

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18144

长江中游宜昌—荆州江段鲢种群年龄结构和生长特征

潘文杰^{1,2}, 高雷¹, 杨浩^{1,3}, 刘绍平¹, 陈大庆¹, 段辛斌¹, 郑永华²

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;

2. 西南大学动物科技学院, 重庆 400715;

3. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070

摘要: 鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)是长江重要经济鱼类之一, 长江中游是其重要栖息地。为研究其种群现状, 2016—2017 年对长江宜昌—荆州江段鲢开展了周年调查, 共采集鲢样品 470 尾。结果显示, 鲢的年龄范围为 1~7 龄, 体长范围为 18.2~93.8 cm, 优势年龄组为 3~5 龄(72.7%), 优势体长组为 40~70 cm (77.2%); 体长和体重关系式为 $W=4.0413 \times 10^{-5} L^{2.7546}$ ($R^2=0.9297$, $n=470$), 为非匀速生长类型; von Bertalanffy 生长方程为: $L_t=104.7[1-e^{-0.1603(t+0.89)}]$, $W_t=14.81[1-e^{-0.1603(t+0.89)}]^{2.7546}$; 生长参数为 $\phi=3.2448$, $L_\infty=104.7$ cm, $W_\infty=14.81$ kg; 鲢生长拐点为 5.43 龄, 拐点体长和体重为 $L_p=66.6827$ cm, $W_p=4.2753$ kg。本研究表明长江中游鲢种群年龄结构得到了一定恢复, 但生长性能出现衰退, 建议加强鲢的种群及其栖息地的保护。

关键词: 长江中游; 鲢; 种群结构; 生长特性

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)02-0362-09

种群年龄结构和生长受遗传和环境共同影响, 不同环境条件下物种会形成特有的生长规律^[1]。种群年龄结构是研究鱼类个体生物学和种群动态的基础依据之一^[2], 可为渔业资源评估和可持续利用提供基础。对种群生长的研究有助于了解复杂的环境条件作用下鱼类的生长式型, 从而有可能在生产实践中予以利用^[3]。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)是中国重要的经济鱼类之一^[4], 长江中游宜昌至荆州江段是鲢重要的栖息地^[5-6]。20 世纪末, 由于过度捕捞、水域污染和大型水利工程建设等因素的影响, 长江鲢种群出现生长性能衰退、资源量衰减现象^[7-10]。为修复其资源, 相关部门在长江中游开展了鲢的增殖放流活动, 同时针对其繁殖水文需求进行了试验性生态调度, 并实施了“禁渔期”制度^[9]。

目前, 对鲢种群年龄结构和生长的研究在长

江上游^[10]、支流^[11]、长江故道^[12-13]及水库^[14]已有报道, 这些研究表明长江鲢种群结构逐渐简单化, 生长性能逐年减弱。然而, 近年来对长江中游干流水域鲢种群相关的研究资料较少。本研究于 2016—2017 年在宜昌—荆州江段鲢开展了周年调查, 研究了长江中游鲢种群年龄结构和生长特性, 以期了解“禁渔期”、增殖放流及生态调度等修复措施实施后鲢的种群现状, 为长江鲢资源的修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2016 年 7 月至 2017 年 8 月在长江宜昌—荆州江段进行季节性渔业资源调查(采样时间分布在 2016 年 7 至 10 月、12 月, 以及 2017 年 3 月、6 月、7 月和 8 月, 共 9 次采样调查), 利用流

收稿日期: 2018-04-20; 修订日期: 2018-06-22.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900902); 国家自然科学基金项目(51579247, 31602161); 农业部财政项目.

作者简介: 潘文杰(1992-), 硕士研究生, 研究方向为渔业资源与环境. E-mail: swuwenjie@126.com

高雷为共同第一作者.

通信作者: 段辛斌, 研究员, 研究方向为渔业资源与环境. E-mail: duan@yfi.ac.cn

刺网(网目 3~6 cm)和搬罾网采集到鲢 470 尾。测量其体长、全长(精确至 0.1 cm)和体重(精确至 0.01 kg), 采集背鳍后下方至侧线上方之间的完好鳞片 10~20 枚, 用鳞片袋保存作为年龄鉴定材料。

1.2 方法

1.2.1 鳞片测量及年龄鉴定方法 将鳞片用 4% 的 KOH 溶液中浸泡数分钟, 用牙刷清除表面黏液和结缔组织, 用清水洗净, 吸干水分后用载玻片装片, 贴上标签在干燥环境下保存。在 OLYMPUS-SZX16 解剖镜下观察年轮特征及鉴定年龄。通过多次鉴定确定年龄, 然后对鳞径、轮径进行测量和拍照。鳞径的测量选取鳞焦向后测区环片呈切割处引出生长轴线, 轮径的测量选取鳞焦到第一年轮的格数(r_1)、鳞焦到第二年轮的格数(r_2), 依次到边缘的格数^[9]。在记录年龄中用“1⁺, 2⁺, 3⁺, …”表示在实足年龄的基础上又生长了一段时间。

1.2.2 计算及分析方法 数据分析采用 Microsoft Excel 软件, 方程拟合、作图及显著性检验等采用 Origin 8.0 软件。相关计算方法依照文献[15-18]。

(1) 体长和体重的相关关系

体长和其相对应的体重之间关系式采用幂函数进行拟合:

$$W = aL^b$$

其中, W 表示体重(kg), L 表示体长(cm), a 为常数, b 是幂指数。方程中指数 b 值反映了鱼类的生长情况, 当 $b=3$ 时, 体长和体重的生长为等速生长, 当 $b \neq 3$ 时, 为异速生长。

用 t 检验比较 b 值是否与 3 之间有显著性的差异。 t 值计算方法如下:

$$t = \frac{SD(L)}{SD(W)} \times \frac{|b-3|}{\sqrt{1-r^2}} \times \sqrt{n-2}$$

其中, $SD(L)$ 、 $SD(W)$ 分别表示体长、体重对数值的标准差, n 、 r 分别为标本数和相关系数。

(2) 体长和鳞径的相关关系

体长和鳞径的关系采用 Rosa Lee 方程进行拟合, 并对样本的体长进行推算:

$$L = a + bR$$

(3) 生长指数

绝对生长(g), 单位时间内鱼体体长和体重生长的绝对值;

相对生长率(ω), 单位时间内鱼体体长和体

重的绝对值和这段时间开始时鱼体体长和体重之比;

瞬时生长率(η), 单位时间内鱼体体长和体重的自然对数的增长值;

生长常数(C_{vt}), 用来划分鱼类的生长阶段, 通常和鱼类生活史的性成熟前、性成熟和衰老期相吻合;

生长指标(C_{lt}), 不仅可以用来划分鱼类的生长阶段, 还可以用来比较鱼类的生长速率。

$$C_{vt} = (\lg l_2 - \lg l_1) / 0.4343(t_2 - t_1)(t_2 + t_1)/2$$

$$C_{lt} = (\lg l_2 - \lg l_1) / 0.4343(t_2 - t_1)l_1$$

(4) 生长方程(VBGF 方程)和生长特征指数

采用 von Bertalanffy 生长方程对鲢的生长特性进行描述:

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

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

其中, L_t 、 W_t 分别表示 t 龄时的体长和体重, L_∞ 、 W_∞ 表示渐近体长和体重, t_0 表示理论生长起点年龄, k 是生长系数, b 是异速生长指数。

生长特征指数(ϕ)计算如下:

$$\phi = \lg(k) + 2\lg(L_\infty)$$

(5) 生长速度、加速度和生长拐点

将生长方程求一阶和二阶求导分别得到生长速度方程和生长加速度方程。生长拐点年龄是通过 $d^2W/dt^2 = 0$ 得出, 即 $t_i = \ln b / k + t_0$ 。

2 结果与分析

2.1 种群结构

在长江宜昌—荆州江段采集到鲢 470 尾, 体长范围为 27.7~93.8 cm, 体长为(54.4±12.9) cm, 体重范围为 0.36~11.28 kg, 体重为(2.81±1.76) kg。体长分布在 40.0~70.0 cm 范围内的样本最多, 占样本总数 77.23%; 体重分布在 1.00~4.00 kg 范围内的样本最多, 占样本总数 68.09%。结果如图 1、图 2 所示。

渔获物年龄组成为 1~7 龄, 优势年龄组为 3 龄、4 龄和 5 龄, 各龄的样本占比分别为 21.48%、27.73% 和 23.44%。优势组的平均体长分别为 (46.6±5.9) cm、(55.1±4.2) cm 和 (62.4±4.0) cm, 平均体重为 (1.66±0.68) kg、(2.64±0.68) kg 和 (3.60±0.84) kg (表 1)。

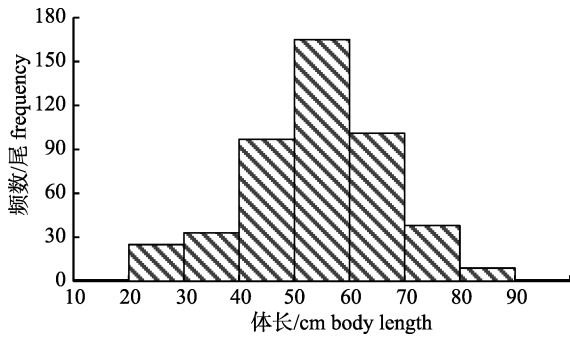


图 1 长江宜昌—荆州江段鲢的体长分布

Fig. 1 Body length composition of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

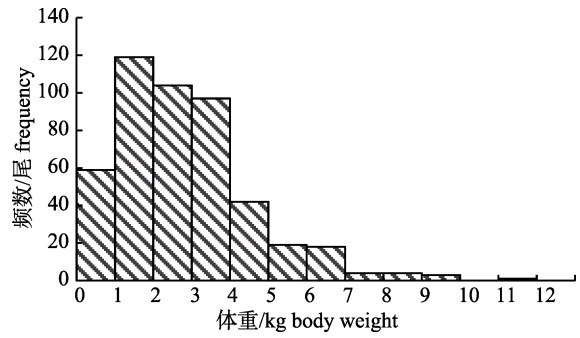


图 2 长江宜昌—荆州江段鲢的体重分布

Fig. 2 Body weight composition of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

表 1 长江宜昌—荆州江段鲢的各年龄组体长和体重

Tab. 1 Body length and body weight from different age groups of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

年龄 age of year	体长/cm body length	范围/cm range	体重/kg body weight	范围/kg range	数量百分比/% quantity number
0+	28.8±1.6	27.7–29.9	0.40±0.06	0.36–0.44	0.78
1+	44.2±4.6	35.2–50.0	1.34±0.43	0.61–1.99	12.11
2+	46.6±5.9	37.0–59.1	1.66±0.68	0.77–3.28	21.48
3+	55.1±4.2	43.5–61.5	2.64±0.68	1.04–3.96	27.73
4+	62.4±4.1	53.0–71.0	3.60±0.84	1.33–5.90	23.44
5+	68.3±4.9	63.0–77.3	4.80±1.10	2.74–6.50	7.81
6+	76.6±7.0	70.4–93.8	6.49±2.15	3.83–11.28	6.64

2.2 体长、体重与鳞径关系

长江宜昌—荆州江段鲢的体长(L)和体重(W)所拟合的体长和体重关系式为： $W=4.0413 \times 10^{-5} L^{2.7546}$ ($R^2=0.9297, n=470$)。用 t 检验体长和体重回归方程的幂指数 b 与 3 之间的差异性，结果为差异极显著，表明该江段的鲢种群为异速生长(图 3)。

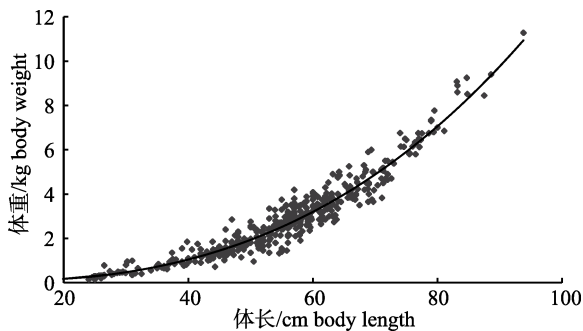


图 3 长江宜昌—荆州江段鲢体长与体重的关系

Fig. 3 Relationship between length and weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

体长(L)和鳞径(R)的散点图拟合的线性函数关系式为： $L=15.654R+10.889$ ($R^2=0.8283, n=256$) (图 4)。

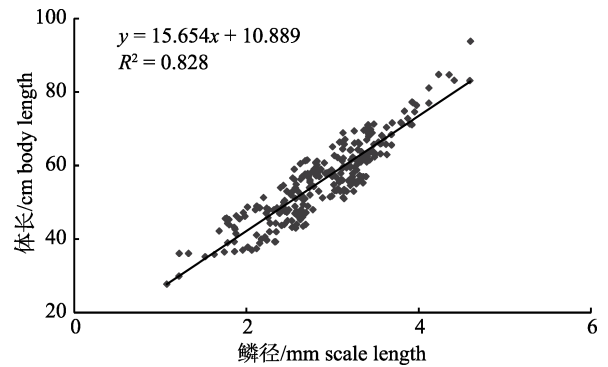


图 4 长江宜昌—荆州江段鲢体长和鳞径的关系

Fig. 4 Relationship between length and scale length of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

2.3 体长推算和生长指标

鲢的各年龄组体长推算结果(表 2)显示，由于实测体长是鲢在生长到实足年龄后测量，其实测

体长超过了推算体长。

根据鲢的生长率和生长指标可以将其生长过程分为 2 个阶段: (1) 1~3 龄鱼的体长和体重相对增长率, 和生长指标明显大于 3 龄以后的鱼, 此

时体长和体重大幅度增长, 属于幼鱼增长阶段;

(2) 4~6 龄鱼体长和体重增长率相对稳定, 生长指标变化不明显, 此阶段能量主要用于性腺发育和成熟; 衰老期样本未采集到(表 3)。

表 2 长江宜昌—荆州江段鲢的实测体长和推算体长
Tab. 2 Observed body length and back calculated body length of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

年龄 age of year	实测体长/cm observed body length	推算体长/cm back calculated body length						样本数 sample number
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1+	44.2	29.15						31
2+	46.6	29.22	41.29					55
3+	55.1	29.92	40.80	51.09				71
4+	62.4	29.82	40.56	50.32	56.22			60
5+	68.3	29.34	41.51	50.81	56.82	61.73		20
6+	76.6	29.08	40.25	50.92	56.61	60.94	64.80	17
加权平均值 weighted average		29.42	40.88	50.79	56.55	61.34	64.80	

表 3 长江宜昌—荆州江段鲢体长和体重生长指数
Tab. 3 Growth measurement of body length and body weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

年龄 age of year	推算体长/cm back calculated body length	体长			推算体重/kg back calculated body weight	体重			生长常数 growth constant	生长指标 index of growth
		年增长/cm observed body length	瞬时生长率/% instantaneous growth rate	相对生长率/% relative growth rate		年增长/kg observed body weight	瞬时生长率/% instantaneous growth rate	相对生长率/% relative growth rate		
1	29.42	-	-	-	0.45	-	-	-	-	-
2	40.88	11.46	32.90	38.96	1.11	0.66	90.62	147.49	0.49	9.68
3	50.79	9.90	21.69	24.23	2.02	0.91	59.76	81.77	0.54	8.87
4	56.55	5.77	10.76	11.36	2.72	0.70	29.64	34.49	0.38	5.46
5	61.34	4.78	8.12	8.45	3.40	0.68	22.35	25.05	0.37	4.59
6	64.80	3.47	5.50	5.65	3.95	0.56	15.14	16.35	0.30	3.37

2.4 生长方程和生长参数

长江宜昌—荆州江段的鲢为异速生长, 故可用过渡的 Von Bertalanffy 生长方程对其体长和体重进行描述。通过最小二乘法 and 生长性能指数方程求得 $L_{\infty} = 104.7$ cm、 $k = 0.1603$ 、 $t_0 = -0.89$, 由体长和体重关系式求出 $w_{\infty} = 14.81$ kg。生长特征指数 $\phi = 3.2448$ 。将上述参数代入 V-B 生长方程, 得到结果如下:

$$L_t = 104.7[1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]$$

$$W_t = 14.81[1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]^{2.7546}$$

根据方程求出各年龄组鱼的理论体长和体重, 并描出体长和体重的生长曲线(图 5)。鲢的体长生

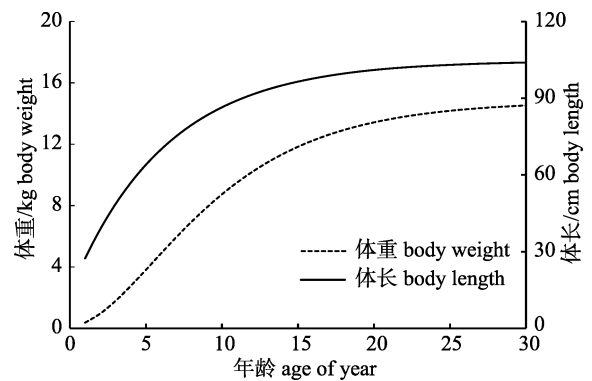


图 5 长江宜昌—荆州江段鲢体长生长和体重生长的生长方程曲线

Fig. 5 Growth curve of body length and weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

长与年龄呈非线性关系，曲线为一条不具拐点的渐近线，生长速度逐渐减慢，最后趋近与一个值；体重生长曲线是一条具有拐点的 S 形渐近曲线。

2.5 生长速度、加速度和生长拐点

通过生长速度和加速度对鲢的生长过程变化特征进行描述，结果如下：

$$\text{体长速度: } dL/dt = 16.7819e^{-0.1603(t+0.89)}$$

$$\text{体长加速度: } d^2L/dt^2 = -2.6899e^{-0.1603(t+0.89)}$$

体重速度：

$$dw/dt = 6.5408e^{-0.1603(t+0.89)} \times [1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]^{1.7546}$$

体重加速度：

$$d^2w/dt^2 = 1.0494e^{-0.1603(t+0.89)} \times [1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]^{0.7546} \times [2.7546e^{-0.1603(t+0.89)} - 1]$$

体长的生长速度和加速度不具生长拐点，生长速度曲线逐渐下降趋近于 0，生长加速度始终小于 0，表明体长生长速度随着年龄的增加而下降(图 6)。体重生长速度和加速度曲线都具有 1 个生长拐点，拐点年龄为 $t_p = 5.43$ ，推算的拐点体长为 $L_p = 66.6872$ ，拐点体重为 $W_p = 4.2753$ (图 7)。在体重生长拐点前，生长速度逐渐升高，此阶段为快速生长期；拐点年龄后，生长速度逐渐下降，体重增长减慢，生长进入缓慢期；在 10 龄后，体重生长加速度下降至最低点，开始缓慢上升，均为负值，表明为衰老期。此后体长和体重生长趋近于渐近值。

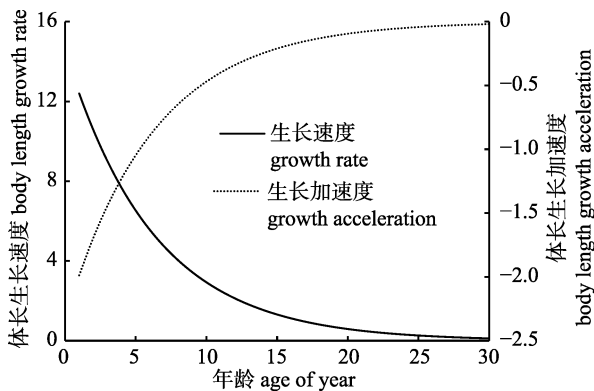


图 6 长江宜昌—荆州江段鲢体长的生长率曲线
Fig. 6 Growth rate and growth acceleration of body length of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

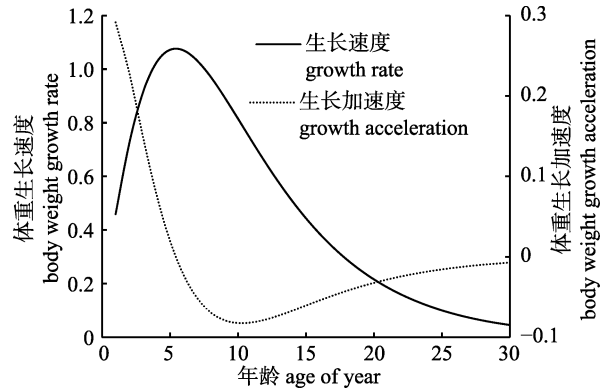


图 7 长江宜昌—荆州江段鲢体重的生长率曲线
Fig. 7 Growth rate and growth acceleration of weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in Yichang to Jingzhou section of the Yangtze River

3 讨论

3.1 鲢年龄结构特征

年龄鉴定是分析和评价鱼类种群数量变动趋势的基础依据之一，理论上不断繁殖的种群趋向于稳定的年龄分布，即出生率和死亡率不变时，每一个年龄组的个体数和比例会保持稳定^[15]。受外界环境因素的干扰后，种群的年龄分布会发生变动，因此年龄结构的变化可用于分析鱼类种群变动的趋势。1981—2003 年期间，鲢年龄结构由 1~7 龄逐渐简化为 1~3 龄，优势年龄组也由 3~4 龄衰退至 2 龄^[7-8, 12, 19](表 4)。在本次调查中，鲢种群的年龄结构呈现复杂化的趋势，与 1981 年的调查结果较为接近。表明外界的影响趋于减缓，种群的年龄结构得到了一定恢复，这可能与“禁渔期”、增殖放流及生态调度等保护性措施的实施有关。

种群数量变动是种群补充程度和减少强度对比关系变化的结果，鱼类生物学特征、生活环境因素的制约和人为捕捞因素等，均会影响种群数量的变动^[16]。李思发等^[20]的研究结果表明长江干流中的鲢性成熟年龄一般为 4 龄。在本研究中，鲢的性成熟年龄为 5.43 龄以上，且该阶段的种群数量占比较低。表明长江宜昌—荆州江段中的鲢繁殖年龄出现推迟，从而导致种群补充程度的降低。同时，处于性腺发育阶段的种群数量占比较低，说明了种群减少强度相对较大。繁殖年龄的

表 4 鲢的年龄结构
Tab. 4 Age structure of *Hypophthalmichthys molitrix*

年份 year	地点 site	年龄比例/% proportion of age of year							文献 literature
		1	2	3	4	5	6	7	
1981	长江干流 Yangtze River mainstream	-	-	33.3	44.4	18.5	0	3.7	[7]
1991—1992	天鹅洲 Swan Islet	66.57	30.60	1.49	1.19	0.15	-	-	[12]
1994—1999	长江中游 middle Yangtze River	24.24	51.52	16.16	3.01	5.05	-	-	[19]
2001—2003	荆州 Jingzhou	15.38	61.54	23.08	-	-	-	-	[8]
2016—2017	宜昌—荆州 Yichang to Jingzhou	0.78	12.11	21.48	27.73	23.44	7.81	6.64	本研究 this study

推迟与生活环境因素的制约有着一定联系,且 K 生活史类型的鱼类资源受过度捕捞的影响较大,多方面的因素导致了补充群体数量的下降和高龄鱼减少强度的增加,最终可能导致资源量的减少。

3.2 鲢的生长特性

鱼类的生长式型是遗传和复杂的环境条件相互作用的结果,生长是保证物种和环境统一的适应性属性之一^[15]。关于不同年龄组鲢的体长数据,在其他研究中均表现为长江中游干流江段^[21]优于长江上游^[10]、故道(天鹅洲^[12-13])、一级支流汉江^[11]以及水库^[14]。这与本研究结果一致,表明长江中游江段鲢的生长性能与其他水域相比仍具有优势(表 5)。

长江中游鲢的体长比较结果显示,20 世纪 50 年代至 80 年代同年龄组鲢的体长呈现增大趋势,80 年代后呈现减小趋势。关于鱼类的小型化原因有两种观点,一种是捕捞胁迫学说,在较大的捕

捞压力下,生长基因发生选择性变化;另一种是环境胁迫学说,环境破坏和涉水工程的建设导致了环境的变化^[22]。(表 5)。

鱼类不同物种、种群都可能表现出不同的生长式型^[15]。在李思发等^[5]、陈大庆等^[23]和熊飞等^[10]的研究中(表 6),鲢生长拐点的范围是 5.0~5.8 龄,渐近体长的范围是 103.0~105.0 cm,与本研究结果无明显差异;*b* 值的范围是 2.9800~3.0510,理论生长起点范围是-0.487~0.0316,渐近体重范围是 19.865~24.127 kg,体重生长拐点范围是 6.198~7.187 kg,与本研究结果有一定差异。原因可能是在其他的研究中鲢种群接近匀速生长,而本研究江段中的鲢为异速生长,生长特征指数 ϕ 综合了 L_{∞} 和 k 的效应,可对不同地理种群的生长性能进行较为全面的描述^[12]。随着时间的变化,长江干流中鲢的生长特征指数逐渐降低,表明长江鲢的种群生长性能逐渐衰退。

表 5 鲢的实测体长
Tab. 5 Observed body length of *Hypophthalmichthys molitrix*

年份 year	地点 site	标本数/尾 sample number	不同年龄实测体长/cm observed body length of different ages of years							文献 literature
			1	2	3	4	5	6	7	
1959	宜昌 Yichang		30.0	47.6	63.3	73.9	80.4	-	-	[21]
1963	湖口 Hukou		31.0	48.5	60.1	66.3	73.0	-	-	[21]
1976—1977	汉江 Hanjiang	57	28.1	34.1	48	59.9	-	-	-	[11]
1989—1991	碧流河水库 Biliuhe Reservoir	1418	32.0	39.4	46.7	52.0	55.5	57.2	59.4	[14]
1991—1992	天鹅洲 Swan Islet	670	25.8	35.2	44.1	52.6	62.4	-	-	[12]
1991—1993	天鹅洲 Swan Islet	144	28.0	34.2	44.7	53.8	-	-	-	[13]
2008—2010	江津 Jiangjin	149	16.0	27.7	42.0	50.7	61.4	71.2	-	[10]
2016—2017	宜昌—荆州 Yichang to Jingzhou	470	28.8	44.2	46.6	55.1	62.4	68.3	76.6	本研究 this study

表 6 鲢的不同种群生长参数
Tab. 6 Growth parameters of different populations of *Hypophthalmichthys molitrix*

时间 time	地点 site	k	t_0	t_p	b	L_∞/cm	W_∞/kg	W_p/kg	ϕ	文献 literature
	湖口 Hukou	0.2406	-0.0316	5.3	2.9800	105.0	24.005	7.088	3.35	[5]
1996—1999	长江中上流 upper and middle Yangtze River	0.2030	-0.4870	5.0	3.0510	103.0	24.127	7.187	3.33	[23]
2008—2010	长江上游 upper Yangtze River	0.1882	-0.2165	5.8	2.9925	103.7	19.865	6.198	3.31	[10]
2016—2017	宜昌—荆州 Yichang to Jingzhou	0.1603	-0.8900	5.4	2.7546	104.7	14.814	6.094	3.24	本研究 this study

4 小结

与 20 世纪 90 年代相比, 目前长江宜昌—荆州江段中鲢种群年龄结构得到了一定恢复, 但鲢的生长性能整体表现出衰退的趋势。渔业捕捞强度的增大, 导致了渔获物以低龄个体为主, 建议在长江中游非禁捕区中, 捕捞起始年龄应设定在 5 龄以上, 严格限制捕捞数量和规格大小, 并持续开展生态调度、增殖放流活动, 以促进长江鲢资源的恢复, 保护长江优良的种质资源。

参考文献:

- [1] Brett J R. 10 Environmental factors and growth[J]. Fish Physiology, 1979, 8: 599-675.
- [2] Li S L, Chen X J, Liu B L, et al. Morphological analysis on population structure of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest pacific ocean[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(3): 43-48. [李思亮, 陈新军, 刘必林, 等. 基于形态法的西北太平洋柔鱼种群结构研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(3): 43-48.]
- [3] LI W J. Research on the biology and ecology of *Megalobrama pellegrini*, an endemic fish of the upper Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [李文静. 厚颌鲂的个体生物学和种群生态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.]
- [4] Li S F, Zhou B Y, Ni C K, et al. Morphological variations of silver carp, bighead and grass carp from Changjiang, Zhujiang and Heilongjiang Rivers[J]. Acta Zoologica Sinica, 1989, 35(4): 390-398. [李思发, 周碧云, 倪重匡, 等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙和草鱼原种种群形态差异[J]. 动物学报, 1989, 35(4): 390-398.]
- [5] Li S F, Wu L Z, Wang Q, et al. Morphological Variations of Silver Carp, Bighead and Grass Carp from Changjiang, Zhujiang and Heilongjiang Rivers[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1990: 28-39. [李思发, 吴力钊, 王强, 等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙、草鱼种质资源研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 28-39.]
- [6] Liu J K, He B W. China Fresh Water Fish Culture[M]. Beijing: Science Press, 1973. [刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 1973.]
- [7] Survey Team of Spawning Grounds of Domestic Fishes in Changjiang River. A survey on the spawning grounds of the "four famous Chinese carps" in the Changjiang River after dammed by the key water control project at Gezhouba[J]. Journal of Fisheries of China, 1982, 6(4): 287-305. [长江四大家鱼产卵调查队. 葛洲坝水利枢纽工程截流后长江四大家鱼产卵场调查[J]. 水产学报, 1982, 6(4): 287-305.]
- [8] Liu S P, Duan X B, Chen D Q, et al. Studies on status of fishery resources in the middle reach of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(6): 708-711. [刘绍平, 段辛斌, 陈大庆, 等. 长江中游渔业资源现状研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(6): 708-711.]
- [9] Cao W X. China's freshwater fish and conservation problems[J]. Freshwater Fisheries, 2005(z1): 172. [曹文宣. 中国的淡水鱼类与资源保护问题[J]. 淡水渔业, 2005(z1): 172.]
- [10] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Age and growth of *Hypophthalmichthys molitrix* in Jiangjin of the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2013, 35(3): 28-35. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津江段鲢种群的年龄和生长特征[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(3): 28-35.]
- [11] Yu Z T, Deng Z L, Xu Y G, et al. Study the fish resources of Hanjiang on building hydro-junction in Danjiangkou[M]// Symposium of Fish (Ser. One). Beijing: Science Press, 1981: 125-132. [余志堂, 邓中彝, 许蕴珩, 等. 丹江口水利枢纽兴建以后的汉江鱼类资源[M]//鱼类学论文集(第一辑). 北京: 科学出版社, 1981: 125-132.]
- [12] Lv G Q, Li S F. Preliminary study on the population growth

- and dynamics of silver carp, bighead, grass carp and black carp in Swan Oxbow of Changjiang River[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 1993, 2(1): 6-16. [吕国庆, 李思发. 长江天鹅洲故道鲢、鳙、草鱼和青鱼种群特征与数量变动的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 1993, 2(1): 6-16.]
- [13] Li S F, Lv G Q. Feasibility studies on genetic conservation of Chinese carps in Swan Oxbow of the Changjiang River[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(3): 193-202. [李思发, 吕国庆. 长江天鹅洲故道“四大家鱼”种质资源天然生态库建库可行性研究[J]. 水产学报, 1995, 19(3): 193-202.]
- [14] Jiang Z Q, Qin K J, Yang S W, et al. The age, growth and resources of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) in Biliuhe Reservoir[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1994, 9(3): 8-14. [姜志强, 秦克静, 杨树葳, 等. 碧流河水库鲢、鳙的年龄、生长和资源量的研究[J]. 大连水产大学学报, 1994, 9(3): 8-14.]
- [15] Yin M C. Fishery Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [16] Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [17] Skud B E. Book review: Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. ICLARM Studies and Reviews 8. Daniel Pauly[J]. Working Papers, 1986, 258, 18(18): 2533-2537.
- [18] Pauly D, Moreau J, Prein M. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture[C]// The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, ICLARM Conference Proceedings 15, 1988: 469-479.
- [19] Liu S P, Chen D Q, Duan X B, et al. Monitoring of the four famous Chinese carps resources in the middle and upper reaches of the yangtze river[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(2): 183-186. [刘绍平, 陈大庆, 段辛斌, 等. 长江中上游四大家鱼资源监测与渔业管理[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 183-186.]
- [20] Li S F, Wang R X. Maturity speed and genetic analysis of silver carp and bighead form Changjiang and Zhujiang River Systema[J]. Journal of Fisheries of China, 1990, 14(3): 189-197. [李思发, 王瑞霞. 长江、珠江水系鲢、鳙的性成熟速度及其遗传分析[J]. 水产学报, 1990, 14(3): 189-197.]
- [21] Fish Laboratory of Aquatic Institute in Hubei. Yangtze River Fishes[M]. Beijing: Science Press, 1976. [湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1976.]
- [22] Liang Z L, Sun P, Tang Y L, et al. Prime culprit for miniaturization and early sexual maturity: Fishing? Environment?[C]// Annual Meeting of the China Society of Fisheries, 2009. [梁振林, 孙鹏, 唐衍力, 等. 鱼类小型化、性早熟的元凶: 捕捞? 环境?[C]// 中国水产学会学术年会, 2009.]
- [23] 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.]

Studies on population structure and growth characteristics of *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang to Jingzhou section of the middle branch of the Yangtze River

PAN Wenjie^{1,2}, GAO Lei¹, YANG Hao^{1,3}, LIU Shaoping¹, CHEN Daqing¹, DUAN Xinbin¹, ZHENG Yonghua²

1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: *Hypophthalmichthys molitrix* is one of the important commercial fish in the Yangtze River, and the section between Yichang and Jingzhou is an important spawning ground and habitat of *H. molitrix*. In order to study its population status in this area, 470 samples were collected from the annual survey of *H. molitrix* carried out from 2016 to 2017. The population of *H. molitrix* has a relatively complex age structure, which contains 7 age classes ranging from 1 to 7. The preponderant age class was comprised of 3–5 year-old individuals, making up 72.7% of the total. Body-length range of the population was 18.2–93.8 cm, mainly between 40.0–70.0 cm (77.2%). The relation between body length and body weight was estimated as $W = 4.0413 \times 10^{-5} L^{2.7546}$ ($R^2 = 0.9297$, $n = 470$), for non-uniform motion pattern; Von Bertalanffy equations and the corresponding growth curves were calculated as $L_t = 104.7[1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]$, $W_t = 14.81[1 - e^{-0.1603(t+0.89)}]^{2.7546}$; growth parameters were estimated as $L_{\infty} = 66.6827$ cm, $W_{TP} = 4.2753$ kg growth inflection was 5.43 years, and inflection point length and inflection point weight were $L_{ip} = 66.6827$ cm and $W_{ip} = 4.2753$ kg, respectively. The results showed that the population structure of *H. molitrix* was complex, but the growth performance had declined. Conservation of the population and habitat of this species should be prioritized.

Key words: the middle reach of the Yangtze River; *Hypophthalmichthys molitrix*; population structure; growth characteristics

Corresponding author: DUAN Xinbin. E-mail: duan@yfi.ac.cn