

大渡河流域黄石爬鮠的年龄与生长

王永明 曹 敏 谢碧文* 齐泽民 史晋绒 李 斌 王 芳 沈 伟

长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 特色农业资源研究与利用四川省高校重点实验室,

内江师范学院生命科学学院 内江 641112

摘要: 2012年7月和2013年6月从大渡河支流脚木足河采集黄石爬鮠 (*Euchiloglanis kishinouyei*) 383尾, 以脊椎骨作为主要年龄鉴定材料, 对其年龄结构和生长特性进行了研究。黄石爬鮠体长 92 ~ 190 mm, 其中 110 ~ 140 mm 个体占渔获物总量的 74.41%; 体重 14.70 ~ 119.80 g, 其中 20 ~ 60 g 个体占渔获物总量的 84.86%; 由 3 ~ 13 龄 11 个年龄组组成, 5 ~ 8 龄鱼占渔获物总量的 84.07%; 种群雌雄性比为 1 : 1.06。体长 (L) 与脊椎骨半径 (R_0) 回归方程为 $L = 67.038 + 50.783R_0$ ($n = 325$, $R^2 = 0.758$, $P < 0.01$)。雌雄个体体长和体重生长无显著差异, 据体长 (L , 单位 mm) 与体重 (W , 单位 g) 关系式 $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.9279}$ ($n = 383$, $R^2 = 0.8071$, $P < 0.01$), 黄石爬鮠为等速生长类型。据体长、体重生长方程 $L_t = 208.42 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]$ 、 $W_t = 184.82 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{2.9279}$, 体长和体重生长速度方程分别为 $dL/dt = 18.5494 e^{-0.089(t+1.20)}$ 和 $dW/dt = 48.1610 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{1.9279}$, 体长和体重生长加速度方程分别为 $d^2L/dt^2 = -1.6509 e^{-0.089(t+1.20)}$ 和 $d^2W/dt^2 = 4.2863 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{0.9279} [2.9279 e^{-0.089(t+1.20)} - 1]$, 黄石爬鮠属于生长缓慢, 生命周期较长的鱼类。生长拐点年龄为 10.87, 落后于性成熟年龄 (♀6 龄, ♂5 龄), 属于性成熟后生长仍然较快的类型。产卵群体主要以补充群体 (5、6 龄) 和低龄剩余群体 (7、8 龄) 为主, 资源已经受到严重破坏, 需加大保护力度。

关键词: 黄石爬鮠; 年龄; 生长

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 02-228-13

Age and Growth of *Euchiloglanis kishinouyei* in Dadu River

WANG Yong-Ming CAO Min XIE Bi-Wen* QI Ze-Min SHI Jin-Rong
LI Bin WANG Fang SHEN Wei

Conservation and Utilization of Fishes Resources in the Upper Reaches of the Yangtze River Key Laboratory of Sichuan Province,

Key Laboratory of Regional Characteristic Agricultural Resources, Department of Education, School of Life Sciences,

Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China

Abstract: *Euchiloglanis kishinouyei* which belonging to the genus *Euchiloglanis* in the family Sisoridae is an endemic fish which lives only in the upper reaches of the Yangtze River. Because of its special living

基金项目 四川省省属高校科研创新团队项目 (No. KYTD201009), 四川省教育厅项目 (No. 12ZB071), 内江师范学院大学生科研项目 (No. 13NSD-68);

* 通讯作者, E-mail: xiebw6873@163.com;

第一作者介绍 王永明, 男, 讲师; 研究方向: 鱼类形态及发育生物学; E-mail: wym8188@126.com。

收稿日期: 2015-04-27, 修回日期: 2015-09-28 DOI: 10.13859/j.cjz.201602009

environment, breeding habit and evolutionary, *E. kishinouyei* is an important object of study fish evolution. The purpose of this study was to determine age structure and growth characteristics of *E. kishinouyei*. we totally collected 383 specimens from mid-July 2012 and late June 2013 in the Jiaomuzi River, a tributary river of the Yangtze River. We measure the body length and body weight of each specimen, described the characteristics of four kinds of age determination materials: lapillus, pectoral fin spines, vertebra and opercular, and compared the similarities, differences and veracities. We calculated the increment rate and growth indexes for both body length and body weight by employing Yin Minchen's methods (1995), and analyzed all the data by using Microsoft excel 2003 and SPSS 19.0. The growth of *E. kishinouyei* was fitted by the equation of Von Bertalanffy, the age determination was mainly by the vertebra (Fig. 1). The standard length of the samples ranged 92 - 190 mm, of 74.41% of them within the range of 110 - 140 mm (Fig. 2). The total weight was with the ranged of 14.70 - 119.80 g, of which 84.86% individuals weigh in 20 - 60 g (Fig. 3). The sampled fish was identified to eleven age classes (3 - 13 years old) and 84.07% of individuals were aged at 5 - 8 years old (Fig. 4). The sex ratio (♀ : ♂) was 1 : 1.06. There was a correlation between body length and vertebra with the equation $L = 67.038 + 50.783R_O$ ($n = 325$, $R^2 = 0.758$, $P < 0.01$) (Fig. 5). The relationship between body length (L , unit mm) and total weight (W , unit g) showed no significant difference between males and females, which could be expressed as: $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.9279}$ ($n = 383$, $R^2 = 0.807$, $P < 0.01$) (Fig. 6). The growth of *E. kishinouyei* was in a constant speed which can be described by von Bertalanffy equation. According to the growth, the growth rate and acceleration growth rate equation of body length and body weight were described as $L_t = 208.42 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]$, $W_t = 184.82 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{2.9279}$, $dL/dt = 18.5494 e^{-0.089(t+1.20)}$, $dW/dt = 48.1610 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{1.9279}$, $d^2L/dt^2 = -1.6509 e^{-0.089(t+1.20)}$, $d^2W/dt^2 = 4.2863 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{0.9279} [2.9279 e^{-0.089(t+1.20)} - 1]$. *E. kishinouyei* grew slowly and with a longer life. The growth inflexion points was at 10.87 years with the corresponding body length 134.24 mm and body weight of 53.37 g, which behind the age of sexual maturity (♀6 age, ♂5 age). The spawning groups were mainly formed by the fish in age of 5 to 6 age, as well as in age of 7 to 8, which was also the population supplement groups (Fig. 7). That indicted that the resources of *E. kishinouyei* were heavy damaged. Strict ban to unreasonable fishing and the hydropower resource exploring should be enhanced.

Key words: *Euchiloglanis kishinouyei*; Age; Growth

大渡河为岷江最大支流, 拥有丰富的鱼类资源。然而, 随着大坝的建设对其流域水质的影响、对鱼类洄游的阻断及干支流漫滩关系的改变, 使得鱼类的生存环境被严重破坏, 多数鱼类的种群数量急剧下降, 处于濒危状态 (Park et al. 2003, 杨育林等 2010)。

黄石爬鮠 (*Euchiloglanis kishinouyei*) 隶属鲇形目 (Siluriformes) 鮠科 (Sisoridae) 石爬鮠属, 地方名石爬子、石斑鮠, 主要分布于金沙江、岷江等干流水系, 是长江上游特有鱼类

(武云飞等 1992)。其生活环境、繁殖习性和进化地位特殊, 是鮠鱼类中除原鮠属 (*Glyptosternum*) 外最原始的种类 (褚新洛 1979), 是研究鱼类进化的重要对象 (He et al. 2001, Guo et al. 2005)。本文研究了大渡河支流脚木足河黄石爬鮠的年龄与生长, 以了解其种群动态和生长规律, 为其资源保护和合理开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样本收集

2012 年 7 月中旬和 2013 年 6 月下旬从大渡河支流脚木足河日部至脚木足段采用小钩钓收集黄石爬鮡样本 383 尾。2012 年采集的标本用 10% 甲醛固定 1 d 后, 70% 酒精保存, 2013 年采集的标本直接用 95% 酒精固定并保存。

1.2 样本处理

测量并记录标本的体长 (精确到 1.0 mm, 得力 8464 不锈钢直尺)、体重 (精确到 0.01 g, JT502N 电子天平)。解剖并记录性别, 参照王德寿等 (1992) 的方法确定性腺发育程度。取微耳石、胸鳍棘、前 3~5 枚游离椎骨和主鳃盖骨作为年龄鉴定材料。耳石磨片参考殷名称 (1995) 方法, 胸鳍棘取基部并参考王德寿等 (1993) 方法进行简易脱钙切片, 均使用 Motic SMZ-168 型数码显微镜观察、鉴定年龄。脊椎骨和主鳃盖骨用 1% NaOH 溶液浸泡 24 h 左右, 除去附着的肌肉和结缔组织后, 用 Motic BA 400 体式显微镜观察、鉴定年龄。年龄鉴定以脊椎骨为主。Moticam 2506 数码成像系统及 Motic Images Plus 2.0 显微图像分析软件拍摄和测量。沿第 4 枚脊椎骨中心至横突方向测量年轮的半径, 以推算各龄鱼的体长。

1.3 数据处理

参考殷名称 (1995) 的方法, 拟合体长与脊椎骨半径、体长与体重的相关方程, 计算相对生长率和生长指标, 通过体长退算, 求出黄石爬鮡体长、体重的生长方程。本文数据的统计分析和图形绘制主要采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS19.0 软件进行。

1.3.1 体长与脊椎骨半径的关系及生长退算 采用线性函数、幂函数、指数函数、对数函数和二次函数 5 种函数模型拟合体长 (L , mm) 与脊椎骨半径 (R_0 , μm) 间的关系, 选择判定系数 (R^2) 最大者为其最佳回归方程; 采用修正后的 Lee 方程 $L_i = [(a + bR_{0i}) / (a + bR_0)]L$ 退算各龄的体长, 式中, L 为实测体长 (mm), R_0 为脊椎骨半径 (μm), L_i 为年龄 i 时的退算体长, R_{0i} 为年龄 i 时的脊椎骨半径 (μm), a

和 b 分别是 L - R_0 回归方程的截距和斜率。

1.3.2 体长与体重的关系 采用 KEYS 公式进行体长与体重的相关分析, $W = aL^b$, 式中, W 为体重 (g), L 为体长 (mm), a 为常数, b 为幂函数指数。殷名称 (1995) 指出, 体长体重方程中指数 b 值能反映鱼类在不同发育阶段和不同生境中的生长发育情况, 当鱼类体长体重方程的 b 值等于 3 或接近 3 时, 体长与体重的生长为等速生长。本文用 Pauly 的 t 检验法 (段中华等 1999) 检验体长与体重回归方程的幂指数 “ b ” 与 “3” 之间的差异。

1.3.3 生长率和生长指标 按照费鸿年等 (1951) 的公式计算绝对生长率 (ΔV)、相对生长率 ($\Delta V/V$)、生长比速 (C_v)、生长常数 (C_{vt}) 和生长指标 (G)。

1.3.4 生长方程 用 von Bertalanffy 方程进行生长拟合。根据退算体长, 建立 Ford 方程, 采用最小二乘法求出黄石爬鮡体长和体重的 von Bertalanffy 方程: $L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, $W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$, 式中, t 为年龄, L_t 、 W_t 分别表示 t 龄时的平均体长 (mm) 和体重 (g), L_∞ 、 W_∞ 表示渐近体长 (mm) 和体重 (g), k 为生长常数, t_0 为假设的理论生长起点年龄, b 为体长体重关系式的幂函数系数。分别对体长和体重生长方程求一阶导数和二阶导数得到其生长速度和生长加速度方程。生长拐点年龄方程为 $t_i = \ln b/k + t_0$, 式中变量和常量含义同上。

2 结果

2.1 年轮特征

耳石: 黄石爬鮡微耳石磨片的长径一侧具明显的环纹, 可用于年龄鉴定。微耳石中心核椭圆形, 核心偏于一侧, 核心至外缘颜色逐渐变淡。耳石磨片上生长较快的亮色宽带与生长较慢的暗色窄带围绕中心核相间排列形成年轮环带 (图 1a), 年轮环带与耳石磨片边缘轮廓平行, 紧靠中心核的亮带宽度宽于外围亮带宽度。耳石磨片的长径上年轮清晰且连贯, 短径上环带排列紧密, 不完整, 微耳石磨片上未发现幼

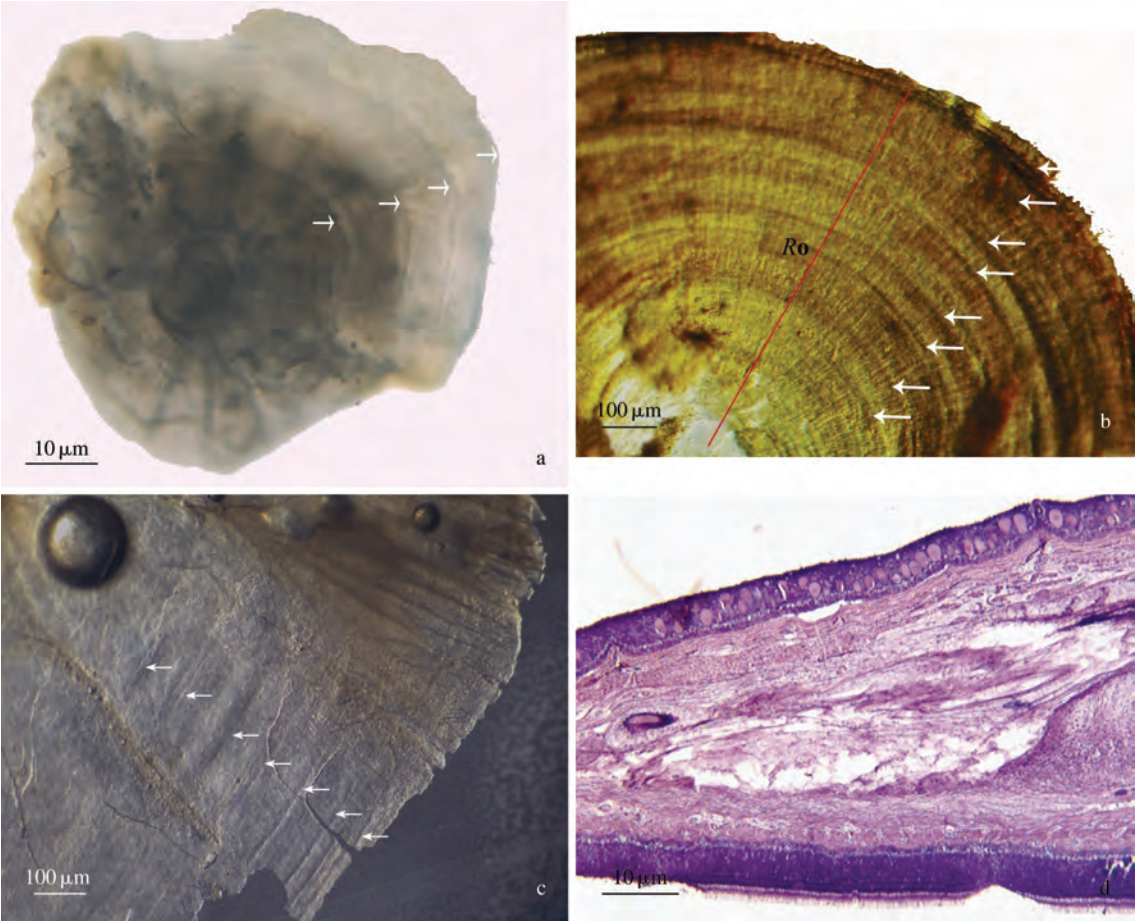


图 1 黄石爬鮍的年轮特征

Fig. 1 The characters of annuli of *Euchiloglanis kishinouyei*

a. 微耳石磨片; b. 脊椎骨, R_0 所示连线为脊椎骨半径测定方向; c. 主鳃盖骨; d. 胸鳍棘基部切片。白色箭头示年轮。
a. Lapillus; b. Vertebra, R_0 showing vertebra radius; c. The main opercula; d. Histological section of the pectoral fin. White arrows showing annuli.

轮 (图 1a)。

脊椎骨：黄石爬鮍脊椎骨椎体双凹形，透射光下观察，由椎体的中心至边缘不透明的暗带和透明的亮带相间排列呈同心圆形的环带，环带与椎体边缘平行，其暗带较宽，明带较窄，紧靠中心的暗带宽度宽于外围暗带宽度，上一生长年度的亮带与下一生长年度的暗带形成脊椎骨年轮 (图 1b)，脊椎骨上未发现幼轮 (图 1b)。

主鳃盖骨：透射光下，黄石爬鮍主鳃盖骨表面可见由宽的暗带和窄的亮带相间排列形成的环带 (图 1c)，轮纹的中心在主鳃盖骨上无

法体现，且轮纹仅在主鳃盖骨的部分区域明显，在鳃盖骨上存在副轮，干扰年龄的鉴定 (图 1c)。

胸鳍棘：黄石爬鮍胸鳍棘宽大，与胸部皮肤一起特化为起附着作用的吸盘。胸鳍棘基部切片未观察到年轮结构 (图 1d)。

运用微耳石磨片、脊椎骨和主鳃盖骨对 2013 年 6 月采集的 66 尾标本的年龄进行了鉴定，年龄吻合率为 93.94%。

2.2 渔获物结构

2.2.1 体长、体重分布 383 尾渔获物的体长变幅为 92 ~ 190 mm，体长均值为 (130.14 ±

13.98) mm, 其中, 110 ~ 140 mm 个体 285 尾, 占渔获物总量的 74.41%, 低于 110 mm 和高于 140 mm 样本分别占 8.09% 和 17.49% (图 2)。体重变幅为 14.70 ~ 119.80 g, 体重均值为 (43.43 ± 14.88) g, 其中, 20 ~ 60 g 个体 325 尾, 占渔获物总量的 84.86%, 体重低于 20 g 和高于 60 g 样本分别占 2.61% 和 12.53% (图 3)。

2.2.2 年龄组成与性比 383 尾标本中鉴定年龄标本 365 尾, 由 3 ~ 13 龄 11 个年龄组组成, 以 5 龄、6 龄、7 龄和 8 龄为主, 分别占渔获物总量的 18.28%、36.03%、21.93% 和 7.83%, 5 龄以下、8 龄以上个体分别占渔获物总量的 3.92% 和 7.31% (图 4)。种群雌雄性比为 1 : 1.06。雄鱼最小性成熟年龄为 4 龄, 5 龄多数达

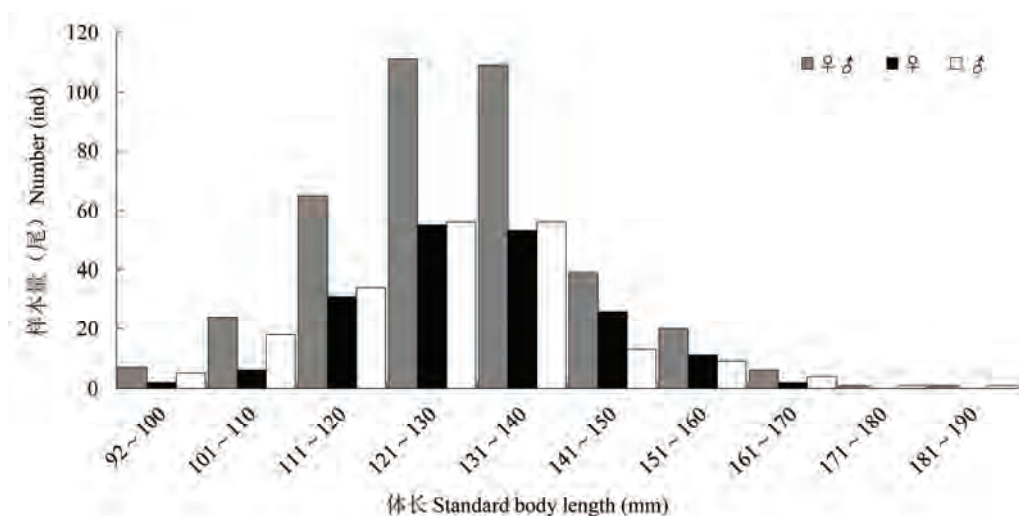


图 2 黄石爬鮡的体长分布

Fig. 2 Body length distribution of *Euchiloglanis kishinouyei*

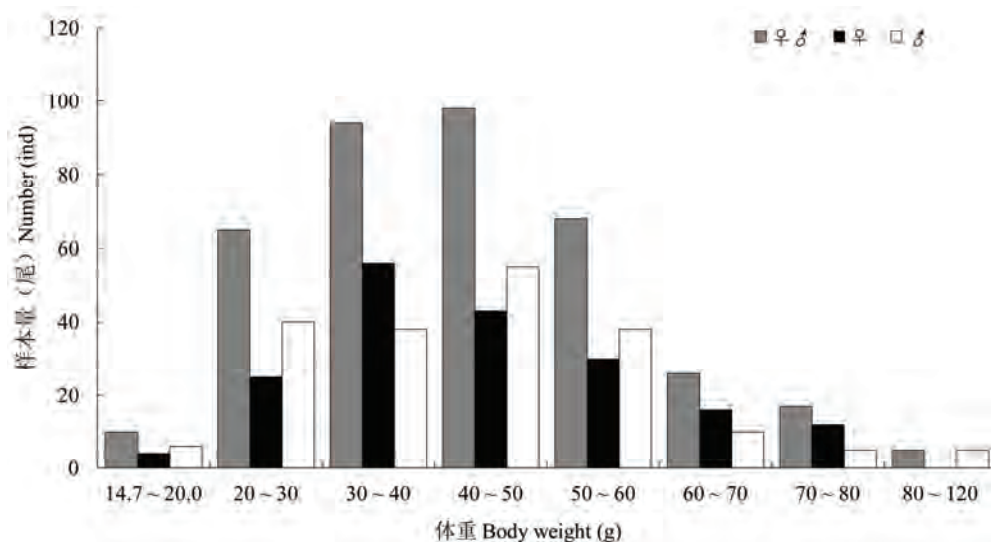


图 3 黄石爬鮡的体重分布

Fig. 3 Body weight distribution of *Euchiloglanis kishinouyei*

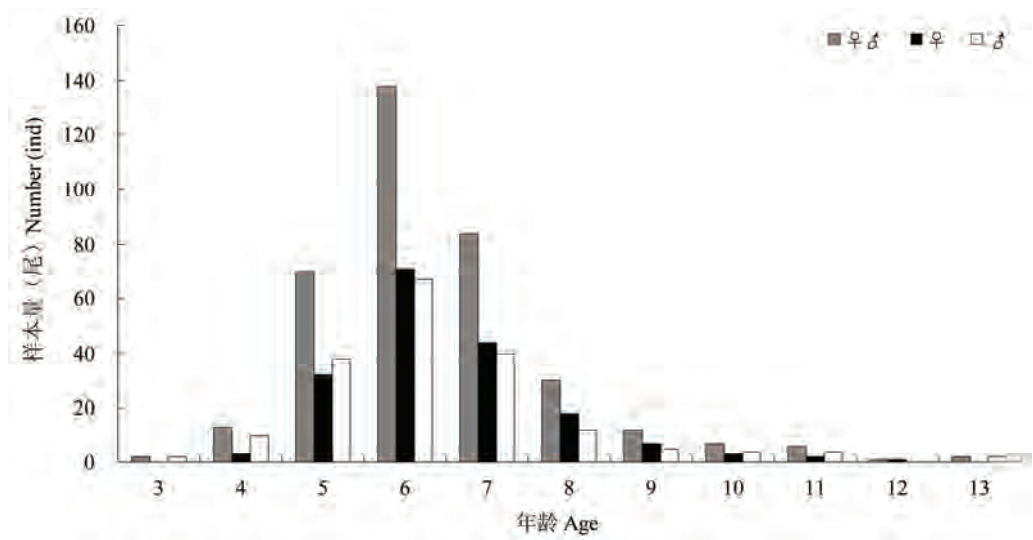


图 4 黄石爬鮍的年龄结构

Fig. 4 Age distribution of *Euchiloglanis kishinouyei*

性成熟；雌鱼最小性成熟年龄为 5 龄，6 龄多数达性成熟。2012 年 7 月采集的标本中性腺处于 III ~ VI 期标本 206 尾，其中雌性占 30.58% (63 尾)，雄性占 69.42% (143 尾)；2013 年 6 月收集标本中性腺处于 III ~ VI 期标本 57 尾，占 6 月收集标本总数的 86.36%。由此可见，黄石爬鮍产卵盛期可能在 6 月。

2.3 生长

2.3.1 体长与脊椎骨半径的关系及生长退算
运用 5 种数学模型拟合的体长 (L) 与脊椎骨半径 (R_0) 回归方程中，线性回归方程的 R^2 最大，回归方程为 $L = 67.038 + 50.783R_0$ ($n = 325$, $R^2 = 0.758$, $P < 0.01$) (图 5)。各龄退算体长见表 1，5 龄前退算体长大于实测体长，6 龄鱼退算体长与实测体长接近，7 龄后退算体长小于实测体长，且随着年龄的增长，这一现象更加

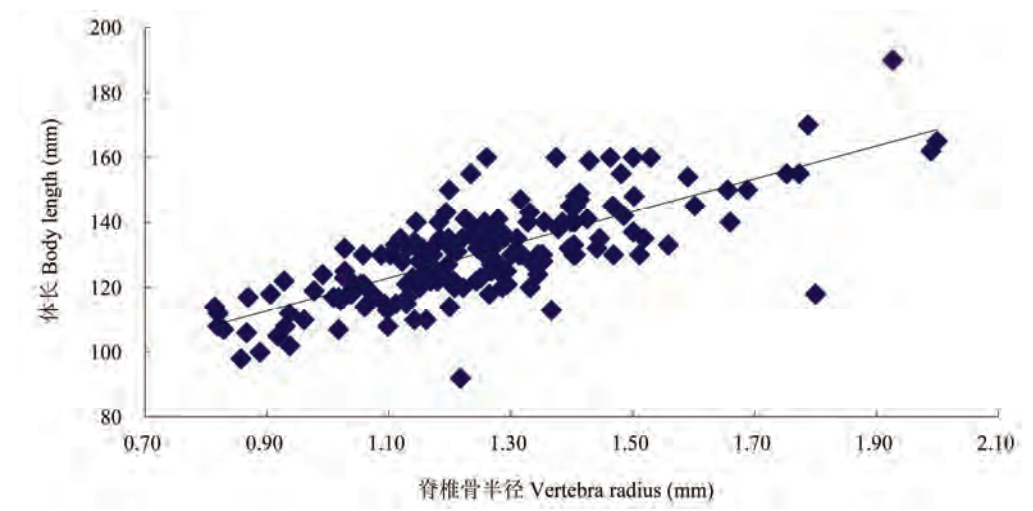


图 5 黄石爬鮍体长与脊椎骨半径的关系

Fig. 5 Relationship between body length and vertebra radius of *Euchiloglanis kishinouyei*

表 1 黄石爬鮡各年龄组实测体长与退算体长

Table 1 Measured body length and back-calculated body length at each age class of *Euchiloglanis kishinouyei*

年 龄 Age	标本数 Number of specimen	实测体长 Measured body length (mm)	退算体长 Back-calculated body length (mm)										
			L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
3	2	95.00 ± 4.24	80.83	92.23	100.28	—	—	—	—	—	—	—	—
4	7	105.15 ± 5.63	80.46	92.67	100.92	112.39	—	—	—	—	—	—	—
5	65	116.24 ± 6.29	80.71	92.68	100.93	114.03	121.38	—	—	—	—	—	—
6	132	127.84 ± 6.74	81.63	92.00	100.33	114.33	122.10	130.38	—	—	—	—	—
7	77	135.88 ± 6.06	79.82	90.86	100.00	111.62	118.49	125.32	132.72	—	—	—	—
8	24	145.87 ± 7.75	81.60	90.32	99.75	112.81	119.74	126.85	134.79	143.46	—	—	—
9	9	150.92 ± 3.87	78.32	88.88	98.36	109.89	117.10	125.31	132.89	139.36	146.39	—	—
10	5	159.86 ± 5.55	80.79	88.54	98.15	112.92	120.16	128.17	134.60	140.77	147.36	152.92	—
11	4	160.17 ± 3.31	78.30	87.19	97.95	107.68	115.37	124.63	131.89	137.61	142.44	149.31	155.20
退算体长均值 Weighted mean back-calculated body length			80.27	90.60	99.63	111.96	119.19	126.78	133.38	140.30	145.40	151.12	155.20

“—” 表示数据缺乏。“—” indicates data deficiency.

明显。将各年龄组实测体长的平均值与退算体长进行配对 t 检验, 二者间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3.2 体长与体重的关系及雌雄生长差异 对渔获物中雌性 (186 尾) 和雄性 (197 尾) 的实测体长与体重数据分别拟合, 发现黄石爬鮡体重与体长呈幂函数相关 (图 6), 回归方程分别为, ♀: $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.921}$ ($n = 186$, $R^2 = 0.7697$, $P < 0.01$), ♂: $W = 2 \times 10^{-5} L^{2.948}$ ($n = 197$, $R^2 = 0.8349$, $P < 0.01$)。3、11、12 和 13 龄样本太少, 未做检验, 4 ~ 11 龄黄石爬鮡雌鱼与雄鱼的体长-体重回归方程无显著差异 (t 检验, $t = 0.0029 < t_{0.10} = 1.653$, 表 2), 故采用雌雄群体合并的方程 $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.9279}$ ($n = 383$, $R^2 = 0.8071$, $P < 0.01$) 拟合体长与体重

的关系。

2.3.3 生长率和生长指标 365 尾鉴定年龄的黄石爬鮡的体长和体重生长率及生长指标见表 3。由于 12 龄和 13 龄鱼的样品很少, 不能客观反映该年龄组的生长情况, 故不列入。黄石爬鮡的体长和体重相对生长率及生长比速在 4 ~ 6 龄最高, 7 龄、8 龄仍维持在较高水平; 体长和体重生长常数在 4 ~ 10 龄均较高; 体长生长指标 4 ~ 6 龄最高, 7 ~ 10 龄有所下降, 但仍维持在较高水平; 体重生长指标 4 ~ 10 龄均较高。表明 4 ~ 6 龄黄石爬鮡的体长生长迅速, 7 ~ 10 龄体长增长趋于稳定; 4 ~ 10 龄黄石爬鮡体重均增长迅速。

2.3.4 生长方程和生长速度、生长加速度方程 黄石爬鮡体长与体重方程的幂指数 b (2.948)

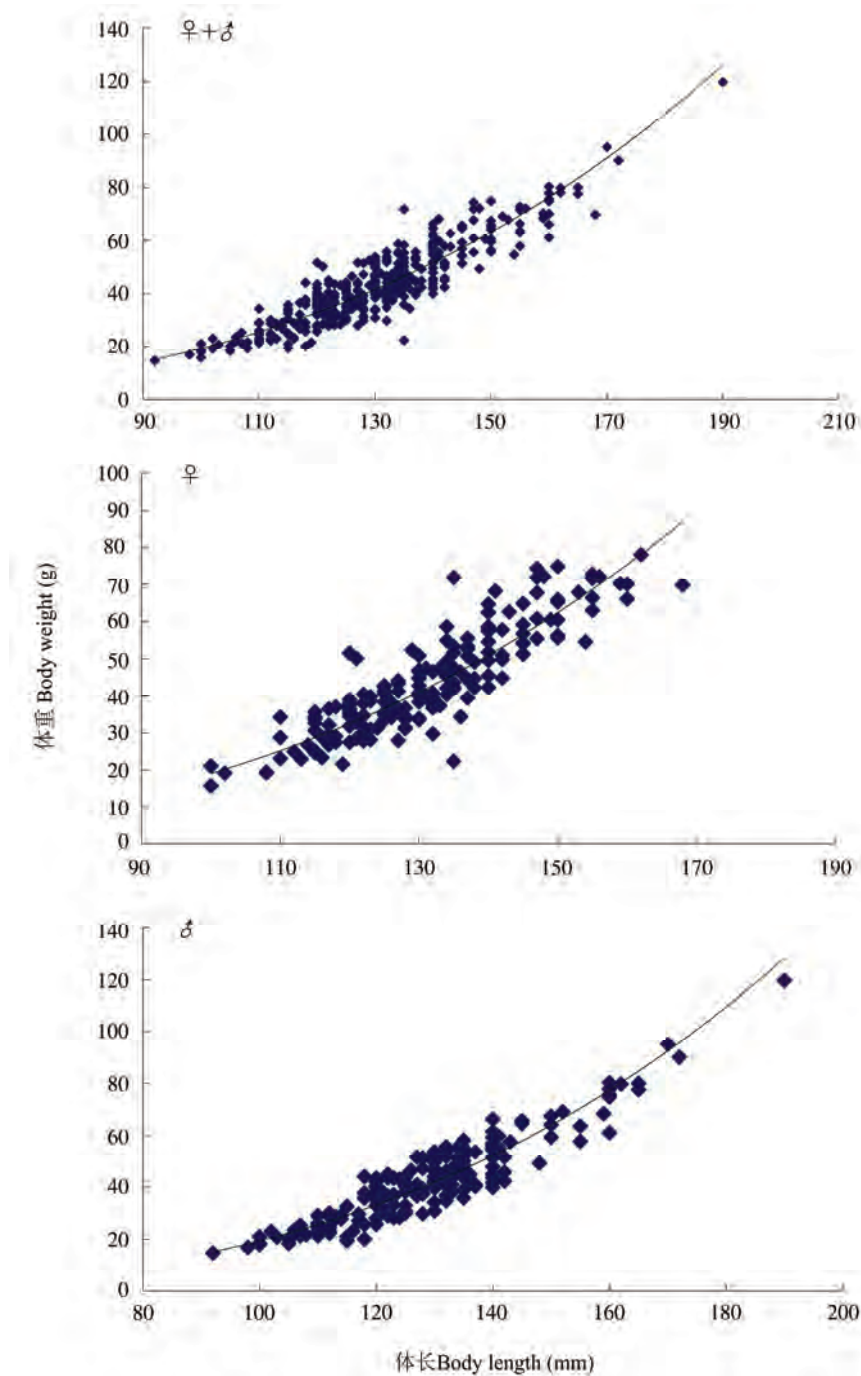


图 6 黄石爬鮍体长与体重的关系

Fig. 6 Relationship between body length and body weight of *Euchiloglanis kishinouyei*

与 3 无差异, 适于用 von Bertalanffy 方程建立生长方程。将各龄黄石爬鮍的退算体长用最小二乘法列出的 L_{t+1} 与 L_t 、 $\ln(L_\infty - L_t)$ 与 t 间的

线性方程分别为 $L_{t+1} = 17.82 + 0.9145 L_t$ ($R^2 = 0.9963$) 和 $\ln(L_\infty - L_t) = 5.2794 - 0.051t$ ($R^2 = 0.9947$), 求出 $L_\infty = 208.42$ mm, $k = 0.089$,

表 2 雌、雄黄石爬鮡各龄组体长和体重的比较

Table 2 Comparison of body length and body weight in different age of male and female

Euchiloglanis kishinouyei

年龄 Age	样本数 Samples (♀/♂)	体长 Body length (mm)			体重 Body weight (g)		
		♀	♂	<i>t</i> 检验 <i>P</i> 值 Test for difference	♀	♂	<i>t</i> 检验 <i>P</i> 值 Test for difference
4	13 (3/10)	104.00 ± 6.93	105.50 ± 5.56	0.703	20.64 ± 4.62	20.58 ± 2.32	0.979
5	70 (32/38)	117.63 ± 6.49	115.08 ± 5.95	0.616	30.39 ± 6.64	28.83 ± 6.42	0.323
6	138 (71/67)	128.44 ± 8.59	127.21 ± 6.18	0.286	40.90 ± 10.39	41.07 ± 7.68	0.911
7	85 (45/40)	135.80 ± 9.31	135.98 ± 6.01	0.893	48.32 ± 11.42	48.37 ± 8.62	0.979
8	30 (18/12)	145.67 ± 10.47	146.17 ± 10.47	0.866	57.02 ± 12.44	59.87 ± 13.46	0.489
9	12 (7/5)	151.57 ± 11.14	150.00 ± 3.54	0.514	63.32 ± 13.10	62.71 ± 3.99	0.859
10	7 (3/4)	159.33 ± 14.67	160.25 ± 7.41	0.850	73.44 ± 13.62	73.47 ± 14.93	0.997

3、11、12 和 13 龄样本太少, 未做检验。Samples of 3, 11, 12 and 13 age were too few to do the *t*-test.

$t_0 = -1.20$, 根据体长与体重关系方程 $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.9279}$ 求得 $W_{\infty} = 184.82$ g。据此得出黄石爬鮡体长和体重生长方程分别为 $L_t = 208.42 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]$ 和 $W_t = 184.82 [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{2.9279}$ 。对体长和体重生长方程求一阶和二阶导数, 得到的体长生长速度方程为 $dL/dt = 18.5494 e^{-0.089(t+1.20)}$, 体长生长加速度方程为 $d^2L/dt^2 = -1.6509 e^{-0.089(t+1.20)}$, 体重生长速度方程为 $dW/dt = 48.1610 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{1.9279}$, 体重生长加速度方程为 $d^2W/dt^2 = 4.2863 e^{-0.089(t+1.20)} [1 - e^{-0.089(t+1.20)}]^{0.9279} \times [2.9279 e^{-0.089(t+1.20)} - 1]$ 。

黄石爬鮡的体长生长曲线和体长生长速度、加速度曲线都不具拐点, 随着年龄的增加, 体长逐渐趋向渐近值, 生长速度 dL/dt 减慢, 并逐渐趋于 0, 体长生长加速度 d^2L/dt^2 逐渐上升, 但位于 t 轴的下方, 表明随着体长生长速度的下降, 其递减速度渐趋缓慢 (图 7)。黄石爬鮡的体重生长曲线为不对称的 S 形渐近曲线, 体重生长速度、加速度曲线具有明显的拐点 (图 7), 其拐点年龄 $t_1 = 10.87$, 将 t_1 代入体长和体重生长方程, 求得拐点年龄的体长和体重分别为 134.24 mm 和 53.37 g。当 $t < 10.87$ 时, 随着年龄的增长, dW/dt 递增, d^2W/dt^2 下降但为正; 当 $t = 10.87$ 时, dW/dt 达最大值, d^2W/dt^2 为 0;

当 $t > 10.87$ 时, dW/dt 和 d^2W/dt^2 均下降; 表明 10.87 龄前为种群质量递增阶段, 10.87 龄后为种群质量递减阶段。

3 讨论

3.1 黄石爬鮡年龄鉴定材料的选择

鱼类年龄鉴定的材料主要有耳石、脊椎骨、鳍棘、鳃盖骨等。对鲇形目鱼类的研究发现, 不同鱼类适宜年龄鉴定的材料有所不同。本文运用脊椎骨、微耳石、主鳃盖骨和胸鳍棘切片对黄石爬鮡年龄进行鉴定, 微耳石磨片的长径上年轮清晰连贯, 适宜用作年龄鉴定; 无论低龄鱼还是高龄鱼, 脊椎骨上轮纹总是由宽的暗带和窄的明带相间, 并围绕中心呈同心圆排列, 且无幼轮和副轮存在; 主鳃盖骨上轮纹仅在部分区域明显, 轮纹的中心在主鳃盖骨上无法体现, 并存在副轮干扰年龄的鉴定; 胸鳍棘特化为附着器官, 轮纹结构不明显。由于脊椎骨鉴定年龄与微耳石鉴定年龄的吻合率达 93.94%, 且用脊椎骨鉴定年龄时取材和操作较耳石磨片更为简单, 因此, 脊椎骨是黄石爬鮡年龄鉴定的最佳材料。

3.2 黄石爬鮡的生长特性

体长体重方程中指数 b 值能反映鱼类在不同发育阶段和不同生境中的生长发育情况, 当

表 3 黄石爬鮠的体长和体重生长率及生长指标
Table 3 Increment rate and growth indexes of body length and body weight of *Euchiloglanis kishinouyei*

年龄 Age	标本数 Samples	体长 Body length (mm)					体重 Body weight (g)				
		<i>L</i>	ΔL	$\Delta L/L$ (%)	C_L	C_{Lt}	<i>G</i>	<i>W</i>	ΔW	$\Delta W/W$ (%)	C_W
3	2	95.00 ± 4.24	—	—	—	—	—	15.80 ± 1.56	—	—	—
4	13	105.15 ± 5.63	10.15	10.68	0.11	0.39	10.45	20.59 ± 2.75	4.79	30.32	0.11
5	70	116.24 ± 6.29	11.09	10.55	0.10	0.45	10.52	29.54 ± 6.52	8.95	43.47	0.10
6	138	127.84 ± 6.74	11.60	9.98	0.09	0.50	10.46	40.99 ± 8.94	11.46	38.76	0.09
7	84	135.88 ± 6.06	8.04	6.29	0.06	0.39	7.67	48.34 ± 9.65	7.35	17.93	0.06
8	30	145.87 ± 7.75	9.99	7.35	0.07	0.53	9.51	58.16 ± 10.83	9.82	20.31	0.07
9	12	150.92 ± 3.87	5.05	3.46	0.04	0.34	5.83	63.06 ± 5.44	4.90	8.43	0.03
10	7	159.86 ± 5.55	8.94	5.92	0.05	0.48	7.55	73.46 ± 10.83	10.40	16.49	0.06
11	6	160.17 ± 3.31	0.31	0.19	0.01	0.11	1.60	75.69 ± 18.70	2.23	3.04	0.01

L. 体长均值; ΔL . 体长绝对增长率; $\Delta L/L$. 体长相对增长率; *W*. 体重均值; ΔW . 体重绝对增长率; $\Delta W/W$. 体重相对增长率; C_L . 生长常数; C_{Lt} . 生长比速; C_W . 生长常数; *G*. 生长指标。 “—” 表示数据缺乏。
L. Average body length; ΔL . Absolute body length increment rate; $\Delta L/L$. Relative body length increment rate; *W*. Average body weight; ΔW . Absolute body weight increment rate; $\Delta W/W$. Relative body weight increment rate; C_L . Specific speed of growth; C_{Lt} . Growth constant; *G*. Growth index. “—” indicates data deficiency.

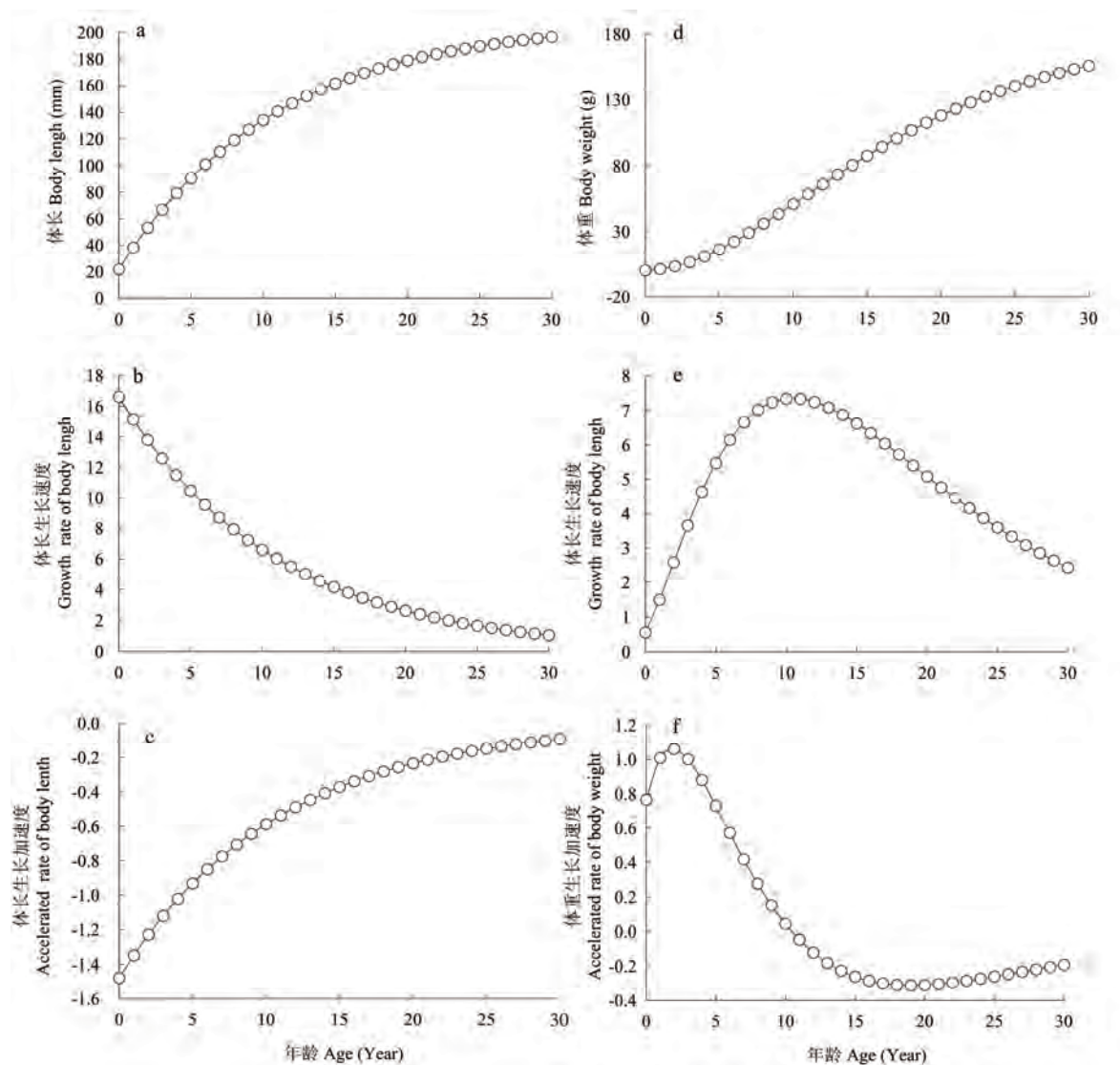


图7 黄石爬鲢生长曲线

Fig. 7 The growth curves of *Euchiloglanis kishinouyei*

a. 体长生长曲线; b. 体长生长速度曲线; c. 体长生长加速度曲线; d. 体重生长曲线; e. 体重生长速度曲线; f. 体重生长加速度曲线。

a. The growth curve of body length; b. The growth rate curve of body length; c. The accelerated rate curve of body length; d. The growth curve of body weight; e. The growth rate curve of body weight; f. The accelerated rate curve of body weight.

鱼类体长体重方程的值 b 等于 3 或接近 3 时, 体长与体重为等速生长 (殷名称 1995)。黄石爬鲢雌鱼和雄鱼体长、体重方程的指数 b 分别为 2.921 和 2.948, 与“3”无显著差异, 且雌、雄鱼的体长体重回归方程及雌、雄鱼各龄体长和体重无显著差异, 表明雌雄个体体长和体重生长无显著差异, 均为等速生长类型。这一点

符合部分鲢形目鱼类的生长特点 (张世光 1987, 陈焜慈等 1999, 李秀启等 2006, 王怀林 2011, 吴金明等 2011, 阴双雨等 2011) (表 4)。与乌苏里拟鲮 (*Pseudobagrus ussuriensis*) (贾一何等 2012) 雌、雄鱼生长存在明显差异, 乌苏里拟鲮雌雄均为异速生长或雄鱼为异速生长 (表 4)。

表 4 几种鲇形目鱼类的生长特性比较

Table 4 The comparison of growth characteristics of several kinds of fish in the Siluriformes

物种 Species	生境 Habitat	样本数 Number	b	k	t_1	参考文献 References
黄石爬鮠 <i>Euchiloglanis kishinouyei</i>	大渡河 Dadu River	383	2.927 9	0.089	10.87	本研究
大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i>	赤水河 Chishui River	511	2.638	0.069 35	12.7	吴金明等 2011
白缘鲢 <i>Liobagrus marginatus</i>	嘉陵江 Jialing River	363	2.756 8			王怀林 2011
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	扶仙湖 Lake Fxian	708	2.968 8 (♀) 2.790 5 (♂)	0.221 9 (♀) 0.247 6 (♂)	3.6 3.1	李秀启等 2006
盩鮄 <i>Cranoglanis sinensis</i>	西江 Xijiang River	238	3.061 0	0.1460	5.431	张世光 1987
斑鲃 <i>M. guttatus</i>	珠江 Zhujiang River	325	3.187 2	0.089	12.36	陈焜慈等 1999
中华鲃 <i>Clupisoma sinensis</i>	澜沧江 Mekong River	188	3.038 9 (♀) 3.034 6 (♂)	0.08 (♀) 0.10 (♂)	11.5 (♀) 7.5 (♂)	阴双雨等 2011
乌苏里拟鲃 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	养殖池 Fish pond	200	1.964 6 (♀) 2.005 (♂)			贾一何等 2012

生长方程中生长系数 k 是决定鱼类达到其渐近体长 L_{∞} 的速度曲率参数,能反映鱼类不同种群生命周期的长短和生长速度, k 值为 0.05 ~ 0.10 的鱼类是生长缓慢的鱼类,0.10 ~ 0.20 是均速生长种,0.20 ~ 0.50 是快速生长种 (Branstetter 1987)。黄石爬鮠 $k = 0.089$,属于生长缓慢,生命周期较长的鱼类。究其原因,可能与种的特性有关,同时也受到饵料丰度、水温等多种环境因素的影响。

生长率和生长指标是衡量鱼类生长的重要参数,相对生长率和生长比速能分别反映鱼类生长的阶段性特征和单位时间内瞬时的鱼体增长,从而客观地反映鱼类的生长特性 (高天翔 1993);生长常数可用于划分鱼类的生长阶段,生长指标主要用于比较鱼体的生长速率 (费鸿年等 1990)。根据黄石爬鮠各龄生长率和生长指标情况可将其生长划分为 3 个阶段:6 龄前体长和体重相对生长率及生长比速最高,生长速度最快,且 6 龄鱼性腺几乎全部成熟,故 6 龄前为幼鱼增长期;7 龄至拐点年龄前体长和体重生长常数均较高,为成鱼生长稳定期;拐点年龄之后生长减慢,为生长衰老期。此外,黄石爬鮠的体重生长拐点年龄 t_1 (10.87) 远落

后于性成熟年龄 (♀6 龄,♂5 龄),这一点与其他生长缓慢、寿命长的鱼类一样 (陈焜慈等 1999,贺舟挺 2005,李红敬 2008,田辉伍等 2010,吴金明 2011,阴双雨等 2011,胡睿等 2012,薛超等 2013) (表 4),属于性成熟后生长仍然较快的类型,具有较好的生长潜能。在性成熟后保持高速生长,虽然躯体的能量积累会占用较大比例的资源,但对提高其终身繁殖力,在较为恶劣的环境中维持物种生存是有利的 (谢小军等 1994)。本研究还发现,5 龄前黄石爬鮠退算体长大于实测体长,6 龄鱼退算体长与实测体长接近,7 龄后退算体长小于实测体长,且随着年龄的增长,这一现象更加明显。出现这一现象的原因可能是鱼类大小选择性死亡 (size-selective mortality) 的结果,即符合李氏现象 (殷名称 1995)。

3.3 黄石爬鮠的资源状况及保护

殷名称 (1995) 将鱼类产卵群体划分为三种结构类型,产卵群体仅由补充群体组成 (第 I 类型)、产卵群体由补充群体 (为主) 和剩余群体组成 (第 II 类型)、产卵群体由补充群体和剩余群体 (为主) 组成 (第 III 类型)。其中,第 III 类型的产卵群体鱼类一般生命周期长 (寿命

在 6 ~ 8 龄), 性成熟较迟 (性成熟年龄 3 ~ 5 龄)。据此, 黄石爬鮡产卵群体应属于第 III 类型。该类型鱼类种群更新慢, 增殖潜力小, 其资源一旦遭到破坏, 种群数量一般不易恢复。如果这类鱼产卵群体以补充群体或低龄剩余群体为主, 表明其资源已受到严重破坏 (殷名称 1995)。本研究中黄石爬鮡产卵群体主要以补充群体 (5、6 龄) 和低龄剩余群体 (7、8 龄) 为主, 表明黄石爬鮡资源已经受到严重破坏。黄石爬鮡卵属沉性卵, 受精卵随水漂流, 遇静水则沉于水底 (黄寄夔等 2003), 鱼苗孵化更易受水利工程建设影响。因此, 合理开发水电资源、选择合适的渔具和制定渔法是进行其资源保护的最有效措施。

参 考 文 献

- Branstetter S. 1987. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern Gulf of Mexico. *Copeia*, 1987(4): 964–974.
- Guo X G, He S P, Zhang Y G. 2005. Phylogeny and biogeography of Chinese sisorid catfishes re-examined using mitochondrial cytochrome *b* and 16S rRNA gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 35(2): 344–362.
- He S P, Cao W X, Chen Y Y. 2001. The uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and the vicariance speciation of glyptosternoid fishes (Siluriformes: Sisoridae). *Science in China Series C: Life Sciences*, 44(6): 644–651.
- Park Y S, Chang J B, Lek S, et al. 2003. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam. *Conservation Biology*, 17(6): 1748–1758.
- 陈焜慈, 鄢国民, 李恒颂, 等. 1999. 珠江斑鮡年龄和生长的研究. *中国水产科学*, 6(4): 62–66.
- 褚新洛. 1979. 鮡鱼类的系统分类及演化谱系, 包括一新属和新亚种的描述. *动物分类学报*, 4(1): 72–82.
- 段中华, 孙建贻. 1999. 瓦氏黄颡鱼年龄与生长的研究. *水生生物学报*, 23(6): 617–623.
- 费鸿年, 张诗全. 1990. 水产资源学. 北京: 中国科学技术出版社, 156–285.
- 高天翔. 1993. 青岛近海青鳞鱼年龄、生长与死亡特征的研究. *海洋湖沼通报*, (4): 86–92.
- 贺舟挺. 2005. 西藏拉萨河异齿裂腹鱼年龄与生长的研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 35–36.
- 胡睿, 王剑伟, 谭德清, 等. 2012. 金沙江上游软刺裸裂尻鱼年龄和生长的研究. *四川动物*, 31(5): 708–712, 719.
- 黄寄夔, 杜军, 王春, 等. 2003. 黄石爬鮡的繁殖生境、两性系统和繁殖行为研究. *西南农业学报*, 16(4): 119–121.
- 贾一何, 黄鹤忠, 李倩倩, 等. 2012. 池养乌苏里拟鲢雌雄鱼生长及周年性激素与性腺发育研究. *海洋科学*, 36(3): 61–66.
- 李红敬. 2008. 黑斑原鲢个体生物学及种群生态研究. 武汉: 华中农业大学博士学位论文, 52–55.
- 李秀启, 陈毅峰, 李堃. 2006. 抚仙湖外来黄颡鱼种群的年龄和生长特征. *动物学报*, 52(2): 263–271.
- 田辉伍, 岳兴建, 陈大庆, 等. 2010. 怒江东方墨头鱼的年龄结构与生长特性. *动物学杂志*, 45(1): 104–110.
- 王德寿, 罗泉笙. 1992. 大鳍鲢的繁殖生物学研究. *水产学报*, 16(1): 50–59.
- 王德寿, 罗泉笙. 1993. 嘉陵江大鳍鲢的年龄和生长的研究. *水生生物学报*, 17(2): 157–165.
- 王怀林. 2011. 嘉陵江下游白缘鱼央年龄与生长的研究. *安徽农业科学*, 39(15): 9298–9301, 9304.
- 吴金明, 张富铁, 刘飞, 等. 2011. 赤水河大鳍鲢的年龄与生长. *淡水渔业*, 41(4): 21–25, 31.
- 武云飞, 吴翠珍. 1992. 青藏高原鱼类. 成都: 四川科学技术出版社, 542–546.
- 谢小军, 龙天澄, 曹振东. 1994. 南方鲇的繁殖群体的结构及生长. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 19(1): 71–78.
- 薛超, 危起伟, 孙庆亮, 等. 2013. 秦岭细鳞鲑的年龄与生长. *中国水产科学*, 20(4): 743–749.
- 杨育林, 文勇立, 李昌平, 等. 2010. 大渡河流域电站建设对保护鱼类的影响及对策措施研究. *四川环境*, 29(6): 65–70.
- 阴双雨, 刘明典, 田辉伍, 等. 2011. 中华鲱鲇年龄鉴定及生长特征. *动物学杂志*, 46(2): 12–21.
- 殷名称. 1995. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 23–27, 47–63.
- 张世光. 1987. 西江盍鲇年龄和生长研究. *淡水渔业*, (3): 2–6.