达里湖瓦氏雅罗鱼资源现状及合理利用探讨

齐景伟[1],安晓萍[1],孟和平[2],杜昭宏[2],乌 兰[1],高玉奎[3],柳玉海[3]

(1. 内蒙古农业大学动物科学学院,内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 内蒙古自治区水产技术推广站,内蒙古 呼和浩特 010010;
3. 内蒙古达里湖渔场,内蒙古 赤峰 024000)

摘要:采用2008年12月和2009年12月在达里湖获取的瓦氏雅罗鱼(*Leucisus waleckii*)样品,对其基础生物学进行测定,依据B-H模型,计算并分析在不同开捕年龄和不同捕捞强度下的单位补充渔获量(Y_N/R 和 Y_w/R)及渔获质量(平均体重 W_y、平均全长 TL_y 和平均年龄 T_y)。结果表明,达里湖瓦氏雅罗鱼的生长参数 K、TL_∞、t_0 分别为0.1437a^{-1}、38.77 cm和-0.5572a;目前开捕年龄和捕捞强度分别为3.52a和0.5256;若保持当前开捕年龄,目前的捕捞强度即可;若保持目前捕捞强度,则开捕年龄可提高到6龄;瓦氏雅罗鱼资源利用不合理之处为大量捕捞4龄以内的鱼,为了合理开发利用和保护达里湖瓦氏雅罗鱼,在当前捕捞强度下,应将开捕年龄应限制在6龄,对应的全长为24 cm,体重为126 g。

关键词: 瓦氏雅罗鱼;资源现状;合理利用;达里湖

中图分类号:S931.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)01-0071-07

瓦氏雅罗鱼[*Leucisus waleckii* (Dybowski)]亦称东北雅罗鱼,俗名华子鱼、滑鱼、白鱼,隶属鲤形目、鲤科、雅罗鱼亚科、雅罗鱼属,是一种生活在水流较慢、水质清新的江河、湖泊中的上中层鱼类,适应性较强,在海水、咸水、淡水和pH 9以上的碱性水中均能生长(李国芳等,2004)。内蒙古自治区除额济纳河水系以外,各大水系均有分布,而达里湖数量最多。达里湖位于内蒙古赤峰市克什克腾旗境内,属于碳酸盐型半咸水湖泊,具有高pH值、高盐碱度等特点。湖中经济鱼类仅有鲫和瓦氏雅罗鱼2种,高pH和高盐碱度的协同作用是淡水鱼类和许多水生生物难以入栖和生存的主要限制因子(何志辉等,1996)。近年来,由于气候干旱,年蒸发量超过补给量,湖水中盐分积存于湖内并日渐浓缩,盐度和碱度年均值分别从1994的6.24 g/L和44.9 mmol/L提高到2005年的6.46 g/L和53.6 mmol/L(王俊等,2009)。随着自然条件的不断恶化,虽然达里湖渔场在人工增养殖方面的力度很大,但瓦氏雅罗鱼的补充群体仍然不足。本研究通过对达里湖瓦氏雅罗鱼的生物学和生长规律进行探讨,结合用B-H数学模型,为其资源保护与合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

472尾瓦氏雅罗鱼样本采于2008年12月和2009年12月达里湖冰下大拉网的渔获物。所有样本在新鲜状态下进行常规生物学测量(长度精确到1 mm,体重精确到1 g),测量指标包括全长(TL)、体长(L)、体重(W)、体高(H)等。取背鳍以下、侧线以上的体侧鳞片5~10片,保存于鳞片袋中,作为年龄鉴定材料。解剖鱼体观察性腺,鉴别雌雄。

1.2 生长参数计算

采用Keys公式 $W=aTL^b$ 拟合全长-体重关系,并引用协方差分析(ANOVA)来检验性别间的差异。Rosa Lee公式 $TL=a+bR$ 拟合全长与鳞径的关系,使用逆算的周龄全长用高1龄全长对低1龄全长的线性回归法(Walford生长变换法)来拟合Von Bertalanffy生长方程(VBGF),从而得到生长参数 L_∞、K、t_0(詹秉义,1993)。

1.3 死亡系数估算

1.3.1 总死亡系数 估算总死亡系数的方法有许多,本研究采用2种方法来估算,求其平均值(詹秉义,1993)。

方法一:根据达里湖瓦氏雅罗鱼的全长组成资料,描绘出其线性渔获曲线,从全面补充全长为起始值,估算出瓦氏雅罗鱼的总死亡系数Z(Pauly,

收稿日期:2010-08-13

基金项目:内蒙古自治区"十五"重点攻关项目。

通讯作者:安晓萍。E-mail: xiaoping_an@163.com

作者简介:齐景伟,1966年生,男,副教授,主要从事水域生态环境和鱼类学研究。E-mail: qijingwei_66@126.com.

1984;1990)。线性转换全长渔获量曲线方程为:

$$\ln[C(TL_1, TL_2)/\Delta t(TL_1, TL_2)] = a - Z[t(TL_1) + t(TL_2)]/2 \quad (1)$$

式中:$C(TL_1, TL_2)$ 为全长区间(TL_1, TL_2)的渔获尾数;$\Delta t(TL_1, TL_2)$ 为全长区间(TL_1, TL_2)的年龄间隔,$t(TL_1)$、$t(TL_2)$ 分别为全长 TL_1、TL_2 对应的年龄,a 为常数项,Z 为总死亡系数。在已知全长频数资料和其生长参数 K 和 TL_∞ 时,可利用(1)式使用线性回归的方法估算出总死亡系数。

方法二:在已知 K 和 L_∞ 的前提条件下,采用 Beverton 和 Holt 的方法,根据渔获物的全长组成资料,利用其平均全长和最小捕捞全长等的数值估算捕捞群体的总死亡系数(Beverton & Holt,1956)。Z 的数学估算公式为:

$$Z = K(TL_\infty - \overline{TL})/(TL - TL_c) \quad (2)$$

式中:K 和 TL_∞ 为达里湖瓦氏雅罗鱼的生长参数;$\overline{TL}$为瓦氏雅罗鱼的平均全长,TL_c 为开捕全长。

1.3.2 自然死亡系数 自然死亡系数根据 Pauly(1980)经验公式估算:

$$\ln(M) = -0.0152 - 0.279\ln(TL_\infty) + 0.6543\ln(K) + 0.1463\ln(T) \quad (3)$$

式中:TL_∞、K 由为生长参数,T 是 2008-2009 年达里湖的水温平均值。

1.4 动态综合模型

由于本研究的达里湖瓦氏雅罗鱼体重与全长关系为3次方的幂函数,所以应用 B-H 模型分析了在不同开捕年龄和不同捕捞强度下的单位补充渔获重量和渔获尾数、单位补充量年平均资源重量和资源尾数、渔获物平均体重、全长和年龄(詹秉义,1993)。

2 结果

2.1 全长频率的分布

达里湖瓦氏雅罗鱼样本全长(TL)为 15.0~26.8 cm,优势全长集中在 17.5~22.5 cm,占总数的 90.04%;全长在 17.5 cm 以下的个体比率很低,原因是由于渔具的选择性捕捞所致。全长在 22.5 cm 以上的个体数量相对也较少,只占样本量的 5.51%(图1)。

2.2 全长与体重的关系

协方差分析雌、雄之间全长与体重的关系,不存在显著差异($F=4.351$,$P>0.05$),全长(TL;cm)与体重(W;g)的关系式为:

$$W = 0.0076\ TL^{3.0593}\ (r^2 = 0.9667, n = 472)$$

达里湖瓦氏雅罗鱼种群 b 值接近于 3,表明达里湖瓦氏雅罗鱼生长可看作是等距生长式型,适用 von Bertalanffy 方程描述其生长规律(图2)。

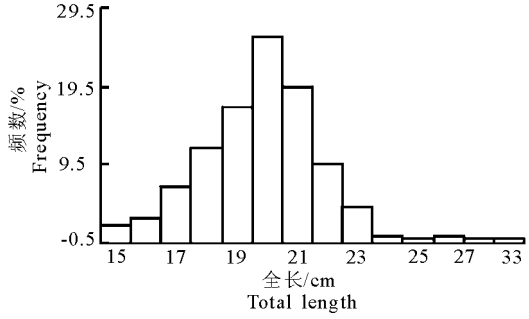

图1 瓦氏雅罗鱼样本的全长分布

Fig. 1 Length-frequency histogram of *Leuciscus waleckii* speciments

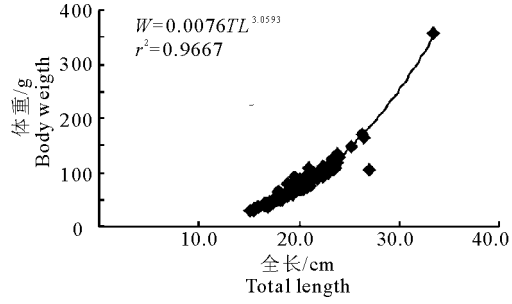

图2 瓦氏雅罗鱼全长-体重的关系

Fig. 2 The total length-weight relationships of *Leuciscus waleckii*

2.3 生长规律

在472尾样品中,根据各龄轮径、鳞径计算,得到各年龄的逆算全长,并根据全长与体重方程计算出退算体重(表1)。将各龄全长、体重逆算值分别与相应全长($P=0.8298>0.05$)、体重($P=0.6913>0.05$)理论值进行差异显著性分析,两者均无显著性差异;另将达里湖瓦氏雅罗鱼各龄的理论全长与实测全长进行 t 检验,没有显著性差异($P=0.951>0.05$),说明生长曲线拟合程度可靠。

根据表1所列年龄组及对应逆算全长数据,采用 Walford 生长变换法可以拟合出达里湖瓦氏雅罗鱼的生长方程,生长参数分别为 $K=0.1437$、$TL_\infty=38.77$ cm、$t_0=-0.5572$,从而得出达里湖瓦氏雅罗鱼的全长生长方程:

$$TL_t = 38.77[1 - e^{-0.1437(t+0.5572)}]$$

根据前述全长与体重关系方程可推算出其体重生长方程:

$$W_t = 550.17\ [1 - e^{-0.1437(t+0.5572)}]^{3.0593}$$

鱼类的生长速度反映了鱼类在整个生命过程中所增加的长度或体重的快慢程度,了解鱼类各个生

活阶段的体质量生长速度以后,一般来说可以选择其快速生长期转入缓慢生长期时加以利用。由图 3 可以看出,达里湖瓦氏雅罗鱼体重生长速度在 6 龄以前递增较快,而在 6 ~ 8 龄之间体重生长速度递增或递减的变化均趋于缓慢(在 7.03 龄达到最大即拐点年龄),8 龄以后体重生长速度的递减加快。生长特征指数由 $\varphi = \ln K + 2\ln L_\infty$ 计算而得 $\varphi = 5.3753$(徐薇等,2010)。由此可见,达里湖瓦氏雅罗鱼体重拐点年龄出现较大,即生长周期较长。

表 1　瓦氏雅罗鱼各年龄组的逆算全长和实测全长

Tab. 1　Back-calculated and measured total length of each age group of *Leuciscus waleckii*

年龄组	样本数/个	各龄逆算全长/cm							
		TL_1	TL_2	TL_3	TL_4	TL_5	TL_6	TL_7	TL_8
1 +	4	9.97							
2 +	74	7.13	13.46						
3 +	206	8.21	13.23	16.93					
4 +	143	7.14	12.08	15.77	18.82				
5 +	38	7.74	12.07	15.73	18.76	21.13			
6 +	5	6.59	10.91	14.47	17.24	19.55	21.93		
8 +	2	5.24	10.72	15.86	17.80	19.85	24.42	25.11	27.45
加权平均		7.43	12.08	15.75	18.16	20.18	23.17	25.11	27.45
实测全长			16.44	18.06	20.56	21.25	21.66	22.25	33.50

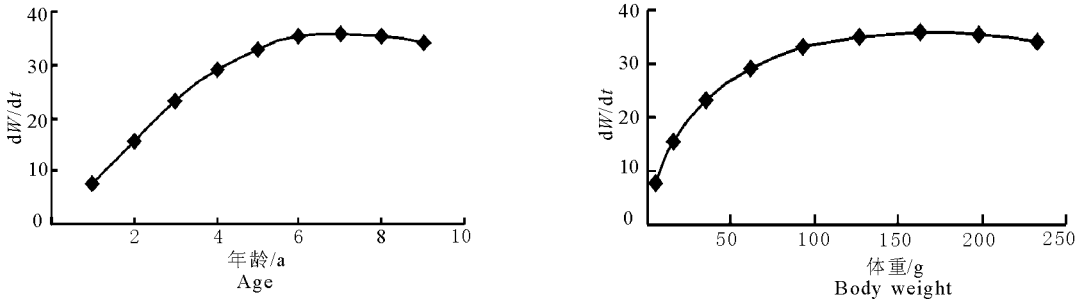

图 3　瓦氏雅罗鱼体重生长速度曲线

Fig. 3　Growth velocity curve of *Leuciscus waleckii*'s body weight

2.4　B-H 动态综合模式的参数估算

2.4.1　*最大年龄 t_λ、开捕年龄 t_c 和补充年龄 t_r*　历史采样中鉴定到的最大个体年龄为 12 龄,故现取最大年龄 t_λ 为 12 年(解玉浩等,1982)。因为全部样本鱼中占优势的最小平均全长组为 17.5 cm,转换成年龄即为 3.52a,即以 $t_c = 3.52$a 作为达里湖瓦氏雅罗鱼的开捕年龄。通常情况下,补充年龄和开捕年龄一致,因此当前达里湖瓦氏雅罗鱼的补充年龄 $t_r = t_c = 3.52$a。

2.4.2　*自然死亡系数 M*　由上述可知瓦氏雅罗鱼生长参数 TL_∞、K,再根据达里湖 2008-2009 年连续 2 年测得水温平均值为 8℃,引用经验公式(3) 可求得瓦氏雅罗鱼的自然死亡系数 $M = 0.2655$。

2.4.3　*总死亡系数 Z 和捕捞死亡系数 F*

方法一:根据瓦氏雅罗鱼的全长频数资料以及生长参数 K 和 TL_∞ 值,利用上述全长渔获量曲线方程进行线性回归,估算出瓦氏雅罗鱼的总死亡系数 Z 值为 0.7071。

方法二:根据采样瓦氏雅罗鱼的全长资料可以算出瓦氏雅罗鱼的平均全长($\overline{TL}$)为 20.5 cm,开捕全长为 17.5 cm,生长参数 K 和 TL_∞ 值也已知,因此可以根据公式(2) 算出瓦氏雅罗鱼的总死亡系数 Z 值为 0.8751。

上述 2 种方法求得的死亡系数 Z 比较接近,证实了其可靠性。把上述两者的平均值作为瓦氏雅罗鱼的最后总死亡系数,即 $Z = 0.7911$;从而可以求出捕捞死亡系数 $F = Z - M = 0.5256$。

2.5　资源利用

2.5.1　*现行开捕年龄条件下变动捕捞强度的资源变动情况*　图 4 显示,若达里湖瓦氏雅罗鱼的开捕年龄 $t_c = 3.52a$ 一定时,改变捕捞死亡系数 F 大小后,达里湖瓦氏雅罗鱼的渔获量(Y_w/R 和 Y_N/R) 和渔获物质量(W_y、TL_y 和 T_y) 的变化情况。观察 Y_w/R 值的变化过程,可以看出在此开捕年龄下,$F < 0.50$以前,Y_w/R 确值迅速增加,捕捞死亡系数 F 在 0.50 ~ 1.0 时,Y_w/R 值变化趋于缓慢,最高点出现在 $F = 0.57$,即在此捕捞强度下达里湖瓦氏雅罗鱼的 Y_w/R 可达到最大值。在此捕捞强度下也可估

算出相应的渔获尾数(Y_N/R)和渔获物质量(W_y、TL_y 和 T_y)。当 $F>1.0$ 以后,Y_w/R 值减小速度加快,可以看到随着捕捞强度的增大,达里湖瓦氏雅罗鱼的资源量会受到破坏,渔获量(Y_w/R)不仅没有增加反而有所下降,可见控制适当的捕捞强度不仅可以保护渔业资源,而且可以避免劳动力的浪费、提高渔业生产效率;另外,Y_N/R 随 F 增大有所增大了,从渔业观点出发,应考虑增加产量而不是追求尾数,渔获产量是渔获尾数和个体平均体重的乘积,达里湖瓦氏雅罗鱼被充分利用以后,还继续盲目增大 F,渔获尾数增加很少,却造成鱼体小型化,从而产量不会随渔获尾数增加而成正比增加,会因鱼体小型化而下降。随着捕捞强度的增加,达里湖瓦氏雅罗鱼群体的个体小型化,整体质量有下降的趋势,由图4中的 TL_y、W_y 和 T_y 随 F 值的增加而减小的变化过程得到证实。

2.5.2 现行捕捞强度下变动开捕年龄的资源变动情况 图5显示,若达里湖瓦氏雅罗鱼的捕捞死亡系数 $F=0.5256$ 一定时,改变开捕年龄 t_c 大小后,达里湖瓦氏雅罗鱼的渔获量和渔获物质量的变化情况。观察 Y_w/R 值的变化过程可以看出,在此捕捞死亡系数下,当开捕年龄 t_c 在4.0以前,Y_w/R 迅速增加,t_c 在4.0~6.0时,Y_w/R 先缓慢增加到达最高点($t_c=4.8\ a$,最佳开捕年龄),再缓慢下降。因此,在此开捕年龄年龄区间达里湖瓦氏雅罗鱼的 Y_w/R 处于最佳,即单位补充量可达最大持续产量 MSY/R。在此最佳开捕年龄下也可估算出相应的渔获尾数(Y_N/R)和渔获物质量(T_y、TL_y 和 W_y)。从提高瓦氏雅罗鱼的渔获重量、改善渔获物质量的角度来看,必须改变不合理的现行开捕年龄,可将开捕年龄 t_c 提高到6 a,这样也能使资源的利用达到最适状态。

2.5.3 同时变动捕捞强度和开捕年龄条件下的资源变动情况 等渔获量曲线图6中,OA和OB两条线是最大持续产量线,也称最适渔获量曲线,OA和OB之间的区域称最适产量区(詹秉义,1993)。如图6所示,现行渔业状况 $P(F=0.5256, t_c=3.52)$ 点资源利用处于最适产量区。若当前开捕年龄不变,分别将捕捞强度增加到0.57、0.7和1.0,其产量变化很小,单位补充年渔获量仅提高0.15%、-0.20%和-2.18%,由此可见捕捞强度增加到0.57,渔获量达到最大,但提高很少,捕捞强度继续增加,渔获量不仅不能增加,相反还会降低。而维持当前的捕捞强度,提高开捕年龄为4.8、6.0和7.0龄,则单位补充年渔获量分别提高近6.5%、0.89%和-6.5%。由此可见,调整开捕全长 TL_c 比调整捕捞死亡 F 的效果更显著。对于渔业管理,控制开捕全长即限制网目尺寸比控制捕捞死亡水平更容易执行。因此,严格控制网目尺寸(有目的地控制渔具网目尺寸)和遵守禁渔期制度,达里湖瓦氏雅罗鱼资源能得到持续利用。

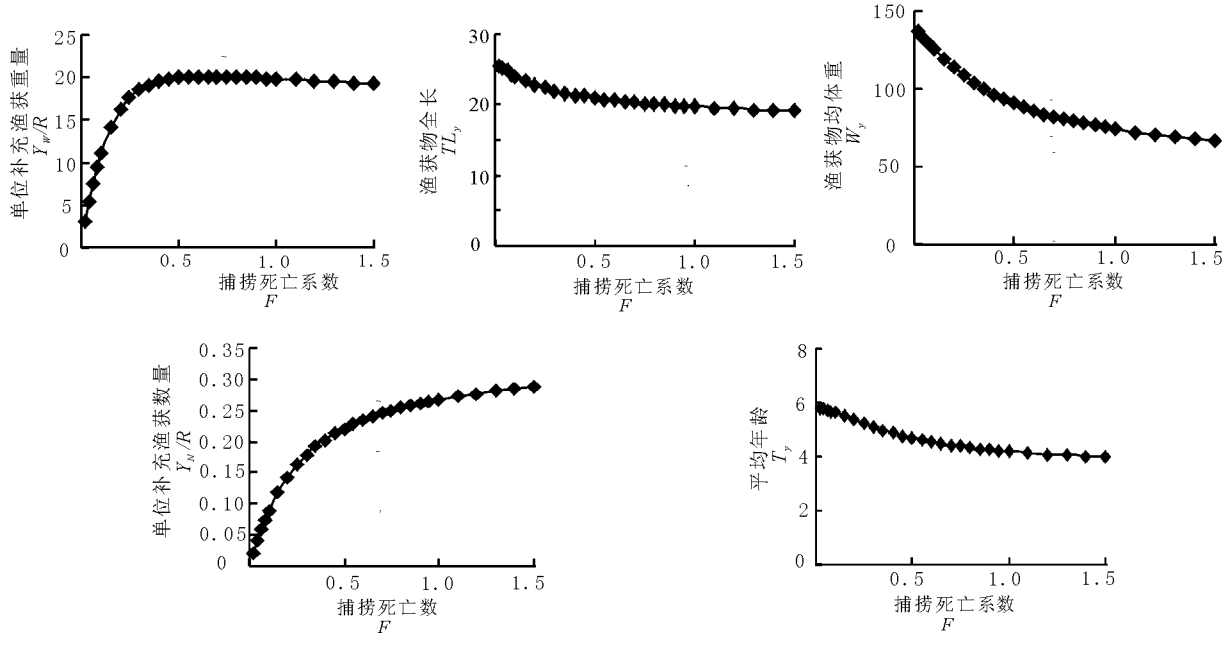

图4 单位补充渔获量及年平均资源质量随捕捞强度变化曲线

Fig.4 Variation of fishery parameters Y_W/R、Y_N/R、TL_y、W_y and T_y with different fishing mortality coefficient

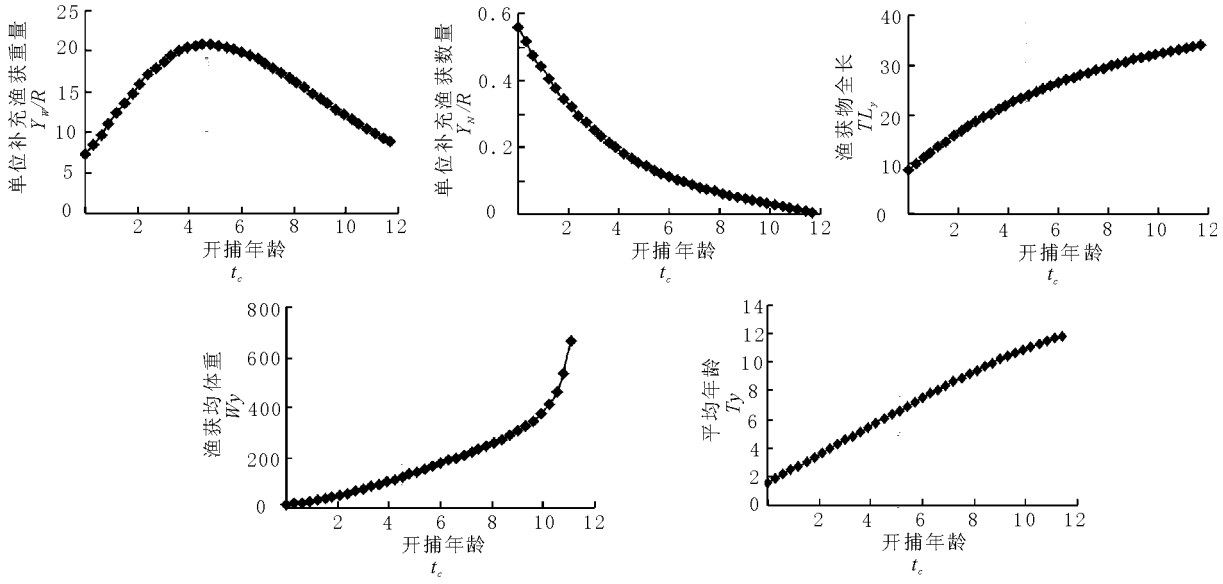

图 5　单位补充渔获量及年平均资源质量随开捕年龄变化曲线

Fig. 5　Variation of fishery parameters Y_W/R, Y_N/R, TL_y, W_y and T_y at different first capture age

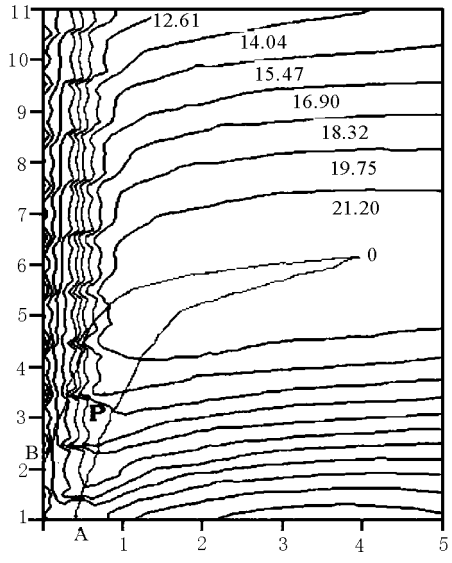

图 6　改变开捕年龄时捕捞强度的单位补充渔获量等值曲线

Fig. 6　Even value curves of fishery parameters Y_W/R at different first capture age and with different fishing mortality coefficient

3　讨论

3.1　生长速度与种质优化

鱼类的生长受到外源环境因子和内源遗传性状的制约。生长系数 K 是一个种群生态对策的参数。Branstetter(1987)将其分为 3 类:K 值在 0.05 ~ 0.10a^{-1},鱼类生长缓慢;K 值在 0.10 ~ 0.20a^{-1},鱼类生长速度中等;K 值在 0.20 ~ 0.50a^{-1},鱼类生长速度较快。达里湖瓦氏雅罗鱼的生长系数 K 为 0.1473a^{-1},具有有生长较慢、体型较小的特点。这种特点可能主要与 2 个因素有关,一是高盐碱、高 pH 值、低水温以及生长季节短等恶劣的自然环境是造成瓦氏雅罗鱼生长缓慢的重要原因;二是自身种质资源的衰退,达里湖瓦氏雅罗鱼完全靠自然增殖,经过多年的自行繁衍,封闭的种群长期近缘交配,可能引起种群遗传多样性降低,表现为个体性状退化。因此,一方面需加强保护达里湖脆弱的生态环境;另一方面,应积极开展瓦氏雅罗鱼的品种选育,通过苗种培育和人工放流来优化种质资源。达里湖瓦氏雅罗鱼的性成熟年龄为 3 ~ 4 龄,而体重生长拐点为 7.03 龄,落后于性成熟年龄,即性成熟后还有一段体重加速增长的时期(解玉浩等,1982)。这种生长方式有利于提高个体繁殖力、扩大种群规模,是鱼类为延续和繁盛种族所形成的一种重要生态适应。

3.2　最小捕捞年龄及合理捕捞强度

规定最小的捕捞规格和合理的捕捞强度是保证天然渔业获得高产和可持续利用的重要措施之一。最小捕捞年龄以及捕捞强度的确定,一方面需要考虑尽可能以最大的限度去利用最高生物量;另一方面还需要保证种群有足够的补充繁殖群体。达里湖瓦氏雅罗鱼的初次性成熟年龄一般为 3 ~ 4 龄,体重变化速度在 6 ~ 8 龄趋于平稳,最高点出现在拐点年龄 7.03 龄,而目前瓦氏雅罗鱼的开捕年龄 t_c 为 3.52a,捕捞群体中 3、4 龄鱼比例较大,故产卵群体遭到破坏,难以保证资源的补充和增殖;此外,捕捞低龄个体将不利于充分发挥个体生长潜力,达里湖瓦氏雅罗鱼在 6 龄前为体重快速生长期,只有在 8 龄以后体重生长速度的递减加快,明显进入衰老期。

综合上述因素,结合市场对渔产品的需求情况,考虑到达里湖脆弱的生态环境,建议在对达里湖瓦氏雅罗鱼资源利用时,必须以满足一个足够数量和多年龄结构的繁殖群体为前提,从而将达里湖瓦氏雅罗鱼的最小捕捞年龄定为6龄,对应的全长 TL_c 为24 cm、体重 W 为126 g,捕捞强度保持不变。

参考文献

何志辉,姜宏,毕风山. 1996. 达里湖水化学和水生生物学再调研[J]. 大连水产学院学报, 11(2): 1-13.

解玉浩,傅平,朴笑平. 1982. 达里湖瓦氏雅罗鱼的生物学[J]. 动物学研究,3(3):235-244.

李国芳,周长海,崔喜顺,等. 2004. 乌苏里江下游海青江段瓦氏雅罗鱼渔业生物学研究[J]. 水产学杂志, 17 (1): 53- 56.

王俊,安晓萍,刘宇霞,等. 2009. 达里湖水体营养状况探索性分析[J]. 内蒙古农业科技, (1): 48-50.

徐薇,熊邦喜,程志学,等. 2010. 徐家河水库鲂的生长与繁殖力研究[J]. 应用与环境生物学报,16 (1): 91-95.

詹秉义. 1993. 渔业资源评估[M]. 北京:中国农业出版社: 31-34.

Beverton R H J, Holt S J. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling [J]. Rapp P-VR un CIEM,140 :67-83.

Branstetter S. 1987. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico[J]. Environ Biol Fishes, 19:161-173.

Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality,growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. J Cons CIEM, 39 (3) :175-192.

Pauly D. 1984. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II) [J]. Iclarm Fishbyte,2 (1) :17-19.

Pauly D. 1990. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. Iclarm Fishbyte,8 (3) :33-38.

(责任编辑 万月华)

Utilization Status of *Leucisus waleckii* (Dybowski) in Dali Lake and Its Rational Exploitation

QI Jing-wei[1], AN Xiao-ping[1], MENG He-ping[2], DU Zhao-hong[2], WU Lan[1], GAO Yu-kui[3], LIU Yu-hai[3]

(1. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;
2. Inner Mongolia Fisheries Technique Extension Center, Hohhot 010010, China;
3. Dali Lake Fishing Ground of Inner Mongolia, Chifeng 024000, China)

Abstract: Based on the samples from December 2002 to December 2003 in Dali Lake, *Leucisus waleckii*'s age and growth were studied by observing *Leucisus waleckii*'s scale and measuring their biological characters. The relation between total length and weight, $W = 0.0076\ TL^{3.0593}$ ($r^2 = 0.9667$), was got by regression. The growth equations described by von Bertalanffy equation were $TL_t = 38.77[1 - e^{-0.1437(t+0.5572)}]$. Other parameters of B-H model were got by the following methods: firstly, based on passed data the maximum age (t_λ) of *Leucisus waleckii* was 12a; secondly, based on present data it was got that recruit age (t_r) and first capture (t_c) were both 3.52a; thirdly, by Pauly's experiment equation the nature mortality coefficient (M) was 0.2655; finally, total mortality coefficient $Z = 0.7911$ was got by averaging the result s of two methods, and the fishing mortality coefficient $F = 0.5256$ was got by equation $F = Z - M$. After all the necessary parameters were got, B-H model is adopted to analyze catch weight and numbers per recruit (Y_N/R and Y_W/R), annually average body weight (W_y), total lenght (TL_y) and age (T_y). The result s show that exploitation of the stock was unrational due to catches of large proportions of 3 age and 4 age, althought he stocks could sustain high fishing pressure. It is suggested that, to protect and exploit this resource rationally, if the current fishing intensity is kept, the age at the first capture is increased to 6 age (24 cm in total length, 126 g in weight).

Key words: *Leucisus waleckii*; resources status; rational exploitation; Dali Lake