

# 三角帆蚌幼蚌贝壳形态及体重生长规律

张根芳<sup>①</sup> 张文府<sup>②</sup> 方爱萍<sup>③</sup>

① 金华职业技术学院 金华 321007; ② 金华市九色珍珠研究所 金华 321017; ③ 金华市威旺养殖新技术有限公司 金华 321017

**摘要:** 为了掌握三角帆蚌幼蚌贝壳形态及体重的生长规律, 采用模型拟合的方法研究了三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 幼蚌一个生长周期内 4 个贝壳性状形态及体重性状的生长规律。结果显示, 三角帆蚌幼蚌的贝壳形态与体重的增长过程均遵循 Logistic 生长模型。运用 Levenberg-Marquardt 迭代法估计出生长模型中的 3 个生长参数, 得到在观测周期内各性状的生长极限值分别为, 壳长 9.216 cm、壳高 4.985 cm、壳宽 2.212 cm、全高 8.262 cm、体重 75.240 g; 各性状的快速生长区间分别为壳长 2.211 ~ 5.181 月龄、壳高 2.107 ~ 5.363 月龄、壳宽 2.712 ~ 5.470 月龄、全高 2.294 ~ 5.026 月龄、体重 4.247 ~ 8.065 月龄, 可见体重具有明显的生长延缓现象。各性状的瞬时增长率曲线均呈钟型, 先增大到达生长拐点后又逐渐减小; 瞬时增长加速度曲线为倒 S 型曲线, 有最高和最低点; 相对增长率在养殖初期最大, 然后随着生长逐渐下降。上述结果可为三角帆蚌的养殖生态及选择育种提供参考。

**关键词:** 三角帆蚌; 形态学; 体重; 增长率; Logistic 生长模型

**中图分类号:** Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 05-760-09

## Growth Pattern of Shell Morphology and Body Weight of Young *Hyriopsis cumingii*

ZHANG Gen-Fang<sup>①</sup> ZHANG Wen-Fu<sup>②</sup> FANG Ai-Ping<sup>③</sup>

① *Jinhua Polytechnic, Jinhua 321007*; ② *Jinhua Jewel Pearl Institute, Jinhua 321017*; ③ *Jinhua Wellwant New Aquaculture Te. Co., Ltd., Jinhua 321017, China*

**Abstract:** In order to understand the growth pattern of shell morphology and body weight of young *Hyriopsis cumingii* cultured in cage, the non-linear growth models, Logistic, was used to describe the 4 morphological traits and body weight of young *H. cumingii* (Fig. 1). The results showed that the growth of young *H. cumingii* conformed to the Logistic growth model. Three growth parameters of the Logistic growth model were estimated by Levenberg-Marquardt iteration method, and the growth limits of the morphology and weight traits of the young *H. cumingii* were obtained in the observation cycle. They were 9.216 cm for shell length, 4.985 cm for shell height, 2.212 cm for shell width, 8.262 cm for height and 75.240 g for weight, respectively (Table 1). The cumulative growth of 4 morphological traits and body weight overall appeared first quick back slow trend (Fig. 2 - 4). The fastest growth intervals of the morphology and weight traits were,

**基金项目** 国家贝类产业技术体系项目 (No. CARS-49), 浙江省自然科学基金项目 (No. LY13C190004);

**第一作者介绍** 张根芳, 男, 教授; 研究方向: 淡水珍珠技术; E-mail: fishman666@163.com。

收稿日期: 2017-12-14, 修回日期: 2018-07-03 DOI: 10.13859/j.cjz.201805011

shell length 2.211 - 5.181 months, shell height 2.107 - 5.363 months, shell width 2.712 - 5.470 months, height 2.294 - 5.026 months and weight 4.247 - 8.065 months, respectively (Table 2). The weight had obvious growth retardation phenomenon. The instantaneous growth rate curve of all traits was bell shaped (Fig. 5), and it increased to growth inflexion point first and then it decreased gradually. The instantaneous growth acceleration curve was inverse "S" type curve (Fig. 6), and it had the highest point and the lowest point. The relative growth rate at the beginning of farming was highest, and then gradually decreases (Fig. 7). These results will provide theoretical guidance for ecological research and selective breeding, and provide reference for freshwater pearls grafting and culturing.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; Morphology; Body weight; Growth rate; Logistic growth model

三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 以其所产珍珠质量高、生长速度快而成为我国目前最主要的淡水养殖珍珠蚌(张根芳等 2013, Zhang et al. 2016)。自从三角帆蚌实现人工养殖以来,从繁殖育苗、稚蚌与幼蚌培育,到手术操作、育珠蚌养殖等,已经形成了阶段分明的生产环节。其中,幼蚌培育阶段是整个珍珠养殖生产过程中十分重要的阶段。网箱培育幼蚌的生长速度,对插片培育无核珍珠以及培育大规格有核珍珠手术蚌,起到至关重要的作用。因此,研究人工养殖状态下幼蚌的生长发育规律,对淡水珍珠培育生产具有重要的实际意义。

有关三角帆蚌稚蚌期以及育珠期生长情况的研究已有一些报道,如张佳康等(2017)对三角帆蚌稚蚌期饵料与底质等对其生长的影响进行了研究;张根芳等(2008)对育珠期三角帆蚌各性状间的增长关系以及与珍珠增长的关系进行了研究,并建立了线性关系式;另外,王小冬等(2006)对育珠期不同放养和管理模式对三角帆蚌生长的影响开展了研究;高吉华等(2007)对育珠期吊养深度对三角帆蚌生长的影响进行了研究。而对幼蚌期三角帆蚌各性状生长规律的研究尚无详细报道。本文运用生长模型拟合的方法对三角帆蚌幼蚌在网箱培育条件下贝壳形态及体重的增长进行了研究,得到了其生长参数并建立了生长模型方程,旨在掌握三角帆蚌在幼蚌期各性状的增长规律,为淡水珍珠养殖生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

用于实验的三角帆蚌幼蚌来源于金华市威旺养殖新技术有限公司,养殖在该公司试验基地的6#养殖塘(29°02'22.7"N, 119°21'51.1"E)。养殖密度为每个方形网箱(40 cm × 40 cm × 12 cm)放养幼蚌 100 只,吊养深度为 30 ~ 40 cm。实验开始于 2015 年 7 月 10 日,到 2016 年 6 月 10 日结束,期间对养殖塘进行定期施肥管理。

### 1.2 数据测量方法

在幼蚌出池时(2015 年 7 月 10 日)进行第一次测量,以后每月 10 日进行一次测量(2016 年 2 月份数据缺失)。每次测量时先随机抽取 2 个网箱,再从中随机抽取 60 只幼蚌,将其贝壳表面的泥污清洗干净后用于测量。用游标卡尺(精度为 ±0.02 mm,上匠 SJ-455520,海宁上匠工具有限公司)测量幼蚌的壳长(shell length,  $L_S$ )、壳高(shell height,  $H_S$ )、壳宽(shell width,  $W_S$ )和全高(height,  $H$ )等 4 项贝壳形态性状(图 1),用电子天平(精度为 ±0.1 g,万特 WT-1002,杭州万特衡器有限公司)称量其体重(body weight,  $W_B$ )。

### 1.3 生长模型

本文采用 Logistic 生长模型拟合三角帆蚌幼蚌贝壳形态及体重的生长规律(Wu et al. 2002, Darmani et al. 2003),其公式为  $y = B/(1 + ae^{-kt})$ ,式中,  $y$  (cm 或 g) 为拟合的性状在  $t$  (月)时间的实测值,参数  $B$  (cm 或 g) 为该

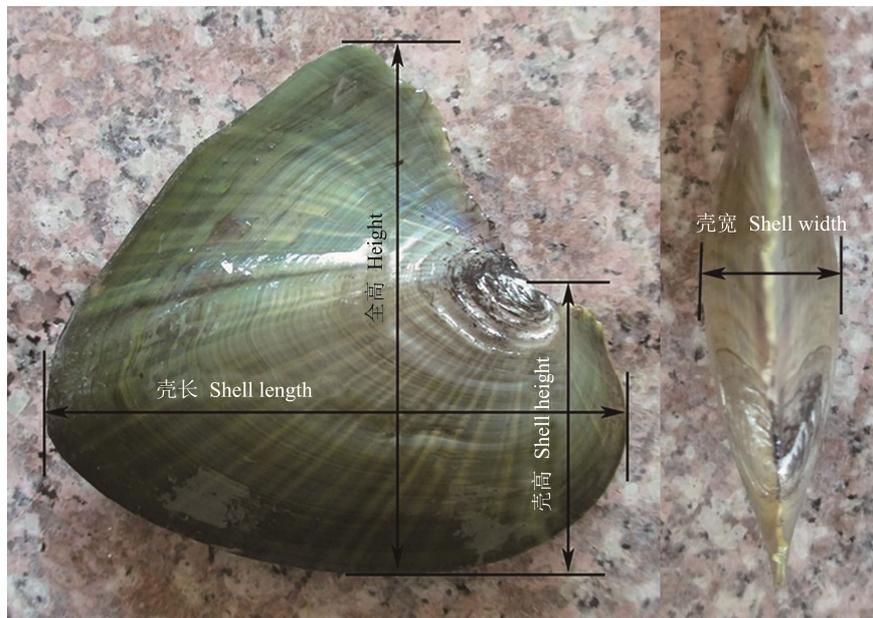


图1 三角帆蚌幼蚌贝壳形态性状测量图

Fig. 1 Illustration of shell morphology measurement of young *Hyriopsis cumingii*

性状在观测周期内的生长极限，参数  $a$  为增长初始值参数，经变换 ( $\ln a/k$ ) 后可转化为该性状达到最快生长状态 ( $B/2$ ) 时所需的时间，参数  $k$  为该性状的最大可能生长速率， $t$  为时间 (月)。

#### 1.4 参数估计方法

用统计软件 Origin Pro V.8.0 统计分析各性状数据。使用 Levenberg-Marquardt 迭代法估计生长参数，迭代精度设为  $10^{-9}$ ，即当各待估生长参数前后两次迭代结果的相对误差与误差平方和的相对误差都小于  $10^{-9}$  时，迭代运算结束，以收敛结果作为参数的最终估计值。根据经验及三角帆蚌的实际生长情况，模型中生长参数初始值预设  $B = 10$ 、 $a = 1$ 、 $k = 0.5$ 。

累积增长指某次测定以前某性状的生长发育的累积结果。瞬时增长率是求解生长模型的一阶导数，而瞬时增长加速度是求解生长模型的二阶导数。相对增长率是将瞬时增长率除以相应时间点的性状值。

## 2 结果

### 2.1 生长模型的参数估计与拟合

使用 Logistic 生长模型，拟合三角帆蚌幼蚌不同形态及体重性状的参数估计值与模型拟合精度 (表 1)。贝壳形态拟合模型的均方根误差 (root mean square error, RMSE) 均非常小，拟合度均大于 0.90， $F$  值均具有统计学意义 ( $P < 0.001$ )；体重的均方根误差相对稍大，拟合度大于 0.85，模型方差分析 (ANOVA) 的  $F$  值具有统计学意义 ( $P < 0.001$ )。表明三角帆蚌幼蚌贝壳形态与体重的增长过程均遵循 Logistic 生长模型。根据表 1 中给出的各参数估计值，可得到各性状的生长方程。

### 2.2 贝壳形态及体重的累积生长曲线

三角帆蚌幼蚌贝壳形态及体重的累积生长曲线见图 2~4。贝壳形态性状壳长、壳高、壳宽和全高的增长趋势几乎一致，2 月龄到 5 月龄增长迅速，几乎呈直线增长，之后的增长速度逐渐放缓；而且各性状的实测数据与模型预测数据的拟合度很高，两者的图形几乎完全重合。体重性状的实测数据与模型预测数据的拟合度相对较差，其增长趋势为 4 月龄以前增长

表 1 Logistic 生长模型的参数估计与拟合结果  
Table 1 Parameter estimates and fitting results of Logistic growth model to data

性状 Trait	参数 Parameter	估计 Estimate	标准误差 Standard error	95% 置信区间 95% confidence interval		均方根误差 Root mean square error	拟合度 $R^2$ Fitting $R^2$	模型 $F$ 值 Model $F$ value	显著性 Significance
				下限 Lower bound	上限 Upper bound				
壳长 Shell length $L_s$	$B$	9.261	0.034	9.196	9.327				
	$a$	26.532	1.819	22.961	30.103	0.575	0.954	40 858.029	$P < 0.001$
	$k$	0.887	0.018	0.851	0.923				
壳高 Shell height $H_s$	$B$	4.985	0.022	4.941	5.028				
	$a$	20.526	1.532	17.518	23.534	0.366	0.935	28 665.725	$P < 0.001$
	$k$	0.809	0.020	0.770	0.848				
壳宽 Shell width $W_s$	$B$	2.212	0.010	2.192	2.232				
	$a$	49.726	4.869	40.164	59.287	0.174	0.942	24 446.172	$P < 0.001$
	$k$	0.955	0.024	0.907	1.002				
全高 Height $H$	$B$	8.262	0.031	8.200	8.323				
	$a$	34.069	2.720	28.727	39.410	0.552	0.948	35 834.025	$P < 0.001$
	$k$	0.964	0.022	0.921	1.007				
体重 Body weight $W_B$	$B$	75.240	0.917	73.440	77.041				
	$a$	69.946	12.417	45.565	94.327	10.886	0.867	5 044.816	$P < 0.001$
	$k$	0.690	0.032	0.628	0.752				

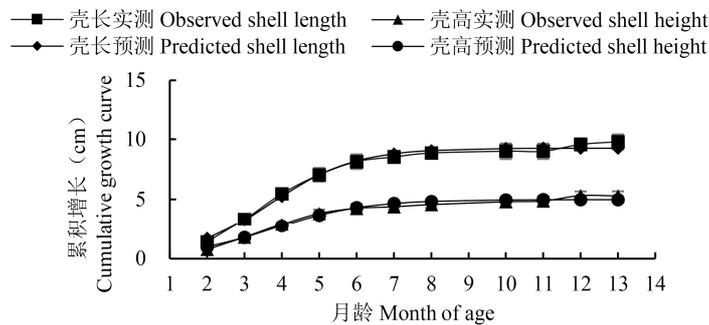


图2 壳长、壳高的累积生长曲线

Fig. 2 Cumulative growth curve of shell length and shell height

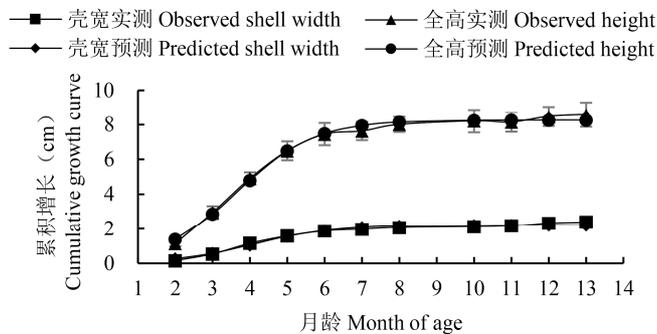


图3 壳宽、全高的累积生长曲线

Fig. 3 Cumulative growth curve of shell width and height

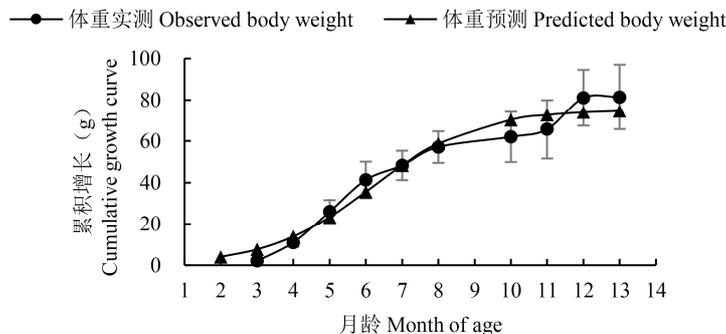


图4 体重的累积生长曲线

Fig. 4 Cumulative growth curve of body weight

缓慢, 4月龄到8月龄为快速增长期, 8月龄之后增长又逐渐放缓。

### 2.3 贝壳形态性状及体重的快速生长区间与生长拐点

表2给出了三角帆蚌幼蚌各形态性状及体重的生长始速点、终速点及生长拐点。各形态性状进入始速点、生长拐点及终速点的时间虽

然稍有差异但是大体一致, 而体重性状进入各点的时间相对形态性状很滞后。体重性状进入始速点、生长拐点的时间比形态性状延缓大约2个月, 而进入终速点的时间要延缓大约3个月, 这是一种明显的生长延缓现象。各性状快速生长区间的时间长短, 壳长为2.97月、壳高为3.26月、壳宽为2.76月、全高为2.73月、

体重为 3.82 月, 体重的快速生长时间最长而全高的快速生长时间最短。

#### 2.4 贝壳形态性状及体重的瞬时增长率和瞬时增长加速度

各性状的瞬时增长率曲线均呈钟型, 其顶点即为生长拐点, 在拐点前各性状呈加速增长状态, 在拐点后各性状呈减速增长态势(图 5)。各性状瞬时增长加速度曲线为倒 S 型曲线(图 6), 其有一个最高点和一个最低点, 最高点时生长的加速度最大, 即为快速生长的始速点, 而最低点时生长的减速度最大, 即为快速生长的终速点。

#### 2.5 贝壳形态性状及体重的相对增长率

各性状的相对增长率由绝对增长率除以相应时间点的性状值而得到。各形态性状的相对

增长率变化趋势基本一致, 养殖初期最大, 然后随着时间的推移不断下降, 最后逐渐趋近于 0, 各形态性状的增长逐渐趋于停滞(图 7)。体重性状的相对增长率也呈逐渐下降趋势, 与形态性状的变化规律大体一致, 但其下降速度相对缓慢, 应该与其生长延缓有关(图 7)。

### 3 讨论

#### 3.1 三角帆蚌形态和体重性状生长规律的生物学意义

从三角帆蚌幼蚌各形态性状与体重的生长拐点与快速生长区间来看, 体重性状存在非常明显的生长延缓现象。壳长、壳高、壳宽和全高等 4 项形态性状基本上在 4 月龄左右达到生长拐点, 而体重性状要到 6 月龄达到生长拐点,

表 2 三角帆蚌幼蚌形态性状及体重的快速生长区间与生长拐点

Table 2 The fastest growth intervals and growth inflexion points of morphology and weight traits of young *Hyriopsis cumingii*

性状 Trait	始速点 Starting point		拐点 Inflection point		终速点 Ending point	
	时间(月)	性状值	时间(月)	性状值	时间(月)	性状值
	Time (month)	Trait value	Time (month)	Trait value	Time (month)	Trait value
壳长 Shell length $L_S$ (cm)	2.211	1.957	3.696	4.631	5.181	7.304
壳高 Shell height $H_S$ (cm)	2.107	1.053	3.735	2.493	5.363	3.932
壳宽 Shell width $W_S$ (cm)	2.712	0.468	4.091	1.106	5.470	1.745
全高 Height $H$ (cm)	2.294	1.746	3.660	4.131	5.026	6.516
体重 Body weight $W_B$ (g)	4.247	15.896	6.156	37.62	8.065	59.34

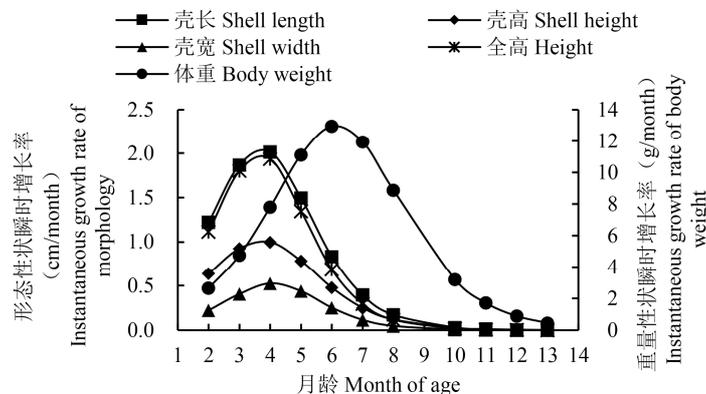


图 5 三角帆蚌幼蚌形态性状及体重的瞬时增长率

Fig. 5 The instantaneous growth rate of morphology and weight traits of young *Hyriopsis cumingii*

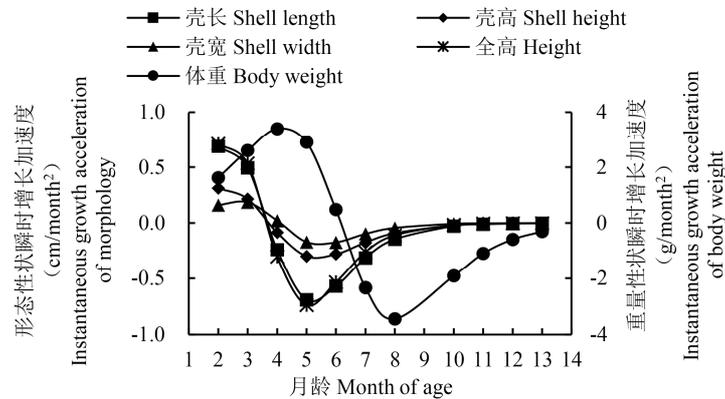


图 6 三角帆蚌幼蚌形态性状及体重的瞬时增长加速度

Fig. 6 The instantaneous growth acceleration of morphology and weight traits of young *Hyriopsis cumingii*

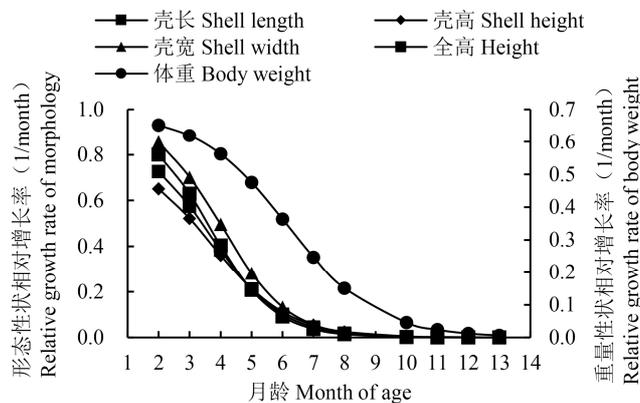


图 7 三角帆蚌幼蚌各形态性状及体重的相对增长率

Fig. 7 The relative growth rate of morphology and weight traits of young *Hyriopsis cumingii*

体重达到生长拐点的时间延缓 2 个月左右。体重的快速生长区间也比形态性状延缓 2 至 3 个月。这种部分性状生长提早或延缓的现象在双壳贝类中是大量存在的，如墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*) 的重量性状相对于形态性状存在生长延缓现象 (刘志刚等 2007, 王辉等 2007); 栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 的闭壳肌重量相对于贝壳的生长存在延缓 (蔡英亚等 1995); 大珠母贝 (*Pinctada maxima*) 的贝壳早期先增加大小, 后期主要增加厚度 (蔡英亚等 1995)。重量性状的生长延缓具有重要的生物学和生产意义。三角帆蚌贝壳形态性状生长提早, 先向外扩展使得贝壳体积迅速得到膨胀, 壳内容积相应拓展, 为软体

部的增长和壳厚的增加提供必要空间, 然后实现增重。

三角帆蚌稚蚌出池后进入幼蚌培育阶段, 此后的 12 个月内贝壳形态与体重性状的增长, 经过抽样测量统计分析, 用 Logistic 生长模型描述其贝壳形态与体重生长过程的拟合精度  $R^2$  均大于 0.85。虽然没有墨西哥湾扇贝 ( $R^2 > 0.98$ ) (刘志刚等 2007, 王辉等 2007)、马氏珠母贝 (*P. martensi*) ( $R^2 > 0.97$ ) (符世伟等 2008, 邬思荣等 2011) 等的拟合精度高, 但是也达到了相当高的程度, 根据该模型估计的 5 项性状的快速增长期及模型参数估计值都与实测情况相符。虽然考察性状累积增长与增长率各不相同, 但能够用 Logistic 生长模型较好地

描述三角帆蚌各考察性状增长规律。

### 3.2 体重增长延缓对育珠生产实践的指导作用

三角帆蚌幼蚌的生长发育关系到育珠生产的周期、珍珠的产量和质量, 一般情况下手术蚌的规格要求壳长达到 6 cm 以上。由于三角帆蚌幼蚌形态性状与重量性状生长发育时间不一致, 在育珠手术蚌选用时不仅要考虑壳长等形态性状的发育情况, 同时还要考虑体重性状, 让软体部与外套膜充分发育, 能够有效降低脱核率以及附壳珠、馒头珠的比例。由于瞬时增长率和体重性状延缓作用, 无论是外套膜无核、有核珍珠手术, 或内脏囊有核珍珠手术, 都必须充分考虑在体重生长积累到一定时期, 才能进行手术作业。结合本文结果, 4 月龄到 8 月龄的三角帆蚌幼蚌为体重快速增长期, 笔者认为在我国主要淡水珍珠产区, 幼蚌培育 6 个月龄以后手术才比较合适, 否则固核率低, 或贴壳珠多。

另外, 在幼蚌快速生长期应加强养殖管理, 注重水体有机养分和矿物质等配比, 优化养殖环境, 可满足幼蚌快速生长的生理需求。

### 3.3 模型生长参数对三角帆蚌选择育种的指导意义

在基因效应相同的条件下, 生物将随环境条件的改变而改变其生长参数, 如温度、饵料等; 而在环境条件相同的情况下, 生物的生长特性由其遗传基因所控制。本研究建立的 Logistic 模型的 3 个生长参数是在三角帆蚌遗传背景与环境互作的特定条件下通过 Levenberg-Marquard 迭代法(王莽莽等 1986, Hair et al. 1998)求出的。因此, 在三角帆蚌的选择育种中也具有一定指导意义。育种实践中可根据育珠性能要求, 通过对生长在相同环境条件下表现出多态性的群体进行个体选育, 通过对其子代的生长参数进行分析比较, 从中选取某一性状具有最大生长极限的家系进行纯化选育, 最终获得优良品系。

本研究显示, 三角帆蚌幼蚌各形态与体重

性状的增长具有一定的阶段性, 因此在良种选育过程中, 针对不同性状进行分段式选择, 如幼蚌生长的初期注重壳长、壳宽性状筛选, 后期注重体重性状筛选, 势必可以提高育种的效率。

## 参 考 文 献

- Darmani K H, Kebreab E, Lopez S, et al. 2003. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time (age) in meat and egg strains of chicken. *Poultry Science*, 82(10): 1536–1543.
- Hair J F, Black W C, Babin B J, et al. 1998. *Multivariate Data Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 232–238.
- Wu R L, Ma C X, Littel R C, et al. 2002. A logistic mixture model for characterizing genetic determinants causing differentiation in growth trajectories. *Genetical Research*, 79(3): 235–245.
- Zhang G F, Zhang W F, Ye R H, et al. 2016. Analysis of selective breeding of nacre color in two strains of *Hyriopsis cumingii* Lea based on the CIELab colorspace. *Journal of Shellfish Research*, 35(1): 225–229.
- 蔡英亚, 张英, 魏若飞. 1995. 贝类学概论. 上海: 上海科学技术出版社, 189–191.
- 符世伟, 刘志刚, 王辉, 等. 2008. 马氏珠母贝壳长生长模型研究. *广东海洋大学学报*, 28(4): 30–35.
- 高吉华, 王伟良, 王岩, 等. 2007. 吊养在池塘不同水层中的三角帆蚌的存活和生长. *淡水渔业*, 37(4): 61–64.
- 刘志刚, 王辉, 符世伟. 2007. 湛江北部湾养殖墨西哥湾扇贝的形态增长规律. *水产学报*, 31(5): 675–681.
- 王辉, 刘志刚, 符世伟. 2007. 湛江北部湾海域养殖墨西哥湾扇贝重量性状增长规律的研究. *热带海洋学报*, 26(5): 53–59.
- 王莽莽, 李典谟. 1986. 用麦夸方法最优拟合逻辑斯蒂曲线. *生态学报*, 6(2): 142–147.
- 王小冬, 王伟良, 董向全, 等. 2006. 不同放养和管理模式对三角帆蚌生长与养殖产量的影响. *上海水产大学学报*, 15(3): 315–320.
- 邬思荣, 刘志刚, 王辉. 2011. 湛江北部湾马氏珠母贝红壳色选育系生长模型研究. *广东海洋大学学报*, 31(3): 16–24.

张根芳, 刘其根, 方爱萍, 等. 2008. 育珠期三角帆蚌的生长及其与珍珠增长的关系. *水产学报*, 32(6): 923-928.

张根芳, 许式见, 方爱萍. 2013. 组织小片对三角帆蚌外套膜无核

珍珠颜色成因的影响. *水生生物学报*, 37(3): 581-587.

张佳康, 马学艳, 闻海波, 等. 2017. 饵料与底质对三角帆蚌稚蚌早期生长的影响. *大连海洋大学学报*, 32(2): 155-160.