



嘉陵江下游江段蛇鮓种群动态及利用现状

马佳¹, 张富斌^{1,2}, 曾焯^{1*}, 吕振宇¹, 肖瑾¹,
何欣曼¹, 段明¹, 杨少荣¹

(1. 西华师范大学生命科学学院, 国家淡水渔业工程技术研究中心(武汉)西南分中心, 四川南充 637000;
2. 西华师范大学环境科学与工程学院, 四川南充 637009)

摘要: 为分析嘉陵江下游江段蛇鮓资源量的动态变化规律, 探讨和研究其种群资源开发现状, 于2015和2016年在嘉陵江下游江段共收集256尾蛇鮓, 运用Fista II软件对蛇鮓的生长参数及种群的资源量进行估算。结果显示, 嘉陵江下游蛇鮓体长(L)和体质量(W)的关系式为 $W=7.5 \times 10^{-5} \times L^{2.58}$ ($R^2=0.7311$, $n=256$), 通过体长变换渔获曲线法, 计算出Von Bertalanffy生长方程的参数分别为渐进体长 $L_{\infty}=173.81$ mm, 生长系数 $K=0.73$, 起点年龄 $t_0=-0.23$; 生长方程的表达式为 $L=173.81[1-e^{-0.73(t+0.23)}]$ 。相对单位补充量渔获量(Y/R)分析结果显示, 2015和2016年蛇鮓种群的实际开发率(68%和69%)均超过理论最大开发率(42%), 种群资源处于过度开发状态。研究表明, 嘉陵江下游江段蛇鮓偏向 r 选择类型, 为负异速生长型鱼类, 其种群为单峰补充, 补充高峰在4—6月; 当前蛇鮓种群结构呈现出显著的小型化、低龄化趋势, 过度捕捞和种群自然补充量减少是蛇鮓资源量下降的两个主要原因。

关键词: 蛇鮓; 种群动态; 资源利用; 嘉陵江

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

鱼类的资源动态受自身生物学特性和环境因子的共同影响^[1]。一般而言, 稳定的自然种群, 其补充量与死亡量之间应大致相当, 当渔业开发(如捕捞、环境污染等)导致鱼类资源密度降低时, 自然种群将会通过提高补充率和个体生长率, 或减小种群的死亡率等方式来达到新的平衡^[2]。同时, 鱼类种群的繁殖力、死亡率、生长速率、初次性成熟的大小和年龄等生物学特征也受环境和季节的影响而呈现多样化的表现形式^[3]。分析鱼类资源动态有助于掌握鱼类的种群丰度、资源量大小和资源开发率^[4], 为制定鱼类保护政策和管理计划提供科学依据^[5]。目前,

鱼类资源动态的研究主要集中在资源量评估^[6]、种群的补充模式^[7]和渔业资源管理等方面^[8]。

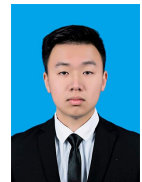
渔业资源量的估算是基于样本分析来进行的, 其中实际种群分析法(virtual population analysis, VPA)是较常用的估算方法, 并结合单位补充渔获量(Beverton-Holt yield/recruit analysis)动态综合模型来共同评估种群资源的利用现状^[4]。如严利平等^[9]发现, 当前东海西部日本鲭(*Scomber japonicus*)的资源量开发明显不足, 每年大量进入渔场的补充群体仅有部分获得有效利用; 李红敬^[10]研究显示, 雅鲁藏布江中游黑斑原鲌(*Glyptosternum maculatum*)资源量被过度开发。因水

收稿日期: 2020-03-31 修回日期: 2020-05-14

资助项目: 国家自然科学基金(51779210, 31901219); 西华师范大学基本科研项目(19C007, 17YC320, CXTD2016-3)

第一作者: 马佳(照片), 从事鱼类生态学研究, E-mail: 1924489507@qq.com

通信作者: 曾焯, E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn



产品需求量急剧增加而导致的超强度捕捞是影响当前渔业资源现状的主要原因。

蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)隶属于鲤科(Cyprinidae)鮈亚科(Gobioninae)蛇鮈属(*Saurogobio*)^[11],俗称船钉子,是重要的河流性鱼类,也是嘉陵江重要的经济鱼类之一。由于嘉陵江梯级航电工程的建设,原有的水生生态环境发生较大改变,对河流性鱼类造成较大的不利影响^[12]。目前关于蛇鮈的研究主要集中在病理^[13]、肌肉组织^[14]、耳石形态^[15]、肠道结构^[16]和两性异型^[17]等方面,关于种群动态分析及资源利用方面的研究甚少^[18]。因此,本研究拟结合实际种群分析法和单位补充量模型估算嘉陵江下游江段蛇鮈的资源量,分析不同年份和不同季节蛇鮈资源量的动态变化规律,并探讨其种群资源开发现状,为嘉陵江蛇鮈资源的保护与管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

实验采样地点为嘉陵江下游合川江段(29°30'~29°40'N, 106°30'~106°40'E)约5 km的范围内,所处的江段较为顺直,水势平缓,鱼类资源丰富(图1)。于2015年9月—2016年8月,用流刺网(内网目3 cm、外网目30 cm)、撒网(网目3 cm)和地笼(网目1.5 cm)等工具采集蛇鮈,并记录采样点的水温、pH值等指标。随后进行常规的生物学测量和现场解剖,分别测量其体长(±1 mm)、体质量(±0.1 g)等指标。鳞片取自蛇鮈背鳍起点的正下方,侧线鳞上方2~3行左右,每一尾样本采集鳞片20枚左右,放入EP管中用清水浸泡,带回实验室后清洗干净。每个样本选取其中形状相近、大小相同的8枚鳞片,将其排列整齐并固定于载玻片上^[19-20],置于解剖镜下仔细观察,记录年龄并测量鳞径。

1.2 样本采集

蛇鮈体长与体质量关系采用幂函数拟合($W=aL^b$),对异速生长指数b和3进行对比,判断蛇鮈是否匀速生长^[21]。

蛇鮈的渐进体长(L_∞)和生长系数(K)依照Pauly^[22]的方法计算,理论生长起点年龄(t_0)根据Taylor^[23]的方法计算,其计算公式:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_\infty - 1.038 \ln K$$

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

实验以典型r生活史类型的尖头塘鳢(*Eleotris oxycephala*)和k生活史类型的达氏鳢(*Huso dauricus*)作为参照物,选取了渐进体长(L_∞ , mm)、渐进体质量(W_∞ , kg)、生长系数(K)、自然死亡系数(M)、最大年龄(t_x)、初次性成熟年龄(t_m)和种群繁殖力(PF)等7个生态参数,种群繁殖力的计算公式参照马宝珊^[19]的研究。采用模糊聚类分析法,分别计算两物种间的相似度系数(λ)来判定蛇鮈的生活史类型。

1.3 种群资源量、资源开发率和补充模式

蛇鮈的总死亡系数(Z)由体长变换渔获曲线法计算, M 依据Pauly^[22]的方法计算,嘉陵江下游江段水温值(T)来源于逐月实际测量数据(2015年平均水温为17.8℃,2016年平均水温为18.2℃)。 M 、捕捞死亡系数(F)和当前资源开发率(E_t)的计算公式:

$$\text{Lg}M = -0.0066 - 0.2790 \text{Lg}L_\infty + 0.6453 \text{Lg}K +$$

$$0.4634 \text{Lg}TF = Z - M, E_t = F/Z$$

参照刘春池^[24]的研究,假设蛇鮈种群分别为轻度($E=0.3$)、中度($E=0.5$)和重度开发($E=0.8$)的程度下,分别输入 L_∞ 、 K 、 Z 和 M 等指标,估算嘉陵江下游江段蛇鮈在不同季节和年份的种群资源量(生物量和资源尾数)^[25-26],并结合相对单位补充量渔获量(Y/R)分析,计算蛇鮈种群最大开发率(E_{\max})。

种群的补充模式依据采样标本的体长数据,分别输入 L_∞ 和 K ,重新构建蛇鮈每年的种群补充时期。

实际种群分析(VPA)、 Y/R 分析和种群的补充模式均在Fista II软件(Version 1.2.2)中进行,蛇鮈两个不同时期种群的体长和净体质量参数差异用t检验,年龄参数差异用卡方检验,相关统计分析在R软件(Version 3.6.1)中计算。

2 结果

2.1 蛇鮈群体组成

2015—2016年嘉陵江下游江段蛇鮈样本共256尾,其中雌性129尾,雄性127尾,性比接近1:1;不同季节采集的蛇鮈样本数量也有较大差异(表1),其中冬季(52尾)和春季(30尾)较少,夏季(90尾)和秋季(84尾)较多。蛇鮈体长

为 70.5~175.0 mm (平均体长 112.1 mm), 净体质量为 3.5~31.5 g (平均净体质量 13.4 g), 个体数量以 2 龄鱼 (59.5%) 和 1 龄鱼 (36.6%) 为主, 3 龄鱼 (3.9%) 个体所占比例很小, 平均年龄为 1.68 龄。同谢恩义^[27] 研究结果相比, 本研究中蛇鮈种群

的平均体长、平均净体质量分别减少了 5.8 mm 和 1.3 g; 年龄组成中, 1 龄鱼比例由 6.2% 增加到 36.6%, 平均年龄下降了 0.34 龄, 且均差异显著 (表 2)。

表 1 各季节嘉陵江下游江段蛇鮈采样情况

Tab. 1 Sampling status of *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River in different seasons

季节 season	样本量/尾 specimens	体长/mm body length		体质量/g body weight	
		range	mean±SD	range	mean±SD
春季 spring	30	86.0~124.6	103.9±7.9	9.1~25.7	14.9±3.7
夏季 summer	90	70.5~136.0	105.3±16.9	3.7~31.1	14.7±7.1
秋季 autumn	84	86.0~175.0	120.0±18.2	4.9~44.4	17.5±7.9
冬季 winter	52	101.1~147.0	114.1±9.5	11.1~40.5	17.1±5.4
合计 total	256	70.5~175.0	112.1±16.7	3.7~44.4	16.3±6.8

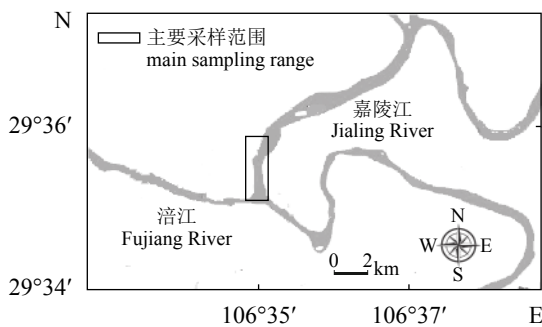


图 1 嘉陵江下游江段蛇鮈的采样图

Fig. 1 Sampling map of *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River

2.2 体长与体质量的关系

将蛇鮈体长与体质量关系进行幂函数拟合, 对估算所得蛇鮈体长与体质量关系中的 b 值与 3 之间进行检验, 存在显著性差异 ($P < 0.05$), 说明嘉陵江下游江段蛇鮈属于负异速生长型鱼类, 且

更侧重于体长的生长。蛇鮈体长 (L) 和体质量 (W) 间拟合最优回归方程:

$$W = 7.5 \times 10^{-5} \times L^{2.58} \quad (R^2 = 0.7311, n = 256)$$

2.3 蛇鮈种群主要生物学参数

嘉陵江下游江段蛇鮈样本的 L_{∞} 、 K 、 t_0 、 Z 、 M 、 F 、 E_t 和生长方程如表 3 所示。

基于蛇鮈、尖头塘鳢和达氏鲤的 7 个生态参数 (表 4), 通过模糊聚类分析法计算 3 种鱼之间的相似系数, 结果显示, 蛇鮈与属于典型 r 生活史类型的尖头塘鳢的相似度最高 ($\lambda_1 = 0.6559$), 与属于 k 生活史类型的达氏鲤间差异最大 ($\lambda_2 = 0.3535$)。因此, 可以判断蛇鮈更偏向 r 选择类型。

2.4 蛇鮈现存资源量的估算

根据嘉陵江下游江段蛇鮈资源量的估算情况, 在最适资源开发率下 ($E_t = 0.42$), 2016 年相

表 2 蛇鮈两个不同时期种群参数差异比较

Tab. 2 Population parameter comparison between two different periods of *S. dabryi*

年份 year	体长/mm body length			净体质量/g net body weight			数量/尾 (占比/%) no. (percentage)			
	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean	1龄 one year old	2龄 two years old	3龄 three years old	平均年龄 average age
1995	96.0	161.0	117.9	7.3	36.8	14.7	12(6.2)	164(85.0)	17(8.8)	1.68
2015—2016	70.5	175.0	112.1	3.5	31.5	13.4	94(36.6)	152(59.5)	10(3.9)	2.02
t检验 t test	$t = 5.56^{**}$, $df = 255$			$t = 3.46^{**}$, $df = 255$			$\chi^2 = 58.01^{**}$, $df = 2$			

注: ** $P < 0.01$, 1995 年数据源于谢恩义^[27]

Notes: ** $P < 0.01$, the data in 1995 derived from Xie^[27]

表 3 蛇鲇资源量评估参数

Tab. 3 Parameters of resource evaluation for *S. dabryi*

参数 parameter	渐近体长/mm L_{∞}	生长系数 K	起点年龄 t_0	总死亡系数/a ⁻¹ Z	自然死亡系数/a ⁻¹ M	捕捞死亡系数/a ⁻¹ F	资源开发率 E_t	生长方程 growth equation
2015	176.00	0.46	-0.36	1.70	0.53	1.17	0.68	$L=176.00[1-e^{-0.46(t+0.36)}]$
2016	168.58	0.68	-0.25	2.27	0.70	1.57	0.69	$L=168.58[1-e^{-0.68(t+0.25)}]$
春季 spring	135.80	0.65	-0.28	1.09	0.72	0.37	0.33	$L=135.80[1-e^{-0.65(t+0.28)}]$
夏季 summer	146.80	0.50	-0.48	1.81	0.60	1.21	0.67	$L=146.80[1-e^{-0.50(t+0.48)}]$
秋季 autumn	174.35	0.65	-0.26	1.63	0.67	0.96	0.58	$L=174.35[1-e^{-0.65(t+0.26)}]$
冬季 winter	158.60	0.49	-0.35	1.34	0.58	0.76	0.56	$L=158.60[1-e^{-0.49(t+0.35)}]$
合计 total	173.81	0.73	-0.23	2.32	0.73	1.59	0.68	$L=173.81[1-e^{-0.73(t+0.23)}]$

注：a是通过体长变换渔获曲线中已开发部分得到的参数

Notes: a is the parameter obtained from the developed part of the Length—Converted Catch Curve

表 4 3 种鱼类的生态参数

Tab. 4 Values of ecological parameters of three fish species

种类 species	体长/mm L_{∞}	体质量/kg W_{∞}	生长系数 K	初次性成熟年龄 t_m	最大年龄 t_x	自然死亡系数/a ⁻¹ M	种群繁殖力 PF
蛇鲇 <i>S. dabryi</i>	173	0.045	0.73	1	4.48	0.71	292.11
尖头塘鳢 <i>E. oxycephala</i>	260	0.387	0.28	1	10.70	0.71	49300.00
达氏鳊 <i>H. dauricus</i>	4770	756.800	0.04	16	73.80	0.07	1.24

比 2015 年蛇鲇资源量均有明显下降，其中 2015 年种群资源的生物量和资源尾数分别为 1.72 t 和 151608 尾，2016 年分别为 1.46 t 和 149257 尾 (图 2)。

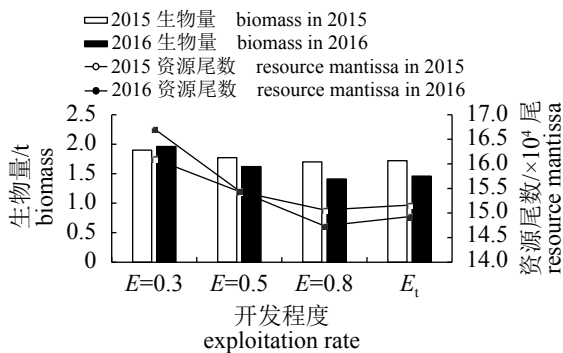


图 2 嘉陵江下游江段蛇鲇的资源量

Fig. 2 Resources of *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River

将月份数据按季节归类 (表 1)，分别计算嘉陵江下游江段不同季节蛇鲇的资源量，结果显示，夏季 (6—8 月) 的生物量和资源尾数最高，分别为 1.47 t 和 165570 尾，春季 (2—5 月) 的生物量和资源尾数最低，仅为 0.50 t 和 42016 尾 (图 3)。

根据渔获物概率曲线， E 与 Y/R 的二维分

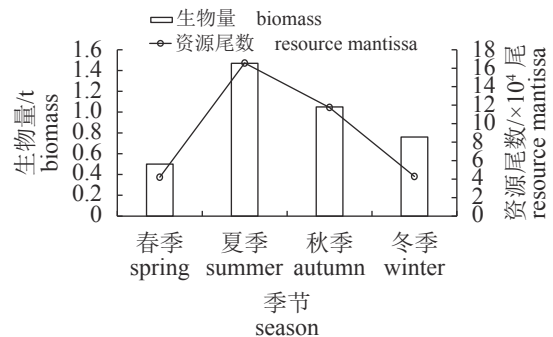


图 3 各季节嘉陵江下游江段蛇鲇的资源量

Fig. 3 Resources of *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River in different season

析图显示， Y/R 边际增长减少 10% 的开发率 $E_{10}=0.356$ ，资源量降低至原始水平 50% 的开发率 $E_{50}=0.279$ ，表明嘉陵江下游江段蛇鲇渔获量的最大开发率 $E_{max}=0.42$ (图 4)。

2.5 种群的补充模式

种群补充模式表明，蛇鲇的种群补充为单峰补充，4—6 月是种群的主要补充期，占全年补充量的 51.15% (图 5)。4 月的种群补充量最高，占全年补充量的 17.55%，本次研究同时发现，嘉陵江下游江段蛇鲇的繁殖期为 3—5 月。

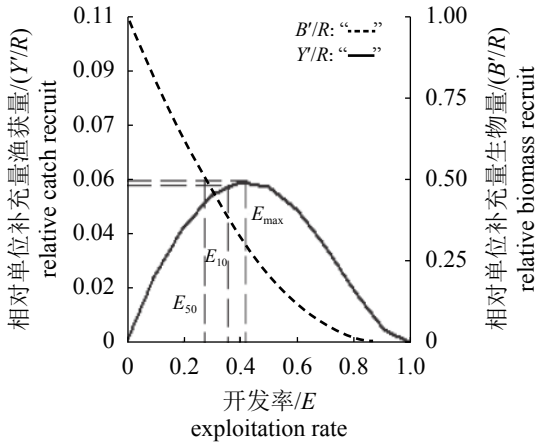


图 4 嘉陵江下游江段蛇鮈的资源开发率

Fig. 4 Exploration rate of *S. dabryi* in the lower reach of the Jialing River

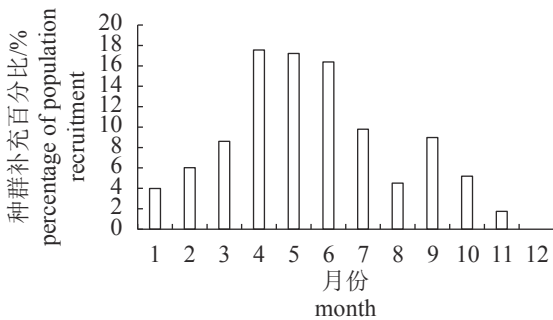


图 5 嘉陵江下游江段蛇鮈种群的补充模式

Fig. 5 Recruitment pattern of *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River

3 讨论

3.1 蛇鮈种群小型化和低龄化

河流鱼类资源小型化是当前渔业生态学中的一种较为普遍的现象, 通常是指鱼类资源中小型鱼类和小个体鱼类比例不断增加的通称^[28]。小型化是鱼类对捕捞强度的日益增大和环境因子变化的被动适应, 如喻达辉^[29]发现, 生态环境的改变是洪湖红鳍鲌(*Chanodichthys erythropterus*)小型化现象形成的主要原因; Cheung 等^[30]认为温度升高也会导致海洋鱼类小型化; 甚至有研究指出, 人类的捕捞活动能促使鱼类“基因小型化”^[31]。对比历史资料^[27], 本研究中蛇鮈的体长变小, 体质量也变轻, 种群中低龄鱼(1龄鱼)的数量比例增加(表 1), 且差异显著, 表明当前嘉陵江下游江段蛇鮈种群的体长、体质量和年龄组成等生物学特征发生了很大改变, 个体呈现明显的小型化、低龄化趋势。

3.2 蛇鮈体长-体质量关系

体长与体质量的关系($W=aL^b$)中的常数 b 具有鱼类物种的内在属性, 不仅能反映鱼类不同的生长模式(匀速生长或者异速生长), 也能间接反映鱼类当前面临生长环境的质量状况。大部分鱼类为匀速生长类型, 仅少部分鱼类为异速生长类型, 如宋洪建等^[32]研究发现大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)的 b 值显著大于 3($P<0.05$), 表明该种群属于正异速生长类型, 其头部和游泳器官优先发育, 能调节身体平衡和减少仔鱼捕食饵料时的能量消耗, 对适应复杂的外界环境具有重要意义; 李宗栋^[33]研究发现红鳍原鲌(*Cultrichthys erythropterus*)幼鱼的 b 值显著小于 3($P<0.05$), 属于负异速生长类型, 且更侧重于体长的生长, 可以更好地帮助其逃避捕食者和寻找食物。本研究发现, 嘉陵江下游江段蛇鮈的 b 值小于 3, 存在显著性差异($P<0.05$), 表明蛇鮈属于负异速生长类型, 这可能与嘉陵江下游江段的地理环境、水体流速及食物饵料获取等因素有关^[18]。

3.3 蛇鮈生长参数和资源动态

鱼类生长参数是鱼类在长期进化过程中形成的, 种群参数的改变是鱼类对生存环境变化的适应^[34]。一般而言, 鱼类存在两种不同的生活史类型, 在饵料充足、竞争压力小的环境中, 鱼类会降低繁殖力, 延长性成熟年龄和性成熟个体大小, 种群数量增加较慢, 即 k 选择类型; 而在饵料供应缺乏、竞争激烈的环境中, 鱼类会提高繁殖力, 缩短初次性成熟年龄和性成熟个体大小, 种群数量上升, 即 r 选择类型^[35]。本研究中, 嘉陵江下游江段蛇鮈与尖头塘鳢生长参数的相似度最高($\lambda_1=0.6559$), 表明蛇鮈更偏向 r 选择类型, 这可能与嘉陵江水生生态环境的变化有关。

近十几年来, 由于嘉陵江梯级航电工程的开发, 原有的水生生态环境发生较大改变, 许多鱼类生存和生活受到严重影响, 水体中鱼类的饵料资源组成也发生了变化, 竞争压力增大, 导致了蛇鮈种群采取提早性成熟年龄和提高繁殖力等的 r 策略生活史类型, 最终引起生长系数和自然死亡率等生长参数的改变, 这也是鱼类对水生生态环境剧烈变化的适应对策。如本研究中, 蛇鮈在夏季的总死亡系数($1.81 a^{-1}$)明显高于

春季的总死亡系数 ($1.09 a^{-1}$), 这可能是因为夏季嘉陵江属于汛期, 水位上涨较快, 水体浑浊, 不利于蛇鮠等底层鱼类进行摄食活动, 相似的现象在其他鱼类中也有报道, 如王雪辉等^[36]发现南海北部深水金线鱼 (*Nemipterus bathybius*) 的自然死亡系数和总死亡系数等生长参数在不同季节中也存在明显的差异。

鱼类资源量的变化受多种因素影响, 其中过度捕捞是主要原因之一。适度的捕捞不仅能够促进鱼类资源的有序更新和水生生态系统中的物质循环和能量流动, 同时也能实现鱼类自然资源的可持续利用^[37-38]; 但过度捕捞则使自然种群原有的平衡受到极大破坏, 自然资源数量大幅下降, 渔获物中小个体数量增加。根据熊飞等^[39]对长鳍吻鮠 (*Rhinogobio ventralis*) 的研究发现, 2007—2009年长鳍吻鮠种群在宜宾和江津江段的实际开发率(79%和81%)均超过了最大开发率(57%), 表明其种群资源长期受到过度捕捞, 已呈现出枯竭状态。在本研究中, 通过单位补充渔获量分析, 2015和2016年嘉陵江下游江段蛇鮠种群的实际开发率(68%和69%)均超过理论最大开发率(42%), 都存在过度开发的状况。

鱼类补充量变化是驱动鱼类资源量变动的另一个重要因素。一般而言, 稳定的鱼类种群, 自然补充量与死亡量之间应大致相等, 可通过种群的自身调节来达到新的平衡, 常见的种群补充模式大致可分为单峰补充和多峰补充。鱼类不同的种群补充模式与其生存的环境、种类和繁殖期间各因素密切相关^[40-41], 如长江似鳊 (*Pseudobrama simoni*) 的种群补充为单峰补充, 与其种群的繁殖时期(4—9月)高度吻合^[42]; 而鄱阳湖鲤 (*Cyprinus carpio*) 的种群补充为多峰补充(双峰), 一方面与其繁殖时期有关, 另一方面与其独特的生存环境有关^[21]。本研究中的种群补充模式表明, 嘉陵江下游江段蛇鮠种群为单峰补充, 种群补充的高峰时期为4—6月, 占全年补充的51.15%, 与蛇鮠的繁殖季节(3—5月)相吻合。

本研究对2015—2016年嘉陵江下游江段蛇鮠种群动态和利用现状进行调查, 结果显示, 嘉陵江下游江段蛇鮠偏向 *r* 选择类型, 为负异速生长型鱼类, 其种群为单峰补充, 补充高峰为4—6月, 且蛇鮠种群结构呈现出显著的小型化、低龄化趋势; 当前蛇鮠种群的实际开发率已超过

理论最大开发率(42%), 种群资源处于过度开发状态。此外, 种群自然补充量不足也是影响嘉陵江下游江段蛇鮠资源量下降的另一重要原因。因此, 建议渔业管理部门控制和减少捕捞强度, 适当延长禁渔期, 加强蛇鮠种群的动态监测及水生生态环境的保护和修复。

参考文献 (References):

- [1] 霍斌. 尖裸鲤个体生物学和种群动态学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
Huo B. Study on the biology and population dynamics of *Oxygymnocypris stewartii* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [2] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Yin M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [3] 周贤君. 拉萨裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
Zhou X J. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax waltoni* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [4] 周灿. 长江上游圆口铜鱼生长及种群特征 [D]. 济南: 山东大学, 2010.
Zhou C. Growth and population characteristics of *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the upper reaches of Yangtze River [D]. Jinan: Shandong University, 2010 (in Chinese).
- [5] 刘飞, 但胜国, 王剑伟, 等. 长江上游圆口铜鱼的食性分析 [J]. 水生生物学报, 2012, 36(06): 75-80.
Li uF, Dan S G, Wang J W, et al. Feeding habits of *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the upper Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(06): 75-80 (in Chinese).
- [6] Pauly D. Beyond our original horizons: the tropicalization of beverton and holt [J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 1998, 8(3): 307-334.
- [7] Beverton R J H, Holt S J. On the dynamics of exploited fish populations [J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 1994, 4(2): 259-260.
- [8] Lindzey F G, Hodges J I, Thompson S K. Scent station index of black bear abundance [J]. Journal of Wildlife Management, 1977, 41(1): 151-154.
- [9] 严利平, 李建生, 凌建忠, 等. 应用体长结构VPA评估中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 东海西部日本鲭种群资源量[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 16-22.
- Yan L P, Li J S, Ling J Z, *et al.* Assessment on the biomass of *Scomber japonicus* resources in the western East China Sea by length-structure VPA[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(2): 16-22(in Chinese).
- [10] 李红敬. 黑斑原鲢个体生物学及种群生态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- Li H J. Studies on the biology and population ecology of *Glyptosternum maculatum* (Regan) in the Brahmaputra River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese).
- [11] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- Ding R H. The fishes of Sichuan, China[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994 (in Chinese).
- [12] 曾燊. 嘉陵江干流鱼类群落生态结构分析[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 850-857.
- Zeng Y. Studies on ecological structure of fish community in Jialing River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(7): 850-857(in Chinese).
- [13] 张颖. 重金属对蛇鮈的急性毒性研究[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2007, 21(1): 20-23.
- Zhang Y. Acute toxicity of heavy metals to Longnose gudgeon[J]. Journal of Xichang University (Natural Science Edition), 2007, 21(1): 20-23(in Chinese).
- [14] 徐永福, 伍远安, 程小飞, 等. 蛇鮈肌肉营养成分分析 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(11): 149-150, 158.
- Xu Y F, Wu Y A, Cheng X F, *et al.* Analysis of nutritional composition in the muscle of *Saurogobio dabryi* Bleeker[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(11): 149-150, 158(in Chinese).
- [15] 彭艳, 曾燊, 张臣, 等. 嘉陵江不同江段蛇鮈耳石形态特征及差异[J]. 水产学报, 2018, 42(11): 1896-1905.
- Peng Y, Zeng Y, Zhang C, *et al.* Otolith morphology of *Saurogobio dabryi* and the variance in different sections of Jialing River[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(11): 1896-1905(in Chinese).
- [16] 张臣, 曾燊, 彭艳, 等. 嘉陵江下游蛇鮈肠道形态结构及其异速生长模式[J]. 水产学报, 2018, 42(4): 503-512.
- Zhang C, Zeng Y, Peng Y, *et al.* Morphological structure and allometric growth pattern of *Saurogobio dabryi* intestine in the lower reaches of Jialing River[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(4): 503-512(in Chinese).
- [17] 胡月, 曾燊, 蒋朝明, 等. 嘉陵江下游蛇鮈的两性异形与雌性个体生殖力[J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 658-664.
- Hu Y, Zeng Y, Jiang Z M, *et al.* Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Saurogobio dabryi* in the lower reaches of the Jialing River, Southwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 658-664(in Chinese).
- [18] 蒋朝明. 嘉陵江不同江段蛇鮈 (*Saurogobio dabryi*) 的生物学特征差异比较 [D]. 南充: 西华师范大学, 2016.
- Jiang Z M. The differential comparison of biological characteristics of *Saurogobio dabryi* in the Jialing River[D]. Nanchong: China West Normal University, 2016 (in Chinese).
- [19] 马宝珊. 异齿裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- Ma B S. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax oconnori*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [20] Zhang F B, Liu F, Qin Q, *et al.* Diet composition and trophic guild structure of fish assemblage in headwaters of the Chishui River, a tributary of the upper Yangtze River, China[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2018, 101(8): 1235-1248.
- [21] 吴斌, 方春林, 贺刚, 等. FiSAT II 软件支持下鄱阳湖通长江水道鲤鱼生物学参数估算[J]. 水产科学, 2015, 34(4): 256-260.
- Wu B, Fang C L, He G, *et al.* Estimation of biological parameters in common carp *Cyprinus carpio* collected in the Yangtze River Waterway in Poyang Lake by Support of FiSAT II software[J]. Fisheries Science, 2015, 34(4): 256-260(in Chinese).
- [22] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1980, 39(2): 175-192.
- [23] Taylor C C. Cod growth and temperature[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1958, 23(3): 366-370.
- [24] 刘春池. 黑尾近红鮠生物学、种群动态和遗传多样性研究 [D]. 武汉: 中国科学院大学, 2013.
- Liu C C. Studies on the biology, population dynamics and genetic diversity of *Ancherythroculter nigrocauda* [D]. Wuhan: The University of Chinese Academy of Sci-

- ences, 2013 (in Chinese).
- [25] 高欣. 长江珍稀及特有鱼类保护生物学研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007.
- Gao X. Conservation biology of rare and endemic fishes of the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007 (in Chinese).
- [26] Kirchber C H. Fisheries regulations based on yield-per-recruit analysis for the linefish silver kob *Argyrosomus inodorus* in Namibian waters[J]. *Fisheries Research*, 2001, 52(3): 155-167.
- [27] 谢恩义. 蛇鲂个体生殖力的研究[J]. 怀化师专学报, 1997, 16(5): 58-60.
- Xie E Y. Study on the individual fecundity of longnose gudgeon (*Saurogobio dabryi* Bleeker)[J]. *Journal of Huaihua Teachers College*, 1997, 16(5): 58-60(in Chinese).
- [28] 刘其根, 孔优佳, 陈立桥, 等. 网围养殖对漏湖底栖动物群落组成及物种多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(5): 566-570.
- Liu Q G, Kong Y J, Chen L Q, *et al.* Effect of pen aquaculture on community structure and species diversity of zoobenthos in Gehu Lake[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(5): 566-570(in Chinese).
- [29] 喻达辉. 洪湖红鳍鲌生物学的研究及洪湖鱼类小型化的初步探讨 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1988.
- Yu D H. Studies on the Biology of *Culter erythropterus*(Basil) and the diminution phenomenon of the fish species in Honghu Lake[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1988(in Chinese).
- [30] Cheung W W L, Watson R, Pauly D. Signature of ocean warming in global fisheries catch[J]. *Nature*, 2013, 497(7449): 365-368.
- [31] Heath D, Roff D A. Test of genetic differentiation in growth of stunted and nonstunted populations of yellow perch and pumpkinseed[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1987, 116(1): 98-102.
- [32] 宋洪建, 刘伟, 王继隆, 等. 大麻哈鱼卵黄囊期仔鱼异速生长及其生态学意义[J]. 水生生物学报, 2013, 37(2): 329-335.
- Song J H, Liu W, Wang J L, *et al.* Allometric growth during yolk-sac larvae of chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) and consequent ecological significance[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 329-335(in Chinese).
- [33] 李宗栋. 滇池红鳍原鲌年龄、生长、繁殖及食性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- Li Z D. Study on age, growth, reproduction and feeding habits of *Cultrichthys erythropterus* in Dianchi Lake[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese).
- [34] 姜作发, 唐富江, 尹家胜, 等. 乌苏里江上游虎头江段哲罗鱼种群结构及生长特性[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(4): 53-55.
- Jiang Z F, Tang F J, Yin J S, *et al.* The population structure and growth characteristics of *Hucho taimen* (Pallas) in the upper reaches of Wusuli River[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 32(4): 53-55(in Chinese).
- [35] 张登成, 熊文, 陶捐, 等. 武汉地区西部食蚊鱼的生长、死亡系数及种群补充模式[J]. 生态学报, 2016, 36(2): 508-517.
- Zhang D C, Xiong W, Tao J, *et al.* Growth, mortality and recruitment pattern of western mosquitofish (*Gambusia affinis* Baird & Girard, 1853) in lentic wetlands of Wuhan, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(2): 508-517(in Chinese).
- [36] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁. 南海北部深水金线鱼生物学及最适开捕体长[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2428-2434.
- Wang X H, Qiu Y S, Du F Y. Fisheries biology of *Nemipterus bathybius* and its optimum catchable size in northern South China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2428-2434(in Chinese).
- [37] Stewrat J, Walsh C, Reynolds D, *et al.* Determining an optimal mesh size for use in the lampara net fishery for eastern sea garfish, *Hyporhamphus australis*[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2004, 11(6): 403-410.
- [38] 林龙山, 张寒野, 李惠玉, 等. 东海带鱼食性的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(6): 932-936.
- Lin L S, Zhang H Y, Li H Y, *et al.* Study on seasonal variation of feeding habit of hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36(6): 932-936(in Chinese).
- [39] 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游特有种长鳍吻鲷种群数量和资源利用评估[J]. 生物多样性, 2016,

- 24(3): 304-312.
- Xiong F, Liu H Y, Duan X B, *et al.* Estimating population abundance and utilization of *Rhinogobio ventralis*, an endemic fish species in the upper Yangtze River[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(3): 304-312(in Chinese).
- [40] Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H, *et al.* Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems[J]. *Science*, 2001, 293(5530): 629-638.
- [41] 王旭歌. 长湖短颌鲚种群生态学及遗传多样性 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Wang X G. Population ecology and genetic diversity of *Coilia brachyghathus* in Lake Changhu[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [42] 郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 长江靖江段沿岸似鳊生长及种群参数估算[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(9): 1369-1377.
- Guo H Y, Wei W, Tang Q W, *et al.* Estimation of growth and population parameters of *Pseudobrama simoni* (Bleeker) at Jingjiang section of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(9): 1369-1377(in Chinese).

Population dynamics and stock status of *Saurogobio dabryi* in the lower reaches of the Jialing River

MA Jia¹, ZHANG Fubin^{1,2}, ZENG Yu^{1*}, LÜ Zhenyu¹, XIAO Jin¹,
HE Xinman¹, DUAN Ming¹, YANG Shaorong¹

(1. College of Life Science,

Southwest Branch of the National Freshwater Fishery Engineering Technology Research Center (Wuhan),
China West Normal University, Nanchong 637000, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

Abstract: This research was conducted to explore the population dynamics and stock status of *Saurogobio dabryi* in the lower reaches of the Jialing River. A total of 256 individuals of *S. dabryi* were collected in the lower reaches of the Jialing River (Hechuan section) from 2015 to 2016. Growth parameters and stock status of *S. dabryi* population were estimated by using the Fista II Software. The length-weight relationship was $W=7.5 \times 10^{-5} \times L^{2.58}$ ($R^2=0.7311$, $n=256$), and the Von Bertalanffy growth equation was fitted as $L=173.81[1-e^{-0.73(r+0.23)}]$, where $L_{\infty}=173.81$ mm, $K=0.73$, $t_0=-0.23$. The exploitation rates of the *S. dabryi* population were 68% and 69% in 2015 and 2016 respectively, exceeding the theoretical maximum exploitation rate (42%), based on the Yield per Recruit model (YPR), which indicated that the *S. dabryi* population was overexploited. The *S. dabryi* in the lower reaches of the Jialing River demonstrated negative allometric growth pattern, and r -selection life strategies. Recruitment to the population mainly occurred from April to June, and was unimodal. The population was dominated by younger and small sized individuals. Abundance had been declining due to overfishing and reduction of natural recruitments to the population.

Key words: *Saurogobio dabryi*; population dynamics; resource utilization; Jialing River

Corresponding author: ZENG Yu. E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (51779210, 31901219); China West Normal University (19C007, 17YC320, CXTD2016-3)