占16.9%。此次渔获物中2<sup>+</sup>龄为优势年龄组, 其次为1<sup>+</sup>龄和3<sup>+</sup>龄。

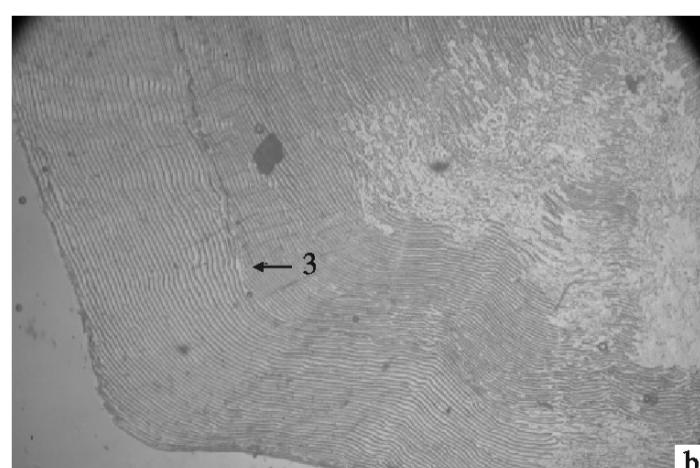


图1 赤眼鳟鳞片形状和年轮

1, 3. 疏密切割型年轮; 2. 副轮

Fig. 1 Shape and annuli of scales of *S. curriculus*

1, 3. incising annuli; 2. false annuli

## 2.2 生长分析

赤眼鳟实测鳞径( $R$ )、体长( $L$ )、体质量( $W$ )，数据见表1。

**2.2.1 体长与鳞径的关系** 以各年龄实测鳞径( $R$ )的平均值为横坐标，各年龄的实测体长( $L$ )的平均值为纵坐标。对赤眼鳟的体长-鳞径关系进行拟合。两者呈显著的线性相关，拟合出直线回归方程为  $L = 41.396R + 14.92 (R^2 = 0.9995, n = 296)$ 。

**2.2.2 体长与体质量的关系** 以实测体长为横坐标，体质量为纵坐标，绘制体质量与体长的散点图，通过相关分析，体长与体质量呈显著的幂函数

相关，拟合出幂函数曲线回归方程为  $W = 9 \times 10^{-6} L^{3.136} (R^2 = 0.9997, n = 296)$ 。

**2.2.3 阶段生长** 将实测的各龄轮径的平均值代入  $L-R$  相关式:  $L = 41.396R + 14.92, (r_1 = 2.48, r_2 = 4.30, r_3 = 5.65)$ ，求得各年龄平均推算体长  $L_i$ 。将推算体长带入  $W-L$  相关式，求得各年龄平均推算体质量  $W_i$ ，然后依据各项生长指数的经验公式，求得体长与体质量的各项生长指标(表2)。将赤眼鳟的推算体长与实测平均体长的差异进行检验，其差异未达到显著水平( $P > 0.05$ )，各年龄组的实测体长和推算体长较为接近。

表1 赤眼鳟各年龄生长实测数据

Tab. 1 Measured values of growth of *S. curriculus* at different ages

| 年龄<br>age          | 标本数<br>number | 鳞径/mm radius |                      | 体长/mm length |                      | 体质量/g weight   |                       |
|--------------------|---------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|----------------|-----------------------|
|                    |               | 幅度<br>margin | 均长<br>average length | 幅度<br>margin | 均长<br>average length | 幅度<br>margin   | 均质量<br>average weight |
| 1(0 <sup>+</sup> ) | 10            | 1.55 ~2.77   | 2.18                 | 65 ~128      | 103.8                | 4.5 ~32.0      | 18.95                 |
| 2(1 <sup>+</sup> ) | 32            | 1.84 ~5.90   | 3.83                 | 124 ~247     | 176.0                | 31.4 ~259.3    | 103.40                |
| 3(2 <sup>+</sup> ) | 203           | 3.37 ~6.82   | 5.05                 | 163 ~300     | 223.7                | 77.4 ~541.5    | 210.88                |
| 4(3 <sup>+</sup> ) | 50            | 4.84 ~7.85   | 6.32                 | 214 ~360     | 275.8                | 179.3 ~1 093.0 | 409.30                |

表2 赤眼鳟不同生长期生长指数

Tab. 2 Growth indices of *S. curriculus* at different ages

| 年龄<br>age | 平均推算体长/mm<br>average back-calculated<br>length | 相对增长率/%<br>relative growth<br>rate | 生长指标<br>growth index | 平均推算体质量/g<br>average back-calculated<br>weight |  | 相对增重率/%<br>relative weight<br>gain rate |
|-----------|--|------------------------------------|----------------------|--|--|---|
|           |  |                                    |                      | 生长指标<br>growth index                           | 平均推算体质量/g<br>average back-calculated<br>weight |   |
| 1         | 105.2  |                                    |                      |  | 19.74  |   |
| 2         | 172.2  | 63.69                              | 50.66                |  | 92.56  | 368.9                                   |
| 3         | 224.0  | 30.08                              | 25.33                |  | 211.16   | 128.1                                   |
| 4         | 276.5  | 23.44                              | 20.72                |  | 406.38   | 92.5                                    |

**2.2.4 生长方程** 以最小二乘法<sup>[16]</sup>拟合赤眼鳟生长方程，通过实测体长、体质量进行相关分析，计算出各参数值，推导出赤眼鳟的 Von Bertalanffy 生长方程为  $L_t = 616.34(1 - e^{-0.1359(t + 0.3961)})$ ； $W_t = 5048.0(1 - e^{-0.1359(t + 0.3961)})^{3.136}$ 。

根据上述公式绘制体长、体质量生长曲线(图2)。结果显示，3龄以前赤眼鳟体长生长速度较高，以后便逐渐变缓。体质量生长曲线近似S形，拐点在8龄，但拐点不明显，在拐点以前体质量增加迅速，拐点后变缓。

根据赤眼鳟的生长方程，求得体长、体质量生

长的理论值，并与推算体长相比较。用差异显著性分析测定， $t^2$ -检验表明，体长、体质量差异不显著。可用生长方程表达赤眼鳟的生长情况。

**2.2.5 生长速度与生长加速度** 将所得的赤眼鳟的体长、体质量生长方程分别对年龄  $t$  进行一阶求导和二阶求导，获得体长、体质量生长的速率方程：

$$dL_t/dt = 83.76 e^{-0.1359(t + 0.3961)}; d^2L_t/dt^2 = -11.38e^{-0.1359(t + 0.3961)},$$

体长、体质量生长的加速度方程：

$$dW_t/dt = 2151.37e^{-0.1359(t + 0.3961)} (1 -$$

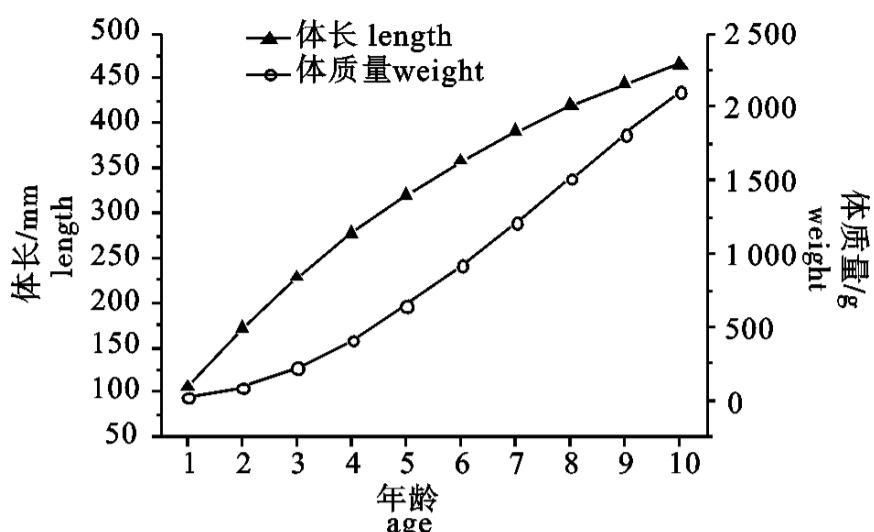


图2 赤眼鳟体长体质量生长曲线

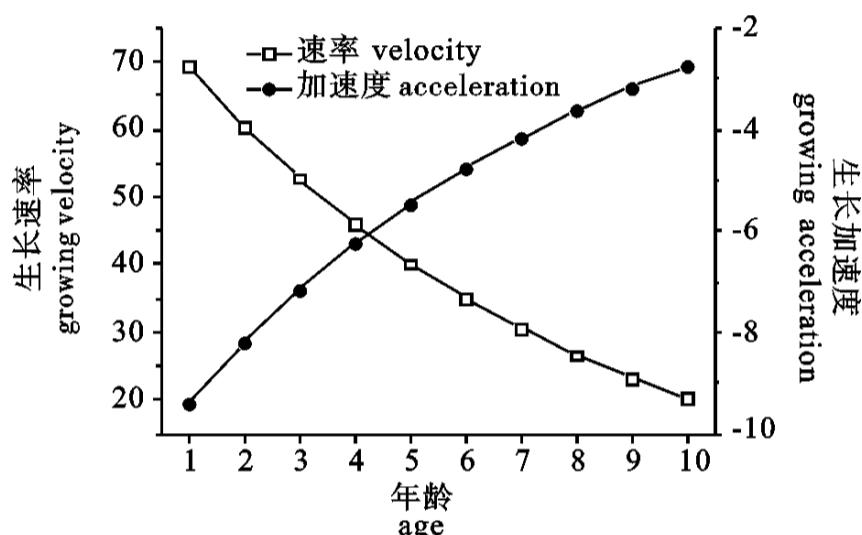
Fig. 2 Growth curves of length and weight of *S. curriculus*

图3 赤眼鳟体长生长速度、加速度变化曲线

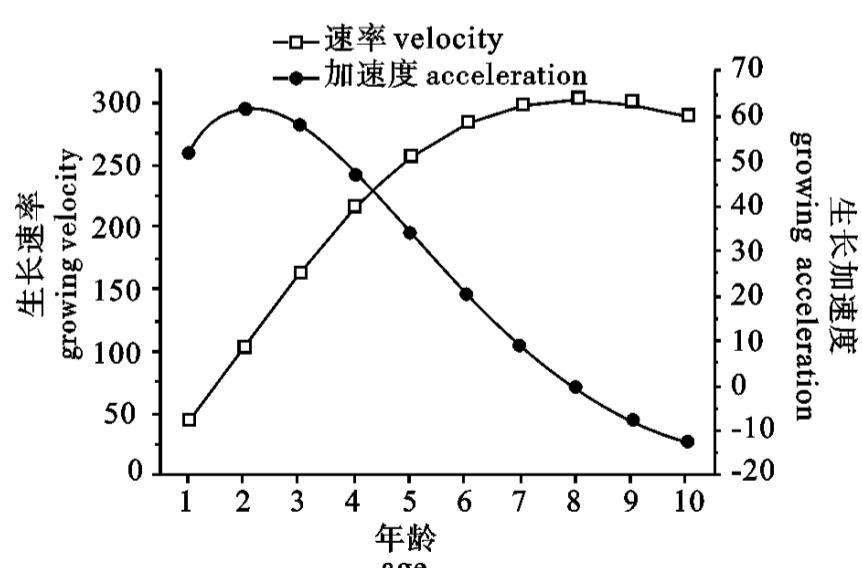
Fig. 3 Growth velocity curve and growth acceleration curve for length of *S. curriculus*

图4 赤眼鳟体质量生长速度、加速度变化曲线

Fig. 4 Growth velocity curve and growth acceleration curve for weight of *S. curriculus*

$$e^{-0.1359(t+0.3961)} \quad (1)$$

$$\frac{dW_t}{dt} = 292.37 e^{-0.1359(t+0.3961)} \quad (1)$$

$$e^{-0.1359(t+0.3961)} \quad (1) \quad (3.136 e^{-0.1359(t+0.3961)} - 1)$$

赤眼鳟体长增长的速度和加速度均不具有拐

点，生长速度随年龄的增长而递减，并逐渐趋近于零(图3)。体长生长加速度逐渐递增，但加速度一直小于零，说明赤眼鳟的体长生长速度出生时最高，年龄越大，体长生长越慢。

体质量生长曲线有一个拐点  $t=8$  龄 ( $\frac{d^2}{dt^2} = 0$ )，该拐点年龄所对应的体长和体质量分别是  $L_t = 419.42$ ,  $W_t = 1509.62$ 。 $t < 8$  龄体质量生长速度曲线上升，但其加速度下降，且为正值，反映了8龄前的个体体质量生长速度一直增加，到8龄时达到最大值。 $t > 8$  龄时体质量生长速度和加速度均下降，其生长速度曲线逐渐变缓，并趋向于零(图4)，此时体质量生长加速度为负值，为体质量生长逐减阶段。其生长已经进入衰老期。

## 2.3 死亡

**2.3.1 总死亡系数** 根据B-H模型，利用平均体长估算  $Z$ 。 $Z = K(I - I) / (I - I)$ 。 $I = 65$  mm,  $K = 0.1359$ ,  $I = 616.34$  mm,  $I = 223.14$  mm<sup>[17]</sup>。计算得到总死亡系数  $Z = 0.3379$ 。

**2.3.2 自然死亡系数** 根据Pauly的经验公式估算： $\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L + 0.6543 \ln K + 0.463 \ln T$ 。其中， $L = 616.34$  mm,  $K = 0.1359$ ,  $T = 24$ ，得到  $M = 0.1936$ 。

**2.3.3 捕捞死亡系数** 总死亡系数为自然死亡和捕捞死亡系数之和，故捕捞死亡系数  $F = Z - M = 0.1443$ 。

**2.3.4 开发率** 开发率( $E$ )指捕捞死亡占总死亡的比例， $E = F/Z$ 。得到  $E = 0.427$ 。

## 3 讨论

笔者调查与20世纪80年代西江-珠江三角洲资源调查<sup>[3]</sup>的赤眼鳟的各级生长指标及参数的比较(表3)显示，西江肇庆段赤眼鳟表现为1)呈现出生长加速的现象，这可从其生长方程的  $k$  值上升得到反映<sup>[16]</sup>；2)表现出生长拐点年龄、渐近体长及渐近体质量大小的明显降低。生长加速可能是由于现在的捕捞压力增大所引起，因为种群资源在过度捕捞的情况下会表现出更快的个体生长和种群生长<sup>[15]</sup>。笔者研究结果中赤眼鳟的生长拐点和渐近大小都明显较低，可能与此研究所采集的渔获物样本的年龄低龄化及其所引起的个体大小较低有关，这有待于进一步研究。鱼类的生长拐点一般认为分成性成熟拐点和衰老拐点<sup>[18]</sup>。前者从性未成熟转入性成熟，后者则从强壮期转入衰老期。具有后者

表3 赤眼鳟生长参数比较

Tab. 3 Comparison of Von Bertalanffy growth parameters for *S. curriculus*

| 项目<br>item | 西江-珠江三<br>角洲(80年代)<br>Xijiang-Pearl<br>River Delta<br>(80 s) | 西江肇庆段<br>Zhaoqing<br>section of<br>Xijiang River | 长江干流<br>芜湖段<br>Wuhu Reach<br>of Yangtze<br>River |
|------------|--|--|--|
| b          | 3  | 3.136  | 3.165 9  |
| k          | 0.053 3  | 0.135 9  | 0.232 8  |
| $t_0$      | -0.851 2   | -0.396 1   | -1.911   |
| $T_1$      | 19.8   | 8.00   | 3.04   |
| $W_t$      | 10 901.2   | 1 059.6  | 103.80   |
| L          | 1 183.6  | 616.3  | 320.47   |
| W          | 36 676.3   | 5 048  | 345.15   |

特点的鱼类主要分布在热带和亚热带水域<sup>[19]</sup>。而西江地处亚热带, 符合这一特点。赤眼鳟的生长拐点位于8龄后, 落后于性成熟年龄(3龄), 应属于衰老拐点。与长江芜湖段赤眼鳟相比较, 由于环境气候的差异, 其各项指标存在比较大的差异, 肇庆段赤眼鳟资源状况优于芜湖段, 生长拐点更晚, 而且拐点体质量明显更优, 渐进体长体质量更大。此调查结果中, 赤眼鳟体质量生长曲线在性成熟年龄没有出现生长拐点, 可能与采集的样本年龄结构比例有关, 也有可能是珠江流域赤眼鳟该生长拐点不明显, 这有待于进一步研究。

笔者研究赤眼鳟渔获物年龄百分比组成以2<sup>+</sup>龄组占优(68.81%); 其次是3<sup>+</sup>龄组和1<sup>+</sup>龄组, 分别为16.95%和10.85%。体长分布则以170~270 mm最多, 相应的体质量范围为100~400 g。0<sup>+</sup>龄和1<sup>+</sup>龄鱼相对较少, 这可能与调查中采用渔民的作业网具规格有关; 4龄以上的鱼相对较少, 这可能是当前捕捞强度增大引起的资源衰退造成的。为了保护赤眼鳟资源, 应杜绝不合理的渔具渔法, 调整渔民过小的作业网具规格, 限制捕捞幼龄鱼比例, 加大鱼类自然保护区建设的力度。赤眼鳟的性成熟年龄在3龄<sup>[3]</sup>, 因此规定最小可允许捕捞体长应不小于230 mm, 体质量不小于220 g, 这

样有利于保障西江赤眼鳟资源的繁殖群体, 促进赤眼鳟资源可持续利用。

### 参考文献:

- [1] 陈宜瑜. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲤形目(中卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 104~106.
- [2] 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 华南师范大学, 暨南大学, 等. 广东淡水鱼类志 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1991: 84~85.
- [3] 陆奎贤. 珠江水系渔业资源 [M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1988: 139~143.
- [4] 谭细畅, 李新辉, 陶江平, 等. 西江肇庆江段鱼类早期资源时空分布特征研究 [J]. 淡水渔业, 2007, 37(4): 37~40.
- [5] 郑光明, 朱新平. 珠江流域不同江段鮈生长差异性研究 [J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(3): 175~180.
- [6] 王丹, 赵亚辉, 张春光, 等. 广西野生淡水鱼类的物种多样性及其资源的可持续利用 [J]. 动物分类学报, 2007, 32(1): 160~173.
- [7] 李跃飞, 李新辉, 谭细畅, 等. 西江肇庆江段渔业资源现状及其变化 [J]. 水利渔业, 2008, 28(2): 80~83.
- [8] 李捷, 李新辉, 谭细畅, 等. 广东肇庆西江珍稀鱼类省级自然保护区鱼类多样性 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 556~562.
- [9] 李捷, 李新辉, 贾晓平. 西江鱼类群落多样性及其演变 [J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 298~305.
- [10] 尼科尔斯基 B. 黑龙江流域鱼类 [M]. 北京: 科学出版社, 1960: 144~145.
- [11] 湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类 [M]. 北京: 科学出版社, 1976: 88~90.
- [12] 龙光华, 林岗, 胡大胜, 等. 赤眼鳟的繁殖生物学 [J]. 动物学杂志, 2005, 40(5): 28~36.
- [13] 珠江水系渔业资源调查编委会. 珠江水系渔业资源调查研究报告 [R]. 广州: [s n], 1985: 145~168.
- [14] 何美峰, 李新辉, 谭细畅, 等. 西江广东鮈的年龄鉴定及生长研究 [J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 54~58.
- [15] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 15~26, 47~61.
- [16] 郭丽丽, 严云志, 席贻龙. 长江芜湖段赤眼鳟的年龄与生长 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(1): 130~135.
- [17] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 中国农业出版社, 2005: 95~96, 112~117.
- [18] 张其永, 李福振, 杜金瑞. 厦门杏林湾鲻鱼年龄和生长的研究 [J]. 水产学报, 1981, 5(2): 121~131.
- [19] 孙雪兴, 仇延舫. 太湖湖鲚年龄与生长的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1987, 18(1): 39~47.