

文章编号: 1674-5566(2017)05-0691-08

DOI:10.12024/jso.20170402033

## 池塘养殖凡纳滨对虾幼虾到成虾阶段生长差异研究

席丽萍<sup>1,2,3</sup>, 王居安<sup>1,2,3</sup>, 邱雨燕<sup>1,2,3</sup>, 蔡生力<sup>1,2,3</sup>, 戴习林<sup>1,2,3</sup>, 刘红<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

**摘要:** 为探究池塘养殖条件下凡纳滨对虾幼虾至成虾阶段不同个体间存在的生长差异, 本实验采集了放苗后第 28、38、48、58、68 和 73 天的对虾样品。首先以 28 天对虾样品为例, 计算不同体质量虾所占比例; 按体质量排序的前 10% (14 只)、中位数附近 10% (14 只)、后 10% (14 只) 定义对虾生长速率高、中、低 3 组, 其次对对虾的体长、体质量分别进行幂函数拟合和线性回归, 比较不同生长特性虾之间的差异。再分别计算所有样品及不同生长速率组虾的绝对日增长、绝对日增重和相对日增长率、相对日增重率。结果发现, 相同生长时期的 3 组虾生长速率差异显著 ( $P > 95\%$ ), 将这些生长速率不同的虾作为一个整体来分析虾的生长情况可能会出现一定偏差。其次, 体长对体质量的线性回归结果为: 幂函数  $W_{\text{所有样品}} = 1 \times 10^{-5} L^{3.0051}$ , 直线方程  $y_{\text{所有样品}} = 3x - 4.92$ , 不同生长速率组的直线方程分别为  $y_{\text{高}} = 3.41x - 5.71$ ,  $y_{\text{中}} = 3.21x - 5.30$ ,  $y_{\text{低}} = 2.92x - 4.78$ ; 直线方程中斜率与生长速率呈正相关, 3 组线性回归方程能更加确切地反映出 3 组虾的真实生长情况; 同时发现, 不同生长速率虾的绝对生长值与对虾的实际生长情况吻合, 而相对生长值与对虾的实际生长情况不相符, 建议以后分析对虾生长特性时参数选择绝对生长值更为适宜。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 幼虾; 成虾; 生长差异; 生长参数

**中图分类号:** S 966.12      **文献标志码:** A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 又称南美白对虾, 属节肢动物门 (Arthropoda), 软甲纲 (Malacostraca), 十足目 (Decapoda), 对虾科 (Penaeidae), 滨对虾属 (*Litopenaeus*)<sup>[1]</sup>。不但自身具有一系列养殖优良特性, 并且含有丰富的  $V_A$ 、 $V_D$ 、 $V_E$ 、 $V_{B2}$ 、 $V_{B6}$  及矿物质 Ca、Fe、Zn、Se 和 18 种氨基酸<sup>[2]</sup>, 为人类提供生长所需的氨基酸和微量元素, 成为养殖户首选的优良品种, 是目前全球高产量养殖对虾主要的品种之一。

近年来, 凡纳滨对虾良种选育成为热点之一, 围绕该热点进行了大量生长、繁殖、抗病等性状相关基因及关联分子标记的筛选工作。凡纳滨对虾自身生长特性方面的研究则主要集中在养殖条件探索和优化上, 包括养殖管理<sup>[3]</sup>、养殖模式<sup>[4]</sup>、养殖技术<sup>[5-7]</sup>等。生长差异的研究学者发现凡纳滨对虾雌虾和雄虾的体质量以 Gompertz 生长曲线拟合效果最佳, 体长用 Logistic

生长曲线拟合的效果最好<sup>[8-9]</sup>。而这些研究都是以一个池塘取样得到的所有虾作为一个整体来进行, 我们之前调查发现, 即使来源相同且养殖在同一池塘中的虾, 其规格差异也相当明显, 是否能将它们放在一起分析对此心存疑惑。本项研究既为了解决该问题, 将相同养殖条件下的虾按规格分组, 分别分析其生长特性是否存在显著差异, 同时比较了绝对生长和相对生长与实际生长间的符合程度, 为以后的类似研究提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验用虾

实验所用虾取自奉贤室外土池, 淡水池塘大小为 0.433 3 公顷, 每池投放 40 万尾虾苗, 每天 5:30 am、4:30 pm 喂食, pH 为  $8.51 \pm 0.30$ , 溶氧为  $(6.93 \pm 1.41)$  mg/L, 水温随天气而改变 (波动

收稿日期: 2017-04-21      修回日期: 2017-06-03

基金项目: 上海市虾类产业体系建设项目 (沪农科产字[2014]第 5 号)

作者简介: 席丽萍 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋动物繁殖与发育。E-mail: 1324379580@qq.com

通信作者: 刘红, E-mail: hliu@shou.edu.cn

范围 19 ~ 34 ℃)。

取样池塘编号 10 和 14, 各池塘放苗来源和时间相同, 池塘条件及日常管理亦同。分别在放苗后第 28、38、48、58、68、73 天(因对虾准备上市, 在间隔 5 天时取最后一次样品)取样。每次取样具体情况见表 1, 共取样 857 只(因用网随机捞取, 10 号和 14 号池塘每次取样数量不尽相同)。

## 1.2 数据处理

### 1.2.1 不同池塘来源的虾样分析

由表 2 可知, 6 次取样每次两个池塘间虾的体长和体质量均不存在显著差异 ( $P > 0.05$ ), 考虑到两个池塘苗种来源、池塘条件、日常管理等均相同, 因此在后面的结果中将两个池塘每次所取的虾样进行合并处理。

表 1 实验期间凡纳滨对虾的采样情况

Tab.1 The sampling record during experiment of *Litopenaeus vannamei* 只

养殖天数/d Time	10 号池塘 10 <sup>th</sup> pond	14 号池塘 14 <sup>th</sup> pond	总数量 Total
28	79	60	139
38	59	85	144
48	54	95	149
58	67	63	140
68	69	78	147
73	72	66	138

### 1.2.2 相同来源虾的分组

将 10 号和 14 号池塘每次所取的样品合并之后发现, 每次取样的虾大小差异非常之大(合并前情况相同), 体质量波动幅度[(最大值-最小值)/平均值 × 100%]为 89% ~ 106% (表 3)。

表 2 两个池塘每次取样的虾体长和体质量的比较

Tab.2 Comparison of body length and body weight at each sampling of two ponds

养殖天数/d Time		采样池塘 Sampling pond		差异显著性 95% 置信区间 Significance of difference
		10 号池塘 10 <sup>th</sup> pond	14 号池塘 14 <sup>th</sup> pond	
28	体长/mm	55.71 ± 9.61 <sup>a</sup>	57.92 ± 7.35 <sup>a</sup>	(58.11 ~ 55.14)
	体质量/g	2.36 ± 1.06 <sup>a</sup>	2.48 ± 0.85 <sup>a</sup>	(2.57 ~ 2.25)
38	体长/mm	63.80 ± 10.11 <sup>a</sup>	63.06 ± 10.41 <sup>a</sup>	(64.70 ~ 61.26)
	体质量/g	3.33 ± 1.52 <sup>a</sup>	3.35 ± 1.48 <sup>a</sup>	(3.59 ~ 3.09)
48	体长/mm	67.60 ± 11.53 <sup>a</sup>	73.26 ± 9.34 <sup>a</sup>	(72.92 ~ 69.50)
	体质量/g	4.24 ± 2.11 <sup>a</sup>	5.17 ± 1.94 <sup>a</sup>	(5.17 ~ 4.50)
58	体长/mm	75.31 ± 7.94 <sup>a</sup>	72.42 ± 8.98 <sup>a</sup>	(75.40 ~ 72.41)
	体质量/g	5.29 ± 1.61 <sup>a</sup>	4.95 ± 1.98 <sup>a</sup>	(5.44 ~ 4.81)
68	体长/mm	85.69 ± 9.17 <sup>a</sup>	81.32 ± 10.65 <sup>a</sup>	(84.86 ~ 81.62)
	体质量/g	7.63 ± 2.68 <sup>a</sup>	6.83 ± 2.76 <sup>a</sup>	(7.75 ~ 6.87)
73	体长/mm	90.90 ± 11.86 <sup>a</sup>	82.11 ± 10.12 <sup>a</sup>	(90.08 ~ 83.89)
	体质量/g	9.82 ± 3.76 <sup>a</sup>	7.04 ± 2.60 <sup>a</sup>	(9.49 ~ 8.13)

注: 1. 表中数据为平均值 ± 标准差; 2. 同行之间不同字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ); 相同字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )

Note: 1. Data in the table is as mean ± standard deviation; 2. Different letters mean to differ significantly ( $P \leq 0.05$ ); The same letters denote the difference was not significant ( $P > 0.05$ )

表 3 凡纳滨对虾所有样品在内的不同生长时期平均体长、平均体质量及波动幅度随时间的变化

Tab.3 Average body length, average weight and the fluctuation change with time for all samples of *Litopenaeus vannamei*

采样时间 Date	养殖天数/d Time	平均体长/mm Average length	体长波动幅度/% Fluctuations of body length	平均体质量/g Average weight	体质量波动幅度/% Weight fluctuations
2016-8-16	28	56.67 ± 8.77	38.80	2.41 ± 0.98	101.24
2016-8-26	38	63.07 ± 10.29	40.11	3.34 ± 1.50	95.81
2016-9-05	48	71.21 ± 10.54	36.51	4.48 ± 2.05	106.25
2016-9-15	58	73.91 ± 8.58	32.59	5.12 ± 1.81	106.46
2016-9-25	68	83.24 ± 10.26	31.73	7.31 ± 2.78	89.33
2016-9-30	73	87.29 ± 12.76	30.15	8.74 ± 3.70	100.80

### 1.2.3 生长的计算方法

(1)体长和体质量的线性回归( $y = bx + A$ )

用 Excel 将对虾样品体长体质量取对数进行散点图的分布及方程的拟合(误差波动,即|实测值-估算值|/实测值×100%表示)。

(2)体长和体质量的幂函数( $W = aL^b$ )拟合

用 Excel 将所取的对虾样品进行体长体质量散点图的分布,对所有样品及不同生长速率组虾体长体质量幂函数进行拟合。

(3)生长参数

分别计算采样时期不同生长速率组虾的绝对日增长和绝对日增重及相对日增长率和相对日增重率

$$L_a = (L_t - L_{t-1}) / D \quad (1)$$

$$W_a = (W_t - W_{t-1}) / D \quad (2)$$

$$L_b(\%) = 100 \times (L_t - L_{t-1}) / (L_{t-1} \times D) \quad (3)$$

$$W_b(\%) = 100 \times (W_t - W_{t-1}) / (W_{t-1} \times D) \quad (4)$$

式中: $L_a$ 为绝对日增长; $L_b$ 为相对日增长率; $L_t$ 为  $t$  采样时期对虾的体长; $L_{t-1}$ 为  $t-1$  采样时期对虾的体长; $W_a$ 为绝对日增重; $W_b$ 为相对日增重率; $W_t$ 为  $t$  采样时期对虾的体质量; $W_{t-1}$ 为  $t-1$  采样时期对虾的体质量; $D$ 为采样间隔时间。

## 2 结果与分析

### 2.1 凡纳滨对虾体长和体质量的相关关系

将采样期间所有凡纳滨对虾的体长和体质量数据作图,由图 1 可知,随着养殖时间的延长,体长和体质量均不同程度地增加,两者之间具有一定的相关性;而且两者之间并不是直线关系,幂函数  $W = aL^b$  能够很好地拟合凡纳滨对虾体长和体质量的关系;体长体质量取对数进行线性回归,可知二者呈线性关系(图 1)。

### 2.2 仔虾生长至 28 d 时不同生长速率对虾分布比例

由于每次取样虾的大小差异悬殊( $P < 0.05$ ),体质量的波动幅度更大(89% ~ 106%),以 28 d 样品为例,不同体质量的虾所占比例见图 2,由图 2 可见体质量基本呈正态分布,其中约 10% 的虾体质量在 3.7 g 以上,还有约 10% 的虾在 1 g 以下[两群虾的平均体质量分别为(4.15 ± 0.47) g、(0.67 ± 0.17) g,差异极显著( $P < 0.01$ )]。其他采样时期体质量占总数的分布比例与 28 天分布类似。相同生长阶段出现体质量

的差异即代表虾的生长速率存在差异,因此在以后的虾根据生长速率分组时选取每组中体质量最大和最小的 10% 的虾代表该组生长速率最高和最低的那些个体,另外选取体质量介于中间约 10% 的虾来代表中等生长速率虾。

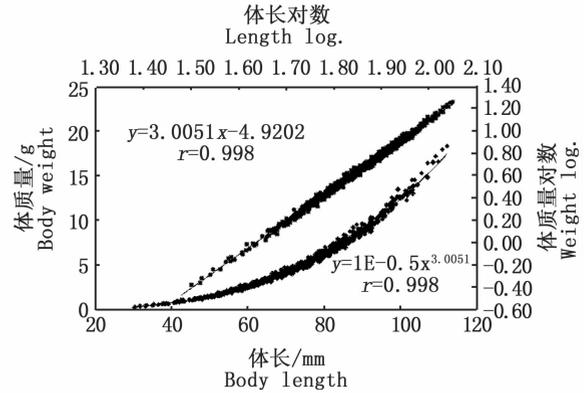


图 1 凡纳滨对虾体长和体质量生长关系散点图 ( $n = 857$ )

Fig. 1 Scatter diagram of body length and body weight of *Litopenaeus vannamei*

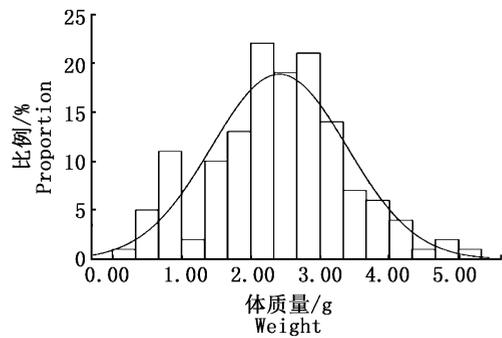


图 2 凡纳滨对虾生长至 28 d 体质量分布情况  
Fig. 2 Weight distribution for growth to 28 days of *Litopenaeus vannamei*

### 2.3 不同生长速率虾体长和体质量的相关关系

按照生长速率划分的 3 组虾分别进行体长和体质量的幂函数拟合及线性回归,结果见表 4 及图 3,结果发现,所有样品拟合得到的方程介于中等生长速率组和低速率组之间,由于回归所用样品的限制,3 组回归方程的虾体长适用范围各有不同。为了比较 4 个回归方程的实际符合程度,选择了 3 组方程均适用的体长(57.6 ~ 72.77 mm)的虾作为验证,分别估算不同生长速率方程虾的体质量并与实测体质量比较(表 5),由结果可知,3 只同为体长 65 mm 和 71 mm 的虾,体质量相似但存在差异,3 个估算体质量中只有分组相同的估算体质量与实测体质量最为接近,而根

据所有样品所得的回归方程的估算体质量与低 速率组最为吻合,与高速率组差异最大。

表 4 不同生长速率组的直线方程及幂函数

Tab. 4 The linear equations and the power function of different groups of growth rates

组别 Group	直线方程 Linear equations	幂函数 Power function	体长适用范围/mm Length application range	体质量适用范围/g Weight Application range
高速率组 High	$y = 3.41x - 5.71$	$W = 2 \times 10^{-6} L^{3.41}$	65.80 ~ 112.18	3.67 ~ 18.38
中速率组 Middle	$y = 3.21x - 5.3$	$W = 5 \times 10^{-6} L^{3.21}$	57.65 ~ 102.03	2.31 ~ 13.13
低速率组 Low	$y = 2.92x - 4.78$	$W = 2 \times 10^{-5} L^{2.92}$	30.22 ~ 72.77	0.31 ~ 4.58

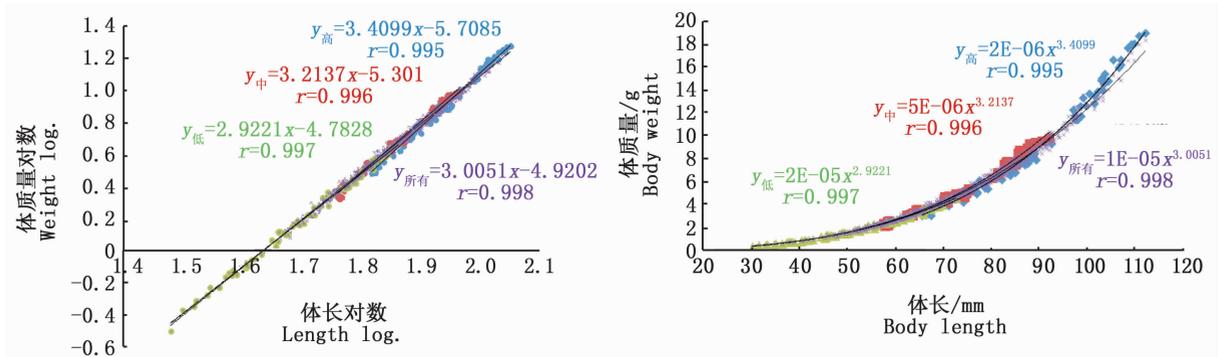


图 3 所有样品在内及不同组别的直线方程及幂函数

Fig. 3 Linear equations and power function of all and different groups

表 5 相同体长不同生长速率组按回归方程所估算的体质量

Tab. 5 Body weight estimated by regression equation in different growth rates of the same body length

体长/mm Length	实测体质量/g Weight	估算体质量 Estimating weight				采样时期 Time	绝对日增长/(mm/d) Absolute growth
		高速率组 High	中速率组 Middle	低速率组 Low	所有样品 All		
65.80	3.12	3.09	3.47	3.39	3.39	28	2.35
71.2(高)	4.05	3.98	4.37	4.17	4.27	28	2.54
65.32	3.54	3.02	3.39	3.31	3.39	38	1.72
71.24(中)	4.73	3.98	4.37	4.17	4.27	38	1.87
65.69	3.37	3.09	3.39	3.39	3.39	73	0.90
71.82(低)	4.50	4.27	4.68	4.47	4.57	73	0.98

2.4 凡纳滨对虾生长阶段体长和体质量随时间的变化趋势

由图 4(每组数值均为平均值 ± 标准误差)可以看出,体质量的增加前期(58 d 之前)坡度比较缓,后期(58 d 之后)坡度比较陡;3 组对虾体长的生长基本为线性生长,生长比较均匀。进一步发现,体质量生长情况中不同生长速率组斜率基本表现为高速率组 > 中速率组 > 低速率组(符合实践情况);不同生长阶段略有差异,生长速率前期小于后期(58 d 以后坡度显著高于前期)。体长亦是斜率基本表现为高速率组 > 中速率组 > 低速率组,3 个组各自以相似的速率生长(基本上为线性)。

2.5 对虾体长和体质量的绝对增长与相对增长

将不同生长速率组对虾的绝对日增重和绝对日增长作图(图 5),由连线趋势可知绝对日增重和绝对日增长均是高速率组 > 中速率组 > 低速率组,与实测结果相符。图中 58 d 时体长和体质量的绝对日增长和绝对日增重在生长快(高速率组和中速率组)的虾中急剧下降,主要原因是采样 47 ~ 63 d 出现连续的阴雨天气,生长快的对虾所受影响更大。

对不同生长速率组对虾的相对日增重率和相对日增长率作图,由图 6 可见,低速率组在上边,高速率组在下边,与实际情况相反。同样第 58 天的数据出现异常。

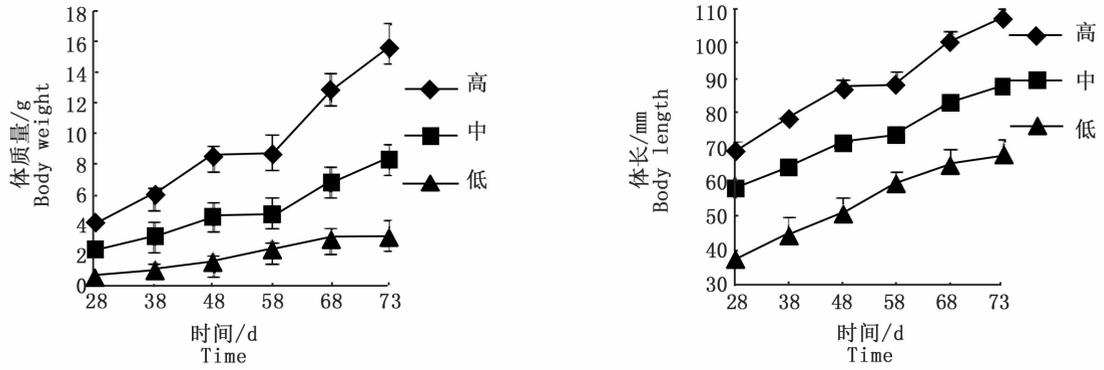


图 4 不同生长速率凡纳滨对虾体长和体质量随时间变化 (n = 252)

Fig. 4 Changes of body weight and body length along culturing time at different growth rates

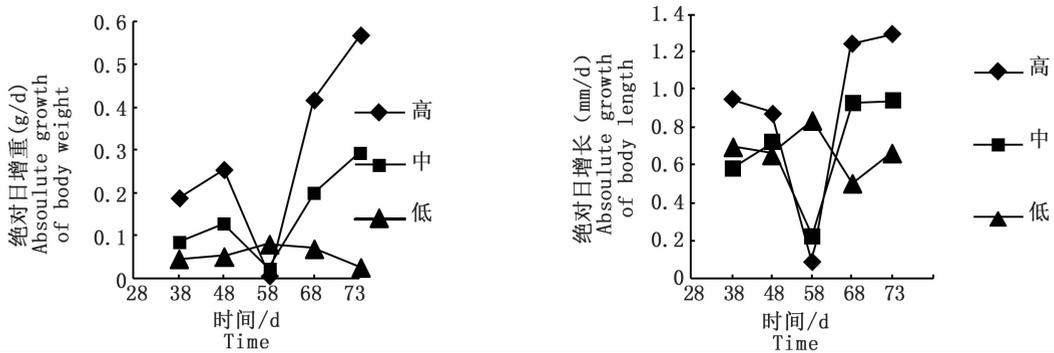


图 5 凡纳滨对虾不同生长速率组体长和体质量采样期间的绝对日增长和绝对日增重 (n = 252)

Fig. 5 Absolute growth of body weight and body length of different groups during the sampling period of of *Litopenaeus vannamei*

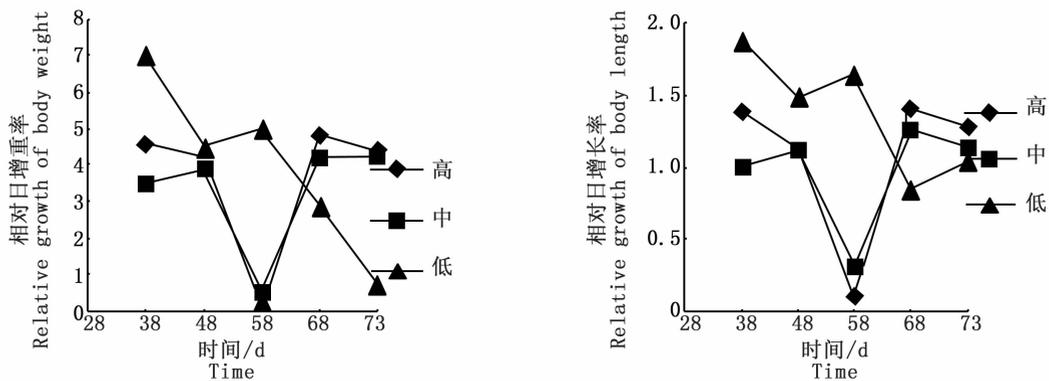


图 6 凡纳滨对虾不同生长速率组体长和体质量采样期间的相对日增重和相对日增长 (n = 252)

Fig. 6 Relative growth of body weight and body length of different growth rates during the sampling period of of *Litopenaeus vannamei*

### 3 讨论

#### 3.1 相同来源的虾分析其生长情况时是否需要分组

由 28 d 不同体质量所占分布情况可知,相同

来源虾在相同的养殖条件下,随机取样的虾大小差异性显著;由表 5 中实测体质量与不同生长速率组估算体质量可以看出,分组后所得的回归方程更加符合实际;但可以发现相同体长时高速率组估算体质量较低,原因在于该体长小于高速率

组线性回归方程的适用体长范围下线,也就是说,生长快的虾长到该体长所用的时间远远小于第一次取样的28 d,首次取样(28 d)高速率组虾体长即已经超出65 mm。

同时可以看出,不同生长速率组所估算体质量几乎表现为中速率组 > 低速率组 > 高速率组。高速率组的对虾外形上看起来呈“细长型”,中速率组呈“高胖型”,低速率组呈“微胖型”。幂函数  $W = aL^b$  关系中,  $b \neq 3$  时为异速生长,即生长过程中,长宽高3个方向生长的速度不同<sup>[10]</sup>。本实验中的  $b$  值均不等于3,说明长宽高3个方向生长速度不同,但具体的幂函数参数  $a$ 、 $b$  与长宽高的关系还需更进一步地研究。

### 3.2 凡纳滨对虾生长参数的选取

本实验发现绝对日增长和绝对日增重,在28~73 d阶段不同生长速率虾几乎表现为高速率生长组 > 中速率生长组 > 低速率生长组,与实际对虾的生长一致,与实际生长符合;相对日增长率和相对日增重率,在28~58 d阶段低速率生长组 > 高速率生长组 > 中速率生长组,与实际对虾的生长相反,不符合实际生长;建议对生物进行生长规律的研究时以绝对生长值最为合适。不同生长速率虾的绝对日增长和绝对日增重表明,高速率生长组和中速率生长组28~73 d阶段绝对日增长和绝对日增重一直呈上升趋势,生长潜力较大,低速率生长组的绝对日增长28~68 d阶段呈下降趋势,68~73 d阶段略有上升,绝对日增重28~73 d阶段呈先升后降的趋势,波动幅度不大,生长至两个月(68 d)左右时,低速率组的平均体长:(64.50 ± 4.64) mm,平均体质量为(3.20 ± 0.64) g,生长潜力较小。

### 3.3 幂函数及直线方程参数与生长的关系

由表4可以看出,线性方程的斜率表现为高速率组 > 中速率组 > 低速率组;幂指数表现为高速率组 > 中速率组 > 低速率组。由此可知,直线方程中斜率与生长速率呈正相关,3组线性回归方程能更加确切地反映出3组虾的真实生长情况。

### 3.4 与前人研究结果的比较

本实验中由体长和体质量的波动幅度可知,体长与养殖时间的相关性较小,体质量与养殖时间的相关性较大;由以上可以看出,前期体长的增长快于体质量的增长。与李玉虎等<sup>[11]</sup>和何铜

等<sup>[12]</sup>对凡纳滨对虾生长规律的研究得到了一致的结论。本实验中不同生长时期的平均体长和体质量与李玉虎等中的差距较大,尤其是体质量;本实验第28天时的体长和体质量相当于李玉虎等<sup>[11]</sup>第70天和80天时的体长体质量,并且同样56 mm的体长本实验中的体质量已达2.41 g,李玉虎等<sup>[11]</sup>实验中为1.90 g。造成生长速率不同的原因很多,养殖密度、养殖环境(温度、pH、光照、溶解氧)等;本实验中对虾为淡水养殖,生长速率明显高于李玉虎等<sup>[11]</sup>实验中对虾的生长速率(海水盐度31 ± 1),孙闯等<sup>[13]</sup>的研究中发现低盐浓度下南美白对虾生长健壮,生长速度较快;另有学者发现低盐浓度中对虾的生长速度快于海水养殖<sup>[14]</sup>,可能是淡水环境下对虾的生长环境相对比较稳定,营养充足,对虾生长较快<sup>[15]</sup>。同样可以看出,本实验生长48 d时的体长体质量相当于何铜等<sup>[12]</sup>实验中3月龄的体长体质量;本实验对虾生长较快,因不清楚其实验养殖具体条件,产生以上原因很多,养殖条件(养殖密度、盐度、温度、各种生化因子等)起着重要的作用。

凡纳滨对虾在生长一个月左右时体长和体质量已经形成明显的差异,而且生长缓慢的小虾组不具备生长为大虾的生长潜力,很难成为商品虾,可以建议养殖户或工厂化养殖时,在养殖空间和资源有限的情况下,在养殖到一个月左右时可以剔除10%左右的小虾,以促进大虾和中虾的增长,另一方面用于投放市场的商品虾可以按10%比例不断地收获大虾;凡纳滨对虾生长前期侧重于体长的增长,后期侧重于体质量的增长,根据不同生长阶段的特点,合理地调整不同阶段生长所需的营养,以满足不同生长阶段生长的需求。

### 参考文献:

- [1] DE GRAVE S, ASHELBY C W. A re-appraisal of the systematic status of selected genera in Palaemoninae (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) [J]. *Zootaxa*, 2013, 3734: 331-344.
- [2] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(8): 254-260.  
ZHANG G J, HAN L P, SUN J F, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(8): 254-260.
- [3] 黄明哲. 南美白对虾亲虾的培育与管理[J]. *渔业致富指*

- 南, 2016(1): 35-36.
- HUANG M Z. The cultivation and management of brood stock of *Penaeus vannamei* [J]. Fishery Guide to be Rich, 2016 (1): 35-36.
- [4] 施永海, 张根玉, 刘建忠, 等. 两种养殖模式下凡纳滨对虾生长的规律及差异[J]. 水产科技情报, 2011, 38(6): 284-290.
- SHI Y H, ZHANG G Y, LIU J Z, et al. Study on the growth rule and difference of two kinds of culture modes [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2011, 38(6): 284-290.
- [5] 张长竞. 南美白对虾一年养殖两茬技术初探[J]. 渔业致富指南, 2016(1): 48-50.
- ZHANG C J. Preliminary study on *Penaeus vannamei* breeding twice a year [J]. Fishery Guide to be Rich, 2016 (1): 48-50.
- [6] 刘永士, 臧维玲, 戴习林, 等. 室内不同水位养殖凡纳滨对虾的生长及养殖系统氮磷收支[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(5): 526-530.
- LIU Y S, ZANG W L, DAI X L, et al. Growth of *Litopenaeus vannamei* and budgets of nitrogen and phosphorus in indoor culture systems with different water levels [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2011, 37(5): 526-530.
- [7] 戴习林, 臧维玲, 张韬. 水流对凡纳滨对虾幼虾生长和存活的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 52-57.
- DAI X L, ZANG W L, ZHANG T. The effects of water current on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(1): 52-57.
- [8] 李刚. 凡纳滨对虾选择育种效应与生长规律的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- LI G. Response to selective breeding and growth rate in *Litopenaeus vannamei* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007.
- [9] 杨长明. 凡纳滨对虾人工授精与生长发育研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- YANG C M. Artificial insemination and growth rate in *Litopenaeus vannamei* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010.
- [10] 徐海龙, 谷德贤, 乔秀亭, 等. 渤海湾主要渔业资源长度与体质量关系分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(1): 57-63.
- XU H L, GU D X, QIAO X T, et al. Analysis of length-weight relationship for major fishing species from Bohai Bay [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(1): 57-63.
- [11] 李玉虎, 宋芹芹, 张志怀, 等. 凡纳滨对虾生长发育规律及生长曲线拟合研究[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 89-95.
- LI Y H, SONG Q Q, ZHANG Z H, et al. Analysis of growth and development rules and growth curve fitting of *Litopenaeus vannamei* [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 89-95.
- [12] 何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2134-2142.
- HE T, LIU X L, YANG C M, et al. Principal component and discriminant analyses of traits of *Litopenaeus vannamei* at different ages [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 2134-2142.
- [13] 孙闯, 李长江, 赵叶明, 等. 北方淡水养殖南美白对虾 (*Penaeus vannamei* Boone) 试验[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(6): 17-18, 21.
- SUN C, LI C J, ZHAO Y M, et al. Experiment of farming *Penaeus vannamei* Boone in freshwater in North Part of China [J]. Fishery Information and Strategy, 2005, 20(6): 17-18, 21.
- [14] LARAMORE S, LARAMORE C R, SCARPA J. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2001, 32(4): 385-392.
- [15] BRAY W A, LAWRENCE A L, LEUNG-TRUJILLO J R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei* with observations on the interaction of IHVN virus and salinity [J]. Aquaculture, 1994, 122(2/3): 133-146.
- [16] 张国新. 不同养殖密度对南美白对虾生长的影响[J]. 河北渔业, 2008(8): 12-15.
- ZHANG G X. The influence of different breeding density on the growth of *Penaeus vannamei* [J]. Hebei Fisheries, 2008 (8): 12-15.
- [17] 张吕平, 胡超群, 沈琪, 等. 不同养殖密度对我国热带地区集约化养殖凡纳滨对虾水质和成活率的影响[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(4): 85-91.
- ZHANG L P, HU C Q, SHEN Q, et al. Water quality and survival rate for intensive culture of white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, under different cultural density in tropic area of China [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 30(4): 85-91.

## Investigation and analysis of the growth differences of larvae to adult stage of *Litopenaeus vannamei*

XI Liping<sup>1,2,3</sup>, WANG Ju'an<sup>1,2,3</sup>, QIU Yuyan<sup>1,2,3</sup>, CAI Shengli<sup>1,2,3</sup>, DAI Xilin<sup>1,2,3</sup>, LIU Hong<sup>1,2,3</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to investigate the growth differences of individuals from larvae to adult stage, the samples were collected on the 28th day, the 38th day, the 48th day, the 58th day, the 68th day and the 73th day. Firstly, take the 28th day sample, calculate the proportion of different weight; According to the first 10% (14), 10% (14) near the middle, the last 10% (14) of weight ranking defines the growth rate is high, middle or low. Secondly, the body length and body weight of the shrimp were fitted by power function and linear regression. Thirdly, all the samples were calculated the absolute growth and relative growth. The results showed different growth rates of three groups at the same growth period ( $P > 95\%$ ), the growth rate of different shrimp as a whole to analyze whether there may be some deviation. Secondly, the power function of  $W_{\text{all}} = 1 \times 10^{-5} L^{3.0051}$ , the linear equation  $y_{\text{all}} = 3x - 4.92$ , the linear equation group with different growth rates were  $y_{\text{high}} = 3.41x - 5.71$ ,  $y_{\text{middle}} = 3.21x - 5.30$ ,  $y_{\text{low}} = 2.92x - 4.78$ ; Linear equation of the slope was positively correlated with the growth rate, and three sets of linear equation could more accurately reflect the real growth of shrimp. Also, we found that different growth rate of shrimp absolutely conforms to the actual growth, and growth analysis selecting absolute growth value is more appropriate.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; larvae; adult; growth difference; growth parameters