

# 汤河水库鲢、鳙资源合理利用的研究

李九奇 史为良 于喜洋

(大连水产学院海洋渔业系, 116023)

**摘 要** 根据 1994 年的汤河水库鲢、鳙的生物学测定、历年的放养数量和历年的渔获量资料,对汤河水库鲢各龄鱼的残存率、资源量进行了估算(鲢、鳙比例按 7:3 原则确定),从而确定了鱼种规格为 132mm 时的最佳放养数量为  $3.246\ 753 \times 10^6$  尾(其中 鲢为  $2.272\ 727 \times 10^6$  尾;鳙为  $9.740\ 26 \times 10^5$  尾)。在连续 8~10 年无任何捕捞时水库对鲢、鳙的环境容纳量为  $2.246\ 124 \times 10^6$  尾(其中 鲢为  $1.572\ 287 \times 10^6$  尾;鳙为  $6.738\ 37 \times 10^5$  尾)。依据 RICKER 模式确定了鲢、鳙的最佳捕捞死亡系数分别为 2.0 和 1.9,最佳开捕年龄分别为 5 和 4.5 龄,同时确定了 1994 年汤河水库偷鱼量为  $5.0 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^4$  kg,从而提出了汤河水库渔业资源的合理利用策略。

**关键词** 鲢,鳙,水产资源,合理利用,汤河水库

近年来,在湖泊、水库渔业中,开始出现采用种群动态模型来研究鱼类种群的数量变动,但基本上都是在假设补充量恒定的基础上进行的[董双林等 1992]。事实上每年的放养数量有很大差别,致使每年的补充量有比较大的变化。对于开捕年龄前鱼的残存率的推算都做了不太合理的假设,致使推算的残存率和资源量脱离实际,特别是每年的放养数量的多少是否影响 1 龄鱼的残存率?是如何影响的?目前还未见报道。北方水库偷鱼现象严重,给准确推定水库中鲢、鳙资源数量造成困难,文中对偷鱼数量作了推定,进而对资源量进行估算,在此基础上确定了汤河水库鲢、鳙资源的合理利用方案。

## 1 材料与方 法

鲢、鳙标本 1245 尾,1994 年 5~9 月从汤河水库的西叉和坝下两个深水网箱中采得。对采集的标本称重、测体长和取一部分鳞片。重量精确到 50g,体长从吻端量至最后一节尾椎骨,鳞片取侧线上鳞,对重量超过 6.0kg 的鱼,取胸鳍第一鳍条,用作年龄鉴定的辅助材料。关于年轮的形 成时期据张建华(1990),每年 4~9 月份都是形成年轮的时期,一般低龄鱼早于高龄鱼,故我们的样本可以采用。

## 2 结 果

### 2.1 生长和自然死亡系数

年龄鉴定结果显示,1994 年 5~9 月样本,鲢共 7 个世代,鳙共 8 个世代。经鲢 353 尾样本和鳙 190 尾样本的体长(L)和鳞径(R)的拟合比较[Lea 1910],以及 Von Bertalanffy 生长参数的测算得表 1。自然死亡系数的估算采用的公式[Pauly 1980]如下:

收稿日期:1996-06-05

(1)张建华. 1990. 大伙房水库鲢、鳙的生长与环境因子的关系. 大连水产学院硕士论文.

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln \bar{T}$$

表1 鲢、鳙各龄实测平均体长与推算体长(cm)

Table 1 Actual body lengths and Back Calculated body lengths of silver Carp and Bighead Carp

		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
鲢	推算体长	14.22	29.82	41.96	50.90	58.36	64.16	67.36	
	实测体长		32.32	41.87	52.36	57.23	62.79	67.25	
鳙	推算体长	15.72	37.65	48.76	55.28	65.13	73.12	77.08	79.65
	实测体长		40.27	49.73	56.18	66.23	74.40	77.32	80.25
生长方程	鲢	$L_t = 84.17(1 - e^{-0.25(t-0.253)})$				$W_t = 13.23(1 - e^{-0.25(t-0.253)})^3$			
	鳙	$L_t = 93.59(1 - e^{-0.285(t-0.58)})$				$W_t = 14.60(1 - e^{-0.285(t-0.58)})^3$			

上式用到温带水域时 M 值偏大,用 80% 进行修正,求得 M 值分别为 M(鲢) = 0.313; M(鳙) = 0.331。

## 2.2 残存率与资源量的估算

若有连续 8~9 年的鱼类年龄组成的资料,采用多世代方法估算残存率是比较准的,但目前只有 1994 年的鲢、鳙的年龄组成资料(表 2)。

表2 1994年汤河水库鲢、鳙渔获物组成

Table 2 Composition of fishes in Tanghe Reservoir in 1994

年龄		2	3	4	5	6	7	8	总计(尾数)
鲢	数量(尾)	102	167	56	19	7	2		353
	均重(kg)	0.72	1.52	2.64	4.11	5.87	7.00		
鳙	数量(尾)	32	41	53	35	19	8	2	190
	均重(kg)	1.39	2.50	4.05	5.78	7.24	8.52	10.34	

鉴于水库历年的放养数量已知,且差异较大,致使每年的补充量不同,历年的放养量和历年的统计产量见表 3。因此,在估算残存率时应以每年的补充量相等为基准[Ricker 1975],进行修正,方能得到比较符合实际的结果。即  $S(i) = [FYL(i) \times S1(i) \times C(i+1)] / [FYL(i+1) \times S1(i+1) \times C(i)]$  (1), 式中 FYL(i)、FYL(i+1); i 及 i+1 龄世代的放养量; S1(i)、S1(i+1); i 及 i+1 龄从放养到 1 龄末的残存率; C(i)、C(i+1); i 及 i+1 龄的样本尾数。

表3 1986~1994年汤河水库捕捞产量和放养量

Table 3 Yields and quantity of putting fry in Tanghe Reservoir during 1986~1994

年份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
产量(万公斤)	15.70	6.65	19.30	23.50	17.50	20.00	21.20	28.60	28.50
放养量(万尾)	1050	150	75	73	62	202	176	75	
放养规格(尾/kg)	50	40	28	28	28	28	28	28	

该水库投放鱼种是每年秋季 9 月份,捕捞是春季 4 月份,又因为鱼种在投放时一般就有 4~5 月龄,文中用 0.5 处理,所以, S1(i) 实际上是一年半的残存率。根据一年的渔获物组成资料,难以求到较符合实际的残存率,假设历年的同龄鱼的残存率相同,又据近年来汤河水库的生产实际和没有变化的捕捞强度来看,这一假设是符合实际且后面还要对其进行检验。

$$Z(i) = -\ln S(i), F(i) = Z(i) - M \quad (2), C(i) = [F(i)/Z(i)] \times N(i) \times (1 - S(i)) \quad (3), N(i) = [Z(i) \times C(i)]/[F(i) \times (1 - S(i))] \quad (4), \text{又 } N(i) = FYL(i) \times S1(i) \times S(2) \times S(3) \times \dots \times S(i-1) \quad (5).$$

(2)、(3)式中 C(i)为第 i 龄渔获尾数。在渔获物抽样中鲢、鳙比是 7:3,因此,文中的计算只考虑鲢、鳙比是 7:3 的原则确定。对于鲢鱼 3~8 龄资源量可有如下方程组 [Pope 和 Shepherd 1982]:

$$Y(3) = [Z(3) \times C(3)]/[F(3) \times (1 - S(3))] - FYL(3) \times S1(3) \times S(2) \quad (6)$$

$$Y(4) = [Z(4) \times C(4)]/[F(4) \times (1 - S(4))] - FYL(4) \times S1(4) \times S(2) \times S(3) \quad (7)$$

$$Y(5) = [Z(5) \times C(5)]/[F(5) \times (1 - S(5))] - FYL(5) \times S1(5) \times S(2) \times S(3) \times S(4) \quad (8)$$

$$Y(6) = [Z(6) \times C(6)]/[F(6) \times (1 - S(6))] - FYL(6) \times S1(6) \times S(2) \times S(3) \times S(4) \times S(5) \quad (9)$$

$$Y(7) = [Z(7) \times C(7)]/[F(7) \times (1 - S(7))] - FYL(7) \times S1(7) \times S(2) \times S(3) \times S(4) \times S(5) \times S(6) \quad (10)$$

$$Y(8) = FYL(8) \times S1(8) \times S(2) \times S(3) \times S(4) \times S(5) \times S(6) \times S(7) - X \quad (11)$$

由(1)~(5)式可知(6)~(11)式是个关于未知数 S1(3)~S1(8)、S(2)及未知数 X 的六次非线性方程组。由于鲢在渔获物年龄组成中没有 8 龄组,又 8 龄鱼在水域中的数量很少,它的值 X(即使 Y(i)足够小),这个 X 就是本文所确定的 8 龄鱼的资源量。

又  $S(i) = f(S1(i), S1(i+1)) (3 \leq i \leq 7) \quad (12), Z(i) = G(S1(i), S1(i+1)) (3 \leq i \leq 7) \quad (13), F(i) = H(S1(i), S1(i+1)) (3 \leq i \leq 7) \quad (14), S(2)$  的求算方法 [费鸿年, 1984 年中译本]:  $N(3) = [Z(3) \times C(3)]/[F(3) \times (1 - S(3))] \quad (15), N(2) = N(3)/S(2) \quad (16), C(2) = [F(2)/Z(2)] \cdot [N(3)/S(2)] \cdot [1 - S(2)] \quad (17)$ 。因此,在解非线性方程组时,通过初值  $S1(3) \sim S1(8) \rightarrow N(3) \rightarrow S(2) \rightarrow$  (进入非线性方程组)  $\rightarrow$  重新得  $S1(3) \sim S1(8) \rightarrow N(3) \rightarrow S(2) \rightarrow \dots$  通过这种反复迭代即可确定出符合实际的 S(2)以及 S1(3)~S1(8)的值,即可确定各龄鱼的残存率。

然而,该水库偷鱼现象严重,致使得到的抽样数不能真实反映水库鲢鳙年龄组成情况,必须对抽样数据进行适当的修正。即  $C(i) = [cys(i) \cdot yz/cyz + tys(i)]/(yz/cyz) (i=2 \sim 5) \quad (18)$  式中: C(i): 2~5 龄鱼修正后的抽样数; cyz(i): 未修正前的抽样数; yz: 1994 年鲢总产量(指统计产量); cyz: 原抽样数; tys(i): 被偷 i 龄鱼的尾数。

$tys(i) = yz \cdot G \cdot TYB(i)/W(i) (i=2 \sim 5) \quad (19)$  式中: G: 被偷鱼重占统计产量的百分比; TYB(i): 被偷鱼总 i 龄鱼的比例; W(i): i 龄鱼重。

偷鱼数应作为渔获物处理,故进行修正。根据有关单位和史为良教授云,被偷的鱼主要是鲢,且集中于 2~5 龄。G 和 TYB(i)的具体确定均可采用试值的办法,确定偷鱼比 TYB(i)为 0.2, 0.4, 0.3, 0.1, 只有以上偷鱼比使方程组收敛,故确定以上数值,同时这个比例也很符合生产部门掌握的情况。G 值的确定,首先取 G 值 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.5 七个值,此时(11)式中的 X 取 625 尾时, G = 0.1, 0.15, 0.20, 0.25 非线性方程组 [中国科学院数学研究所 1981] 均能得到满意的收敛结果,而 G = 0.30 以上时,无论如何调 X 值,非线性方程组的解均出现不合理的现象。(即 S1(i) > 0.7047)。这可确定鲢鱼被偷数最多不超过其统计产量的 25%。为了得到符合实际的残存率须确定具体的 G 值,文中采用计算产量与统计产量比较的办法来确定(表 4)。

根据表 4,可得 G = 0.25 时,平均误差最小为 7.428%,可推定该水库偷鱼量为鲢年产量的 25%,故 1994 年汤河水库被偷的鱼为  $200\ 200 \times 0.25 = 50\ 050 \text{ kg}$ ,由于实际鳙很少被偷,所以,

推定 1994 年汤河水库被偷 5~6 万公斤鱼。表 4 不但确定了偷鱼数量同时还检验了前面处理的可靠性。至此,  $G=0.25$ ,  $TYB(i)$  为 0.2, 0.4, 0.3, 0.1, 解出非线性方程组的未知数, 结果见表 5。鲢的生物量按 7:3 原则处理为  $B=313\ 714\ \text{kg}$ , 这样, 汤河水库 1994 年初的总生物量为  $B_{\text{总}}=1\ 045\ 713\ \text{kg}$ 。

表 4 计算产量与统计产量的比较(公斤)

Table 4 Comparison between calculating and statistical yield (kg)

年份	1993	1992	1991	1990	1989	平均误差
统计产量(加偷鱼 0.25)	250 250	185 500	175 000	153 125	205 625	
计算产量( $G=0.25$ )	219 984	189 279	172 218	177 662	216 847	
相对误差	12.09%	2.00%	1.59%	16%	5.46%	7.428%
统计产量(加偷鱼 0.1)	220 220	163 240	154 000	134 750	180 950	
计算产量( $G=0.1$ )	196 475	175 964	167 205	172 628	207 592	
相对误差	11%	7.8%	8.6%	28.1%	14.7%	14.04%
统计产量(加偷鱼 0)	200 200	148 400	140 000	122 500	164 500	
计算产量( $G=0$ )	180 703	167 877	164 976	169 914	201 591	
相对误差	9.7%	13.1%	17.8%	38.7%	22.6%	20.38%

注:统计产量一项应加上当年的被偷量

表 5  $G=0.25$  时, 汤河水库鲢各龄残存率和资源量

Table 5  $G=0.25$ , Survival rates and stock sizes for silver carp in Tanghe Reservoir in 1994

SI(3) ~ SI(8)	0.194 8	0.587 4	0.403 6	0.316 1	0.118 0	0.017 6			
FYL(i) ~ SI(i)	$SI(i) = 0.398\ 081\ e^{-0.004\ 4FYL(i)}, r = -0.936\ 488\ 2$								
Y(3) ~ Y(8)(尾)	< 0.05								
S(0) ~ S(7)	0.448 3	0.704 7	0.587 0	0.382 6	0.382 6	0.382 6	0.382 6	0.382 6	
F(2) ~ F(8)	0.220	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	
N(1) ~ N(8)(尾)	235 403	276 108	161 664	57 253	17 721	5 455	1 559	6 238	
B(1) ~ B(8)(公斤)	15 359	198 798	245 729	151 147	72 833	32 019	10 910	5 168	
$\sum B(1 \sim 8)$ (公斤)							731 999		

注:1 龄鱼自然死亡系数取 0.35, 8 龄鱼捕捞死亡系数按 7 龄处理

### 2.3 最佳放养数量和鲢、鳙的环境容纳量的确定

一般来说, 最佳放养量应该是特定年份水库中饵料生物及资源密度及环境因子的函数, 由于生长情况缺乏历年资料, 只知 1994 年数据, 故文中未考虑生长的影响, 设不同年份间生长无差异, 即同特定年份的资源密度无关, 最大生物量发生的时刻也就是资源量(尾数)最大的时刻, 则水库的最佳放养数量可用下述方法确定:  $SI(i) = 0.398\ 081\ e^{-0.004\ 4FYL(i)}$  则水库中 2 龄鱼的数量为,  $N(2) = FYL(i) \times 0.398\ 081\ e^{-0.004\ 4FYL(i)}$ ,  $dN(2)/dFYL(i) = 0$  时  $N(2)$  取得极大值。

若每年的 2 龄鱼均最多, 则水库中资源也最多, 此时,  $FYL(i) = 227$  万尾, 鲢按 7:3 原则为 97.3 万尾, 故汤河水库最佳放养(鲢、鳙)为 324.3 万尾, 很显然以往的放养数量都不太合理, 直接影响鱼产量。若每年均按 324.3 万尾投放鱼种, 连续投放 8~10 年, 且没有任何捕捞, 那水库鲢、鳙数量的总和即为汤河水库鲢、鳙的环境容纳量, 即鲢鱼  $N = 1.572\ 287 \times 10^6$  尾, 鳙  $N = 6.73837 \times 10^5$  尾。若不考虑密度对鱼生长的影响,  $B_{\text{鲢}} = 3\ 112\ 837\ \text{kg}$ , 按 7:3 原则,  $B_{\text{鳙}} = 1\ 334\ 073\ \text{kg}$ , 因此, 汤河水库可容纳鲢、鳙共  $2.246\ 124 \times 10^6$  尾,  $4.446\ 910 \times 10^6\ \text{kg}$ 。实际上, 密度对鱼生长会有明显的影响, 因此, 汤河水库可容纳的鲢、鳙生物量会少于  $4.446\ 910 \times 10^6\ \text{kg}$ ,

所以,最好用容纳的尾数来表示。

### 2.4 最佳开捕年龄和最佳捕捞死亡系数的确定

由于该水库鲢、鳙为季节性生产,每年的 4~9 月份,历时大致半年,即半年无捕捞,因此,采用比较适合于生产的 Ricker 模式[Ricker 1975]来确定最佳的开捕捞年龄和最佳捕捞死亡系数。Ricker 模式如下:

$$Y/R = 1/R \cdot \sum_{T_c}^{T_\lambda} \frac{F_i B_i [e^{(G_i - Z_i)} - 1]}{G_i - Z_i}$$

式中:Z<sub>i</sub>, F<sub>i</sub> 及 G<sub>i</sub> 分别为 i 龄鱼的总死亡系数、捕捞死亡系数和 i 龄鱼的增重率(G<sub>i</sub> = ln[W(i + 1)/W(i)]);R, y, T<sub>λ</sub>, T<sub>c</sub>, B<sub>i</sub> 分别为每年补充量(以 3 龄作为补充年龄)、年产量、最大年龄、开捕年龄及 i 龄鱼的生物量。

Ricker 模式的计算过程中累加过程的步长选 0.5 年,初始生物量用 3 龄鲢的平均体重值 1.52kg 输入计算机,鳙各种情况同鲢的处理过程。其计算结果分别用电子计算机绘成等渔获量曲线(图 1 和图 2)。从图 1 和图 2 得到鲢最佳 T<sub>c</sub> = 5 龄,最佳 F = 2.0,鳙最佳 T<sub>c</sub> = 4.5,最佳 F = 1.9。

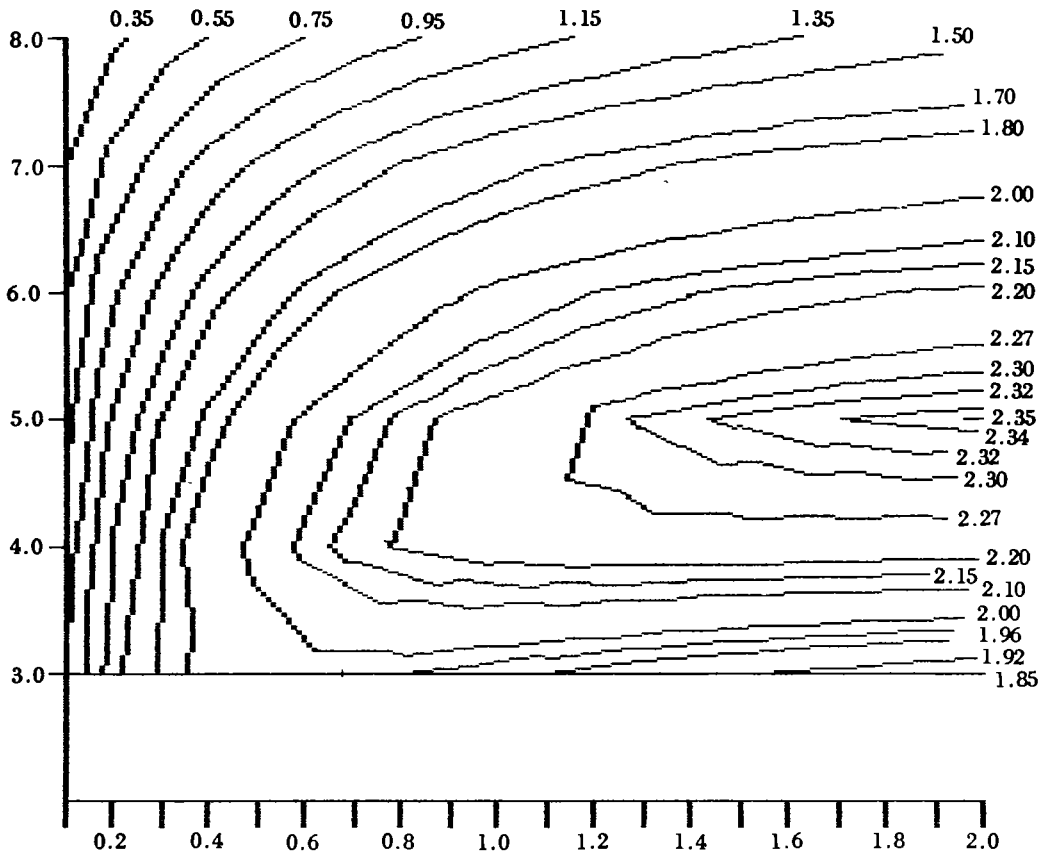


图 1 鲢等渔量曲线图

Fig.1 The isogram of catch for silver carp

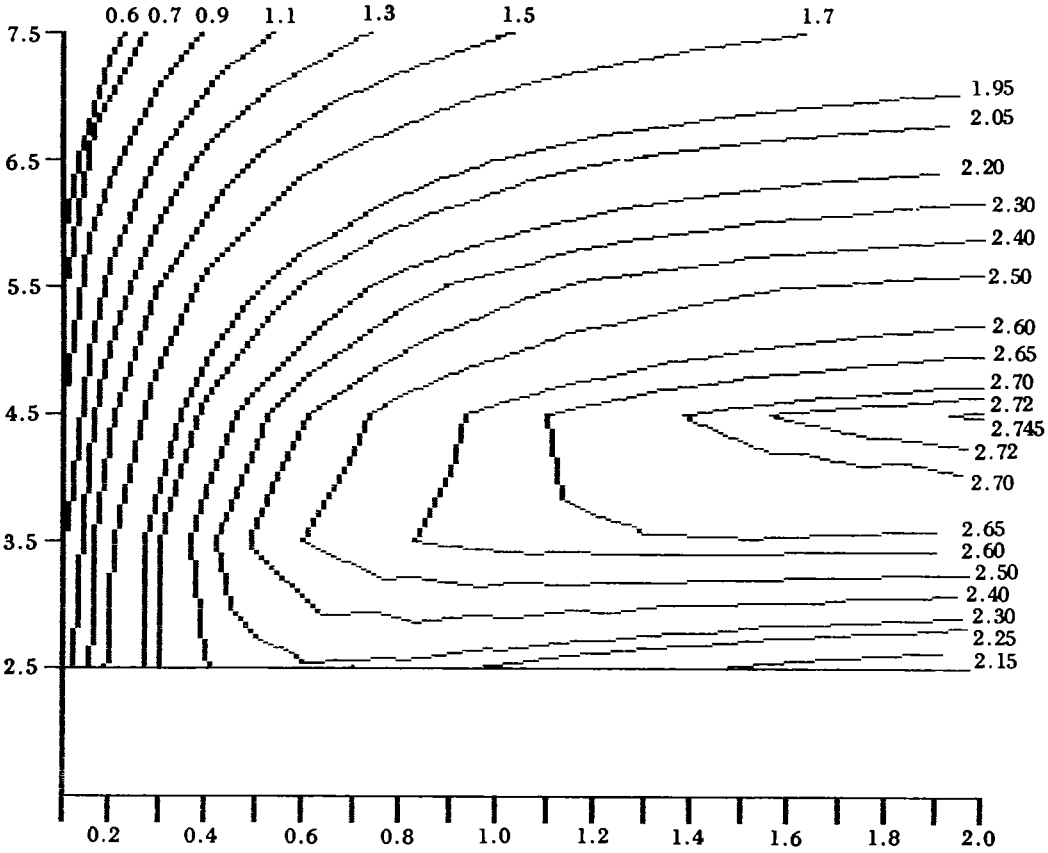


图2 鳙等渔量曲线图

Fig.2 The isogram of catch for bighead carp

### 3 讨论与分析

由上可知,汤河水库的利用不符合渔业资源的最优利用原则。首先每年的鱼种投放量是极不合理的,1986~1993年中有一半年份还不及最佳放养量的1/4,大大地浪费了水域的空间资源和天然饵料资源,而1986年一年投放了1050万尾,超出最佳放养量726万尾,既浪费鱼种、人力和物力,又使死亡率成倍地上升,致使水库岸边的水质变坏,从而影响鱼的生长和存活。其次是水库渔业的捕捞格局也不合理,主要表现为开捕年龄太低,只有3龄,且捕获相当多的正处于高速生长的2龄鱼,鱼产力下降、渔获物体长变小、质量差,直接影响经济收入。若鲢、鳙的开捕年龄为最佳开捕年龄,则既可增产(在目前的F下,  $T_c$  从3提高到5龄,  $Y/R$  可从原来的1.98提高到2.15),又可提高渔获质量。其次,捕捞死亡系数太小,1994年只有0.648,距离最佳的F差得很多,这样本该成为渔获的鱼自然死亡了。若把目前的F提高到最佳捕捞死亡系数,即使开捕年龄仍保持3龄,单位补充量产量鲢也会从原来的2.0提高到2.35,鳙将从原来的2.30提高到2.745,这种产量的增加是相当可观的,鲢、鳙年总产可提高132869 kg。另外,偷鱼对合理利用的影响,笔者推测1994年2龄鱼被偷10000 kg以上、3龄鱼20000 kg以上,这些未达到规格的鱼使水库蒙受损失,为了更好地发挥汤河水库渔业资源的效用,应加大

执法力度,力求最优地利用渔业资源。若汤河水库每年都实施上述的利用方案,则 1995~2002 年各年提供的渔产量表如表 6。2002 年以后若干年均与 2002 年相同。

表 6 优化管理时,1995~2002 年汤河水库各年份的产量

Table 6 Yield in Tanghe Reservoir during 1995~2002 for optimal harvesting strategies

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
鲢 (公斤)	114 174	158 968	299 339	249 403	450 843	479 334	482 762	482 937
鳙 (公斤)	48 932	68 129	128 288	106 887	193 218	205 429	206 898	206 973
总计(公斤)	163 106	227 097	427 627	356 290	644 061	684 763	689 660	689 910

注:表中的产量是指密度不影响鱼生长且同 1990 年及偷鱼量控制为 0 时的产量

### 参 考 文 献

- 中国科学院数学研究所. 1981. BASIC 语言常用算法程序汇编. 北京:中国铁道出版社. 59~62.
- 董双林等. 1992. 清河水库鲢、鳙鱼种群动态研究. 应用生态学报, 3(2):160~164.
- 费鸿年译. 1984. 鱼类种群生物统计量的计算和解析. 北京:科学出版社. 102:166~173.
- Lea E. 1910. On the methods used in herring investigation publs. circost, cons perm int Explor Mer, No. 53:120.
- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growty, growth parameters, and meanenvironmental temperature in 175 fish stocks. J Cons Int Explor mer, 39(2):175~192.
- Pope J G, Shepherd J G. 1982. A simple method for the consistentinterpretation of catch-at-age data. J Cons Int Explor Mer, 40:176~184.
- Ricker W E. 1975. Computation and interpretation of Biologicalstatistics of fish populations. Bulletin of the fisheries research board of Canada. 191:382.

## OPTIMAL UTILIZATION OF *HYPOPHTHAL MICHTHYS MOLITRIX* AND *ARISTICHTHYS NOBILIS* RESOURCES IN TANGHE RESERVOIR

LI Jiu-Qi, SHI Wei-Liang, YU Xi-Yang

(Department of Marine Fisheries, Dalian Fisheries College, 116023)

**ABSTRACT** Calculation of stock size and the survival rates for silver carp (*Hypophthal michthys molitrix*) and Bighead carp (*Aristichthys nobilis*) in 1994 were made by the Multi-Cohort Method, thus determining of optimal quantity of putting fry were  $3.246\ 753 \times 10^6$  tails (silver carp  $2.272\ 727 \times 10^6$  tails, bighead carp  $9.740\ 26 \times 10^5$  tails), the environmental capacity without fishing are  $2.246\ 124 \times 10^6$  tails (Silver carp  $1.572\ 287 \times 10^6$  tails, bighead carp  $6.738\ 37 \times 10^5$  tails), optimal ages of first capture for silver carp and bighead carp are 5 and 4.5 by Ricker Model respectively, optimal fishing mortality is 2.0 and 1.9 meanwhile determining the quantity of being stolen was  $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$  kg, therefore the tactics of optimal utilization were determined.

**KEYWORDS** Silver carp, Bighead carp, Fishery resource, Optimal utilization, Tanghe Reservoir