



## 长江中游武汉江段铜鱼的年龄与生长

田波<sup>1,2</sup>, 吴金明<sup>2</sup>, 梁孟<sup>2</sup>, 杜浩<sup>2</sup>, 危起伟<sup>1,2\*</sup>

(1. 长江大学动物科学学院, 湖北荆州 434025;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北武汉 430223)

**摘要:** 为了解长江中游武汉江段铜鱼种群的年龄和生长特征, 2017年7月—2018年12月, 在武汉江段逐月收集了435尾铜鱼样本的基础生态学数据、年龄鉴定材料, 并进行数据分析和年龄鉴定。结果显示, 样本体长分布范围为152.1~325.2 mm, 平均体长(233.2±73.4)mm; 体质量分布范围为33.1~429.8, 平均体质量(182.40±85.4)g。样本年龄由1~5龄组成, 其中2龄和3龄组为优势组, 占总体的75.6%。雌雄性比例1:1.07, 与1:1相比没有显著性差异, 但在不同的体长组中差异显著, 其中雄性在小型个体中居多, 而雌性则在大型个体中占据优势。鳞片边缘增长率分析表明, 年轮形成周期为1年, 形成时间在一年中的7—9月, 与水温有关。总体(♀+♂)体长-体质量呈幂函数指数关系:  $W=7 \times 10^{-6} L^{3.11}$  ( $R^2=0.9633$ ), 属于匀速增长类型, 且雌雄之间无显著性差异; 种群体长-鳞片呈线性关系:  $L=52.983R+72.439$  ( $R^2=0.678$ )。总体(♀+♂)生长符合 von Bertalanffy 生长模型, 其体长生长方程:  $L_t=482.7 \{1-\exp[-0.22(t+0.25)]\}$ ; 体质量生长方程:  $W_t=1573.7 \{1-\exp[-0.22(t+0.25)]\}^{3.11}$ 。生长的拐点年龄为5.15龄, 对应的体长和体质量分别为335.6 mm和501.7 g。研究表明, 武汉江段铜鱼属于匀速生长类型; 种群年龄结构简单, 生长速率较慢, 需要采取相关保护措施。

**关键词:** 铜鱼; 年龄; 生长; 武汉江段; 长江

**中图分类号:** S 932.4

**文献标志码:** A

铜鱼 (*Coreius heterodon*) 隶属于鲤形目 (Cypriniformes)、鲤科 (Cyprinidae)、鮡亚科 (Gobiioninae)、铜鱼属 (*Coreius*), 主要分布在长江干流和各大支流中<sup>[1]</sup>。繁殖季节, 铜鱼性成熟个体游至上游急流中产卵, 鱼卵在漂向下游的过程中孵化, 属于典型的半洄游型鱼类<sup>[2]</sup>(图1)。水利工程修建导致洄游型鱼类的产卵场及栖息地面积缩小甚至消失<sup>[3]</sup>, 国外许多河流在水电站蓄水后, 出现洄游型鱼类种群灭绝的现象<sup>[4-6]</sup>。对铜鱼而言, 其产卵场主要分布在长江上游江段, 而近

几十年以来, 上游水电站阶梯开发, 比如早期的向家坝、溪洛渡、白鹤滩和乌东德等, 如今的金沙—银江水电站建设, 对其种群的生存和繁衍造成了巨大威胁。另外, 铜鱼味道鲜美, 具有较高的经济价值, 曾是重点捕捞对象。据资料统计, 2002—2007年, 葛洲坝坝下铜鱼的捕捞量由107 t增长到389 t, 增长72.4%<sup>[7]</sup>。20世纪70年代, 上游干流, 支流嘉陵江和汉江铜鱼渔获物比例分别可达50%、25.2%和16%<sup>[1,8-9]</sup>; 而到20世纪初, 上游干流仅占12.9%, 两条支流

收稿日期: 2019-09-26 修回日期: 2020-06-16

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2019 HY-JC0101)

第一作者: 田波(照片), 从事渔业资源研究, E-mail: tianbo191025@163.com;

吴金明, 从事渔业资源研究, E-mail: 172300399@qq.com

通信作者: 危起伟, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

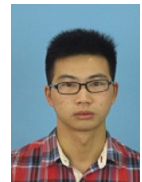




图1 铜鱼

Fig. 1 *C. heterodon*

中难觅踪迹<sup>[10-11]</sup>。

由于过度捕捞和水电站修建等因素,导致铜鱼的资源锐减,亟需开展相关的保护工作。通常采用人工增殖放流的方式对渔业资源进行补充和保护。铜鱼的人工养殖仅仅在养殖野生幼体上有一定的突破<sup>[12]</sup>,且存在存活率低、养殖模式单一等诸多问题<sup>[13]</sup>,说明铜鱼的人工养殖技术尚不成熟。野生铜鱼种群年龄、生长特征等信息,对其人工养殖等具有重要的参考价值,应引起重视。而目前对于铜鱼的研究工作主要集中在资源量评估<sup>[14-16]</sup>和遗传特征<sup>[17-20]</sup>上,关于铜鱼年龄生长的研究甚少,仅在长江上中游部分江段(江津、宜昌等江段)有少量报道<sup>[14, 21-22]</sup>,且不同江段生长差异极大,说明铜鱼的生长具有可变性。因此为得到铜鱼真实的生长信息,有必要对不同江段单独进行研究。

武汉江段系长江干流和支流汉江的汇合江段,水位较深,水生生物资源丰富,满足铜鱼育肥和越冬的条件,而在该江段关于铜鱼年龄生长等基础生态学研究却未见报道。本研究根据2017—2018年在武汉江段渔业资源调查期间逐月收集的铜鱼样本,研究了武汉江段铜鱼的年龄及生长特征,填补了该江段的研究空白,以期铜鱼的种质资源利用及保护提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集

2017年7月—2018年12月,在武汉江段利用三层流刺网(网目大小3~6 cm,网长300 m)逐月采样。铜鱼样本在新鲜状态下进行常规的生物学测量,包括体长( $L$ ,精确至0.1 mm)和体质量( $W$ ,精确至0.1 g)。随后进行生物学解剖,根据性腺形态判别雌雄,现场不能判别的样本,则提取性腺组织,采用波恩氏液固定,在实验室内进行组织切片观察。在采样期间,同时测量捕捞水域水温( $^{\circ}\text{C}$ ,精确至0.1 $^{\circ}\text{C}$ )。

### 1.2 鳞片提取及处理

每个样本取背鳍基部下、侧线上方2~3行的鳞片20~25枚,放入鳞片袋,标注样本编号、采样时间、体长和体质量等信息。将鳞片带回实验室,放入盛有温水的烧杯中搓洗,去除黏液等杂质。随后取环片清晰的鳞片10枚,夹在两块载玻片中间,用透明胶带封片。

### 1.3 年龄鉴定

将制备好的载玻片置于Nikon ZOOM645S体式显微镜下进行观察、拍照。利用Fish BC 3.0软件对照片进行鳞径( $R$ , mm)和轮径( $r$ , mm)的测量。根据环片形成情况判断年轮是否形成,若年轮数为 $n$ ,且年轮外侧没有新的环片形成,则将年龄计为 $n$ ;如果在鳞片外侧有新的环片出现,则将年龄计为 $n^+$ ;鳞片上年轮数与年龄关系采用常规方法记录,0 $^+$ ~1记为1龄鱼,1 $^+$ ~2记为2龄鱼,依此类推<sup>[23]</sup>。全部鳞片的年龄鉴定由2名观察者分别独立进行,若二者读数一致,则采用此结果;否则放弃该样本。

### 1.4 数据分析

用Excel 2019软件进行数据处理和作图,SPSS 22.0软件进行统计学分析。

体长-体质量关系采用Keys公式拟合:

$$W=aL^b$$

式中, $L$ 为实测体长(mm), $W$ 为实测体质量(g), $a$ 为生长条件因子, $b$ 为幂函数指数<sup>[24]</sup>。利用协方差分析(ANCOVA)检验体长-体质量关系是否存在性别差异。对体长-鳞径关系进行拟合后,逆算各龄的体长。采用 $t$ 检验,分析逆算体长与实测体长之间的差异性。

鳞片的边际增长率(marginal increment ratio, MIR)用来确定年轮形成的周期和时间,计算公式:

$$MIR=(R_n-r_n)(r_n-r_{n-1})^{-1}$$

式中, $R_n$ 表示鳞片的半径(mm); $r_n$ 表示从中心到外圈年轮的长度(mm), $r_{n-1}$ 表示从中心到次外圈年轮的长度(mm)<sup>[25]</sup>。

采用von Bertalanffy生长方程<sup>[26]</sup>定量描述铜鱼的生长。体长生长方程:

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

体质量生长方程:

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

式中, $\exp$ 表示以自然数 $e$ 为底的指数函数; $L_t$ 、

$W_t$  分别表示年龄为  $t$  时的预测体长 (mm) 和预测体质量 (g);  $L_\infty$ 、 $W_\infty$  分别表示渐近体长 (mm) 和渐近体质量 (g);  $k$  表示生长曲线的平均速率 ( $a^{-1}$ );  $t_0$  表示理论生长起点年龄;  $b$  为体长-体质量关系式中的幂函数指数。以上各生长参数由 Ford 方程和 Beverton 法估算<sup>[27]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 体长和体质量分布

调查期间, 共采集铜鱼样本 435 尾, 其中雌鱼 210 尾, 雄鱼 225 尾。种群样本体长分布范围 152~325 mm, 平均体长 (233.2±73.4) mm, 优势组体长为 171~290 mm, 占总体 93.3% (图 2)。种群样本体质量分布范围 33.1~429.8 g, 平均体质量 (182.40±85.4) g, 优势体质量 < 270 g, 占总体 89.2% (图 3)。

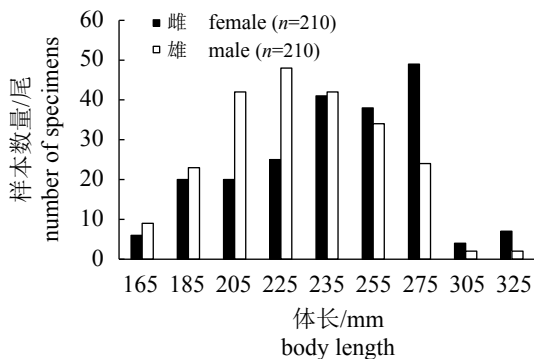


图 2 铜鱼体长的分布

Fig. 2 Distribution of body length for *C. heterodon*

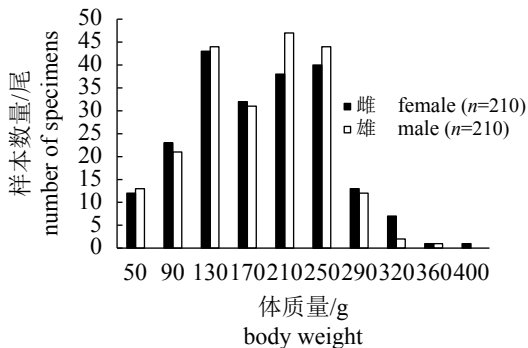


图 3 铜鱼体质量的分布

Fig. 3 Distribution of body weight for *C. heterodon*

### 2.2 年龄组成及性比

两名独立观察者对 435 尾样本的年龄鉴定结果一致, 年龄组成及个体分布见表 1。样本可

以分为 5 个年龄组, 由 1~5 龄组成, 其中 2 龄和 3 龄组为优势组, 占总体的 75.6%; 5 龄组最少, 仅占 1.12%。渔获物中雌雄比例为 1 : 1.07, 经卡方检验, 与 1 : 1 相比没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。但在不同的体长组中差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其中在 191~230 mm 体长组内, 雄性比例显著大于雌性; 在 271~330 mm 体长组中, 雌性比例显著大于雄性 (图 4)。

### 2.3 体长逆算

对体长-鳞径关系进行拟合, 发现线性关系拟合程度最高, 其数学关系表达式:

$$L(\text{♀}) = 56.672R + 67.686 \quad (n=210, R^2 = 0.740)$$

$$L(\text{♂}) = 51.701R + 67.276 \quad (n=225, R^2 = 0.672)$$

$$L(\text{群体}) = 52.983R + 72.439 \quad (n=435, R^2 = 0.678)$$

式中,  $L$  为实测体长 (mm),  $R$  为实测年龄材料轮径 (mm)。将各龄轮径代入以上关系式中, 得到各龄的逆算体长 (表 2)。经  $t$  检验, ♀、♂ 和总体 (♀+♂) 的实测体长与逆算体长之间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 可用来计算生长参数。

### 2.4 年轮形成周期和时间

各月份采集的样本数量、鳞片的  $MIR$  值和水温的逐月变化如图 5 所示, 因 4—6 月为禁渔期, 没有样本数据, 还有待验证。结果显示, 武汉江段的水温在 2 月最低, 在 7—8 月达到最高值。 $MIR$  值在 7 月最小, 为 0.24, 8—9 月分别上升至 0.32 和 0.45, 但仍偏低; 10 月—翌年 3 月,  $MIR$  值为 0.68~0.82, 处于较高位置。单因素方差分析表明,  $MIR$  值在不同月份之间存在显著性差异 ( $F=64.109, P < 0.05$ )。其中 7—9 月  $MIR$  值与其他月份  $MIR$  值之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 而其他各月份之间  $MIR$  值不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 因此基本可以判断年轮形成周期为 1 年, 形成时间为每年的 7—9 月。

### 2.5 体长和体质量的关系

对体长-体质量关系分别进行拟合:

$$W(\text{♀}) = 6 \times 10^{-6} L^{3.14} \quad (n=210, R^2 = 0.972)$$

$$W(\text{♂}) = 7 \times 10^{-6} L^{3.08} \quad (n=225, R^2 = 0.952)$$

$$W[\text{总体}(\text{♀}+\text{♂})] = 7 \times 10^{-6} L^{3.11} \quad (n=427, R^2 = 0.963)$$

经协方差检验, ♀ 和 ♂ 之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 可以合并为总体 (♀+♂) 计算。 $t$  检验显示, 幂函数指数  $b$  值 (3.11) 与匀速增长理论值 (3.00)

表 1 武汉江段铜鱼种群体长年龄数据

Tab. 1 Age and body length data for females and males of *C. heterodon* from Wuhan, Yangtze River, based on scale readings

项目 items	1龄 1 year		2龄 2 years		3龄 3 years		4龄 4 years		5龄 5 years		总计 total	
	雌 F	雄 M	雌 F	雄 M	雌 F	雄 M	雌 F	雄 M	雌 F	雄 M	雌 F	雄 M
	体长组距 body length range											
150~165 mm	2	2									2	2
166~180 mm	1	2	4	12							5	14
181~195 mm	4	2	11	21	2						17	23
196~210 mm			10	29	9	11					19	40
211~225 mm			20	11	10	39					30	50
226~240 mm			12		22	23	1	2			35	25
241~255 mm					20	26	2				22	26
256~270 mm					24	13	3	4			27	17
271~285 mm							15	7			15	7
286~300 mm							29	15		1	29	16
301~315 mm							7	3	1	1	8	4
316~330 mm									1	1	1	1
平均体长/mm mean length	179.8	194.6	220.8	209.3	246.2	249.3	293.6	297.8	315.3	311.5	250.2	259.7
标准差/mm SD	55.1	45.8	61.9	42.4	65.5	78.2	78.9	65.8	77.8	84.8	77.8	65.3
总计/尾 total	7	6	57	73	87	112	57	31	2	3	210	225
百分比/% percentage	1.6	1.4	13.1	16.8	20.0	25.7	13.1	7.1	0.5	0.7	48.3	51.7

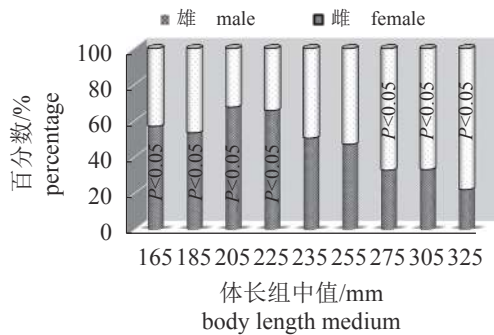


图 4 铜鱼各体长组中的性比

Fig. 4 Ratio of sex for *C. heterodon* in different body length groups

之间没有显著性差异 ( $P>0.05$ ), 表明武汉江段铜鱼体长-体质量属于匀速增长类型, 即体长体质量成等比例生长。

### 2.6 生长方程

利用体长-体质量关系式和逆算体长数据, 估算得到总体 ( $\text{♀}+\text{♂}$ ) 生长的参数: 极限体长  $L_{\infty}$

为 482.7 mm; 极限体质量  $W_{\infty}$  为 1 573.7 g; 平均生长速率  $k$  为  $0.21 \text{ a}^{-1}$ ; 理论生长年龄  $t_0$  为  $-0.25 \text{ a}$  (图 6)。

体长生长方程:

$$L_t = 482.7 \{1 - \exp[-0.22(t + 0.25)]\}$$

体质量生长方程:

$$W_t = 1\ 573.7 \{1 - \exp[-0.22(t + 0.25)]\}^{3.11}$$

根据上述方程绘制生长曲线图 (图 7), 显示铜鱼体长和体质量生长曲线分别呈“弧”形或“S”形渐进曲线, 表明体长的生长没有拐点, 而体质量的生长具有拐点。

### 2.7 生长速率和拐点年龄

根据数学原理, 对总体 ( $\text{♀}+\text{♂}$ ) 的生长方程进行一阶求导和二阶求导, 获得体长、体质量生长的速率和加速度方程。

体长生长速率方程:

$$dL/dt = 106.19 e^{-0.22(t+0.25)}$$

体长生长加速度方程:



表 2 铜鱼各龄的逆算体长  
Tab. 2 Back-calculated body length at each age for *C. heterodon*

项目 items	年龄组 age groups	实测体长 observed body length	各龄逆算体长 back-calculated body length			
			L1	L2	L3	L4
♂	1	194.6±45.86				
	2	209.3±42.46	155.6			
	3	249.3±78.27	151.7	209.8		
	4	297.8±65.82	150.2	195.8	289.6	
	5	311.5±84.87	125.7	185.6	266.7	309.5
♀	1	179.8±55.14				
	2	220.8±61.96	149.5			
	3	246.2±65.56	148.1	204.6		
	4	293.6±78.96	142.3	192.8	285.5	
	5	315.3±77.87	144.5	186.9	270.4	310.1
总体(♂+♀) total(♂+♀)	1	179.8±45.85				
	2	211.2±54.76	155.0			
	3	241.7±65.86	141.7	209.8		
	4	252.4±67.14	138.0	185.7	287.7	
	5	310.2±69.76	139.0	180.6	267.5	307.6

注: L1、L2、L3和L4分别表示1、2、3和4龄的逆算体长  
Notes: L1,L2, L3 and L4 represent the back-calculated body length of 1 year, 2 years, 3 years and 4 years, respectively

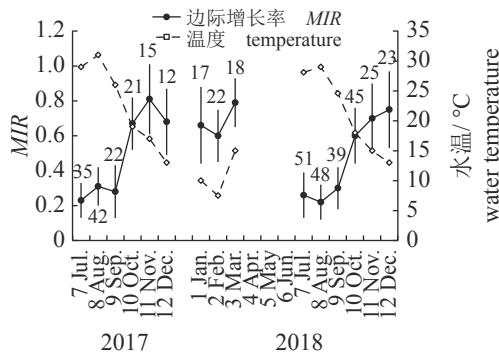


图 5 铜鱼 MIR 值及武汉江段水温的月变化

标准误差线上的数字代表采集的样本数

Fig. 5 Monthly variations of the MIR for *C. heterodon* and water temperature in Wuhan

Numbers on the standard error line represent the number of samples

$$d^2L/dt^2 = -23.36 e^{-0.22(t+0.25)}$$

体质量生长速率方程:

$$dW/dt = 1077.42 e^{-0.22(t+0.25)} [1 - e^{-0.22(t+0.25)}]^{2.11}$$

体质量生长加速度方程:

$$d^2W/dt^2 = 237.03 e^{-0.22(t+0.25)} [1 - e^{-0.22(t+0.25)}]^{1.11}$$

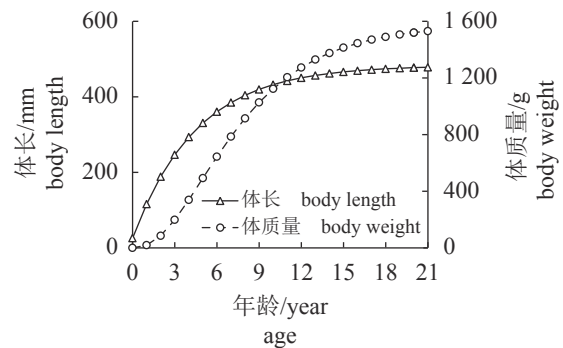


图 6 铜鱼体长和体质量生长曲线

Fig. 6 Growth curve of body length and body weight of *C. heterodon*

$$[3.11e^{-0.22(t+0.25)} - 1]$$

根据上述方程绘制曲线图。生长速率曲线显示, 在生长的一段时间内, 体长的生长速率最大, 并逐渐减小; 体质量的增长速率先上升后下降(图 7)。表明铜鱼在出生后的一段时间内生长迅速, 以增强捕食和躲避天敌的能力。生长加速度曲线显示, 体长生长加速度始终为负

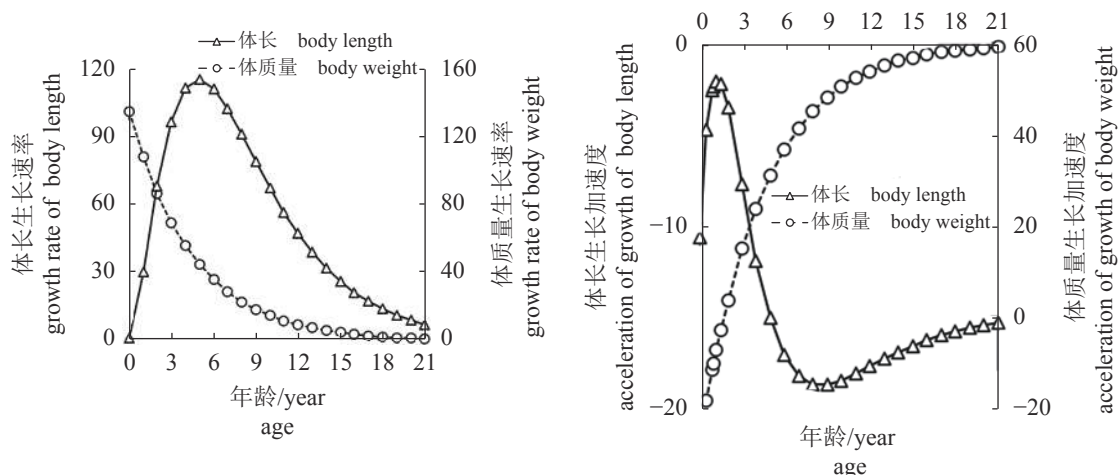


图 7 铜鱼体长—体质量生长速率、生长加速度曲线

Fig. 7 Growth rate and growth acceleration rate curve of body length-body weight for *C. heterodon*

值; 体质量增长加速度在  $t < 5.15$  前为正值,  $t > 5.15$  后为负值, 在  $t = 5.15$  时为 0, 此时为体质量的生长拐点, 对应的体长和体质量分别为 335.6 mm 和 501.7 g(图 7)。

### 3 讨论

#### 3.1 年轮形成周期和时间

随着鱼类的生长, 在鳞片或耳石等钙化组织上会留下年轮标志, 根据年轮标志可以判断鱼类年龄。其中鳞片因取材方便、便于处理和年轮易识别等特点, 被认为是鲤科鱼类年龄鉴定的最佳材料<sup>[28]</sup>。本研究所有样本的年龄均被准确地鉴定出来, 表明选用鳞片为年龄鉴定材料是合理的, 这已在同属的圆口铜鱼 (*C. guichenoti*) 身上得到验证<sup>[29]</sup>。大部分鱼类的鳞片年轮形成周期为 1 年, 即 1 个年轮代表 1 龄。但是少数鱼类, 如黄颡 (*Dentex tumifrons*) 的鳞片 1 年形成 2 个年轮; 另外, 鱼类种群在不同环境中, 年轮出现的时间也不尽一致<sup>[27]</sup>。因此为准确鉴定和划分样本的年龄, 常用定性识别法和鳞片的边际增长率 (*MIR*) 定量算法等对年轮形成周期及时间进行确认。其中, *MIR* 法是通过鳞片轮纹边缘的增长, 逐月进行定量统计与分析, 该方法因准确度较高而被广泛使用。如王海生等<sup>[30]</sup>和孙广文等<sup>[31]</sup>通过鳞片 *MIR* 值的月变化, 分别确定了银鲃 (*Squalidus argentatus*) 和似鳊 (*Pseudobrama simoni*) 的年龄形成周期为 1 年, 形成时间分别为 4—7 月和 3—5 月。

年轮形成是一个复杂的过程, 形成的具体机制目前尚不清楚, 但 Weatherley 等<sup>[32]</sup>研究认为鱼类年轮的形成可能与温度波动、饵料丰富度变化以及生殖活动有关。温度不仅能控制鱼类的代谢反应速率, 对生长起直接作用, 也能够影响水域饵料生物以及环境因子(如光照、溶解氧等), 对生长起间接作用, 因此温度被认为是年轮形成的重要环境变量。Newman 等<sup>[33]</sup>也证实了 6°C 的季节水温变动即可以形成一个年轮。本研究通过对铜鱼鳞片 *MIR* 值的逐月定量分析, 判断武汉江段铜鱼年轮形成周期为 1 年, 形成时间为 7—9 月。这与武汉江段的高温期(6—9 月)相吻合, 且 6—9 月水温季节波动差已经超过了 6°C, 进一步验证了本研究结果的准确性。许蕴珩等<sup>[8]</sup>通过对铜鱼鳞片旧年带外缘及新形成环片特征的定性识别法, 判断未成熟群体年轮在 3—5 月形成, 而成熟群体则在 5—7 月形成, 该结果与本研究相比要靠前, 形成此差异的原因除了与所采用的方法不同有关, 还可能与采集江段的环境(水温等)差异有关。

#### 3.2 种群生长参数

渔业资源评估需要对体长和体质量进行换算, 因此必须确定体长与体质量的关系, 其公认的函数关系表达式为  $W = aL^b$ , 式中  $b$  为幂函数指数, 是一个重要的生长特征参数。根据幂函数指数, 可以判断物种的体长体质量是否成等比例生长, 若  $b=3$ , 则说明体长体质量等比例生长; 若  $b > 3$ , 则体质量生长速率大于体长生长

速率;若  $b < 3$ , 则相反。本研究中, 雌性铜鱼幂函数指数  $b$  值 (3.10) 略高于雄性 (3.08), 表明雌性相对优先生长体质量, 肥满度较高, 以利于性腺发育。

目前使用最广的 von Bertalanffy 生长模型以及 Beverton-Holt 资源评估模型, 均是以  $b=3$  为前提条件, 本研究中总体 (♀+♂) 的  $b$  值与 3 没有显著性差异, 则验证本研究采用 von Bertalanffy 生长模型拟合铜鱼的生长是合理的。另外, 本研究中总体的幂函数指数  $b$  值与江津段 (3.10) 的结果<sup>[14]</sup> 相似, 属于匀速增长类型; 而与重庆—涪陵江段 (3.30)、万州江段 (3.22) 和秭归江段 (3.24) 的研究结果<sup>[21, 34]</sup> 差异大, 后者属于正变速生长类型。这说明铜鱼种群间, 生长特征参数  $b$  值的变化受地理位置和环境条件的影响。

生长参数  $k$  能够反映鱼类的生长速率: 若  $0.05 \text{ a}^{-1} < k \leq 0.1 \text{ a}^{-1}$  则为缓慢生长类型;  $0.1 \text{ a}^{-1} < k \leq 0.2 \text{ a}^{-1}$  为中等速率生长类型;  $0.2 \text{ a}^{-1} < k \leq 0.5 \text{ a}^{-1}$  为快速生长类型<sup>[35]</sup>。本研究中, 铜鱼总体 (♀+♂) 的生长系数  $k$  值为  $0.21 \text{ a}^{-1}$ , 与在上游四川江津段 ( $0.23 \text{ a}^{-1}$ ) 的研究结果<sup>[14]</sup> 相似, 属于快速生长类型, 表明武汉江段铜鱼的生长速率快。而在万州江段 ( $0.09 \text{ a}^{-1}$ ) 和秭归江段 ( $0.08 \text{ a}^{-1}$ ) 与同属的圆口铜鱼研究结果 ( $0.12 \text{ a}^{-1}$ )<sup>[21, 29]</sup> 相似, 属于缓慢生长类型。这种差异除了环境因素外, 可能还与采集样本个体的大小有关, 因为样本中体长的最大和最小值是影响生长参数估计的最大因素<sup>[36]</sup>。在江津段采集的最大个体体长为  $530 \text{ mm}$ <sup>[14]</sup>, 而秭归江段样本的最大体长为  $303 \text{ mm}$ , 导致生长参数评估值偏小<sup>[21]</sup>。

### 3.3 生长现状

在鱼类种群中, 雌雄性别比例往往会随着环境的变动而变化, 这是一种生态适应。比如受葛洲坝水利工程的半阻隔影响, 在截流前后, 万县江段铜鱼的雌雄性比由 1:1 上升到 2:1<sup>[34]</sup>, 揭示了该江段栖息环境的巨大变化。本研究中性比为 1:1.07, 表明武汉江段铜鱼栖息的环境比较稳定。鱼类的生长与栖息地质量、饵料丰富度以及气候等因素有关, 是遗传和环境共同作用的结果<sup>[37]</sup>。同一物种在不同水域中, 可能有不同的生长特征, 比如长鳍吻鲈 (*Rhinogobio ventralis*) 在不同江段采用相同方法得出的生长参数差异较大<sup>[29]</sup>; 鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、

鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 在长江、珠江和黑龙江水系中, 因水温和饵料的差异而导致生长速率有所不同<sup>[38]</sup>。

20 世纪 80 和 90 年代, 长江干、支流中高龄个体很常见, 在汉江发现有 13 龄的个体<sup>[8, 34]</sup>。本研究样本中最大年龄为 5 龄, 且其个体所占比例仅为 1.2%, 这与 2016 年在三峡库区的调查结果 (最高龄为 4 龄) 相似<sup>[21]</sup>, 说明铜鱼种群可能出现了低龄化现象。另外, 本研究记录的铜鱼最大体长为  $325 \text{ mm}$ , 远小于在中游支流汉江 ( $518 \text{ mm}$ )、上游江津段 ( $530 \text{ mm}$ ) 记录的最大体长<sup>[8, 14]</sup>; 且本研究中各龄样本的平均体长远小于历史上其他江段各龄的平均体长<sup>[1, 8, 22, 34]</sup>。这种差异可能与饵料丰富度、种群密度和捕捞强度的区域差异有关<sup>[39]</sup>, 也说明铜鱼个体可能已经出现小型化现象。铜鱼种群的低龄化和小型化现象可能与过度捕捞有关, 是其面临过度捕捞的一种生态适应调整。

### 3.4 保护措施及展望

长江上游水利发电站的修建, 阻碍了铜鱼的洄游通道, 对其种群繁衍造成巨大的威胁。建议在筑坝时一定要修建铜鱼等洄游型鱼类的过鱼通道设施, 保证铜鱼的遗传多样性稳定。另外, 铜鱼目前的人工养殖技术尚不成熟, 还需要依赖野生种苗, 因此, 需要开展铜鱼的全人工繁殖等技术, 以期铜鱼的增殖放流提供来源。

“禁渔”对于渔业资源养护具有很好的效果, 比如在“春季禁渔”实施后, “四大家鱼”等鱼类的资源量下降趋势有所减缓<sup>[40]</sup>。对铜鱼而言, 亦是如此, 根据评估资料显示, 1997—2001 年葛洲坝坝下铜鱼资源量下降 60%, 而在 2003 年长江“春季禁渔”制度全面实施后, 葛洲坝坝下铜鱼的资源量开始大幅度回升<sup>[41-42]</sup>。但是在“春季禁渔”期之后, 铜鱼可能又面临着巨大的捕捞压力。长江“十年全面禁渔”的实施, 为铜鱼种质资源的全面保护带来了福音, 期间铜鱼过度捕捞等问题将得到解决。

### 参考文献 (References):

- [1] 何学福. 铜鱼 *Coreius heterodon* (Bleeker) 的生物学研究[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1980(2): 60-76.

He X F. The biology of *Coreius heterodon* (Bleeker)[J].

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 1980(2): 60-76(in Chinese).
- [ 2 ] 刘乐和, 吴国犀, 王志玲. 葛洲坝水利枢纽兴建后长江干流铜鱼和圆口铜鱼的繁殖生态[J]. 水生生物学报, 1990, 14(3): 205-215.
- Liu L H, Wu G X, Wang Z L. Reproduction ecology of *Coreius heterodon* (Bleeker) and *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the mainstream of the Changjiang River after the construction of Gezhouba Dam[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1990, 14(3): 205-215(in Chinese).
- [ 3 ] Cambray J A, King J M, Bruwer C. Spawning behaviour and early development of the Clanwilliam yellowfish (*Barbus capensis*; Cyprinidae), linked to experimental dam releases in the Olifants River, South Africa[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 1997, 13(6): 579-602.
- [ 4 ] Jackson D C, Marmulla G. The influence of dams on river fisheries[M]/Marmulla G. Dams, fish and fisheries. Rome: FAO, 2001: 1-44.
- [ 5 ] Park Y S, Chang J B, Lek S, et al. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam[J]. Conservation Biology, 2003, 17(6): 1748-1758.
- [ 6 ] Xenopoulos M A, Lodge D M. Going with the flow: using species-discharge relationships to forecast losses in fish biodiversity[J]. Ecology, 2006, 87(8): 1907-1914.
- [ 7 ] 中华人民共和国环境保护部. 长江三峡工程生态与环境监测公报 [EB/OL]. (2007-09-24)[2020-09-16]. <http://www.tgenvirom.org/monbulletin/monjournal.html>, (2002-2007).
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. The environmental and ecological monitoring bulletins of the Three Gorges area[EB/OL]. (2007-09-24)[2020-09-16]. <http://www.tgenvirom.org/monbulletin/monjournal.html>, (2002-2007) (in Chinese).
- [ 8 ] 许蕴珩, 邓中彝, 余志堂, 等. 长江的铜鱼生物学及三峡水利枢纽对铜鱼资源的影响[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 271-293.
- Xu Y G, Deng Z L, Yu Z T, et al. The biological aspects of *Coreius heterodon* (Bleeker) and the effects of proposed Sanxia hydroelectric project on its resource[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1981, 7(3): 271-293(in Chinese).
- [ 9 ] 四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组. 嘉陵江水系鱼类资源调查报告 [M]. 成都: 四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组, 1980.
- Investigation Group of Water System Fish Resources in Jialing River, Sichuan Province. Investigation report of water system fish resources in Jialing River[M]. Chengdu: Investigation Group of Water System Fish Resources in Jialing River, Sichuan Province, 1980 (in Chinese).
- [10] 蒋国福, 何学福. 嘉陵江下游鱼类资源现状调查[J]. 淡水渔业, 2008, 38(2): 3-7.
- Jiang G F, He X F. Status of fish resources in the lower reaches of the Jialing River[J]. Freshwater Fisheries, 2008, 38(2): 3-7(in Chinese).
- [11] 李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中游鱼类资源现状[J]. 湖泊科学, 2005, 17(4): 366-372.
- Liu X F, Huang D M, Xie W X, et al. Status of fisher resources in the middle reaches of the Hanjiang River[J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(4): 366-372(in Chinese).
- [12] 黄平. 长江铜鱼养殖技术[J]. 北京水产, 2004(1): 50-51.
- Huang P. The culture technology of *Coreius heterodon*[J]. Journal of Beijing Fisheries, 2004(1): 50-51(in Chinese).
- [13] 危起伟, 吴金明. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区鱼类图集 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- Wei Q W, Wu J M. Atlas of fishes in the national nature reserve for the rare and endemic fishes in the upper reaches of the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2015 (in Chinese).
- [14] 刘红艳, 熊飞, 段辛斌, 等. 长江上游江津江段铜鱼种群参数和资源量评估[J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1420-1428.
- Liu H Y, Xiong F, Duan X B, et al. Estimating population parameters and abundance of *Coreius heterodon* in Jiangjin section of the upper Yangtze River[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(8): 1420-1428(in Chinese).
- [15] 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游宜宾江段渔业资源现状研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(11): 43-50.
- Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Present status of fishery resources in Yibin section of the upper Yangtze



- River[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2015, 37(11): 43-50(in Chinese).
- [16] 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津江段鱼类群落结构及资源利用[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2014, 38(3): 94-102.
- Xiong F, Liu H Y, Duan X B, *et al.* Community structure of fish and resources utilization in Jiangjin section of the upper Yangtze River[J]. Journal of Anhui University (Natural Science Edition), 2014, 38(3): 94-102(in Chinese).
- [17] Yan L, Wang D Q, Fang Y L, *et al.* Genetic diversity in the bronze gudgeon, *Coreius heterodon*, from the Yangtze River system based on mtDNA sequences of the control region[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2008, 82(1): 35-40.
- [18] Cheng F, Li W, Wu Q J, *et al.* Microsatellite DNA variation among samples of bronze gudgeon, *Coreius heterodon*, in the mainstem of the Yangtze River, China[J]. *Ichthyological Research*, 2013, 60(2): 165-171.
- [19] Liao X L, Zhu B, Yu X M, *et al.* Isolation and characterization of polymorphic microsatellites in a Yangtze River fish, brass gudgeon (*Coreius heterodon* Bleeker)[J]. *Molecular Ecology Notes*, 2006, 6(2): 393-395.
- [20] Liao X, Yu X, Chang J, *et al.* Polymorphic microsatellites in largemouth bronze gudgeon (*Coreius guichenoti*) developed from repeat-enriched libraries and cross-species amplifications[J]. *Molecular Ecology Notes*, 2007, 7(6): 1104-1107.
- [21] Xia Y G, Lloret J, Li Z J, *et al.* Status of two *Coreius* species in the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, 34(1): 19-33.
- [22] 刁晓明, 周容树. 铜鱼年龄与生长的初步研究[J]. 四川动物, 1994, 13(1): 32-33.
- Diao X M, Zhou R S. The preliminary study on age and growth of *Coreius heterodon*[J]. Sichuan Journal of Zoology, 1994, 13(1): 32-33(in Chinese).
- [23] 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 Agricultural Publishing House, 1995 (in Chinese).
- [24] Raventos N. Age, growth and reproductive parameters of the Mediterranean cardinal fish, *Apogon imberbis*[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2007, 23(6): 675-678.
- [25] Labbaei A, Chaoui L, Kara M H. Age, growth and reproduction of the Mediterranean killifish *Aphanius fasciatus* Nardo, 1827 in Mellah Lagoon (eastern algeria)[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2019, 102(4): 663-674.
- [26] von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II)[J]. *Human Biology*, 1938, 10(2): 181-213.
- [27] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Zhan B Y. Fishery resources assessment[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1995 (in Chinese).
- [28] Phelps Q E, Edwards K R, Willis D W. Precision of five structures for estimating age of common carp[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2007, 27(1): 103-105.
- [29] 杨志, 万力, 陶江平, 等. 长江干流圆口铜鱼的年龄与生长研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(4): 46-52.
- Yang Z, Wan L, Tao J P, *et al.* Age and growth of *Coreius guichenoti* in the mainstream of the Yangtze river[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(4): 46-52(in Chinese).
- [30] 王海生, 沈建忠, 李霄, 等. 长江天鹅洲故道银鮡的年龄、生长和死亡率研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(2): 7-13.
- 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(in Chinese).
- [31] 孙广文, 沈建忠, 胡少迪, 等. 长江天鹅洲故道似鳊年龄、生长和死亡率[J]. *淡水渔业*, 2013, 43(4): 29-34.
- Sun G W, Shen J Z, Hu S D, *et al.* Age, growth and mortality of *Pseudobrama simoni* (Bleeker) in Tian-e-zhou oxbow of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(4): 29-34(in Chinese).
- [32] Weatherley A H, Gill H S. The biology of fish growth[M]. London: Academic Press, 1987.
- [33] Newman S J, Cappo M, Williams D M. Age, growth, mortality rates and corresponding yield estimates using otoliths of the tropical red snappers, *Lutjanus erythropterus*, *L. malabaricus* and *L. sebae*, from the central

- Great Barrier Reef[J]. *Fisheries Research*, 2000, 48(1): 1-14.
- [34] 冷永智, 何立太, 魏清和. 葛洲坝水利枢纽截流后长江上游铜鱼的种群生物学及资源量估算[J]. *淡水渔业*, 1984(5): 21-25.
- Leng Y Z, He L T, Wei Q H. Population biology and resources estimate of *Coreius heterodon* in the upper reaches of the Changjiang River after the construction of Gezhouba Dam[J]. *Freshwater Fisheries*, 1984(5): 21-25(in Chinese).
- [35] Branstetter S. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern Gulf of Mexico[J]. *Copeia*, 1987, 4(9): 964-974.
- [36] Campana S E. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods[J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, 59(2): 197-242.
- [37] Ozeren S C. Age, growth and reproductive biology of the sand smelt *Atherina boyeri*, Risso 1810 (Pisces: Atherinidae) in Lake Iznik, Turkey[J]. *Journal of Fisheries International*, 2009, 4(2): 34-39.
- [38] 李思发, 陆伟民, 周碧云, 等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙、草鱼渔业资源状况[J]. *淡水渔业*, 1990(6): 15-20.
- Li S F, Lu W M, Zhou B Y, *et al.* Status of fishery resources for silver carp, bighead carp and grass carp in the Yangtze River, Pearl River, Amur River[J]. *Freshwater Fisheries*, 1990(6): 15-20(in Chinese).
- [39] Edgar G J, Shaw C. The production and trophic ecology of shallow-water fish assemblages in southern Australia II. Diets of fishes and trophic relationships between fishes and benthos at Western port, Victoria[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995, 194(1): 83-106.
- [40] 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.
- 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(in Chinese).
- [41] 虞功亮, 刘军, 许蕴珩, 等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 591-599.
- Yu G L, Liu J, Xu Y G, *et al.* Estimation on abundance of benthonic fishes preying on eggs of Chinese sturgeon in reach below the Gezhouba dam in the Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 591-599(in Chinese).
- [42] 陶江平, 乔晔, 杨志, 等. 葛洲坝产卵场中华鲟繁殖群体数量与繁殖规模估算及其变动趋势分析[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(2): 37-43.
- Tao J P, Qiao Y, Yang Z, *et al.* Estimation on the spawning population and spawning sizes of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and trend analysis of their change in recent years[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(2): 37-43(in Chinese).

## Age and growth of *Coreius heterodon* from Wuhan stretch of the middle Yangtze River

TIAN Bo<sup>1,2</sup>, WU Jinming<sup>2</sup>, LIANG Meng<sup>2</sup>, DU Hao<sup>2</sup>, WEI Qiwei<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Animal Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** To reveal the age and growth characteristics of *Coreius heterodon*, we collected 435 specimens from Wuhan stretch, Yangtze River, between July 2017 and December 2018. The result showed that the body length ranged from 152.1 to 325.2 mm with the mean of (233.2±73.4) mm, and that the body weight ranged from 33.1 to 429.8 g, with the mean of (182.40 ± 85.4) g. The age ranged from 1 to 5 years and the dominant population with the mean of 75.6% was of individuals of 2 and 3 years. Although there was no significant difference between the sex ratio (male: female) of 1 : 1.07 and 1 : 1, there was significant difference in different body length groups. The female dominated in large individuals, while the male dominated in small individuals. The marginal increment ratio (MIR) of scales showed that the formation time of age was from July to September. The relationship between body length and body weight was described by the equation:  $W=7\times 10^{-6}L^{3.111}$  ( $R^2=0.963$ ) and significant difference was not found between both sexes in the length-weight relationship. The relationship between body length and scale radius was described by the equation:  $L=52.983R+72.439$  ( $R^2=0.678$ ). The Von Bertalanffy growth function was  $L_t=482.7 \{1-\exp[-0.22(t+0.25)]\}$ ;  $W_t=1573.7 \{1-\exp[-0.22(t+0.25)]\}^{3.11}$ , respectively. The inflection point age of growth was 5.15 years, and the corresponding body length and weight were 335.6 mm, and 501.7 g, respectively. *C. heterodon* in Wuhan, Yangtze River had a simple age structure with slow growth rate. It is urgent to take necessary measures to promote the spread of its population.

**Key words:** *Coreius heterodon*; age; growth; Wuhan stretch; Yangtze River

**Corresponding author:** WEI Qiwei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

**Funding projects:** Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Chinese Academy of Fishery Sciences (2019 HY-JC0101)