

doi: 10.7541/2018.030

## 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼的生长、死亡参数及资源利用状况

赵丽爽<sup>1,2</sup> 程飞<sup>1</sup> 张磊<sup>1,3</sup> 王欣<sup>4</sup> 张胜宇<sup>4</sup> 蒋功成<sup>5</sup> 谢松光<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院水生生物研究所淮安研究中心, 淮安 223002; 4. 江苏省洪泽湖渔业管理委员会办公室, 淮安 223002; 5. 淮阴师范学院, 淮安 223300)

**摘要:** 2015年7月至2016年6月采用银鱼拖网对洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼进行周年逐月采样, 确定单位水体面积(1 km<sup>2</sup>)捕捞渔获量, 估算种群生长和死亡相关参数; 利用平衡产量模型评估获得最高单位补充量渔产量时的最适开捕时间, 并设定为优化的管理方案; 构建单位补充量产卵群体生物量(Spawner biomass per-recruitment; SBR)模型, 评估洪泽湖银鱼资源在当前和优化管理方案下的捕捞利用状况, 为其资源管理提供指导。研究表明, 大银鱼体长和体重分别为29.0—182.6 mm和0.10—34.79 g, 世代周期中存在2个快速生长阶段, 即4—6月和8—11月; 最适生长方程为von Bertalanffy方程,  $L_t=173.35 \times [1 - e^{-1.972(t-0.092)}]$ ; 捕捞死亡系数和自然死亡系数分别为8.583/year和3.292/year。太湖新银鱼体长和体重分别为20.4—82.7 mm和0.04—3.40 g, 整个世代周期持续生长, 最适生长方程为Logistic方程,  $L_t=66.82/[1 + e^{-5.386(t-0.124)}]$ ; 捕捞死亡系数和自然死亡系数分别为7.006/year和1.146/year。平衡产量模型结果显示, 当大银鱼开捕年龄为0.593 year, 太湖新银鱼开捕年龄为0.420 year时, 即将银鱼开捕时间由现行的8月9日, 推迟20d, 并取消现行的5月一周捕捞, 可以获得最大总渔产量。SBR模型评估结果显示, 在当前管理模式下, 大银鱼SBR残存量相当于未开发状态的20.23%, 优化管理方式后可达到36.72%, 能有效缓解大银鱼的捕捞压力; 在优化管理方式后, 太湖新银鱼的SBR残存量从现行管理方式下相当于未开发状态的7.50%, 提升至12.86%, 但仍低于20%。

**关键词:** 银鱼; 生长; 死亡; 平衡产量模型; SBR模型; 评价; 洪泽湖

**中图分类号:** S931.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2018)02-0240-10

大银鱼(*Protosalanx hyalocranius* Abbott, 1901)和太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis* Chen, 1956)分别隶属于鲑形目(Salmoniformes)银鱼科(Salangiidae)的大银鱼属和新银鱼属, 主要分布在我国黄河、淮河和长江中下游及其附属湖泊, 是我国重要的经济鱼类<sup>[1]</sup>。20世纪70年代以来, 2种银鱼被引种移植到全国众多湖泊和水库<sup>[2]</sup>。大银鱼主要被移植到长江以北<sup>[3]</sup>, 太湖新银鱼则多被移植到黄河以南<sup>[4]</sup>。2种银鱼的生命周期均为一年, 个体小、生长快、世代离散, 种群波动显著<sup>[1,5]</sup>。

过度捕捞是影响鱼类资源可持续利用的重要因素, 分为生长型过度捕捞和补充型过度捕捞<sup>[6]</sup>。由于银鱼世代离散, 补充型过度捕捞导致剩余产卵群体数量不足, 进而使种群下一代数量减少, 被认为是其资源量下降的重要原因<sup>[7]</sup>。单位补充量产卵群体生物量(Spawning Biomass-recruitment, SBR)模型根据种群的生长、死亡参数和种群资源动态, 估算捕捞后产卵群体的残存量, 进而评估种群的资源利用状况<sup>[8,9]</sup>。当SBR残存量低于未开发状态的20%时, 通常视为补充型过度捕捞, 可能导

收稿日期: 2017-04-06; 修订日期: 2017-06-28

**基金项目:** 江苏省自然科学基金面上项目(BK20141268); 中国科学院特色研究所服务项目(Y55Z06); 中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-SMC041); 江苏省区域现代农业与环境保护协同创新中心项目(HSXT215)资助 [Supported by the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (BK20141268); the Service Project of Special Institute of Chinese Academy of Sciences (Y55Z06); the Key Project in Frontier Science of Chinese Academy of Sciences (QYZDB-SSW-SMC041); the Scientific Funds of Jiangsu Collaborative Innovation Center of Regional Modern Agriculture and Environmental Protection Project (HSXT215)]

**作者简介:** 赵丽爽(1992—), 女, 河南许昌人; 硕士研究生; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: zhaols1101@163.com

**通信作者:** 程飞, E-mail: chengfei@ihb.ac.cn; 王欣, E-mail: hzhwx58@126.com

致种群崩溃<sup>[10, 11]</sup>。平衡产量模型是渔业资源评估最常用的Beverton-Holt模型的简化形式<sup>[6, 12]</sup>, 常用于分析开捕时间和捕捞强度对渔获产量的影响, 并据此制定合理的渔业管理方案<sup>[13, 14]</sup>。

洪泽湖(33°06—40'N, 118°10—52'E)是中国第四大淡水湖, 水域面积约2069 km<sup>2</sup>。大银鱼和太湖新银鱼是洪泽湖最主要的经济鱼类之一, 2010年以来年渔产量最高曾达10<sup>6</sup> kg<sup>[15]</sup>, 但年际波动较大, 且近年来呈现下降趋势(江苏省洪泽湖渔业管理委员会办公室, 未发表数据)。洪泽湖银鱼捕捞采用银鱼拖网进行, 每年1月1日至8月8日为禁捕期, 其中5月21日左右允许捕捞1周。据渔民反映, 在每年12月下旬捕捞期的最后阶段2种银鱼均已很难捕捞、渔获量极低。本研究对洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼的周年生长和资源量动态进行了分析, 评估种群捕捞利用状况, 进而优化渔业管理方式, 以期洪泽湖银鱼的资源可持续利用管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样水域与采样方法

2015年7月至2016年6月每月中旬, 对洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼进行周年采样(图1)。采样使用渔民用的银鱼拖网进行, 拖网网口宽11.6 m, 高2.3 m; 网体长约25 m, 由4个网片组成, 侧面网片网目为1.2 cm×1.2 cm, 上下网片网目为1.5 cm×1.5 cm; 末端网袋长1.3 m, 网目为0.3 cm×0.3 cm。采样时在机动渔船左右两侧各设置一个拖网, 拖网上沿恰好没入水中, 渔船在固定起点(A, 33°17'19"N, 118°47'17"E)和终点(B, 33°19'58"N, 118°46'50"E)间拖行5 km, 拖速为4.0 km/h。采样在上午9:00—12:00间进行。样品采集后立即置于冰水保

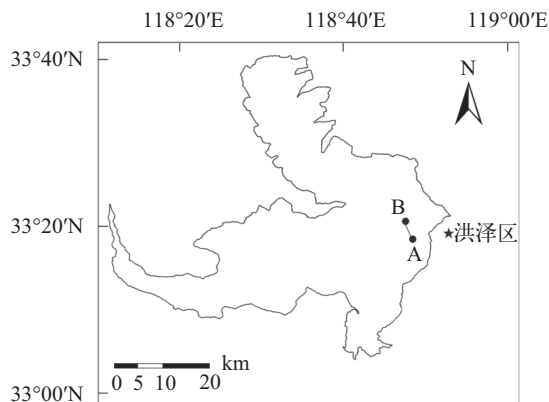


图1 洪泽湖, 示大银鱼和太湖新银鱼采集时拖网拖行区间起点(A)和终点(B)

Fig. 1 Hongze Lake, showing the trawling area (from A to B) for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* collection

温箱中, 带回实验室计数, 进行生物学测定。每次采样2种银鱼生物学测定数量均在100尾以上, 当样品数量不足时, 增加拖行时间。

### 1.2 数据获取与分析

**体长-体重关系和生长率** 在实验室对大银鱼和太湖新银鱼的渔获物进行计数和称重。测定个体体长( $L$ , 0.1 mm), 称体重( $W$ , 0.01 g), 解剖鉴定性别, 繁殖季节肉眼确定雌性性腺发育分期<sup>[16, 17]</sup>。体长-体重关系采用 $W=a \times L^b$ 进行拟合。采用单因子方差分析(ANOVA)检验各月2种银鱼体长和体重差异显著性, 并采用Bonferroni方法进行多重比较。分别求出2种银鱼各月的平均体长和体重, 计算相邻月份间体长和体重瞬时生长率( $g_l, g_w$ )<sup>[18]</sup>:

$$g_l = \ln L_{n+1} - \ln L_n$$

$$g_w = \ln W_{n+1} - \ln W_n$$

式中,  $L_n$  和  $W_n$  分别为某月( $n$ )大银鱼或太湖新银鱼的平均体长和体重;  $L_{n+1}$  和  $W_{n+1}$  则为下一月份的平均体长和体重。

**最适生长方程** 洪泽湖大银鱼的繁殖季节为12至次年2月, 盛期为1月中旬; 太湖新银鱼春群的繁殖季节为3—4月, 盛期为3月(未发表数据)。据此, 我们将1月25日和3月25日分别设为大银鱼和太湖新银鱼的出生时间, 即0龄, 并推算2种银鱼各月采样时间对应的年龄。采用Logistic生长方程(Logistic growth function, Logistic GF)、Gompertz生长方程(Gompertz growth function, Gompertz GF)和von Bertalanffy生长方程(Von Bertalanffy Growth Function, VBGF)拟合2种银鱼的年龄与体长生长关系, 使用最小二乘法估算各生长方程的参数, 依据赤井信息准则(Akaike's information criterion, AIC)选择最适生长方程<sup>[19]</sup>。3种生长方程分别为:

$$\text{Logistic GF: } L_t = L_\infty / [1 + e^{-K(t-t_0)}]$$

$$\text{Gompertz GF: } L_t = L_\infty \times e^{-e^{-K(t-t_0)}}$$

$$\text{VBGF: } L_t = L_\infty \times [1 - e^{-K(t-t_0)}]$$

式中,  $t$  表示样本年龄;  $t_0$  为理论生长起点, 即体长 $L_t=0$ 时的起始年龄;  $L_\infty$  为渐近体长;  $K$  为生长系数。生长方程拟合采用R-3.3.1软件进行<sup>[20]</sup>。

**种群死亡系数** 定义单位捕捞努力量渔获量(Catch per Unit Effort, CPUE)为拖网拖行1 km<sup>2</sup>水域面积的渔获物个体数量和生物量。使用CPUE逐月数量变动数据, 结合洪泽湖当前的银鱼捕捞管理方式(8月9日—12月31日为捕捞期, 同时5月21—28日可对银鱼资源进行为期一周的捕捞), 求解以下方程组, 计算捕捞死亡系数 $F$ 和自然死亡系数 $M$ <sup>[21]</sup>:

$$N_{t_2} = \begin{cases} N_{t_1}e^{-M(t_2-t_1)} & (\text{当不存在人为捕捞作用时}) \\ N_{t_1}e^{-Z(t_2-t_1)} & (\text{当存在人为捕捞作用时}) \end{cases}$$

式中,  $Z$ 为总死亡系数;  $t_2$ 、 $t_1$ 分别为不同月份样本的年龄差值, 单位为year;  $N_{t_2}$ 、 $N_{t_1}$ 分别表示相应年龄时对应的渔获物资源数量。在本研究中假定银鱼种群在一年内的 $F$ 和 $M$ 恒定, 以年平均状态表示, 故用方程组求解的 $Z$ 和 $M$ 均值来表示种群的捕捞死亡系数和自然死亡系数;  $F$ 为 $Z$ 与 $M$ 的均值之差。

**模型构建** 使用平衡产量模型(The equilibrium output model)估算种群单位补充量渔产量随开捕年龄和捕捞强度的变化<sup>[6, 13]</sup>:

$$Y = F \times N_0 \times e^{-M \times r} \times W_{\infty} \times \left( \frac{1}{Z} - \frac{3e^{-K \times r}}{Z + K} + \frac{3e^{-2K \times r}}{Z + 2K} - \frac{e^{-3K \times r}}{Z + 3K} \right)$$

式中,  $Y$ 为以重量表示的单位补充量的渔产量;  $N_0$ 为年龄 $t_0$ 时的假设个体数, 假定 $N_0=1000$ 尾;  $r$ 为初次开捕年龄与理论生长起点年龄之差, 即 $r=t_c-t_0$ ;  $W_{\infty}$ 为渐近体重,  $W_{\infty}=a \times L_{\infty}^b$ 。

使用SBR模型对洪泽湖当前银鱼捕捞管理方式和依据平衡产量模型制定的新的管理方式进行评估。假定2种方案下银鱼的捕捞死亡系数和自然死亡系数不变, 将模型中的时间步长设置为1周, 即 $0.0192 \text{ year}^{[10]}$ , SBR模型公式为<sup>[18]</sup>:

$$SBR = \sum_{t=0}^{t_{\max}} \exp[-(F \times S_t + A_t) - M] \times t \times a \times (L_t)^b \times G_t$$

式中,  $t_{\max}$ 表示样本的最大年龄;  $S_t$ 和 $G_t$ 分别表示刀刃式选择假设下的网具和性成熟选择性, 当 $t < 50\%$ 性成熟体长时,  $G_t=0$ , 反之,  $G_t=1$ ; 当 $t <$ 初次开捕年龄时,  $S_t=0$ , 反之,  $S_t=1^{[22]}$ ;  $A_t$ 对应于 $t$ 龄时是否处于渔业开捕状态, 若是, 则 $A_t=1$ , 否则 $A_t=0$ 。

对于SBR模型中使用的50%性成熟体长, 针对2种银鱼1年生且1次性成熟的特点, 以繁殖期性成熟的最小10尾雌性个体的体长均值 $L_m$ 表示<sup>[23]</sup>, 将其代入最适生长方程中, 计算对应的性成熟年龄 $T_m$ 。

## 2 结果

### 2.1 种群结构与生长

共测定了洪泽湖1250尾大银鱼和1818尾太湖新银鱼的体长和体重。大银鱼体长和体重分别为29.0—182.6 mm和0.10—34.79 g; 太湖新银鱼体长和体重分别为20.4—82.7 mm和0.04—3.40 g。银鱼的体长-体重关系方程分别为:

$$\text{大银鱼: } W = 1.082 \times 10^{-6} L^{3.279} \quad (n=1250; r^2=$$

0.928;  $P < 0.05$ )

太湖新银鱼:  $W = 2.113 \times 10^{-6} L^{3.215} \quad (n=1818; r^2=0.951; P < 0.05)$

大银鱼一个世代在渔获物中出现的时间从4月到翌年2月, 9月以后大银鱼个体间体长差异逐渐增大、体长范围逐渐增加, 12月后大个体在种群中所占比例下降(图2a)。世代周期中存在4—6月和8—11月2个快速生长阶段。这2个阶段相邻月份的体长和体重均差异显著( $P < 0.05$ )。体长和体重均在11月达到最大值。体长和体重瞬时增长率总体均呈下降趋势, 12月后为负值(图3、图4)。

太湖新银鱼一个世代在渔获物中出现的时间从5月到翌年4月, 为春季繁殖群体(春群)的后代; 9月也采集到少量性成熟个体(秋群), 其后代于10月开始出现在渔获物中, 但数量较少(图2b)。本研究仅考虑春群。太湖新银鱼整个世代周期中持续生长, 无明显的阶段性。5—12月间相邻月份间体长差异显著( $P < 0.05$ ), 但体重差异不显著( $P > 0.05$ )。太湖新银鱼体长和体重瞬时增长率变化较大银鱼平稳, 总体呈下降趋势, 12月后近乎于零(图3、图4)。

### 2.2 最适生长方程与性成熟大小

在3种生长方程中, VBGF对大银鱼生长拟合的AIC值最小, Logistic GF对太湖新银鱼生长拟合的AIC值最小(表1), 分别为2种鱼类的最适生长方程(图5)。大银鱼和太湖新银鱼卵巢发育至IV期的10尾最小个体的体长均值 $L_m$ 分别为99.9和61.1 mm, 代入对应的生长方程, 得出大银鱼和太湖新银鱼的 $T_m$ 分别为0.528 year和0.564 year。

### 2.3 CPUE逐月变动与种群死亡系数

单位水域面积(1 km<sup>2</sup>)中大银鱼和太湖新银鱼渔获物数量均在5月最高, 分别为31809和78098 ind./km<sup>2</sup>。经历了5月中旬为期1周的捕捞后, 6月2种银鱼的资源数量均明显下降; 6月至8月间下降相对平缓; 8月捕捞开始后下降明显, 到12月时渔获物数量均降至500 ind./km<sup>2</sup>以下。单位水域面积(1 km<sup>2</sup>)大银鱼和太湖新银鱼渔获物生物量的最高值分别出现在6月和8月, 为73.07和49.33 kg/km<sup>2</sup>。大银鱼生物量在8—9月之间下降最快, 太湖新银鱼生物量在9—10月间下降最快。

根据洪泽湖现行的捕捞管理方式, 5—6月间和8月以后, 2种银鱼的CPUE下降受捕捞和自然死亡的共同影响; 6—8月间, CPUE的下降只受自然死亡的影响。据此求出大银鱼 $F$ 和 $M$ 分别为8.583/year和3.292/year, 太湖新银鱼 $F$ 和 $M$ 分别为7.006/year和1.146/year。

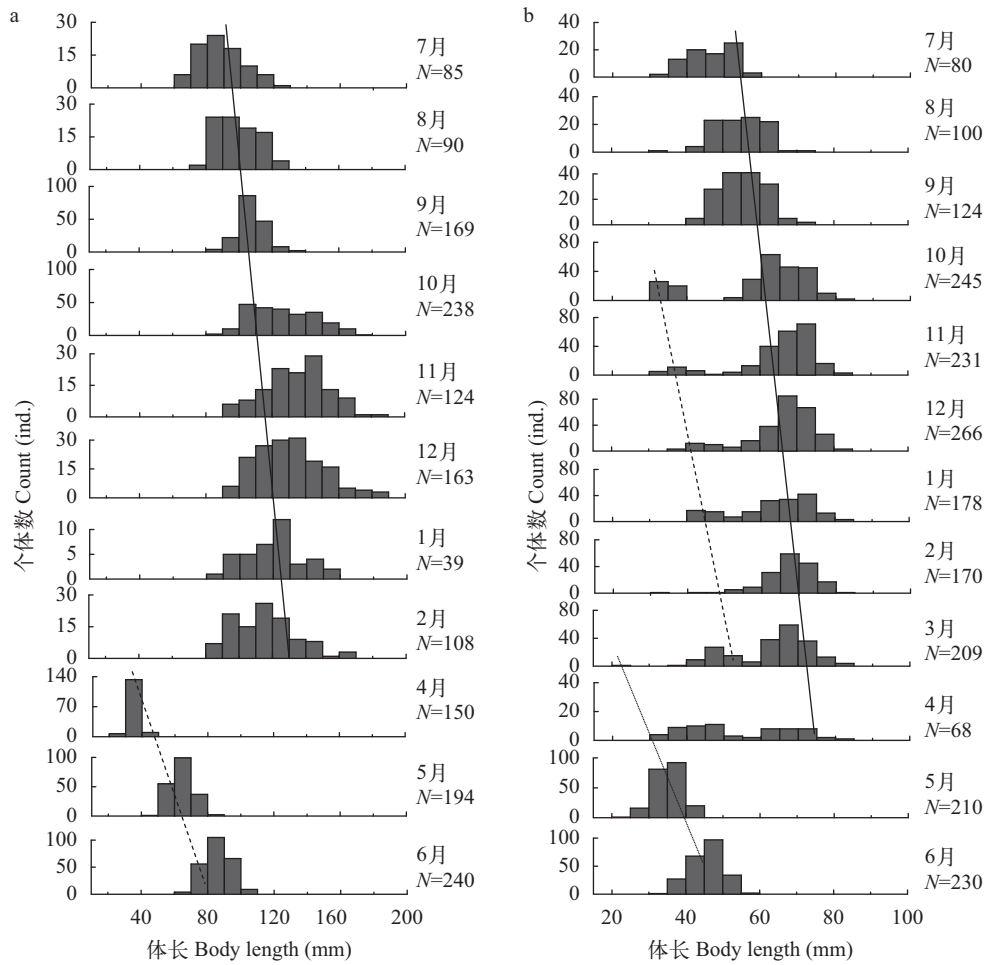


图 2 洪泽湖大银鱼(a)和太湖新银鱼(b)的体长频率分布逐月变化

Fig. 2 Monthly variations in body length frequency distribution for *P. hyalocranius* (a) and *N. taihuensis* (b) in Hongze Lake

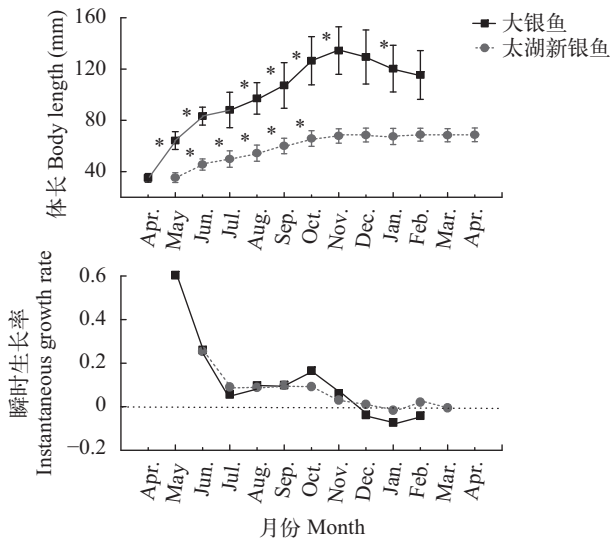


图 3 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼(不包括秋群)的体长与其瞬时生长率的逐月变化(误差线代表标准差; \*表示两个相邻月份间体长差异显著,  $P < 0.05$ )

Fig. 3 Monthly fluctuations in body length and its instantaneous growth rate for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* in Hongze Lake (Error bars represent  $\pm$  standard deviation; \* indicates significant difference in body length between two adjacent months,  $P < 0.05$ )

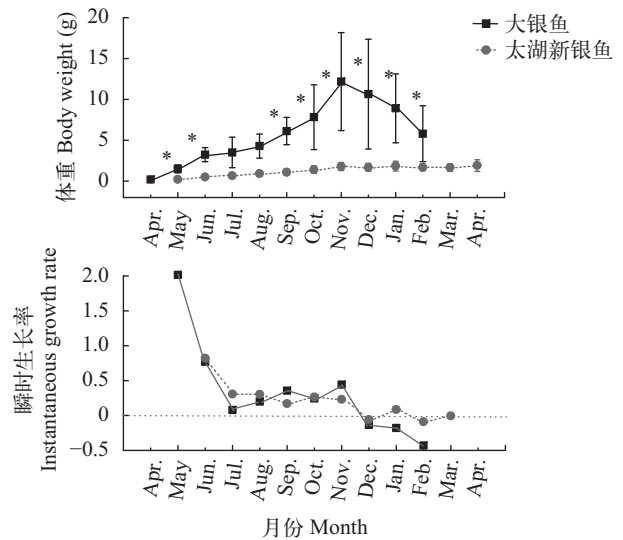


图 4 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼(不包括秋群)的体重与其瞬时生长率的逐月变化(误差线代表标准差; \*表示两个相邻月份间体重差异显著,  $P < 0.05$ )

Fig. 4 Monthly fluctuations in body weight and its instantaneous growth rate for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* in Hongze Lake (Error bars represent  $\pm$  standard deviation; \* indicates significant difference in body weight between two adjacent months,  $P < 0.05$ )



表1 三种生长方程对大银鱼和太湖新银鱼生长拟合的方程参数

Tab. 1 Estimated parameters of three different growth functions for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* in Hongze Lake

参数Parameter	大银鱼 <i>P. hyalocranius</i>			太湖新银鱼 <i>N. taihuensis</i>		
	Logistic GF	Gompertz GF	VBGF	Logistic GF	Gompertz GF	VBGF
$L_{\infty}$ (mm)	145.86	153.63	173.35	66.82	67.24	67.87
$K$	5.013	3.536	1.972	5.386	4.569	3.748
$t_0$ (year)	0.376	0.290	0.092	0.124	0.054	-0.042
AIC	7237.47	7220.83	7202.66	12424.96	12428.04	12432.73

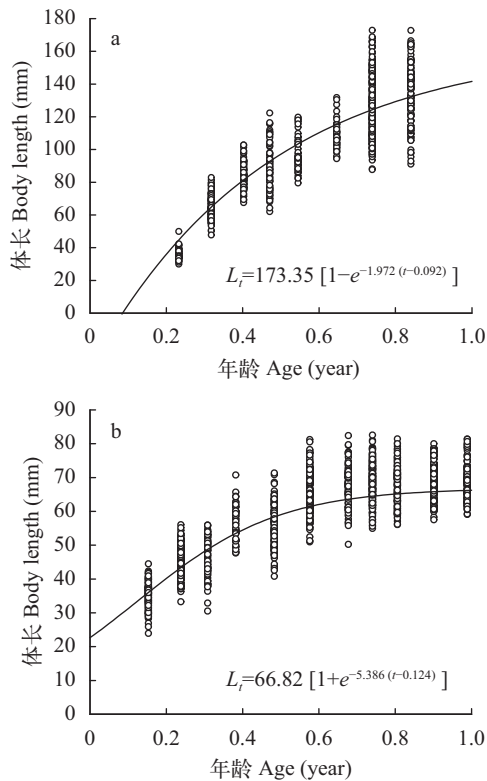


图5 洪泽湖大银鱼(a)和太湖新银鱼(b)的最适生长方程曲线  
Fig. 5 The most fitted growth functions for *P. hyalocranius* (a) and *N. taihuensis* (b) in Hongze Lake

## 2.4 平衡产量模型分析

使用以上获得的生长、繁殖和死亡等相关参数(表2), 分别构建了大银鱼和太湖新银鱼单位补充量渔产量随开捕年龄(图6a)和捕捞死亡系数(图6b)变化的曲线。结果显示, 大银鱼和太湖新银鱼的单位补充量渔产量均随开捕年龄的增大呈先升后降的倒U型曲线关系。当大银鱼开捕年龄 $t_c=0.525$  year时, 能够取得相应最大的单位补充量渔产量 $Y_{\max}=1.078$  kg, 开捕年龄过早或过晚均不能获得足够的渔产量。就洪泽湖当前渔业管理模式来说, 大银鱼的开捕年龄约为0.538 year, 略大于 $t_c$ , 此时的单位补充量渔产量 $Y=1.077$  kg, 接近 $Y_{\max}$ 。当太湖新银鱼开捕年龄 $t_c=0.525$  year时, 能够取得相应的最大的单位补充量渔产量 $Y_{\max}=0.684$  kg。就当前

表2 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼平衡产量模型和单位补充量产卵群体生物量模型参数

Tab. 2 Growth and mortality parameters fitted into the equilibrium output model and SBR model for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* in Hongze Lake

参数Parameter	大银鱼 <i>P. hyalocranius</i>	太湖新银鱼 <i>N. taihuensis</i>
$a$	$1.082 \times 10^{-6}$	$2.113 \times 10^{-6}$
$b$	3.279	3.215
$K$	1.972	5.386
$L_{\infty}$ (mm)	173.35	66.82
$W_{\infty}$ (g)	23.75	1.56
$t_0$ (year)	0.092	0.124
$Z$ (/year)	11.875	8.152
$M$ (/year)	3.292	1.146
$F$ (/year)	8.583	7.006
$t_{\max}$ (year)	1	1
$L_m$ (mm)	99.9	61.1
$T_m$ (year)	0.528	0.564
$t_c$ (year)	0.538	0.365

渔业管理模式来说, 太湖新银鱼的开捕年龄约为0.365 year, 此时的单位补充量渔产量 $Y=0.607$  kg <  $Y_{\max}$ 。将开捕时间向后推移20d (即8月29日), 即大银鱼和太湖新银鱼的开捕年龄分别为0.593 year和0.420 year时, 能够获得最大的总单位补充量渔产量1.708 kg。

大银鱼和太湖新银鱼的单位补充量渔产量均先随捕捞死亡系数的增加而快速增高, 当捕捞死亡系数增大到一定程度后, 渔产量上升速度减慢, 之后不再升高甚至出现下降趋势。大银鱼捕捞死亡系数 $F=24.38$ /year时, 获得最大单位补充量渔产量 $Y_{\max}=1.114$  kg; 当前洪泽湖大银鱼捕捞死亡系数为8.583/year, 相应渔产量 $Y=1.077$  kg, 接近 $Y_{\max}$ 且尚未开发过度。太湖新银鱼捕捞死亡系数 $F=4.72$ /year时, 获得最大的单位补充量渔产量 $Y_{\max}=0.616$  kg; 而当前洪泽湖太湖新银鱼捕捞死亡系数为7.006/year, 已大于最适捕捞强度, 且相应的渔产量 $Y=0.607$  kg, 小于 $Y_{\max}$ 。

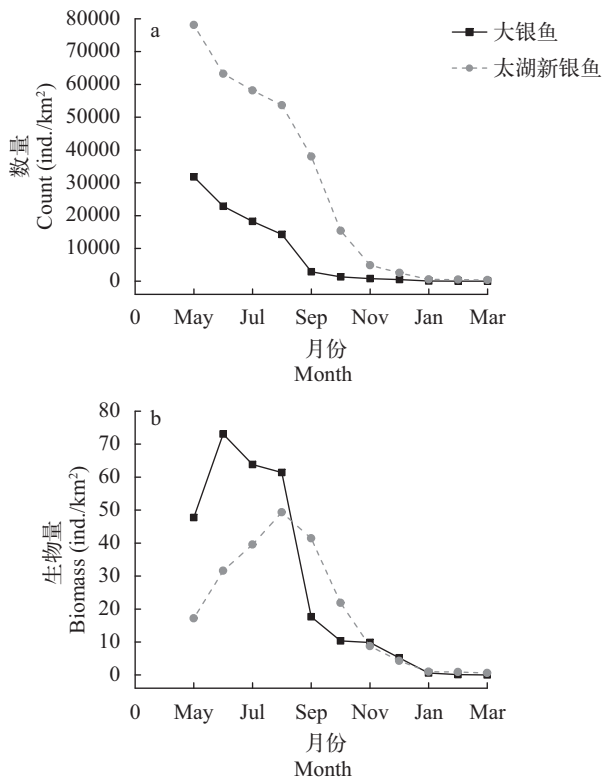


图6 洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼(春群)单位水域面积(1 km<sup>2</sup>)渔获物数量(a)和生物量(b)的逐月变动

Fig. 6 Monthly variations in number of individuals (a) and biomass (b) for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* harvested across an area of 1 km<sup>2</sup> by trawl in Hongze Lake

4月之前2种银鱼的个体小、渔获数量少,均未计算CPUE

In April, size of both species was small, and numbers of catch for both species was very low. Thus, data in April was not included

## 2.5 基于SBR模型分析的资源状况评价

使用以上获得的生长、繁殖和死亡等相关参数(表2),分别构建了2种不同渔业管理方案下大银鱼和太湖新银鱼种群的SBR随捕捞死亡系数变动的曲线:

方案1: 洪泽湖现行的渔业管理方式。8月9日—12月31日为捕捞期,同时5月可对银鱼资源进行为期1周的捕捞。

方案2: 假定对两种银鱼的捕捞强度不发生变化(即 $F$ 恒定),将开捕时间向后推迟20d,8月29日—12月31日为捕捞期,同时取消5月为期1周的捕捞。

大银鱼在当前渔业管理方案1下,相对于未开发状态(100%),SBR残存量为20.234%,即3.326 g,接近于补充型过度捕捞评价阈值20%,种群有可能因产卵亲体不足而导致资源衰退;在方案2下,SBR残存量相当于未开发状态的36.721%,即6.036 g,远大于补充型过度捕捞评价阈值20%,大银鱼渔业资源和产卵群体得到了较好的保护(图7)。在2种不

同管理方案下,太湖新银鱼SBR残存量分别相当于未开发状态的7.503%和12.862%,即0.972 g和1.666 g(图8)。在优化的管理方案2下,太湖新银鱼的产卵亲体资源虽然得到了一定程度的保护,但其渔业资源仍处于补充型过度捕捞水平。

## 3 讨论

### 3.1 大银鱼和太湖新银鱼的阶段性生长差异

鱼类的生长具有阶段性,生活史的不同阶段,个体的生理特征、食性以及环境因素等差异,会引起生长速度的改变<sup>[24, 25]</sup>。本研究发现,洪泽湖大银鱼存在2个快速生长阶段,分别在4—6月和8—11月间。鱼类一般在早期生活史阶段和性成熟前体长生长较快<sup>[26]</sup>,这一阶段的快速生长可能是鱼类维持种群数量的一种生态适应方式,有利于降低其被捕食的压力、快速达到性成熟体长<sup>[27, 28]</sup>。洪泽湖大

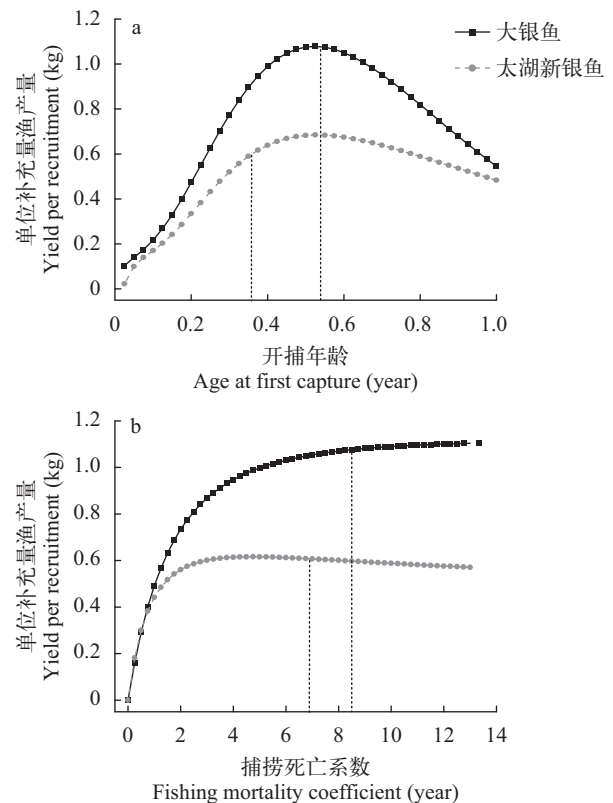


图7 平衡产量模型估算的洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼单位补充量渔产量随开捕年龄(a)和捕捞死亡系数(b)变化的曲线

Fig. 7 Relationships of yield per-recruitment to the age at first capture (a) and fishing mortality coefficient (b) estimated from the equilibrium output mode for *P. hyalocranius* and *N. taihuensis* in Hongze Lake

垂直虚线表示当前捕捞管理模式下2种银鱼的开捕年龄和捕捞死亡系数

The dotted vertical lines locate the current age at first capture (a) and fishing mortality (b) for both species

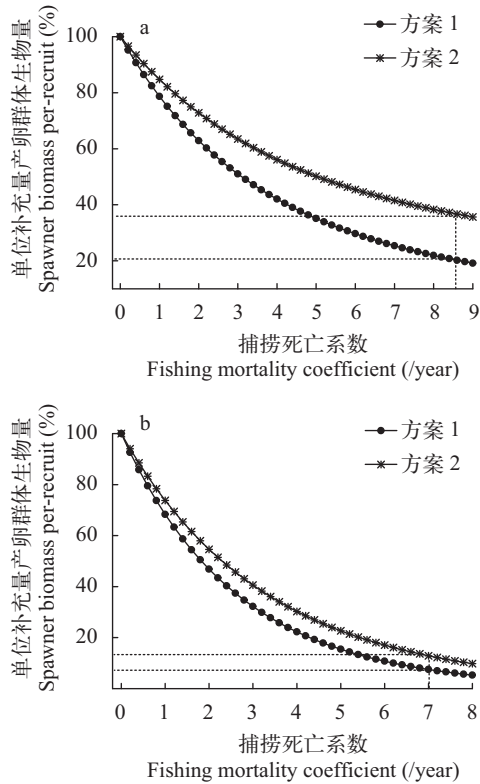


图8 两种不同捕捞管理方案下洪泽湖大银鱼(a)和太湖新银鱼(b)单位补充量产卵群体生物量随捕捞死亡系数 $F$ 变化的曲线

Fig. 8 Relationships of spawner biomass per-recruitment to fishing mortality coefficients for *P. hyalocranius* (a) and *N. taihuensis* (b) under two different fishery management schemes in Hongze Lake

当 $F=0$ 时,大银鱼和太湖新银鱼单位补充量产卵群体生物量分别为16.44 g和12.95 g。捕捞管理方案1:洪泽湖现行的渔业管理方式,即8月9日—12月31日为捕捞期,同时5月可对银鱼资源进行为期1周的捕捞;捕捞管理方案2:假定对两种银鱼的捕捞强度不变,将开捕时间向后推迟20d,即8月29日—12月31日为捕捞期,同时取消5月为期1周的捕捞。虚线示两种管理方案下对应的捕捞死亡系数

The spawner biomass per-recruitment at  $F=0$  is 16.44 g for *P. hyalocranius* and 12.95 g for *N. taihuensis*. Fishery management scheme 1 is the current status, with fishing season of one week in Mid-May and between August 9 and December 31; the scheme 2 is an adjusted status, with fishing season between August 29 and December 31. The dotted vertical lines represent the corresponding fishing mortality coefficients under these two fishery management schemes

银鱼繁殖期在12—2月(作者未发表数据),4—6月间的第一个快速生长阶段,在个体性成熟之前;同时,该时期水体温度逐步上升,初级生产力升高,水体中浮游动物等大银鱼的主要饵料生物丰富,是这一阶段大银鱼快速生长的营养保障<sup>[29]</sup>。8—11月间第二阶段快速生长可能主要源于大银鱼的食性转化。唐富江发现兴凯湖大银鱼的体长大于60 mm以后,逐渐由摄食浮游动物转为摄食鱼虾类<sup>[30]</sup>;本

文作者也发现,自8月起虾类和鱼类逐渐取代枝角类和桡足类成为洪泽湖大银鱼的主要食物(作者未发表数据)。鱼虾类相对于浮游动物而言具有体积大、能量高、动物蛋白丰富等特点,更易于被鱼类吸收和利用,作为生长和繁殖的能量供应<sup>[31]</sup>。因此,大银鱼在8—11月的快速生长很可能是因为有更多的能量来源投入到生长中。12月后,大银鱼种群体长和体重均表现为负增长,这可能与其进入繁殖期后大个体较早的繁殖和死亡有关<sup>[32]</sup>,需进一步研究确证。

太湖新银鱼个体相对较小,其体长在5—10月呈快速持续生长状态,无明显阶段性。太湖新银鱼终生摄食浮游动物,与大银鱼不同,没有明显的食性转化<sup>[33]</sup>。太湖新银鱼这一食性特点可能是其生长过程没有明显阶段性的主要原因。11月以后,太湖新银鱼个体体长无明显的增长趋势。洪泽湖太湖新银鱼繁殖季节主要在3—4月,11月之后,繁殖季节前,是性腺发育能量积累的主要阶段<sup>[34]</sup>。因此,能量投入到性腺发育中,可能是太湖新银鱼11月后体长停止增长的重要原因。

### 3.2 洪泽湖银鱼资源利用评估与管理

鱼类种群可提供渔获量的多少取决于种群数量、生长、存活、开捕年龄和捕捞强度等,其中仅有捕捞强度(捕捞死亡系数)和初次捕捞年龄(初次开捕体长)能够被人为控制,因此渔业管理中常通过调整这两个因素以获取最大可持续渔产量<sup>[6]</sup>。依据平衡产量模型分析,洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼在当前捕捞强度下的渔产量均已接近其资源群体所能提供的最大渔产量,调整捕捞强度对进一步提高渔产量的影响不大;而调整2种银鱼的初次开捕年龄,更有利于获得较高的总渔产量。

在洪泽湖当前的捕捞管理方式下,大银鱼和太湖新银鱼的SBR残存量分别为未开发状态的20.23%和7.50%,表明对2种银鱼的捕捞均处于补充型过度捕捞水平,且太湖新银鱼捕捞后的SBR残余量已远低于种群崩溃的警戒线。由此看来,较大的捕捞强度和补充型过度捕捞,可能是导致近年来洪泽湖大银鱼和太湖新银鱼资源波动明显的重要原因。因此,很有必要对洪泽湖当前银鱼资源捕捞管理方式进行优化,避免过度捕捞的发生。

本研究构建平衡产量模型时发现,将洪泽湖银鱼开捕时间推迟20d可获得大银鱼和太湖新银鱼的最大总渔产量。在渔业管理中,这种开捕时间的推迟也将影响最终捕捞后的产卵亲体生物量<sup>[8,9]</sup>。对洪泽湖的银鱼捕捞管理方式进行优化后,大银鱼的SBR残存量提高至未开发状态的36.72%,既满足了

获得最高渔产量的需求, 又不会带来太大的渔业风险; 优化管理后太湖新银鱼的SBR残存量亦提高至未开发状态的12.86%。可见, 优化的渔业管理方式实现了获取最高渔产量和保护产卵亲体资源上的“双赢”。同时也应注意到, 优化的渔业管理方案对大银鱼产卵群体的保护作用更为显著; 在未改变当前捕捞强度的情况下, 尽管太湖新银鱼在捕捞后的产卵亲体资源量也得到了一定程度的提升, 但依然低于补充型过度捕捞评价阈值20%, 故还需减小对太湖新银鱼的捕捞强度。因此, 针对洪泽湖太湖新银鱼的渔业资源管理, 在延迟开捕时间的基础上, 建议还可以通过限制渔获物的起捕体长、增大捕捞网具的网目规格等方式控制捕捞强度, 同时可采取人工放流等措施提高其下一代的资源补充能力, 以避免种群资源的进一步衰退。

#### 参考文献:

- [1] Xie Y H, Xie H. Classification, distribution and population ecology of Salangidae fishes [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1997, **10**(2): 11—19 [解玉浩, 解涵. 银鱼科鱼类的分类分布和种群生态. 水产学杂志, 1997, **10**(2): 11—19]
- [2] Qin W. Discussion on the present situation and development for icefishes transplanting to lakes and reservoirs in China [J]. *Fisheries Science and Technology Information*, 1994, **21**(4): 156—158 [秦伟. 我国湖泊水库银鱼移植现状及渔业发展的探讨. 水产科技情报, 1994, **21**(4): 156—158]
- [3] Ge Z Q, Zhu J, Shen Q Z, et al. A study on status and prospective of *Protosalanx hyalocranius* (Abbott) transplanting technique [J]. *Modern Fisheries Information*, 2001, **16**(7): 13—16 [戈志强, 朱江, 沈其璋, 等. 关于大银鱼 *Protosalanx hyalocranius* (Abbott) 移植现状及其发展前景的探讨. 现代渔业信息, 2001, **16**(7): 13—16]
- [4] Gu L W. The status of Taihu Lake icefish transplant In China [J]. *Modern Fisheries Information*, 1998, **13**(9): 23—25 [顾良伟. 我国太湖银鱼移植现状. 现代渔业信息, 1998, **13**(9): 23—25]
- [5] Qin J H, Xie P, Xu J. The growth features of *Neosalanx taihuensis* in Lake Fuxian and its fisheries utilization [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(2): 352—354 [覃剑晖, 谢平, 徐军. 抚仙湖太湖新银鱼的生长特性及其渔业利用. 水生生物学报, 2009, **33**(2): 352—354]
- [6] Zhan B Y. Fish Stock Assessment [M]. China Agriculture Press. 1995, 141—323 [詹秉义. 渔业资源评估. 中国农业出版社. 1995, 141—323]
- [7] Huang Z L, Chang J B. Can icefish (*Salangidae*) production be predicted [J]? *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(1): 86—93 [黄真理, 常剑波. 银鱼的产量能预报吗?. 生态学报, 2001, **21**(1): 86—93]
- [8] Booth A J, Buxton C D. Management of the panga *Pterogymnus laniarius* (Pisces: Sparidae) on the Agulhas Bank, South Africa using per-recruit models [J]. *Fisheries Research*, 1997, **32**(1): 1—11
- [9] Govender A, Al-Oufi H, McIlwain J L, et al. A per-recruit assessment of the kingfish (*Scomberomorus commerson*) resource of Oman with an evaluation of the effectiveness of some management regulations [J]. *Fisheries Research*, 2006, **77**(2): 239—247
- [10] Caddy J. A Short Review of Precautionary Reference Points and Some Proposals for Their Use in Data-poor Situations [M]. Food and Agriculture Origination. 1998, 8—22
- [11] Feng B, Hou G, Wang X F. Research on length-based yield per recruit and spawning-biomass per recruit of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf [J]. *Journal of Tropical Organisms*, 2011, **1**(4): 362—366 [冯波, 侯刚, 王学锋. 基于体长的北部湾带鱼单位补充量亲体量研究. 热带生物学报, 2011, **1**(4): 362—366]
- [12] Ricker W E. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations [M]. Dept. of Fisheries and Oceans, Canada. 1987, 175—178
- [13] Xie C X, Wang M X, Jin H. Study on the growth characteristics of *Culter erythropterus* in Baoan Lake [J]. *Resources Environment and Fishery Ecological Management of Macrophytic Lakes*, 1995, **281**: 266—271 [谢从新, 王明学, 金晖. 保安湖红鳍原鲃生长特性的研究. 草型湖泊资源, 环境与渔业生态学管理 (一), 1995, **281**: 266—271]
- [14] Lin L S, Cheng J H, Ling J Z, et al. First capture sizes of major commercial fishes in the East China Sea Region [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, **13**(2): 250—256 [林龙山, 程家骅, 凌建忠, 等. 东海区主要经济鱼类开捕规格的初步研究. 中国水产科学, 2006, **13**(2): 250—256]
- [15] Lin M L, Zhang T L, Ye S W, et al. Status of fish resources, historical variation and fisheries management strategies in Hongze Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(6): 1118—1127 [林明利, 张堂林, 叶少文, 等. 洪泽湖鱼类资源现状、历史变动和渔业管理策略. 水生生物学报, 2013, **37**(6): 1118—1127]
- [16] Sun G Y. On the maturity of the female gonads and the type of spawning of the icefish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1985, **9**(4): 363—368 [孙帼英. 大银鱼卵巢的成熟期和产卵类型. 水产学报, 1985, **9**(4): 363—368]
- [17] Wu L. Comparative study on life history strategy of introduced *Neosalanx taihuensis* at different latitudes [D].



- Thesis for Doctor of Science, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2012 [吴朗. 太湖新银鱼不同纬度移殖种群生活史对策比较研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2012]
- [18] Yin M C. Ecology of Fishes [M]. China Agriculture Press. 1995, 53 [殷名称. 鱼类生态学. 中国农业出版社. 1995, 53]
- [19] Katsanevakis S. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty [J]. *Fisheries Research*, 2006, **81**(2): 229—235
- [20] Guan W J. The Application of R in Marine Fishery [M]. China Ocean Press. 2015, 164—173 [官文江. R语言在海洋渔业中的应用. 海洋出版社. 2015, 164—173]
- [21] Jensen A L. Comparison of catch-curve methods for estimation of mortality [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1985, **114**(5): 743—747
- [22] Taylor B M, McIlwain J L. Beyond abundance and biomass: effects of marine protected areas on the demography of a highly exploited reef fish [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2010, **411**(12): 243—258
- [23] Sparre P, Venema S C. Introduction to Tropical Fish Stock Assessment-Part 1: Manual [M]. Food and Agriculture Organization. 1998, 1—283
- [24] Marchant T A, Peter R E. Seasonal variations in body growth rates and circulating levels of growth hormone in the goldfish, *Carassius auratus* [J]. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 1986, **237**(2): 231—239
- [25] Bacon P J, Gurney W S C, Jones W, *et al.* Seasonal growth patterns of wild juvenile fish: partitioning variation among explanatory variables based on individual growth trajectories of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2005, **74**(1): 1—11
- [26] Fuiman L A, Werner R G. Fishery Science: the Unique Contributions of Early Life Stages [M]. Blackwell Science. 2002, 33—63
- [27] Dannewit J, Petersson E. Association between growth, body condition and anti-predator behavior in maturing and immature brown trout parr [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, **59**(4): 1081—1091
- [28] Stallings C D, Coleman F C, Koenig C C, *et al.* Energy allocation in juveniles of a warm-temperate reef fish [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, **88**(4): 389—398
- [29] Meekan M G, Carleton J H, McKinnon A D, *et al.* What determines the growth of tropical reef fish larvae in the plankton: food or temperature [J]? *Marine Ecology Progress Series*, 2003, **256**(1): 193—204
- [30] Tang F J, Liu W, Wang J L, *et al.* Diet composition and transition of clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius*) in Lake Xingkai [J]. *Zoological Research*, 2013, **34**(5): 493—498 [唐富江, 刘伟, 王继隆, 等. 兴凯湖大银鱼食物组成与食性转化. 动物学研究, 2013, **34**(5): 493—498]
- [31] Jauncey K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*) [J]. *Aquaculture*, 1982, **27**(1): 43—54
- [32] Zhang K X, Zhuang D D, Zhang L, *et al.* Biology study on the *Protosalanx hyalocranius* and its propagation in Hongze Lake [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1981, **5**(1): 29—39 [张开翔, 庄大栋, 张立, 等. 洪泽湖所产大银鱼生物学及其增值的研究. 水产学报, 1981, **5**(1): 29—39]
- [33] Liu Z W, Zhu S Q. Food and feeding behavior of ice-fish (*Neosalanx taihuensis* Chen) in Dianchi Lake [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1994, **40**(3): 253—261 [刘正文, 朱松泉. 滇池产太湖新银鱼食性与摄食行为的初步研究. 动物学报, 1994, **40**(3): 253—261]
- [34] McBride R S, Somarakis S, Fitzhugh G R, *et al.* Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies [J]. *Fish and Fisheries*, 2015, **16**(1): 23—57

## GROWTH, MORTALITY AND EVALUATION OF RESOURCE UTILIZATION FOR TWO SALANGIDAE, *PROTOSALANX HYALOCRANIUS* AND *NEOSALANX TAIHUENSIS* IN HONGZE LAKE

ZHAO Li-Shuang<sup>1,2</sup>, CHENG Fei<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1,3</sup>, WANG Xin<sup>4</sup>, ZHANG Sheng-Yu<sup>4</sup>, JIANG Gong-Cheng<sup>5</sup> and XIE Song-Guang<sup>1,3</sup>

(1. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Huai'an Research Center, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Huai'an 223002, China; 4. Hongze Lake Fisheries Administration Committee Office of Jiangsu Province, Huai'an 223002, China; 5. Huaiyin Normal University, Huai'an 223300, China)

**Abstract:** Two Salangidae, *Protosalanx hyalocranius* (Abbott, 1901) and *Neosalanx taihuensis* (Chen, 1956) were sampled monthly from July 2015 to June 2016 in Hongze Lake. Catch per Unit Effort (CPUE) was estimated for these two species as the number of individuals or weight of each species collected per km<sup>2</sup> of water area; growth and mortality parameters were estimated for both populations. The equilibrium output model was used to evaluate the appropriate onset timing of fishing to achieve the highest yield per-recruitment and to establish an optimized fishery management scheme. The spawner biomass per-recruitment (SBR) model was constructed to assess the fishing effects under two different fishery management schemes, the current one and the optimized one based on the equilibrium output model. Ranges of the body length and body weight for *P. hyalocranius* were 20.39—182.68 mm and 0.10—34.79 g, respectively; this fish had two rapid growth periods, from April to June and from August to November; the most fitted growth function was the von Bertalanffy equation,  $L_t=173.35 \times [1 - e^{-1.972(t-0.092)}]$ ; fishing mortality and natural mortality coefficients for the population were estimated as 8.583/year and 3.292/year, respectively. Ranges of the body length and body weight for *N. taihuensis* were 20.4—82.7 mm and 0.04—3.40 g, respectively; this fish showed a relatively constant growth rate from April through November; the most fitted growth function was the Logistic equation,  $L_t=66.82/[1 + e^{-5.386(t-0.124)}]$ ; fishing mortality and natural mortality coefficients for the populations were estimated as 7.006/year and 1.146/year, respectively. The current fishing management protocol on Salangidae in Hongze Lake has a banned fishing season between January 1 and August 8. Fishing is open for one week in mid-May. The equilibrium output model showed that the sum of yield per-recruitment for both species could reach the highest value when the banned fishing season is extended for 20 days, with the closure of one week fishing period in May and the onset of fishing period on August 29. Results of the SBR model showed that the SBR residues for *P. hyalocranius* were 20.23% and 36.72% of the unexploited state under the current protocol and the adjusted protocol, respectively, and those for *N. taihuensis* were 7.50% and 12.86%, respectively. In conclusion, the adjusted management protocol could effectively reduce fishing pressure for *P. hyalocranius*, but not for *N. taihuensis*.

**Key words:** Salangidae; Growth; Mortality; Equilibrium output model; SBR; Evaluation; Hongze Lake