

中甸叶须鱼种群生存力初步分析

王伟营, 赵婷怡, 蒋万胜, 陈小勇

(中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室, 云南 昆明 650223)

摘要:中甸叶须鱼(*Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis*)是云南碧塔海唯一的土著鱼类,也是当地重点保护鱼类,近年来其种群数量有下降的趋势。2007年7月至2011年6月对碧塔海的水生生物进行了连续监测,在掌握了中甸叶须鱼生态学数据的基础上,利用漩涡模型(Vortex 9.99)分析了其种群生存力,预测了理想状态下未来100年内中甸叶须鱼的种群动态以及由于自然灾害和人为干扰等外界因素的变化导致其种群的变动趋势。结果显示,在一定几率自然灾害发生的前提下,随着人为干扰程度的加深,中甸叶须鱼面临灭绝的风险也将增大。为维持碧塔海的水生生态平衡,保护区应当加强管理,合理开发,尽量减少人为干扰,加强水生生物的监测力度,对叶须鱼的保护应引起足够的重视。

关键词:中甸叶须鱼;种群生存力;漩涡模型

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)05-0047-07

碧塔海位于云南省西北部迪庆藏族自治州香格里拉县东部,距离县城约50 km;湖泊四周原始森林保护良好,湖面海拔3 538 m,面积约1.59 km²,是云南省面积大于1 km²湖泊中海拔最高的湖泊,亦为国际重要湿地、省级自然保护区,建有普达措国家公园。裂腹鱼亚科(Schizothoracinae)是鲤科鱼类中唯一适应于青藏高原环境条件的自然类群,与鳅科的条鳅亚科(主要是高原鳅属*Triplophysa*)一起构成了青藏高原鱼类区系的主体(陈宜瑜, 1998)。按照陈宜瑜(1998)对裂腹鱼亚科的划分方法,叶须鱼属(*Ptychobarbus*)为特化等级裂腹鱼类,是伴随着青藏高原的隆起而逐渐进化而来的;黄顺友和陈宜瑜(1986)认为,叶须鱼属起源于更新世早期,到中更新世其祖先种逐步消亡,只有在中甸盆地,可能由于中更新世以后的各个冰期中,没有大面积的冰盖,受冰川和寒冷气候的影响较少,自然景观应与现在类似而较少变化,使中甸叶须鱼得以保存。根据目前的水系联通情况,将中甸叶须鱼分为4个种群,即那亚河-纳帕海种群、小中甸河-属都湖种群、碧塔海种群和格咱河种群,由于格咱河种群的形态特征与其他种群显著不同,将其定为中甸叶须鱼格咱亚种

(*Ptychobarbus chungtienensis gezaensis*)。中甸叶须鱼指名亚种(*Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis*)主要分布在云南的碧塔海、属都湖、纳帕海、小中甸河、那亚河等(陈宜瑜, 1998; 褚新洛和陈银瑞, 1989)。但根据笔者近几年的调查发现,该物种在其分布区的一部分水域中已经消失,目前仅存在于小中甸河和碧塔海水域,其中分布于碧塔海中的中甸叶须鱼种群是目前保存最完好、数量最多的一个种群。中甸叶须鱼已被列入《中国物种红色名录》,等级为濒危(EN)(汪松和解焱, 2004),为碧塔海保护区的重点保护物种(图1)。



图1 中甸叶须鱼(杨剑拍摄)

Fig. 1 *Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis*
(photographed by Yang Jian)

随着人们对自然环境的过度利用,许多物种面临灭绝的风险,为了更好地保护濒危野生动物,对其进行种群生存力分析是很有必要的。Vortex 软件是目前应用最广泛的种群生存力分析(PVA)软件,是用蒙特卡罗随机取样法,将种群动态模拟为有一定发生概率且相互独立的序列事件,表现野生动物种群在多种确定性和随机性因素相互作用下的综合结果(覃建庸等, 2008)。我国学者已经使用该软件对很多野生濒危动物进行了研究,如大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)(郭建和胡锦矗, 1999)、黑熊(*Ursus*

收稿日期:2012-03-26

基金项目:云南省应用基础研究面上项目(2009CD106);国家科技支撑计划项目(2008BAC39B03);云南省科技厅匹配国家重点项目(2010GA009)。

通讯作者:陈小勇。E-mail:chenxy@mail.kiz.ac.cn

作者简介:王伟营,1983年生,男,博士研究生,主要从事鱼类进化与保护研究。E-mail:dou.auto@163.com

thibetanus) (侯万儒等, 2001)、朱鹮(*Nipponia nippon*) (李欣海和路宝忠, 1996)、江豚(*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) (张先锋和王克雄, 1999)、白鳍豚(*Lipotes vexillifer*) (张先锋等, 1994)、中华鲟(*Acipenser sinensis*) (Gao et al, 2009)等。本文拟利用漩涡模型(Vortex Version 9.99)分析中甸叶须鱼的种群生存力,模拟其种群在未来100年内的发展趋势,预测其在自然灾害和人为影响双重压力下的种群变动趋势,旨在为保护中甸叶须鱼和整个碧塔海水生生态环境提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究对象

2007年7月至2011年6月,对碧塔海中甸叶须鱼进行了9次调查和采集,使用了网捕、电捕、鱼探仪、标志回捕等方法,获得标本394尾;解剖标本121尾并记录相关测量数据,解剖过的标本用8%~10%的福尔马林溶液固定,保存于中国科学院昆明动物研究所鱼类标本库。

1.2 软件参数设置

使用漩涡模型软件需要的参数估计方法及数值见表1。

表1 VORTEX 9.99 中主要参数的设置
Tab.1 Main parameters used in Vortex 9.99

参 数	数值
模拟次数/次	1 000
模拟时间/年	100
灭绝定义	单性
模拟的种群数/个	1
是否近交衰退	否
灾害种类数/种	2
雌性成熟年龄/龄	4
雄性成熟年龄/龄	4
最大繁殖年龄/龄	11
出生时性比/%	70
每胎最多产仔数/尾	2 000
是否繁殖密度制约	是
密度决定因素 $P(0)/\%$	39.7
密度决定因素 $P(K)/\%$	1.76
密度决定因素 A	0.5
密度决定因素 B	1.0
灾害及影响	见表2
各年龄组死亡率	见表3
成熟雄性参加繁殖比例/%	51.9
模拟是否开始于稳定的年龄分布阶段	否
环境容纳量 K 值	50 000
开始模拟时的种群大小	7 308
是否影响 K	否
是否捕获	否
是否补充	否

1.2.1 年龄 年龄鉴定依据高礼存等(1990)对碧塔海中甸叶须鱼的鳞片和胸鳍棘观察后得出的体长年年龄估算表推算。根据解剖数据,最小具有V期性腺雌雄个体的年龄大约为4龄。根据在溪流中电捕的最大个体年龄,估计其最大繁殖年龄为11龄。

1.2.2 性比 捕获的394尾中甸叶须鱼,解剖122尾,荧光标记后放回272尾。根据解剖数据及外部形态观察,可以辨认出雌雄的有273尾;其中,成年(4龄及以上)雌性71尾,成年(4龄及以上)雄性128尾,未成年(2~3龄)雌性27尾,未成年(2~3龄)雄性47尾。据此可以计算出该种群总的雌雄比为1:1.79,成年个体的雌雄比为1:1.8,未成年个体的雌雄比为1:1.74。由于1龄个体的捕获几率很小,因此本文根据死亡率由2龄个体推算1龄个体(表4),得出目前的1龄个体为2 001尾,由此计算出该种群的成幼比为1:1.49。

1.2.3 近交衰退 Lacy等(2009)指出,当种群中的个体数量能明显保持较大数值时(>500),个体之间近交的可能性十分小;本研究对象数量较大,因此不考虑近交衰退。

1.2.4 个体最大繁殖量 解剖最大的成熟雌性个体(11龄),获卵约5 000粒。根据2008年进行的人工繁殖初步试验,受精率约为80%,出膜率约为50%,由此可推算出1尾雌亲鱼最多繁殖出2 000尾0龄个体,因此设定每个雌性平均成功产后代数为2 000尾, SD 假设为10%,即200;另外,软件还设定了10%的繁殖失败率,即进入溪流的雌性可能由于没有找到适合的环境,或者没有足够的雄性交配而繁殖失败,只有90%的能够繁殖成功。

1.2.5 繁殖密度制约 繁殖密度制约适用于繁殖率随着种群密度变化而变化的群体,参加繁殖的雌体数占总成年个体数的比例 $P(N)$ 随种群大小 N 的变化而变化。因为中甸叶须鱼的繁殖行为只发生在入湖溪流中,而入湖溪流的容纳量是有限的,随着种群数量的增加,参加繁殖的个体数量并没有随之增加,因此本研究设定其受到繁殖密度制约。

密度决定因素 $P(0)$ 为种群数量接近于零时参与繁殖的雌性占雌性总数的比例。由于种群数量极小时,所有的成年雌性理论上都会参与繁殖,因此近似等于该种群正常情况下成年雌性占雌性总数的比例,通过调查计算其比例为39.7%,因此该参数的取值设定为39.7%。

密度决定因素 $P(K)$ 为种群达到环境容纳量时,参与繁殖的雌性占雌性个体总数的比例。由于

其繁殖场在入湖溪流中,容纳量有限,因此 $P(K)$ 的取值应该为每年在溪流中产卵雌性的最大数量除以到达环境容纳量时雌性的总数。根据解剖数据,中甸叶须鱼的繁殖期主要为7-9月,大约90 d,中甸叶须鱼为多次产卵鱼类,假设每条鱼在溪流里滞留2 d才能完成产卵全过程。根据实际调查,溪流中一晚最多捕获101尾,其中成熟雌性只有7尾。由此计算出整个繁殖季节能够参与繁殖的雌性仅为 $7 \times 90 / 2 = 315$ 尾,远低于目前湖中成熟雌性的总数。因此,本研究认为315尾为入湖溪流的最大容纳量,即每年最多有315尾成年雌性成功繁殖后代。以碧塔海的环境容纳量为50 000,总体雌雄比为1: 1.79计算,雌性个体的总数为17 921尾,因此 $P(K)$ 为1.76%。

Density dependence term A为阿利效应的强度,主要反映种群较小时,繁殖雌性所占比例的下降程度,本研究设定为 $A = 0.5$ 。Density dependence term B主要反映出雌性所占比例跟种群大小的关系,当繁殖个体达到饱和后,随着种群数量的增加,雌性所占的繁殖比例呈下降趋势,取值为 $B = 1$,繁殖密度制约关系见图2。

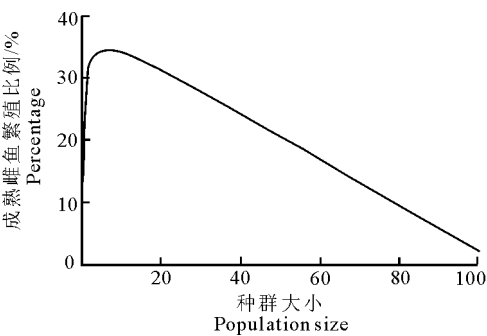


图2 繁殖密度制约

Fig. 2 Density-dependent reproduction

1.2.6 环境容纳量 环境容纳量的准确计算比较困难,本研究根据一些限制条件进行估算。首先根据调查,碧塔海最大水深在8 m左右,而中甸叶须鱼的主要活动区域水深低于3 m,这也是水草丰富的区域,该区域主要为三大草甸的附近,所占面积不足湖泊总面积的1/3,大约在0.5 km²;其次,碧塔海的海拔较高,水体的流动性较弱,溶氧较低,根据实地调查期间简单测试,估计1 m³可以供养1尾中甸叶须鱼。根据上述条件推算出碧塔海的环境容纳量为50 000尾,SD为总数的10%,即5 000尾;另外,碧塔海基本上属于封闭型湖泊,水源主要为入湖溪流和鱼洞泉水,水位变化较小,周边环境相对稳定,因此认为环境容纳量不会变动。

1.2.7 灾难 灾难的界定被认为是最不容易设定的参数之一(李义明, 2003)。本研究设定了三类灾难:第一类为自然灾害,包括干旱、高温、水量和溶氧减少等不利的自然因素。根据历史记录,1988年和1999年5-6月,碧塔海的中甸叶须鱼大规模死亡,由于碧塔海地区出现高温、干旱天气,降水稀少,入湖溪流几乎断流,水位降低,溶氧过低,这些因素可能导致一部分衰老和病弱个体的死亡,而鱼尸在水中腐烂,则会进一步导致溶氧降低和水质变坏,从而造成中甸叶须鱼大量死亡的恶性循环(陈自明和陈银瑞, 2002)。因此本研究将自然灾害的发生频率定为10%,根据前2次大范围死亡时的目击者描述,死亡率在80%左右(表2)。第二类为疾病,通过近几年的调查,碧塔海的中甸叶须鱼有一定发病率,主要为肤霉病、鳃霉病、烂鳃病、蛭寄生病等。中甸叶须鱼的疾病有交替发生的现象,每年都有主导疾病,如2007年为蛭寄生病,2008年为水霉病,2009年为烂鳃病;可见该种群的发病率相对较高,但是由疾病造成的死亡数相对较少,因此设定疾病会降低种群10%的繁殖率和生存率。第三类灾难为人为干扰,如机动游船扰动、排污、放牧、偷猎、外来种入侵、游客等。由于数据较难估计,本研究设定了不同的影响系数,具体设置见表2。

表2 灾害发生率及影响

Tab. 2 Frequencies of catastrophes and influence rates

灾害类型	自然灾害	疾病	人为影响
发生概率/%	10	90	90
灾害后种群繁殖率/%	20	90	60/65/70/80
灾害后种群生存率/%	20	90	60/65/70/80

1.2.8 参加繁殖的雄性 根据在入湖溪流中电捕到的繁殖个体数量和解剖数据,设定有51.9%的雄性参加繁殖。

1.2.9 出生时性比(雄性所占比例) 由于1龄个体无法辨认雌雄,且捕到的数量较少,本研究以电捕2龄个体的性比作为出生时性比,雄性占70%。

1.2.10 捕获与补充 碧塔海自然保护区于1984年经云南省人民政府批准成立(Zhou & Chen, 2006),由于周围居民多为藏族,受其民族文化传统的影响,很少捕获湖中鱼类,本研究设定为未来10年内每年捕获50尾作为科学研究,雌雄各25尾。碧塔海基本为封闭型湖泊,因此也不存在补充现象。

1.2.11 各年龄阶段死亡率 根据已经捕获个体各年龄段的分布情况,设定了各年龄段的死亡率,其中0~1龄的死亡率是根据人工繁殖试验结果估算得出的,详见表3。

1.2.12 初始数量及年龄分布 初始数量以调查期间鱼探仪的样线调查数据,标志回捕的计算结果作为依据,设定初始数量为7 308尾。年龄分布使用自定义模式,根据已经捕到的394尾个体的年龄分布来计算整个现存种群的年龄分布(表4)。

表3 各年龄阶段死亡率

Tab.3 Mortality rates at each age level

年龄范围	雌鱼死亡率/%	雄鱼死亡率/%
0~1	80	80
1~2	30	30
2~3	30	30
3~4	30	30
>4	5	5

表4 中甸叶须鱼年龄分布

Tab.4 Specified age distribution of
P. chungtienensis chungtienensis

年龄	雌鱼/尾	雄鱼/尾
1	730	1271
2	511	890
3	354	616
4	241	433
5	236	424
6	144	260
7	115	208
8	164	294
9	82	147
10	43	78
11	24	43

表5 3种灾难的数值设定及软件运行结果

Tab.5 Output results of the software under different sets of the three catastrophes

自然灾难	疾病	人为影响	内禀增长率	瞬时增长率	标准差	灭绝概率/%	现存数量 ±标准差	种群大小 ±标准差	灭绝时间/年	平均灭绝时间/年
0.2	0.9	0.6	-0.028	-0.094	1.024	77.1	5586.68 ± 8437.56	1279.36 ± 4665.21	55	43.8
0.2	0.9	0.65	0.054	-0.034	0.943	41.3	12241.60 ± 12325.08	7185.84 ± 11201.47	0	46.3
0.2	0.9	0.7	0.130	-0.003	0.903	17.4	19949.80 ± 14740.50	16478.54 ± 15384.92	0	41.0
0.2	0.9	0.8	0.269	0.017	0.861	3.8	30929.78 ± 14385.69	2974.45 ± 15299.76	0	23.7

3 讨论

3.1 中甸叶须鱼面临的威胁

根据近几年的实地调查,中甸叶须鱼的种群数量有下降趋势,而威胁其生存的因素主要有自然灾害、疾病和人为影响。碧塔海水体容量较小,相对封闭,在出现高温、干旱等天气情况时,极易造成水中溶氧过低,导致一部分衰老和病弱个体的死亡,而鱼尸在水中腐烂,则会进一步导致溶氧降低和水质变坏,从而造成中甸叶须鱼大量死亡的恶性循环。疾病也是影响种群数量的重要因素,历次调查都会发现带病个体,特别是在鱼洞(泉眼)附近,大量的中甸叶须鱼患病个体集结在此。除了自然灾害和疾病,近年来快速发展的旅游业对鱼类的影响正在逐渐加大,主要体现在以下几个方面。

2 结果

本研究使用 Vortex 软件对碧塔海中甸叶须鱼进行种群生存力分析,参数较多,大部分为近几年实地调查结果,而影响中甸叶须鱼生存的主要因素则是软件中设定的灾难(Catastrophes),即表2中所列出的灾难及其影响程度;其中,自然灾害和疾病发生概率及对鱼类的危害程度是相对固定的,也是自然状态下的必然影响,而人为影响的变化则比较大,且随着当地旅游业的发展,该影响也逐渐增加,因此本研究针对不同的人为影响程度进行了多次模拟,主要结果见表5。

软件中设置了3种灾难,其中自然灾害和疾病的参数是不变的,只有人为影响对中甸叶须鱼的繁殖率和生存率的影响分为4个不同的等级(0.6、0.65、0.7和0.8)。由表5可以看出,当人为影响设置为0.6时(繁殖率和存活率下降40%),种群在100年内的灭绝概率为77.1%,灭绝的可能性已经超过存活的可能性;当人为影响设置为0.65时(繁殖率和存活率下降35%),种群在100年内的灭绝概率为41.3%,种群在100年内存活下去的可能性超过50%;当人为影响设置为0.7时(繁殖率和存活率下降30%),种群在100年内的灭绝概率为17.4%,该种群在100年内存活下去的可能性则非常大。

中甸叶须鱼患病个体集结在此。除了自然灾害和疾病,近年来快速发展的旅游业对鱼类的影响正在逐渐加大,主要体现在以下几个方面。

3.1.1 基础设施修建的影响 首先是公路和栈道的修建会造成对环境的破坏和水土流失。公路修建过程中砍伐了大量的原始树木,植被被破坏,生境破碎化;沿湖栈道的修建也对湖边的原始湿地环境造成影响,湖边湿地往往是鱼类最适宜的栖息地,但栈道建设后,由于人类的走动,鱼类就会远离,这就无形中减少了鱼类的栖息地。碧塔海有3个较大的草甸湿地(错姑草甸、五花草甸和海尾草甸),其中最大的2个(错姑草甸和五花草甸)都修建了栈道,在

用鱼探仪进行探测时,可以看出栈道附近水草区的鱼类明显少于没有栈道的浅水区。

3.1.2 旅游开发的影响 包括大型游船的运行、游客丢弃垃圾、工作人员的生活垃圾等等。目前在碧塔海有3艘机动船运营,每天运行时间近9 h。根据实地观察,机动旅游船行使时引起的波浪可以波及到整个湖面的3/4,还会扰动水草,特别是对浅水区的影响较大,而中甸叶须鱼平时多在水草丰富的浅水区活动,因此游船的运行无疑会打乱鱼类正常的生活及摄食习惯,迫使其进入深水区或其它没有干扰的区域;另外,机动旅游船行使时引起的噪音污染也可能影响了中甸叶须鱼的觅食和繁殖行为。特别是在7~9月,既是旅游旺季,也是中甸叶须鱼的繁殖期,碧塔海接待的游客数量逐年增多,工作人员也相应增加,大量人员的涌入无疑给当地的环境造成了一定程度的影响(王金亮等,2004)。

3.1.3 外来物种的影响 周边藏族居民有放生的宗教传统,根据保护区工作人员介绍,湖中曾发现过藏民放生的鲫和泥鳅,但经过近几年的调查发现,鲫并不能很好地适应高原湖泊的生存环境,逐渐消失。泥鳅有较强的适应能力,目前已经有一定数量的种群,可能会对中甸叶须鱼的生存造成严重威胁。

3.2 中甸叶须鱼的种群生存力分析

3.2.1 灾难因素 本文将碧塔海中甸叶须鱼所面临的主要影响进行分类评估量化,利用Vortex软件进行种群生存力的模拟分析,其中对生存力影响最大也是最难定义的一个参数是灾难(Catastrophes)。影响中甸叶须鱼种群生存力的灾难主要有两种:自然灾难和人为影响。本文根据历史记载设定了一定频率和强度的自然灾害,由于自然灾害不受人为控制,在软件设置中参数保持不变。在普达措国家公园未对外开放旅游之前,碧塔海的中甸叶须鱼所面临的主要影响基本上只有自然灾难,经过了上百万年的繁衍之后形成了其特有的地理种群,可见在自然情况下,该种群是可以长期生存的。

3.2.2 人为因素 普达措国家公园成立以后,在景区内修建了公路,湖边修建了栈道,开始对外接待游客,人类活动对该区域的影响逐渐加深,而环境的改变对中甸叶须鱼的生存也造成了一定的威胁。本研究将人为影响分了4个等级进行模拟,结果显示,当人类影响对中甸叶须鱼的不利影响达到35%以上时,碧塔海种群很有可能在未来100年内灭绝。根据前文分析,人类对中甸叶须鱼最直接、最严重的威胁可能是游船的运行和外来种的入侵。每年的旅游

旺季,也是中甸叶须鱼的繁殖旺季,游船运行对湖水的扰动可能会影响鱼类的繁殖行为,降低其繁殖率,幼鱼的成活率也可能会大幅下降。初步估计该影响会降低中甸叶须鱼10%的生存率和繁殖率。

3.2.3 外来物种因素 外来种入侵造成的影响是巨大的,例如纳帕海和属都湖,曾经都生活有中甸叶须鱼,但引入外来种以后,中甸叶须鱼数量急剧减少,近几年对上述2个湖泊的调查均没有发现中甸叶须鱼的踪迹。作者2009年在碧塔海海尾草甸发现第一尾泥鳅,之后数量急剧增加,目前使用地笼网一晚上可以捕捞5 kg左右的泥鳅;泥鳅在湖中没有天敌,且食物丰富,如果其能够在湖中自然繁殖,必然导致数量激增,挤占中甸叶须鱼的生态位。面对适应能力极强的泥鳅,中甸叶须鱼在竞争中处于劣势,目前泥鳅是否会对中甸叶须鱼的卵和幼鱼产生威胁还在研究之中,但就数量而言,初步估计目前会降低中甸叶须鱼10%的生存率和繁殖率,在不采取有效抑制措施的前提下,泥鳅造成的危害将急剧增加,未来10年可能达到20%以上。

3.2.4 综合因素 由于人为影响因素较多,每一种因素的影响程度也很难确定,因此所有的人为影响归结为一种灾难,通过设定不同的数值来探讨种群能够持续生存的极限。本研究进行软件模拟时,自然灾害和疾病相关参数不变,只有人类影响这一种灾难发生变化,该参数代表了旅游资源的开发、外来物种入侵以及其他一切由于人类活动带来的不利影响。根据上述分析可以看出,人类活动对中甸叶须鱼的影响持续时间长,程度大,是威胁鱼类生存的最主要的因素。软件分析结果显示人类影响参数设置为0.65(降低35%的生存率和繁殖率)时,进行1000次模拟,其中413次会在100年内灭绝,平均灭绝时间为46.34年;人类影响参数设置为0.6(降低40%的生存率和繁殖率)时,771次会在100年内灭绝,平均灭绝时间为43.8年;由此可见,当人类活动造成的不利影响大于35%时,碧塔海中甸叶须鱼种群将很可能在50年内灭绝。而根据前面的分析,游船在繁殖期的运行可能造成10%的不利影响;目前泥鳅的入侵也可能造成10%的不利影响,在未来几年可能达到20%;另外还有栈道的修建,游客的增多带来的垃圾、污水等都会对湖中鱼类产生一定的不利影响,上述所有的人类活动造成的不利因素进行累积,目前可能在20%以上,如果不采取相应的保护措施,这种不利影响将会逐渐加强,一旦超过35%,中甸叶须鱼将会面临灭绝的危险。

3.3 中甸叶须鱼的保护措施

为了维持碧塔海的水生生态环境稳定,保证中甸叶须鱼的长久生存,特提出以下几点保护措施:

(1)每年的7-9月为中甸叶须鱼的繁殖期,这段时间应该适当减少游船的运营,以免影响其繁殖行为。由于繁殖行为一般发生在入湖溪流中,所以繁殖期间应及时清理溪流中垃圾,保持流水通畅。

(2)加强公众教育,禁止放生外来种,限制放牧;采取有效措施,捕捞湖中泥鳅,清除外来种,维持湖泊原有的水生生态系统。

(3)定时清理草甸和湖中垃圾、粪便等,保持湖水的清洁。

(4)加强监测,制定特殊情况应急预案,特别要针对每年4-7月湖水减少、气温较高时,如果有死鱼漂浮水面,应该及时打捞,密切监视,以防大量死亡事件再次发生。

(5)尽快实现规模化的人工繁殖。作为当地的重要旅游资源,中甸叶须鱼的人工繁殖一方面能够产生一定的经济利益,一方面也能保持濒危物种的延续,也为当地藏民的放生提供了选择余地,从而有效防止外来种入侵的问题。

志谢:感谢杨剑、舒树森、潘晓赋、刘淑伟、李原、余国华、杜丽娜、王晓爱、赵亚鹏等参与野外监测与调查。感谢香格里拉县林业局赵建林、普达措国家公园/碧塔海自然保护区管理所松卫红、丁文东、毛振顺、唐寿兰等对本工作的支持。

参考文献

- 陈宜瑜. 1998. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M]. 北京:科学出版社.
- 陈自明, 陈银瑞. 2002. 一池杜鹃伴“醉鱼”[J]. 人与生物圈, (5): 60-66.
- 褚新洛, 陈银瑞. 1989. 云南鱼类志(上册)[M]. 北京:科学出版社.

- 高礼存, 庄大栋, 郭起治, 等. 1990. 云南湖泊鱼类资源[M]. 南京:江苏科学技术出版社.
- 郭建, 胡锦矗. 1999. 冶勒地区大熊猫种群生存力分析[J]. 南京林业大学学报, 23(5): 27-30.
- 侯万儒, 张泽钧, 胡锦矗. 2001. 卧龙自然保护区黑熊种群生存力初步分析[J]. 动物学研究, 22(5): 361-366.
- 黄顺友, 陈宜瑜. 1986. 中甸重唇鱼和裸腹重唇鱼的系统发育关系及其动物地理学分析[J]. 动物分类学报, 11(1): 100-107.
- 李欣海, 路宝忠. 1996. 朱鹮(*Nipponia nippon*)种群生存力分析[J]. 生物多样性, 4(2): 69-77.
- 李义明. 2003. 种群生存力分析: 准确性和保护应用[J]. 生物多样性, 11(4): 340-350.
- 覃建庸, 陈名红, 向左甫. 2008. VORTEX模型及其在小种群保护中的作用[J]. 安徽农业科学, 36(20): 8783-8785, 8787.
- 汪松, 解焱. 2004. 中国物种红色名录[M]. 北京:高等教育出版社.
- 王金亮, 王平, 鲁芬, 等. 2004. 碧塔海景区旅游活动对湿地生态环境影响研究[J]. 地理科学进展, 23(5): 101-108.
- 张先锋, 王丁, 王克雄. 1994. 漩涡模型及其在白鳍豚种群管理中的应用[J]. 生物多样性, 2(3): 133-139.
- 张先锋, 王克雄. 1999. 长江江豚种群生存力分析[J]. 生态学报, 19(4): 529-533.
- Gao X, Brosse S, Chen Y, et al. 2009. Effects of damming on population sustainability of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: evaluation of optimal conservation measures[J]. Environmental Biology of Fishes, 86: 325-336.
- Lacy R C, Borbat M, Pollak J P. 2009. Vortex: A stochastic simulation of the extinction process. Version 9.95. Chicago Zoological Society. Brookfield, Illinois.
- Zhou W, Chen B. 2006. Biodiversity of Bitahai Nature Reserve in Yunnan Province, China[J]. Biodiversity and Conservation, 15: 839-853.

(责任编辑 万月华)

A Preliminary Analysis on Population Viability for
Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis

WANG Wei-ying, ZHAO Ting-yi, JIANG Wan-sheng, CHEN Xiao-yong

(State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology,
Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, P. R. China)

Abstract: *Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis* is the only endemic fish species of Bitahai Lake, Yunnan, China. It is also a kind of endangered species and there is a down trend in its population size in recent years. From July 2007 to June 2011, a continuous monitor of the aquatic life in Bitahai Lake was conducted. With the first hand ecological data, we did the population viability analyses using Vortex 9.99, and the population dynamics of *P. chungtienensis chungtienensis* under ideal conditions or two kinds of catastrophes (i. e. natural disasters and human interference) were predicted in the following 100 years. Results of the simulation suggested that, under the premise of a certain probability of natural disasters, the deeper the degree of human interference was, the higher the probability that *P. chungtienensis chungtienensis* went extinct. To keep the ecological balance of the Bitahai Lake, the protected areas should reinforce the management, do rational development, minimize human interference, strengthen the monitoring of the aquatic organisms, and bring the protection of *P. chungtienensis chungtienensis* to the forefront.

Key words: *Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis*; population viability; vortex model