

金沙江中下游细鳞裂腹鱼的年龄生长及种群动态

朱其广¹, 唐会元¹, 林 晖², 龚 云¹, 李析男³, 杨 志¹

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北 武汉 430079;

2. 长江工程监理咨询有限公司, 湖北 武汉 430010;

3. 贵州省水利水电勘测设计研究院, 贵州省喀斯特地区水资源开发利用工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 探究金沙江中下游细鳞裂腹鱼(*Schizothorax chong*)的年龄、生长及种群动态, 可为其资源保护提供理论依据。2013-2017 年在金沙江中下游干流攀枝花、巧家及其支流雅砻江、黑水河下游江段采集细鳞裂腹鱼 170 尾, 逐尾测量全长、体长、体重, 取臀鳞与微耳石为年龄鉴定材料, 研究细鳞裂腹鱼的年龄结构、生长特征与种群动态。结果表明, 金沙江中下游细鳞裂腹鱼以低龄个体(1~3 龄)为主, 臀鳞及耳石均能够作为其低龄个体的年龄鉴定材料; 细鳞裂腹鱼体重(W)和体长(L)关系式为 $W = 7.00 \times 10^{-6} L^{3.1885}$ ($R^2 = 0.9867, n = 170$), 雌雄个体间体长-体重关系无显著性差异($P > 0.05$); 渐进体长(L_{∞})为 774.74 mm, 生长系数(k)为 0.13, 理论生长起点年龄(t_0)为 -0.13 龄; 渐进体重(W_{∞})为 11 407.01 g, 体长生长方程为 $L_t = 774.74 [1 - e^{-0.13(t+0.13)}]$, 体重生长方程为 $W_t = 11 407.01 [1 - e^{-0.13(t+0.13)}]^{3.1885}$, 拐点年龄为 8.79 龄; 种群总死亡系数(Z)为 0.82, 自然死亡系数(M)为 0.26, 当前开发率(E)为 0.68, 高于理论最大开发率(E_{max})0.388; 相对单位补充渔获量和生物量的结果也表现为过度捕捞特征, 种群已处于过度利用状况。针对细鳞裂腹鱼的生态习性特征及其资源现状, 建议采取生态调度、支流栖息地恢复及控制非法电捕等措施以保护其资源。

关键词: 细鳞裂腹鱼; 年龄与生长; 开发率; 种群动态; 金沙江中下游

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)02-0056-08

细鳞裂腹鱼(*Schizothorax chong*)属鲤形目、鲤科、裂腹鱼亚科、裂腹鱼属, 主要分布在长江上游(包括金沙江中下游)干支流江段, 是长江上游特有鱼类(丁瑞华, 1994; He et al, 2011)。细鳞裂腹鱼是我国特有的重要冷水性鱼类之一, 在重庆、云南、四川和贵州等多个省份均有人工养殖, 具有一定的经济价值。然而, 由于近年来金沙江中下游干支流梯级水电开发所引起的生境阻隔和破碎化、流水生境萎缩、自然水文情势改变等以及区域内存在的过度捕捞影响, 在流水生境中栖息繁殖的细鳞裂腹鱼种群数量在金沙江中下游干支流江段很可能已发生了明显变化(Cheng et al, 2015)。探究细鳞裂腹鱼种群在特定区域的年龄结构、生长特征及其数量变动情况, 可以在充分认识外部人类活动干扰背景下,

了解其区域资源现状, 从而为细鳞裂腹鱼在特定区域的资源保护提供基础数据支撑。

目前, 关于细鳞裂腹鱼的报道仅限于其形态学特征、人工繁殖、胚胎早期发育、生殖生物学和游泳能力等方面(陈礼强, 2007; 陈礼强等, 2008; 袁喜等, 2012; 秦希获等, 2017), 缺乏对其年龄结构、生长特征与种群动态的研究; 同时, 金沙江中下游作为细鳞裂腹鱼的主要分布区域之一(丁瑞华, 1994), 迄今未见关于该区域细鳞裂腹鱼种群的相关研究报道。本文拟通过 2013-2017 年在金沙江中下游两个生境类似区域的采样, 对细鳞裂腹鱼的年龄结构、生长特征与种群动态进行研究, 了解其在金沙江中下游分布种群的年龄结构、生长与死亡特征、开发率、相对单位补充渔获量和生物量等现状信息, 旨在为其资源保护提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 采样区域

2013-2017 年每年的夏季(6-8 月)以及秋冬季(11-12 月)在金沙江中下游的两个区域开展细鳞裂腹鱼样本采集(图 1), 包括采样区域 A-攀枝花金沙江中游干流及其支流雅砻江下游江段; 采样区

收稿日期: 2019-04-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502206); 国家自然科学基金项目(51809185); 贵州省科技项目(黔科合重大专项字[2017]3005-5); 水利部三峡司财政预算项目“三峡库区鱼类资源保护的生态调度综合技术研究(续 2018)”。

作者简介: 朱其广, 1985 年生, 男, 博士, 助理研究员, 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: zhuqiguang@mail.ihe.ac.cn

通信作者: 杨志。E-mail: yangzhi4626@163.com

域B-巧家金沙江下游干流及其支流黑水河下游江段;其中,攀枝花金沙江中游干流江段位于雅砻江与金沙江汇口以上、观音岩大坝以下,雅砻江下游江段包括桐梓林水电站坝下至雅砻江河口江段;巧家金沙江下游干流江段位于黑水河与金沙江汇口以上、蒙姑乡以下,黑水河下游江段包括老木河水电站坝下至黑水河河口江段。每个季节在两个区域采样15~20 d。

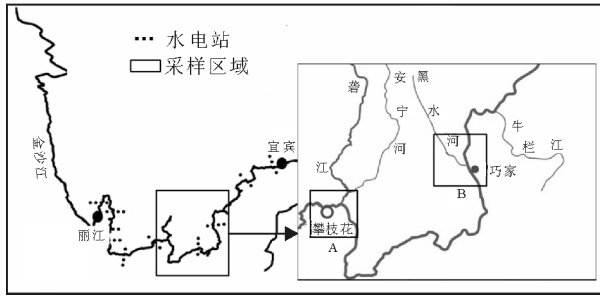


图1 采样区域示意

Fig.1 Schematic diagram of the sampling region and sample site locations

1.2 样本采集

通过雇佣当地渔民捕捞的方式进行鱼类样本采集,使用这些渔民的渔具或提供渔具给渔民,并按照事先制定的样本采集时间,每次采样持续4~6 h。捕获细鳞裂腹鱼的主要渔具为刺网(包括定置刺网和流刺网)以及电捕器(经申请获批)。网目大小为2~12 cm,网高为2~5 m,网长为30~120 m。电捕器为背负式电捕鱼器(电瓶20A、12V,功率3 000 W)。鱼类样本采集后,参考文献进行种类鉴定(丁瑞华, 1994),并逐尾测量其全长(精确到1 mm)、体长(精确到1 mm)、体重(精确到0.1 g)。逐尾取臀鳞与微耳石为年龄鉴定材料。鳞片从肛门两侧选取,左右两侧各取5~10枚,再生鳞不得用于鉴定鱼类年龄,取下的鳞片置于鳞片袋中(李忠利等, 2015)。耳石通过剪破额骨,从脑后部的内耳球囊中取出,然后经95%乙醇清洗、晾干后置于96孔培养板中后编号保存。年龄材料取样时应记录样本个体的全长、体长、体质量、性别、地点、时间、取样人等信息。

1.3 年龄鉴定

将取样完整的鳞片用清水浸泡6~8 h,用清水及95%的无水乙醇洗净鳞片表面污染物,然后置于2片载玻片之间。用无色指甲油将微耳石的凹面朝上黏于载玻片上,待其自然风干后,用2000号砂纸加水打磨,不时在显微镜下观察,直至打磨到能清楚看到耳石生长中心轮纹;然后用水洗净耳石磨片,

再用抛光纸抛光至轮纹完全清晰;最后用丙酮将指甲油溶解、翻面、风干。用相同方法打磨耳石另一面,洗净风干即可直接用无色指甲油封片、观察(李忠利等, 2015)。鳞片与微耳石年轮的观察采用显微镜观测、照相,并保存图片。使用Adobe Photoshop CS2进行图片处理。

以每年元月1日为年龄递增日期进行鳞片年龄鉴定,如某个鳞片上的年轮数为 n 时,若在第 n 个年轮外侧已有一部分环片出现,将年龄记为 n^+ ;若在第 n 个年轮外侧新年轮尚未完全形成但已有少数密带出现,则将年龄记为 $n+1$ (殷名称, 1993)。耳石年轮鉴定时,在入射光下,可看到暗色和白色的条带组合相间排列,将黑色或模糊的条带组合视为年轮。年轮观测时,2人首先分别对鳞片材料进行观测,当观测结果一致时,即为此样本鱼的年龄,而不需要制备和观测耳石材料;当观测结果不一致,使用耳石材料继续观测该尾鱼的年龄;当耳石观测结果也不一致时,则通过有经验的第三人同时观测臀鳞和耳石材料后,经讨论确定其年龄。

1.4 数据分析

1.4.1 体长-体重关系 应用公式 $W = aL^b$ 对体长和体重关系进行拟合。式中: W 为体重, L 为体长, a 和 b 为常数(殷名称, 1993);同时,采用残差平方和(ARSS)方法进行差异性检验,比较雌雄个体体长-体重关系式的差异(Chen et al, 1992)。

1.4.2 生长方程 基于体长-年龄数据,采用最小二乘法(least square method, LSQ)拟合Von Bertalan方程(体长-年龄关系);然后,基于体长-体重关系获得体重-年龄生长方程(殷名称, 1993):

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

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (2)$$

式中: L_t 和 W_t 分别为示 t 龄时的体长(mm)和体重(g); L_∞ 和 W_∞ 分别为渐进体长和体重; k 为生长系数; t_0 为理论生长起点年龄; t 表示时间(以年为单位)。

1.4.3 死亡特征及开发率 总死亡系数(Z)和自然死亡系数(M)采用下列公式进行计算(Pauly, 1980;1990;殷名称, 1993):

$$\ln N / \Delta t = a + bt; Z = -b \quad (3)$$

$$\ln M_L = -0.0152 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln k + 0.463 \ln T \quad (4)$$

$$\ln M_W = -0.4851 - 0.0824 \ln W_\infty + 0.6757 \ln k + 0.4687 \ln T \quad (5)$$

$$M = (M_L + M_W) / 2 \quad (6)$$

式中： N 为每一个体长组的尾数； Δt 为对应体长组上限经体长转换年龄后的年龄减去该体长组下限经体长转换年龄后的年龄； a 为拟合截距； b 为拟合方程的斜率； M_L 为基于体长的自然死亡系数； M_W 为基于体重的自然死亡系数； L_∞ 为渐近体长； W_∞ 为渐近体重； k 为生长系数； T 为区域年均水温，采用调查年份的周年平均水温； M 为自然死亡系数。

$$\text{捕捞死亡系数: } F = Z - M \quad (7)$$

$$\text{总死亡率: } a = 1 - \exp^{-z} \quad (8)$$

$$\text{自然死亡率: } v = a \times M / Z \quad (9)$$

$$\text{捕捞死亡率: } u = a - v \quad (10)$$

$$\text{开发率: } E = F / Z \quad (11)$$

1.4.4 相对单位补充渔获量和生物量 采用 Beverton - Holt 动态综合模型的相对单位补充渔获量 (Y'/R) 和相对单位补充量生物量 (B'/R) 曲线评价细鳞裂腹鱼的资源利用情况。 E_{\max} 表示能获得最大产量时的开发率； E_{10} 表示资源群体边际产量减少到理论原始资源边际产量 1/10 时的开发率，被认为是最适开发率； E_{50} 表示资源量下降到原始水平 50% 时的开发率。相关模型的计算公式 (Alverson & Carney, 1975; Pauly, 1984) 如下：

$$Y'/R = E \times U^{M/k} [1 - 3U/(1+m) + 3U^2/(1+2m) - U^3/(1+3m)] \quad (12)$$

$$E = (Z - M) / Z \quad (13)$$

$$U = 1 - (L_c / L_\infty) \quad (14)$$

$$m = k / Z \quad (15)$$

$$B'/R = (Y'/R) / (Z - M) \quad (16)$$

$$t_{\max b} = (1/k) \times \ln[(m + 3k) / m] \quad (17)$$

式中： E 为开发率； L_∞ 为渐近体长； L_c 为起捕体长； M 为自然死亡系数； Z 为总死亡系数； k 为生长系数； $t_{\max b}$ 为最大生物量年龄； M 为自然死亡系数； k 为生长系数。

本文采用 Excel 2003, R 软件 3.0.1 以及 CorelDRAW 12 进行数据录入、处理分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 年轮特征与年龄结构

2013 - 2017 年, 在 2 个采样区域共采集到鱼类样本 34 986 尾, 其中细鳞裂腹鱼 170 尾, 占总采集尾数的 0.49%, 其体长范围为 74~434 mm, 体重范围为 8.2~1 628.2 g。年轮特征的观测结果显示, 细鳞裂腹鱼的臀鳞为典型的圆鳞, 鳞片较大, 在清洗时不易破碎, 前区面积较大, 后区面积相对较小; 环片

在前区及左右侧区明显, 后区不太明显; 鳞片各区上均分布有纵向的线状突起; 臀鳞年轮清晰, 其特征类型主要为疏密型, 表现为环片的疏密排布, 一个生长年带临近结束时, 下年的环片群和当年的环片群呈平行排列; 臀鳞可以很好地鉴定细鳞裂腹鱼的年龄 (图 2 - a)。微耳石打磨时容易破碎, 其中心核较厚, 难以透光观测。尽管如此, 其年轮分布仍较为清晰, 耳石上的一个年轮是由一个透明的增长带和一个暗色的间歇带组成, 且这两个年轮带相互穿插渗透 (图 2 - b)。

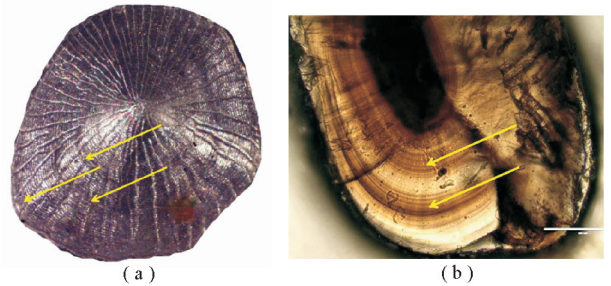


图 2 细鳞裂腹鱼鳞片 (a) 和耳石 (b) 的形态与年轮特征 (箭头示年轮)

Fig.2 Morphological and annual ring characteristics of scale (a) and otolith (b) of *S. chongi* (the arrows showed the annual rings)

所有样本的年龄分布范围为 1~5 龄, 以 1~3 龄组占优势, 占总采集尾数的 84.12%; 5 龄组个体最少, 仅占 4.12% (图 3)。优势年龄组中, 2 龄个体数量最多, 占总尾数的 40.00%, 其次为 3 龄组, 占 25.88%。

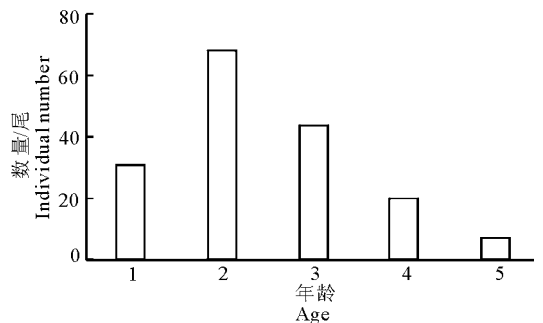


图 3 2013 - 2017 年金沙江中下游细鳞裂腹鱼的年龄结构

Fig.3 Age structure of *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River (2013 - 2017)

2.2 体长-体重关系

2013 - 2017 年调查结果表明, 金沙江中下游调查江段细鳞裂腹鱼体重 (W) 和体长 (L) 关系式为 $W = 7.00 \times 10^{-6} L^{3.1885}$, $R^2 = 0.9867$, $n = 170$ 尾 (图 4)。经残差平方和检验, 细鳞裂腹鱼雌雄个体 (♀: 38

尾,♂:42尾)的体长-体重关系无明显差异 ($b_{\text{♀}} = 3.23, b_{\text{♂}} = 3.14; P > 0.05$)。

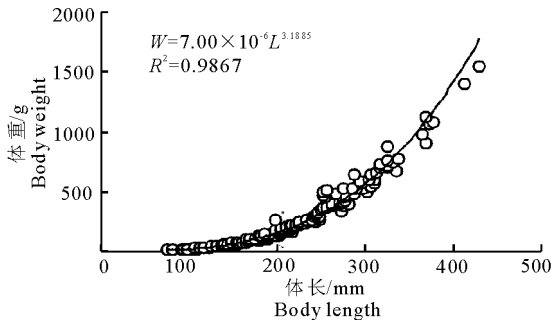


图4 2013-2017年金沙江中下游细鳞裂腹鱼体长与体重的关系

Fig.4 Relationship between body length and weight of *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River (2013-2017)

2.3 生长方程

根据最小二乘法得到2013-2017年金沙江中下游细鳞裂腹鱼的生长参数,渐进体长 $L_{\infty} = 774.74$ mm;生长系数 $k = 0.13$;理论生长起点年龄 $t_0 = -0.13$ 龄;渐进体重 $W_{\infty} = 11407.01$ g。将各参数代入 von Bertalanfy 方程,得到细鳞裂腹鱼的体长和体重生长方程(图5):

$$L_t = 774.74 [1 - e^{-0.13(t+0.13)}]$$

$$W_t = 11407.01 [1 - e^{-0.13(t+0.13)}]^{3.1885}$$

对体长、体重生长方程求一阶导数和二阶导数,得到细鳞裂腹鱼的生长速度和生长加速度方程为(图6-a):

$$\text{体长生长速度: } dL/dt = 100.72e^{(-0.13t-0.02)}$$

$$\text{体长生长加速度: } d^2L/dt^2 = -13.09e^{(-0.13t-0.02)}$$

$$\text{体重生长速度: } dW/dt = 4728.26 [1 - e^{(-0.13t-0.02)}]^{2.1885} \times e^{(-0.13t-0.02)}$$

$$\text{体重生长加速度: } d^2W/dt^2 = 614.67 [(1 - e^{(-0.13t-0.02)})^{1.1885} \times e^{(-0.13t-0.02)} \times [3.1885e^{(-0.13t-0.02)} - 1]]$$

细鳞裂腹鱼的体长生长速度随年龄的增加而下降,而体长生长加速度一直增加,最后趋于平缓;体重生长速度达到最大或体重加速度为0时的年龄为8.79龄(体长532 mm,体重3436.17 g),此处即为细鳞裂腹鱼的生长拐点(图6-b)。在此之前,体重生长加速度值为正,其后则为负;体重生长加速度曲线表现为明显的“S”形状,在2.44龄(220 mm, 206.14 g)以前呈明显的上升趋势,随后逐渐减少,直至到加速度为0。

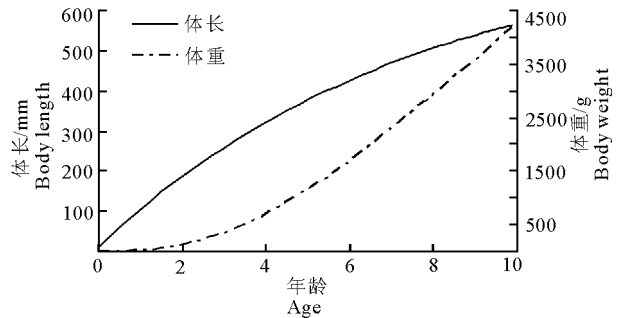


图5 2013-2017年金沙江中下游细鳞裂腹鱼体长和体重生长曲线

Fig.5 Growth curves of body length and body weight for *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River (2013-2017)

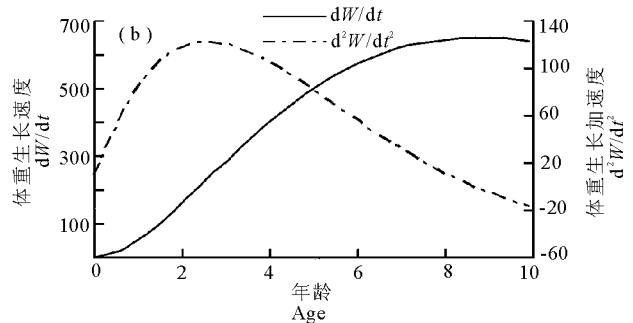
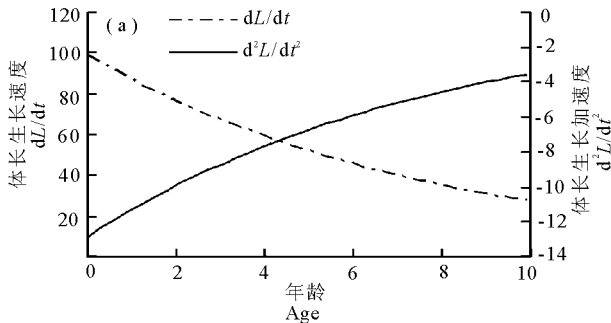


图6 2013-2017年金沙江中下游细鳞裂腹鱼体长和体重生长速度及生长加速度

Fig.6 Growth rate and growth acceleration rate of body length and body weight for *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River (2013-2017)

2.4 死亡特征及开发率

总死亡系数的拟合曲线为 $\ln N / \Delta t = 6.12 - 0.82t$ ($R^2 = 0.91$),故总死亡系数 Z 为 0.82,95%的置信区间为 0.66~0.99(图7)。经 Pauly 经验公式,

求得自然死亡系数 $M = 0.26$ 。通过 Z, M 求得捕捞死亡系数 $F = 0.56$,并进一步求得开发率 $E = 0.68$,总死亡率 $a = 0.56$,自然死亡率 $v = 0.18$ 和捕捞死亡率 $u = 0.38$ 。

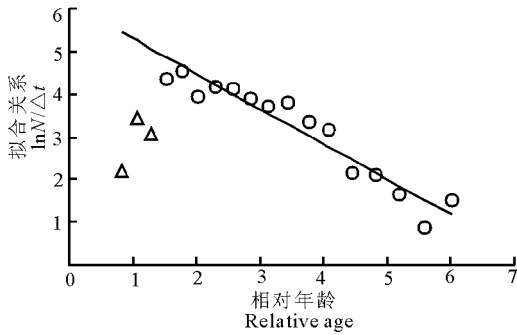


图7 根据体长变换渔获曲线估计2013-2017年金沙江中下游细鳞裂腹鱼的总死亡率

Fig.7 Total mortality coefficient estimated from the length converted catch curve for *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River (2013-2017)

2.5 相对单位补充渔获量和生物量

根据起捕体长 $L_c = 74$ mm, 由相对单位补充渔获量 Y'/R 与开发率 E 关系曲线估算出 $E_{max} = 0.388$, $E_{0.1} = 0.312$, $E_{0.5} = 0.248$, 而当前开发率为 $E = 0.68$, 高于理论最大开发率 $E_{max} = 0.388$, 表明2013-2017年金沙江中下游的细鳞裂腹鱼种群已处于过度捕捞状态。当 $L_c = 74$ mm, E 为 $0 \sim 0.388$ 时, Y'/R 随着 E 的增加而增加; 当 $E > 0.388$ 时, Y'/R 则随着 E 的增加而减少。从生物量维持来看, $E = E_{max}$ 时, 约有 50% 的资源量能够得以维持, 而 $E = E_{0.5}$ 时, 则可保持 70% 的资源量(图8)。

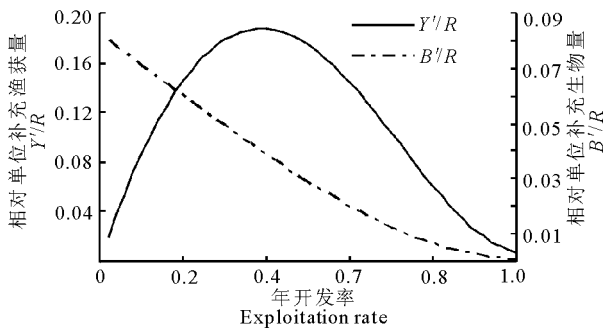


图8 金沙江中下游细鳞裂腹鱼起捕体长74 mm时的相对单位补充渔获量和生物量

Fig.8 Two-dimensional analysis for Y'/R and B'/R of *S. chongi* in the middle and lower Jinsha River when $L_c = 74$ mm

在保持当前 $M/k = 2.00$ 以及当前开发率 $E = 0.68$ 不变的前提下, 为获得最优的 Y'/R 以及较高的 B'/R , 以保持种群不被过度捕捞, 其开捕体长应该控制在 380 mm 以上(图9)。此范围仍处于细鳞裂腹鱼的最大生物量年龄 t_{maxb} 对应的体长范围以内 ($t_{maxb} = 7.05$ 龄, 体长 $L = 470$ mm)。

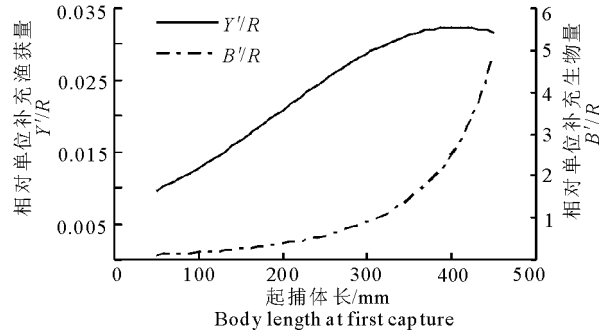


图9 不同起捕体长时的相对单位补充渔获量和生物量 ($M/k = 2.00, E = 0.68$)

Fig.9 Values of Y'/R and B'/R at a different range of first capture length when $M/k = 2.00$ and $E = 0.68$

3 讨论

3.1 鱼类年龄鉴定材料选择

已有研究表明, 鳞片适用于鉴定低龄个体的年轮, 而对高龄个体进行年轮鉴定时, 通常会低估其实际年龄(沈建忠等, 2001)。对生理寿命较长的鱼类个体进行年龄鉴定时, 使用耳石而非鳞片作为年龄鉴定材料则更为准确(Zymonas & McMahon, 2010; 蔡林钢等, 2011)。本次研究中, 尽管采集到的细鳞裂腹鱼的个体规格普遍较小, 但在鉴定年龄时, 采用臀鳞和耳石作为材料鉴定细鳞裂腹鱼的年龄。由于臀鳞样品要比耳石样品的制备和处理更为简单, 因此在年轮观测时首先制备和观测臀鳞材料, 只有臀鳞上的年轮数在不同观测人员之间存在差异时, 才使用耳石进行年轮观测。本研究结果显示, 对于细鳞裂腹鱼而言, 臀鳞及耳石在低龄个体(3龄)上的年轮特征均比较清晰(图2), 该结果与其它裂腹鱼的研究结果一致(朱秀芳和陈毅峰, 2009; 李忠利等, 2015), 表明使用臀鳞和耳石对细鳞裂腹鱼低龄个体进行年龄鉴定是合适的。

3.2 金沙江中下游细鳞裂腹鱼的生长特征

研究表明, 同种鱼类的生长特征参数在不同江段之间存在一定的差异(Basilone et al, 2004; 王美荣等, 2012)。造成这些差异的因素很多, 包括不同江段的生境差异(如饵料丰度、水温等)、年龄鉴定材料差异、采样样本数量和组成差异、个体不同代谢水平差异等, 其中采样样本的数量和组成差异是导致不同江段之间生长特征参数差异最关键的要素(王美荣等, 2012; Burton et al, 2017)。只有采样科学和合理, 才能获得正确的结论, 如比较不同江段的生境差异所导致的生长特征参数差异等。研究表明,

采样时获得更大规格的个体,其渐进体长和渐进体重更大,体长组或年龄组分布范围越广,生长特征参数越相近(Dulcic et al, 2011;王美荣等,2012)。

尽管本次开展了较长时间的渔获物调查,采集了各类样本 34 986 尾,但细鳞裂腹鱼仅有 170 尾,表明细鳞裂腹鱼在金沙江中下游调查区域的数量已极少,因此将两个江段采集到的细鳞裂腹鱼进行分开分析和统计,很可能得到不准确的结果;此外,两个采样江段虽距离较远(120~180 km),实际上为自然连通的江段(具有类似生境),且细鳞裂腹鱼为具有产卵迁徙习性的物种,因此不能排除这两个调查区域的细鳞裂腹鱼为一个地理种群。已有研究表明,在同一条河流上下游具有相似生境的区域,即使相隔 480 km 以上,齐口裂腹鱼也为同一地理种群(张争世等,2017)。

研究表明,某种鱼类的理论生长起点年龄 t_0 为负数时,表明该种鱼类的幼鱼或仔稚鱼不是匀速生长,需要使用其他模型如线性模型、Gompertz 模型等进行模拟(Dulcic et al, 2011)。本文中, t_0 为 -0.13 龄,表明本次获得的 von Bertalanfy 方程的特征参数不能用来模拟细鳞裂腹鱼幼鱼或仔稚鱼的年龄与生长,其幼鱼或仔稚鱼的生长特征参数需要更进一步深入研究。

不同鱼类种类的生长特征参数通常会存在一定的差异,通过比较可以获得这些鱼类与栖息生境的适应性关系。本文中,细鳞裂腹鱼的 L_∞ 、 W_∞ 值明显大于许多中小型鱼类如圆筒吻鲷、长鳍吻鲷(鲍新国等,2009;王美荣等,2012);同时,其 k 值显示与上述相反的结果,表明细鳞裂腹鱼的栖息需要较大的河流空间(个体规格较大),长大需要充分的生长时间(k 值较小),这与其适应在高海拔、低年均水温和饵料丰度以及缺乏其它大型鱼类种类分布的山地溪流和河流栖息有关(陈礼强,2007)。由于细鳞裂腹鱼个体规格较大,因此其在空间有限的山地溪流栖息繁殖时会更易受到人类选择性的捕捞;细鳞裂腹鱼的生长缓慢,世代更替也慢,其受破坏后难以快速恢复种群,这很可能是目前金沙江中下游野外种群数量很少的原因。

3.3 金沙江细鳞裂腹鱼的资源开发状况

开发率常常被用来评估一个鱼类种群受人类捕捞活动的影响程度(殷名称,1993)。本文中,调查区域细鳞裂腹鱼的开发率为 0.68,远高于 Gulland (1971)提出的鱼类资源最佳开发率 0.50,表明金沙江中下游调查区域的细鳞裂腹鱼已处于过度开发状

态。相对单位补充渔获量和生物量的结果也表现为过度捕捞特征,当前开发率 $E=0.68$,远高于理论最大开发率 $E_{\max}=0.388$ 。上述结果与当地严重的非法电捕行为有关(高少波等,2013)。

3.4 金沙江中下游细鳞裂腹鱼保护对策

细鳞裂腹鱼是一种以着生藻类为主要食物、适应流水生境的长江上游特有鱼类,其生活史周期的完成离不开粘附于砾石或基岩上的着生藻类(食物)和砾石(繁殖场所)。由于金沙江中下游干支流的梯级开发,蓄水倒灌不仅会淹没其食物附着基质,导致食物缺乏,而且会直接导致其砾石产卵浅滩的消失,从而阻碍其产卵活动的实现;同时,细鳞裂腹鱼主要在金沙江支流以及干流浅滩区域产卵或觅食(杨志等,2018),而这些区域易受到过度捕捞的影响。本研究显示,金沙江中下游调查区域细鳞裂腹鱼的种群已处于过度捕捞的境况。

金沙江中下游干流梯级水电开发不可逆地改变了区域内的生境条件。就细鳞裂腹鱼保护而言,保留金沙江中下游干支流一定长度的适宜流水生境是关键。然而,由于金沙江干支流普遍存在的梯级开发(Cheng et al, 2015),目前其中下游的流水生境主要局限分布在库尾江段及其部分支流河口和上游河段(通常呈分散分布),因此需通过干支流梯级调度,尽量保持这些江段在库区不同水位时均处于自然流水状况。如有可能,应建立管理有效的鱼类资源保护区;同时,在长江流域全面禁渔后,加强各调查区域的禁渔管理,在干流及每条重要支流建立禁渔管理队伍,投入更多监管设备,完善监管奖惩制度,保证在全年各个时刻(特别是晚上)能够对干支流重要水域进行实时监控。

参考文献

- 鲍新国,谢文星,黄道明,等,2009.金沙江长鳍吻鲷年龄与生长的研究[J].安徽农业科学,37(21):17-19.
- 蔡林钢,牛建功,吐尔逊,等,2011.伊犁裂腹鱼不同年龄鉴定材料的年轮特征比较[J].水生生态学杂志,32(3):78-81.
- 陈礼强,2007.细鳞裂腹鱼生殖生物学研究[D].重庆:西南大学.
- 陈礼强,吴青,郑曙明,等,2008.细鳞裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的发育[J].中国水产科学,15(6):927-934.
- 丁瑞华,1994.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社.
- 高少波,唐会元,乔晔,等,2013.金沙江下游干流鱼类资源现状研究[J].水生生态学杂志,34(1):44-49.

- 李忠利, 胡思玉, 陈永祥, 等, 2015. 乌江上游四川裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J]. 水生态学杂志, 36(2):75-80.
- 秦希获, 刘国勇, 鄢玉娇, 等, 2017. 光照对细鳞裂腹鱼受精卵孵化率及仔鱼生长、摄食的影响[J]. 水生态学杂志, 38(5):97-102.
- 沈建忠, 曹文宣, 崔奕波, 2001. 用鳞片和耳石鉴定鲫年龄的比较研究[J]. 水生生物学报, 25(6): 613-619.
- 王美荣, 杨少荣, 刘飞, 等, 2012. 长江上游圆筒吻鲟年龄与生长的研究[J]. 水生生物学报, 36(2):262-269.
- 杨志, 唐会元, 龚云, 等, 2018. 产卵迁徙对金沙江黑水河下游鱼类群聚结构变动的影响[J]. 湖泊科学, 30(3): 175-184.
- 殷名称, 1993. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 袁喜, 涂志英, 韩京成, 等, 2012. 流速对细鳞裂腹鱼游泳行为及能量消耗影响的研究[J]. 水生生物学报, 36(2): 270-275.
- 张争世, 胡冰洁, 叶祥益, 等, 2017. 基于 mtDNA Cyt b 序列分析齐口裂腹鱼群体遗传多样性[J]. 水生生物学报, 41(3): 609-616.
- 朱秀芳, 陈毅峰, 2009. 巨须裂腹鱼年龄与生长的初步研究[J]. 动物学杂志, 44(3):76-82.
- Alverson D L, Carney M J, 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts[J]. ICES Journal of Marine Science, 36(2):133-143.
- Basilone G, Guisande C, Patti B, et al, 2004. Linking habitat conditions and growth in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) [J]. Fisheries Research, 68 (1/3):10-19.
- Burton M L, Potts J C, Page J, et al, 2017. Age, growth, mortality and reproductive seasonality of jolthead porgy, *Calamus bajonado*, from Florida waters[J]. Peer J, 5(3): e3774.
- Chen Y, Jackson D A, Harvey H H, 1992. A comparison of von bertalanffy and polinomial functions in modeling fish growth data[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49(6): 1228-1235.
- Cheng F, Li W, Castello L, et al, 2015. Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 25(3):569-585.
- Dulcic J, Pallaoro A, Matic-Skoko S, et al, 2011. Age, growth and mortality of common two-banded seabream [J]. Journal of Applied Ichthyology, 27(5): 1254-1258.
- Gulland J A, 1971. Fish stock assessment: A manual of basic methods[M]. New York: FAO/Wiley Press.
- He Y F, Wang J W, Lek S, et al, 2011. Structure of endemic fish assemblages in the upper Yangtze River Basin[J]. River Research and Applications, 27(1): 59-75.
- Pauly, 1980. On the interrelationships between natural mortality growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. ICES Journal of Marine Science, 39(2):175-192.
- Pauly D, 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators [R]. ICLARM Stud Rev, (8):1-325.
- Pauly D, 1990. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. ICLARM Fishbyte, 8(3): 33-38.
- Zymonas N D, McMahon T E, 2010. Comparison of pelvic fin rays, scales and otoliths for estimating age and growth of bull trout, *Salvelinus confluentus*[J]. Fisheries Management & Ecology, 16(2):155-164.

(责任编辑 万月华)

Age Structure, Growth Characteristics and Population Dynamic of *Schizothorax chongi* in Middle and Lower Jinsha River

ZHU Qi-guang¹, TANG Hui-yuan¹, LIN Hui², GONG Yun¹, LI Xi-nan³, YANG Zhi¹

(1.Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China;

2.Engineering Research Center of Water Resources Development and Utilization in Karst Area of Guizhou Province, Changjiang Project Supervision & Consultancy Co. Ltd., Wuhan 430010, P.R. China;

3.Guizhou Survey & Design Research Institute for Water Resources and Hydropower, Guiyang 550000, P.R.China)

Abstract: *Schizothorax chongi*, belonging to Cyprinidae, Subfamily Schizothoracinae, Genus *Schizothorax*, is one of the important fish species endemic to the upper reaches of the Yangtze River. In this study, the age structure, growth characteristics and population dynamics of *S. chongi* were analyzed, based on the field investigation in Panzhihua and Qiaojia sections and two tributaries (Yalong River and Heishui River) of the middle and lower Jinsha River from 2013 to 2017. The objective was to understand the status of fishery resources in the district, and provide basic biological data and a theoretical basis for resource conservation. The field investigation was carried out in summer (June – August) and winter (November – December) during 2013 – 2017, with each survey lasting 15 – 20 d. The total length, body length and weight of each specimen were measured, and anal scales and otolith of each specimen were sampled for age determination. A total of 170 *S. chongi* specimens were collected during the investigation, with a body length range of 74 – 434 mm and body weight range of 8.2 – 1 628.2 g. Using anal scales and otoliths as age identification materials, the *S. Chongi* sample population ranged in age from 1 to 5 years and was dominated by individuals of 1 – 3 years. The relationship between body length and weight was described as $W = 7.00 \times 10^{-6} L^{3.1885}$ ($R^2 = 0.9867, n = 170$) and there was no significant difference in the relationship between males and females. The asymptotic body length was $L_{\infty} = 774.74$ mm, the growth coefficient k was 0.13, the theoretical growth starting at age t_0 was -0.13 , and the progressive body weight W_{∞} was 11 407.01 g. The growth equations for body length and body weight were as follows: $L_t = 774.74[1 - e^{-0.13(t+0.13)}]$ and $W_t = 11\ 407.01[1 - e^{-0.13(t+0.13)}]^{3.1885}$, and the growth inflection point was 8.79 years. The total mortality coefficient Z was 0.82, and the natural mortality coefficient M was 0.26. The current exploitation rate (E) of this population was 0.68, higher than the theoretical maximum exploitation rate ($E_{\max} = 0.38$). The results of relative unit catch and biomass supplementation were characterized by overfishing, indicating a status of over-exploitation for *S. chongi* in the study area. In view of the ecological characteristics and resource status of *S. chongi*, we recommend that steps be taken to protect the species, including ecological regulation, restoration of tributary habitats and control of illegal electric fishing.

Key words: *Schizothorax chongi*; age and growth; exploitation rate; population dynamic; middle and lower Jinsha River