

陕西汉中野生朱鹮雏鸟的生长发育特征

曾键文^① 庆保平^① 路晋^① 宋紫檀^② 丁长青^{②*}

① 陕西汉中朱鹮国家级自然保护区管理局 洋县 723300; ② 北京林业大学自然保护区学院 北京 100083

摘要: 2014 年和 2015 年监测朱鹮保护区野生朱鹮 (*Nipponia nippon*) 15 只雏鸟的生长发育, 拟合其生长发育数据的生长曲线和相对生长公式, 与 1989 年研究结果进行对比。结果显示, 野生朱鹮雏鸟的生长发育不受孵化顺序的影响, 雄性体长的生长速度快于雌性。目前朱鹮雏鸟体重、体长、翅长、嘴峰长、跗跖长和中趾长的生长均符合逻辑斯谛生长曲线, 雏鸟体重增长率在 13 日龄左右达到最大。与 1989 年的研究结果比较发现, 目前野生朱鹮幼鸟总体生长发育有所放缓。这可能与近年野生朱鹮种群的增长和扩散导致的环境压力加大以及繁殖期食物资源不足有关。

关键词: 朱鹮; 雏鸟; 生长发育; 逻辑斯谛生长曲线

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2017) 05-777-06

The Growth Rate of the Wild Crested Ibis (*Nipponia nippon*) in Hanzhong, Shaanxi Province

ZENG Jian-Wen^① QING Bao-Ping^① LU Jin^① SONG Zi-Tan^② DING Chang-Qing^{②*}

① Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve Administration, Yangxian 723300; ② School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The growth rate of wild Crested Ibis (*Nipponia nippon*) in the Shaanxi Hanzhong Crested Ibis National Nature Reserve before fledgling was measured in 2014 and 2015. The body growth indexes (body weight, body length, culmen length, tarsus length, wing length and middle toe length) of 15 nestlings from 6 nests were examined. The results showed that the growth of nestlings was not affected by the hatching order, and the growth rate of body length of male nestlings was faster than the female (Table 1). The growth curves of the nestlings matched with the Logistic models, and the growth rate of body weight reached the maximum at about 13-day-old (Table 2). Compared with the results from 1989, the overall nestling growth of the wild Crested Ibis slowed relatively (Table 2, 3; Fig. 1, 2), which could be explained by higher environmental pressure and lower food availability with the development of population size and their dispersal in recent decades.

Key words: Crested Ibis, *Nipponia nippon*; Nestling; Growth rate; Logistic regression

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31372218);

* 通讯作者, E-mail: cqding@bjfu.edu.cn;

第一作者介绍 曾键文, 男, 助理工程师; 研究方向: 野生动物保护管理; E-mail: zengjian2825@163.com。

收稿日期: 2017-01-30, 修回日期: 2017-05-19 DOI: 10.13859/j.cjz.201705007

晚成雏鸟 (altricial nestling) 的生长发育受许多因素影响, 比如栖息地环境质量 (Richner 1989), 食物丰富度 (Killpack et al. 2012) 和食物质量 (Kriengwatana et al. 2013) 等, 这些影响因素在种群之间存在差异 (Gebhardt-Henrich 1998)。雏鸟在出飞前的生长发育情况还会影响其存活率 (Bolton 1991) 和繁殖能力 (Haywood et al. 1992)。

朱鹮 (*Nipponia nippon*) 曾一度被认为野外灭绝 (丁长青 2004)。1981 年在陕西洋县重新发现了仅存的 7 只野生朱鹮个体 (刘荫增 1981), 经过 30 多年的保护研究, 野生朱鹮种群得以保存壮大, 于 2012 年野生达到 1 100 ~ 1 200 只 (王超等 2014)。史东仇等 (1991) 对 1989 年 2 巢 6 只野生朱鹮雏鸟的生长发育进行了研究, 发现朱鹮体重、体长、翅长、嘴峰、跗跖和中趾的发育均呈逻辑斯谛生长, 且上述各部位的生长存在一定的相关关系。随着朱鹮野生种群的增长与扩散, 其种群动态以及栖息地环境都与 1989 年发生明显变化, 有必要再次对朱鹮雏鸟的生长发育开展研究。本文研究了 2014 和 2015 年朱鹮幼鸟生长规律, 并与 1989 年的结果进行对比, 分析了朱鹮幼鸟近年来生长发育新特点。

朱鹮雏鸟为异步孵化, 同窝雏鸟间存在 1 ~ 2 d 的日龄差, 先孵化的雏鸟在食物竞争中占据优势, 可能影响雏鸟的生长发育 (Badyaev et al. 2002)。此外, 通过朱鹮的 PCR 性别鉴定技术 (丁长青等 2011) 可以分析雌雄雏鸟间生长发育的差异。本研究测量了现今野生朱鹮种群雏鸟的体重、体长等指标, 研究其生长发育状况, 并分析不同孵化顺序和性别对雏鸟生长发育的影响, 旨在为当前的野生朱鹮保护管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究地点

研究地点位于陕西省洋县境内 (33°02' ~ 33°43'N, 107°11' ~ 108°03'E)。洋县地处暖温

带到北亚热带的过渡地带, 属于大陆性季风气候, 全年雨热同期, 季节性变化明显。年平均气温为 12 ~ 14°C, 年平均降水量为 900 ~ 1 000 mm。

1.2 数据搜集

2014 年和 2015 年 4 ~ 6 月, 于陕西汉中朱鹮国家级保护区及其周边地区, 在巢龄 30 年以上的朱鹮老巢区、巢龄 10 年以上的扩散区巢区和巢龄不足 10 年的野化放飞巢区各选择 1 个巢, 对 2 年累计 6 巢中的 15 只雏鸟离巢前的体征指标进行测量。

2 年中, 上述各巢区样巢中朱鹮均产卵 6 枚。巢中最后一只雏鸟孵出后, 用彩笔标记雏鸟翼下进行个体识别, 记录雏鸟孵化顺序。在雏鸟 25 ~ 30 日龄时, 每个个体采集 1 枚新生羽毛, 利用羽髓中的组织样本, 通过朱鹮 PCR 性别鉴定技术 (丁长青等 2011) 鉴定雏鸟性别。

巢中的第一只雏鸟孵化开始, 每隔 5 日测量一次体征, 直至第一只雏鸟达到 35 日龄。测量体征包括体重 (weight, g)、体长 (body length, mm)、翅长 (wing length, mm)、嘴峰长 (culmen length, mm)、跗跖长 (tarsus length, mm) 和中趾长 (middle toe length, mm) 6 项指标。体重用电子秤 (大河 6 代电子秤 DH588 型, 武汉大河电子有限公司, 精度为 1 g) 称量, 体长、翅长和嘴峰长用卷尺 (得力工具 DL9002, 精度 1 mm) 测量, 跗跖长和中趾长用直尺 (得力工具 DL8030, 精度 1 mm) 测量。体征测量方法与史东仇等 (1991) 一致。

1.3 数据分析

利用 R 软件中的 “lme4” 包, 对雏鸟的各项体征建立广义线性混合模型 (GLMM), 雏鸟日龄、性别、孵化顺序和研究年份作为固定变量, 雏鸟个体环志编号作为随机变量, 分析雏鸟的性别和孵化顺序是否影响生长发育。利用协方差分析 (ANCOVA) 检验不同采样地点朱鹮雏鸟生长模式的差异。

利用 SPSS 21.0, 建立朱鹮雏鸟各体征指标的 Logistic 生长曲线, 根据 Huxley (1932) 的相对生长公式 $y = aX^b$, 式中, y 、 X 分别为相互

对比的两个指标, a 、 b 为拟合后的参数, 分别将体重、嘴峰长、跗跖长、中趾长相对于体长的生长公式进行拟合。同时, 根据此公式估测朱鹮雏鸟各项体征对体长的异速生长情况, 当相对生长指数 b 大于 1 时, 说明该体征相对体长生长迅速。为了比较现今朱鹮雏鸟的生长发育情况与 1989 年的差异, 选用模型与史东仇等 (1991) 一致。

2 结果

我们在朱鹮老巢区、扩散巢区和野化放飞巢区中共测得 15 只朱鹮雏鸟从孵出到出飞的体征指标。三类巢区间雏鸟的生长发育没有差异 (体重: $F_{2,92} = 1.964$, $P = 0.146$; 体长: $F_{2,92} = 1.923$, $P = 0.152$), 故合并分析。

2.1 性别和孵化顺序

2014 年和 2015 年的雏鸟生长发育差异不显著, 雏鸟的孵化顺序不影响生长发育, 雄性雏鸟的体长生长快于雌性, 其他体征的生长发育在雌雄雏鸟间没有显著性差异 (表 1)。

2.2 雏鸟生长发育

结果显示, 体重、体长、翅长、嘴峰长、跗跖长和中趾长的增长符合 Logistic 生长模型 (表 2)。体重生长模型为 $W = 1373.23 / (1 + e^{2.863 - 0.220x})$, W 为雏鸟体重 (g), x 为雏鸟的日龄 (d)。朱鹮雏鸟

的渐近线体重 (K) 为 1 373.23 g, 渐近线体重较 1989 年变轻 (图 1), 生长速率变小 (图 2)。根据逻辑斯谛曲线可知, 雏鸟体重增长率在 $K/2$ 时达到最大。朱鹮雏鸟的体重、体长和嘴峰长在 13 日龄时增长率最大, 而翅长和跗跖长的最大增长率分别在 19 日龄和 11 日龄 (表 2)。

2.3 相对生长公式

朱鹮雏鸟体重的增加相对快于体长, 而嘴峰、跗跖和中趾的生长发育慢于体长 (表 3)。将代表相对生长发育特性的指数 b 值与 1989 年数据进行比较, 当前雏鸟相对体长的生长速度普遍慢于 1989 年 (表 3)。

3 讨论

史东仇等 (1991) 于 1989 年对洋县三岔河和牯牛坪的 2 巢 6 只雏鸟体征进行研究, 发现 6 项体征指标生长均符合逻辑斯谛曲线增长。本研究结果与史东仇等 (1991) 一致。

朱鹮雏鸟的生长发育不受孵化顺序的影响, 雄性雏鸟的体长生长快于雌性, 其他体征的生长发育在雌雄雏鸟间没有显著性差异。成年朱鹮的体型和羽色上没有明显的性二型, 雄性体型略大于雌性。本研究中除体长外, 雌雄雏鸟其他体征的生长均无显著性差异。异步孵化的鸟中, 先孵化的雏鸟一般在食物竞争中存

表 1 孵化顺序、性别和年份对雏鸟生长发育的影响

Table 1 Effects of hatching order, sex and year on the nestling's growth

指标 Index		日龄 Days	性别 Sex	孵化顺序 Hatching order	年份 Year
体重 Weight	χ^2	911.185	3.535	0.017	0.062
	P	< 0.001	0.060	0.896	0.803
体长 Body length	χ^2	646.695	5.972	1.466	1.512
	P	< 0.001	0.015	0.226	0.219
翅长 Wing length	χ^2	437.31	0.236	1.791	—
	P	< 0.001	0.627	0.181	—
嘴峰长 Culmen length	χ^2	1 938.497	2.197	0.011	0.257
	P	< 0.001	0.138	0.916	0.612
跗跖长 Tarsus length	χ^2	718.449	1.784	0.002	2.512
	P	< 0.001	0.182	0.963	0.113
中趾长 Middle toe length	χ^2	334.336	3.163	0.057	3.391
	P	< 0.001	0.057	0.811	0.066

表 2 朱鹮雏鸟体征生长曲线

Table 2 Logistic model of Crested Ibis nestlings' growth rate

指标 Index	现今 Now		1989 年 1989s (史东仇等 1991)
	逻辑斯谛生长模型 Logistic Model	R^2 Correlation coefficient	逻辑斯谛生长模型 Logistic Model
体重 Weight (g)	$1373.23/(1 + e^{2.863 - 0.220x})$	0.947	$1491.5/(1 + e^{3.012 - 0.202x})$
体长 Body length (mm)	$588.55/(1 + e^{1.485 - 0.114x})$	0.884	$658.5/(1 + e^{1.3842 - 0.099x})$
翅长 Wing length (mm)	$313.17/(1 + e^{2.827 - 0.152x})$	0.928	$353.9/(1 + e^{2.3964 - 0.155x})$
嘴峰长 Culmen length (mm)	$107.926/(1 + e^{1.525 - 0.117x})$	0.951	$112.0/(1 + e^{1.5954 - 0.129x})$
跗跖长 Tarsus length (mm)	$93.689/(1 + e^{1.644 - 0.152x})$	0.925	$88.4/(1 + e^{1.4374 - 0.151x})$
中趾长 Middle toe length (mm)	$76.529/(1 + e^{1.963 - 0.222x})$	0.933	$74.4/(1 + e^{1.4776 - 0.186x})$

R^2 为各体征指标与自变量日龄 x 逻辑斯谛生长模型的相关系数。

The R^2 is correlation coefficient of the days -index logistic model.

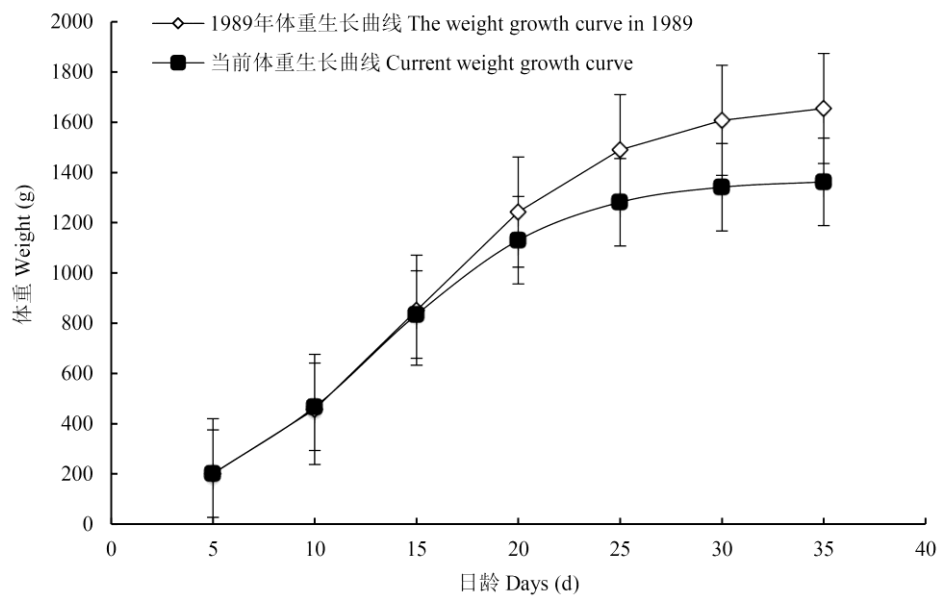


图 1 1989 年 (史东仇等 1991) 和当前的幼鸟体重生长曲线对比

Fig. 1 Nestlings' weight growth curve in the current and 1989 (史东仇等 1991)

在优势, 从而生长发育更快 (Nilsson et al. 2001)。另一方面, 异步孵化使得雏鸟的能量需求高峰依次到来 (Slagsvold et al. 1995), 并且一些物种中亲鸟会通过喂食补偿后孵化雏鸟的劣势 (Rosivall et al. 2005)。朱鹮雏鸟异步孵化, 保证了巢内的雏鸟同一时段内的能量需求总量基本均衡, 从而在同胞竞争下保持了同步的增长。

现今朱鹮雏鸟的体重和体长的生长与 1989 年相比均有所下降, 而跗跖的生长有所升高。一般认为, 体重与跗跖长度的比例代表着鸟类的脂肪含量, 从而反映其身体状况的好坏 (Johnson et al. 1985)。本研究表明, 与 1989 年相比, 朱鹮雏鸟的生长和身体状况均有所下降。此外, 1989 年体长与体重、嘴峰长、跗跖长和中趾长的相对生长公式的指数, 均分别大

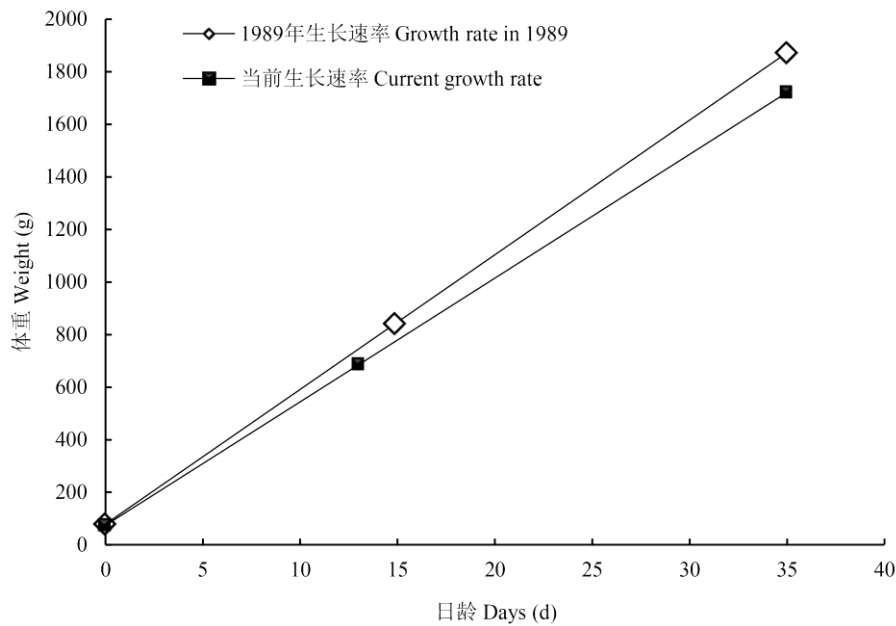


图 2 1989 年 (史东仇等 1991) 和当前幼鸟体重生长速率对比

Fig. 2 Nestlings' weight growth rate comparison diagram between current and 1989 (史东仇等 1991)

表 3 各项体征相对体长的生长率 (b)

Table 3 The relative growth rate (b) of the body between current and 1989

	体重 Weight	嘴峰长 Culmen length	跗跖长 Tarsus length	中趾长 Middle toe length
本研究 Now	1.379	0.979	0.975	0.839
1989 年 (史东仇等 1991) 1989	2.610	1.278	1.283	1.442

于 2014 和 2015 年指数。说明相对体长, 其他体征的生长速度均有所放缓。

现今朱鹮雏鸟体征生长放缓的现象, 说明了朱鹮生存的环境压力增大。晚成雏鸟依赖于亲鸟的哺育, 环境条件恶劣和食物丰富度下降将影响亲鸟的递食, 从而影响雏鸟的生长 (Gebhardt-Henrich et al. 1998)。1989 年野生朱鹮种群繁殖期的活动范围和营巢地限于三岔河和牯牛坪等中高海拔地区, 全部野生种群每年营巢数仅 3 巢, 巢间距离平均 11.4 km, 巢间不存在竞争。而 2014 年和 2015 年野生朱鹮平均每年营巢数为 247 巢, 大致可分为老巢区、扩散巢区和野化放飞巢区 3 个区域, 平均巢间距离仅为 144 m, 且觅食地重叠。随着朱鹮种群

数量的稳步增长, 朱鹮的营巢密度趋于饱和, 朱鹮亲鸟获得食物的难度增加, 从而使朱鹮雏鸟生长期间获得的食物量相对减少, 影响了朱鹮幼鸟的生长发育。我们建议加强朱鹮繁殖地的栖息地保护和觅食地恢复, 尤其是中高海拔朱鹮营巢地的保护力度, 制定切实有效的保护措施, 确保朱鹮繁殖期重要觅食地冬水田的数量和面积稳定。

随着当地社会经济的发展, 朱鹮巢区的人口和青壮年劳动力大量流失, 原本为朱鹮繁殖期重要觅食地的水田被大量弃耕, 加之部分水田在春季进行放水旱地化轮种, 使得巢区内朱鹮的有效觅食地减少, 环境容纳量下降, 进而影响朱鹮幼鸟的正常生长发育。我们建议, 在

朱鹮育雏期加强对朱鹮巢区的保护和巡视,减少对朱鹮成鸟觅食的干扰,保障雏鸟的生长发育。

参 考 文 献

- Badyaev A V, Hill G E, Beck M L, et al. 2002. Sex-biased hatching order and adaptive population divergence in a passerine bird. *Science*, 295(5553): 316–318.
- Bolton M. 1991. Determinants of chick survival in the lesser black-backed gull: relative contributions of egg size and parental quality. *The Journal of Animal Ecology*, 60(3): 949–960.
- Gebhardt-Henrich S, Richner H. 1998. Causes of growth variation and its consequences for fitness // Starck J M R R. *Avian Growth and Development: Evolution within the Altricial-precocial Spectrum*. Oxford: Oxford University Press.
- Haywood S, Perrins C. 1992. Is clutch size in birds affected by environmental conditions during growth? *Proceedings: Biological Sciences*, 249(1325): 195–197.
- Huxley J S. 1932. *Problems of Relative Growth*. Washington, D.C.: Johns Hopkins University Press, 775–777.
- Johnson D H, Krapu G L, Reinecke K J, et al. 1985. An evaluation of condition indices for birds. *The Journal of Wildlife Management*, 49(3): 569–575.
- Killpack T L, Karasov W H. 2012. Growth and development of house sparrows (*Passer domesticus*) in response to chronic food restriction throughout the nestling period. *Journal of Experimental Biology*, 215(Pt 11): 1806–1815.
- Kriengwatana B, Wada H, Macmillan A, et al. 2013. Juvenile nutritional stress affects growth rate, adult organ mass, and innate immune function in zebra finches (*Taeniopygia guttata*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 86(6): 769–781.
- Nilsson J Å, Gårdmark A. 2001. Sibling competition affects individual growth strategies in marsh tit, *Parus palustris*, nestlings. *Animal Behaviour*, 61(2): 357–365.
- Richner H. 1989. Habitat-specific growth and fitness in carrion crows (*Corvus corone corone*). *The Journal of Animal Ecology*, 58(2): 427–440.
- Rosivall B, Szöllösi E, Török J. 2005. Maternal compensation for hatching asynchrony in the collared flycatcher *Ficedula albicollis*. *Journal of Avian Biology*, 36(6): 531–537.
- Slagsvold T, Amundsen T, Dale S. 1995. Costs and benefits of hatching asynchrony in blue tits *Parus caeruleus*. *Journal of Animal Ecology*, 64(5): 563–578.
- 丁长青. 2004. 朱鹮研究. 上海: 上海科技教育出版社.
- 丁长青, 和雪莲, 韩建林. 2011. 一种朱鹮性别鉴定的 PCR 方法. 中国专利 1002134600A. [P/OL]. [2011-07-27]. <http://epub.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=SCOD>.
- 刘荫增. 1981. 朱鹮在秦岭的重新发现. *动物学报*, (3): 273.
- 史东仇, 于晓平, 路宝忠, 等. 1991. 朱鹮雏鸟的生长发育与行为的研究. *西北大学学报*, 21(增刊): 15–24.
- 王超, 刘冬平, 庆保平, 等. 2014. 野生朱鹮的种群数量和分布现状. *动物学杂志*, 49(5): 666–671.