

## 对虾亲体数量和补充量之间的关系\*

叶昌臣 刘传楨 李培军  
(辽宁省海洋水产研究所)

### 提 要

本文用世代渔获量和春汛产量作为补充量和亲体数量的相对数值,研究对虾 (*Penaeus orientalis*) 亲体数量——补充量之间的关系。用 Beverton 或 Ricker 繁殖模式描述两者之间的关系。经数学分析,表明本命题似乎用 Beverton 模式更为适合。

根据计算最大补充量所需的亲体数( $A_{max}$ )、最大补充量( $R_{max}$ )和最大持续产量( $M_{sy}$ ),以及渔业上记录到的最大补充量和相应的亲体数量,确认现在的产卵亲虾数量太少。如果把产卵亲虾的相对数值 112 调节到 250~300,则世代产量可望增加 50~70%,即从 1700 增加到 2500~3000;如果各种条件都充分满足,对虾世代的极限值约为 4000。

鱼类种群的补充部分数量或多或少要受亲体数量的影响。在渔业调整中考虑补充部份的数量变动,一般是企图建立初状态(亲体数量)和终状态(补充部份数量)之间的某种关系,把亲体数量控制在适当的水平,为提高世代产量创造一个必要的生物学基础。Ricker<sup>[6]</sup>和 Beverton 等<sup>[5]</sup>曾确定了亲体——补充量之间的关系。文中把 Ricker 确定的关系称 Ricker 繁殖模式,把 Beverton 等确定的关系称 Beverton 繁殖模式,相应的曲线称繁殖曲线。最近 Ricker 对繁殖曲线的形状作了讨论<sup>[7]</sup>。最首先认为东黄海一些底层经济鱼类的亲体——补充量之间的关系可用 Ricker 繁殖模式描绘<sup>[2-6]</sup>。费鸿年研究过南海蓝圆鲹亲体——补充量之间的关系,用模拟方法计算了亲体数量对持续产量的影响<sup>[1]</sup>。本文研究了渤海对虾亲体数量和补充量之间的关系。

### 材 料

渤海对虾是种大型虾类。约于 10 月中交尾。据作者用生物学统计资料推算,交尾后雄性个体死亡 40%左右。翌年 5 月中、下旬产卵,产卵后亲虾大部份死亡。对虾是一年一个世代。对虾渔业分春秋(包括冬)两汛。现把 1978 年秋、冬汛和翌年春汛产量(即世代产量)作为补充量的一个相对数值,把春汛产卵虾的产量作为亲体数量的一个相对数值。根据渔业统计资料和生物学检查资料,把产量换算成尾数,并把历年资料都计成以 1961 世代亲体数量为 100 的相对数值。用这种办法处理的资料列成表 1。

\* 本文承南海水产研究所费鸿年教授、辽宁省水产研究所资源室吴敬南主任和黄海水产研究所资源室主任鹿山主任审阅,并提出许多宝贵意见,在此致谢。

表1 对虾亲体数量和补充量的资料指数\*

年 代	亲 体 数 量 (A)	补 充 量 (R)
1961	100.0	1287.3
1962	119.0	1414.4
1963	142.9	1493.3
1964	121.8	2181.6
1965	186.3	2134.4
1966	153.9	1710.1
1967	111.4	1215.3
1968	44.1	1074.8
1969	66.8	1228.1
1970	52.9	1212.1
1971	50.0	964.9
1972	31.5	1100.4
1973	97.0	3348.1
1974	270.4	3802.7
1975	166.1	2454.0
1976	70.1	961.0

\* 参阅文中说明

我们用表1资料,分别用 Ricker 繁殖模式(式1)和 Beverton 繁殖模式(式2),研究对虾亲体——补充量之间的关系。

$$R = aAe^{-bA} \quad (1)$$

$$R = A(\alpha A + b)^{-1} \quad (2)$$

式中  $R$  为补充量,  $A$  为亲体数量,  $\alpha$ 、 $b$  为两个待定参数。有关从这两个模式计算最大持续产量、最大补充量所需的亲体数量等的运算,将在结果一节中叙述。

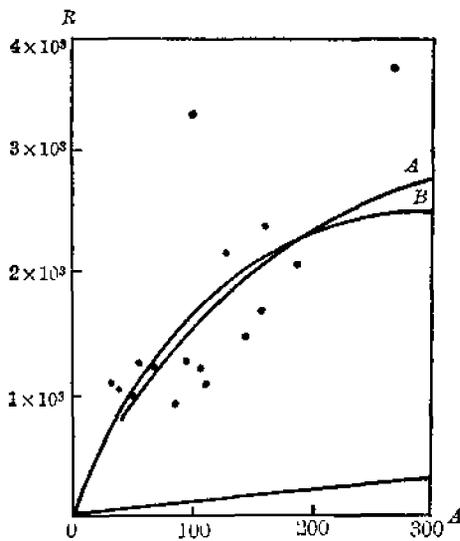


图1 对虾繁殖曲线

A, Beverton 繁殖曲线; B, Ricker 繁殖曲线

## 结 果

用表1资料绘成图1,图中B线是 Ricker 繁殖模式配的曲线,A线是 Beverton 繁殖模式配的曲线。相应的统计量和这两个模式中的参数值列成表2。用 Ricker 繁殖模式配线,相关系数为 0.58 ( $P > 0.05$ ),用 Beverton 繁殖模式配线,相关系数为 0.60 ( $P > 0.05$ )。可见,在表1数值范内,渤海对虾的亲虾数量和补充量之间的关系可以用 Beverton 繁殖模式或 Ricker 繁殖模式描绘。图中下面一条直线,是对换水平线,落在这条直线上的点,  $R = A$ 。有的种对换水平线位于中央,即该线斜率  $\text{tg}\theta = 1$ ,有的位于下方。本例为下方。

本文用数学分析方法推算最大持续产量等

表 2 相关系数和参数值

模式类型	表达式	相关系数	参 数	
			$a$	$b$
Ricker 型	$R = aAe^{-bA}$	0.58	24.43	$3.565 \times 10^{-3}$
Beverton 型	$R = A(aA + b)^{-1}$	0.60	$2.092 \times 10^{-4}$	$4.187 \times 10^{-2}$

渔业调整所需要的数值。

### A. Ricker 型

首先推算最大补充量和所需的亲虾数量。推算这两个数值相当于求式(1)的极值。以  $A$  为准,对式(1)求导,并令等于 0 而求得。

$$\frac{dR}{dA} = \frac{d(Aae^{-bA})}{dA} = 0$$

故有:

$$A_{\max} = \frac{1}{b} \quad (3)$$

式中  $A_{\max}$  是最大补充量所需的亲虾数量,  $b$  是式(1)的一个参数,  $b = 3.565 \times 10^{-3}$  故,  $A_{\max} = 280.5$ 。将式代入式(1),得最大补充量  $R_{\max}$ :

$$R_{\max} = A_{\max}e^{-bA_{\max}} = \frac{a}{2.7182b} \quad (4)$$

$a, b$  是两个已测定的参数。故  $R_{\max} = 2521$ 。

其次推算最大持续产量所需的亲虾数量( $A_s$ )和最大持续产量( $M_{sy}$ )。按持续产量( $Y_s$ )概念,有:

$$Y_s = Aae^{-bA} - A \quad (5a)$$

对式(5a)求导,并令  $\frac{dY_s}{dA} = 0$ ,解之可得  $A_s$ :

$$\frac{dY_s}{dA} = \frac{d(Aae^{-bA} - A)}{dA} = 0$$

故有:

$$ae^{-bA_s} - A_sabe^{-bA_s} - 1 = 0 \quad (5)$$

式(5)不能解,即将 Ricker 繁殖模式的两个参数值代入式(5)求不出  $A_s$  值。可用近似法求式(5)的解。用近似法解函数的方法较多。我们用最简便的图解法。由式(5)可得:

$$ae^{-bA_s} = bA_sae^{-bA_s} + 1 \quad (5b)$$

令式(5b)的左端等于  $Y_1$ ,右端等于  $Y_2$ ,有:

$$\begin{cases} Y_1 = ae^{-bA_s} \\ Y_2 = bA_sae^{-bA_s} + 1 \end{cases} \quad (5c)$$

式(5c)表示  $Y_1$  和  $Y_2$  都是  $A_s$  的函数,当  $Y_1 = Y_2 = f(A'_s)$  时,这时的  $A'_s$  值满足式(5c)。

也满足式(5),为式(5)的解。图形上表现为两条曲线的交点。式(5c)中  $a, b$  两参数已知,故很容易在一组给定的  $A$  值下,近似地解出  $A_s$  值。表3是式(5c)的计算值,表中的  $A$  值是根据表1亲虾数量给定。给定的值要把两条曲线的交点  $A_s$  值包括在内。图2是按式

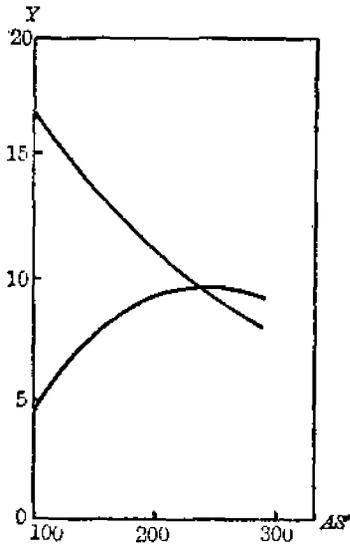


图2 式(5c)的曲线

(5c)用表3值绘制的图形,交点横坐标值,即为式(5c)或式(5)的近似解。故对虾的最大持续产量所需的亲体数量为252左右。将  $A_s$  值分别代入式(1)、式(5a),可

表3  $Y_1, Y_2$  和  $A$  值

$A$	$Y_1$	$Y_2$
50	20.4	4.6
100	17.1	7.1
150	14.3	8.6
200	12.0	9.5
250	10.0	9.9
300	8.4	10.0
350	7.0	9.7
400	5.9	9.4

得最大持续产量 ( $M_{sy}$ ) 和最大持续产量所需的补充量 ( $R_s$ )。我们有:

$$M_{sy} = A_s a e^{-b A_s} - A_s = 2255 \quad (6)$$

$$R_s = A_s a e^{-b A_s} = 2507.3 \quad (7)$$

### B. Beverton 型

用数学分析方法推算 Beverton 繁殖模式的  $R_{max}, A_{max}$  等数值,道理与上述相同。但这两个模型式的数学性质不同,推算的各数值也不同。

推算  $R_{max}$  和  $A_{max}$ 。以  $A$  为准,对式(2)求导,有:

$$\frac{dR}{dA} = \frac{d[A(Aa+b)^{-1}]}{dA} = \frac{b}{(aA+b)^2} \quad (8)$$

令式(8)等于0,无解。故不能推算出 Beverton 繁殖模式的  $A_{max}$  值,也就不能将  $A_{max}$  代入式(2)求出  $R_{max}$  值。可以用求式(2)的极限来推算  $R_{max}$ 。对式(2)求极限,有:

$$R_{max} = \lim_{A \rightarrow \infty} A(aA+b)^{-1} = \frac{1}{a} \quad (9)$$

将 Beverton 繁殖模式的参数值  $a = 2.092 \times 10^{-4}$  代入,可得最大补充量  $R_{max} = 4780$ 。

推算最大持续产量所需的亲虾数量,按式(5a)有:

$$Y_s = A(aA+b)^{-1} - A \quad (10a)$$

对式(10a)求导,并令等于0,解之可得:

$$\frac{dY_s}{dA} = \frac{d[A(aA+b)^{-1} - A]}{dA} = 0$$

有：

$$A_s = \frac{b^{\frac{1}{2}} - b}{\alpha} = 777.8 \quad (10)$$

将式(10)分别代入式(10a)和式(2)，以推算最大持续产量( $M_{sy}$ )和最大持续产量所需的亲体数量  $R_s$ 。可得：

$$M_{sy} = \frac{(1 - \sqrt{b})^2}{\alpha} = 3024 \quad (11)$$

$$R_s = A_s(\alpha A_s + b)^{-1} = 3803 \quad (12)$$

今把推算的各数值，列成表4，备讨论用。

表4 计算的  $A_{max}$ 、 $R_{max}$ 、 $A_s$ 、 $R_s$  和  $M_{sy}$  数值

模 式	参 数 值	$A_{max}$	$R_{max}$	$A_s$	$R_s$	$M_{sy}$
Ricker	$\alpha = 24.43, b = 3.565 \times 10^{-3}$	280.5	2521	252	2507	2255
Beverton	$\alpha = 2.092 \times 10^{-4}, b = 4.187 \times 10^{-2}$	无解	4780	777.8	3803	3024

注：记录到的最大值： $R = 3803.7, A = 270.4, A_{max}$  = 最大补充量所需的亲虾数量， $A_s$  = 最大持续量所需的亲虾数量， $R_{max}$  = 最大补充量， $M_{sy}$  = 最大持续产量， $R_s$  = 最大持续产量所需的补充量。

## 讨 论 和 结 论

我们讨论两个问题。一个是对虾亲体——补充量成何种关系，另一如何考虑保留合适的亲虾数量。

### 1. 对虾亲体——补充量成何种关系

我们在结果一节中说过，可以用 Ricker 繁殖模式或用 Beverton 繁殖模式描绘渤海对虾的亲体数量和补充量之间的关系。但是这两个模式的数学性质完全不同。用数学性质完全不同的表达式描绘相同的现象或过程，可能性不大，但用数学性质不同的表达式描绘同一过程的局部现象是可能的。Ricker 繁殖模式是一个负指数函数，有极值，对式(1)求导后可确定极值位置，当  $A \rightarrow \infty$  时（即亲体数量极多时），这个函数的极限等于 0，即补充量等于 0。所以，这个函数的一般特征是，当  $A = 0$  时， $R = 0$ ；当  $A$  等于某一数值时， $R$  为极大；当  $A \rightarrow \infty$  时， $R = 0$ ，且这个函数在极值的左侧区域内，递增快，在其右侧，递减缓慢。故 Ricker 繁殖模式的一般形状与伪凹函数曲线相似。Beverton 繁殖模式的曲线形状与此完全不同。在式(2)任取  $A_1$  和  $A_2$ ，并有  $A_1 > A_2$ ，可证  $f(A_1) > f(A_2)$ ；当  $A \rightarrow \infty$  时， $R \rightarrow C$ （常量）。故 Beverton 繁殖模式是种有极限的增函数。这种性质上的差别使得推算的  $A_{max}$ 、 $R_{max}$ 、 $M_{sy}$  等数值有明显的不同。根据这两个模式的不同数学性质，在实际应用中将有助于选取一个比较合适的模式。如果用观察资料初步配制的曲线形状，直观上能看到极值，或者曲线末端有下弯趋势，用 Ricker 繁殖模式配线比较合适。如果直观上看不到极值，曲线末端继续向上，或有趋近某一数值的倾向，用 Beverton 繁殖模式配线比较合

适。据以上分析,我们认为,用 Beverton 繁殖模式配制对虾繁殖曲线,考虑亲虾数量和补充量之间的关系,比用 Ricker 繁殖模式配线可能更妥当些。又据图 1,我们观察到的对虾亲体数量的变化范围不大,只看到了对虾亲体——补充量之间的局部现象,肯定只用 Beverton 繁殖模式描绘整个过程的特征,证据不是很充分。

## 2. 确定保留合适的亲虾数量

除了上述讨论和表 4 中的计算结果外,尚需具体地考虑以下几个问题,才能初步确定最大持续产量和应保留的亲虾数量。

第一、确定最大持续产量时要考虑用什么量表示  $R$  和  $A$ 。对虾是一个世代,是用世代渔获作为补充量的一个相对数值,包括了春汛产卵虾的渔获量,而表 4 中推算的最大持续产量  $M_{\infty}$  是扣除了产卵亲虾数量,相当于扣除了春汛渔获量。显然,如果用表 4 中的  $M_{\infty}$  值估计对虾渔业的最大持续产量必然偏低,而计算的  $R_t$  值实际上是对虾最大世代产量,所以用  $R_t$  估计对虾渔业的最大持续产量是合理的。Beverton 和 Ricker 繁殖模式推算的  $R_t$  值分别为 3802 和 2507。1974 世代产量是 16 个世代中的最高值为 3803。所以把对虾的最大持续产量定在 3000 比较合适。顺便说一句,对于只有一个世代的种群,确定最大持续产量的意义不太大。繁殖曲线的类型以及参数值,反映了种群的繁殖特性和种群所处的繁殖、成育等环境条件的综合影响结果。所以,用繁殖模式推算的最大补充量  $R_{\max}$  值,是在各种条件都充分满足情况下的理论上的最大补充量,我们根据计算的  $R_{\max}$  值,以及考虑到用 Beverton 繁殖模式表示对虾亲体数量和补充量之间的关系比较适合于渔业已经记录到的最大数值,认为对虾的最大补充量(相当于世代最大产量)在理论上不大可能超过 1961 世代产量的 4 倍(未考虑标准差)。

第二、按表 1 资料,16 个世代(1967—1976)的平均亲虾相对数量为 112,平均世代相对产量为 1724。这两个值都比计算的  $A_t$  和  $R_t$  小得多。看来,增加亲虾数量,就能增加世代产量。要把亲虾数量控制在适当的水平,这个数量应根据渔业具体情况和计算结果分析后确定。如果希望对虾世代产量提高到相对值 2500—3000,即比 16 个世代产量的平均值提高 50%—70%,按 Beverton 繁殖模式计算,要求亲虾数量水平为相对值 210—335 左右,按 Ricker 繁殖模式计算为 250,考虑到渔业已经记录到的数值(资料见表 4),把亲虾的相对数量控制在 250—300 范围内,在一般环境条件下,就可能使对虾世代产量在 2500—3000 间波动。

根据以上的讨论,表 4 中的各推算值以及对虾渔业已经记录到的最大世代产量和相应的亲虾数量,我们认为,第一,在观察到的对虾亲体数量变动范围内,可以用 Beverton 或 Ricker 繁殖模式描绘对虾亲体数量——补充量之间的关系,但用前者可能更合适些;第二,产卵亲虾数量太少,如果把产卵亲虾的相对数量控制在 250—300 范围内,在一般环境条件下,对虾相对产量的平均值可望在 2500—3000 的范围内波动,比 16 个世代产量的平均值提高 50—70%;第三,对虾的世代相对产量在理论上似乎不大可能超过 1961 世代产量的 4 倍,相对值约 4000 左右。

## 参 考 文 献

- [1] 费尚华, 1976. 从亲鱼和补充量关系推断鱼类资源状况的一种模拟方法. 广东水产研究所.
- [2] 最首光三, 1973. Reproduction curve of the Yellow Sea bream in the East China Sea. *Bull. Seikai Fish Res. Lab.* 43: 1—32.
- [3] —, 1975. Reproduction curve of the sea bream, *Chrysophrys major*, in the Yellow Sea. *Bull. Seikai Fish. Res. Lab.* 44: 27—33.
- [4] —, 1970. 東シナ海産キグチ江そ群の再生産曲線について. 日本生態学会誌. 20(1):31—39.
- [5] Beverton, R. J. H. and S. T. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish population. *U. K. Nin. Agric. fish. Invest. Ser.* 2 19: 533.
- [6] Ricker, W. E., 1958. Handbook of computation for biological statistic of fish population. *Bull. fish. Res. Bd. Canada.* 119: 1—300.
- [7] —, 1975. Computation and interpretation of biological statistic of fish population. *Bull. fish. Res. Bd. Canada.* 191: 1—382.

**A STUDY ON THE RELATION BETWEEN ADULT STOCK  
AND RECRUITMENT OF THE PRAWN (*PENAEUS  
ORIENTALIS* KISH.) FROM BO HAI**

Ye Chang Cheng, Liu Chuanzhen and Li Peijun

(Research Institute of Marine Fisheries of Liaoning Province)

Abstract

The catches of the year-class and the mature spawners of the prawn (*Penaeus orientalis*) in spring are used as indices of the recruitment and the adult stock, and the relation between them is here discussed. It is considered that their relationship can be described with Beverton or Ricker reproductive models in the range of the spawners recorded. The values of the parameters in Beverton's and Ricker's models are  $a = 2.092 \times 10^{-4}$   $b = 4.187 \times 10^{-2}$  ( $r = 0.60$ ,  $p > 0.05$ ) and  $a = 24.43$   $b = 3.565 \times 10^{-3}$  ( $r = 0.58$ ,  $p > 0.05$ ) respectively. By the use of mathematical analysis, it seems that Beverton's models is more suitable to describe their relationship than that of Ricker's.

According to the values of the  $A_{max}$  (number of mature spawners needed for the maximum recruitment),  $R_{max}$  (maximum recruitment)  $M_{sy}$  (maximum sustainable yield) and the sizes of the maximum recruitment and adult stock recorded by the prawn fishery, it is certain that the number of the mature spawners is too scarce. If the value of the mature spawners is adjusted to be 250—300 from being 112 (the average value of 16-year classes) the yield of year-class will be increased approximately 50—70% and the value will be increased from 1700 (the average value of 16-year-classes) to 2500—3000. The maximum yield of year-class would attain to 4000, if the conditions should be satisfied.