

长江上游江津江段长薄鳅种群参数 和资源量评估

刘红艳^① 熊 飞^① 段辛斌^{②*} 刘绍平^② 陈大庆^②

① 江汉大学生命科学学院 武汉 430056; ② 中国水产科学研究院长江水产研究所 武汉 430223

摘要: 长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) 为长江上游特有种, 由于过度捕捞和大坝建设, 其种群生存受到极大威胁, 已被《中国物种红色名录》列为易危物种。为了解三峡工程蓄水后该物种的种群动态, 利用 2007 ~ 2009 年三峡库区以上江津江段的渔获量和体长频率数据评估了其生长和死亡参数、资源量及资源利用。长江上游江津江段长薄鳅体长范围为 76 ~ 480 mm, 体重范围为 5 ~ 2 002 g, 平均体长为 (158.7 ± 54.8) mm, 平均体重为 (72.4 ± 148.8) g。优势体长组为 90 ~ 210 mm, 约占总数的 77.9% ($n = 277$)。长薄鳅体长 (L , 单位 mm) 与体重 (W , 单位 g) 幂函数关系为: $W = 7.28 \times 10^{-6} L^{3.09}$ ($R^2 = 0.95$, $P < 0.01$, $n = 277$)。由体长频率法拟合出长薄鳅渐近体长 (L_{∞}) 为 555 mm, 生长系数 (k) 为 0.17/a。由 Pauly 经验公式估算出其自然死亡系数 (M) 为 0.37。由长度转渔获物曲线估算出其总死亡系数 (Z) 为 1.23。江津江段长薄鳅资源开发率为 0.70, 超过了其资源最大开发率 0.43, 表明其资源已过度开发。由体长结构实际种群分析估算出江津江段 2007、2008 和 2009 年长薄鳅年资源量分别为 2 544 尾/km (0.75 t/km)、2 405 尾/km (0.42 t/km) 和 7 245 尾/km (1.63 t/km), 平均 4 065 尾/km (0.93 t/km)。与以往研究相比, 本研究记录到了长薄鳅的最大个体 (体长 480 mm); 本研究估算的长薄鳅总死亡系数和资源开发率较高, 可能与江津江段的捕捞强度较高有关。建议加强长薄鳅种群动态长期监测, 采取禁渔、人工增殖放流等措施促进资源恢复。

关键词: 种群参数; 生长; 死亡; 种群数量; 资源评估; 长薄鳅

中图分类号: S932 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 06-993-10

Estimating Population Parameters and Abundance of Elongate Loach (*Leptobotia elongata*) in the Jiangjin Section of the Upper Yangtze River

LIU Hong-Yan^① XIONG Fei^① DUAN Xin-Bin^{②*} LIU Shao-Ping^② CHEN Da-Qing^②

① School of Life Sciences, Jiangnan University, Wuhan 430056; ② Yangtze River Fisheries Research Institute,

Chinese Academy of Fishery Science, Wuhan 430223, China

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 51109091, 51310105036) :

* 通讯作者, E-mail: dxbyfi.ac.cn;

第一作者介绍 刘红艳, 女, 副教授; 研究方向: 水生生物学; E-mail: lhy9603@126.com。

收稿日期: 2015-10-23, 修回日期: 2016-04-01 DOI: 10.13859/j.cjz.201606007

Abstract: Elongate Loach (*Leptobotia elongata*) is endemic to the upper Yangtze River. It has been threatened by overfishing and dam construction, and evaluated as being endangered in China Species Red List. To understand its population dynamics after the Three Gorges Reservoir was impounded, the catch and time series length-frequency data were used to estimate growth and mortality parameters, population abundance and resources utilization of Elongate Loach based on surveys in the Jiangjin section of the upper Yangtze River conducted in 2007 - 2009 (Fig. 1). Elongate Loach ranged from 76 to 480 mm in length and 5 to 2002 g in weight, with an average length of 158.7 ± 54.8 mm and an average weight of 72.4 ± 148.8 g ($n = 277$). The length group of 90 - 210 mm dominated the catches (77.9% of the total number) (Fig. 2). The length (L , mm)-weight (W , g) relationship of Elongate Loach was well-fit with a power function, $W = 7.28 \times 10^{-6} L^{3.09}$ ($R^2 = 0.95$, $P < 0.01$, $n = 277$) (Fig. 3). Asymptotic length (L_{∞}) and growth constant (k) were estimated using length frequency data as 555 mm and $0.17/a$, respectively. Natural mortality was estimated as 0.37 using the empirical formula proposed by Pauly. The total mortality was estimated using a length-converted catch curve analysis as 1.23 (Table 1). The exploitation rate observed in the Jiangjin section was 0.70, higher than the estimated maximum exploitation rate (0.43), which indicated that it was overfished for Elongate Loach (Fig. 4). Population abundance of Elongate Loach in the Jiangjin section estimated by length-structured virtual population analysis was 2 544 ind/km (0.75 t/km) in 2007, 2 405 ind/km (0.42 t/km) in 2008, and 7 245 ind/km (1.63 t/km) in 2009, respectively, with an average of 4 065 ind/km (0.93 t/km) (Fig. 5). Compared with the earlier studies (Table 2), a new maximum length (480 mm) of Elongate Loach was recorded; the estimated total mortality and exploitation rate of Elongate Loach in this study were higher, which was likely caused by the higher fishing effort in the Jiangjin section. Long-term population dynamics monitoring, closed fishing, and artificial enhancement and releasing were suggested to improve the resources.

Key words: Population parameters; Growth; Mortality; Population abundance; Stock assessment; Elongate Loach, *Leptobotia elongata*

生境破碎化是物种退化和生物多样性丧失的重要原因 (Fahrig 2003, 蒋志刚等 2005)。河流水利工程的建设, 尤其是梯级开发, 损害了河流的连续性, 造成了水域生境破碎化, 使物种迁移、扩散和交流受阻, 生物多样性下降 (Morita et al. 2009, Esguicero et al. 2010)。长江上游密集的水利梯级开发对长江上游特有鱼类的影响倍受关注 (Park et al. 2003, Xie 2003, Gao et al. 2009)。长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) 隶属于鳅科沙鳅亚科薄鳅属, 为长江上游特有鱼类 (Yuan et al. 2010)。20 世纪 80 年代, 长薄鳅曾是长江中上游重要的经济鱼类, 而如今, 其生境不断破碎、萎缩, 种群数量急剧下降, 已被《中国物种红色名录》列为易危物种 (汪松等 2004)。长薄鳅是典型的河道洄游性鱼类,

生活史各阶段均在河道内完成, 其自然繁殖对水文条件要求较高, 产漂流性卵, 产卵场主要分布在金沙江中下游、雅砻江和岷江的下游。葛洲坝和三峡大坝的建设, 已经阻隔了长江中游长薄鳅群体的上溯洄游和上游繁殖的卵、苗对中游群体的补充, 长江中游长薄鳅已罕见 (刘绍平等 2005)。金沙江下游大型梯级水利工程向家坝和溪洛渡电站的建设, 进一步阻隔长薄鳅的洄游通道 (陈大庆等 2005)。长薄鳅物种保护和资源恢复面临着巨大挑战。

鱼类种群参数和资源量是渔业资源评估、管理的重要依据。目前对长薄鳅的研究主要涉及生长发育 (梁银铨等 2004, 2007)、人工繁殖 (梁银铨等 2001) 和群体遗传结构 (Liu et al. 2012), 但对其种群资源现状尚缺乏定量评估。

本研究根据 2007 ~ 2009 年三峡水库上游江津江段的渔业调查, 利用基于时间序列的体长频率分析方法对长薄鳅的生长和死亡参数、资源量及资源利用情况进行量化评估, 以了解三峡工程蓄水后、金沙江一期工程蓄水前该物种的种群动态, 为长江上游特有鱼类保护提供依据, 为大型水利工程的生态学效应评估积累资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2007 ~ 2009 年对长江上游江津江段的渔业资源进行调查, 调查时间主要集中在每年的 5 ~ 7 月及 9 ~ 11 月, 每个月调查时间根据渔获物多少持续 7 ~ 10 d。调查范围为朱杨镇上游至石门镇约 15 km 江段 (图 1)。调查渔具主要包括流刺网 (网目 3 ~ 6 cm)、百袋网 (网目 2 cm) 和小钩。每种渔具选取 3 只固定渔船

进行跟踪调查, 从渔船收集所有渔获物后进行分类、计数和称重。物种鉴定主要参考《四川鱼类志》(丁瑞华 1994)。使用有机玻璃量鱼板 (精确到 1 mm) 测量长薄鳅新鲜个体体长 (L)、全长 (L')。体长为吻端到尾部前端最后一枚鳞片的距离, 全长为吻端到尾鳍末端的距离。使用电子天平 (上海越平, YP2000, 精确到 1 g) 称量体重 (W)。对调查江段的作业渔船数量及单位捕捞努力量渔获量进行统计。根据作业江段捕捞的平均强度, 流刺网和百袋网按每天作业 10 网次标准计算单位捕捞努力量渔获量。小钩作业时间为 12 h, 18:00 时放钩, 次日 6:00 时收钩。

1.2 参数估算

体长-体重关系依据 Keys (1928) 公式 $W = aL^b$ 进行拟合, 用 t 检验法检验 b 值是否与 3 差异显著, 判断其是否为匀速生长类型 (Richter

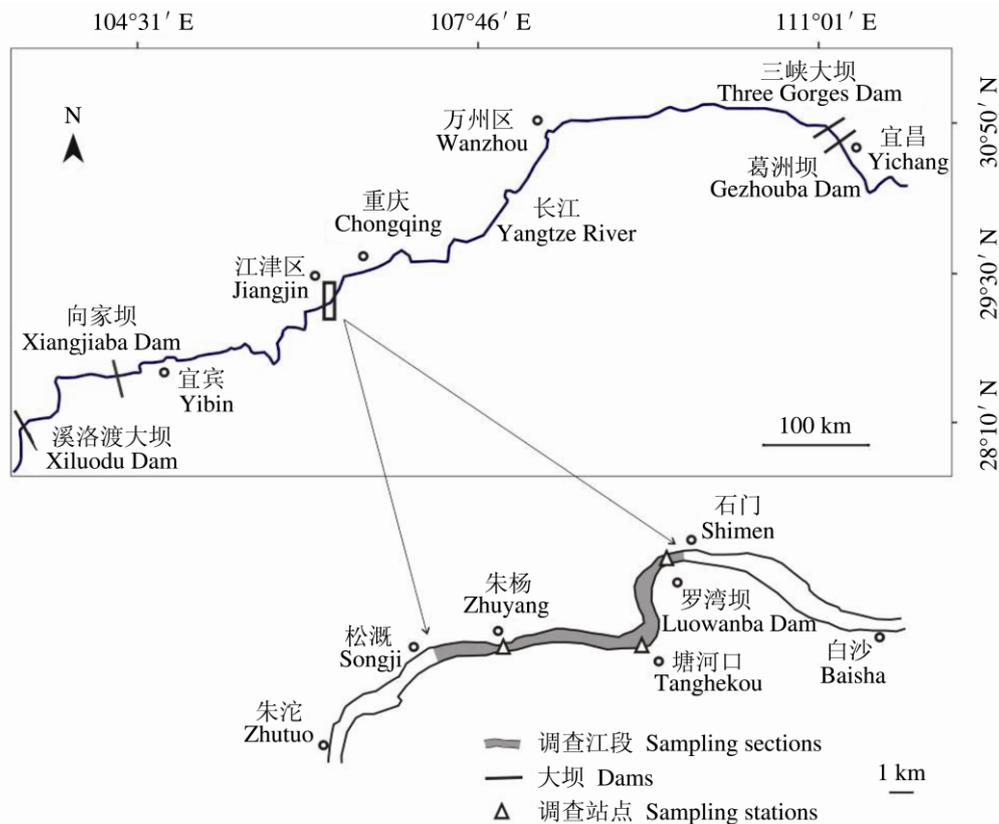


图 1 长江上游江津江段位置及调查站点

Fig. 1 Location of the Jiangjin section in the upper Yangtze River and sampling stations

1975)。用 von Bertalanffy 生长方程描述长薄鳅生长规律, 渐近体长 (L_{∞}) 和生长系数 (k) 利用基于体长频率数据的 Powell-Wetherall plot 法和 ELEFAN I 法拟合, 总死亡系数 (Z)、开捕体长 (L_{50}) 由体长转渔获物曲线 (converted-length catch curve) 进行估算 (Gayanilo et al. 2005)。理论生长起点年龄 (t_0) (Pauly 1979)、自然死亡系数 (M) (Pauly 1980) 和生长特征指数 (ϕ) (Munro et al. 1983) 根据经验公式计算: $\lg(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \lg L_{\infty} - 1.038 \lg k$, $\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_{\infty} + 0.6543 \lg k + 0.4634 \lg T$, $\phi = \lg k + 2 \lg L_{\infty}$, 式中, L_{∞} 的单位为 cm, T 表示栖息江段的平均水温, 取值 18.4°C (田辉伍等 2013)。

捕捞死亡系数 $F = Z - M$, 资源开发率 $E = F/Z$ 。采用 Beverton-Holt 动态综合模型相对单位补充产量 (relative yield per recruit, Y'/R) 和相对单位补充生物量 (relative biomass per recruit, B'/R) 曲线评价资源利用情况 (Gayanilo et al. 2005), 模型中 E_{\max} 表示最大开发率, E_{10} 表示“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。

1.3 资源量估算

根据不同渔具的年总渔获量计算长薄鳅年总渔获量 (Y): $Y = \sum(Y_i \cdot P_i)$, $Y_i = x_i \cdot f_i \cdot t_i$, 式中, i 表示渔具种类, P_i 为长薄鳅在 i 渔具渔获物中的比例, Y_i 为 i 渔具的年总渔获量, x_i 为 i 渔具单位捕捞努力量渔获量 [尾 / (船 d)], f_i 为渔具 i 的捕捞努力量, 即作业渔船数量, 调查江段作业渔船 11 条, 其中流刺网渔船 5 条, 小钩渔船 3 条, 百袋网渔船 3 条, t_i 为渔具 i 的年作业时间 (d), 除去春季禁渔时间 (2~4 月) 和洪水季节 (7~8 月) 等, 按 200 d 计算。

资源量估算采用 FiSAT II 中的体长结构实际种群分析法 (length-structured virtual population analysis) (Gayanilo et al. 2005)。最大体长组的捕捞死亡系数 (F_t) 初始值取 0.5, 通过迭代法确定最终值 (吴斌等 2013)。

2 结果与分析

2.1 渔获群体组成

对 277 尾样本的体长、体重分析结果表明, 长江上游江津江段长薄鳅体长范围为 76~480 mm, 平均体长为 (158.7 ± 54.8) mm, 优势体长组为 90~210 mm, 占总数的 77.9% (图 2)。250 mm 以上的个体占 16.8%, 270 mm 以上的个体仅占 1.1%。体重范围为 5~2 002 g, 平均体重为 (72.4 ± 148.8) g。个体体重主要集中在 200 g 以下, 约占个体总数的 96.8%, 其中 100 g 以下个体约占 77.9%, 50 g 以下个体约占 56.8%。

2.2 生长参数

长薄鳅体长 (L) 和全长 (L') 呈显著线性关系: $L' = 1.13L + 11.30$ ($R^2 = 0.995$, $P < 0.01$, $n = 277$)。体长、全长和体重呈显著幂函数关系: $W = 7.28 \times 10^{-6} L^{3.09}$ ($R^2 = 0.95$, $P < 0.01$, $n = 277$) (图 3)、 $W = 1.63 \times 10^{-6} L^{3.27}$ ($R^2 = 0.95$, $P < 0.01$, $n = 277$)。体长-体重关系的 b 值与 3 均无显著性差异 ($t = 2.15 < t_{0.01(277)} = 2.60$), 表明长薄鳅的生长为匀速生长类型, 可用 von Bertalanffy 生长方程拟合其生长规律。

由 Powell-Wetherall plot 法和 ELEFAN I 法拟合出长薄鳅的生长参数 $L_{\infty} = 555$ mm, $k = 0.17/a$, 此时 $t_0 = -0.84$, $\phi = 2.72$ 。体重生长拐点年龄为 5.79 龄, 对应的体长和体重分别为 375.4 mm 和 656.56 g。其体长、体重生长方程为: $L_t = 555[1 - e^{-0.17(t+0.84)}]$, $W_t = 2198.8[1 - e^{-0.17(t+0.84)}]^{3.09}$ 。

2.3 死亡系数和开发率

由 Pauly 经验公式估算出长薄鳅的自然死亡系数 $M = 0.37$ 。长度转渔获物曲线分析结果表明 (表 1), 长薄鳅的总死亡系数 $Z = 1.23$, 捕捞死亡系数为 $F = 0.86$, 资源开发率 $E = 0.70$, 开捕体长 $L_{50} = 97.8$ mm。Beverton-Holt 动态综合模型的相对补充量产量 (生物量) 曲线显示 (图 4), 江津江段长薄鳅的 $E_{10} = 0.36$, $E_{50} = 0.27$, $E_{\max} = 0.43$ 。江津江段长薄鳅的资

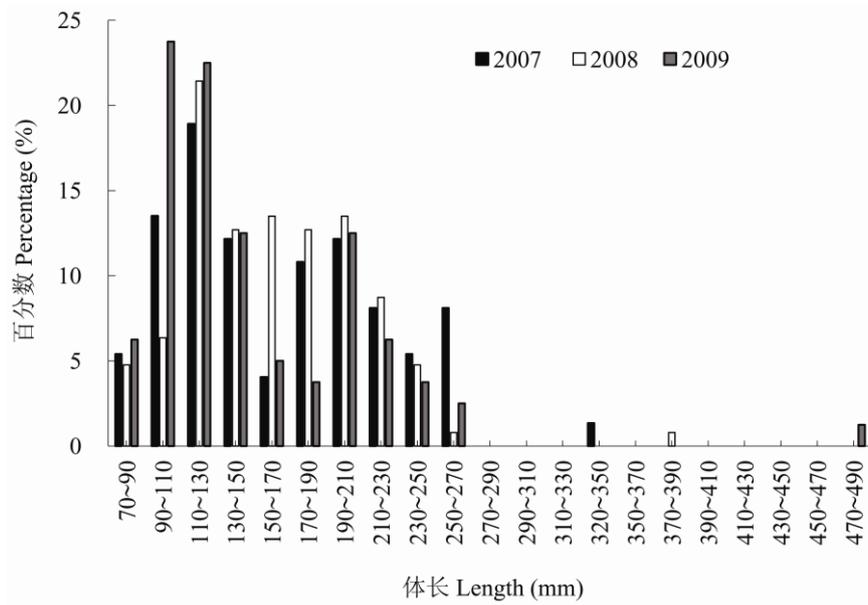


图 2 长江上游江津江段长薄鳅体长组成

Fig. 2 Length composition of Elongate Loach in the Jiangjin section of the upper Yangtze River

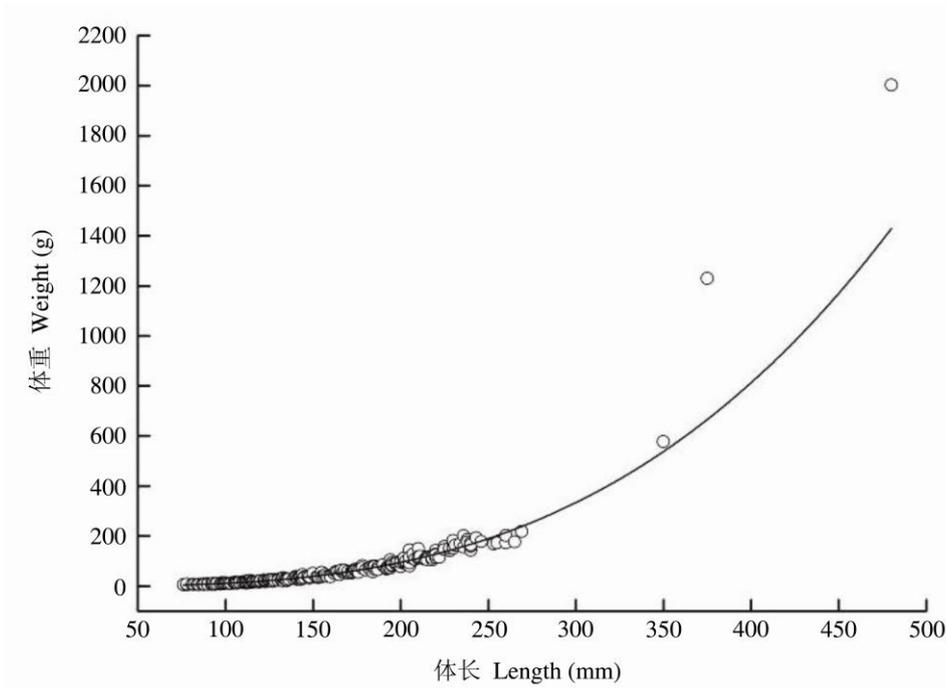


图 3 长薄鳅体长和体重的关系

Fig. 3 Relationship between length and weight of Elongate Loach

源开发率(0.70)已超过了其最大开发率(0.43)。

2.4 资源量

渔获物分析结果表明, 2007 ~ 2009 年长薄

鳅在江津江段流刺网中数量比例分别为 3.8%、1.8%和 3.5%, 在百袋网中的比例分别为 1.8%、1.1%和 4.2%, 2007 年在小钩渔获物中的比例

表 1 2007 ~ 2009 年长江上游江津江段长薄鳅的死亡系数和开发率

Table 1 Mortality and exploitation rates of Elongate Loach in the Jiangjin section of the upper Yangtze River in 2007 ~ 2009

年份 Year	总死亡系数 Total mortality Z	自然死亡系数 Natural mortality M	捕捞死亡系数 Fishing mortality F	开发率 Exploitation rate E
2007	0.90	0.37	0.53	0.59
2008	1.35	0.37	0.98	0.73
2009	1.01	0.37	0.64	0.63
总体 Total	1.23	0.37	0.86	0.70

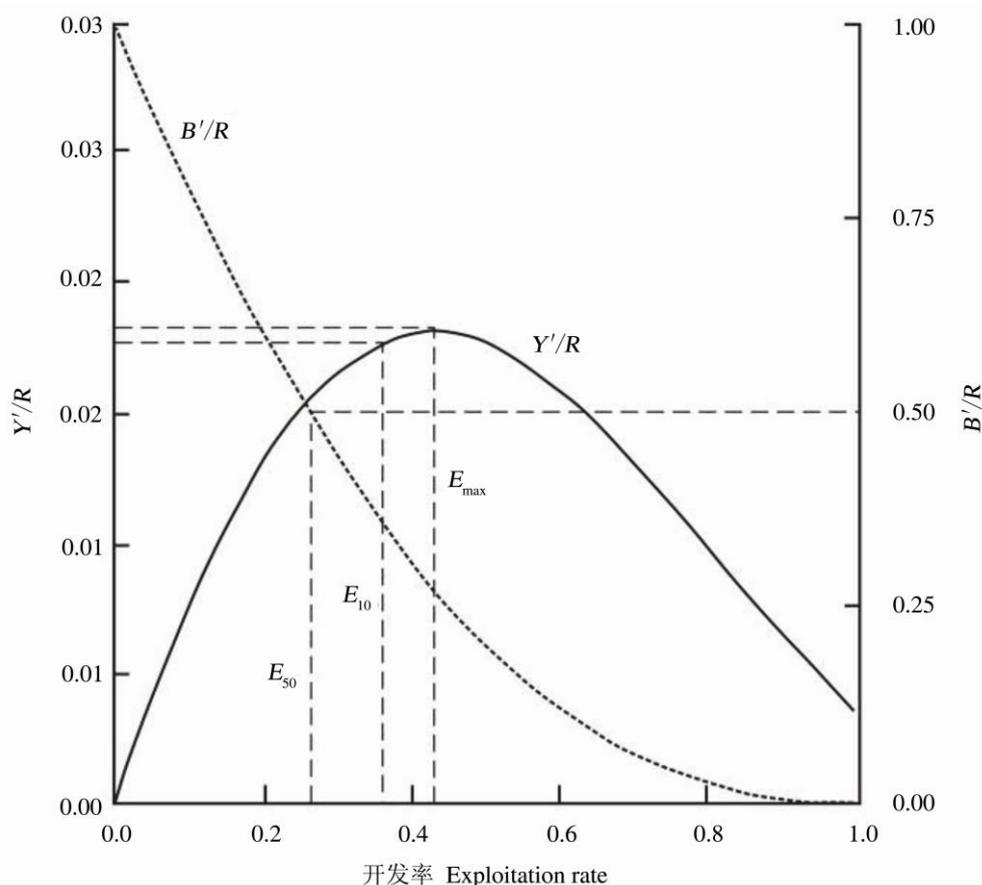


图 4 长江上游江津江段长薄鳅的相对单位补充量产量 (Y'/R) 和生物量 (B'/R) 曲线

Fig. 4 Relative yield per recruit (Y'/R) and biomass per recruit (B'/R) curves of Elongate Loach in the Jiangjin section of the upper Yangtze River

为 0.3%，2008 和 2009 年为 0。根据单位捕捞努力量渔获量及渔获物比例估算出江津江段 2007 ~ 2009 年长薄鳅年总渔获量分别为 3 775、4 944 和 14 641 尾，平均 7 787 尾。

利用体长结构实际种群分析估算资源量，

通过迭代法计算出江津江段 2007 ~ 2009 年长薄鳅最大体长组捕捞死亡系数 F_t 分别为 0.356 0、0.539 5 和 0.526 5。江津江段 2007 ~ 2009 年长薄鳅种群数量分别为 38 166 尾 (11.31 t)、36 077 尾 (6.36 t) 和 108 674 尾 (24.39 t)，平

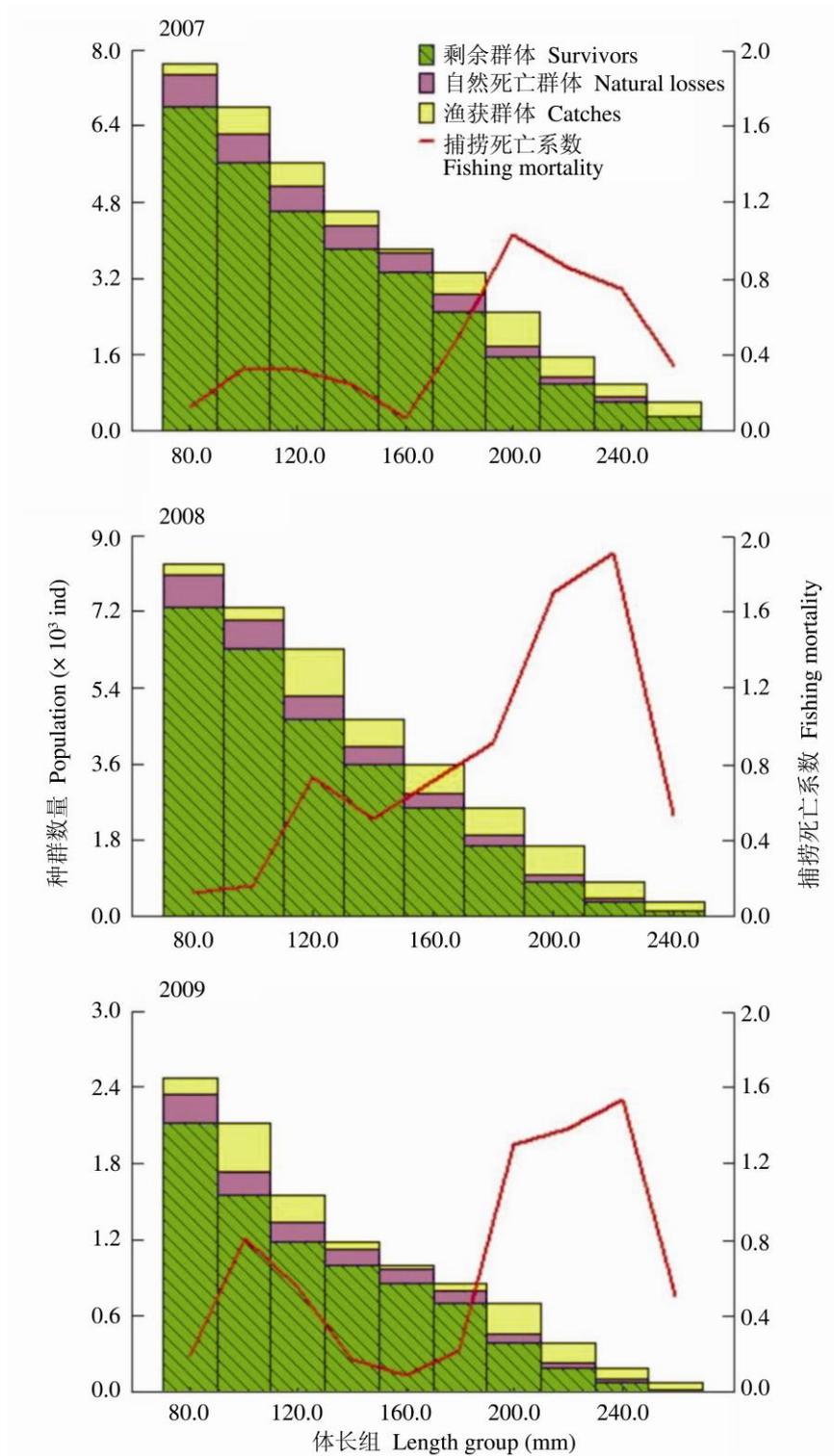


图 5 2007 ~ 2009 年长薄鳅的体长结构实际种群分析

Fig. 5 Length-structured virtual population analysis for Elongate Loach in 2007 ~ 2009

均 60 973 尾 (14.02 t) (图 5)。以单位长度江段来计, 2007 ~ 2009 年长薄鳅种群数量分别为 2 544 尾/km (0.75 t/km)、2 405 尾/km (0.42 t/km) 和 7 245 尾/km (1.63 t/km), 平均 4 065 尾/km (0.93 t/km)。

3 讨论

3.1 种群参数

利用体长频率数据进行鱼类生长和死亡参数的估算, 避免了繁琐的年龄鉴定工作, 特别适合年龄鉴定比较困难的评估对象, 在渔业资源评价中取得了较好的应用效果 (吴金明等 2011, Johnson et al. 2013)。长薄鳅鳞片细小, 体表很滑, 年龄鉴定材料的获取较为困难, 利用体长频率法拟合其生长参数相对简单易行。一般认为生长系数 k 满足 $e^{-k} < 1$ 时, 用 von Bertalanffy 生长方程能很好地拟合鱼类生长; M/k 值在 1.5 ~ 2.5 范围时, 自然死亡系数 M 的估算比较合理 (詹秉义 1995)。本研究 $e^{-k} = 0.84$, $M/k = 2.29$, 参数 k 和 M 的估算结果在接受范围之内。

长薄鳅不同群体种群参数估算结果见表 2。本研究采集的长薄鳅最大个体体长为 480 mm, 全长 560 mm, 体重 2 002 g (雌性), 为目前文献记录的最大个体。Froese 等 (2000)

提出鱼类渐进体长 (L_{∞}) 和其最大体长 (L_{\max}) 存在经验关系, 即 $\lg L_{\infty} = 0.044 + 0.9841 \lg L_{\max}$, 由此可估算出长薄鳅的渐进体长 L_{∞} 约为 500 mm。田辉伍等 (2013) 对长薄鳅渐进体长 L_{∞} 的估算结果为 656 mm, 本研究的估算结果为 555 mm, 更接近依 Froese (2000) 经验公式估算的结果。鱼类体长-体重幂函数 b 值用来判断鱼类是否属于匀速生长类型, 当 b 为 3 时, 鱼类为匀速生长类型, 否则为异速生长类型 (Pauly 1984), 本研究拟合出长薄鳅 b 值为 3.09, 与 3 无显著性差异, 属于匀速生长类型, 与田辉伍等 (2013) 的拟合结果一致。本研究对长薄鳅总死亡系数 Z 和资源开发率 E 的估算值高于田辉伍等 (2013) 研究结果, 可能与采样江段范围大小有关, 后者采样范围包括了万州、江津、南溪、永善和攀枝花等干流江段及岷江、沱江、赤水河和嘉陵江等支流, 而本研究为江津江段, 江津江段长薄鳅的捕捞强度要高于其他江段 (田辉伍等 2013)。

长薄鳅为鳅科鱼类中个体较大的鱼类, 其渐进体长 L_{∞} 大于 500 mm, 生长特征指数 ϕ 接近 3, 而一般鳅科鱼类渐进体长 $L_{\infty} < 250$ mm、生长特征指数 $\phi < 2$ (田辉伍等 2013), 与其他鳅科鱼类相比, 长薄鳅具有优越的生长性能。但与长江常见鲤科鱼类相比, 其生长性能稍低,

表 2 长薄鳅种群参数估算结果比较

Table 2 Comparison of estimated population parameter of Elongate Loach

群体 Stock	体长 Length (mm)	L_{∞} (mm)	k (1/a)	ϕ	b	Z	M	E	文献 Reference
金沙江 Jinsha River (1998 ~ 1999)	116 ~ 470	—	—	—	3.30	—	—	—	梁银铨等 2007
长江上游 Upper Yangtze (2007)	87 ~ 382	—	—	—	—	—	—	—	刘光迅 2012
长江上游 Upper Yangtze (2010 ~ 2012)	59 ~ 461	656	0.15	2.81	3.02	0.85	0.33	0.62	田辉伍等 2013
江津 Jiangjin (2007 ~ 2009)	76 ~ 480	555	0.17	2.72	3.09	1.23	0.37	0.70	本研究 This study

L_{∞} , 渐近体长; k , 生长系数; ϕ , 生长特征指数; b , 体长-体重关系幂指数系数; Z , 总死亡系数; M , 自然死亡系数; E , 资源开发率; “—”表示无数据。

L_{∞} . Asymptotic length; k . Growth constant; ϕ . Index of growth performance; b . Exponent of a length-weight relationship. Z . Total mortality; M . Natural mortality; E . Exploitation rate; “—” signify the data is not available.

如长江上游鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 生长特征指数 $\phi = 3.31$ (渐进体长 $L_{\infty} = 103.7$ mm、生长系数 $k = 0.19/a$) (熊飞等 2013), 铜鱼 (*Coreius heterokon*) $\phi = 2.92$ ($L_{\infty} = 600$ mm、 $k = 0.23/a$) (庄平等 1999)、圆口铜鱼 (*C. guichenoti*) $\phi = 2.81$ ($L_{\infty} = 568$ mm、 $k = 0.20/a$) (熊飞等 2014a)。

3.2 资源现状与物种保护

历史上长薄鳅分布于湖北、湖南到四川西部的长江中下游各水域, 生境破坏和过度捕捞已致其种群资源明显下降, 处于易危状态 (刘军等 2004, 汪松等 2004)。由于葛洲坝和三峡大坝的阻隔, 长薄鳅在长江中游已罕见 (刘绍平等 2005), 在葛洲坝下宜昌江段仅占渔获物数量的 0.3%, 占重量的 0.4% (马琴等 2014)。三峡水库蓄水后, 长薄鳅在库区江段逐渐消失 (杨志等 2015)。宜宾以上金沙江江段被认为是长薄鳅的主要产卵场, 随着向家坝和溪洛渡等金沙江一期工程的建设, 将切断金沙江群体和宜宾以下江段群体之间的交流。长薄鳅为产漂流性卵的鱼类, 水利工程建设引起的水文、水温等的变化将会对其繁殖活动产生负面影响 (陈大庆等 2005)。资源调查表明, 江津和宜宾江段长薄鳅资源要明显高于其他干流和支流江段 (田辉伍等 2013)。长薄鳅在江津江段约占渔获物数量或重量的 3% (熊飞等 2014b, 杨志等 2014), 在宜宾江段约占渔获物数量的 3%, 占重量的 9% (李雷等 2013)。三峡水库蓄水后, 在江津断面监测到羊石镇至弥陀镇江段存在长薄鳅产卵场 (段辛斌等 2015, 王红丽等 2015), 表明长薄鳅在三峡水库以上至宜宾江段基本能完成其生活史, 应加强该江段长薄鳅的保护。本研究估算出 2007 ~ 2009 年江津江段长薄鳅平均资源量为 4 065 尾/km (0.93 t/km), 该结果可为后续评估长薄鳅的种群数量变化趋势提供参考。

Froese 和 Binohlan (2000) 提出, 能获得最大相对渔获量的最适捕捞体长 (L_{opt}) 可由其最小性成熟体长 (L_m) 估算获得: $\lg L_{opt} = 1.053$

$\lg L_m - 0.0565$ 。长薄鳅的最小性成熟体长约 175 mm (田辉伍等 2013), 由此估算出最适开捕体长为 178.8 mm, 而江津江段的开捕体长为 97.8 mm, 远低于最适开捕体长。江津江段长薄鳅开发率为 0.70, 远超过了其最大开发率 (0.43), 表明长薄鳅资源严重过度开发。建议加强长薄鳅种群动态监测, 特别是加强江津至宜宾江段长薄鳅的种群监测和保护, 深入开展其产卵场分布和幼鱼资源调查。在长江春季禁渔的基础上, 延长禁渔期, 逐步实施全年禁渔, 养护渔业资源。开展长薄鳅人工繁殖和增殖放流技术研究, 重视人工增殖放流效果评估。

参 考 文 献

- Esguicero A L H, Arcifa M. 2010. Fragmentation of a neotropical migratory fish population by a century-old dam. *Hydrobiologia*, 638(1): 41-53.
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34: 487-515.
- Froese R, Binohlan C. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology*, 56(4): 758-773.
- Gao X, Brosse S, Chen Y B, et al. 2009. Effects of damming on population sustainability of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: evaluation of optimal conservation measures. *Environmental Biology of Fishes*, 86(2): 325-336.
- Gayaniolo F C Jr, Sparre P, Pauly D. 2005. *FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (User's Guide)*. Rome: World Center, FAO.
- Johnson M G, Tamatamah A R. 2013. Length frequency distribution, mortality rate and reproduction biology of Kawakama (*Euthynnus affinis* Cantor, 1849) in the coastal waters of Tanzania. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(21): 1270-1278.
- Keys A B. 1928. The weight-length relation in fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14(12): 922-925.
- Liu G, Zhou J, Zhou D. 2012. Mitochondrial DNA reveals low

- population differentiation in elongate loach, *Leptobotia elongata* (Bleeker): implications for conservation. *Environmental Biology of Fishes*, 93(3): 393–402.
- Morita K, Morita S H, Yamamoto S. 2009. Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. *Ecological Research*, 24(4): 711–722.
- Munro J L, Pauly D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte*, 1(1): 5–6.
- 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.
- Pauly D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. Kiel: Berichte aus dem Institut fuer Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universitaet.
- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *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 (ICLARM Studies and Reviews 8)*. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Richer W E. 1975. *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations (Bulletin 191 of the Fisheries Research Board of Canada)*. Caldwell, New Jersey: Blackburn Press.
- Xie P. 2003. Three-Gorges Dam: risk to ancient fish. *Science*, 302(5623): 1149–1150.
- Yuan Y, Yang H, Gong S Y, et al. 2010. Threatened fishes of the world: *Leptobotia elongata* Bleeker, 1870 (Bottiinae). *Environmental Biology of Fishes*, 87(4): 295–296.
- 陈大庆, 常剑波, 顾洪宾. 2005. 金沙江一期工程对保护区生态环境的影响与对策. *长江科学院院报*, 22(2): 21–24.
- 丁瑞华. 1994. *四川鱼类志*. 成都: 四川科学技术出版社.
- 段辛斌, 田辉伍, 高天珩, 等. 2015. 金沙江一期工程蓄水前长江上游产漂流性卵鱼类产卵场现状. *长江流域资源与环境*, 24(8): 1358–1365.
- 蒋志刚, 葛颂. 2005. 探索长江流域物种濒危机制与保护对策. *生物多样性*, 13(5): 367–375.
- 李雷, 危起伟, 吴金明, 等. 2013. 长江宜宾江段渔业资源现状调查. *长江流域资源与环境*, 22(11): 1449–1457.
- 梁银铨, 胡小建. 2001. 长薄鳅人工繁殖技术的研究. *水生生物学报*, 25(4): 422–424.
- 梁银铨, 胡小健, 黄道明, 等. 2007. 长薄鳅年龄与生长的研究. *水生生态学杂志*, 27(3): 29–31.
- 梁银铨, 胡小建, 虞功亮, 等. 2004. 长薄鳅仔稚鱼发育和生长的研究. *水生生物学报*, 28(1): 96–100.
- 刘光迅. 2012. 长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) 野生资源分布及其种群遗传多样性研究. 成都: 四川农业大学博士学位论文.
- 刘军. 2004. 长江上游特有鱼类受威胁及优先保护顺序的定量分析. *中国环境科学*, 24(4): 12–16.
- 刘绍平, 段辛斌, 陈大庆, 等. 2005. 长江中游渔业资源现状研究. *水生生物学报*, 29(6): 708–711.
- 马琴, 林鹏程, 刘焕章, 等. 2014. 长江宜昌江段三层流刺网对鱼类资源影响的分析. *四川动物*, 33(5): 762–767.
- 田辉伍, 段辛斌, 熊星, 等. 2013. 长江上游长薄鳅生长和种群参数的估算. *长江流域资源与环境*, 22(10): 1305–1312.
- 汪松, 解焱. 2004. *中国物种红色名录: 第一卷 红色名录*. 北京: 高等教育出版社.
- 王红丽, 黎明政, 高欣, 等. 2015. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状. *水生生物学报*, 39(5): 954–964.
- 吴斌, 方春林, 贺刚, 等. 2013. FiSATII 软件支持下的体长股分析法探讨. *南方水产科学*, 9(4): 94–98.
- 吴金明, 娄必云, 赵海涛, 等. 2011. 赤水河鱼类资源量的初步估算. *水生生态学杂志*, 32(3): 99–103.
- 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 2013. 长江上游江津江段鲢种群的年龄和生长特征. *西南大学学报: 自然科学版*, 35(3): 28–35.
- 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 2014a. 长江上游江津和宜宾江段圆口铜鱼资源量估算. *动物学杂志*, 49(6): 852–859.
- 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 2014b. 长江上游江津江段鱼类群落结构及资源利用. *安徽大学学报: 自然科学版*, 38(3): 94–102.
- 杨志, 唐会元, 万力, 等. 2014. 三峡库区上游江津江段鱼类群落结构的年际变化. *生态学杂志*, 33(6): 1565–1572.
- 杨志, 唐会元, 朱迪, 等. 2015. 三峡水库 175 m 试验性蓄水期库区及其上游江段鱼类群落结构时空分布格局. *生态学报*, 35(15): 5064–5075.
- 詹秉义. 1995. *渔业资源评估*. 北京: 中国农业出版社.
- 庄平, 曹文宣. 1999. 长江中、上游铜鱼的生长特性. *水生生物学报*, 22(6): 577–583.