

扬子鳄 (*Alligator sinensis*) 卵体积和重量估算 及其对孵化成功率的影响

夏宝山¹, 吴孝兵^{1,*}, 朱家龙², 王朝林², 汪仁平², 朱红星², 周永康²

(1. 安徽师范大学生命科学学院, 重要生物资源的保护与利用安徽省重点实验室, 芜湖 241000;

2. 安徽省扬子鳄国家级自然保护区管理局, 安徽宣城 242034)

摘要: 收集了安徽省扬子鳄国家级自然保护区 2004、2006、2007 年的 800 枚扬子鳄卵和 2007 年的 188 条幼鳄的相关数据。经统计分析, 得到卵的体积、重量的回归方程 ($V = 0.537LB^2 + 1.151$, $R^2 = 0.960$; $W = 0.593LB^2 - 0.541$, $R^2 = 0.975$) 和估算公式 ($V = 0.553LB^2$, $F = 0.267$, $P = 0.606 > 0.05$; $W = 0.585LB^2$, $F = 0.003$, $P = 0.960 > 0.05$)。公式 $V = 0.553LB^2$ 估算出的卵的体积与实际体积相比, 误差小于 3%; 公式 $W = 0.585LB^2$ 估算的卵的重量与实际鲜重相比, 误差小于 2%。基于卵的体积和重量推导公式, 还探讨卵的体积、重量与孵化成功率和繁殖成功率之间的关系, 结果表明, 扬子鳄卵的体积、重量对孵化成功率和繁殖成功率均有明显的影响, 较大的卵孵化出幼鳄的几率及成活率都更高。

关键词: 扬子鳄; 卵; 体积和重量估算; 孵化成功率

文章编号: 1000-0933(2008)07-3042-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Estimation on volume and weight of the eggs of Chinese alligators (*Alligator sinensis*) and the effect on their hatching success

XIA Bao-Shan¹, WU Xiao-Bing^{1,*}, ZHU Jia-Long², WANG Chao-Lin², WANG Ren-Ping², ZHU Hong-Xing², ZHOU Yong-Kang²

1 College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

2 The National Natural Reserve of Chinese Alligator in Anhui, Xuancheng 242034, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3042 ~ 3048.

Abstract: The relative data from 800 eggs in 2004, 2006, 2007 and 188 hatchlings in 2007 were collected in The National Natural Reserve of Chinese Alligator in Anhui. Based on these data, we generated the regression equations on the volume (V) and weight (W) of eggs, i. e. $V = 0.537LB^2 + 1.151$ ($R^2 = 0.960$), $W = 0.593LB^2 - 0.541$ ($R^2 = 0.975$), and their estimated formula as $V = 0.553LB^2$ ($F = 0.267$, $P = 0.606 > 0.05$) with less than 3% error, $W = 0.585LB^2$ ($F = 0.003$, $P = 0.960 > 0.05$) with less than 2% error, respectively. We also discussed the effect on the hatching success and

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30770312); 安徽省学术与技术带头人专项基金资助项目; 安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室专项基金资助项目

收稿日期: 2007-11-25; **修订日期:** 2008-04-01

作者简介: 夏宝山 (1979 ~), 男, 安徽巢湖人, 硕士生, 主要从事保护生物学与行为生态学研究. E-mail: xavier@mail.ahnu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuxb@mail.ahnu.edu.cn

致谢: 在野外数据收集过程中, 得到安徽省扬子鳄国家级自然保护区管理局的邵民所长、张雪松科长、丁伟俊、章华良等的大力支持, 本实验室晏鹏老师、孟维志、左先波等在实验期间提供建议和帮助, 夏同胜同志帮助测量数据, 在此一并致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30770312); Special foundation of Academic and technology leaders of Anhui Province and the foundation of Provincial Key Laboratory of Biological Environment and Ecological Safety in Anhui

Received date: 2007-11-25; **Accepted date:** 2008-04-01

Biography: XIA Bao-Shan, Master candidate, mainly engaged in conservation biology and behavioral ecology. E-mail: xavier@mail.ahnu.edu.cn

reproductive success by estimating the volume and weight of eggs. The result showed the significantly positive influence of egg volume and weight on both hatching success and reproductive success. The larger eggs seem to be more likely to produce successful hatchlings.

Key Words: *Alligator sinensis*; egg; volume and weight estimating; hatching success

了解动物卵的形态变量对物种生物学、生态、繁殖行为以及遗传学等的研究都具有重要的参考意义。鸟类卵的研究表明,可以由卵的形态变量预测卵的孵化成功率及繁殖成功率^[1]。卵的大小能够反映幼雏可获得的营养储备量^[2],卵的大小和形状影响胚胎的新陈代谢,还能影响卵与环境之间的气体、水分以及热量交换^[3]。对动物卵的形态研究已有不少,如对鸟类卵的研究^[1,4~15],而对爬行动物卵的研究则主要集中在蛇、龟鳖类等^[16~21],而且这些研究很少有涉及到爬行动物卵的体积和重量的估算。

扬子鳄(*Alligator sinensis*)是我国特有的珍稀爬行动物,属世界现存 23 种鳄类中最濒危的物种之一^[22]。扬子鳄繁殖生态学的研究对于扬子鳄的保护具有极其重要的意义。目前,关于扬子鳄繁殖生态学方面的研究已有不少^[23~29],然而,关于扬子鳄卵的线性变量与卵的体积、重量之间的关系以及卵的大小对卵的孵化的影响的研究,尚未见报道。

已有研究表明可以通过卵的线性变量来估算卵的体积^[30,31],这些分析表明卵的体积和鲜重都可以由卵的线性变量相当准确地估测出。本文对扬子鳄卵的相关变量进行了测量,通过相关分析由卵的长径、短径估算卵的体积、重量,推导出估算公式,并进一步分析卵的相关变量对孵出幼鳄的大小及体质的影响。另外,本文试图积累更多数据来探索卵的相关变量与孵化率及孵出幼鳄存活率的相互关系。

1 研究对象及方法

本实验所取扬子鳄卵及孵出的幼鳄均来自安徽省扬子鳄国家级自然保护区管理局(30°27' N, 116°30' E)。扬子鳄卵一共 800 枚,分别来自 2004、2005、2007 年的不同窝,幼鳄 188 条全部来自 2007 年孵出的个体。

扬子鳄产卵后 12 h 内收集鳄卵,在孵化室内用数显游标卡尺测量卵的长径(L)、短径(B) (精确度 0.01 mm),使用电子天平称量鳄卵的重量(W) (精确度 0.01 g)。考虑到不同研究者测量的误差,3 位研究人员分别单独测量卵的长、短径。卵的体积(V)由水转移法直接测量。卵被小心地放入一个空的 100 ml 量杯中,然后用一个 100 ml 的量筒灌水至量杯的 100 ml 刻度处,读出量筒内所剩水的体积就是所测卵的体积。测量结束后,用铅笔在卵的正上方编号,按照编号顺序将卵放入孵化箱进行孵化。幼鳄孵出后,按照所编鳄卵的序号用标签对应标识,并在孵出半小时内测量其体长(精确度 0.1 cm)、体重(精确度 0.1 g)。

通过描述性统计,得出卵的长径(L)、短径(B)、卵的体积(V)、重量(W)、卵形指数(Egg shape index = 长径/短径)等特征参数数据的分布情况。用变异系数($CV = \text{标准差}/\text{平均值}$)表示各特征参数的变异程度。不同研究人员所测量的卵的形态变量做 Pearson 相关性分析。卵的长、短径对卵的体积、重量的影响,卵的体积、重量对孵出幼鳄体重的影响均进行线性回归。卵的体积、重量对其后孵化成功的影响用 logistic 回归分析。孵化成功在此被定义为卵孵出了幼鳄,繁殖成功则指幼鳄孵出后卵黄完全吸收且半月后仍存活。所有数据分析均在 SPSS13.0 中进行。

2 结果

2.1 扬子鳄卵的形态变量

不同研究人员测量的卵的形态变量经 Pearson 相关性分析具极显著地相关($P < 0.001$),卵的长径的相关系数 $r > 0.99$,短径的相关系数 $r > 0.99$,略大于卵的体积的相关系数 $r > 0.95$ 。

通过分析发现,扬子鳄卵的长径、短径、卵形指数以及重量、体积等变量均呈正态分布。相关变量主要分布范围(占整个测量数据 90% 的数值的分布范围)及平均值如下,长径:52.03 ~ 61.70 mm,平均值为 56.77 mm ($CV = 5.3\%$);短径:32.57 ~ 37.27 mm,平均值为 35.15 mm ($CV = 4.0\%$);体积:30.2 ~ 46.2 cm^3 ,平均值为

37.5 cm³ (CV = 12%); 重量: 34.09 ~ 49.54g, 平均值为 41.60g (CV = 11.5%); 卵形指数的平均值为 1.62 (CV = 4.6%) (表 1)。

表 1 扬子鳄卵的形态变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of egg characteristics of *Alligator sinensis*

变量 Variations	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 SD	样本数 n
长径 Length (mm)	67.39	47.78	56.77	2.97	800
短径 Breadth (mm)	39.51	30.40	35.15	1.41	800
卵形指数 Index (cm ³)	1.95	1.39	1.62	0.07	800
体积 Volume (cm ³)	52.8	27.5	37.5	4.6	180
重量 Weight (g)	59.04	27.68	41.60	4.8	568

2.2 卵的长、短径与体积、重量的关系

绘制卵的体积与长、短径相互关系的散点图,发现卵的体积与长、短径均具有正相关趋势,而长、短径之间具有负相关趋势。为了得到卵的体积与长、短径之间准确的相关性,本文对变量进行偏相关分析。结果表明,在控制卵的短径的影响后,卵的长径与体积呈较强的正相关($r=0.903, P < 0.001$);在控制卵的长径的影响后,卵的短径与体积也呈较强的正相关($r=0.910, P < 0.001$)。同理,对卵的重量与长、短径进行偏相关分析发现卵的重量与长、短径均呈显著正相关($P < 0.001$),相关系数分别为 $r=0.932$ 和 $r=0.946$ 。

为了得出卵的体积和重量估算公式,首先由卵的长径和短径求出长径与短径平方的乘积,即长径 $\times$ 短径²,用 LB^2 表示。然后对卵的体积、重量与 LB^2 进行回归分析 (如图 1)。以卵的体积为因变量, LB^2 为自变量建立回归方程(1),其相关系数 $r=0.980$,决定系数 $R^2=0.960$,经方差分析, $F=4267.165, P < 0.001$ 。以卵的重量为因变量,仍以 LB^2 为自变量建立回归方程(2),其相关系数 $r=0.983$,决定系数 $R^2=0.975$,经方差分析, $F=16494.825, P < 0.001$,因此回归方程均有意义。

$$V=0.537LB^2+1.151 \quad (1)$$

$$W=0.593LB^2-0.541 \quad (2)$$

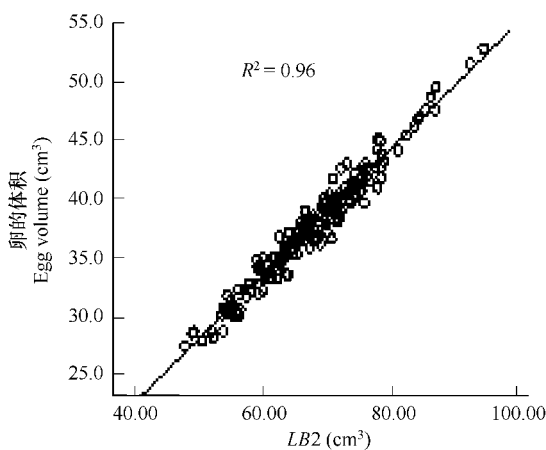


图 1 卵的体积与 LB^2 间的回归关系

Fig. 1 The relation between the egg volume and LB^2

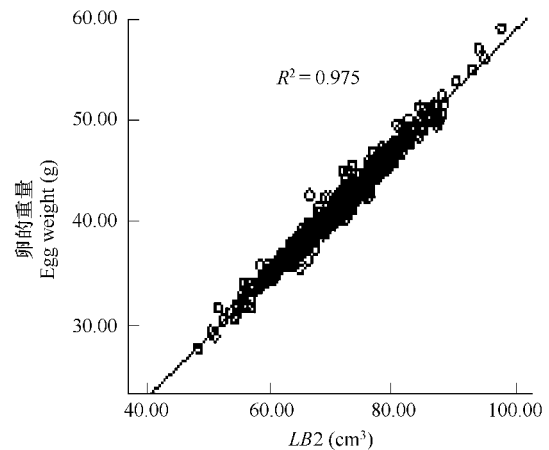


图 2 卵的重量与 LB^2 间的回归关系

Fig. 2 The relation between the egg weight and LB^2

为了使卵的体积、重量公式得到更广泛的应用,作者采用已有的卵的体积、重量公式(3)和(4)^[30,31],并结合回归方程(1)和(2)推导出方程(5)和(6) (其中 K_v 、 K_w 分别为体积、重量系数)。

$$V = K_v \cdot LB^2 \quad (3)$$

$$W = K_w \cdot LB^2 \quad (4)$$

$$K_v = 1.151/LB^2 + 0.537 \quad (5)$$

$$K_w = 0.593 - 0.541/LB^2 \quad (6)$$

由扬子鳄卵的长径(L)与短径(B)求得 LB^2 的平均数为 70.41, 标准差(SD)为 8.01, 代入方程(5)得到 K_v 的近似值为 0.553, 因此卵的体积估算公式可表示为方程(7)。同理, 由方程(6)可以得到 K_w 的近似值为 0.585, 卵的重量估算公式可表示为方程(8)。

$$V = 0.553LB^2 \quad (7)$$

$$W = 0.585LB^2 \quad (8)$$

为了检验这两个方程的有效性, 由方程(7)求出卵的体积, 并与实际测量值进行方差分析, $F = 0.267$, $P = 0.606$; 同理, 由方程(8)求出卵的重量与实际测量值进行方差分析, $F = 0.003$, $P = 0.960$, P 值均大于 0.05。由方程(7)和(8)求得的卵的体积和重量与实际测量值差异分别小于 3% 和 2%。

2.3 卵与幼鳄参数的相关性分析

卵的体积、重量及幼鳄体长分别对幼鳄重量做线性回归(图 3~5)。结果表明卵的体积、重量、幼鳄体长对幼鳄重量有极显著的影响($P < 0.01$), 其中卵的重量与幼鳄重量相关性最大($R^2 = 0.823$) (表 2)。卵的体积与孵化成功率及繁殖成功率回归分析表明, 卵的体积与孵化成功率(转换为对数似然比, $\chi^2 = 9.281$, $df = 1$, $P = 0.002$) 及繁殖成功率之间(转换为对数似然比, $\chi^2 = 8.352$, $df = 1$, $P = 0.004$) 均具有极显著的相关性; 卵的重量与孵化成功率(转换为对数似然比, $\chi^2 = 25.443$, $df = 1$, $P < 0.001$) 及繁殖成功率之间(转换为对数似然比, $\chi^2 = 22.264$, $df = 1$, $P < 0.001$) 也具有极显著的相关性(图 6)。

表 2 卵的体积、重量、幼鳄体长对幼鳄重量的影响

Table 2 The influence of egg size and hatchling length on the hatchling weight

参数 Parameters	R^2	F	P
卵的体积 Egg volume *	0.807	385.153	<0.001
卵的重量 Egg weight	0.823	464.525	<0.001
幼鳄体长 Hatchling length	0.631	265.513	<0.001

* 卵的体积是由回归方程求得的估算值 The egg volume was estimated from the regression equation)

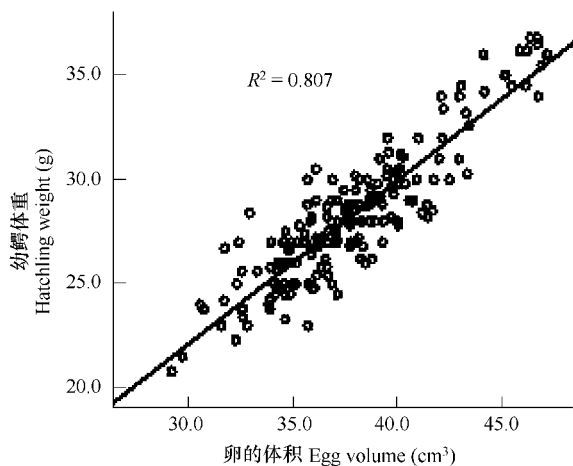


图 3 卵的体积与幼鳄重量的回归关系

Fig. 3 The relation between the egg volume and the hatchling weight
* 卵的体积是由回归方程求得的估算值 The egg volume was estimated by the regression equation

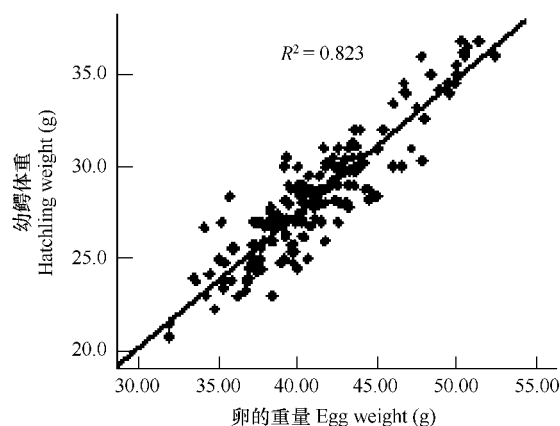


图 4 卵的重量与幼鳄重量的回归关系

Fig. 4 The relation between the egg weight and the hatchling weight

3 讨论

3.1 扬子鳄卵的体积、重量估算公式

鉴于同一扬子鳄个体所产的卵在形状、大小及重量表型性状等方面存在差异, 且不同性状间的变异系数

也不一样,不同个体各特征参数的变异幅度也存在差异^[29],本研究所用样本(共 800 枚)随机取样于 2004, 2006 和 2007 年的 86 窝(剔除畸形卵,双黄卵和三黄卵),符合统计学取样要求。

Preston 的研究表明动物卵的形状可以用长径、短径、不对称性及双锥形等 4 个参数来描述,并提出了一个复杂的鸟类卵体积的估算方法^[5]。动物卵的形状应该介于两个简单的几何体,即圆柱体($V = \pi/4 \cdot LB^2$)和双锥($V = \pi/12 \cdot LB^2$)之间,所以动物卵的体积可以近似为($V = \pi/6 \cdot LB^2$)^[6]。扬子鳄的卵是末端呈钝圆形的卵,其体积应该介于圆柱体和椭圆体之间,故理论上其体积应该大于($V = \pi/6 \cdot LB^2$)($\pi = 22/7$),本文推导的体积估算公式 $V = 0.553LB^2$ 完全符合这个理论值,因此该估算公式还可能更广泛地应用于介于圆柱体和椭圆体之间类型的其他类动物卵的体积的估算。

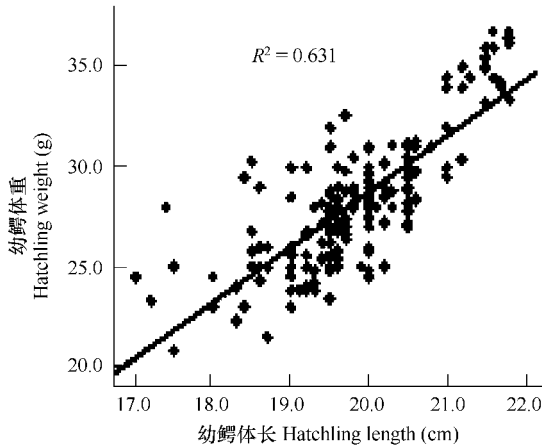


图5 幼鳄体长与幼鳄重量的回归关系

Fig. 5 The relation between the hatchling length and the hatchling weight

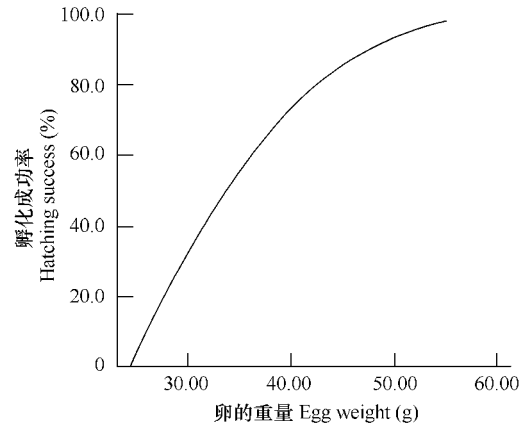


图6 卵的重量对孵化成功率的影响

Fig. 6 The influence of the egg weight on hatching success

动物卵的参数测量方法是物种研究的重要问题,测量必须精确、迅速,且变量要尽可能多。扬子鳄属于世界濒危物种,其产卵在 24h 后就形成白带,不能随便翻动,因此在鳄卵产出后 24h 内就要进行测量。卵的长、短径用游标卡尺容易测量,而受精卵不能直接在水中浸泡时间太长,其体积很难直接测量。而本文所得到的回归方程(1)和估算公式(7)可以用来估算卵的体积,回归方程(2)和估算公式(8)可以用来估算卵的重量。其中回归方程(1)和(2)的拟合程度均较高,回归方程均有显著意义($P < 0.001$)。另外,由估算公式(7)和(8)求得的卵体积和重量与实际测量值差异分别小于 3% 和 2%,进行方差分析无显著差异($P > 0.05$)。表明本文所推导出的估算公式可广泛应用。

3.2 卵的体积和重量对孵化及繁殖成功率的影响

扬子鳄卵的体积和重量与孵出的幼鳄的体重呈显著相关性,较大的卵孵出较大的幼鳄(图 3、图 4)。卵的体积和重量与孵化成功率及繁殖成功率的回归分析表明,卵的体积和重量与孵化成功率和繁殖成功率均有显著的相关性;幼鳄的体长和体重的回归分析表明,这二者之间也具有显著相关性,但后者相关性不如前者显著(表 2)。这可能是由于部分幼鳄的尾部畸形(弯曲)以及刚孵出的幼鳄卵黄较大,使得测量时不能完全拉直幼鳄躯体所造成。先前对鸟类的研究也表明较大的卵孵出较大、较重的幼雏,而且这些幼雏有更高的成长率和存活率^[8,11,32,33],较大的卵具有较高的孵化成功率^[1,2,9,14]。本文研究结果表明,较大的扬子鳄卵也有较高的孵化成功率(图 6),且有较高的繁殖成功率。Clifford 等认为较大的卵有较高的孵化成功率可能是因为按体积比例较大的表面积可以使卵不易受温度波动或水分散失的影响^[34]。对于自然孵化的鸟卵,体积越大储热越好,温度降得也越慢^[3],扬子鳄卵在野外也是自然孵化,靠阳光和巢材的发酵腐熟产生的热量来维持卵的温度^[35],较大的鳄卵比较小的鳄卵更能够储存热量、保存水分,受外界温差波动的影响也较小,因而有较高的孵化成功率。

卵的大小的个体差异部分是由遗传决定的^[33,36,37],但是卵的大小也会随着母体年龄增长而增大^[38],母体的年龄可以影响卵的短径或体积^[4,7,38~42]。另外母体的大小、繁殖经验、环境因素等都会影响到卵的大小^[1,43~45]。对扬子鳄繁殖行为的观察也发现初产鳄(首次产卵的成年鳄)所产卵小于经产鳄(往年已产卵的鳄)。这除了受母体年龄的影响外,还可能与母体的大小、繁殖经验、环境因素等有关。也有学者尝试研究卵的体积对孵化周期的影响,结果表明其相关性较差^[6]。扬子鳄卵的大小是否也会对其孵化周期产生影响,目前还不清楚。仅通过 3a 的样本量,要做更详细的分析显然比较困难,母体的年龄、大小、繁殖经验和环境因素等是否会对卵的大小产生影响,以及卵的体积对孵化周期的影响有待于进一步研究。

References:

- [1] Michel P, Ollason J C, Grosbois V, *et al.* The influence of body size, breeding experience and environmental variability on egg size in the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*). *J. Zool. Lond.*, 2003, 261: 427—432.
- [2] Weidinger K. Egg variability and hatching success in the Cape petrel Daption capense at Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica. *J. Zool. Lond.*, 1996, 239: 755—768.
- [3] Perrins C M. Eggs, egg formation and the timing of breeding. *Ibis*, 1996, 138: 2—15.
- [4] Preston F W. Variation of egg size with age of parent. *Auk*, 1958, 75: 476—477.
- [5] Preston F W. Shapes of birds' eggs; extant North American families. *Auk*, 1969, 86: 246—264.
- [6] Preston F W. The volume of an egg. *Auk*, 1974, 91: 132—138.
- [7] Coulson J C, Potts G R, and Horobin J. Variation in the eggs of the Shag (*Phalacrocorax aristotelis*). *Auk*, 1969, 86: 232—245.
- [8] Grant M C. Relationships between egg size, chick size at hatching and chick survival in the Whimbrel *Numenius phaeopus*. *Ibis*, 1991, 133: 127—133.
- [9] Croxall J P. The effect of maternal age and experience on egg-size and hatching success in wandering albatrosses *Diomedea exulans*. *Ibis*, 1992, 134: 219—228.
- [10] Zhou F S. Correlation analyses of the breeding parameters of birds. *Ecology Science*, 1994, 2: 40—49.
- [11] Dawson R D, and Clark R G. Effects of variation in egg size and hatching date on survival in Lesser Scaup *Aythya affinis* ducklings. *Ibis*, 1996, 138: 693—699.
- [12] Narushin V G. The avian egg: geometrical description and calculation of parameters. *J. Agric. Eng. Res.* 1997, 68: 201—205.
- [13] Zhao G, Ma J S. On improvement of the experience formula of bird egg's weight. *Journal of Shandong Normal University*, 1997, 12(3): 264—268.
- [14] Jager T D, Hulscher J B, Kersten M. Egg size, egg composition and reproductive success in the oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ibis*, 2000, 142: 603—613.
- [15] Cariello M O, Lima M R, Schwabl H G, *et al.* Egg characteristics are unreliable in determining maternity in communal clutches of guira cuckoos *Guira guira*. *J. Avian Biol.*, 2004, 35: 117—124.
- [16] Wang P C, Ma W, Lu B, *et al.* Studies on ecology of incubation of eggs of *Chinemys reevesii*. *Herpetological Series* 1990, 1: 113—119.
- [17] Ji X, Du W G, Xu X F. Influences of thermal and hydric environments on incubating eggs and resultant hatchlings in a colubrid snake (*Xenochrophis Piscator*). *Acta Zool. Sin.*, 2001, 47(1): 45—52.
- [18] Zhu D Y. The shape and structure of egg of Chinese Softed Turtle. *Chin. J. Zool.*, 2002, 37(4): 63—64.
- [19] Du W G, Ji X. Effects of incubation temperature on duration of incubation, hatching success, and hatchling traits in the Gray Rat Snake, *Ptyas Korros* (Colubidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 548—553.
- [20] Du W G, Zheng R Q. Egg survival and hatchling traits of the Chinese three-keeled pond turtle *Chinemys reevesii* incubated in different hydric environments. *Acta Zool. Sin.*, 2004, 50(1): 133—136.
- [21] Lin Z H, Ji X. Reproductive output and effects of incubation thermal environments on hatchling phenotypes of mucous rat snakes *Ptyas mucosus*. *Acta Zool. Sin.*, 2004, 50(4): 541—550.
- [22] Jelden D. Speech at the opening ceremony of the international workshop on protection and reintroduction of Chinese alligator. In: Department of Wildlife Conservation State Forestry Administration, P. R. China, Status Quo and Future of Conservation for Chinese Alligator and Crocodiles in the World. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 7—9.
- [23] Gu W Y, Zhang H S. Preliminary reports on the reproductive ecology of the Chinese alligator. *Acta Herpetol Sin.*, 1983, 2(4): 72—74.
- [24] Chen B H, Wang C L. Artificial reproduction of *Alligator sinensis*. *Acta Herpetol. Sin.*, 1984, 3(2): 49—53.

- [25] Xu J, Xie W S, Pan H T. Nest building ecology of Chinese alligator in artificial breeding area. *Sichuan J. Zool.*, 1989, 8(4): 16—18.
- [26] Liang B D, *et al.* The effect of temperature and humidity on Chinese alligator's incubation. *Sichuan J. Zool.*, 1990, 9(3): 27—28.
- [27] Wang R P, Zhang X S. Studies on Changes of egg mass and embryonic metabolic rate of Chinese alligator during incubation of suitable temperature. *J. Econ. Anim.*, 2000, 4(4): 49—54.
- [28] 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. *Acta Hydrobiol. Sin.*, 2005, 29(5): 488—494.
- [29] Meng W Z, Wu X B, Wu L S. An investigation of the morphological characteristics of Chinese alligator (*Alligator sinensis*). *Asiatic Herpetological Research*, 2008, 11: 78—84.
- [30] Stonehouse B. Egg dimensions of some Ascension Island sea-birds. *Ibis*, 1963, 103b: 474—479.
- [31] Hoyt D F. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *Auk*, 1979, 96: 73—77.
- [32] Galbraith H. Adaptation and constraint in the growth pattern of Lapwing *Vanellus vanellus* chicks. *J. Zool. Lond.*, 1988, 215: 537—548.
- [33] Galbraith H. Effects of egg size and composition on the size, quality and survival of Lapwing *Vanellus vanellus* chicks. *J. Zool. Lond.*, 1988, 214: 383—398.
- [34] Clifford L D, Anderson D J. Clutch size variation in the Nazca booby: a test of the egg quality hypothesis. *Behav. Ecol.*, 2002, 13: 274—279.
- [35] Wu X B. Ecology of Chinese alligator. In: Chen B H ed. *Research on the Chinese alligator*. Shanghai: Shanghai Science & Technology and Education Press, 2003. 248—259.
- [36] Vaisanen R A, Hilden O, Soikkeli M, *et al.* Egg dimension variation in five wader species: The role of heredity. *Ornis Fennica*, 1972, 49: 25—44.
- [37] Ojanen M, Orell M, and Vaisanen R A. Role of heredity in egg size variation in the Great Tit *Parus major* and the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Ornis Scandinavica*, 1979, 10: 22—28.
- [38] Grontol G B. Correlates of Egg-Size Variation in Polygynously Breeding Northern Lapwings. *Auk*, 1997, 114(3): 507—512.
- [39] Myrberget S. Size and shape of eggs of Willow Grouse *Lagopus lagopus*. *Ornis Scandinavica*, 1977, 8: 39—46.
- [40] Gratto C L, and Cooke F. Nesting success of yearling and older breeders in the Semipalmated Sandpiper *Calidris pusilla*. *Can. J. Zool.*, 1983, 61: 1133—1137.
- [41] Thompson P S, and Hale W G. Age-related reproductive variation in the Redshank *Tringa totanus*. *Ornis Scandinavica*, 1991, 22: 353—359.
- [42] Robertson G J, Cooch E G, Lank D B, *et al.* Female age and egg size in the Lesser Snow Goose. *J. Avian Biol.*, 1994, 25: 149—155.
- [43] Jonsson P E. Sexual sized dimorphism and disassortative mating in the Dunlin *Calidris alpina schinzii* in southern Sweden. *Ornis Scandinavica*, 1987, 18: 257—264.
- [44] Blomqvist D, and Johansson O C. Tradeoffs in nest site selection in coastal populations of Lapwings *Vanellus vanellus*. *Ibis*, 1995, 137: 550—558.
- [45] Sandercock B K. Assortative Mating and Sexual Size Dimorphism in Western and Semipalmated Sandpipers. *Auk*, 1998, 115(3): 786—791.

参考文献:

- [10] 邹发生. 鸟类繁殖参数的相关分析. *生态科学*, 1994, 2: 40~49.
- [13] 赵岗, 马金生. 鸟卵重量经验公式的改进. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 12(3): 64~268.
- [16] 王培潮, 马伟, 卢波, 等. 乌龟卵孵化生态的研究. *蛇蛙研究丛书*, 1990, 1: 113~119.
- [17] 计翔, 杜卫国, 许雪峰. 孵化水热环境对鱼异色蛇孵化卵和孵出幼体的影响. *动物学报*, 2001, 47(1): 45~52.
- [18] 朱道玉. 中华鳖卵的形态结构. *动物学杂志*, 2002, 37(4): 62~64.
- [19] 杜卫国, 计翔. 孵化温度对灰鼠蛇卵孵化期、孵化成功率和孵出幼体特征的影响. *生态学报*, 2002, 22(4): 548~553.
- [20] 杜卫国, 郑荣泉. 不同孵化湿度下的乌龟卵孵化成功率及新生幼体特征. *动物学报*, 2004, 50(1): 133~136.
- [21] 林植华, 计翔. 滑鼠蛇的繁殖输出及孵化热环境对孵出幼体表型特征的影响. *动物学报*, 2004, 50(4): 541~550.
- [23] 顾文仪, 张海生. 扬子鳄繁殖初报. *两栖爬行动物学报*, 1983, 2(4): 72~74.
- [24] 陈壁辉, 王朝林. 扬子鳄的人工繁殖. *两栖爬行动物学报*, 1984, 3(2): 49~53.
- [25] 许建, 谢万树, 潘洪唐. 人工繁殖区内扬子鳄的巢生态. *四川动物*, 1989, 8(4): 16~18.
- [26] 梁宝东, 等. 温、湿度对扬子鳄卵孵化的影响. *四川动物*, 1990, 9(3): 27~28.
- [27] 汪仁平, 张雪松. 适宜温度孵化下扬子鳄蛋质量变化及胚胎代谢率的研究. *经济动物学报*, 2000, 4(4): 49~54.
- [28] 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活动节律初步研究. *水生生物学报*, 2005, 29(5): 488~494.
- [35] 吴孝兵. 扬子鳄的生态学. 见: 陈壁辉主编. *扬子鳄研究*. 上海: 上海科技教育出版社, 2003. 248~259.