

# 中国对虾生长的数理分析\*

张乃禹

(中国科学院海洋研究所)

随着我国对虾养殖业的不断发展,迫切需  
要了解对虾的生长规律,以便科学地养殖和管  
理。迄今国内外对于虾类的生长报道多以平均  
生长速度或一般生长曲线表示。作者认为,对  
虾并非匀速生长,而是随月龄的不断增长而有  
规律地变速生长;故以平均速度难以揭示其生  
长规律。邓景耀报道过对虾的瞬时生长速度及  
生长规律<sup>[2]</sup>,但至今未见有人报道过对虾的瞬  
时生长加速度;而瞬时生长加速度是揭示对虾  
生长规律的重要因素。

为探讨对虾在适宜生活条件下的生长规律  
及机制,讨论对虾养殖期等问题,作者把1957  
年在塘沽外海定期取样测量的对虾体长、体重  
数据进行了数学处理,现将结果报告如下。

## 一、材料与方 法

天津塘沽外海是中国对虾 (*Penaeus ori-  
entalis* Kishinouye) 产卵及索饵场,可称是  
对虾最适的生活场所。

1957年6月22日—10月22日,每月取样一  
次,测量对虾的体长、体重,共测4761尾。体  
长测量标准是从眼柄基部至尾节末端。

本文根据Von. Bertalanffy生长公式分析  
对虾生长。对虾蜕皮时间并非同步,蜕皮后体  
长增加明显;不蜕皮时其体长、体重也有增  
加,故对虾种群生长属连续型。对虾体长与体  
重呈立方关系,因此可以用Von. Bertalanffy  
公式描写对虾生长的一般规律<sup>[2]</sup>。

参数 $K$ ,  $t_0$ ,  $L_\infty$ ,  $W_\infty$ 是通过最小二乘

法求取的<sup>[4]</sup>。

## 二、分析结果<sup>1)</sup>

### (一) 对虾体长与体重的关系

对虾体长与体重数值列于表1。

把表1数值作回归分析,得出对虾体长与  
体重的回归方程式。

$$\text{雌虾为: } W = 0.01173L^{3.0095} \quad (1)$$

$$\text{雄虾为: } W = 0.0121L^{2.9795} \quad (2)$$

式中,  $W$ 为对虾体重(g),  $L$ 为对虾体长(cm)。  
对虾体长与体重的回归曲线见图1。

### (二) 对虾生长

1. 生长公式: 把每月取样日期(化为月  
龄)及测量对虾的体长列于表2。

经数学处理,雌虾体长、体重生长公式分别  
见式(3)、(4)。

$$L_t = 21.33[1 - e^{-0.41(t-0.83)}] \quad (3)$$

$$W_t = 117[1 - e^{-0.41(t-0.83)}]^3 \quad (4)$$

同理,雄虾的体长、体重生长公式见(5),  
(6)。

$$L_t = 15.43[1 - e^{-0.61(t-0.83)}] \quad (5)$$

$$W_t = 39.54[1 - e^{-0.61(t-0.83)}]^3 \quad (6)$$

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1145号。

本文是在中国科学院海洋研究所刘瑞玉所长指  
导下,在郝斌、孙可良同志的支持下完成的;本文所用  
资料是郝斌、孙可良于1957年测量的结果;曾呈奎名  
誉所长审阅了全文并提出宝贵意见;在此一并致谢。

1) 图1—6中,月份均指各月22日

表1 对虾的体长与体重

雌 虾	体长 (cm)	1.51	1.82	2.08	2.30	4.18	5.08	5.88	9.25	10.72
	体重 (g)	0.037	0.08	0.09	0.15	0.94	1.68	2.48	8.96	13.79
雄 虾	体长 (cm)	1.51	1.82	2.08	2.30	4.18	4.06	5.74	9.11	10.11
	体重 (g)	0.04	0.08	0.09	0.15	0.94	0.86	2.28	8.44	11.93
雌 虾	体长 (cm)	11.08	11.79	11.83	13.57	14.88	15.55	16.05	17.20	18.05
	体重 (g)	17.24	19.66	20.93	33.06	41.62	43.01	47.92	58.30	67.38
雄 虾	体长 (cm)	10.38	10.79	11.04	12.59	13.07	13.32	13.83	13.93	14.40
	体重 (g)	12.86	15.16	15.86	22.45	23.12	27.81	29.66	30.38	37.00

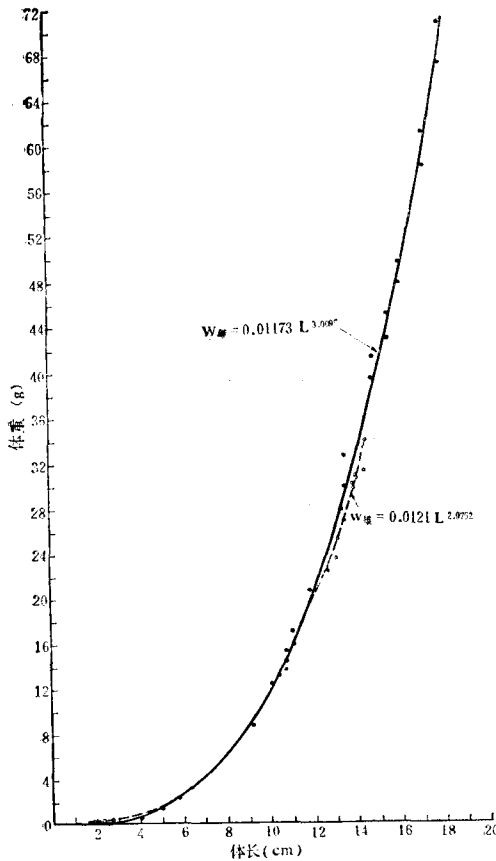


图1 对虾体长与体重回归曲线

式中,  $L_{\infty} = 21.33$  为雌虾体长渐近值;  $L_{\infty} = 15.43$  为雄虾体长渐近值;  $W_{\infty} = 117.00$  为雌虾体重渐近值;  $W_{\infty} = 39.54$  为雄虾体重渐近值;  $K = 0.41$  为雌虾生长系数;  $K = 0.61$  为雄虾生长系数;  $t_0 = 0.83$  为对虾开始生长时的月龄。

表2 不同时期的对虾体长

取样日期(月·日)	6.22	7.22	8.22	9.22	10.22
月龄	1	2	3	4	5
雌虾体长(cm)	2.08	9.25	11.83	14.88	18.05
雄虾体长(cm)	2.08	8.40	10.79	13.32	14.40

求出的参数 ( $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ,  $t_0$ ) 及不同时间对虾生长的理论值, 与自然海区对虾实际情况基本相符。对虾的平均体长只能随月龄的不断增加而逐渐接近体长渐近值, 但永远达不到这一数值。自然海区雌虾体长为 18.0—23.8  $\text{cm}^{(1)}$ , 平均为 18.5  $\text{cm}$ ; 雄虾为 13.0—17.0  $\text{cm}^{(1)}$ , 平均约为 14.5  $\text{cm}$ 。雌、雄对虾各自的体长平均值与其渐近值相差不大。雌、雄对虾开始生长时的月龄均为 0.83, 约等于 25 日龄, 与自然海区对虾幼体变态期 (从卵到仔虾) 所需时间基本符合。由公式 (3)、(5) 所算出雌虾 4 月和 5 月龄时的体长分别为 15.52  $\text{cm}$  和 17.47  $\text{cm}$ ; 雄虾则分别为 13.20  $\text{cm}$  和 14.22  $\text{cm}$ , 与渤海湾对虾同期体长相差不大 (见表 2)。

对虾体长随月龄增加而增大, 但 5 月龄 (即 10 月份) 后增长缓慢 (见图 2)。

通过图 3 坐标原点作体重生长曲线的切线, 雌虾的生长曲线切点约在 10 月底, 切点前后刚好是雌虾最后一次蜕皮与雄虾交尾盛期。雄虾的切点约在 10 月初, 此时恰好是它们的性成熟期。由此可见, 以上参数及对虾生长曲线

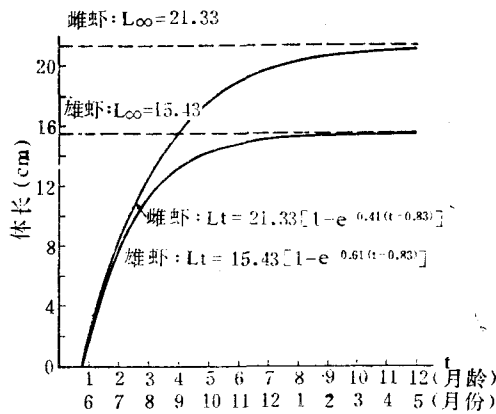


图2 对虾体长生长曲线

比较真实地反映了对虾生长状况。

对虾体重增长曲线呈不对称的S型<sup>[2,5]</sup>,雌虾的拐点在3.51月龄处,雄虾在2.63月龄处。2—5月龄对虾体重增长较快,以后较慢(见图3)。可以看出,对虾体长生长先于体重。

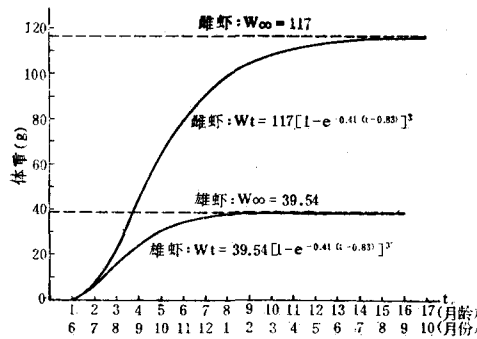


图3 对虾体重生长曲线

2. 对虾生长瞬时速度: 对式(3)、(4)求一次导数, 得出雌虾体长、体重瞬时生长速度的公式为:

$$\frac{dL}{dt} = 8.7453e^{-0.41(t-0.83)} \quad (7)$$

$$\frac{dW}{dt} = 143.91e^{-0.41(t-0.83)} \times [1 - e^{-0.41(t-0.83)}]^2 \quad (8)$$

同理, 雄虾体长、体重瞬时生长速度公式为:

$$\frac{dL}{dt} = 9.41e^{-0.61(t-0.83)} \quad (9)$$

$$\frac{dW}{dt} = 72.36e^{-0.61(t-0.83)} \times [1 - e^{-0.61(t-0.83)}]^2 \quad (10)$$

对虾体长瞬时生长速度随月龄不断增加而递减(见图4)。雌虾体重瞬时的生长速度极值点在3.51月龄处。在3.51月龄前, 体重瞬时生长速度随月龄不断增加而迅速上升, 以后逐渐下降。雄虾体重瞬时生长速度与雌虾趋势基本一致(见图5), 其极值点在2.63月龄处, 比雌虾早一个月左右, 这与雄虾提前性成熟有关。

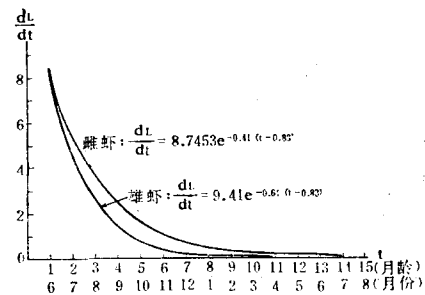


图4 对虾体长瞬时生长速度曲线

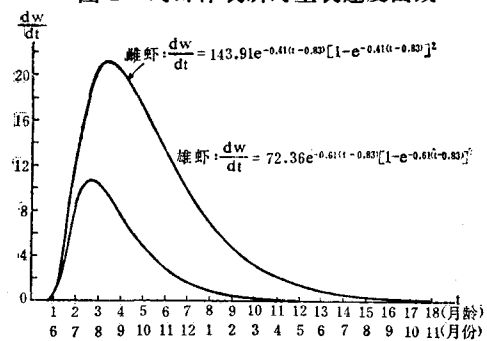


图5 对虾体重瞬时生长速度曲线

3. 对虾体重瞬时生长加速度: 对公式(8)、(10)求一次导数, 分别得出雌、雄虾体重瞬时生长加速度公式为:

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 59.00e^{-0.41(t-0.83)} \times [1 - e^{-0.41(t-0.83)}]$$

$$\times [3e^{-0.41(t-0.83)} - 1] \quad (11)$$

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 44.14e^{-0.61(t-0.83)} \times [1 - e^{-0.61(t-0.83)}] \times [3e^{-0.61(t-0.83)} - 1] \quad (12)$$

雌、雄对虾体重瞬时生长加速度曲线见图6。

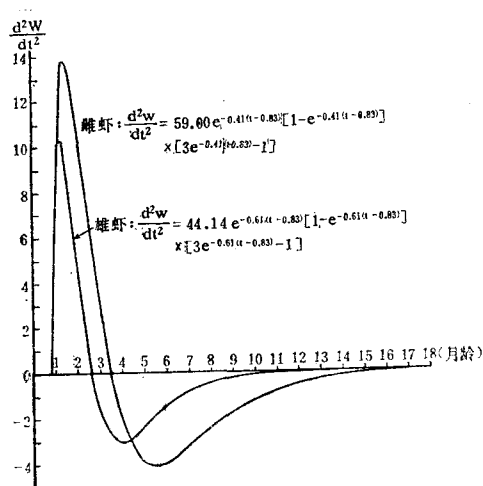


图6 对虾体重瞬时生长加速度曲线

从图6可见，雌虾体重瞬时生长加速度曲线最高点在1.51月龄左右，负加速最大绝对值在5.50月龄前后。在0.84—1.51月龄期间，体重瞬时生长加速度呈直线上升，1.51月龄后逐渐下降；当3.51月龄时，几乎等于零。此后由加速生长变为减速生长；5.50月龄后负加速绝对值逐渐变小；当趋于零时，生长停止。雄虾体重瞬时生长加速度曲线与雌虾相似，只是由正加速变负加速的时间比雌虾提前了近一个月。

### 三、讨 论

#### (一) 对虾生长规律

邓景耀报道对虾生长瞬时速度及生长规律的参数是通过筛选法求取的<sup>[2], 1)</sup>。其参数值为： $L_{\infty} = 190.8\text{mm}$ ； $W_{\infty} = 77.3\text{g}$ ； $K = 0.47$ ； $t_0 = 0.54$ （月龄）。其中，雌虾为： $L_{\infty} = 201.3\text{mm}$ ； $W_{\infty} = 91.8\text{g}$ ； $K = 0.018$ ； $t_0 = 25$

（天）。雄虾为： $L_{\infty} = 163.5\text{mm}$ ； $W_{\infty} = 49.1\text{g}$ ； $K = 0.017$ ； $t_0 = 9$ （天）。

作者在本文中的参数通过最小二乘法求取，雌虾的参数为： $L_{\infty} = 21.33\text{cm}$ ； $W_{\infty} = 117\text{g}$ ； $K = 0.41$ 。雄虾参数为： $L_{\infty} = 15.43\text{cm}$ ； $W_{\infty} = 39.54\text{g}$ ； $K = 0.61$ 。雌、雄对虾的 $t_0$ 均为0.83月龄。

从上述数值可见，由于作者求参数值所用的方法不同，所求得参数值也就不同，故雌雄对虾生长公式及瞬时生长速度公式的常数项就不一样，但所反映对虾生长规律及其趋势基本一致。邓景耀未报道对虾体重瞬时生长加速度。作者在本文中报道了对虾体重瞬时生长加速度，并以此分析了对虾生长规律及机制。

#### (二) 对虾生长机制

根据公式(4)、(6)、(8)和(10)推导，对虾体重增长是由体重瞬时生长速度及月龄决定的，当月龄一定时，则由瞬时生长速度决定。这恰如行程方程( $S = vt$ ，路程S是由瞬时速度及时间决定的，当时间一定时，行程则由瞬时速度决定)一样。由图3、5、6可以形象证实这一结论。雌虾在3.51月龄前体重瞬时生长速度逐渐增高，故增重较快。体重瞬时生长速度极值点与体重生长曲线拐点两者对应的月龄相同，此后由于瞬时生长速度逐渐降低，因而增重较慢，当瞬时生长速度趋于零时，则体重接近渐近值。

同理，体重瞬时生长速度是由瞬时生长加速度决定的。瞬时生长加速度最高点在1.51月龄，尽管在1.51—3.51月龄时瞬时生长加速度逐渐降低，但仍为正加速，故瞬时增长速度仍继续增大。当3.51月龄时，瞬时生长加速度等于零，故瞬时生长速度达到极值点。当3.51月龄后，瞬时生长加速度由正加速变为负加速，并且负值绝对值逐渐增大，故瞬时增长速度逐渐变小。当5.50月龄后，瞬时生长减速度绝对值

1) 邓景耀、唐启升，1979。渤海秋汛对虾开捕期问题的探讨。海洋水产研究丛刊：18—33。

逐渐降低，17月龄后趋于零；因而瞬时生长速度也趋于零，生长停止。雄虾与雌虾生长趋势基本相同。

公式中K为对虾生长系数，其值与新陈代谢有关<sup>[4,5]</sup>，从而可推测出体重瞬时生长加速度是同化与异化之差值决定的，该差值是由对虾月龄及水温决定。在一定范围内，水温高则代谢旺盛，使同化与异化之差值增大；水温低则与此相反，故水温对新陈代谢有一定影响。但当对虾性成熟后，即使水温再适宜，也不会出现现象前期那样大幅度增长，因而月龄是决定新陈代谢的重要因素。

对虾月龄对新陈代谢的制约是受生物钟的控制，生物钟是其种群历代遗传下来的。由此，作者初步设想对虾的生长机制可用图7表示。

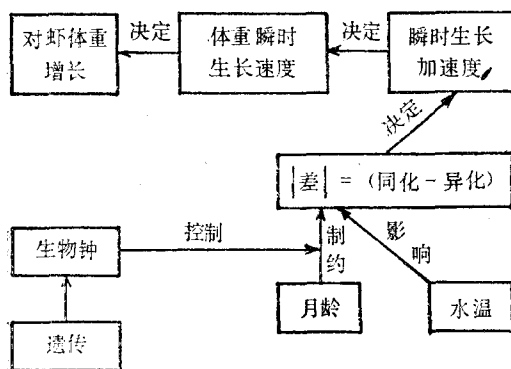


图7 对虾生长机制示意

### (三) 对虾养殖期

对虾养殖期的长短是决定养殖成本大小的关键之一<sup>[3]</sup>。为此，作者就对虾生长规律讨论对虾适宜养殖期问题。

我国多数地区对虾养殖期4—5个月左右。不少养虾工作者希望提前育苗以延长对虾生长期，使虾的体长大些从而增加收益。作者初步认为，延长对虾生长期不一定能达到预期效果。

雌虾体重瞬时生长速度高峰在3.51月龄（即9月上旬），雄虾在2.63月龄（即8月中旬），此后体重由加速生长变为减速生长，瞬时生长速度逐渐下降。在4.5—5.0月龄（相当

于人工养虾自放苗后3.5—4.0个月）对虾体重瞬时生长速度高峰已过，但还是比较高的，雌、雄虾分别为极值的91—82%及57—45%，平均为74—64%。养殖3.5—4.0个月进行收虾，时间恰好在对虾体重快速生长期过后不久；不少养虾场对虾体长都能达到12cm以上。如，辽宁省东沟县小岛农场一个65.47亩虾池，1981年6月15日放苗，于10月8日收虾，经114天养殖，对虾平均体长12.86cm，平均亩产400.5斤。反之，养虾期4.5个月，对虾体重瞬时生长速度仅为极值的54%；5个月为45%；6个月为31%；7个月为20%；故养殖期超过4个月，对虾生长较慢。如，福建宁德县西坡塘虾场一个200亩虾池，于1981年4月初放中国对虾苗，11月15—20日收虾，历时7个多月，平均亩产120斤，对虾体长为12—13cm。该场对虾养殖期比小岛农场长一倍左右，对虾体长规格并不比小岛农场对虾大，而饵料系数却高出一倍。

鉴于浙江、福建对虾生长的时期较长，以养两茬虾为宜。可以考虑第一茬养中国对虾（*Penaeus orientalis* Kishinouye），二茬养长毛对虾（*Penaeus penicillatus*）。

作者认为，对虾养殖期以3.5—4.0个月为宜。若经4个月养殖的对虾体长不足14cm，原因并非养殖期不够。海区对虾幼体变仔虾后的2、3、4个月，体长分别达到11.40cm、14.02cm、16.00cm。池养对虾在7月份与海里对虾生长相差不大，只是8月以后悬殊较大。其原因是饵料、水质和水温不适所致。8—9月正是对虾体重瞬时生长速度高峰（见图5），而多数虾池池水较浅，致使8月份虾池水温过高（达30℃左右），影响了对虾的生长。9月份虽然水温适宜，但又往往由于饵料不足，或饵料质量不佳，或投饵不慎等原因，导致虾池水质和底质污染，也影响了对虾生长。即使在条件好的情况下，对虾变态后4个月体重瞬时生长速度显著变慢；在不利条件下就更慢。所以延长养殖期意义不大。

### (四) 中间培育

表3 渤海湾对虾各月生长情况

仔虾变态后月份		1			2			3			4		
对虾月龄		1.63	1.50	1.83	2.16	2.49	2.83	3.16	3.49	3.83	4.16	4.49	4.83
雌 虾	体长 (cm)	2.72	5.10	7.17	8.98	10.55	11.93	13.13	14.17	15.09	15.88	16.85	17.19
	每10天体长平均日增长 (cm)	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
雄 虾	体长 (cm)	2.84	5.15	7.04	8.58	9.84	10.89	11.71	12.39	12.95	13.41	13.78	14.08
	每10天体长平均日增长 (cm)	0.28	0.23	0.19	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
雌 雄 对 虾	体长 (cm)	2.78	5.13	7.11	8.78	10.20	11.40	12.42	13.28	14.02	14.65	15.32	16.00
	每10天体长平均日增长 (cm)	0.28	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	体长每月平均日增长 (cm)	0.24			0.14			0.09			0.05		

虾苗中间培育, 对于粗养或海区增殖来说, 可以提高对虾的成活率, 但对于精养是否需要, 目前尚有争论。

将体长0.7cm的仔虾经中间培育一个月左右能达到3—4cm, 放入养成池其成活率比未经中间培育能有所提高。但中间培育期间, 由于虾苗密度高(10—20万尾/亩), 虾的正常生长会受到一定影响。根据公式(3)和(5)的计算结果, 渤海湾对虾幼体变为仔虾后, 每月体长平均日增长速度逐渐下降(见表3)。在第一个月, 自然海区里的对虾平均体长7.1cm, 而中间培育的对虾体长仅为3—4cm。虾苗经中间培育失去的不仅是体长减少3—4cm, 而且失去了对虾体长在早期高速生长的宝贵时机。仔虾变态后第1—4个月各自日平均增长分别为0.237cm、0.144cm、0.087cm、0.053cm。由此可见, 对虾在头一个月体长高速生长期错过后, 这一时机是不易挽回的。通过延长养殖期, 体长虽能增加, 但要比前期付出相当大的代价。经中间培育的虾苗一般不如未经中间培育的规格大, 现在不少养虾场(如, 江苏赣榆县等一些养虾场)已不再进行中间培育。

虾苗的大小是影响养成成活率的一个因素, 但不是主要因素, 主要因素是敌害、水质和饵料。这三个因素不解决好, 即使经中间培育的虾苗, 其成活率也是相当低的。所以应彻底改善养殖条件, 以达到精养的标准。这样, 不仅未经中间培育的虾苗成活率得到提高, 而且能发挥对虾体长在早期高速生长的特点。作者认为, 对于精养池来说, 虾苗以不经过中间培育为宜。

#### 主要参考文献

- (1) 刘瑞玉, 1955. 中国北部的经济虾类. 科学出版社, 第9—12页。
- (2) 邓景耀, 1981. 渤海对虾 *Penaeus orientalis* Kishinouye 的生长. 海洋水产研究2: 85—93。
- (3) 张乃禹、林如杰、曹登官等, 1983. 中国对虾的摄饵量、生长率的初步观察. 海洋与湖沼14(5): 482—487。
- (4) 仇玉林、刘书霞, 1981. 最小二乘法在 Von. Bertalanffy 生长公式参数值计算中的应用. 淡水渔业4: 41—45。
- (5) Beverton, R. J. H. and S. J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Min. Aquic. Fish. Food 2(16): 32—34; 106—107.

**MATHEMATICAL ANALYSIS ON GROWTH OF  
PENAEUS ORIENTALIS KISHINOUE**

Zhang Naiyu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

**Abstract**

This article deals with equations of relation between the body weight and length of *Penaeus orientalis* ( $W_2=0.01173L^{3.0095}$ ,  $W_3=0.0121L^{2.9795}$ ) and other equation related to shrimp growth; The growth equations on the body length and weight of the female shrimp are respectively:

$$L_t=21.33[1-e^{-0.41(t-0.83)}] \text{ and } W_t=117[1-e^{-0.41(t-0.83)}]^3.$$

The equations on the growth rate in the body length and weight are separately  $\frac{dL}{dt} =$

$$8.745e^{-0.41(t-0.83)} \text{ and } \frac{dW}{dt} = 143.91e^{-0.41(t-0.83)} \times [1-e^{-0.41(t-0.83)}]^2.$$

The equation of the growth acceleration in weight is

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 59.00e^{-0.41(t-0.83)} [1-e^{-0.41(t-0.83)}] [3e^{-0.41(t-0.83)} - 1]$$

The corresponding equations of the male are respectively:

$$L_t=15.43[1-e^{-0.61(t-0.83)}]$$

$$W_t=39.54[1-e^{-0.61(t-0.83)}]^3$$

$$\frac{dL}{dt} = 9.41e^{-0.61(t-0.83)}$$

$$\frac{dW}{dt} = 72.36e^{-0.61(t-0.83)} [1-e^{-0.61(t-0.83)}]^2$$

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 44.14e^{-0.61(t-0.83)} [1-e^{-0.61(t-0.83)}] [3e^{-0.61(t-0.83)} - 1]$$

This article also discusses the mechanism of shrimp growth and the culturing period. The growth in weight depends on the growth rate in weight, the growth rate depends upon the growth acceleration of weight, the growth acceleration depends on the different value between assimilation and dissimilation. Although this different value is affected by water temperature, but mainly by age (month). It is controlled by the time without clock inherited by population of shrimp whose metabolism is restricted by age(month).

According to the growth regulation of shrimp we think that a period of 3.5-4 month is suitable for culturing *Penaeus orientalis* Kishinouye.