

太平洋鲱黄海种群的数量估算*

叶昌臣 唐启昇

(辽宁省海洋水产研究所) (黄海水产研究所)

太平洋鲱 (*Clupea pallasii*) 黄海种群(简称黄海鲱鱼), 仅分布于 34°N 以北的黄海海域。成鱼与未成熟的幼鱼几乎终年分栖。成鱼有明显的昼夜垂直移动现象。越冬期成鱼分布偏南, 幼鱼分布偏北。产卵期, 则幼鱼在南, 而成鱼在北。产卵场在山东高角两侧浅海水域。产卵盛期约三月中下旬。产卵盛期和延续的时间每年有异, 大体上与种群数量、群体组成、环境条件等因素有关。二龄鱼即达性成熟。属一次排卵类型, 卵为附着性, 多附着在海藻和岩石上。

黄海鲱鱼的生长特征可用 V. Bertalanffy 生长方程描绘。方程参数

$$k = 0.59, w_{\infty} = 314 \text{ 克}, l_{\infty} = 303 \text{ 毫米}, t_0 = -0.54。$$

生长速度用

$$dw/dt = 3kw_{\infty}e^{-k(t-t_0)}[1 - e^{-k(t-t_0)}]^2 \text{ 或用}$$

$$dw/dt = 3k(w_{\infty}^{2/3}w_i^{1/3} - w_i) \text{ 定义,}$$

资料绘成图 1。

黄海鲱鱼的种群可捕捞部份由二龄以上的个体组成。二龄鱼是补充部份(或称补充群体), 余者为剩余部份(或称剩余群体)。补充部份指的是第一次与网具相遇构成大量捕捞的个体。

* 本文承黄海水产研究所朱德山同志审阅, 特此致谢。

年龄组成资料列成表1。各世代在二龄鱼补充时的捕捞尾数列成表2。种群可捕捞部份的年龄组成受上年的死亡特征和当年的补充部份数量

两个因素影响。表中列出年份的渔捞力量变化不大,海域无异常现象,可以认为死亡特征变化不大。表2资料比较真实地反应出黄海鲜鱼世代数量变化情况。世代数量最大差值(1970世代与1973世代)达20倍左右。

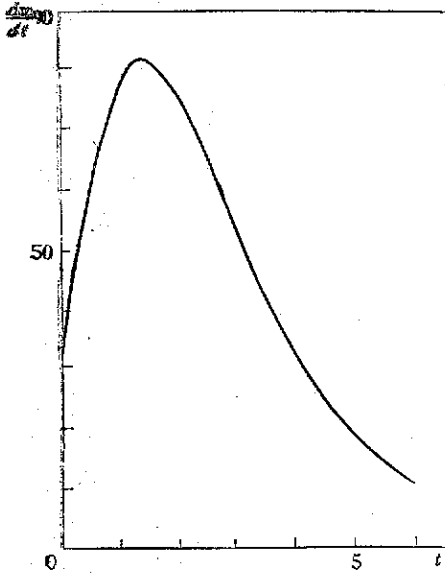


图1 黄海鲜鱼生长速度曲线(1972年资料)

表1 黄海鲜鱼年龄组成(%)

| 捕捞年份 | 补充部份 | 剩 余 部 份 | | | | |
|------|------|---------|------|-----|-----|-----|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | >6 |
| 1972 | 96.0 | 0.4 | 2.1 | 0.5 | 0.9 | 0.1 |
| 1973 | 7.6 | 89.6 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.7 |
| 1974 | 73.3 | 6.0 | 20.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 |
| 1975 | 58.0 | 36.1 | 3.2 | 2.7 | | |
| 1976 | 93.1 | 5.4 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | |

一、黄海鲜鱼世代数量的估算

本文用世代数量一词指的是一个世代刚进入补充时的个体数量。用两种方法估算黄海鲜鱼世代数量。

表2 黄海鲜鱼各世代在二龄鱼时的渔获量

| 世 代 | 二龄鱼渔获量(尾) | A % | B % | 备 注 |
|------|----------------------|-------|-------|--|
| 1970 | 1064.5×10^6 | 268.5 | 100.0 | A是以平均数 396.1×10^6 为100%的各世代相对数 B是以1970为100%的各世代相对数 |
| 1971 | 113.5×10^6 | 28.3 | 10.7 | |
| 1972 | 307.5×10^6 | 77.6 | 28.9 | |
| 1973 | 53.1×10^6 | 13.4 | 5.0 | |
| 1974 | 441.9×10^6 | 111.5 | 41.5 | |
| 平均 | 396.1×10^6 | | | |

第一种方法 用单位渔捞力量渔获量和渔获量资料估算

设在 $34^\circ N$ 以北的黄海海域内黄海鲜鱼某世代刚进入补充(二龄鱼)时的数量为 N_0 (尾计),再设第一个取样期的渔捞死亡率为 \bar{F}_1 , 渔获量为 Y_1 , 则有

$$Y_1 = N_0 \bar{F}_1 \quad (A1)$$

设渔捞力量为 f , 在满足某些条件时,有

$$\bar{F} = Cf \quad (A2)$$

C 为渔捞系数(Catchability coefficient),用 \bar{F}/f 定义,即一个渔捞力量造成的渔捞死亡率,或一个渔捞力量捕获的数量与资源量的比值。所以渔捞系数受种群分布特征和渔捞作业条件的影响。将式(A1)、(A2)合并可得

$$(Y/f)_1 = C_1 N_0 \quad (1)$$

第一个取样期末的数量,可以近似地视为第二个取样期开始时的数量。若取样时期不长,与渔捞死亡率相比,自然死亡率可不计,则第一个取样期末,第二个取样期初的数量为 $N_0 - Y_1$ 。并设两个取样期内的渔捞系数相等,令等于 C ,对于第二个取样期,则有

$$(Y/f)_2 = N_0 C - C Y_1 \quad (2)$$

同理,对于第三个取样期,有

$$(Y/f)_3 = N_0 C - C(Y_1 + Y_2) \quad (3)$$

对于几个取样期,则有

$$(Y/f)_n = N_0 C - C(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{n-1}) \quad (4)$$

显然,除式(1)外,都具有截距等于 $N_0 C$, 斜率

等于 $-C$ 的线性方程。可写成式(5)

$$(Y/f)_{i+1} = N_0C - C \sum_{i=1}^{n-1} Y_i \quad (5)$$

观察上述各式可以看出,各式中的截距 N_0C 应等于第一个取样期的 $(Y/f)_1$ 值。式(5)不包括式(1),把式(5)改写成式(5)',则包括式(1)。式(5)'与 D. B. Delury¹⁾方程相同,我们用式(5)估算黄海鲱鱼数量。

$$(Y/f)_{i+1} = N_0C - C \sum_{i=0}^{n-1} Y \quad (5')$$

用式(5)或式(5)'估算鱼类种群数量,需要各个时期的单位渔捞力量渔获量和相应的渔获量资料。考虑到下面需要渔捞力量资料,在此一并说明

黄海鲱鱼是大型的复合渔业,有机轮拖网、机轮围网、机帆船围网和沿岸各种定置和游动渔具组成。渔捞力量很大。要把这种渔业的渔

捞力量标准化,求出平均单位渔捞力量渔获量,不仅统计资料不完整,且各类网具的加权平均数可能要引入较大的误差。我们考虑到机轮拖网是这个渔业中的主要捕捞工具,投网数多,几乎是全年作业,产量大,占这个渔业总产量的50%左右,历年也无大变化,以及考虑到各种马力拖网船之间的比例,这几年也没什么变化。故可取各类机轮拖网100网为一个渔捞力量单位,每百网的平均产量为单位渔捞力量渔获量 (Y/f) ,用它除这个时期的总渔获量,得渔捞力量 (f) 。这样处理是把这个鱼业的各类网具都计成以机轮拖网为标准的渔捞力量。以1972年2月为例,由原始统计资料、生物学资料计算出1970的单位渔捞力量渔获量、捕捞尾数和渔获量等资料列成表3。再按表3的计算方法按式(5)的要求,把各个时期的资料计算成表4,用表4中的B项和D项作成图2。图2是

表3 黄海鲱鱼渔业的 Y/f 、 f 及 Y 计算表

| A | B | C** | D | F = B×C/D | E* | G = F/E |
|---------|----------|----------|-----------|-----------------------|----------------------|---------|
| 时 间 | 1月总产量(吨) | 1970世代占% | W_2 (克) | 1970世代产量 | Y/f | f |
| 1972.2月 | 15694 | 91.8 | 145 | 99.36×10^6 尾 | 2.47×10^6 尾 | 40.2 |

* 1972年2月机轮拖网每百网平均产19500箱,每箱40斤计,故有 $Y/f = 19500 \times 0.918 \times 40 \times 500 \times 145^{-1}$

** 二龄鱼占的重量%

表4 黄海鲱鱼1970世代 Y/f 和 ΣY 的关系(单位:尾)

| A | B | C | D |
|---------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 时 间 | Y/f | Y | ΣY |
| 1972.2月 | 2.47×10^6 | 99.4×10^6 | |
| 3月 | 2.03×10^6 | 315.6×10^6 | 99.4×10^6 |
| 4~12月 | 1.71×10^6 | 600.2×10^6 | 415.0×10^6 |
| 1973.1月 | 1.15×10^6 | * 61.4×10^6 | 1015.2×10^6 |
| 2月 | 1.05×10^6 | 53.7×10^6 | 1076.6×10^6 |
| 3月 | 0.85×10^6 | 66.5×10^6 | 1130.3×10^6 |
| 平 均 | 1.36×10^6 | | 747.3×10^6 |

方程(5)的图形,截距等于 N_0C ,其值为 2.14×10^6 ,斜率 $C = 1.05 \times 10^{-3}$ 。相关系数 $r = -0.99$ 。统计检验,相关性显著。算出的截距与第一次取样的 $(Y/f)_1 = 2.47 \times 10^6$ 相差也不大。说明黄海鲱鱼渔业可能与式(5)要求的条件相近。故黄海鲱鱼1970世代在1972年2

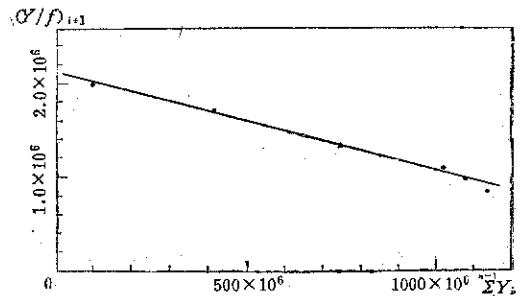


图2 黄海鲱鱼1970世代 Y/f 与 Y 的关系

月初补充(二龄鱼)时数量 $N_0 = 2.14 \times 10^6 / 1.05 \times 10^{-3} = 2038 \times 10^6$ 尾。1972年1月捕1970世代 87.9×10^6 尾。故在1972年1月初黄海鲱

1) Delury D. B. 1951 On the planning of experiments for the estimation of fish population. J. Fish. Res. Bd. Canada, 8(4): 281-307.

鱼 1970 世代数量约为 2126×10^6 尾。

第二种方法 用渔捞死亡率估算

通常用渔获量 (Y) 和资源量 (N_0) 的比值定义渔捞死亡率 (\bar{F})。

$$\bar{F} = Y/N_0$$

反过来, 可以用渔获量与渔捞死亡率的比值估算资源量

$$N_0 = Y/\bar{F} \quad (6)$$

单独测定渔捞死亡的机会不多。一般是先测定总死亡, 而后分离出渔捞死亡和自然死亡。

种群数量下降特征常用式 (7a) 表示

$$\frac{dN}{dt} = -(F + M)N \quad (7a)$$

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}$$

式中 F 和 M 分别为渔捞死亡系数和自然死亡系数¹⁾。设取样时间为一个单位, $t = 1$, 我们有

$$(F + M) = L_n \frac{N_0}{N_t} \quad (7)$$

式 (7) 表明, 两个时期资源量比值的对数, 等于总死亡系数。式 (7) 仅要求比值, 故合适的相对资源量指标也能满足式 (7)。单位渔捞力量渔获是较可靠的相对资源量指标。取机轮拖网每百网为一个渔捞力量单位, 每百网的平均产量即为单位渔捞力量渔获量, 并计成 1970 世代尾数。1972 年 2 月资料已列成表 3。今把 1973 年 3 月资料连同 1972 年 2 月资料列成表 5。用表 5 中的两个时期的 Y/f 值按式 (7) 在假定两个时期渔捞系数相等的条件下, 计算总死亡系数

$$L_n \frac{2.47 \times 10^6}{0.85 \times 10^6} = 1.067,$$

这是从 1972 年 2 月初到 1973 年 2 月底的总死亡系数。

总死亡系数 (Z) 是自然死亡系数 (M) 和

表 5 黄海鲜鱼 1970 世代单位渔捞力量渔获量资料

| A | B* | C** | D | $E = B \times C \times 40 \times 500 \times D^{-1}$ |
|---------|-----------|-----------|-------|---|
| 时 间 | 100 网平均产量 | 1970 世代占% | 平均体重 | 单位渔捞力量渔获量 |
| 1972.2月 | 19500 箱 | 91.8 | 145 克 | 2.47×10^6 尾 |
| 1973.3月 | 11060 箱 | 77.6 | 200 克 | 0.85×10^6 尾 |

* 每箱按 40 斤,

** 1972.2月为 2 龄鱼, 1973.3月为 3 龄鱼

渔捞死亡系数 (F) 之和, 而渔捞死亡系数与渔捞力量成比例, 故有

$$Z = C'f + M \quad (8)$$

用式 (8) 外推到零估算 M 。在列表 3 时曾说明过把黄海鲜鱼渔业的渔捞力量标准化问题。

表 6 黄海鲜鱼渔业的 f 和 Z 的资料

| 时 间 | Y/f | f | Z | 备 注 |
|---------|-------|-----|-------|--------------------|
| 1972年2月 | 2.47 | 40 | 0.196 | Z按式(7)计算 f按表3计算 |
| 3月 | 2.03 | 156 | 0.173 | |
| 4~12月 | 1.71 | 309 | 0.397 | |
| 1973年1月 | 1.15 | 53 | 0.090 | |
| 2月 | 1.05 | 51 | 0.211 | |
| 3月 | 0.85 | | | |
| 平 均 | | 122 | 0.213 | |

按照这一方法, 根据渔业统计资料和生物学检查资料, 把渔捞力量、单位渔捞力量渔获量和用式 (7) 计算的总死亡系数等资料列成表 6。根据这个资料绘成图 3, 用统计方法算得相关系数 $r = 0.84$, 斜率 $C' = 8.001 \times 10^{-4}$, 截距 $M = 0.116$ 。

式 (7) 要求在取样时期内自然死亡系数 M 和渔捞系数 C' 为常量。由表 6 可知, 收集资料的时间间隔不等, 不能假定 M 为常量。我们考虑到几乎没有一个渔业能完全满足式 (7) 的

1) 在渔业调查中常用两种概念。一种瞬时概念, 即瞬时死亡, 本文称死亡系数, 另一种平均概念, 即平均死亡, 本文称死亡率。

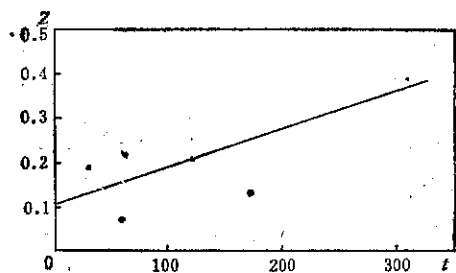


图3 黄海鲱鱼 Z 与 f 的关系

条件, E 确定鱼类的自然死亡, 黄海鲱鱼有“抢滩”习性, 自然死亡在产卵期可能突然变大等等。可以把所测值近似地看成是这个时期内的自然死亡。

总死亡系数 $Z = 1.067$, 扣去自然死亡系数 0.116 , 渔捞死亡系数 $F = 0.951$ 。按式(6)估算世代数量 N_0 时, 要求用渔捞死亡率 E 。可按式(9)把 F 换算成 E 。

$$E = \frac{(1 - s)F}{Z} \quad (9)$$

式中 s 为残存率, 而 $s = e^{-Z}$ 。 $Z = 1.067$, 故 $e^{-Z} = 0.35$ 。将此值和 $F = 0.951$ 代入式(9), 可得 $E = 0.58$ 。据表4资料, 相应于这个时期1970世代的总渔获量为 1130.3×10^6 尾。按式(6)黄海鲱鱼1970世代在1972年2月初的数量为

$$N_0 = \frac{Y}{E} = \frac{1130.3 \times 10^6}{0.58} = 1949 \times 10^6 \text{ 尾}$$

1972年1月捕1970世代 87.9×10^6 尾。故1970世代在1972年年初补充时的资源量为 2037×10^6 尾, 与用单位渔捞力量渔获量、渔获量资料的估算结果 2126×10^6 尾相比, 差 89×10^6 尾, 约为5%。取两种方法估算的平均值为 2082×10^6 尾。

二、结果检验

在渔业调查中, 都需测定鱼类种群的特征数, 包括种群数量、死亡等。在一般情况下, 测定结果的精确度都不高, 特别是正确估算种群数量, 尤其困难。所以, 把这些估算的数值用来解决渔业的具体问题时, 要考虑可能的误差情况, 同时要用渔业生产结果加以检验。

表7 黄海鲱鱼1970世代实际生产结果

| 捕捞年份 | 年龄 | 渔获量 $\times 10^6$ 尾 | 自然死亡数量* $\times 10^6$ 尾 | 年初资源量 $N_t^{**} \times 10^6$ 尾 |
|------|----|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1972 | 2 | 1064.5 | 229.0 | 2082.0 |
| 1973 | 3 | 562.5 | 86.7 | 788.5 |
| 1974 | 4 | 80.1 | 15.3 | 139.3 |
| 1975 | 5 | 2.3 | 4.8 | 43.9 |
| 1976 | 6 | 0.3 | | 36.9 |
| 合计 | | 1709.7 | 335.8 | |

* 年自然死亡按 $N_t(1 - e^{-M})$ 计算 $M = 0.116$

** 2082×10^6 尾是1970世代在1972年初用上述两种方法估算的平均值。其他年份的 N_t 计算方法如下, $N_t =$ 上年年初资源量 - 上年渔获量 - 自然死亡数量。例如1973年初的 $N_t = 2082 \times 10^6 - 1064.5 \times 10^6 - 2082 \times 10^6(1 - e^{-0.116}) = 788.5 \times 10^6$ 尾

黄海鲱鱼的1970世代在1972年初二龄鱼时进入种群可捕捞部份被渔获, 到1976年六龄鱼时达最大年龄, 过后, 在种群可捕捞部份中消失。这个世代生命的结束, 就提供了用实际生产检验估算结果的机会。今把1970世代在各个年份的渔获尾数和估算的自然死亡数量列成表7。黄海鲱鱼1970世代在它的生活年份(1972—1976)里共捕获 1709.7×10^6 尾, 因自然死亡的数量为 335.8×10^6 尾, 两者合计为 2045.5×10^6 尾。生产结果与估算值基本相符。