

网湖鲫鱼的生长与资源评估

段中华 孙建贻 常剑波 向阳 谭德清 苗志国

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 根据1984—1986年在湖北省网湖进行渔业资源调查的资料,应用Von Bertalanffy生长方程描述该湖鲫鱼的生长模式,同时按照Jones体长股分析模型和Thompson-Bell体长预测模型分别推算鲫鱼资源量和不同捕捞强度下资源量和渔获量的理论值,并求得最大持续渔获量。据此,对该湖鲫鱼资源的合理开发和利用进行了分析和讨论,并提出渔业对策。

关键词 网湖 鲫鱼 生长方程 资源评估

鲫鱼(*Carassius auratus auratus* L.)是一种广布性的淡水鱼类,我国除青藏高原外,各类水体均有分布。鲫鱼喜欢栖息于水草丛生的浅水河湾或湖汊中,对其生活的环境不苛求,加之性成熟年龄早,种群恢复能力强,在一些放养程度不高的湖泊中产量较高。当前在淡水鱼类资源种类小型化现象日趋严重的状况下,肉味鲜美而深受人们喜爱的鲫鱼的渔业经济价值更显重要。长江中游的网湖是一个面积为4666 hm²的浅水草型湖泊,该湖鲫鱼的年产量分别占包括放养鱼类在内的总产量的4.96%和野生鱼类产量的17.20%,仅次于鲤鱼的产量而居第二位,具有明显的经济意义。以往对于鲫鱼的研究大多偏重于个体生物学^[1-4],种群方面也仅限于生长和死亡规律的研究^[5]。

作者根据1984—1986年在网湖进行渔业资源调查所得资料,对该湖鲫鱼的生长模式和资源量及其变动规律进行了研究。在此基础上,分析和讨论了如何合理开发和利用网湖鲫鱼资源,并提出相应的渔业对策。

1 材料与方法

标本286尾,取自1984年12月至1986年5月湖北省网湖鲫鱼的渔获物中,主要渔具为丝网和网簰,并采用两种渔具的混合统计。

每尾标本按常规测量体长(mm)和体重(g),并取鱼体背鳍起点下侧线上方2—3列的鳞片,鉴定年龄和测量鳞径。经比较选取鳞焦至测区的矢向鳞径作体长与体重的相关式,求得各年龄退算体长。年龄记录采用以每年元月1日为递增日期的方法^[6]。

应用Von Bertalanffy生长方程描述网湖鲫鱼的生长模式,根据Jones的体长股分析模型计算鲫鱼的资源量,同时按照Thompson-Bell的体长预测模型推算不同捕捞强度下的资源量和渔获量的理论值,并求得最大持续渔获量。

收稿日期:1993年3月15日;接受日期:1993年6月9日。

2 结 果

2.1 年龄与生长

年龄鉴定结果显示,1984年12月至1986年5月的标本共有7个世代,最高实际年龄为6龄(表1)。体长分布范围在56—243 mm之间,其中110—180 mm的个体所占的比例较大(图1)。

表1 网湖鲫鱼渔获物的世代组成

Tab. 1 Generation composition in catches of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

样 本 (年、月)	世 代 数 量							合 计
	1985	1984	1983	1982	1985	1980	1979	
1984、12			8	5	3			16
1985、5		67	42	20	7	5	2	141
1985、7		12	13	6	7	2	1	41
1985、11	14	9	7	5	4	2		41
1986、1		8	4	3	3	1		19
1986、5	9	5	5	5	4			28
合 计	23	101	79	44	28	8	3	286

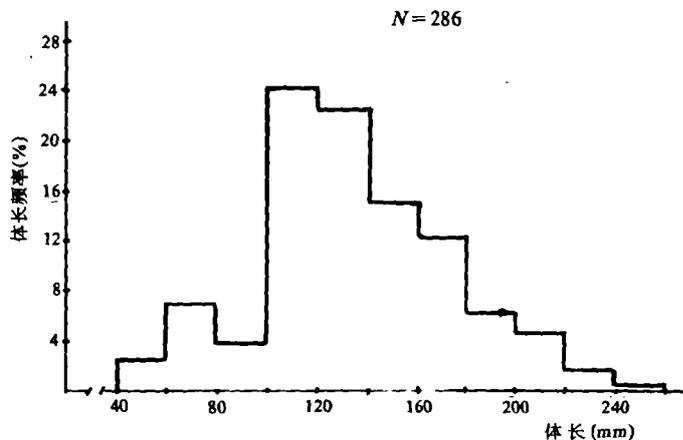


图1 网湖鲫鱼渔获体长分布

Fig. 1 The length-frequency distribution in catches of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

2.1.1 各龄推算体长 经258尾标本的体长(L)和鳞径(R)的拟合比较,体长与鳞径呈幂函数正相关(图2),相关式为:

$$L = 44.7388R^{0.8535}, \quad r = 0.9679$$

将上式引入校正系数 R' (实测值与理论值的比值)得:

$$L = 44.7388R^{0.8536} \cdot R'$$

把每尾标本的各龄鳞径代入上式,求得各龄鱼的往年生长,并统计平均值,作为种群实际生长的指标(表 2)。

表 2 网湖鲫鱼各龄推算体长

Tab. 2 Back-calculated body length at various ages of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

年 龄	各龄推算体长(mm)						标本数
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	
1	73.85						101
2	73.19	128.52					84
3	72.89	126.11	161.09				43
4	72.72	120.63	159.55	188.26			19
5	71.91	112.20	156.62	185.12	211.20		8
6	70.19	108.98	153.53	183.65	209.70	230.42	3
平均值	73.29	125.70	159.89	186.96	210.79	230.42	

2.1.2 生长参数和生长曲线 网湖鲫鱼的体长和体重呈幂函数正相关(图 3),相关式为:

$$W = 4.2184 \times 10^{-5} L^{2.9274}, \quad r = 0.9917$$

其幂指数接近于 3,表明网湖鲫鱼为均匀生长型,可以用 Von Bertalanffy 生长方程描述其生长模式^[7]。

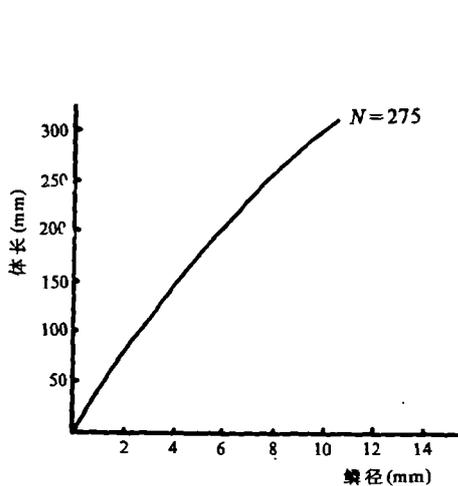


图 2 网湖鲫鱼体长与鳞径关系

Fig. 2 The relationship between body length and scale radius of *O. auratus auratus* in Wanghu Lake

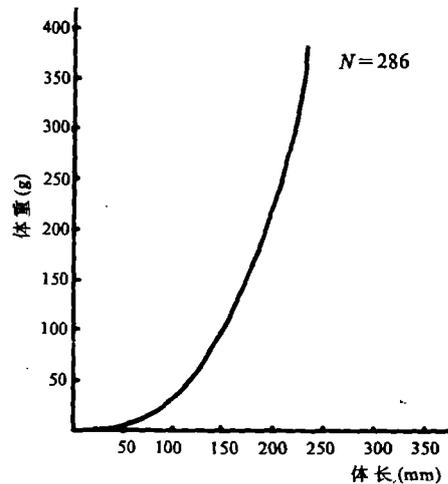


图 3 网湖鲫鱼体长与体重相关曲线

Fig. 3 The relation curve between body length and body weight of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

将表 2 的数据代入 Ford-Beverton 方程作回归运算得: $L_{\infty} = 285.82$ mm, $K = 0.2640$, $t_0 = -0.1213$ 龄。由体长、体重关系式得 $W_{\infty} = 653.30$ g。所以网湖鲫鱼的生长模式(图 4),用 Von Bertalanffy 生长方程描述如下:

$$L_t = 285.82[1 - e^{-0.2640(t+0.1213)}]$$

$$W_t = 653.30[1 - e^{-0.2640(t+0.1213)}]^{2.9274}$$

由体长、体重生长方程求得各龄体长、体重的理论值与实测退算值经 χ^2 检验得: 体长

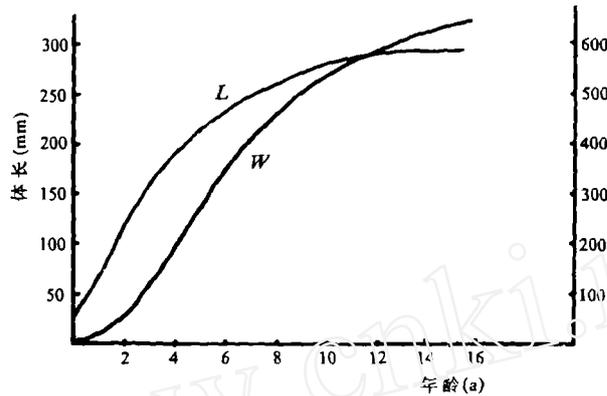


图 4 网湖鲫鱼体长、体重生长曲线

Fig. 4 The growth curve of body length and body weight of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

和体重的 χ^2 值分别为 0.1278 和 0.7936, 均小于 $\chi_{0.05}^2 = 11.07$ (表 3)。表明理论值与实际值的吻合程度很好, 因而 Von Bertalanffy 生长方程描述网湖鲫鱼的生长是适宜的。

表 3 网湖鲫鱼各龄理论及退算体长、体重

Tab. 3 The theoretical and the back-calculated body length and body weight of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

年 龄	1	2	3	4	5	6	χ^2
理论体长(mm)	73.24	12.56	160.44	189.53	211.67	229.03	0.1278
退算体长(mm)	73.29	1225.70	159.89	186.96	210.79	230.42	
生长指标	39.54	30.24	25.01	22.43	18.77		
理论体重(g)	12.13	54.78	120.50	196.26	271.96	341.58	0.7936
退算体重(g)	12.16	58.99	119.29	188.57	267.91	347.69	
生长率	1.58	0.71	0.46	0.35	0.26		

2.1.3 生长特征 体长、体重生长方程的一阶、二阶导数可以反映网湖鲫鱼生长的速度和加速度随年龄而变化的特征(图 5、6)。生长速度和加速度方程分别为:

$$\frac{dL}{dt} = 75.46e^{-0.2640(t+0.1213)}$$

$$\frac{dw}{dt} = 504.89e^{-0.2640(t+0.1213)}[1 - e^{-0.2640(t+0.1213)}]^{1.9274}$$

$$\frac{d^2L}{dt^2} = -19.92e^{-0.2640(t+0.1213)}$$

$$\frac{d^2w}{dt^2} = 133.79e^{-0.2640(t+0.1213)} \cdot [2.9274e^{-0.2640(t+0.1213)} - 1]$$

当体重生长加速度为零时,即 $d^2w/dt^2 = 0$, 体重生长速度达到最大值, 体重生长位于拐点。

拐点年龄为: $t_i = \frac{\ln 2.9274}{0.2640} - 0.1213 = 3.95$ 龄, 此时体重为 $w_i = 192.41$ g。

2.2 资源量的估算

鱼类种群资源量的估算是渔业管理的基础。估算方法中的动态综合模型和剩余产量模型已被广泛应用于我国海洋与淡水渔业研究, 但股分析特别是体长股分析模型的应用, 目前仅见于海洋渔业资源的评估^{①, [7]}。由于体长股分析只需取得研究种群渔业获物中一定数量标本的体长和体重数据, 求得生长参数及自然死亡系数即可运用, 该模型计算方法简便, 无疑也是淡水渔业资源评估中有用的方法之一。

2.2.1 自然死亡系数 Pauly^[8]根据 175 种鱼类种群的自然死亡系数 (M) 与渐近体长 (L_∞ ; cm)、个体衰亡系数 (K) 和水环境温度 (T_c ; °C) 的关系, 得出估算自然死亡系数的经验公式:

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln K + 0.463 \ln T$$

网湖年平均水温为 17.3°C, 并代入 L_∞ 和 K 值得: $M = 0.6069$ 。

2.2.2 种群数量和生物量 Jones^[9]

假定各世代的自然死亡率和补充量不变的情况下, 提出了根据渔获物体长组成估算鱼类资源的股分析法。把渔获物按体长分组后, 在 $t(L_i)$ 到 $t(L_i) + \Delta t/2$ 期间内, 仅由于自然死亡的存活分数的倒数为:

$$X_i = \left(\frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_i + 1} \right)^{M/(2K)}$$

各体长组的存活尾数为:

$$N_i = (n_{i+1} \cdot X_i + C_i) \cdot X_i$$

最大体长组的存活尾数 (N_i) 为:

$$N_i = C_i/E_i$$

各体长组的捕捞死亡系数 (F_i) 为:

$$F_i = \ln(N_i/N_{i+1}) - M$$

$t(L_i)$ 到 $t(L_{i+1})$ 期间内各体长组的平均资源尾数为:

$$MN_i = (N_i - N_{i+1}) / [(F_i + M) \cdot \Delta t]$$

各组的平均生物量 (MB_i) 为: $MB_i = MN_i \cdot a(L_i^b + L_{i+1}^b)/2$

各组的渔获量 (Y_i) 为: $Y_i = C_i \cdot a(L_i^b + L_{i+1}^b)/2$

上述各式中, C_i 为第 i 组的渔获尾数; C_i, E_i 为最大体长组的渔获尾数和开发率; a, b 为体长与体重相关式中的参数。

网湖鲫鱼 1984、1985 和 1986 年的渔获量分别为 16826.4、18355 和 18833kg, 三年平均

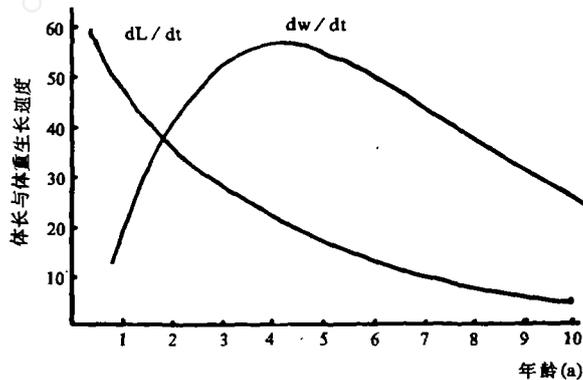


图5 网湖鲫鱼体长、体重生长速度曲线

Tab.5 The growth rate curve of body length and body weight of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

① 施秀帖。“体长股分析法”的原理及其在南海北部围网渔业研究中的应用。中国水产科学院南海水产研究所研究报告(38), 1983。

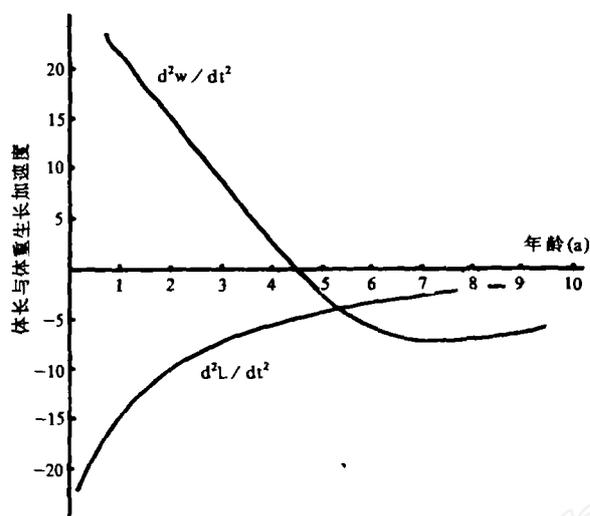


图6 网湖鲫鱼体长、体重生长加速度曲线

Tab. 6 The accelerative growth curve of body length and body weight of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

增长而增大。体长 100 mm (相当于 1.5 龄) 以下, 捕捞死亡系数值较小, 说明网湖鲫鱼在此体长范围内, 所受的捕捞压力较小, 只有少部分个体进入捕捞选择。因而可以把 100 mm 作为网湖鲫鱼的开捕体长, 体长在 100 mm 以下的群体数量作为补充量, 当体长超过 100 mm, 渔获尾数随体长的增长而减少, 捕捞死亡系数则逐渐升高, 说明这部分群体已完全进入捕捞选择而成为可捕群体。(2) 平均世代数量随体长的增大而减少, 世代生物量变化趋势呈“钟形”曲线(图 7)。在当前捕捞强度下, 生物量最大值在 150—160 mm 体长范围内(即为 3 龄), 位于种群体重生长拐点之前。

2.2.3 不同捕捞强度下的资源量和渔获量 Thompson-Bell^[10]模型用于体长股分析, 与 Jones 模型的假设相同, 对于各体长组的捕捞死亡系数, 引入 f 因子, 根据最小体长组的存活数量, 推算不同捕捞强度下的资源量和渔获量, 并求出最大持续渔获量。

各体长组的存活尾数和渔获尾数分别为:

$$N_{i+1} = N_i [1/x_i - f \cdot F_i / (f \cdot F_i + M)] / [x_i - f \cdot F_i / (f \cdot F_i + M)]$$

$$C_i = f \cdot F_i (N_i + N_{i+1}) / (f \cdot F_i + M)$$

式中各符号与 Jones 模型中的符号意义相同, 平均资源量和渔获量的计算方法同前。

f 因子取不同值时, 把自然死亡系数、最小体长组的存活尾数及各组的捕捞死亡系数代入, 推算出不同捕捞强度下的平均资源量和渔获量(表 5)。结果表明:(1) 网湖鲫鱼的种群数量和渔获量随捕捞强度的增大而减少, 并且随捕捞强度的增大, 生物量达到最大值时的体长逐渐减少(图 8)。(2) 捕捞强度较小时, 渔获量随其增大而增加并达到最大值, 此后继续增大捕捞强度, 渔获量则逐渐下降(图 9)。(3) 当前的捕捞强度(即 $f = 1.0$), 渔获量尚未达到最大值。当捕捞强度持续增大至目前的 2.1 倍时, 可使渔获量提高 10% 并达到最大持续渔获量。此时世代生物量最大值出现在 110—120 mm 体长范围内。

值为 18004.8 kg, 除以尾, 均重为 201109 尾。根据渔获物中各体长组所占的比例, 求得各体长组的渔获尾数。运用公式 $C_i = \frac{F_i}{F_i + M} (N_i - N_{i+1})$ 对最大体长组的开发率取不同值时进行反复运算比较, 当 $E_i = 0.5$ 时的渔获量与三年的平均渔获量最接近, 因而取 $E_i = 0.5$ 。

将各体长组的渔获尾数、最大体长组的开发率和自然死亡系数代入上述各式, 求得各体长组的捕捞死亡系数、存活尾数、生物量和渔获量(表 4)。

结果表明:(1) 不同体长组的捕捞死亡系数不同, 并随体长的增长

表 4 网湖鲫鱼的种群数量和生物量

Tab. 4 The stock amount and biomass of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

体长组 $L_1 - L_2$ (mm)	渔获量 C ($\times 1000$)	存活数量 N ($\times 1000$)	总死亡系数 Z	捕捞死亡系数 F	平均数量 MN ($\times 1000$)	平均生物量 B (kg)
51-60	4.93	863.65	0.6436	0.0367	134.52	722.25
61-70	10.55	777.07	0.6909	0.0840	125.72	1093.63
71-80	3.52	690.22	0.7369	0.0300	117.20	1543.64
81-90	2.82	615.57	0.6327	0.0258	109.47	2074.15
91-100	4.93	546.31	0.6554	0.0485	101.71	2663.62
101-110	18.28	479.85	0.8048	0.1979	92.49	3242.09
111-120	30.23	405.22	0.9818	0.3749	80.77	3691.32
121-130	24.62	325.92	0.9661	0.3592	68.68	4003.25
131-140	20.39	259.57	0.9595	0.3526	57.95	4228.84
141-150	17.58	203.97	0.9718	0.3649	48.30	4342.30
151-160	12.67	157.03	0.9252	0.3183	39.90	4359.33
161-170	16.19	120.11	1.1184	0.5115	31.79	4167.41
171-180	8.45	84.57	0.9504	0.3435	24.70	3846.18
181-190	5.64	61.10	0.8974	0.2905	19.50	3572.70
191-200	7.04	43.80	1.0916	0.4849	14.62	3124.12
201-210	4.93	27.84	1.0975	0.4906	10.14	2507.40
211-220	4.23	16.51	1.2763	0.5694	6.41	1822.05
221-230	2.11	8.33	1.1920	0.5851	3.67	1191.07
231-240	1.40	3.96	1.3907	0.7873	1.84	679.01
241-250	0.70	1.40	1.2138	0.6069	1.15	480.49
合计					1090.50	53355.48

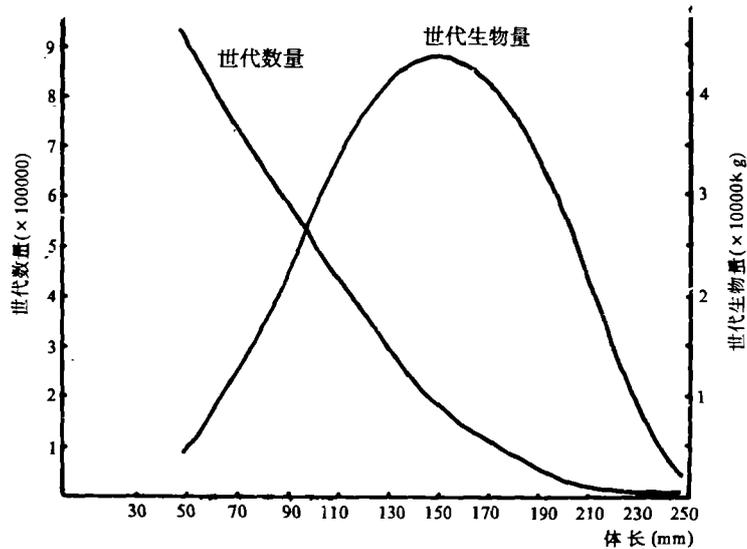


图 7 网湖鲫鱼世代数量和生物量

Fig. 7 The generation amount and biomass of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

表5 不同捕捞强度下网湖鲫鱼的种群数量、生物量、渔获量和最大生物量体长组
 Tab. 5 The population amount, biomass, yield and length groups of maximum biomass under different fishing intensities of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

f 因子	平均数量 ($\times 1000$)	平均生物量 (kg)	渔获量 (kg)	最大生物量体长组
0.0	1404.36	110157.80	0.00	191—200
0.2	1315.24	91765.01	7512.72	181—190
0.4	1243.17	78111.73	12158.85	171—180
0.6	1183.57	67715.54	15080.33	161—170
0.8	1133.10	59614.02	16941.36	151—160
1.0	1090.50	53355.48	18135.43	151—160
1.2	1052.78	47944.66	18900.17	141—150
1.4	1019.85	43642.29	19382.19	131—140
1.6	990.60	40048.04	19673.41	131—140
1.8	964.39	37007.81	19673.41	121—130
2.0	940.72	34407.98	19904.80	111—120
2.2	919.21	32163.24	19309.92	111—120
2.4	899.54	30209.50	19868.79	111—120
2.6	881.47	28493.26	19794.32	111—120
2.8	864.77	26977.84	19695.82	111—120
3.0	849.29	25630.62	19580.07	111—120
2.114	928.22	33089.52	MSY* = 19914.32	111—120

*MSY 为最大持续渔获量。

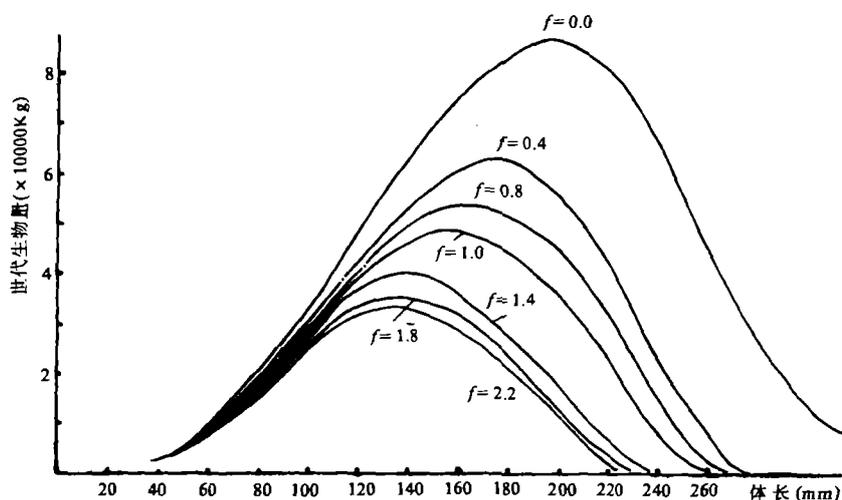


图8 不同捕捞强度下网湖鲫鱼的世代生物量
 Fig. 8 The generation biomass under different fishing intensities of *C. auratus auratus* in Wanghu Lake

3 讨 论

(1) 在海洋渔业资源研究中,样本数量常常较大。而在淡水渔业资源研究中,由于鱼类

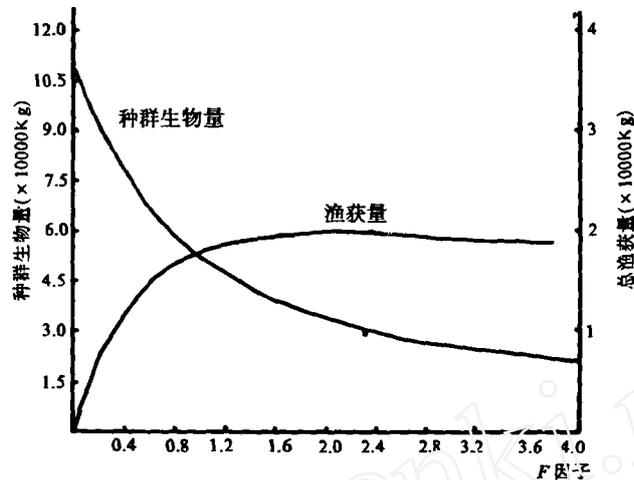


图9 不同捕捞强度下网湖鲫鱼的种群数量和渔获量

Fig. 9 The population amount and yield of *C. auratus auratus* under different fishing conditions in Wanghu Lake

种群数量小、群体分散和渔具的限制,大批量随机抽样难以实现,导致抽样误差增大。为使抽样满足生物统计的误差要求,常用公式 $n = (t_{\alpha} \cdot s / m \bar{x})^2$ 来确定最低取样数量^[11],式中 t 为置信限,取 95%; s 为样本标准差; \bar{x} 为样本平均值; m 为相对误差,取 0.05; n 为样本含量。在随机抽取的 40 尾样本中,体长平均值 \bar{x} 为 149.0 mm, s 为 57.28,由 t 值表得 $t_{\alpha} = 2.04$,代入公式则样本含量为 247 尾,即研究网湖鲫鱼的样本含量应不小于 247 尾才能满足生物统计的要求。表 3 的比较结果也说明,用 286 尾标本研究网湖鲫鱼的生长是可行的。运用体长股分析模型进行资源评估,主要参数:生长参数(K 和 L_{∞})、自然死亡系数均由生长方程求得,各体长组的渔获尾数由渔获物的体长分布得出,因而以上述参数为基础,对网湖鲫鱼资源的评估可为渔业管理提供科学依据。

(2) Ricker^[12]认为,世代生物量最大时鱼类的大小称为临界尺寸,若同一世代出生的鱼同时捕捞,生长到临界尺寸是最适宜的。但这种情况实际上难以实现,为减少在较长捕捞时期内因自然死亡造成的资源丧失,应使起捕规格限定在临界尺寸以下。为维持补充群体的相对稳定,应使捕捞群体至少有一次繁殖的机会,根据已有的研究结果^[2,4,5],各类水体中,鲫鱼体长达 100 mm 的绝大部分个体已性成熟,因而网湖鲫鱼起捕规格就限定于 100mm 以上。图 1 的渔获物体长分布显示,目前网湖鲫鱼的起捕规格是适宜的。

鲫鱼性成熟早,繁殖力大,资源补充快。计算结果(表 5)显示,目前网湖鲫鱼的捕捞强度不足,如果把捕捞强度增加 1 倍,而不降低起捕规格,还可使渔获量提高 10%,即使种群生物量较目前下降 37.76%。世代最大生物量由 150—160mm 提前到 110—120 mm 体长范围内,仍可使大部分个体有一次繁殖机会,而不会因捕捞过度导致资源衰退。而且,增大鲫鱼的捕捞强度使其种群密度下降,有利于与鲫鱼繁殖习性相似,生长快、个体大的网湖鲤鱼的种群生长,可使鲤鱼的产量有所提高,从而提高整个湖泊的渔业效益。

参 考 文 献

- 1 陈佩董. 梁子湖鲫鱼的生物学研究. 水生生物学集刊, 1959, (4), 411—419.
- 2 黄玉瑶等. 白洋淀鲫鱼的繁殖和保护. 动物学杂志, 1980, (1), 46—49.
- 3 戴定远. 白洋淀鲫鱼的几项生物学. 动物学杂志, 1964, (1), 22—24.
- 4 解玉浩等. 达里湖鲫鱼的生物学. 动物学杂志, 1982, (1), 33—37.
- 5 张国华. 洪湖鲫鱼种群的研究. 见: 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究. 北京: 海洋出版社, 1991: 162—171.
- 6 邓中焱等. 汉江主要经济鱼类的年龄和生长. 见: 鱼类学论文集(第一辑). 北京: 科学出版社, 1981: 97—116.
- 7 徐旭才等. 闽南一台湾浅滩鱼场蓝园鲹资源的评估. 海洋与湖沼, 1982, 23(5): 511—516.
- 8 Pauly, D., On the interrelationship between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 1980, 39(2): 175—192.
- 9 Jones, R., Assessing the effects of changes in exploration pattern using length composition: data. *FAO Fish. Tech. Pap.* 1984: 256.
- 10 Sparre, P. etc., Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1—manual. *FAO Fish. Tech. Pap.* 306/1. 1989: 185—191.
- 11 许泽龙译. 水产资源数理统计学基础讲座(七). 水产科技情报, 1978, (7): 25—28.
- 12 W. E. 里克著, 费鸿年、刘蔚文译. 鱼类种群生物统计量的计算和解析. 北京: 科学出版社, 1980: 153—159.

THE GROWTH AND STOCK ASSESSMENT OF *CARASSIUS AURATUS AURATUS* L. IN WANGHU LAKE

Duan Zhonghua Sun Jianyi Chang Jianbo

Xiang Yang Tan Deqing Miao Zhiguo

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract

This paper deals with the growth and stock assessment of *Carassius auratus auratus* L. collected from Wanghu Lake during December 1984 to May 1986.

The relation between the body weight and body length can be expressed in terms of the power function equation: $W = 4.2184 \times 10^{-5} L^{22.9274}$. The growth equation is $L_t = 285.82[1 - e^{-0.2640(t+0.1213)}]$ and $W_t = 653.30[1 - e^{-0.2640(t+0.1213)}]^{2.9274}$. The coordination of inflexion point is at $t_i = 3.95Y$, and $W_i = 192.41$ g.

Using Jones length-based cohort analysis, the standing stock size and biomass were estimated to be 1.0905×10^6 in number and 53355 kg respectively. The theoretical abundance and yield were also calculated under different fishing intensities in accordance with Thompson-Bell predictive. In order to maintain a sustaining fisheries, a discussion on the rational exploitation of the stock has been proposed.

Key Words Wanghu Lake, *Carassius auratus auratus* L., growth equation, stock assessment