

# 青海湖裸鲤种群数量变动的初步分析\*

张 玉 书 陈 媛

(中国科学院西北高原生物研究所)

## 提 要

青海湖裸鲤是青海湖唯一的捕捞对象。开发后的种群数量变动主要根据 1975—1977 年该湖渔获物资料及过去研究的裸鲤生物学特性。计算了该种群的若干特征值,应用 Beverton-Holt 数学模式计算不同捕捞努力量或用不同网目的拖网对裸鲤种群在一生中总个体数、总生物量,和对裸鲤种群一生中能捕捞的总个体数及总渔获重量的影响,以及裸鲤的最大持续产量和现有种群数量。评价了裸鲤资源利用现状,提出有关生产的一些初步意见。

青海湖裸鲤 *Gymnocypris przewalskii przewalskii* (Kessler) (以下简称裸鲤)生活在青海湖及其附属水系中,是青海湖渔业的唯一对象。自 1958 年开发利用以来,截至 1977 年已生产裸鲤累计 15 万吨左右,年产量平均 1—2 吨/平方公里。1960 年高达 5 吨/平方公里以上,创该湖渔产量最高记录。以后产量逐年下降,渔获物个体的重量和长度也减小。这是否是资源衰退现象?目前的捕捞量是否合理?湖内裸鲤的资源量究竟有多少?为此,我们在过去工作的基础上,于 1975—1977 年研究了裸鲤种群数量变动,应用渔业研究中种群数量变动的数学模式方法考察裸鲤资源数量变动的一般状况,计算最大稳产高产的持续产量,为合理捕捞和科学管理提供依据。

## 材 料 和 方 法

1975—1977 年的 7—9 月间,在青海湖渔场每月随机取样渔获物十次,每次取 50 公斤,测记鱼的体长、体重资料,并统计该湖各渔业生产单位 1975—1977 年总产量。按下述方法计算若干鱼类种群特征值。

### 1. 使用的数理模式:

本文选用的模式为分析模式 (Analytic model) 即动态综合模式 (Dynamic pool model) 中的 Beverton-Holt 模式。应用这一模式可解决的问题:(1)使用不同捕捞努力量或不同网目大小的拖网对裸鲤种群总个体数和总生物量的影响;(2)使用不同捕捞努力量或不同

\* 本文承费鸿年教授提过不少意见。王似华同志检定了裸鲤的年龄,并得到我所水生生物组同志和青海湖渔场、青海湖农场及哇王香卡农场的大力协助。文内插图由宁汝莲、王家义同志绘制,在此一并致谢。

网目大小的拖网对裸鲤种群能捕捞的总个体数和总渔获重量的影响。计算上述各种结果和渔获物的平均体重与平均体长共用六个模式,现列举如下:

$$P_n = \frac{R e^{-M(t_0 - t_r)}}{F + M} [1 - e^{-(F+M)(t_\lambda - t_0)}] \quad (1)$$

$$Y_n = F \cdot P_n \quad (2)$$

$$P_w = R e^{-M(t_0 - t_r)} W_\infty \sum_{n=0}^{\lambda} \frac{U_n e^{-nk(t_0 - t_r)}}{F + M + nk} [1 - e^{-(F+M+nk)(t_\lambda - t_0)}] \quad (3)$$

$$Y_w = F \cdot P_w \quad (4)$$

$$\bar{W}_y = P_w / P_n \quad (5)$$

$$\bar{L}_y = L_\infty \left\{ 1 - \frac{(F + M)[1 - e^{-(F+M+nk)(t_\lambda - t_0)}]}{(F + M + nk)[1 - e^{-(F+M)(t_\lambda - t_0)}]} \right\} e^{-k(t_0 - t_r)} \quad (6)$$

上述各式中:

$P_n$ ——捕捞对象的年平均资源个体数

$P_w$ ——捕捞对象的年平均资源重量

$Y_n$ ——捕捞对象的渔获个体数

$Y_w$ ——捕捞对象的渔获重量

$R$ ——补充到渔场的个体数

$\bar{W}_y$ ——渔获个体的平均体重

$\bar{L}_y$ ——渔获个体的平均体长

$M$ ——自然死亡系数

$F$ ——捕捞死亡系数

$t_0$ ——生长方程式中的理论生长起点年龄

$t_r$ ——进入渔场年龄

$t_0$ ——最初被捕年龄

$t_\lambda$ ——最大年龄

$k$ ——渐近生长系数

$W_\infty$ ——最大体重

$L_\infty$ ——最大体长

由于补充量作为不变的,所以文中的 $P_n$ 、 $P_w$ 、 $Y_n$ 、 $Y_w$ 都用每单位 $R$ 来表示,即用 $P_n/R$ 、 $P_w/R$ 、 $Y_n/R$ 来表示,这些都是相对指数不是绝对量。

## 2. 体长和年龄资料:

1975年、1976年调查所测定裸鲤的体长分布列于表1。

表 1 裸鲤鱼获物长度分布

体长：毫米

时 间	尾 数		体 长 组															
	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	29.0	32.0	35.0	38.0	41.0	44.0	47.0	50.0	53.0	56.0	59.0	62.0	
1975		8	19	339	1369	1720	831	292	76	24	5		1		1			
1976	16	54	192	803	1934	1583	649	237	51	7	5			2			2	

1975 年和 1976 年渔获物的年龄组成 (表 2), 系根据实测部份样品的年龄与体长关系 (即各体长组内各龄鱼的百分比), 将裸鲤渔获物年度分布换算而成。由于 5—11 龄以外的各龄鱼在渔获物中所占比例很小, 略去后对计算种群生物学某些参数的影响不大, 因此计算时以表 2 的数值为依据。

表 2 裸鲤渔获物的年龄组成

时 间	尾 数		年 龄							合 计
	5 <sup>+</sup>	6 <sup>+</sup>	7 <sup>+</sup>	8 <sup>+</sup>	9 <sup>+</sup>	10 <sup>+</sup>	11 <sup>+</sup>			
1975	6.80	282.36	2068.13	1039.64	408.02	476.55	292.00	4573		
1976	68.36	633.01	2674.01	1095.08	324.70	370.84	231.00	5389		

### 3. 总死亡系数 $Z$ 的计算:

据表 2 的数据, 以年龄为横座标, 各龄的个体数  $N_x$  为纵座标, 绘成 1975 年, 1976 年的捕捞曲线 (图 1) 表明这两年捕获各龄组的数量情况, 曲线从 5 至 7 龄是上升的, 7 龄以下逐步下降, 计算总死亡系数只用下降部份的各龄频率。简便方法是通过残存率  $S$  来计算。一个种群的数量从  $t$  年的  $N_t$  死去了一部份而残存到  $t+1$  年的数量为  $N_{t+1}$ , 则其残存率为

$$N_{t+1}/N_t = S = e^{-Z} \quad (7)$$

$Z$  为总死亡系数, 而残存率  $S$  为年死亡率  $\alpha$  的余数即

$$S = 1 - \alpha \quad (8)$$

$$\therefore 1 - \alpha = e^{-Z} = \frac{1}{e^Z} \quad (9)$$

$$Z = -\log_e(1 - \alpha) \quad (10)$$

这样算出  $S$  之后就可算出  $Z$  值。

计算残存率用下列数学式

$$\hat{S} = \frac{N_2 + N_3 + N_4 + \dots + N_n}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_{n-1}} \quad (11)$$

$$\text{及 } \hat{S} = \frac{{}_{i+1}N_2 + {}_{i+1}N_3 + \dots + {}_{i+1}N_n}{{}_iN_1 + {}_iN_2 + \dots + {}_iN_{n-1}} \quad (12)$$

(11)式中  $N_1, N_2, \dots, N_n$  分别为 1, 2,  $\dots, n$  各龄的个体数或百分率; (12)式中  $i$  表示年份。现用 1975, 1976 年 7—11 龄鱼的个体数计算残存率, 其结果如下:

$$\begin{aligned} 1975, \quad \hat{S} &= \frac{N_8 + N_9 + N_{10} + N_{11}}{N_7 + N_8 + N_9 + N_{10}} = \frac{1039.64 + 408.02 + 476.55 + 292.00}{2068.13 + 1039.64 + 408.02 + 476.55} \\ &= \frac{2216.21}{3992.34} = 0.555 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1976, \quad \hat{S} &= \frac{N_8 + N_9 + N_{10} + N_{11}}{N_7 + N_8 + N_9 + N_{10}} = \frac{1095.08 + 324.70 + 370.84 + 237.00}{2674.00 + 1095.08 + 324.70 + 370.84} \\ &= \frac{2027.62}{4464.63} = 0.454 \end{aligned}$$

$$1975-1976: \quad \hat{S} = \frac{{}_{75}N_8 + {}_{75}N_9 + {}_{75}N_{10} + {}_{75}N_{11}}{{}_{75}N_7 + {}_{75}N_8 + {}_{75}N_9 + {}_{75}N_{10}} = \frac{2027.62}{3992.34} = 0.508$$

既然  $S = e^{-Z}$ , 可查 Ricker (1975)<sup>[11]</sup> 的附表, 由  $S$  求得总死亡系数  $Z$ 。

1975 年,  $\hat{Z} = 0.59$ ; 1976 年,  $\hat{Z} = 0.79$ ; 1975—1976 年,  $\hat{Z} = 0.68$ 。

以上三个数值按需要可任选一值, 或用平均值  $S = 0.505$ ,  $Z = 0.68$ 。

在缺年龄组成资料时, 可用体长组资料计算残存率 Tauti (1973)<sup>[14]</sup>, Kurita (1948)<sup>[9]</sup> 1964 年和 1965 年裸鲤残存率是用体长组成计算的。以 1964 年的 30-32 及 33-35 厘米两体长组所占百分数 (29.63% 及 22.20%)<sup>[2]</sup> 分别作为  ${}_{64}N_2$  及  ${}_{65}N_3$ , 则  $\hat{S} = \frac{9.22 + 7.81}{29.63 + 22.22}$

$= 0.33$ ;  $\hat{Z} = 1.11$ 。

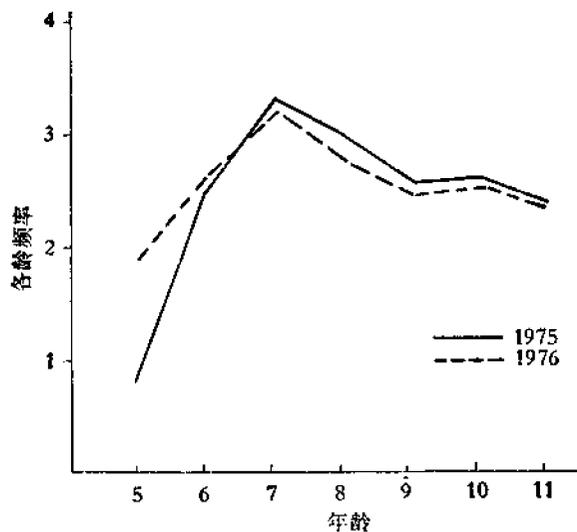


图 1. 1975、1976 年裸鲤的捕捞曲线

#### 4. 自然死亡率 $M$ 的计算:

总死亡系数  $Z$  包括自然死亡系数  $M$  和捕捞死亡系数  $F$ , 即  $Z = M + F$ 。

在原始种群即未被捕捞种群中,  $Z = M$ 。由残存率换算出  $Z$ , 就可得  $M$ 。但在已被捕捞的种群中要分离出  $M$  常较困难, 虽有多种方法计算, 但均受一定条件的限制, 据现有资料, 今采用下列两种方法计算:

(1) Silliman (1943)<sup>[12]</sup> 的方法 用两个比较稳定的捕捞努力量  $f$  与总死亡系数  $Z$  的关系作比较来分离  $M$  与  $F$ 。其公式为, 第一个时期  $F_1 + M = Z_1 = -\log_e S_1$ ; 第二个时期  $F_2 + M = Z_2 = -\log_e S_2$ 。  $F_1/F_2 = f_1/f_2$ ,  $F_1/f_1 = F_2/f_2$ 。1964—1965 年和 1975—1976 年代表两个不同的稳定捕捞努力量(以相同吨位的拖网船只数作单位)。

年 度 ( $t$ )	相对捕捞努力量 ( $f$ )	残 存 率 ( $S$ )	总死亡系数 ( $Z = -\log_e S$ )
1964—1965	$f_1 = 8$	$S_1 = 0.330$	$Z_1 = 1.11$
1975—1976	$f_2 = 4$	$S_2 = 0.509$	$Z_2 = 0.68$

$$F_1 + M = 1.11, F_2 + M = 0.68, F_1/F_2 = f_1/f_2 = 2, F_1 = 2F_2$$

$F_1 - F_2 = 2F_2 - F_2 = 1.11 - 0.68 = 0.43, F_2 = 0.43, F_1 = 0.86, M = 0.25$ , 这样求出自然死亡系数为 0.25。

(2) Tanaka (1960)<sup>[13]</sup> 的对比法 Beverton Holt (1957)<sup>[6]</sup> 指出长寿命的鱼生长系数  $K$  值小, 寿命短的鱼生长系数  $K$  值大, 而生长系数与自然死亡系数成正例。现以裸鲤同确切知道  $M$  的日本内海真鲷相比, 真鲷的寿命为 25 龄, 其总死亡率为 0.18, 自然死亡率为 0.10, 求裸鲤的死亡率则用下式:  $1 - n = \left( \frac{1 - 0.18}{1 - 0.10} \right)^{\frac{25}{21}}$ 。求得  $1 - n = 0.8937, n = 0.1063$ 。由 Ricker 的  $n$  与  $M$  的对照表求得  $M = 0.11$ 。上述两种计算结果数值相差很大。现采用平均值, 则  $M = 0.18$ 。

#### 5. 生长参数 $K$ 和理论上生长起点年龄 $t_0$ :

von Bertalanffy 生长公式为  $L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$ ;  $W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3$ 。

求  $K$  和  $t_0$  两值采用 Walford (1964) 作图法以  $t+1$  年龄时体长作纵座标,  $t$  年龄时的体长作横座标, 以  $t+1$  和  $t$  时及  $t+2$  和  $t+1$  时……的一系列体长值在图上取点, 连于各点的直线与对角线相交的一点计算最大体长。本文引用裸鲤各岁鱼的体长和体重数值以赵利华等(1975)<sup>[3]</sup> 记载为依据, 从图 2 求得其最大体长为 590 毫米。现将  $L_\infty - L_t$  的自然对数及数值列于表 3, 以年龄为横轴,  $L_\infty - L_t$  的自然对数为纵轴, 在图 2 的左上方取点, 连成直线与纵轴切截点的自然对数值为 6.39, 这条线的斜度  $K = 0.07$ 。在自然对数表上查出最大体长 590 毫米的数值为 6.38, 于是  $t_0 = \frac{6.39 - 6.38}{0.07} = 0.14$ 。这个  $K$  值与对角线切截线的斜度  $K$  的关系是  $K = -\log_e \sqrt{k}$ 。

但从  $k$  算出的  $K$  值与用自然对数求得的  $K$  值略有差异, 应以自然对数所算出的  $K$  值为准,  $K$  值代表了生长到渐近线的速度, 由于裸鲤生长很慢, 所以  $K$  值特别小。但  $K$  值和  $M$  一样受到各种生物和非生物因子的影响而极不稳定, 所以我们除用求出的  $K$  值外, 再用

几个假定的 $K$ 值来考察其对持续产量的影响。

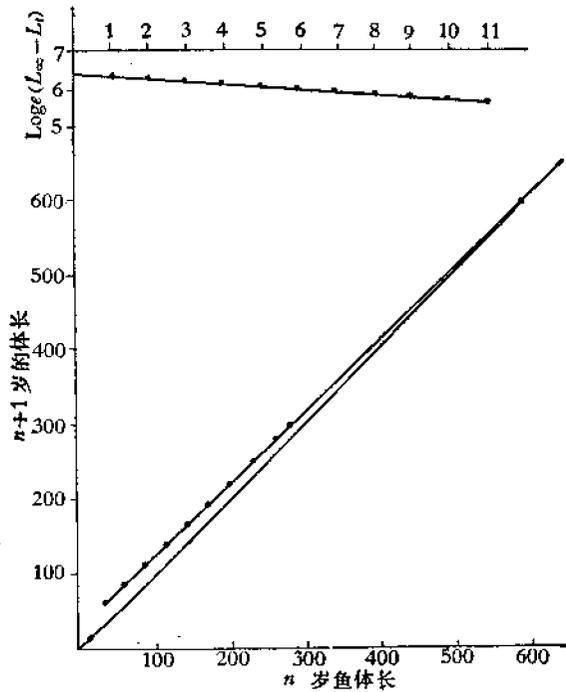


图2. 青海湖裸鲤体长的 Walford 作图

表3 裸鲤的 Walford 作图数据

年 龄	体 长 (mm)	$L_{\infty} - L_t$ (mm)	$\log_e(L_{\infty} - l_t)$	调 整 年 龄
1	35.2	554.8	6.32	0.86
2	63.1	526.9	6.27	1.86
3	89.8	500.2	6.22	2.86
4	117.0	473.0	6.16	3.86
5	144.2	445.8	6.10	4.86
6	172.0	418.0	6.04	5.86
7	201.3	388.7	5.96	6.86
8	228.9	361.1	5.89	7.86
9	257.3	332.7	5.81	8.86
10	282.2	307.8	5.73	9.86
11	300.2	289.8	5.67	10.86

## 6. 其他参数:

(1) 最大体重: 若按  $W_t = 1.28 \times 10^{-5} L_t^{3.0358}$  计算, 以  $L_{\infty}$  为 590 毫米算出  $W_{\infty}$ , 与实际数据有相当出入, 因而采用实测的 2700 克作为  $W_{\infty}$ 。

(2) 进入渔场的最初年龄: 裸鲤为 2 龄而可以被捕的年龄  $t_0$  也是 2 龄, 所以  $t_0 - t_r = 0$ 。但目前裸鲤的最初被捕年龄  $t_0 = 7.0$ , 因此  $t_0 - t_r = 5.0$ 。我们采用 21 龄为最大年龄  $t_k$ , 并非偶然捕到的高龄鱼只限于 21 龄, 因年龄再高的鱼在生产上基本不起作

用,即使这一估计可能偏低些,对讨论种群数量变动上影响不大。

现将计算动态模式上所用参数列于表 4。

表 4 计算动态综合模式所用参数

参 数 名 称	符 号	数 值	参 数 名 称	符 号	数 值
自然死亡系数	$M$	0.18	理论上开始生长年龄	$t_0$	0.14
生长参数	$K$	0.07	最大年龄	$t_L$	21.00
进入渔场年龄	$t_r$	2.0	最大体长(mm)	$L_\infty$	590.00
最初被捕年龄	$t_0^*$	7.0*	最大体重(克)	$W_\infty$	2700

\* 指当前实际生产所用拖网网目的  $t_0$ 。

本文以分析模式作为探索裸鲤种群数量变动的主要方法。演算方法按费鸿年(1973)<sup>[1,2]</sup>, Beverton and Holt(1957)<sup>[5]</sup>和 Gulland(1959)<sup>[7]</sup>所述的分成几个代数式逐步计算;为了精简演算手续,我们采用已编成 Algol TQ-16 型电子计算程序进行。从计算机算出的数值为年平均资源个体数( $P_n$ );年平均资源重量( $P_w$ );年平均渔获个体数( $Y_n$ );年平均渔获量( $Y_w$ )。这些数值都是单位补充量的相对值。另外,又算出渔获平均体长( $\bar{L}_y$ )和平均体重( $\bar{W}_y$ ),没有中间过程的其他数值,所以我们又改编了电子计算程序。

## 研 究 结 果

### 1. 裸鲤种群数量变动特征

(1) 捕捞强度与种群大小 ( $P_n/R$ ) 和种群生物量 ( $P_w/R$ ) 的关系 “捕捞强度”用捕捞死亡系数  $F$  表示,它对种群一般有两个方面影响。一是对种群大小 ( $P_n/R$ ) 的影响,以最初被捕年龄为 7 龄作例(图 3),  $P_n/R$  的值,在  $F=0$  时最大(约 2.0)  $F=0.1$  时,下

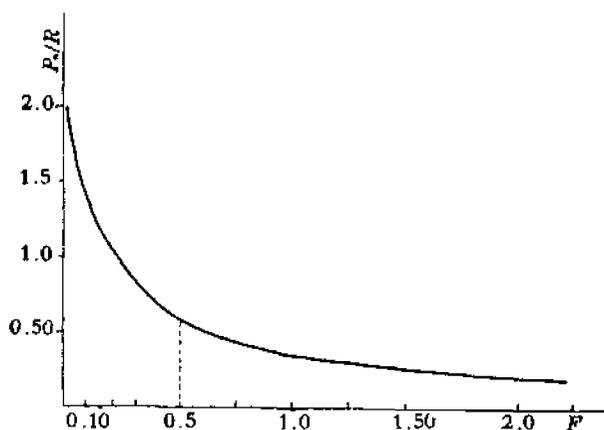


图 3. 裸鲤在不同捕捞死亡系数  $F$  对种群大小  $P_n/R$  的作用(最初被捕年龄为 7.0 时;垂直虚线为 1975—1976 年现时点)。

(1) 费鸿年,1973。应用不完全贝塔函数试作南海底拖网鱼类资源状况分析。广东省水产研究所。

(2) 费鸿年,1973a。南海北部几种拖网鱼类资源状况初步探讨。同上。

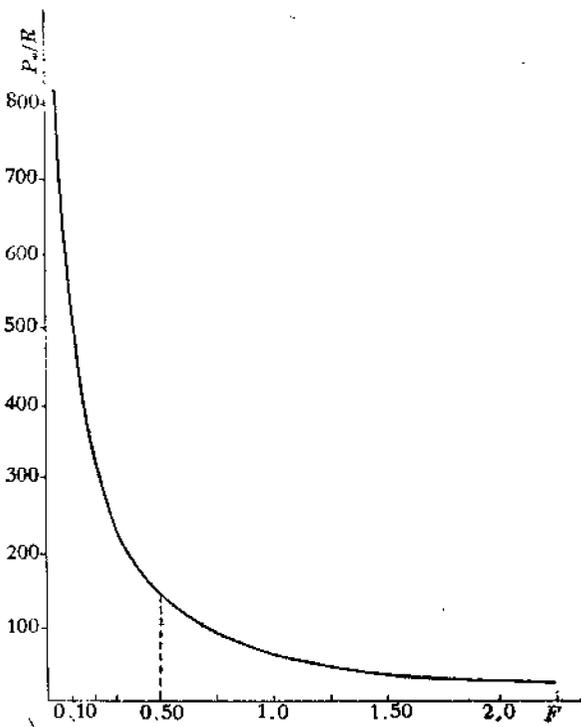


图4. 不同捕捞死亡系数  $F$  对裸鲤种群生物量  $P_w/R$  的影响(最初被捕年龄为7.0时; 垂直虚线为1975—1976年现时点)。

不同最初被捕年龄的渔获个体数受  $F$  影响的曲线变化趋势是近似的(图6)。但最初被捕年龄越小, 渔获个体数增加越多。渔获重量受  $F$  的影响, 仍以最初被捕年龄7龄时为例(图7), 在  $F$  从0增至0.30时上升较快; 在  $F$  从0.30增至0.50时却无显著上升; 以后  $F$  值虽继续增大, 但渔获重量却随之缓慢下降, 扭转点在0.30至0.50之间。这与渔获个体数受  $F$  影响的变化不一样, 但与种群大小受  $F$  影响的变化相似。在不同最初被捕年龄的渔获重量受  $F$  影响的曲线变动趋势(图8)与在最初被捕年龄为7龄时大致相似, 但在  $F$  小于0.50时, 渔获重量最大值, 随最初被捕年龄的减小而向低捕捞死亡系数值方向变动, 特别是最初被捕年龄为2龄和4龄时尤甚。

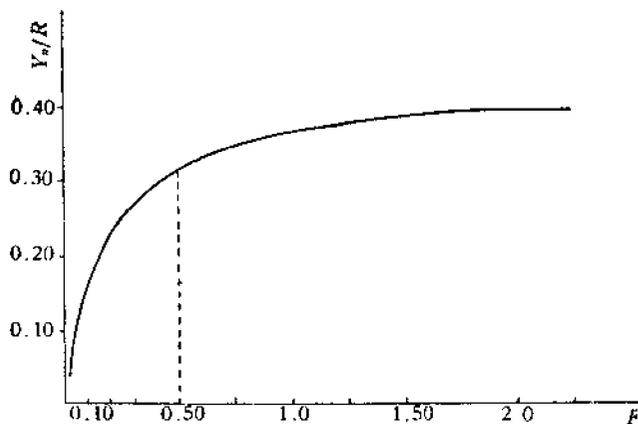


图5. 不同捕捞死亡系数  $F$  对裸鲤渔获个体数  $Y_n/R$  的影响(最初被捕年龄为7.0时; 垂直虚线为1975—1976年现时点)。

降为1.45; 当  $F=0.50$  时, 进一步下降至0.61; 以后随  $F$  值的增大而缓慢减小。扭转过程出现于  $F=0.50$  前后, 但无突出扭转点。当  $F$  超过2.25后, 进入渐近线最后降到最低点。另一个是对种群生物量 ( $P_w/R$ ) 的影响, 仍以最初被捕年龄7龄为例(图4); 种群生物量受  $F$  的影响, 与种群大小受  $F$  的影响相似, 当  $F$  值从0.02增到0.50时,  $P_w/R$  值由819.48降到140.60; 以后随  $F$  值增大而相应最后降到最低点。扭转点在  $F=0.50-1.25$  的范围内。

(2) 捕捞强度与渔获个体数 ( $Y_n/R$ ) 和渔获重量 ( $Y_w/R$ ) 的关系 渔获个体受捕捞死亡系数  $F$  的影响, 以最初被捕年龄为7龄时为例(图5), 在  $F$  为0—0.5范围内时增加很快; 以后即缓和地趋向渐近线, 但在  $F$  从0.75增至2.25时却增加很少。

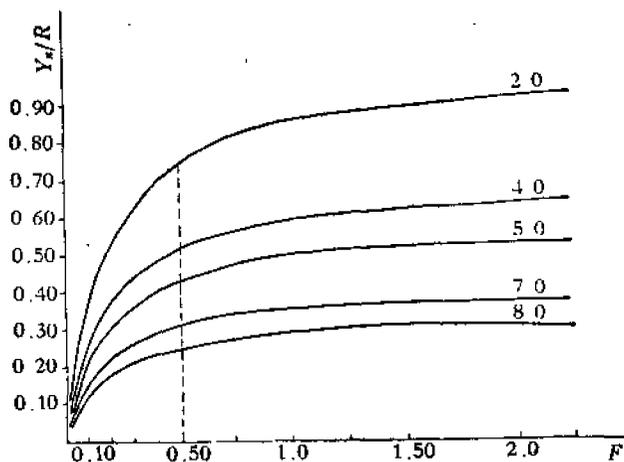


图6. 不同捕捞死亡系数  $F$ , 在不同被捕年龄时对渔获个体数的结果。

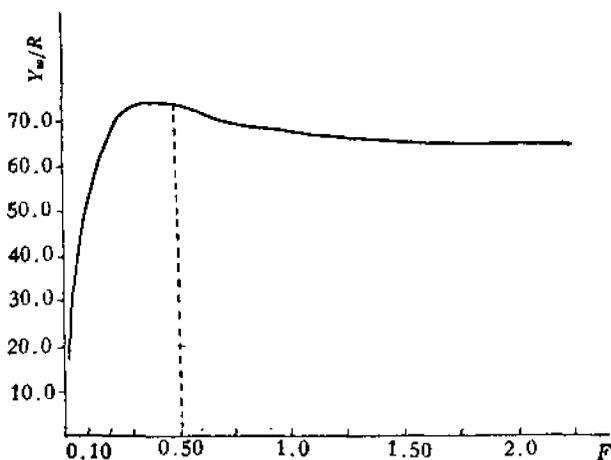


图7. 不同捕捞死亡系数  $F$  对渔获量  $Y_w/R$  的影响(最初年龄为7.0时)。

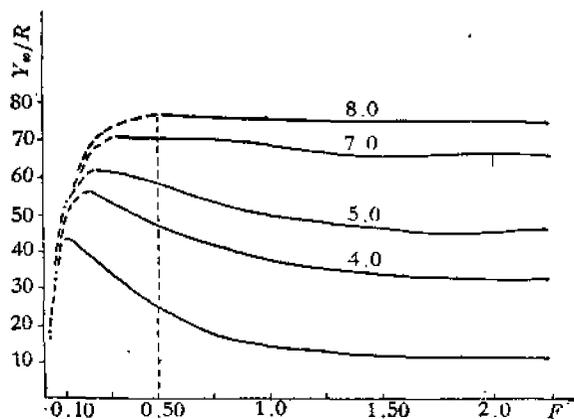


图8. 不同捕捞死亡系数  $F$  在不同被捕年龄(8.0, 7.0, 5.0 和 4.0 龄)对渔获量  $Y_w/R$  的影响(垂直虚线为 1975—1976 年现时点)。

现将最初被捕年龄  $t_0$  为 7.0, 而自然死亡系数  $M$  为 0.18, 生长参数为 0.07 条件下不同捕捞死亡系数  $F$  影响的  $Y_n/R$  和  $P_w/R$  的数量列于表 5。

表 5 不同捕捞死亡系数下的渔获量  
 $t_0=7.0, M=0.18, K=0.07$

项 目	$F$	[0.02]	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.25
渔获个体数 $Y_n/R$		0.04	0.09	0.15	0.22	0.26	0.31	0.33	0.35	0.37	0.37	0.38	0.38
渔获重量 $Y_w/R$		16.89	34.26	52.25	66.62	70.26	70.30	68.55	67.09	65.10	65.02	64.00	63.59

目前 1975—1976 年的捕捞死亡系数  $F=0.50$ , 所得渔获量的个体数为  $0.31/R$ , 渔获重量为  $70.30$  克/ $R$ 。

(3) 捕捞强度与渔获物平均体重 ( $\bar{W}_y$ ) 和平均体长 ( $\bar{L}_y$ ) 的关系 渔获物中平均体长和平均体重由模式(5)及(6)算出, 或在计算模式(1)时抽出。当  $t_0$  为 7.0,  $M$  为 0.18,  $K$  为 0.07 时, 渔获物中平均体重(表 6 及图 9)和平均体长(表 6 及图 10), 都是随着捕捞死亡系数的增加而逐步下降。目前捕捞死亡系数为 0.50, 所得个体平均重量为 242.18 克, 平均体长为 25.82 厘米。

表 6 不同捕捞死亡系数所捕获鱼的平均体重  $\bar{W}_y$  及平均体长  $\bar{L}_y$

项 目	$F$	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.25
平均渔获体重(克)		443.36	408.50	372.71	319.28	283.61	242.18	216.13	201.73	192.67	186.46	178.52	175.83
平均渔获体长(厘米)		30.55	30.22	29.35	28.00	27.04	25.82	24.97	24.46	24.11	23.87	23.55	23.44

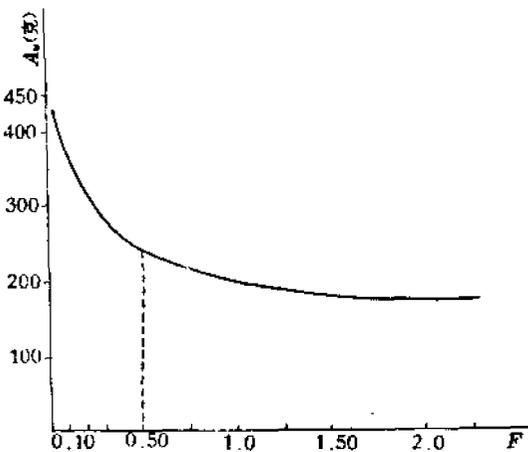


图 9. 不同捕捞死亡系数对捕获鱼的平均体重的影响( $t_0=7.0$ , 垂直虚线为 1975—1976 年现时点)。

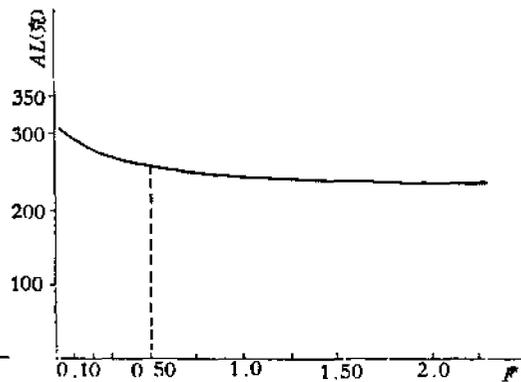


图 10. 不同捕捞死亡系数对捕获鱼的平均体长的影响( $t_0=7.0$ , 垂直虚线为 1975—1976 年现时点)。

(4) 最初被捕年龄与种群大小和渔获个体的关系 除捕捞强度外，最初被捕年龄取决于所用网具的网目，目前青海湖拖网的网目为7厘米，最初被捕年龄增大而逐步降低，渔获个体数也大体如此(图 11)。二者均在最初被捕年龄达到最大时而降到最低点。

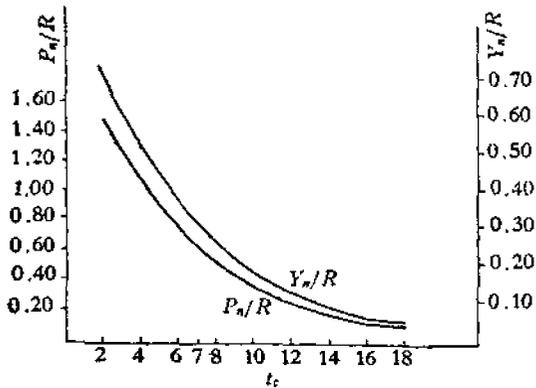


图 11. 种群大小  $P_n/R$  和渔获  $Y_n/R$  随最初被捕年龄  $t_c$  的变化而变动(捕捞死亡系数  $F=0.50$ )

(5) 最初被捕年龄与种群生物量和渔获重量的关系 种群年平均生物量  $P_w/R$  随最初被捕年龄加大而逐步增加(图 12 上面的曲线)，但到  $t_c=10.0$  以后则又下降。渔获重量  $Y_w/R$  也有与种群生物量同样趋势的变动(图 12 下面的曲线最初被捕年龄小的时候产量较低，到 8—10 龄之间出现高峰；以后则逐步下降，因未进一步计算，致未能提出它下降的最低点。目前的

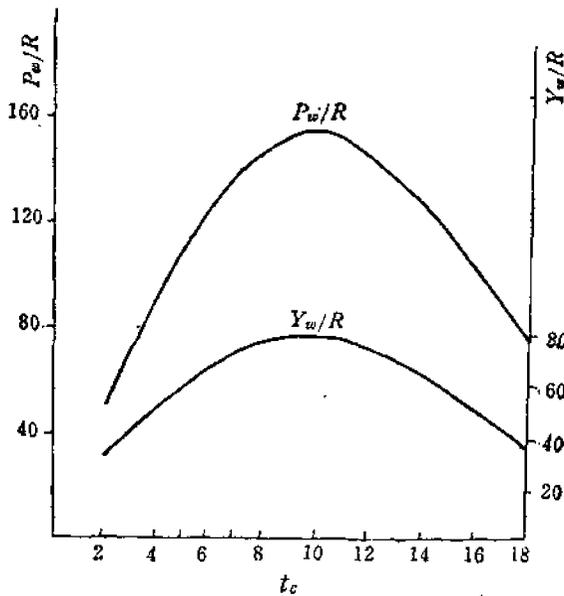


图 12. 种群生物量  $P_w/R$  和渔获重量  $Y_w/R$  随最初被捕年龄  $t_c$  的变化而变动(捕捞死亡系数  $F=0.50$ )。

拖网网目虽已不小，但适当扩大网目使被捕年龄提高到 8—10 龄，可增加渔获量约 10% (表 7)。

表 7 不同最初被捕年龄所得的渔获重量  
 $K=0.07, M=0.18, F=0.50$  条件下

年龄	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
数量	24.86	46.42	56.55	65.03	70.30	75.56	77.60	73.06	64.25	52.73	28.77

### 2. 捕捞强度和最初被捕年龄同时变更对渔获量和种群生物量的影响

由上所述,此二因素对在生产上关系最大,且可人为地改变和控制,对提高产量和维持种群都有现实意义。下面再分析将这两种因素配合起来对渔产量发生的作用。

从已计算的12组不同自然死亡率与生长参数配合条件下先选图14(B)组的单位补充量的渔获量列于表8,以表中各最初被捕年龄为纵座标,各渔捞死亡系数为横座标。取每一对因子变化所共同产生的单位补充量的渔获重量,标在纵座标的方格纸上,然后以渔获重量相同数值的各点,由内插或外插法算出必要的等值渔获重量的点落在图面的位置,一起连成渔获量等值线,由若干渔获等值线合成的图,称渔获量等值线群图,用表8的数值绘成等值线群图上(图13)有一条垂直线表示1975—1976年当时捕捞死亡系数为0.50时的位置与现时最初被捕年龄为7龄时的交叉点P,这一点的渔获重量为70.30克/R,从最初被捕年龄看,10龄以上者其渔获量一般随捕捞死亡系数增加而增加,其中以10龄的数量最高,而小于8龄时,开始也是随捕捞强度的扩大而逐步增加,捕捞强度增到0.50时渔获量最高,以后捕捞强再继续增加,渔获量却反而下降。这种增加的程度受自然死亡系数M的大小及生长参数K的大小制约,将在下节说明。从图13和表8可见最大产量是在最初被捕年龄为10而捕捞死亡系数为1.50时。若从 $t_0=7.0$ 龄提高到

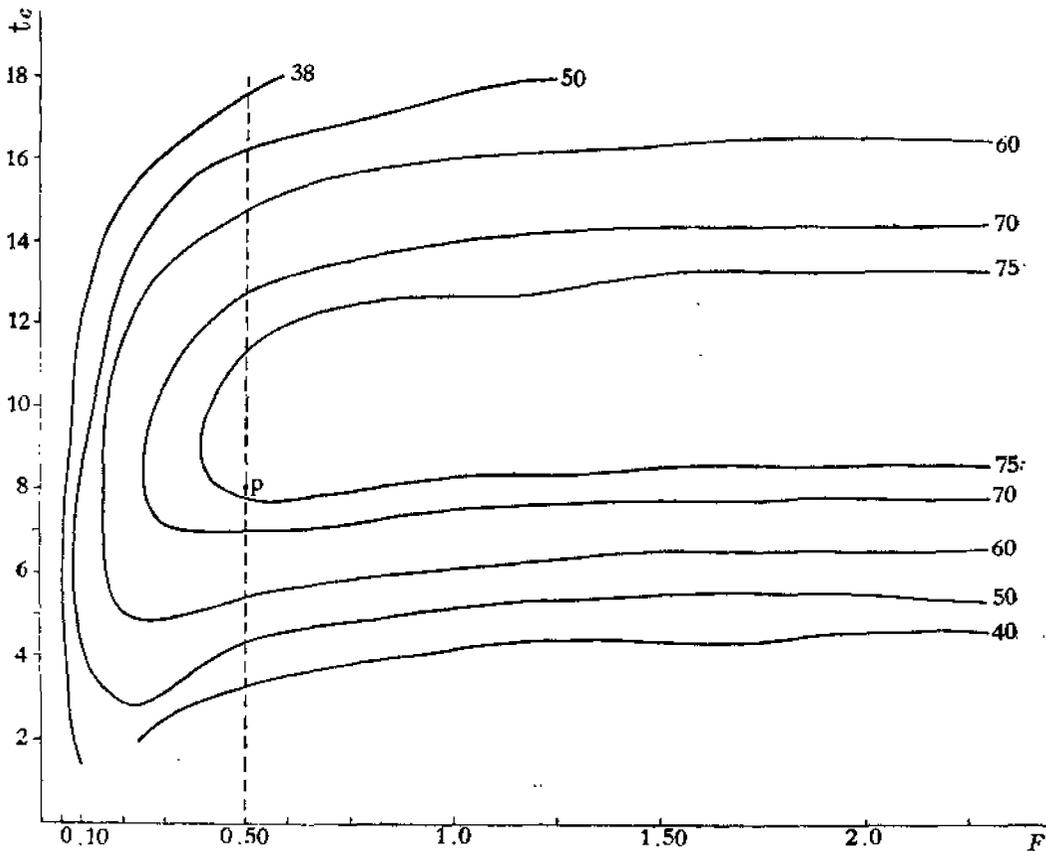


图13 裸鲤的渔获量等值线图 ( $K=0.07, M=0.18$ ;垂直虚线为1975—1976年现算点)。

表 8 不同最初被捕年龄与不同捕  
捞死亡系数配合的渔获重量  $M=0.18 K=0.07$

$Y_w/R$ $t_c$ \ F	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.25
18.0	2.76	6.62	12.38	21.71	28.77	38.22	44.73	48.17	50.08	51.20	52.36	52.70
16.0	5.02	11.74	21.10	34.55	43.24	52.73	57.82	60.08	61.29	62.03	62.92	63.21
14.0	7.56	17.31	30.03	46.41	55.62	64.26	68.30	70.07	71.06	71.69	72.45	72.70
12.0	10.33	23.07	38.69	56.80	65.72	73.06	76.14	77.43	78.12	78.54	79.03	79.18
10.0	13.08	28.52	46.24	64.55	72.29	77.60	79.30	79.79	79.95	79.99	79.97	79.94
8.0	15.51	32.95	51.46	67.95	73.38	75.56	75.17	74.45	273.8	73.80	72.55	72.27
7.0	16.39	34.26	52.25	66.62	70.26	70.30	68.55	67.09	65.10	65.02	64.00	63.59
6.0	17.27	35.56	53.04	65.28	67.13	65.03	61.94	59.72	58.15	57.01	55.45	54.91
5.0	17.80	35.97	52.17	61.38	61.05	56.55	52.03	49.13	47.15	45.73	43.86	43.22
4.0	18.07	35.74	50.17	55.90	53.27	46.42	40.71	37.23	34.95	33.36	31.31	30.62
2.0	17.90	33.65	43.55	41.85	35.08	24.87	18.06	14.42	12.24	10.82	9.12	8.58

10 龄, 渔获量则增加了 10%; 另若同时还提高捕捞强度从 0.50 提到 1.0 时, 产量则较目前增加 12.8%。可见提高被捕年龄和捕捞强度对提高渔产量的效果不大。

从表 9 可看出, 最大生物量出现于低捕捞死亡系数范围内, 捕捞强度越增大, 生物量反减小, 而受最初被捕年龄影响较小, 种群生物量一般随最初被捕年龄的增大而增加, 但增至 10 龄以后, 又逐渐下降。

表 9 不同最初被捕年龄与不同捕捞死亡  
系数配合的种群生物量  $K=0.07, M=0.18$

$Y_w/R$ $t_c$ \ F	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.25
18.0	138.14	132.48	123.74	108.55	95.91	76.44	59.64	48.17	40.06	34.13	26.18	23.42
16.0	251.04	234.83	210.96	172.76	144.13	105.45	77.09	60.08	49.03	41.85	31.46	28.09
14.0	378.92	346.28	300.28	232.05	185.39	128.51	91.07	70.07	56.85	47.79	36.23	32.31
12.0	516.50	461.36	386.93	283.99	219.07	146.12	101.52	77.43	62.50	52.36	39.51	35.19
10.0	653.72	570.32	462.36	322.72	240.96	155.21	105.43	79.79	63.96	53.33	39.98	35.53
8.0	775.43	659.00	511.55	339.73	244.59	151.13	100.23	74.45	59.05	48.87	36.27	32.12
7.0	819.48	685.06	522.46	333.07	234.18	140.60	91.11	67.09	50.28	43.44	32.00	28.26
6.0	863.53	711.14	530.37	326.40	223.77	130.06	82.58	59.72	46.52	38.00	27.73	24.40
5.0	889.95	719.30	521.68	306.91	203.51	113.16	69.14	49.13	37.72	30.49	21.93	19.21
4.0	903.34	714.74	501.74	279.49	177.56	92.84	54.28	27.23	27.96	22.21	15.66	13.61
2.0	895.17	672.99	435.50	209.27	116.94	49.73	24.08	14.42	9.79	7.21	4.56	3.81

### 3. 自然死亡系数对渔获量的影响

自然死亡系数  $M$  和生长参数  $K$  是依其它因素而变化的, 因而难以正确求得。这两个参数的改变对产量等值线群图影响很大, 当然也影响捕捞死亡系数与系数产量关系曲线和最初被捕年龄与产量关系曲线。本文在其它参数相同条件下, 作  $M$  与  $K$  的几种变更配合, 绘出 12 种产量曲线群图(图 14 A-L)。从曲线分布格局可以看出, 在  $K=0.07-0.25$

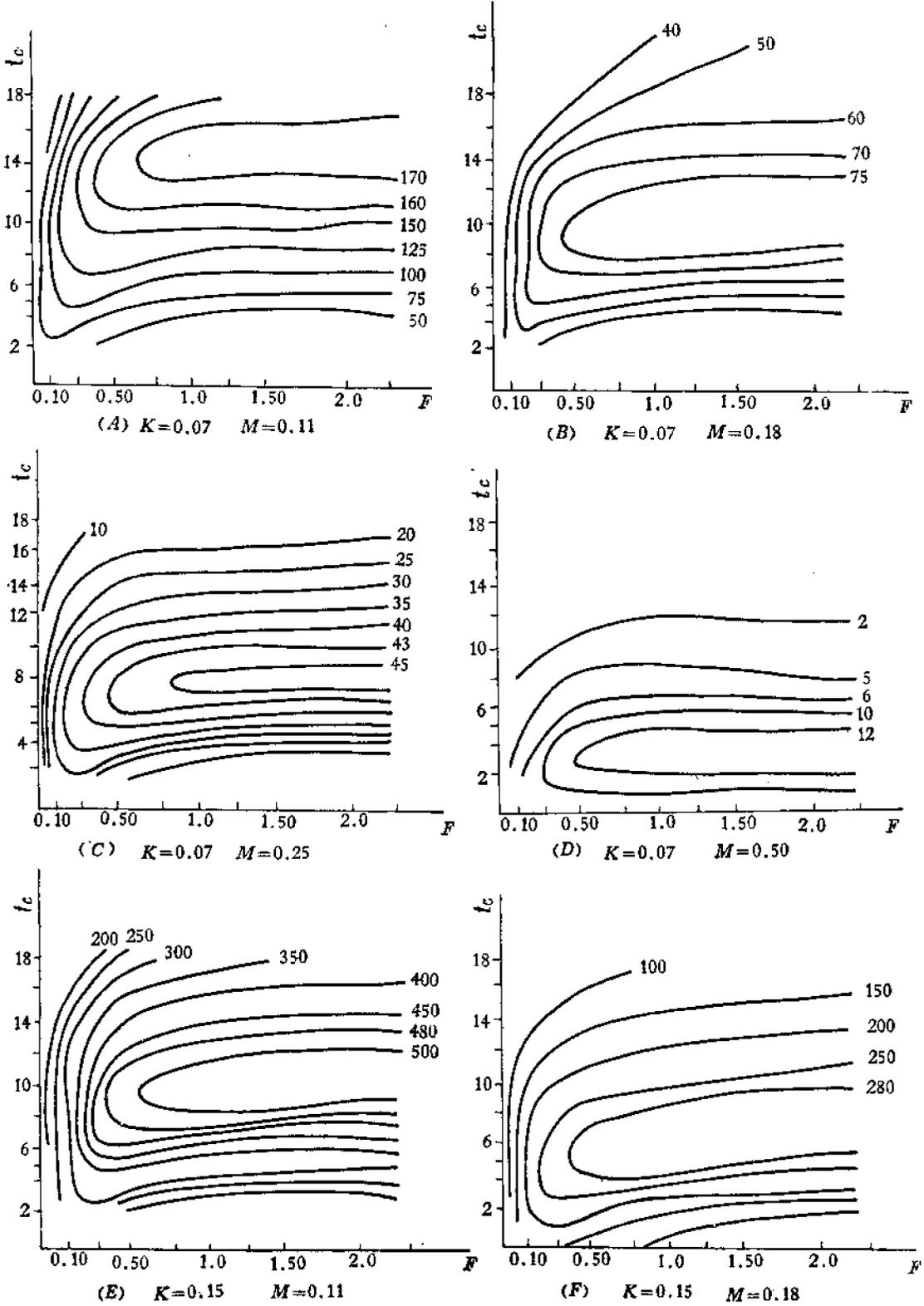
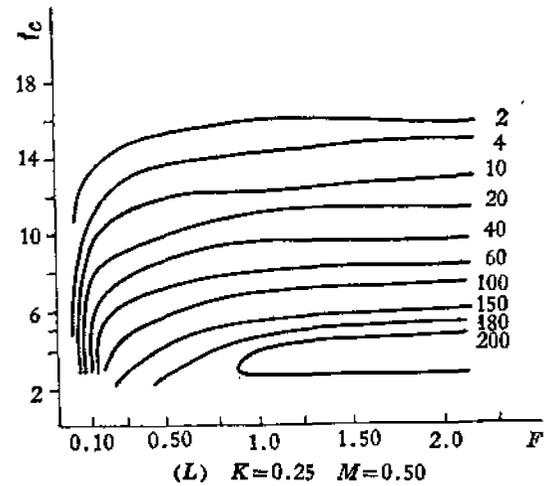
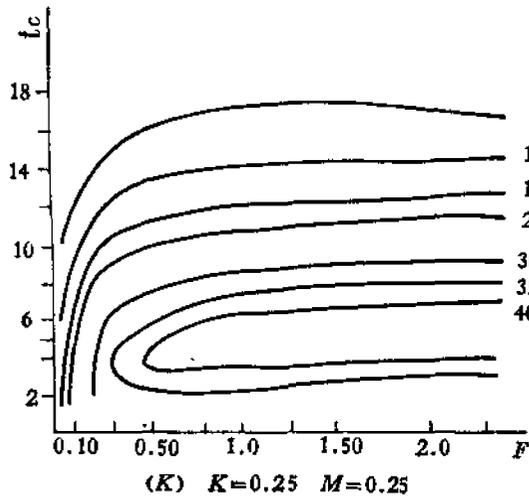
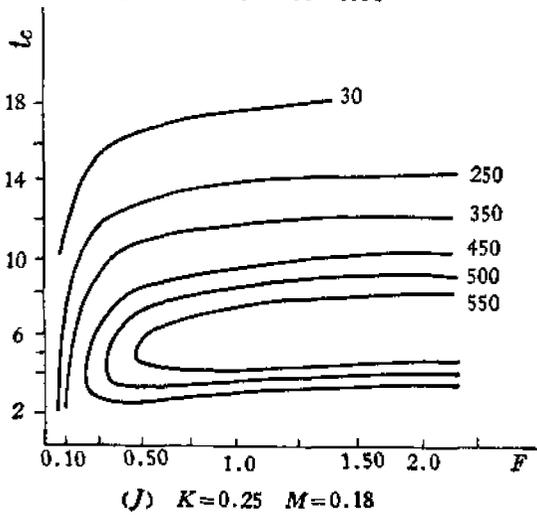
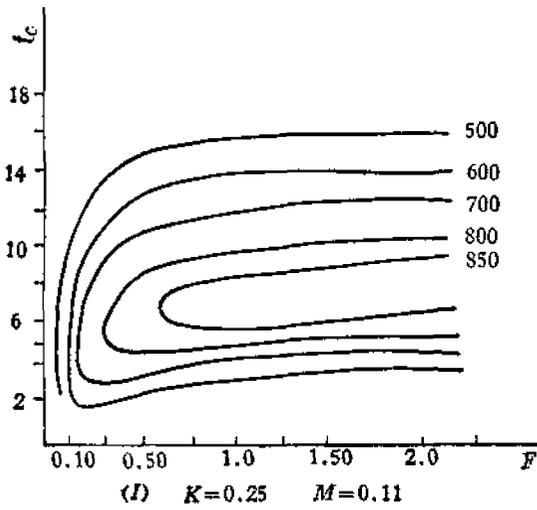
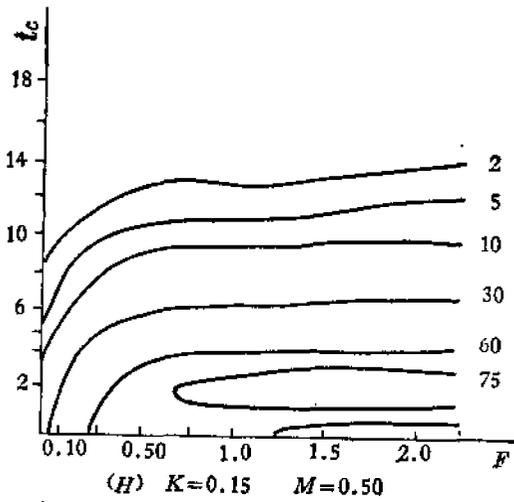
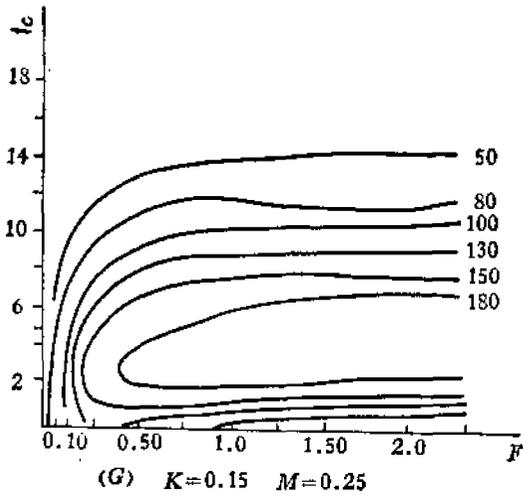


图 14 不同K和M值配合下裸



鲤产量等值线群图(A-L)

及  $M = 0.11 - 0.50$  范围内, 曲线分布格局都有左右横伸长的倾向, 但在同一  $K$  值范围内最大产量圈随  $M$  值的增加而从上方移到下方, 即要取得最大产量的  $t_0$  值由大年龄移到小年龄。另一特点系在同一  $M$  值的范围内,  $K$  值从 0.07 增大到 0.25, 最大产量圈又随  $K$  值的增大而从上方方向下方转移; 但  $M = 0.50$  时不论那一  $K$  值, 其最大产量圈都同样在图的下方即低的被捕年龄的范围。可见  $K$  和  $M$  两值的变化引起产量等值线圈有很大的变化, 现既以等值线群图作为判断资源状况的重要依据, 故这两个值估算是否正确, 结果将有很大的不同。本文以裸鲤  $K = 0.07$  和  $M = 0.18$  为基础进行计算,  $M$  值的估计可能偏高, 因采样和估算总死亡系数上可能有些缺陷造成的。这个问题有待今后进一步研究。

#### 4. 种群最大生物量年龄的估算

Ricker (1958)<sup>[40]</sup> 曾提出“临界大小” (critical size) 概念, 指一个种在一个世代的一生中, 种群量增长与死亡率相等这一时刻是临界大小的时刻, 也是可以取得最大生物量的时刻, 用  $T_{mb}$  这一符号来表示。Alverson 和 Carney (1957)<sup>[41]</sup> 提出了算出这一时间的数学式

$$T_{mb} = \frac{1}{K} \log_e [(M + 3K)/M]$$

而任何最大生物量时间的生物量  $P_t$ ,  $mb$  可依下式算出

$$P_t \cdot mb = W_{\infty} N t, mb - [K/(K + M/3)^3]$$

据此计算了裸鲤种群最大生物量年龄结果如下:

$K = 0.07$	$M = 0.11$	$T_{mb} = 15.29$
$K = 0.07$	$M = 0.18$	$T_{mb} = 11.00$
$K = 0.07$	$M = 0.25$	$T_{mb} = 8.71$
$K = 0.15$	$M = 0.18$	$T_{mb} = 8.35$
$K = 0.25$	$M = 0.18$	$T_{mb} = 6.57$

由此可见, 以我们采用的参数计算, 最大生物量年龄是 11 龄, 与通过动态综合产量模式算出的最大的  $P_{\infty}/R$  时的最初被捕年龄大致相符。

#### 5. 现有渔业资源种群数量的估计

青海湖自 1958 年才开始用大拉网捕鱼, 1959 年除拉网外尚有渔轮对拖, 1960 年至 1962 年, 由于群众渔业的开展总产量很高, 历年裸鲤生产量示于图 15。

Delury (1947) 及 Leslie (1952) 模式未能适用, 因此我们采用 Gulland<sup>[9]</sup> 的方法作概略的估计, 其公式为:

$$Y_s = X \cdot M \cdot B_0$$

式中  $B_0$  为原始种群数量,  $Y_s$  为持续产量,  $M$  为自然死亡系数,  $X$  是一个因子, 与生长、死亡率和补充群体的年龄有关, 可以定为 0.3—0.5 的范围, 即渔业可利用的一部份, 实际上等于种群生产的生物量的一半即 0.5, 当裸鲤  $M = 0.18$ ,  $F = 0.50$ ,  $t_0 = 7.0$

时,用上述模式计算结果,裸鲤能捕获的渔获重量为 70.3 克,而青海湖 1976 年渔获量为 4210 吨;另从模式中算出最大渔获重量应为 80.0 克,则  $t_c = 10.0$  时,1976 年最大渔获量应为 4791 吨,将此值代入上式求出  $B_0$ ,即  $4791 = 0.5 \times 0.18 \cdot B_0$ ,

$$B_0 = \frac{4791}{0.09} = 53,233 \text{ 吨}$$

即在现有的情况下,渔业资源数量为 5 万多吨。

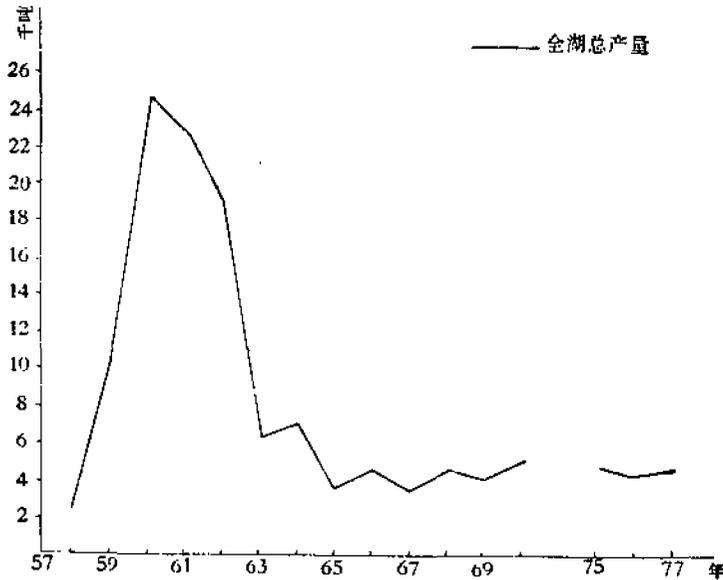


图15. 青海湖裸鲤历年产量图

## 讨论和小结

### 1. 对青海湖裸鲤种群的评价

自 1958 年以来,累计十九年裸鲤产量已达 15 万吨,在我国湖泊渔业中有着重要的地位。但由于该种群生存于海拔 3,200 公尺的青海湖这一特定环境中,生长缓慢,种群更新周期长。在渔业生产中,可能容易发生捕捞过渡时不易恢复的现象,特别是从 1960 年到 1965 年,渔获物平均体长、体重显著减小,而年产量又有较大幅度下降,因而怎样认识青海湖渔业,有必要从理论上加以分析。

(1) 未开发湖泊的鱼类种类由于长期的积累,生物量是最大的,高龄个体较多,平均体长也大,经过一定的捕捞后,个体的平均体长和体重必然减小,到一定时间,在合适的捕捞条件下,渔获个体平均大小相对稳定。裸鲤在开发的最初几年,每 50 公斤渔获物中只有 80 尾,以后逐年增多(表 10),到最近几年,全湖渔获物平均为每 50 公斤约 180 尾左右,也符合于这一规律。特别是由于它寿命长、生长缓慢,表现得更为明显。因此,裸鲤渔获物个体平均大小的下降是开发湖泊的正常现象,不能说明裸鲤资源衰退。近几年调查

同一地区每 50 公斤鱼的尾数、平均体长、平均体重,已大体趋于稳定。

表 10 历年青海湖海心山地区 50 公斤渔获物的比较

项 目 \ 年 份	1962	1964	1965	1971	1973	1975	1977
尾 数	80	108	141	156	176	165.2	163.76
平均体长(厘米)		31.80	29.08	27.98	27.14	27.71	27.01
平均体重(克)		449.99	351.79	308.20	283.91	302.74	305.40

(2) 有关青海湖渔业生产量问题。青海湖渔业的发展过程也可划为三个阶段(图 15),即 1958—1962 年为第一阶段属于扩大规模时期,这个时期内建立了渔场开始机轮拖网,渔产量上升很快,1960 年投入的捕捞努力量最大,产量达到了高峰。1962—1965 年捕捞努力量逐渐减少,产量亦随之下降,单位捕捞努力量的渔获量略有上升。1965—1977 年属于第三阶段即总产量和单位捕捞努力量的渔获量都比较稳定。Brander (1975)<sup>[9]</sup>指出,渔业发展的规律常常有三个阶段。第一阶段是扩大渔业生产规模时期,产量逐年上升,单位捕捞努力量的渔获量略有上升。1965—1977 年属于第三阶段即总产量和单位捕捞努力量的渔获量都比较稳定。因此青海湖渔业的发展过程和渔产量是符合一般渔业发展规律的。

原始湖泊的鱼类在未被开发利用前,种群高度密集,生物量最大,妨碍着种群的继续扩大和再生产,为了合理的发展渔业,开发初期,在适当的范围内,进行强度捕捞,不仅可以得到渔获物的高产,而且有利于加速种群的稀疏,为种群创造了更大的活动空间,使鱼相对地得到更多饵料,从而加速生长和提供更多的补充群体,因此这种捕捞是必要的,不能误认为是过度捕捞。当然,经过一定时间的捕捞后,原来长期积累下来的生物量下降,产量必然随之降低,特别是生长缓慢的鱼表现更为明显,但是,只要根据资源现状,进行适当的渔捞调整,产量即可保持相对稳定。因此,渔产量较开发初期降低是正常现象,不能判断为资源衰退。

(3) 裸鲤是一种近底层杂食性鱼类,王基琳(1975)<sup>[4]</sup>。食物锁链短,在食物链上为第一级和第二级消费者,无需经过多重转换,这对其生物生产有利。它溯河产卵,仍回到湖中生活,一生中反复繁殖多次,由于它每一世代有多次产卵的机会,因而补充群体的数量必能抵销由补充群体转变到亲鱼群体需较长年代的缺点,有足够数量的补充群体转到产卵群体。这些对裸鲤种群的评价是重要的。

综上所述,裸鲤目前种群的数量和渔产量相对的稳定而其资源并未衰退。

## 2. 对青海湖资源利用的判断

据所用的数学模式计算结果,在现存条件下裸鲤种群数量为 5 万吨。它的每年最大持续产量为 4791 吨,极接近青海湖近几年的年产量。结合其种生群物学特点及其它方面来考虑,我们认为目前青海湖的年产量和投入的捕捞努力量是合适的。

计算渔获量的结果看出最大持续产量是在最初被捕年龄为 10 龄, 捕捞死亡系数在 1.50 条件时, 这与目前的最初被捕年龄为 7 而捕捞死亡系数为 0.50 时的产量 4210 吨有一定差距, 似乎再提高最初被捕年龄及加强捕捞强度即可达到最大产量。下面对提高这两个因子与产量关系作进一步分析。

**捕捞强度对渔获量的影响** 目前裸鲤最初被捕年龄为 7, 在捕捞死亡系数为 0.50 的配合下, 渔获重量最高为 70.30 克/ $R$ 。提高或降低捕捞死亡系数都会使渔获重量下降, 因此提高现有的捕捞强度的效果是不利的, 而将捕捞死亡系数降到 0.30 时, 其渔获重量为 70.26 克/ $R$ , 仅比最高的少 0.04 克/ $R$ , 但其渔获的平均体重和体长比前者要大得多。从生产成本来看, 降低捕捞强度是合算的。然而捕捞死亡系数还受自然死亡系数的制约, 前者发生变化, 后者也会有所不同, 很难以此一项因素判断。因而目前捕捞强度可暂不变。

**最初被捕年龄对渔获量的影响** 在目前捕捞死亡系数为 0.50 的条件下, 提高最初被捕年龄至 10 龄时, 可得渔获重量为 77.60 克/ $R$ , 比现在最初被捕年龄为 7 龄时的渔获重量约提高 10%。但与最大渔获重量 80 克/ $R$  尚有距离, 如欲达到最大产量, 还必须在提高被捕年龄的同时扩大捕捞死亡系数至 1.0 以上才能获致。因此, 提高最初被捕年龄比提高捕捞死亡系数的效果要好。

提高最初被捕年龄就需放大渔具的网目。目前当地所用网具目大是 7 厘米, 如再放大网目使最初被捕年龄为 10 龄。由于裸鲤生长缓慢, 在二、三年内产量可能会有所下降而后才能上升。而欲达到最高的渔获重量还必须同时提高捕捞努力量, 即增加比现在多一倍的船只, 但产量只增 3.1%。这样势必提高成本, 是很不经济的。

综上所述, 我们认为目前的捕捞强度暂予保持, 而渔具的网目则可按生产的具体情况逐步放大一些。年产量在 4800 吨左右较为合适。

### 3. 裸鲤亲鱼的繁殖保护问题

众所周知, 最大持续产量必须以足够的补充群体为基础。必须严禁滥捕亲鱼, 有了充足的补充群体是提高和维持裸鲤种群数量的基本环节, 这一条件极为重要。不可否认, 过去在裸鲤繁殖季节滥捕产卵亲鱼, 后果是严重的。自 1975 年开始加强了裸鲤的繁殖保护工作, 上述现象有所减少。但就 1977 年而论, 为管理部门发现的被捕亲鱼约达 100 吨, 实际数量决不止此, 估算至少为 300—400 吨。为了保证裸鲤每年有足够的补充群体, 使亲鱼至少能有一次产卵机会。因此必须切实加强保护亲鱼的工作。

### 4. 应用数学模式估计最大持续产量

所得的数据仅是一个初步结果, 是否符合实际, 尚待在今后的具体实践中不断检验。特别是一些参数的估算是否合理, 还有采样方法等等都会影响计算结果。这些都有待今后作进一步的研究。

### 参 考 文 献

- [1] 王基琳, 1975。青海湖裸鲤食性研究。青海湖地区的鱼类区系和青海湖裸鲤的生物学。科学出版社, 27—36。
- [2] 胡安等, 1975。青海湖裸鲤繁殖生物学的研究。青海湖地区的鱼类区系和青海湖裸鲤的生物学。科学出版社。

49—62。

- [3] 赵利华等, 1975. 青海湖裸鲤的年龄和生长。科学出版社, 37—45。
- [4] Alverson, L. and Carney, J., 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 36(2): 133—143.
- [5] Beverton, R. J. H. and S. J. Holt, 1957. On the dynamic of exploited fish population. *U. K. Min. Agric. Fish., Fish. Invest. (Ser. 2)* 19: 533.
- [6] Brander, K., 1975. Guidelines for collection and compitation of fishery statistics. *FAO Fish. Tec. Pap.* 148: 6—7.
- [7] Gulland, J. A., 1969. Manual of methods for fish stock assessments. Part I. Fish population analysis. *FAO Man. Fish. Sci.* 4: 1—154.
- [8] Gulland, J. A., 1971. The fish resource of the ocean. Fishing News (Book) Ltd. London. 255.
- [9] Kurita, S., 1948. A theoretical consideration on the method for estimating the yearly survival rate of fish stock by using the age difference between the oldest and the average. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 14(1): 1—12.
- [10] Ricker, W. E., 1958. Handbook of computations for biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 119: 300.
- [11] Ricker, W. E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 191: 382.
- [12] Silliman, R. P., 1943. Studies on the Pacific pilchard or sardine (*Sardinops caerulea*). 5. A method of computing mortalities and replacements. *U. S. Fish wildl. Sew. Spec. Sci. Rep.* 24: 10.
- [13] Tanaka, S., 1960. Studies on the management of fish population. *Bull. Tokai Res. Lab.* 28: 191—210.
- [14] Tauti, M., 1947. An estimation of the appearent survival rate by finding of the maximum and the mean value of the age, weight and length. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 13(3): 91—94.

**PRELIMINARY ANALYSIS OF POPULATION  
DYNAMICS ON THE NAKED CARP  
(*GYMNOCYPRIS PRZEWAISKII PRZEWAISKII* (KESSLER))  
IN QINHAI HU**

Zhang Yushu      and      Chen Yuan

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

Abstract

The naked carp (*Gymnocypris przewalskii przewalskii* (Kessler)) is the only fishery product in Qinghai Hu and investigation on the resource of this fish is rarely taken. The total catches for the whole Lake was nearly 140,000 metric tons during the period from 1958—1976, but both the size of individuals and the yield per year have decreased. It is still in question whether the resource of population has declined or the present fishing is moderate. The study of population of naked carps was carried out during 1975—1977. The general status of resource dynamics is investigated by the use of Beverton-Holt's

mathematical model.

By analysing the results of catches of naked carp it shows that the total mortality coefficient is 0.68; the natural mortality coefficient is 0.18; and the fishing mortality coefficient is 0.50. The six data ( $P_n/R$ ,  $P_w/R$ ,  $Y_n/R$ ,  $Y_w/R$ ,  $W_y$ ,  $L_y$ ) are calculated under conditions of different fishing mortality coefficient. They are supposed at different initial fished age ( $t_c$ ). The eumetric catches curve is plotted and the maximum biomass age is estimated.

According to actual measurement and calculation results, it is summarized as follows:

1. The naked carp is a stable population of which the status of development of fisheries agrees with general law of exploited lake. The average length and average weight of fished individual in exploited lake declined in general. In the survey of the latest three years length and weight show gradually stable without declination any longer. The population number and fishery yield are relatively stable at present, it is considered that the resource has not declined.

2. The results of calculation show that under conditions of initial fished age of 10.0 and fishing mortality coefficient of 1.25, naked carps have a standing population of 50,000 metric tons, its maximum sustained yield is 4,791 metric tons/year. But the present yield (4,200 metric tons/year), obtained under conditions of initial fished age of 7.0 and fishing mortality coefficient of 0.50. If initial fished age being raised to 10 years old (i. e. enlarging the mesh size), the catches by weight may be expected to increase by 10 per cent, but it still has certain distance to attain maximum, unless both initial fished age and fishing effort should be increased, the total yield can reach to maximum. In doing so, it is certain to increase the capital of investment, but the yield and the economical effect increase only a little. Thus, compared with intensifying fishing effort, whether economically or in fish growth, enlarging mesh size seems profitable. Owing to the results mentioned above, we consider it is suitable to maintain present mesh size and keep a yield of 4,700 metric tons/year.

3. For ensuring recruitment parent spawners, it must be protected on a basis of regulations and restrictions.

4. Mathematical model is used for estimation maximum sustained yield of standing fish population in approximation. The subsequent test of practice and further study is needed.