

5-29-533

第19卷第4期
1999年7月生态学 报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 4
July, 1999

长江江豚种群生存力分析

1999.8.4.8

张先锋, 王克雄

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要:长江江豚是一个独立的种群, 由于人类活动的影响, 其数量呈下降的趋势, 运用漩涡模型(VORTEX 7.3)分析了长江江豚的种群生存力, 预测了未来100a长江江豚的种群动态, 比较了在假设环境条件下以及采取和不采取保护措施长江江豚种群的濒危程度, 并模拟了江豚饲养群体的动态, 主要结果显示, 长江江豚在未来100a内灭绝的概率为0.01, 平均灭绝时间为100a。如长江环境状况进一步恶化, 长江江豚的灭绝概率将大幅度提高, 灭绝时间也将随之提前至24~94a。如采取建立饲养群体并结合饲养群体对自然种群的逐步补充等保护措施, 长江江豚有望存活100a以上。长江江豚种群对各种原因引起的幼龄死亡率增加、自然灾害的强度增加较为敏感, 在假定的保护区理想条件下, 饲养群体的MVP至少应为20头, 建议保护长江江豚应引起足够的重视, 其保护的优先项目为建立饲养群体和改善长江江豚生活环境。

关键词:保护生物学; 种群生存力分析; 漩涡模型; 江豚

Population viability analysis for the Yangtze finless porpoise

ZHANG Xian-Feng, WANG Ke-Xiong (Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072, China)

Abstract: The Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaorientalis*) has a relatively isolated population and is a subspecies. Its population size is going down because of human impacts. Its population viability is analyzed by a simulation model-VORTEX 7.3 on the basis of author's past field researches and data from other researchers. The population dynamics of next 100 years is simulated. The population extinction probabilities are compared in assumed different conditions, such as environmental variation, adoption or un-adoption of protecting measurements. The population dynamics of a proposed captive group in a semi-natural reserve is also simulated. Main results indicate that the probability of extinction would be 0.01 in the next 100 years. Mean extinction time would be 100 years. The probability of extinction would be much higher and the time to extinct would be much earlier at 24~94 years in some cases like environment variation. Otherwise, the Yangtze population may live for more than 100 years if the population gets supplements from the proposed captive groups. The population is sensitive to increasing mortalities of immature ages and severity of catastrophes. MVP of the proposed captive group would theoretically be 20 at least. Consequently, it should be paid enough attention for the conservation of the Yangtze finless porpoise. The priorities of conservation strategies would be to set up the proposed captive groups as early as possible and to improve the habitat.

Key words: conservation biology; population viability analysis; VORTEX model; finless porpoise

文章编号: 1000-0933(1999)04-0529-05 中图分类号: Q145.1 文献标识码: A

越来越多的研究表明, 分布于长江中下游的江豚, 即长江江豚(Yangtze finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides asiaorientalis* Pilleri and Gühr, 以下简称江豚)是一个相对独立的亚种^[1-5]。江豚主要分布在长江中下游干流、洞庭湖和鄱阳湖及其主要支流。1991年, 江豚的种群数量约为2700头^[6]。江豚与白暨豚

IUCN/SSC, Conservation Breeding Specialist Group 提供 VORTEX 7.3 软件及用户手册, 在此致谢。

收稿日期: 1997-07-02; 修订日期: 1998-05-21

(*Lipotes vexillifer* Miler)生活于同一个环境,面临着白暨豚所面临的全部威胁,其种群数量也呈下降的趋势。江豚为国家二级保护动物,已建议将江豚的保护级别升为一级,其保护措施正在实施或酝酿之中^[7]。

自1993年以来,我国陆续开展了濒危物种种群生存力分析(population viability analysis, PVA)的研究,采用的多为漩涡模型(VORTEX)^[8,9]。漩涡模型是保护繁殖专家组(IUCN/SSC/CBSG, Conservation Breeding Specialist Group)开发和推荐的一个较为实用的分析模型^[1]。本研究采用 VORTEX 7.3 模拟江豚种群在各种因素影响下的命运,预测江豚种群的灭绝概率,寻找影响江豚种群的关键因子,从而提出保护江豚的优先对策。

1 江豚种群参数的确定

根据 VORTEX 7.3 要求的数据输入格式、顺序,作者利用过去多年研究的资料^[3,10];参考他人的工作^[11~13];依据相似物种的资料做出尽可能合理的估计或推测,最终确定了表3的数据。

1.1 根据江豚的分布和长江中下游的环境特征,认为长江中下游干流、洞庭湖和鄱阳湖的江豚为一个种群。假定长江口和东海之间的个体迁移率很低而忽略不计。

1.2 与白暨豚种群一样^[8],假定影响江豚种群的自然灾害有两种,即长江航道爆破作业和长江运输农药船只翻沉事故,每10a各发生1次,表1取值为10%。根据野外观察推测,灾害后,江豚种群的生殖率和生存率下降至原来水平的95%(表1)。

1.3 交配方式为“一夫多妻”(polygynous),雌性成熟年龄为4龄,雄性成熟年龄为5龄^[10,11]。推测最大繁殖年龄为15龄,每胎1仔,出生时性比为1:1。

1.4 推测成熟雌性江豚为繁殖密度制约(density dependent breeding),即参加繁殖的雌体数占总成年雌体数的比例 $P(N)$ 随种群大小 N 的变化而变化。描述此种变化强度的参数 B 取值为2,推测在种群数量极低时,江豚由于分布较广、受多种因素的干扰,难于寻求配偶,从而造成交配率降低的参数 A 也取值为2。推测种群大小 N 达到环境容纳 K 时, $P(K) = 25\%$, N 接近0时, $P(0) = 70\%$ 。

1.5 根据杨光等编制的长江江豚静态生命表^[12],假定雌雄江豚死亡率无显著差异,江豚不同年龄组的死亡率确定如下(表2)。

1.6 根据收到的90余号江豚标本解剖发现,约70%的成熟雄性江豚参加繁殖。

1.7 张先锋等根据1984~1991年的考察资料,估计江豚的种群数量约为2700头,其中,江阴至武汉段的江豚种群数量1652头^[6]。另

外,江豚的年生殖率为20%^[13]。周开亚等根据1989~1992年在南京至湖口段4次考察的结果推算,长江江阴至武汉段的江豚种群数量为1481头^[14],较张先锋等的估计减少10.35%。这里,按年递减率8%~10%测算,目前江豚的种群数量约为2000头。估计长江中下游的环境容纳量(K)为5000头。考虑到长江环境目前难以改善,并且,受人类活动的影响,还将继续恶化。陈佩薰等认为,受三峡工程的影响,白暨豚的分布范围将缩小155km,约占白暨豚目前分布范围的10%^[16]。相应地,笔者推测,江豚的环境容量 K 亦有减少的趋势。假设每5年 K 值将减少10%。

1.8 目前情况下,对江豚种群无人为的捕捞和补充。

表1 灾害发生率及其影响

Table 1 Probability of catastrophes and their effecting

灾害1 Catastrophe 1	
发生概率 ^①	10%
严重性-对繁殖率的影响 ^②	95%
严重性-对生存率的影响 ^③	95%
灾害2 Catastrophe 2	
发生概率	10%
严重性-对繁殖率的影响	95%
严重性-对生存率的影响	95%

① Probability; ② Severity-Reproduction; ③ Severity-Survival

表2 江豚不同年龄的死亡率分布

Table 2 Mortality distribution in different ages of the porpoise

年龄组 Age groups	死亡率(%) Mortality
0~1	20
1~2	20
2~3	15
3~4	15
4~5	15
>5	15%

2 模拟结果

2.1 自然种群模拟结果

根据江豚种群参数用 Vortex 模型,估算出江豚种群在理想状态下(无交配限制、无密度制约、无近亲交配衰退等)的内禀增长率 $r = -0.021$,周限增长率 $\lambda = 0.979$,净生殖率 $R_0 = 0.849$,江豚种群的世代长度为 $T = 7.68 \sim 8.46a$,即平均每8a左右种群基因更替一次。1000次的模拟结果显示,在目前长江的实际环境条件下,不采取任何保护措施,江豚种群达到 K 之前的 $r = -0.0303 (SD = 0.0818)$ 。

图1示江豚种群数量在今后100a内的变化趋势。从图中可以看出,到60a时江豚的数量已不足100头。图1示江豚种群的灭绝概率,随着时间的推移,江豚的灭绝概率逐步增加。江豚种群在未来100a中灭绝的概率为0.01,平均灭绝时间为100a ($SD = 0$)。这意味着长江中的江豚有可能在100a的时间中从长江消失。图2示江豚种群基因多样性降低及近亲繁殖增加的趋势。种群的基因杂合性从初始的1降至100a后的0.9756 ($SD = 0.0226$)。种群的等位基因数在100a中从1327.08 ($SD = 165.82$)降至49.80 ($SD = 27.87$)。江豚的遗传多样性迅速损失,100a后面临严重的近亲繁殖状态。

2.2 灵敏度检验

2.2.1 假定受人类活动的影响,未来的长江环境进一步恶化,威胁江豚生存的因素将进一步发展,从而导致江豚种群幼龄死亡率上升,江豚的灭绝概率将大幅度提高。如幼龄死亡率加倍,江豚种群的灭绝时间将提前42a(图3)。

2.2.2 假定随着长江环境的恶化,有可能产生江豚栖息地进一步缩小,可能使得过去不大可能成为灾害的因素,如流行病暴发,上升为灾害。假定流行病发生的概率为10%,10%的个体因病死亡,10%的个体繁殖受到严重影响,江豚种群灭绝时间将提前94a(图3)。

图3提示,相对于流行病暴发,幼龄死亡率增加对江豚种群的命运影响更大。不幸的是,根据作者过去10多年的野外工作,上述假设条件极有可能出现。

2.3 江豚饲养种群 MVP 估计

已建议在长江天鹅洲国家级白暨豚保护区(以下简称保护区)和安徽铜陵白暨豚养护场(以下简称养护场)各建一个江豚饲养种群^[7]。现以保护区为例,假定在保护区环境下具有如下优势,江豚种群各龄死亡率大幅度降低、只存在1种灾害等(主要模拟参数见表4),对保护区内饲养种群的最小可存活种群(minimum viable population, MVP)进行了模拟(图4)。

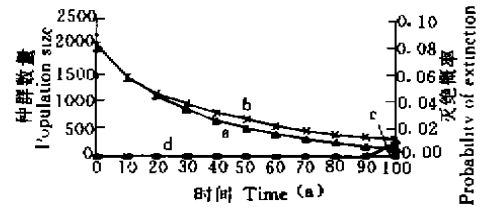


图1 江豚种群100a内数量和灭绝概率变化趋势
a. 自然条件下种群数量;b. 建立饲养群体后回放的种群数量;c. 自然条件下种群灭绝概率;d. 建立饲养群体后回放种群灭绝概率

Fig. 1 Trends of population size and probability of extinction during the next 100 years

a Population size in natural condition; b Population size after supplement from the proposed captive populations; c Probability of extinction in nature condition; d Probability of extinction after supplement from the proposed captive populations

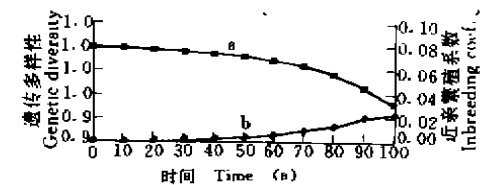


图2 江豚自然种群遗传多样性及近亲繁殖的变化趋势
(a. 遗传多样性;b. 近亲繁殖系数)

Fig. 2 Trends of genetic diversity and inbreeding of the natural population

(a. genetic diversity; b. inbreeding coef.)

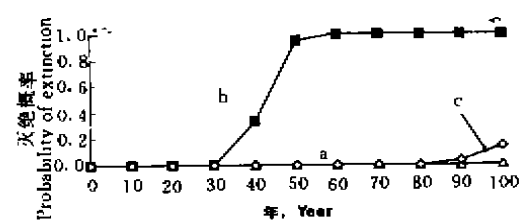


图3 不同条件下江豚种群灭绝的概率

a. 自然;b. 幼龄死亡增加;c. 灾害增加;

Fig. 3 Probabilities of extinction in different conditions
a. Natural population; b. Mortality increasing at immature ages; c. Severity of catastrophe increasing

表3 输入 VORTEX 7.3 的江豚自然种群参数

Table 3 Values of parameters inputted for the natural population

模拟次数 Times simulated	1000次	time
模拟时间 Years simulated	100a	
报告结果间隔 Reporting interval	10a	
模拟的种群数 Populations simulated	1	
是否近交衰退 Inbreeding depression(Y/N)	是	Y
近交衰退类型 Heterosis or Lethals	杂种优势	H.
致死当量 Lethals equivalents	3.14	
繁殖率标准差与存活率标准差是否相关 EV correlation(Y/N)	是	Y
灾害种类数 Types of catastrophes	2	
单配(M)、多配(P)或雌雄同体(H) Monogamous, Polygynous or Hermaphroditic	一夫多妻	P.
雌性成熟年龄 Female breeding age	4龄	a
雄性成熟年龄 Male breeding age	5龄	a
最大繁殖年龄 Maximum breeding age	15龄	a
出生时性比(雄性所占比例) Sex ratio (proportion males) at birth	0.5	
每胎最多产仔数 Maximum litter size	1	
是否繁殖密度制约 Density dependent breeding (Y/N)	是	Y
P(0) Density dependence term P(0)	70%	
P(K) Density dependence term P(K)	25%	
B Density dependence term B	2	
A Density dependence term A	2	
每胎1仔的百分率 Percent litter size 1	100	
各年龄组死亡率 Mortalities in different ages	见表2	see table 2
灾害及影响 Catastrophes and their affecting	见表1	see table 1
是否全部成熟雄性参加繁殖 All males breeders(Y/N)	否	N
成熟雄性参加繁殖比例 Percent males in breeding pool	70%	
模拟是否开始于稳定的年龄分布阶段 Start at stable age distribution(Y/N)	是	Y
是否影响 K Trend in K(Y/N)	是	Y
影响时间 Years of trend	5a	
K 值改变比例 Percent change in K	-10%	
是否捕获 Harvest(Y/N)	否	N
是否补充 Supplement(Y/N)	否	N

结果提示,在满足上述假定的保护区理想环境条件下,保护区内建立江豚饲养群体的最低数量达20头,该种群有可能存活较长时间,但应定期与其他种群交换遗传物质。不然的话,该种群的基因杂合性有可能从最初的1.0降至80a后的0.7559($SD=0.1371$)。

2.4 建立饲养群体后对自然种群的影响检验

假定上述建议的两个江豚饲养群体在4a内建成,考虑到5a内为建立这两个饲养群体需从自然群体捕捉(收获)部分个体。目前,保护区内已有江豚10头,尚需另捕10头;养护场暂无江豚需捕20头。同时假定从第6年开始,这两个饲养种群能够每3a向自然种群各放回(补充)5头,共10头个体,对这种人为的减少和增加进行了模拟,结果见图1。图1曲线b示建立饲养种群并向长江自然种群回放后,自然种群未来100a的数量变化,曲线d示相应的灭绝概率变化。从中可以看出,自然种群可维持100a,其灭绝概率为0。

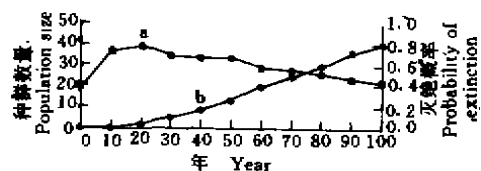


图4 保护区内江豚饲养群体未来100a动态
Fig. 4 Population trends of the proposed captive population in the next 100 years
a. 种群数量 Population size; b. 灭绝概率 Probability of extinction

3 讨论

3.1 比较发现,自然种群模拟所得到的江豚种群内禀增长率 r 低于杨光等^[13]通过编制生命表得到的相应值($r = -0.01658$)。杨光等根据过去10多年从长江、黄海、东海和南海收集的江豚死亡标本,编制了黄海、南海和长江种群静态生命表,并分别推算出3个种群的内禀增长率 r 等参数。杨光的结果显示,长江种群的高于黄海和南海种群。考虑到长江种群面临的环境压力要大于沿海种群,其结果似乎与实际情况有些出入。造成这种现象的原因可能跟采样及静态生命表本身的缺陷有关。因此认为,模拟的结果更可信一些。

3.2 江豚种群生存力分析的结果显示,如不及早采取有效保护措施,明天的江豚有可能陷入象白暨豚一样的濒危局面^[7]。按照目前的长江环境条件和江豚种群参数预测,长江江豚可维持100a左右。如果受到幼龄死亡率增加、灾害种类和强度加大、栖息地破碎加剧等因素的影响,长江江豚灭绝的时间可能提前到24~94a。另外,模拟结果提示,

如果及早采取建立饲养群体的保护措施,江豚种

群的灭绝时间可望大于100a。由此看来,建立2个江豚饲养群体是保护江豚工作的当务之急,应列为优先项目。

此外,在长江合适的江段建立江豚自然保护区,尽可能保护和改善江豚自然生存条件也应为优先项目。

3.3 模拟结果显示,江豚饲养群体的MVP为20,但这是在理想的条件下模拟的结果。需要提醒的是,目前保护区的管理工作尚不能满足上述要求,没有创造出理想的条件,保护区必须加强管理。

参考文献:

- [1] 王丕烈. 中国近海江豚的分布、生态和资源保护. 辽宁动物学会会刊, 1984, 5(11): 105~110.
- [2] 高安利, 周开亚. 关于江豚的古籍记载及现代研究. 兽类学报, 1993, 13(3): 223~234.
- [3] Zhou Kaiya et al. Notes on the biology of the finless porpoise in Chinese waters. *IBI REPORTS* 1993, 4: 69~74.
- [4] 王丕烈. 中国江豚的分类. 水产科学, 1992, 11(6): 10~14.
- [5] 王丕烈. 江豚的形态特征和亚种划分问题. 水产科学, 1993, 11(11): 4~9.
- [6] 张先锋, 等. 长江中下游江豚种群现状评价. 兽类学报, 1993, 13(4): 260~270.
- [7] 刘仁俊, 等. 再论白暨豚和江豚的保护. 长江流域资源与环境, 1996, 5(3): 220~225.
- [8] 张先锋, 等. 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用. 生物多样性, 1994, 2(3): 133~139.
- [9] 李欣海等. 朱鹮(*Nipponia nippon*)种群生存力分析. 生物多样性, 1996, 4(2): 69~77.
- [10] 张先锋. 江豚的年龄鉴定、生长和生殖的研究. 水生生物学报, 1992, 16(4): 289~298.
- [11] Gao Anli and Zhou Kaiya. Growth and reproduction of three populations of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in Chinese waters. *Aquatic Mammals*, 1993, 19(1): 3~12.
- [12] Miki Shirakihara et al. Age, growth, and reproduction of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in the coastal waters of western Kyushu, Japan. *Marine Mammal Science*, 1993, 9(4): 392~406.
- [13] 杨光, 等. 江豚生命表和种群动态的研究. 兽类学报, 1998, 18(1): 1~7.
- [14] Zhou Kaiya et al. The population size and distribution characteristics of Yangtze finless porpoise in Nanjing-Hukou river section in the lower reaches of the Yangtze. Second Meeting of the Asia River Dolphin Committee and the Workshop on the Effects of Water Development on River Dolphins, February Bangladesh, 1997, 22~28.
- [15] 陈佩薰, 等. 白暨豚的现状和三峡工程对白暨豚影响的评价及保护对策. 水生生物学报, 1993, 17(2): 101~111.

表4 保护区内江豚种群主要模拟参数值

Table 4 Key parameter values inputted for the proposed captive population

是否繁殖密度制约 Density dependent breeding (Y/N)	是 Y
P(0)Density dependence term P(0)	100%
P(K)Density dependence term P(K)	50%
BDensity dependence term B	1
ADensity dependence term A	0
灾害 Catastrophe	
发生概率 Probability	5%
严重性-对繁殖率的影响 ^①	90%
严重性-对生存率的影响 ^②	90%
环境容纳量 Carrying capacity (K)	50
死亡率(%)Mortality	
年龄组 Age groups	
0~1	8%
1~2	8%
2~3	4%
3~4	4%
4~5	6%
>5	9%

①Severity-Reproduction; ②Severity-Survival