

安徽省扬子鳄饲养种群繁殖力的参数分析及种群增长预测

吴陆生^{1,2} 吴孝兵¹ 江红星^{3,4} 王朝林⁵

(1. 安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241000; 2. 暨南大学科技处, 广州 510632; 3. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 4. 国家林业局全国野生动植物研究与发展中心, 北京 100091; 5. 安徽省扬子鳄繁殖研究中心, 宣州 242034)

摘要:通过对宣城扬子鳄繁殖研究中心三代繁殖鳄1982—2003年繁殖力有关参数的分析, 结果表明近三年来繁殖研究中心扬子鳄产卵量明显减少; 亲代受精率为 $(83.80 \pm 2.37)\%$ 、孵化率为 $(89.53 \pm 0.86)\%$; 发现F1受精率为 $(79.38 \pm 2.74)\%$ 、孵化率为 $(83.78 \pm 1.95)\%$; F2代个体受精率为 $(68.7 \pm 1.84)\%$ 、孵化率为 $(88.16 \pm 1.68)\%$; 通过单因素方差分析 $F_{(受精率)} = 4.33 (P < 0.05)$ 、 $F_{(孵化率)} = 4.56 (P < 0.05)$ 差异显著。分析影响扬子鳄繁殖的因素发现: 产卵量明显减少可能与亲代鳄逐渐退出繁殖期、F1代鳄整体产卵能力有下降趋势、F2代鳄没有大规模进入繁殖期有关; 分析历史资料发现扬子鳄产卵窝数与4月份的温度相关性高($R = 0.979, P < 0.01$); 作者认为F1、F2代个体与亲代之间的受精率、孵化率有显著差异, 近交衰退、遗传多样性的丧失有密切关系。利用时间序列分析建立理想状态下饲养扬子鳄种群数量估计模型, 预测10年内扬子鳄饲养将可能达到19000尾; 根据该种群增长模式及种群年龄结构特点, 应扩大饲养规模, 特别是育成鳄饲养池及幼鳄饲养池的建设。

关键词: 扬子鳄; 饲养种群; 繁殖; 由线拟合; 时间序列分析

中图分类号: S996.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2006)02-0159-07

安徽省扬子鳄繁殖研究中心是中国规模最大的扬子鳄繁育基地, 在这里饲养着近万条的扬子鳄。但由于人类活动的影响, 野生扬子鳄种群持续减小, 并处于消亡的边缘^[1-3]。因而, 扬子鳄仍在2000年IUCN红色名录中被列为极危级(CR), 2003年CITES附录I物种。由于扬子鳄规模化人工繁殖的成功^[3-4], 使得扬子鳄饲养种群数量迅速增长, 并发展到现在的约10000尾饲养规模。但随着饲养条件下繁殖的子一代鳄加入繁殖群体, 扬子鳄F1代所产卵的受精率、孵化率均有下降, 而幼鳄的畸形率却有上升的趋势^[5]。安徽省扬子鳄繁殖研究中心内扬子鳄饲养池相对较少, 越来越不能满足饲养种群增长的需要; 如果能够预测未来扬子鳄饲养种群的增长及繁殖高峰期, 将对于扬子鳄种群的饲养管理及安徽省扬子鳄繁殖研究中心饲养规模的建设将具有很大的指导意义。然而关于饲养种群的繁殖分析的研究报道很少。为了明晰近年来的扬子鳄产卵量等重要繁殖参数下降的程度及原因、预测扬子鳄饲养种群

的增长趋势及繁殖高峰, 作者对1982—2003年以来安徽省扬子鳄繁殖研究中心的繁殖资料进行了统计分析, 并尝试探讨上述问题。

1 材料与方法

以安徽宣城扬子鳄繁殖研究中心的三代繁殖鳄群及每年半野生状态下, 22年来所收集的鳄卵作为研究对象, 记录每年所有的鳄巢数, 同时记下每窝的鳄卵数(表1)。采用光照法检查鳄的受精情况, 统计受精率; 在相同的温度和湿度条件下, 孵化鳄卵, 统计幼鳄孵化数, 计算每个繁殖鳄群(亲代、F1、F2)的孵化率。数据处理采用SPSS 12.0统计软件对巢数和产卵量的变化先作散点图, 运用SPSS软件提供的11种曲线拟合方式分析繁殖参数的变化, 最终选择了决定系数 R^2 值最大的三次曲线拟合做出各繁殖数据变化的趋势图; 做三代繁殖鳄群受精率、孵化率单因素方差分析, 检验三个繁殖鳄群的受精率、孵化率的差异情况。

收稿日期: 2004-12-20; 修订日期: 2005-12-10

基金资助: 安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室基金; 安徽省优秀青年基金(04043049)资助

作者简介: 吴陆生(1964—), 男, 安徽省人, 主要从事动物生态学研究

通讯作者: 吴孝兵, E-mail: wuxb@mail.ahnu.edu.cn

表1 1982—2003年安徽省扬子鳄饲养种群及野生种群繁殖状况

Tab 1 The reproductive status of captive population and wild population in Anhui between 1982 and 2003

Year	亲本(Parent)					子一代(F1)					子二代(F2)					BCA	TA	BRFA	
	NS	Eggs	MEN	RF	RH	NS	Eggs	MEN	RF	RH	NS	Eggs	MEN	RF	RH				
1982	10	224	22.4	*	65.6												147	359	10
1983	12	264	22	88.9	58.7												138	497	12
1984	20	501	25.1	90.4	83.7												379	894	20
1985	30	809	27	90.5	90.3												661	1555	30
1986	29	801	27.6	90.4	82												593	2418	29
1987	37	1045	28.2	84	92.1												808	2956	37
1988	41	1194	29.1	91.9	95	1	25	25	96	88							1063	4019	42
1989	29	812	28	92.1	94	5	143	28.6	91.2	82							810	4829	34
1990	30	833	27.8	95.4	85.3	4	109	27.3	89.7	76.1							742	5571	34
1991	27	682	25.3	80	90.2	9	219	24.3	82.6	71.4							621	6192	36
1992	32	881	27.5	86.2	91	10	264	26.4	84.9	73.4							856	7048	42
1993	30	853	28.4	85.1	90.5	12	353	29.4	90.4	70.2							881	7929	42
1994	39	950	24.4	86.2	92.3	30	709	23.6	85.1	86							1275	9204	69
1995	23	447	19.4	91.2	91.1	22	540	24.5	86.7	87.2							779	9983	45
1996	23	521	22.7	92.3	85	40	919	23	74.5	81.9							969	10952	63
1997	28	921	32.9	89.9	90.4	62	1610	26	73.4	86.6							1772	12724	90
1998	7	160	22.9	81	93.1	82	1915	23.4	77.3	95.3							1531	14255	89
1999	7	184	26.3	56.5	88.2	50	1304	26.1	53.7	93.2	1	24	24	75	83.3	759	15014	58	
2000	13	382	29.4	75.2	92	73	1892	25.9	72.2	91	2	48	24	70.8	93.2	1539	16553	88	
2001	10	339	33.9	58.1	88.2	62	1974	31.8	73.4	88.9	5	119	23.8	66.4	86.1	1518	18071	77	
2002	1	29	29	86.2	92	49	1425	29.1	72.8	90.1	3	75	25	66.7	90	1003	19074	53	
2003	2	60	30	68.3	90.2	30	960	32	66.1	79.1	5	131	26.2	64.9	88.2	614	19688	37	

注(Annotate): 年(Year)、产卵窝数 NS(Number of stock)、每年总产卵数(Eggs)、平均每窝产卵数 MNE (Mean of eggs per stock)、受精率 RF(Rating of fecundation)、孵化率 RH(Rating of hatch)、每年新增幼鳄数 BCA (Breeding children alligator)、总鳄数 TA(Total alligator)、繁殖雌鳄数 BRFA (Breeding reproductive female alligator)。

时间序列分析(Time Series Analysis)方法是将时间序列分解为确定因素和不确定因素^[6], 即:

$$X_t = \mu_t + e_t$$

μ_t 表示确定因素, 包括长期趋势, 季节变化和其他周期性变化。它常常表现为多项式或一些特定的函数。而 e_t 表示的不确定因素, 由许多偶然因素造成的^[7]。建立模型: (1)采用曲线回归, 使得原始序列的残差变得最小, 此时所得的模型即为 μ_t ; (2)对残差序列 e_t 进行识别并拟合模型。在不考虑死亡率、迁出率的理想状态下, 利用时间序列分析建立饲养扬子鳄数量估计模型。

2 结果

2.1 筑巢、产卵状况

对三代扬子鳄繁殖群年总筑巢数和产卵量做趋势分析如图1、图2。采用三次(Cubic)曲线拟合了三代鳄筑巢总数和产卵量的年变化趋势, R^2 分别为 0.742

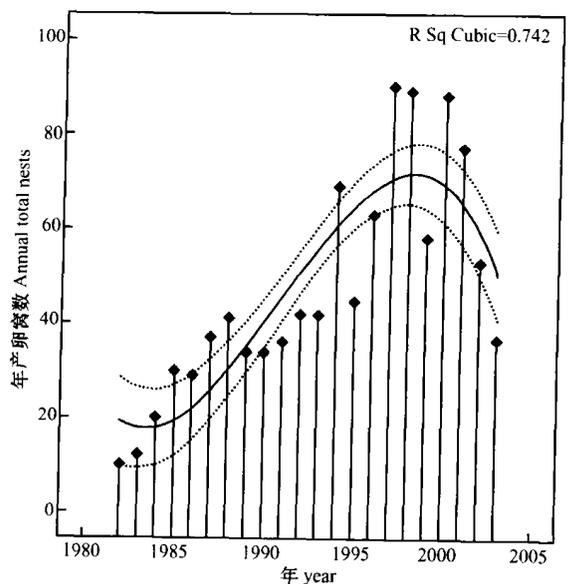


图1 总筑巢数年变化趋势

Fig. 1 The annual variation of total nests

($P < 0.01$)、0.684 ($P < 0.01$), 拟合线能反映扬子鳄筑巢总数和产卵量年变化趋势。趋势曲线上下的虚线是表示该趋势曲线 95% 的置信区间。三次曲线拟合的关系式如下:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3$$

其中 Y 是因变量, X 是自变量, b_0 为常数项, b_1, b_2, b_3 是自变量系数。该关系式表示, 因变量 Y 随着自变量 X 的变化趋势。若 Y 表示总筑巢数, X 表示人工饲养鳄繁殖年限。则关系式表示总筑巢数的年变化趋势。

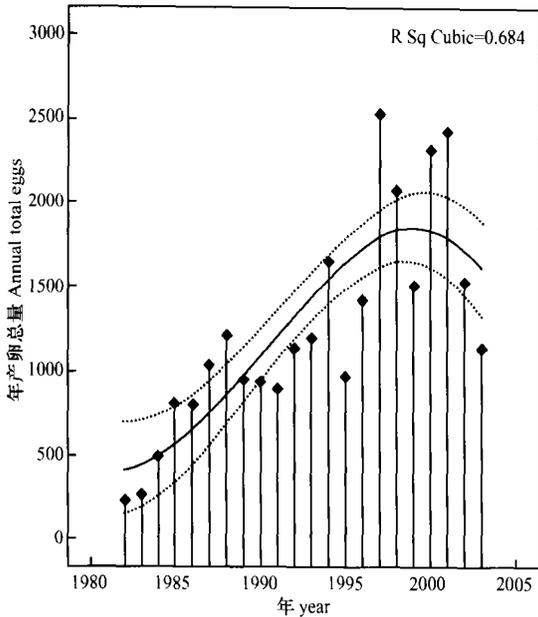


图 2 总产卵年变化趋势

Fig. 2 The annual variation of total eggs

从图 1 可以看出, 筑巢数、产卵量经历了 20 世纪 90 年代中后期的快速增长后, 从 2001 年开始, 筑巢数开始剧减; 2002 年总产卵数剧减。为了进一步明晰原因, 作者做了亲本 (P 代) 产卵量与 F1 代产卵量的趋势图 (图 3), 趋势曲线采用三次曲线拟合, R^2 值分别为 0.75 ($P < 0.01$)、0.9 ($P < 0.01$), 该趋势曲线能很好的反映亲代及子一代产卵量的 22 年变化情况。

从图 3 可以看出, 亲本 P 代的产卵量是先增加, 在 20 世纪 80 年代末达到最高峰; 此后, 亲代鳄产卵开始逐年下降, 直到 2002、2003 年亲代鳄的产卵量已达到其历史的最低水平; 这预示着亲代鳄可能已逐渐要退出繁殖期。子一代鳄从 1988 年开始进入繁殖期, 刚进入繁殖期的扬子鳄由于生理上的某些机能不稳定, 所以 F1 代产卵量有小波动, 由于大批 F1 代鳄进入繁殖期, 产卵量迅速增长; 1998、2001 年, F1 代扬子鳄产卵量达到高峰, 而后随着 F1 代鳄陆续退出

繁殖期, 产卵量也随着锐减。可以推断, 在亲本 P 代基本上丧失繁殖能力和 F1 代子鳄陆续退出繁殖期, 而 F2 代进入繁殖期的个体数量很少是近两年来扬子鳄繁殖研究中心鳄产卵量剧减重要原因之一。

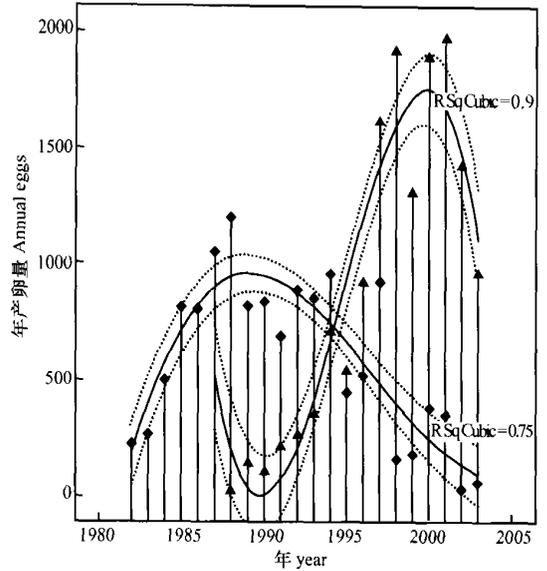


图 3 亲代与子一代产卵年变化趋势

Fig. 3 The annual variation of parent eggs of the parent and F1 alligators

◆亲代 ▲子一代

2.2 受精率、孵化率的年变化分析

陈壁辉和王朝林获得了扬子鳄规模化人工繁殖的成功^[3], 标志着扬子鳄人工孵化技术的成熟。表 1 中显示, 1982 年、1983 年扬子鳄卵的孵化率不高, 分别为 65.6% 和 58.7%。因此, 作者在对三个扬子鳄繁殖群卵的孵化率进行分析时, 排除人为的技术不成熟的影响, 对 1984 年以后的扬子鳄卵的孵化率进行分析比较。从图 4、5 中可以看出, 亲代鳄卵的孵化率比 F1 代鳄卵的孵化率要高, 亲代鳄卵的受精率也比 F1 鳄卵的孵化率要高。通过表 1 中的数据可以计算得出亲代受精率为 $(83.80 \pm 2.37)\%$ 、孵化率为 $(89.53 \pm 0.86)\%$; 发现 F1 受精率为 $(79.38 \pm 2.74)\%$ 、孵化率为 $(83.78 \pm 1.95)\%$; F2 代个体受精率为 $(68.7 \pm 1.84)\%$ 、孵化率为 $(88.16 \pm 1.68)\%$ 。了解一个生物种群的受精率、孵化率变化情况对预测该种群的增长率是必不可少的。作者对扬子鳄繁殖研究中心三代繁殖鳄年的受精率、孵化率的总体情况做了研究 (图 4、5)

图 4 趋势曲线三次拟合 $R^2 = 0.617$ ($P < 0.01$), 说明该趋势曲线能反映扬子鳄繁殖研究中心鳄卵的总体受精率变化, 可以看出扬子鳄繁殖研究中心鳄卵的总体受精率有明显的下降趋势。图 5 三次拟合

决定系数 $R^2=0.238 (P>0.05)$, 不能反映鳄鱼卵的孵化率的变化趋势。单因素方差分析表明三代繁殖群的产卵的受精率和孵化率差异显著 ($P<0.05$)。

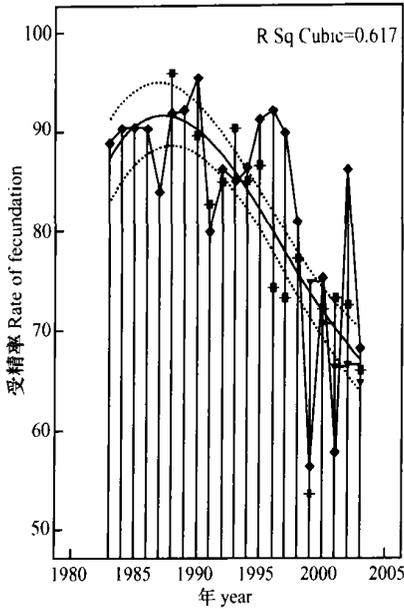


图4 受精率年变化趋势

Fig. 4 Annual variation of fecundation rate

◆ 亲代受精率 ■ F1代受精率 ▼ F2代受精率

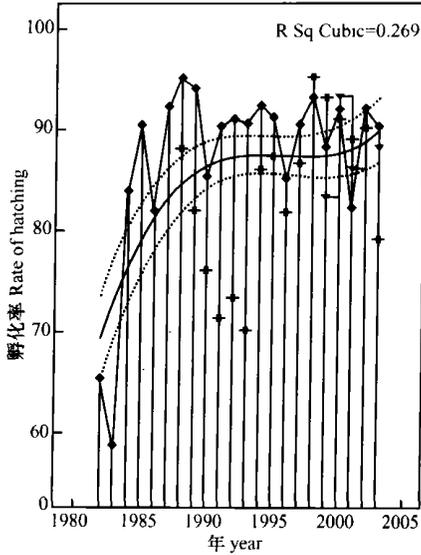


图5 孵卵率年变化趋势

Fig. 5 Annual variation of hatching rate

图例同图4

2.3 扬子鳄数量估计模型及种群增长预测

作者以人工饲养鳄繁殖年限为自变量 t , 以鳄的种群数量 μ_t (总鳄数, TA) 为因变数作曲线拟合。在 SPSS12.0 统计软件提供的 11 种曲线拟合方式中, 选取残差最小的二次曲线拟合模型, 方程如下: $\mu_t =$

$-407.93 + 440.73t + 22.99t^2$ 常数项与自变量系数都有显著意义, 对方程的精度进行检验 $F=4366.56$, 决定系数 $R^2=0.998 (P<0.01)$, 说明模型拟合良好。

对残差序列 e_t 进行识别并拟合模型, 理论上, ARMA(n, m)模型成立的根本条件是 $\{e_t\}$ 为白噪声序列。但在实际运用中常用的准则有: 赤池准则(AIC)和贝叶准则(BIC); 比较模型拟合优劣, AIC 和 BIC 越小, 模型拟合越优。通过多次拟合, 根据赤池准则(AIC)和贝叶准则(BIC)最终选用 ARMA(4, 1), 但对模型系数进行假设检验时发现变量 MA(1)系数及常数项均没有意义, 而 AR(4)模型的 4 个系数均有意义, 剔除 MA(1)变量及常数项。建立模型为: $e_t = 1.27e_{t-1} - 1.11e_{t-2} + 0.78e_{t-3} - 0.60e_{t-4}$

最后得组合模型:

$$X_t = -407.93 + 440.73t + 22.99t^2 + 1.27e_{t-1} - 1.11e_{t-2} + 0.78e_{t-3} - 0.60e_{t-4}$$

通过上述组合模型, 可以预测理想状态下饲养扬子鳄种群来年数量, 从而对宣城扬子鳄繁殖研究中心的发展总体计划提供科学依据。组合模型的预测值与实际值间的拟合图情况如图 6 所示, 可以看到组合模型的预测值与实际值间基本相符。

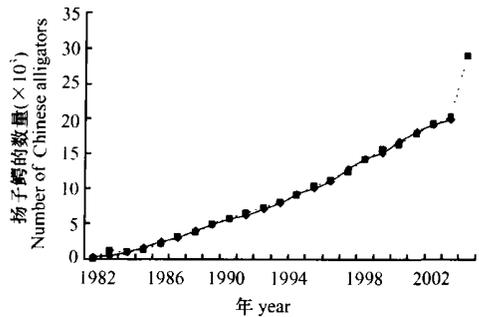


图6 1982—2003年扬子鳄理想状态总数及时序预测值

Fig. 6 The number of total Chinese alligator in ARCCAR from 1982 to 2003 in ideal state and predicted value

—◆— 实际数量 Actual total alligators

—■— 预测数量 Predicted total alligators

3 分析与讨论

通过连续 22 年的繁殖力资料的分析, 安徽省扬子鳄繁殖研究中心近年来产卵量明显减少, 子代鳄受精率、孵化率与亲代鳄受精率、孵化率相比有降低的趋势, 方差检验差异显著。吴孝兵等分析影响繁殖鳄繁殖力的可能因素时指出: 天气条件(光照时间、光照强度、降雨量)、营养状况、孵化温度等外因是影响扬子鳄繁殖的重要因素^[5]; 另外物种内在遗传特性也是影响繁殖率的决定性因素。

3.1 影响扬子鳄繁殖的温度及降雨量的分析

聂继山等^[8]研究了扬子鳄繁殖研究中心第一繁殖区的产卵区产蛋窝数与其在人工饲养下小生境气候之间的关系, 得出产蛋数较高的年份扬子鳄从苏醒出洞到繁殖前这段时间内, 气温较高, 降雨较少的结论。作者对聂继山 1992—1996 年扬子鳄产蛋窝数与气温及降雨量原始数据进行相关分析, 结果如

表 2 1992—1996 年繁殖前温度及降雨量与产卵窝数相关性分析

Tab. 2 The correlation analysis between temperature before reproduction & rainfall and stock of nests from 1992 to 1996

相关因素 Correlation factors		四月 April	五月 May	六月 June	七月 July
温度	Coefficient of	0.979	0.521	-0.236	0.297
Temperature	Pearson Correlation Sig. (P)	0.004	0.368	0.703	0.627
降雨量	Coefficient of	—	-0.768	-0.956	-0.911
Rainfall	Pearson Correlation Sig. (P)	—	0.129	0.011	0.031

注: 1992—1996 年, 聂继山在 ARCCAR 第一繁殖区分别观察了 38、28、37、23、22 窝鳄鱼卵。

扬子鳄系变温动物, 有冬眠的习性, 虽 2、3 月份, 处于扬子鳄入眠后期, 并逐渐苏醒, 但 4 月份才开始出洞活动^[4]。卵的发育成熟过程是极其复杂的生理过程, 需要一定的代谢水平保证其完成这一复杂的过程^[8]。4 月份气温高, 一方面有利于卵的发育成熟, 另一方面有利于有更多的个体活动摄食, 为繁殖期积累充足的能量。降雨量小的年份, 光照时间多, 代谢加快, 营养吸收多, 卵的发育速度快, 产卵数较多。不利的天气条件, 少数个体可能会停止产卵^[8]。可见繁殖期前温度及降雨量对扬子鳄产卵影响明显。

3.2 遗传因素是影响扬子鳄繁殖成功的主要因素

种群的遗传多样性丧失的程度与奠基者数量有关^[9-10]。James V. Briskie 提出小种群的瓶颈效应可能减少基因的多样性并增加近亲交配的机会, 从而进一步导致杂合性的降低, 增加基因的负荷并增加有害基因的表达几率^[11]。近亲交配可能造成该物种适合度的重大损失, 减小种群的生存率。吴孝兵报道幼鳄的畸形主要表现在四肢及上下颌残缺不全, 个体偏小(发育迟缓)、卵黄不能吸收(出现硬结)、颅腔突出、口裂、腹裂、脊柱弯曲等^[5]。尽管不能确定何种基因突变造成畸变, 但遗传因素可能是扬子鳄畸变原因之一^[12]。而吴孝兵报道 1993—1998 年幼鳄的畸形死亡率平均值为 $(1.85 \pm 0.95)\%$, 可见幼鳄的畸形死亡因有害基因的纯合性的提高有密切关系^[5]。客观上, 由于扬子鳄繁殖研究中心人力、物力的限制, F1 代鳄鱼混养在一起, 同龄同母同父、同龄同母异父、异龄同母同父及异龄同母异父的鳄鱼之间发生近交几率很大。通过以上分析, 作者可以推断近交衰退可能

是亲代与 F1 代、F2 代鳄的受精率、孵化率的差异显著的重要原因之一。Wu 采用 RAPD 方法研究扬子鳄饲养种群的遗传多样性认为该饲养种群的遗传相似性很高^[12]; 王义权等对扬子鳄饲养种群线粒体 DNA 控制区的序列进行了研究, 但没有发现任何变异位点^[13], 尽管对大量扬子鳄样本的线粒体控制区的序列分析, 发现少量的变异位点(待发表), 但仍然认为饲养扬子鳄种群的遗传多样性是很低的。而且物种的近交衰退、遗传组成的单个变异会加快物种的老龄化^[14]。从图 3 和图 4 的产卵量变化趋势曲线可以看出: F1 代个体繁殖期比亲代繁殖期要短, 由此可见 F1 代个体的老龄化比亲代加快。因此, 开展饲养扬子鳄种群保护遗传刻不容缓。但是否是遗传因素导致扬子鳄饲养种群繁殖力降低, 以及在多大程度对其繁殖产生影响, 仍然有待于进一步的研究。

3.3 饲养扬子鳄的年龄结构对产卵量的影响

图 3 显示亲代鳄鱼经历了 20 世纪 80 年代末的产卵高峰期以后, 2002、2003 年亲代鳄鱼产卵量跌入其历史最低水平, 预示着亲代鳄鱼逐渐退出繁殖期, 同时也可以看出子一代鳄鱼经历产卵高峰期后也有下降的趋势, 而子二代鳄鱼未大规模进入繁殖期。在不考虑外界干扰因素的影响下, 可以预测随着 F2 代个体大量进入繁殖期, 总产卵数会迅速上升; 在没有人为因素影响下, 总产卵数会呈现波浪势上升状态。在安徽省扬子鳄繁殖研究中心建立初期, 亲代鳄鱼中幼体占 8.5%, 亚成体占 18.5%, 成体占 73%。73% 的亲本鳄鱼已处于繁殖期, 安徽省扬子鳄繁殖研究中心建立已经 20 多年, 这些繁殖鳄鱼可能已开始陆续退出繁殖

期,从表1看,2002、2003年亲代鳄产卵窝数达到安徽省扬子鳄繁殖研究中心建立以来的最低水平。这也可能是引起现在产卵量降低的又一主要原因。

利用建立的安徽省扬子鳄繁殖研究中心扬子鳄饲养种群增长预测模型,对5年内安徽省扬子鳄繁殖研究中心种群变化进行预测。根据预测模型估算2008年、2013年的扬子鳄数量分别为28776尾、36951尾。但扬子鳄养殖研究中心现有扬子鳄约有10000尾,故可以估计扬子鳄个体的保存率为 $10000/19688$ (19688表示2003年理论上应有的扬子鳄数量)即保存率为50.79%。故可以预测,按1982至2003年的扬子鳄个体的平均保存率;从而推测2008年、2013年实际扬子鳄数量分别为14615尾、18767尾。因此,预测在未来的5年内,安徽省扬子鳄繁殖研究中心的饲养种群将达到15000尾左右;在未来的10年内,安徽省扬子鳄繁殖研究中心的饲养种群将达到19000尾左右。目前研究中心占地 100hm^2 ,建成3个面积约 16hm^2 的模拟自然环境和种鳄繁殖区,7个育成鳄饲养池和 3500m^2 的幼鳄饲养池等。根据建立模型预测5年、10年后安徽省扬子鳄繁殖研究中心的种群将分别增长0.5、1倍,可见饲养扬子鳄年龄结构具有如下特征:种群中有大量幼体,而老年个体较小,年龄锥体(Age pyramid)呈现典型金字塔形。作者认为,育成鳄饲养池及幼鳄饲养池扩建速度要远比扩建模拟自然环境及种鳄繁殖区的速度快;10年内育成鳄饲养池及幼鳄饲养池至少要增长1倍。

宣城扬子鳄养殖研究中心自1979年成立以来,以野外收容、救护的212条野生鳄作为亲本,发展成为现在拥有约10000尾的世界上最大的扬子鳄种群,人工养殖的扬子鳄已摆脱“濒危线”。但本次研究发现F1代鳄的受精率、孵化率与亲代鳄相比明显降低,同时通过对扬子鳄种群增长的预测,估计10年扬子鳄种群将增长1倍,现有的管理模式和养殖规模不能适应扬子鳄种群的长期发展。对于饲养鳄的种群管理提出以下建议:(1)应该对繁殖种群遗传多样性进行进一步的评估。MHC基因的变异可以反映基因组水平的变异^[13],尤其在濒危物种的饲养繁殖中,需要对个体的遗传背景有详细的了解,以鉴定种群中稀有的等位基因(Rare allele),特别是MHC上的稀有等位基因^[14]。对扬子鳄遗传多样性的研究,选出多样性高的个体作为亲本,提高饲养种群扬子鳄的基因多样性,从而提高饲养扬子鳄的种群生存率。(2)利用对F1、F2子代个体进行亲缘鉴定,

建立饲养扬子鳄种群的家系。微卫星DNA广泛运用在濒危物种个体亲缘鉴定上^[17],AFLP技术被运用在遗传多样性筛选上,辨别出具有独特稀有的基因型的个体,建立一个新的家系,有利于保存扬子鳄的特有基因。(3)考虑安徽省扬子鳄繁殖研究中心的长期发展,应摸索出一套完整扬子鳄的标记技术,对扬子鳄个体进行标记;分池饲养要充分考虑扬子鳄个体间的亲缘关系,避免近亲交配。(4)由于大量F1代个体已进入繁殖期,而且少量F2代个体也已进入繁殖期,故近10年内安徽省扬子鳄繁殖研究中心的扬子鳄种群数量将呈指数式增长。故安徽省扬子鳄繁殖研究中心应扩大饲养规模,如增加孵化室、孵化器、饲养器和饲养池的建设。(5)为了重建有进化潜能的野生扬子鳄种群,必须诱导扬子鳄弹性行为的发育,扬子鳄只有保持潜在的行为多样性,才能保证在被放回自然后正常生存^[18]。

参考文献:

- [1] Ding Y Z, Wang X M, He L J, et al. Study on the current population and habitat of the wild Chinese alligator (*Alligator sinensis*) [J]. *The Biodiversity*, 2001, 9(2): 102—108 [丁由中, 王小明, 何利军, 等. 野生扬子鳄种群及栖息地现状研究. 生物多样性, 2001, 9: 102—108]
- [2] John T, Wang X M. Wild populations of the Chinese alligator approach extinction [J]. *Biological Conservation*, 2002, 103: 93—102
- [3] Chen B H, Wang C L. Artificial reproduction of *alligator sinensis* [J]. *Acta Hepatol sin*, 1984, 3: 49—54 [陈壁辉, 王朝林. 扬子鳄的人工养殖. 两栖爬行动物学报, 1984, 3: 49—54]
- [4] Chen B H, Hua T M, Wu X B, et al. Research on the Chinese alligator [M]. Shanghai: Science & Technology and Education Press, 2003 [陈壁辉, 华田苗, 吴孝兵. 扬子鳄研究. 上海: 上海科学技术出版社, 2003]
- [5] Wu X B, Wang Y Q, Zhou K Y, et al. Analysis on reproduction of captive population of *Alligator sinensis* in Xuanzhou, Anhui, China [J]. *Journal of Applied & Environmental Biology*, 1999, 5(6): 585—588 [吴孝兵, 王义权, 周开亚, 等. 安徽省宣州扬子鳄饲养种群繁殖现状分析. 应用与环境生物学报, 1999, 5(6): 585—588]
- [6] Zhong C H, Liu D W, Zhang Y. Time series analysis of mortality rate in Chongqing urban area [J]. *Chin J Public Health*, 2003, 19(7): 796—798 [钟朝晖, 刘达伟, 张燕. 重庆市主城区人口死亡率的时间序列分析. 中国公共卫生, 2003, 19(7): 796—798]
- [7] Tao Z, Jin S G. The concise strategy of time series analysis [J]. *China sanitation statistics*, 2003, 20(3): 151—153 [陶庄, 金水高. 时间序列分析简明攻略. 中国卫生统计, 2003, 20(3): 151—153]
- [8] Nie J S, Zhou Y J, Chen X S. Studies on the relationship between the egg laying of Chinese alligator and climate [J]. *J. Anh. Univ. (Natural Sciences)*, 1997, 21(4): 103—105 [聂继山, 周应健, 程雪松. 扬子鳄产蛋与天气关系的研究. 安徽大学学报(自然科学版), 1997, 21(4): 103—105]

- [9] Neveu H, Hafen T, Zimmeram E. Comparison of the genetic diversity of wild and captive groups of *Microcebus murinus* using the random amplified polymorphic DNA method [J]. *Folia Primatol*, 1998, **69**(1): 127—130
- [10] Rave E H, Fleischer R C, Duvall F. Genetic analyses through DNA fingerprinting of captive population of Hawaiian geese [J]. *Conservation Biology*, 1994, **8**(3): 744—751
- [11] James V, Myles Mackintosh. Hatching failure increases with severity of population bottlenecks in birds [J]. *PNAS*, 2004, **101**(2): 558—561
- [12] Wu X B, Wang Y Q, Zhou K Y, *et al*. Genetic variation in captive population of Chinese alligator (*Alligator sinensis*) revealed by random amplified polymorphic DNA (RAPD) [J]. *Biological Conservation*, 2002, **106**(2002): 435—441
- [13] Wang Y Q, Zhu W Q, Wang C L. D-loop sequence variation of mitochondrial DNA in captive Chinese alligator [J]. *Acta Genetica Sinica*, 2003, **30**(5): 425—430 [王义权, 朱伟铨, 王朝林. 扬子鳄饲养种群线粒体 DNA 控制区的序列多态性. 遗传学报, 2003, **30**(5): 425—430]
- [14] Brian C, Kimberly A. Age-specific inbreeding depression and components of genetic variance in relation to the evolution of senescence [J]. *Genetics*, 1996, **93**: 6140—6145
- [15] Yuki N, O'Brien S. DNA variation of the mammalian major histocompatibility complex reflects genomic diversity and population history [J]. *PNAS*, 1990, **87**: 836—840
- [16] Hedrick P, Miller P. Rare alleles MHC and captive breeding [J]. *EXS*, 1994, **68**: 187—204
- [17] Rooney A, Honeycutt R, Davis S. Evaluation a putative bottleneck in a population of bowhead whales from patterns of microsatellite diversity and genetic disequilibria [J]. *J. Mol. Evol*, 1999a, **49**: 682—690
- [18] Zhang F, Wu X B, Zhu J L, *et al*. Primary research on the activity rhythm and the behavior coding of captive-bred Chinese alligator in summer and autumn [J]. *Acta hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(5): 488—494 [张方, 吴孝兵, 朱家龙, 等. 夏秋两季饲养条件下扬子鳄的行为谱和节律初步研究. 水生生物学报, 2005, **29**(5): 488—494]

THE ANALYSIS ON THE REPRODUCTIVE ABILITY OF CHINESE ALLIGATOR (*ALLIGATOR SINENSIS*) IN CAPTIVE POPULATION IN ANHUI PROVINCE AND THE ANTICIPATION OF POPULATION INCREASE

WU Lu-Sheng^{1,2}, WU Xiao-Bing¹, JIANG Hong-Xing^{3,4} and WANG Chao-Lin⁵

(1. College of Life Sciences, Anhui Normal University, WuHu 241000;

2. Ministry of Science and technology, Jinan University, Guangzhou 510632;

3. Research institute of forestry ecology, environment and protection, Chinese academy of forestry, Beijing 100091;

4. National wildlife research and development center, state forestry administration, Beijing 100091;

5. Anhui research center for Chinese alligator reproduction, Xuan Zhou 242034)

Abstract: According to analyses of the reproductive parameters in three generations of Chinese alligator during 1982 to 2003 in Anhui Research Center for Chinese Alligator Reproduction (ARCCAR), Xuan Zhou, China, The results showed that the number of eggs decreased significantly in the recent three years. The rate of fertilization and hatching was $(83.80 \pm 2.37)\%$ and $(89.53 \pm 0.86)\%$, in parental generation, $(79.38 \pm 2.74)\%$ and $(83.78 \pm 1.95)\%$ in first filial (F1) generation and $(68.7 \pm 1.84)\%$ and $(88.16 \pm 1.68)\%$ in second filial generation (F2). Based on one way ANOVA, the rates of fertilization and hatching among three generations are significantly different ($F_{(ROF)} = 4.33$, $P < 0.05$; $F_{(ROH)} = 4.56$, $P < 0.05$). The analysis on factors affecting alligator's reproduction showed that the number of eggs decreased obviously, and it may be caused by the parental alligator's losing their reproduction and the current of the F1 alligator's reproductive ability declining, not all the F2 alligator's entering reproductive period. We also found that the number of stock alligators was correlated with temperature in April ($R = 0.979$, $P < 0.01$), and the significant difference between the rate of fecundation in filial generation and parental generation was related to inbreeding depression and the lose of genetic diversity. A model in ideal state was built to predict the increase of captive population on the basis of the Time Series Analysis. It was predicted that the number of the captive population would reach 19000 individuals in ten years by this model. We suggest that the ARCCAR should broaden the size of breeding, especially, should broaden the construction of the pond of juvenile alligators and young alligators according to the anticipation of this model together with the consideration of the age structure of the captive population.

Key words: Chinese Alligator; Captive population; Reproduction; modelling Time series analysis