

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18391

三峡库区重要支流 8 种优势鱼类生长及其资源开发现状评估

解崇友, 胡佐灿, 蔡瑞钰, 蒲德永, 冯兴无, 彭作刚, 王志坚

西南大学生命科学学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 水产科学重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 根据 2015 年 11 月、12 月和 2016 年 5 月、6 月、9 月三峡库区 36 条重要支流渔获物调查信息, 基于 FiSAT II 软件对鲤(*Cyprinus carpio*)、瓦氏拟鲮(*Pseudobagrus vachellii*)、鲫(*Carassius auratus*)、蛇鲃(*Saurogobio dabryi*)、光泽拟鲮(*Pseudobagrus nitidus*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、银鲃(*Squalidus argentatus*)和似鲃(*Pseudobrama simoni*)8 种优势鱼类的生长及其资源开发现状进行了评估, 旨在了解三峡库区重要支流鱼类资源变动趋势和生长情况, 为该区域渔业管理和资源保护提供科学依据。结果显示, 8 种鱼类生长指数(b)为 2.74~3.11, 近似等速生长; 生长系数(K)大于 0.2, 为快速生长型; 生长性能指数(ϕ')为 2.83~5.25; 似鲃和鲫的资源开发率小于 0.5, 其余种类在 0.5 及以上; 鲤、瓦氏拟鲮、蛇鲃、光泽拟鲮、鲮、银鲃的捕捞体长分别控制在 289 mm、253 mm、134 mm、102 mm、71 mm 及 52 mm 以上, 鱼类资源可得到有效恢复。研究表明, 目前三峡库区重要支流鱼类资源开发过度; 杂食性和肉食性鱼类生长速度呈加快趋势, 而底栖动物食性鱼类呈减小趋势。

关键词: 长江上游; 三峡库区支流; 渔获物; 生长; 资源开发

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)03-0504-08

三峡工程竣工后按照 145~175 m 常态蓄水水位运行, 夏季防洪水位控制在 145 m 运行, 库区回水末端到达重庆涪陵, 冬季 175 m 蓄水水位运行时, 库区回水将上溯至重庆江津, 此时三峡库区长 650 km, 库容达到 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。三峡工程在带来巨大的社会价值和经济价值的同时, 也出现了重金属沉积^[1]、饵料生物改变^[2]、鱼类组成改变^[3]、水华、山体滑坡、地震^[4]等生态和地质问题。三峡库区位于长江上游, 其水生生态安全直接影响着长江流域居民的生产生活, 鱼类作为水生生态系统的高级群落, 受到了广泛的关注。

众多学者对长江上游以及部分支流进行了渔业现状调查, 表明长江上游鱼类资源开发过度, 鱼类出现了小型化趋势, 部分特有鱼类生存受到严重威胁^[5-7]。目前, 长江上游干流已对多种主要经济鱼类进行了渔业资源评估^[5-8], 而库区支流

中只有段鹏翔等^[9]对小江拟尖头鲈进行了资源评估。由于库区各条支流所处地理位置不同, 渔民数量和渔具渔法差异较大, 鱼类开发强度会有一定的差异。本研究基于三峡库区重要支流渔民渔获物调查数据, 对三峡库区重要支流的 8 种优势鱼类生长及其资源开发现状进行了评估, 旨在了解库区鱼类资源变动趋势, 为库区渔业管理部门制定渔业管理和资源保护措施提供科学依据。

1 研究方法

1.1 样品采集与鉴定

2015 年 11 月、12 月和 2016 年 5 月、6 月、9 月, 对三峡库区 36 条重要支流(图 1)渔民三层刺网(4~14 cm)、地笼、船罾和延绳钓的渔获物进行了流动抽样调查, 每条支流调查 20 船次。渔获物中较大个体现场鉴定其种类, 测量体长、全长和

收稿日期: 2018-12-04; 修订日期: 2019-01-22.

基金项目: 农业部财政专项长江渔业资源与环境调查项目(CJDC-2017-12).

作者简介: 解崇友(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类资源与生态学研究. E-mail: msxycy2016@163.com

通信作者: 王志坚, 教授, E-mail: wangzj1969@126.com; 彭作刚, 研究员, E-mail: pzg@swu.edu.cn

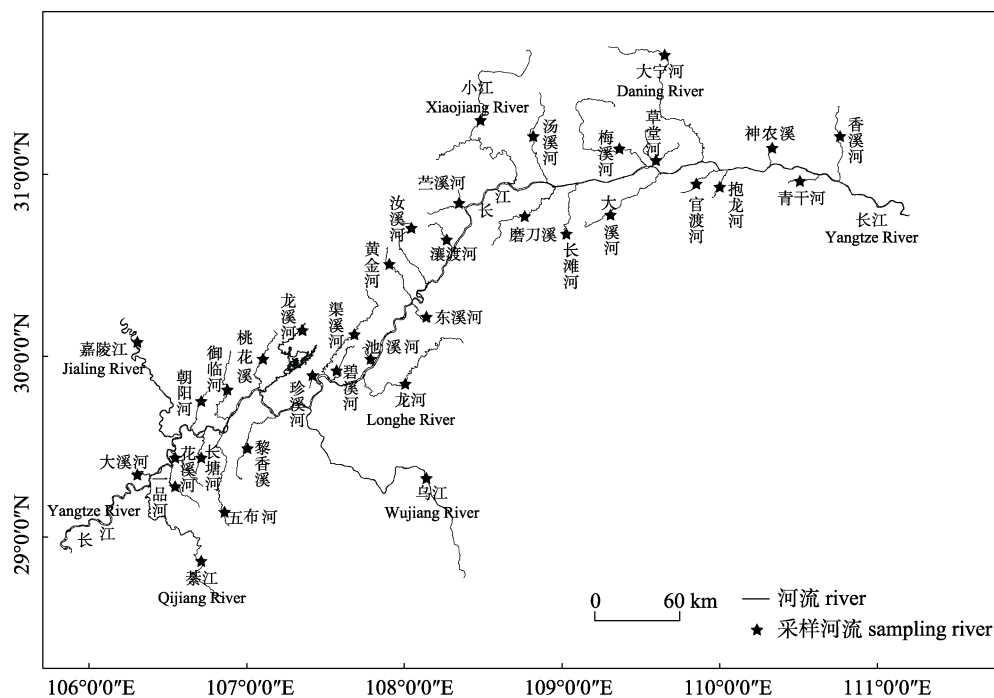


图1 三峡库区采样河流分布图

Fig. 1 Sampling river distribution map in the Three Gorges Reservoir area

体质量, 其余用 10% 的甲醛固定后带回实验室鉴定和测量。鱼类种类鉴定、名称及分类阶元确定均依据相关文献^[10-14]。

1.2 数据分析

1.2.1 鱼类群落优势种 鱼类群落优势种分析采用相对重要性指数(index of relative importance, IRI), 其计算公式为: $IRI = (N_i + W_i) \times F_i \times 10^4$ 。式中, N_i 为群落中第 i 种鱼的尾数占总尾数的百分比; W_i 为群落中第 i 种鱼的重量占总重量的百分比; F_i 为群落中第 i 种鱼出现频次的百分比。定义 $IRI \geq 1000$ 的物种为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 的物种为常见种^[15]。

1.2.2 鱼类生长

(1) 体长-体重关系 采用式 $W = aL^b$ 进行拟合。式中, W 为体重(g); L 为体长(mm); a 为常数; b 为生长指数。

(2) 生长方程各参数估算 von Bertalanffy 生长方程中, 渐进体长(L_∞)和生长系数(K)用体长频率分布法(ELEFAN I)估算。体长组距使用 Snedecor 和 Sturges 方法的平均值^[16], 被评估鱼类 鲤(*Cyprinus carpio*)、瓦氏拟鲮(*Pseudobagrus vachellii*)、鲫(*Carassius auratus*)、蛇鲇(*Saurogobio dabryi*)、光泽拟鲮(*Pseudobagrus nitidus*)、鳊

(*Hemiculter leuciscus*)、银鲌(*Squalidus argentatus*)和似鲃(*Pseudobrama simoni*)的体长组距分别为 40 mm、18 mm、17 mm、13 mm、13 mm、8 mm、8 mm 及 7 mm。理论初始年龄(t_0)用 Pauly^[17]经验公式 $\lg(-t_0) = -0.392 - 0.275 \lg L_\infty - 1.038 \lg K$ 计算。

(3) 生长性能指数估算 用生长性能指数(ϕ')来衡量鱼类总体生长表现^[18], 计算公式为: $\phi' = \lg K + 2 \lg L_\infty$ 。

1.2.3 鱼类资源评估

(1) 死亡系数估算 总死亡系数(Z)为捕捞死亡系数(F)与自然死亡系数(M)之和。 Z 值运用长度变换渔获曲线法估算, 舍弃未全面进入补充年龄段和接近渐进体长年龄段的数据后, 对剩余数据点进行线性回归, 斜率的相反数即 Z 值。自然死亡系数(M)根据 Pauly^[19]经验公式 $\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_\infty + 0.6543 \lg K + 0.4643 \lg T$ 估算。式中, T 为年平均水温, 长江上游年平均水温为 18.4°C ^[8]; L_∞ (cm)为渐进全长。

需要将渐进体长转换为渐进全长, 鲤、瓦氏拟鲮、鲫、蛇鲇、光泽拟鲮、鳊、银鲌和似鲃各选取 100 尾的体长(SL)和全长(TL)数据分别进行拟合, 得到如下直线方程:

鲤: $TL=1.18SL+0.30$ ($R^2=0.99$, $P<0.01$)

瓦氏拟鲮: $TL=1.11SL+0.48$ ($R^2=0.94$, $P<0.01$)

鲫: $TL=1.20SL+0.19$ ($R^2=0.99$, $P<0.01$)

蛇鲇: $TL=1.13SL+0.41$ ($R^2=0.99$, $P<0.01$)

光泽拟鲮: $TL=1.08SL+0.78$ ($R^2=0.96$, $P<0.01$)

鲮: $TL=1.11SL+0.66$ ($R^2=0.94$, $P<0.01$)

银鲇: $TL=1.16SL+0.30$ ($R^2=0.95$, $P<0.01$)

似鳊: $TL=1.14SL+0.55$ ($R^2=0.98$, $P<0.01$)

捕捞死亡系数(F), 由公式 $F=Z-M$ 计算。

(2) 资源开发率估算 资源开发率(E), 由式 $E=F/Z$ 计算。

(3) 资源动态分析 资源动态分析通过相对单位补充渔获物量(Y'/R)和相对单位补充生物量(B'/R)进行, 并采用 Beverton-Holt 模型中的刀式选择假设模型。其数学表达式为:

$$Y'/R = EU^{M/K} \times [1 - 3U / (1+m) + 3U^2 / (1+2m) - U^3 / (1+3m)]$$

式中, $U=1-(L_c/L_\infty)$; $m=(1-E)/(M/K)=(K/Z)$; $B'/R=(Y'/R)/F$; E 为资源开发率, 包括 3 种水平: $E_{\max}$ 为产量最高时的开发率, E_{10} 为 Y'/R 边际增长减少 10% 的开发率, E_{50} 为生物量减少为原始水平 50% 时的开发率。

(4) 最适开捕体长 最适开捕体长(L_{opt}), 由公式 $\lg L_{opt}=1.053 \times \lg L_m - 0.0565^{[20]}$ 计算。式中, L_m 为初次性成熟体长(mm), 根据其性成熟年龄带入生长方程得出。

所有数据和图像在 Excel 2010、SPSS 24.0、FiSAT III 1.2.2 和 Adobe Illustrator CC 2017 软件中进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 渔获物组成

本次调查共统计渔获物 27105 尾, 重 641164.1 g, 由 8 目 19 科 70 属 104 种鱼类构成。渔获物中, 鲤、鲫和光泽拟鲮重量比例较高, 为主要经济鱼类; 鳊(*Aristichthys nobilis*)、蛇鲇、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、瓦氏拟鲮、翘嘴鲇(*Culter alburnus*)、大口鲇(*Silurus meridionalis*)、大眼鲈(*Siniperca kneri*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)为次要经济鱼类。群落样

本中, 鲤、蛇鲇、光泽拟鲮、银鲇为优势种, 鲫、瓦氏拟鲮、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、似鳊、短吻新银鱼(*Neosalanx brevirostris*)、鲮、翘嘴鲇、大口鲇、鳊、大眼鲈、铜鱼、鲢、大鳍鱮(*Hemibagrus macropterus*)、张氏鲮(*Hemiculter tchangii*)为常见种。渔获物组成情况如表 1 所示。

2.2 鱼类生长

如表 2 所示, 体长-体重关系中, 8 种鱼类 b 值都近似于 3, 可用 von Bertalanffy 生长方程描述其生长情况; 生长参数中, 鲤 L_∞ 最大, 为 717 mm, 似鳊 L_∞ 最小, 为 165 mm; 鲤 K 值最高(0.35), 其次为光泽拟鲮(0.31)。Branstetter 将 K 值划分 3 种类型^[21], 0.2 以上为快速生长型, 0.1~0.2 为中速生长型, 0.05~0.1 为缓慢生长型。8 种鱼类 K 值都在 0.2 以上, 为快速生长型。从 ϕ' 值看, 鲤生长性能指数最高, 为 5.25; 瓦氏拟鲮次之, 为 4.52; 银鲇最小, 为 2.83。

2.3 死亡系数和开发率估算

使用长度变换渔获物曲线法求得 Z 值, M 值根据 Pauly 经验公式得出, E 值由式 $E=F/Z$ 计算(表 3)。鲤、瓦氏拟鲮、蛇鲇、光泽拟鲮、鲮的资源开发率均大于 0.5, 显著高于鲫、银鲇和似鳊的开发率; 瓦氏拟鲮、鲤、鲮和蛇鲇的资源开发率接近或等于 0.7。

目前长江上游捕捞强度较大, 鱼类还未进入补充体长就会被捕获上来, 选择补充体长前第一次被大量捕获的体长组均值作为开捕体长(L_c), 鲤、瓦氏拟鲮、鲫、蛇鲇、光泽拟鲮、鲮、银鲇、似鳊的 L_c 分别为 67 mm、77 mm、50 mm、44 mm、51 mm、58 mm、36 mm 和 51 mm。应用 Beverton-Holt 动态综合模型中的刀式选择假设模型得到 8 种鱼类 E_{10} 、 E_{50} 和 $E_{\max}$ 数值(表 3)。鲫和似鳊的开发率小于 $E_{\max}$, 其余均大于 $E_{\max}$ 。鲤的 E 值为 $E_{\max}$ 的 167.5%, 属于严重开发过度; 似鳊 E 值仅 0.20, 同时小于 E_{10} 、 E_{50} 和 $E_{\max}$, 资源利用不足。

2.4 资源状况

鲤的 Y'/R 和 B'/R 与 E 的关系中(图 2), 开捕体长 $L_c=67$ mm 时, 当 $E>0.69$, Y'/R 随 E 的增大呈减小趋势; 当 $E<0.69$, Y'/R 随 E 的减小呈先增大后减小的趋势, E 降至 $E_{\max}$ (0.399)时, Y'/R 达到最大

表 1 本次调查渔获物组成情况
Tab. 1 Composition of catch in the survey

物种 species	重量/g weight	数量 number	重量占比/% weight percentage	平均重量/g average weight	体重范围/g weight range	体长范围/mm length range	相对重要性指数 IRI
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	109253.0	464	17.04	235.5	0.5–4500.0	26–583	1607.3
鲫 <i>Carassius auratus</i>	45713.6	929	7.13	49.2	0.5–500.0	24–266	935.1
光泽拟鲮 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	40282.1	2433	6.28	16.6	6.5–149.4	18–258	1482.3
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	34263.0	49	5.34	699.2	7.6–17500.0	85–948	268.3
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	34100.2	3018	5.32	11.3	0.6–175.4	30–260	1598.3
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	30027.4	56	4.68	536.2	2.1–15000.0	47–910	195.6
瓦氏拟鲮 <i>Pseudobagrus vachellii</i>	29187.9	798	4.55	36.6	1.0–479.5	40–310	706.8
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	28731.8	232	4.48	123.8	1.1–2150.0	41–562	350.7
大口鲶 <i>Silurus meridionalis</i>	24084.1	123	3.76	195.8	0.6–8750.0	51–860	300.7
大眼鲈 <i>Siniperca kneri</i>	19613.7	256	3.06	76.6	1.4–359.5	45–246	251.7
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	18649.3	196	2.91	95.1	1.7–367.0	45–313	207.5
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	16240.9	974	2.53	16.7	0.8–76.6	35–152	437.6
银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	15719.1	3041	2.45	5.2	1.7–86.0	12–151	1367.1
大鳍鱬 <i>Hemibagrus macropterus</i>	9378.0	353	0.01	26.6	1.0–278.8	32–350	110.6
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	8672.3	823	0.01	10.5	1.3–55.4	45–172	376.2
张氏鲮 <i>Hemiculter tchangi</i>	6106.0	390	0.01	15.7	0.7–120.9	16–214	109.3
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	4460.7	1586	0.01	2.8	0.1–12.7	25–93	486.4
短吻新银鱼 <i>Neosalanx brevirostris</i>	4180.8	6971	0.01	0.6	0.1–1.6	35–76	376.7
其他 others	162500.2	4413	25.34	36.82	0.1–3840.0	24–753	—

表 2 三峡库区重要支流 8 种鱼类的体长体重关系和生长参数
Tab. 2 The relationship between body length and weight, and growth parameters of 8 species of fish in important tributaries of the Three Gorges Reservoir area

物种 species	体长-体重关系 length-weight relationship	渐进体长 L_{∞}	生长系数 K	初始年龄 t_0	生长性能指数 ϕ'	生长方程 von Bertalanffy
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	$W=2.26\times10^{-5}L^{3.04}$ ($R^2=0.97, P<0.01$)	717.0	0.35	-0.20	5.25	$L_t=717.0[1-e^{-0.35(t+0.20)}]$
瓦氏拟鲮 <i>Pseudobagrus vachellii</i>	$W=1.86\times10^{-5}L^{2.94}$ ($R^2=0.93, P<0.01$)	378.5	0.23	-0.36	4.52	$L_t=378.5[1-e^{-0.36(t+0.36)}]$
鲫 <i>Carassius auratus</i>	$W=2.69\times10^{-5}L^{3.02}$ ($R^2=0.97, P<0.01$)	322.0	0.21	-0.42	4.34	$L_t=322.0[1-e^{-0.21(t+0.42)}]$
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	$W=3.34\times10^{-5}L^{2.74}$ ($R^2=0.91, P<0.01$)	297.5	0.21	-0.43	4.27	$L_t=297.5[1-e^{-0.21(t+0.43)}]$
光泽拟鲮 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	$W=2.58\times10^{-5}L^{2.83}$ ($R^2=0.91, P<0.01$)	277.4	0.31	-0.29	4.38	$L_t=277.4[1-e^{-0.31(t+0.29)}]$
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	$W=2.02\times10^{-5}L^{2.87}$ ($R^2=0.89, P<0.01$)	247.5	0.21	-0.45	4.11	$L_t=247.5[1-e^{-0.21(t+0.45)}]$
银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	$W=1.13\times10^{-5}L^{3.06}$ ($R^2=0.91, P<0.01$)	178.8	0.21	-0.49	3.83	$L_t=178.8[1-e^{-0.21(t+0.49)}]$
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	$W=9.64\times10^{-6}L^{3.11}$ ($R^2=0.89, P<0.01$)	165.0	0.28	-0.37	3.88	$L_t=165.0[1-e^{-0.28(t+0.37)}]$

表 3 三峡库区重要支流 8 种鱼类的死亡系数和开发率
Tab. 3 Mortality and development rates for 8 species of fish in important tributaries of the Three Gorges Reservoir area

物种 species	总死亡 系数 Z	自然死亡 系数 M	捕捞死亡 系数 F	开发率 E	边际增长减少 10% 的开发率 E_{10}	生物量降低 50% 的开发率 E_{50}	最高产量开 发率 E_{max}
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	1.77	0.55	1.22	0.69	0.32	0.26	0.40
瓦氏拟鲮 <i>Pseudobagrus vachellii</i>	1.72	0.51	1.21	0.70	0.37	0.27	0.45
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.81	0.49	0.32	0.40	0.31	0.26	0.42
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	1.61	0.51	1.10	0.68	0.31	0.25	0.41
光泽拟鲮 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	1.63	0.68	0.95	0.58	0.36	0.27	0.44
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	1.73	0.54	1.19	0.69	0.40	0.28	0.49
银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	1.15	0.58	0.57	0.50	0.37	0.27	0.46
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	0.90	0.72	0.18	0.20	0.47	0.31	0.57

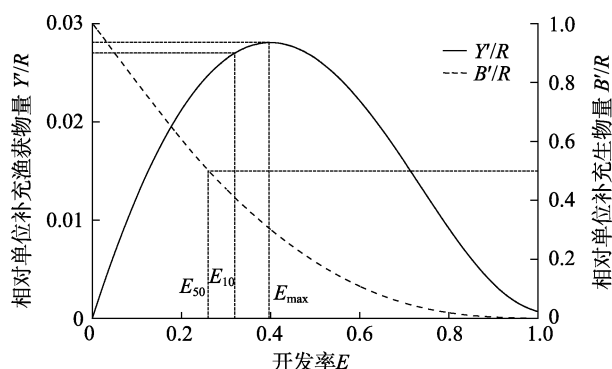


图 2 开捕体长 $L_c=67$ mm 时鲤的相对单位补充渔获物量和相对单位补充生物量与开发率的二维分析

Fig. 2 Two-dimensional analysis for Y'/R and B'/R of the *Cyprinus carpio* when $L_c=67$ mm

值, E 降至 E_{50} 时, Y'/R 值有所下降, 但此时的 Y'/R 值也大于实际开发率的 Y'/R 值。在生物量保持方面, 当 $E=0.69$ 时, 只有不到 10% 的生物量资源得到保持; 当 $E=0.399$ 时, 有 30% 的生物量资源得到保持; 当 $E=0.26$ 时, 有 50% 的生物量可以得到保持。若保留渔业利益, 保持当前 E 和 M/K 不变, 同时获得更高的 Y'/R 和 B'/R , 则 L_{opt} 需要控制在 289 mm 以上, 种群资源才不会被过度捕捞。同理, 瓦氏拟鲮、蛇鲇、光泽拟鲮、鳙、银鲇的开捕体长应分别控制在 253 mm、134 mm、102 mm、71 mm 及 52 mm 以上。

3 讨论

3.1 生长参数和自然死亡系数估算的准确性

渔业资源评估的准确性, 主要受 K 和 M 等参数的影响。FiSAT II 软件中 K 选择范围为 0.01~10.00, 而大部分鱼类 K 值为 0~0.8^[22]。本研究三峡库区重要支流 8 种优势鱼类 K 值为 0.21~0.35, 处于正常区间。Beverton 等^[22]对鲈亚目、鲱亚目、鲑形目和鳕形目鱼类的 M 和 K 值进行了拟合, 发现 M 和 K 值有线性关系, 直线方程斜率(M/K)为 1.0~2.5, 但某一种鱼类的 M/K 值并不完全符合这一规律, 且 FiSAT II 软件中 M/K 的默认范围在 0.10~9.99 之间。本研究三峡库区重要支流 8 种优势鱼类的 M/K 值为 1.57~2.76, 因此 M 和 K 参数的关系基本符合这一数学规律。

3.2 生长参数的比较

三峡库区重要支流杂食性的鲤、鲫和似鲮 K

值普遍大于其他水域^[23-25], 底栖动物食性的瓦氏拟鲮 K 值小于洞庭湖水域^[26], 鳙和银鲇的 K 值介于其他水域雌、雄鱼的 K 值之间^[27-28]。 K 值大小受鱼类种类、温度、食物、密度、流速等的影响^[29-30]。三峡库区形成后, 水体体积变大、鱼类密度相对减少, 透明度增加, 初级生产力提高, 同时 145~175 m 周期性蓄水会带入大量外源营养物, 因此杂食性鱼类的食物丰度得到提高; 水流减缓会造成鱼类运动量减少, 适宜静水或缓流水的鱼类更多能量将用于生长^[30]; 水流减缓同时会导致泥沙沉积, 河床底质由卵石变为淤泥或沙质为主, 底栖动物适宜生境逐步丧失, 生物量大量减少^[2], 所以底栖动物食性鱼类的食物丰度会降低。因此, 三峡库区形成后, 库区杂食性和肉食性鱼类 K 值会有增加的趋势, 但底栖动物食性鱼类 K 值有减小的趋势。

3.3 资源开发现状

与长江干流的历史资料相比^[31], 三峡库区重要支流鲤的 E 值减少了 0.208, 表明管理部门所采取的禁渔期、限制捕捞强度、取缔违法渔具等措施, 在执法相对困难的支流已经取得了一定的效果, 但是地笼、密眼网、船罟和延绳钓等违法网具并没有被完全取缔, 渔获物中小型鱼类仍占有较大比例。目前, 鱼类资源的最佳开发率仍存在争议, Pauly^[32]和 Gulland^[33]分别认为鱼类资源的最佳开发率应控制在 0.286 和 0.5, 而 Mehanna^[34]认为开发率只要低于 E_{max} 就在安全范围内。本研究中, 鲤、瓦氏拟鲮、蛇鲇、光泽拟鲮、鳙和银鲇的开发率在 0.5 及以上且大于 E_{max} , 处于过度捕捞状态, 只有似鲮的 E 值小于 0.286, 处于开发不足的状态。蛇鲇和鳙是小型鱼类, 虽然不是主要捕捞对象, 但却处于严重的过度捕捞状态, 表明三峡库区重要支流的鱼类资源已过度利用。似鲮是一种小型鱼类, 经济价值不大, 不是三峡库区支流的主要经济鱼类, 除繁殖期外没有集群的习性, 通常 1 龄就能性成熟, 且怀卵量大^[13], 因此其资源开发率只有 0.20, 远低于其他鱼类。

鱼类的生态习性以及渔具的选择性差异, 能够导致同一区域不同鱼类的资源开发率产生较大差异。因此, 采用不同渔具捕捞的多种鱼类进行

资源开发率评估,可以更好地反映研究区域鱼类资源的实际开发现状。本研究结果表明,三峡库区重要支流鱼类资源处于过度开发状态。

参考文献:

- [1] Yi Y J, Tang C H, Yi T C, et al. Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 145: 295-302.
- [2] Yang Z B, Liu Y Y, He R T, et al. Responses of benthic macroinvertebrates in tributaries of different hydrological regimes in the Three Gorges Reservoir region to reservoir impoundment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(20): 7231-7241. [杨振冰, 刘园园, 何蕊廷, 等. 三峡库区不同水文类型支流大型底栖动物对蓄水的响应[J]. *生态学报*, 2018, 38(20): 7231-7241.]
- [3] Yang Z, Tang H Y, Gong Y, et al. The spatial-temporal distribution characteristics of the endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River under the normal operation of the Three Gorges Reservoir[J]. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 2017, 2(1): 1-10. [杨志, 唐会元, 龚云, 等. 正常运行条件下三峡库区干流长江上游特有鱼类时空分布特征研究[J]. *三峡生态环境监测*, 2017, 2(1): 1-10.]
- [4] Li J G, Zhang L F, Liao W L, et al. Earthquakes in the fold structure—the genesis of the M4.3 earthquake sequence in the Three Gorges Reservoir area in 2017[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2018, 61(9): 3701-3712. [李井冈, 张丽芬, 廖武林, 等. 褶皱构造中的地震——2017年三峡库区巴东M4.3地震序列成因讨论[J]. *地球物理学报*, 2018, 61(9): 3701-3712.]
- [5] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Stock assessment of *Coreius guichenoti* in Jiangjin and Yibin sections of the upper Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2014, 49(6): 852-859. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津和宜宾江段圆口铜鱼资源量估算[J]. *动物学杂志*, 2014, 49(6): 852-859.]
- [6] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Population parameters and population abundance of *Rhinogobio cylindricus* in Zhuyangxi section of the upper Yangtze River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7320-7327. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游朱杨溪江段圆筒吻鮰种群参数和资源量[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7320-7327.]
- [7] Xin J F, Yang Y F, Duan Z H, et al. Population characteristics and species conservation of *Rhinogobio ventralis* in upper reaches of Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(7): 1377-1381. [辛建峰, 杨宇峰, 段中华, 等. 长江上游长鳍吻鮰的种群特征及其物种保护[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(7): 1377-1381.]
- [8] Tian H W, Duan X B, Xiong X, et al. Estimation of growth and population parameters of elongate loach (*Leptobotia elongata*) in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(10): 1305-1312. [田辉伍, 段辛斌, 熊星, 等. 长江上游长薄鳅生长和种群参数的估算[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(10): 1305-1312.]
- [9] Duan P X, Yang Z, Tang H Y, et al. Study on age, growth, reproduction and the status of resource development of *Culter oxycephaloides* (Kreyenberg et Pappenheim) in the Xiao River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(4): 695-704. [段鹏翔, 杨志, 唐会元, 等. 小江拟尖头鮡的年龄, 生长, 繁殖及其资源开发状况研究[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(4): 695-704.]
- [10] Chen Y Y. *Fauna Sinica: Osteichthyes, Cypriniformes, II*[M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-454. [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: 1-454.]
- [11] Yue P Q. *Fauna Sinica: Osteichthyes, Cypriniformes, III*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-567. [乐佩琦. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-567.]
- [12] Chu X L, Zheng B S, Dai D Y. *Fauna Sinica: Osteichthyes, Siluriformes*[M]. Beijing: Science Press, 1999: 34-191. [褚新洛, 郑葆珊, 戴定远. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 34-191.]
- [13] Ding R H. *The Fishes of Sichuan*[M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1994: 1-539. [丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 1-539.]
- [14] Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, et al. Red list of China's vertebrates[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(5): 500-551. [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. *生物多样性*, 2016, 24(5): 500-551.]
- [15] Wo J, Xu B D, Xue Y, et al. Temporo-spatial heterogeneity of dominant fish species in the Jiaozhou Bay community[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 1091-1098. [沃佳, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾鱼类群落优势种组成的时空变化[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 1091-1098.]
- [16] Chen G B, Li Y Z, Chen P M, et al. Optimum interval class size of length-frequency analysis of fish[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(4): 659-666. [陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(4): 659-666.]

- [17] Pauly D. Theory and management of tropical multi species stocks: a review, with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries[J]. Working Papers, 1979, 26(5): 22-29.
- [18] Pauly D, Munro J L. Once more on the comparison of growth in fishes and invertebrates[J]. Fishbyte, 1984, 2: 21-22.
- [19] 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.
- [20] Froese R, Binohlan C. 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[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 56(4): 758-773.
- [21] Branstetter S. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern gulf of Mexico[J]. Copeia, 1987, 1987(4): 964-974.
- [22] Beverton R J H, Holt S J. A review of the lifespans and mortality rates of fishes in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics[M]//CIBA Foundation Symposium-The Lifespan of Animals (Colloquia on Ageing). Wiley Online Library, 1959, 5: 142-180.
- [23] Xiong F, Liu S P, Duan X B, et al. Age and growth of *Cyprinus carpio* L. in Poyang Lake[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 30(4): 66-70. [熊飞, 刘绍平, 段辛斌, 等. 鄱阳湖鲤的年龄与生长特征[J]. 水生态学杂志, 2009, 30(4): 66-70.]
- [24] Zhu Q G, Wu Z Q, Liu H Z. Age and growth characteristics of *Carassius auratus* in poyang lake[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2010(4): 25-29. [朱其广, 吴志强, 刘焕章. 鄱阳湖鲫的年龄与生长特征[J]. 江西水产科技, 2010(4): 25-29.]
- [25] Xu D P, Zhang M Y, Zhou Y F, et al. Growth characteristics and morphological features of *Pseudobrama simoni* in Changshu section of Yangtze River[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(4): 397-402. [徐东坡, 张敏莹, 周彦锋, 等. 长江常熟江段似鲃的生长特征及形态特性[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(4): 397-402.]
- [26] Xiao T Y, Sheng L Z, Su J M, et al. Study on morphology, growth and reproduction of *Pelteobagrus vachelli*[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2002, 28(4): 333-336. [肖调义, 盛玲芝, 苏建明, 等. 洞庭湖瓦氏黄颡鱼的形态与生长及繁殖特性[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 28(4): 333-336.]
- [27] Wang T, Huang D, Zhao Y, et al. Age, growth and mortality of invasive sharpbelly, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855) in Erhai Lake, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1279-1285.
- [28] Wang H S, Shen J Z, Li X, et al. A study of the age, growth and mortality of *Squalidus argentatus* in Tian-e-zhou Oxbow of Yangtze River[J]. Journal of Hydroecology, 2013, 34(2): 7-13. [王海生, 沈建忠, 李霄, 等. 长江天鹅洲故道银鲴的年龄、生长和死亡率研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(2): 7-13.]
- [29] Zhang Y S. The growth of the carp, *Cyprinus carpio*, at Tongguan region and after the filling of the Sanmenxia reservoir[J]. Acta Zoologica Sinica, 1965, 17(1): 38-47. [张玉书. 三门峡水库潼关地区蓄水前后鲤鱼的生长[J]. 动物学报, 1965, 17(1): 38-47.]
- [30] Niu Y J, Ren D Q, Chen S A, et al. Growth Characteristics of *Gymnodiptychus dybowskii* Kessler in Three Tributaries of the Ili River in Xinjiang, China[J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(6): 59-65. [牛玉娟, 任道全, 陈生熬, 等. 伊犁河三支流新疆裸重唇鱼的生长特性研究[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(6): 59-65.]
- [31] Chen D Q, Liu S P, Duan X B, et al. A preliminary study of the fisheries biology of main commercial fishes in the middle and upper reaches of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 618-622. [陈大庆, 刘绍平, 段辛斌, 等. 长江中上游主要经济鱼类的渔业生物学特征[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 618-622.]
- [32] Pauly D. A review of the ELEFAN system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates[C]//Proceedings of ICLARM Conference on Length-Based Methods in Fisheries Research, Manila, 1987: 7-34.
- [33] Gulland J A. Fish Stock Assessment: A Manual of Basic Methods[M]. New York: FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, 1971: 1223.
- [34] Mehanna S F. Stock assessment and management of the Egyptian sole *Solea aegyptiaca* chabanaud, 1927 (Osteichthyes: Soleidae), in the Southeastern Mediterranean, Egypt[J]. Turkish Journal of Zoology, 2007, 31(4): 379-388.

Assessment of the growth of eight dominant fish species and their resource development in important tributaries of the Three Gorges Reservoir area

XIE Chongyou, HU Zuocan, CAI Ruiyu, PU Deyong, FENG Xingwu, PENG Zuogang, WANG Zhijian

Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education; Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Accurate understanding of the changes in fish resources and growth characteristic in important tributaries in the Three Gorges Reservoir can provide a scientific basis for fishery management and resource conservation in the region. This study was based on fishery information collected in 36 important tributaries of the Three Gorges Reservoir area in November and December 2015 and May, June, and September 2016. The growth and development status of eight species of dominant fish was evaluated using the FiSAT II software developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). These species were *Cyprinus carpio*, *Pseudobagrus vachellii*, *Carassius auratus*, *Saurogobio dabryi*, *Pseudobagrus nitidus*, *Hemiculter leucisculus*, *Squalidus argentatus*, and *Pseudobrama simoni*. The growth and death parameters were estimated using the body length frequency distribution method (ELEFAN I), and the resource change trend was evaluated according to the Beverton-Holt model. The results showed the following. The body length and body weight of the eight species of fish were in a power function, and the growth index (b) was between 2.74 and 3.11, which is an approximate constant velocity growth. The growth coefficient (K) values of the eight species of fish were all greater than 0.2, which indicated a rapid growth type. The growth performance index (ϕ') was between 2.83 and 5.25, *Cyprinus carpio* was the highest at 5.25, and *Squalidus argentatus* was the lowest at only 2.83. The development rates of *Pseudobrama simoni* (0.2) and *Carassius auratus* (0.4) were less than 0.5 and less than $E_{\max}$; the development rates of the remaining six species were 0.5 and above. The length of the opening of *Cyprinus carpio*, *Pseudobagrus vachellii*, *Saurogobio dabryi*, *Pseudobagrus nitidus*, *Hemiculter leucisculus*, and *Squalidus argentatus* should be controlled at 289 mm, 253 mm, 134 mm, 102 mm, 71 mm, and 52 mm, respectively, and fish resources can be effectively restored. From these results, we can conclude that the development of important tributary fish resources in the Three Gorges reservoir area was excessive. The growth rate of omnivorous and carnivorous fish was increasing, but the benthic food fish were decreasing. We conclude that the upper reaches of the Yangtze River should focus on the protection of endemic species and the maintenance of biodiversity. Key waters should be forbidden from fishing throughout the year, so aquatic organisms can play out their ecological roles and improve the stability of the Yangtze River aquatic ecosystem.

Key words: upper Yangtze River; tributary of the Three Gorges Reservoir; catch; growth; resource development

Corresponding author: WANG Zhijian, E-mail: wangzj1969@126.com; PENG Zuogang, E-mail: pzg@swu.edu.cn