兽类学报，2025，45（1）：128－136
*Acta Theriologica Sinica* DOI：10. 16829/j. slxb. 150874

# 人工育幼的黑猩猩幼仔体重变化

杨欣怡[1#] 范宝丹[1#] 李睿孜[1] 史建[2] 韩晶晶[3] 李静[2] 张媛媛[2]
张姝[2] 曹越[3] 姚琳[3] 周娜[2] 刘学锋[2*] 刘定震[1*]
（1 北京师范大学生命科学学院，生物多样性科学与生态工程教育部重点实验室，北京 100875）（2 北京动物园管理处，圈养野生动物技术北京市重点实验室，北京 100044）（3 大连森林动物园有限公司，大连 116013）

**摘要：**圈养环境条件下黑猩猩产后弃婴频繁发生，此时需要人工哺育并对幼仔日常生长发育状况进行实时监测和评估。体重是反映个体生长发育和营养状况的一个重要指标。然而，有关婴幼黑猩猩体重变化规律的研究，迄今尚未见详细报道。本研究基于1999—2015年6只出生后遭遗弃转为人工育幼的黑猩猩幼仔（2雌4雄）在12月龄内体重的数据，首先建立了体重-日龄线性回归模型，然后以广义线性模型分析了幼仔体重变化与日龄的关系，比较了雌雄幼仔日增重与日增重率的差异。结果显示，黑猩猩幼仔的体重随日龄增长呈线性增加（$y = 0.015\ x + 2.139$, $R^2 = 0.830$, $P = 0.000\ 1$），同日龄的幼仔，雌性个体的体重显著大于雄性（$F = 10.175$, $P < 0.001$）；幼仔日增重和日增重率与其日龄呈显著负相关关系（日增重：$r = -0.067$, $P = 0.035$；日增重率：$r = -0.224$, $P = 0.042$）。在幼仔235日龄前，雌性的日增重显著大于雄性（$F = 1067.2$, $P = 0.014$）；在幼仔184日龄前，雌性的日增重率显著大于雄性（$F = 7.285$, $P < 0.001$）。之后，雌性的上述两个指标均变为小于雄性。本研究结果表明：0～12月龄黑猩猩幼仔的体重、日增重和日增重率存在性二型性。该结果对圈养环境下婴幼黑猩猩的人工育幼具有一定的指导意义。

**关键词：**黑猩猩；幼仔；体重；日龄；性别差异
**中图分类号：**Q958 **文献标识码：**A **文章编号：**1000－1050（2025）01－0128－09

## Changes in body weight of hand-reared chimpanzee infants (*Pan troglodytes verus*)

YANG Xinyi[1#], FAN Baodan[1#], LI Ruizi[1], SHI Jian[2], HAN Jingjing[3], LI Jing[2], ZHANG Yuanyuan[2], ZHANG Shu[2], CAO Yue[3], YAO Lin[3], ZHOU Na[2], LIU Xuefeng[2*], LIU Dingzhen[1*]
(1 *Ministry of Education*, *Key Laboratory of Biodiversity Science and Ecological Engineering*, *College of Life Sciences*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*)
(2 *Beijing Zoo Management Office*, *Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technology*, *Beijing* 100044, *China*)
(3 *Dalian Forest Zoo Limited Company*, *Dalian* 116013, *China*)

**Abstract:** Post-parturition infant rejection is common in captive chimpanzee. When this occurs, an immediate hand-rearing is required. Monitoring and observing the infant's development and health status are essential for successful hand-rearing. Body weight serves as an important index of an individual's growth and development and has been widely used in several mammalian species. However, there is currently no literature available on the changes in daily body weight gain in newborn chimpanzee infants. This study aimed to address this gap by monitoring and recording the changes in body weight during the first 12 months of life of six mother-rejected captive-born chimpanzee infants (2 females and 4 males) between 1999 and 2015 at Beijing Zoo and Dalian Forest Zoo. A linear regression model of weight-age was established based on the body weight data. A generalized linear model was then used to analyze the relationship between daily body weight gain and relative daily body weight gain and age by day, as well as to compare the two variables between two genders. The results showed that the body weight of chimpanzee infants increased linearly with age by day

**基金项目：**国家林业和草原局野生动植物保护司（2018-BJ-06）；北京师范大学本科生科研训练与创新创业项目（2022-校级-252）
**作者简介：**杨欣怡（2001-），女，本科生，主要从事动物行为学研究；
范宝丹（2002-），女，本科生，主要从事动物行为学研究．# 共同第一作者
**收稿日期：**2023-11-02；**接受日期：**2024-06-21
＊ 通讯作者，Corresponding authors，E-mail：lxf9722@163. com；dzliu@bnu. edu. cn

($y$ = 0. 015 $x$ + 2. 139, $R^2$ = 0. 830, $P$ = 0. 000 1), with females being significantly heavier than males of the same age by day ($F$ = 10. 175, $P$ < 0. 001). Both daily body weight gain and relative body weight gain decreased significantly with age by day ($r$ = −0. 667, $P$ = 0. 035 and $r$ = −0. 224, $P$ = 0. 042, respectively). The daily body weight gain and relative daily body weight gain in female infants were remarkably larger than those of males until they reached the ages of 235 and 184 days, respectively. Afterward, these two variables in female infants became smaller than those in male infants. Our results demonstrate sexual dimorphism in body weight, daily body weight gain and relative daily body weight gain of chimpanzees aged 0 - 12 months. These findings may provide a theoretical basis for increasing the survival rate of infants and enlarging the population size of chimpanzees in captivity.

**Key words:** Chimpanzee; Cubs; Body weight; Age in days; Gender difference

黑猩猩 (*Pan troglodytes* ssp. ) 被国际自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature) 列为濒危物种 (EN)，栖息地丧失和盗猎是其面临的主要威胁 (Humle *et al.*, 2016)。疾病、衰老和种间冲突是导致野生个体死亡的主要原因 (Nishida *et al.*, 2003)。针对非洲 5 个野生黑猩猩种群的研究表明，0 ~ 1 岁婴幼个体的死亡率为 20. 0% (Hill *et al.*, 2001)，其中，Mahale 种群的幼仔死亡率高达 50. 0% (Nishida *et al.*, 2003)。此外，断乳后至 4. 5 岁的黑猩猩幼仔一旦失去母兽的抚育基本无法存活 (Goodall, 1983; Nishida *et al.*, 2003)。来自群外、群内成年雄性和群内成年雌性个体的杀婴行为是导致婴幼个体死亡的主要原因 (Angst and Thommen, 1977; Goodall, 1977; Nishida, 1979)。婴幼个体的高死亡率严重制约了黑猩猩野生种群的恢复与增长。上述研究表明，降低婴幼黑猩猩幼仔死亡率及促进母兽抚育对野生种群恢复与增长至关重要。

圈养环境条件下黑猩猩的繁育也面临个体死亡率较高的问题 (Courtenay, 1988; Littleton, 2005; Laurence *et al.*, 2017; Havercamp *et al.*, 2019)。比如 1941—2000 年澳大利亚 Taronga 动物园 0 ~ 12 月龄黑猩猩幼仔死亡率为 45. 0% (Littleton, 2005)。1980 年该动物园改善黑猩猩的活动场地条件后，其幼仔死亡率仍高达 19. 1% (Courtenay, 1988)。此外，圈养环境条件下 1 岁及以下幼体的死亡率明显高于野生种群 (Courtenay and Santow, 1989)。比如 1921—2018 年日本圈养黑猩猩中 1 岁及以下幼仔死亡率为 32. 0% (Havercamp *et al.*, 2019)。导致圈养环境条件下黑猩猩幼仔死亡的主要原因包括疾病、其他个体的攻击和母兽关怀不周 (Laurence *et al.*, 2017; Havercamp *et al.*, 2019)。其中，母兽产后弃婴是母兽关怀不周的主要表现，是导致圈养环境条件下婴幼个体死亡率偏高的直接原因 (Havercamp *et al.*, 2019)。此外，在人工抚育被遗弃的黑猩猩幼仔的过程中，饲养员对圈养环境条件幼仔生长发育规律了解不足，也是导致圈养环境下黑猩猩幼仔死亡率偏高的一个原因。在积极探索和研究黑猩猩母兽弃婴原因并鼓励母兽抚育的同时，应加强对人工育幼条件下婴幼期黑猩猩生长发育规律的研究，对提高被遗弃黑猩猩婴幼个体的存活率，降低圈养黑猩猩幼仔死亡率，增加圈养种群数量具有重要意义。

体重是判断幼年哺乳动物个体生长发育和健康状况的一个重要指标，通过监测个体的体重变化，可实时了解其生长发育和营养状况并及时调整饲养和管理措施。以往曾有学者用体重评估了大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) (黄祥明等，2021) 和马来穿山甲 (*Manis javanica*) (Yan *et al.*, 2022) 幼仔的生长发育和健康状况。Reamer 等 (2020) 以体重和形态特征建立了圈养黑猩猩肥胖评估指标体系，但该体系并不适用于年龄较小的婴幼个体。Marzke 等 (1996a, 1996b) 研究了黑猩猩幼仔体重变化，同时分析了体重变化与育幼环境的关系，但时间以“年”或“月”为单位。Cole 等 (2020) 发现成年黑猩猩的体重随个体年龄的增长而增大，但该研究中缺乏婴幼年个体的数据。此外，圈养黑猩猩在体型上存在典型的性二型性 (Walker *et al.*, 2006)，成年雄性较雌性体型大、身体质量高 (Videan *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2011)，而且圈养雄性个体的体重增加速度比雌性快 (Curry *et al.*, 2023)。然而，针对遭母兽遗弃被迫转为人工育幼的婴幼黑猩猩，其日增重和日增重率随其日龄变化的研究却鲜有报道。基于以往的研究，假设人工育幼的黑猩猩幼仔体重随日龄增长呈线性增加，而且体重及其增长率存在性二型性。

为验证该假说，本研究以来自北京动物园和大连森林动物园6只人工育幼的黑猩猩 (*Pan troglodytes verus*) 幼仔为研究对象，监测并记录其体重随日龄变化的数据，分析个体日增重和日增重率随日龄增长的变化情况以及性别差异。本研究的目的，旨在总结人工育幼条件下黑猩猩幼仔体重的变化规律和性别差异，为优化人工育幼方案和提高圈养黑猩猩幼仔存活率提供依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究对象

研究对象为来自北京动物园和大连森林动物园的6只黑猩猩幼仔 (表1)。其中，北京动物园4只 (2只雄性，2只雌性)，大连森林动物园2只 (雄性)。因恐惧或疾病等原因，上述两家单位饲养的黑猩猩母兽在分娩后拒绝接受新生幼仔。经饲养员诱导并鼓励黑猩猩母兽抱握和哺育新生幼仔的尝试失败后，饲养员立即将新生幼仔取出进行人工育幼。

### 1.2 人工育幼方法

将被黑猩猩母兽弃养的幼仔，放入婴儿培养箱 (YP-100，戴维医疗器械有限公司，浙江宁波) 进行人工育幼。培养箱温湿度设置和育幼方法参考毕延台等 (2015)，并略作调整。设定培养箱温度33 ℃，相对湿度55%。所饲喂食物主要以配方乳 (雀巢奶粉，雀巢集团，北京) 为主，再辅以蛋黄、果汁、米粉、蔬菜和水果等 (表2)。根据幼仔日龄和生长发育状况，在育幼初期，将配方乳以奶粉和水按照质量比1∶7冲配后，以人类婴儿用奶瓶 (温度控制在42 ℃) 手动饲喂，每日喂食5～8次。每只幼仔的配方乳日总摄入量为其体重的10%～15% (倪俊等，2020)。在幼仔1～20日龄期间，平均每天饲喂7～8次。待幼仔适应配方乳后，在满足当日摄入总量的前提下逐渐将喂乳频次从每天7～8次调整为3～4次，并根据幼仔年龄和生长发育状况，减少每天的饲喂次数。在幼仔300日龄时，平均每天饲喂2～4次。

**表1 北京和大连森林动物园人工育幼黑猩猩幼仔的信息**

Table 1 Information of chimpanzee infants hand-reared at Beijing Zoo and Dalian Forest Zoo

| 名称 Name | 性别 Gender | 出生日期 Birth day | 来源 Source | 出生体重 Birth weight/kg | 称重总次数 Total number of weights |
|---|---|---|---|---|---|
| 丫丫 Yaya | 雌性 Female | 1999-05-29 | 北京 Beijing | 2.330 | 100 |
| 飞飞 Feifei | 雄性 Male | 2003-05-23 | 北京 Beijing | 1.900 | 299 |
| 脐脐 Qiqi | 雌性 Female | 2010-01-26 | 北京 Beijing | — | 145 |
| 思思 Sisi | 雄性 Male | 2010-07-28 | 北京 Beijing | 1.790 | 288 |
| 巧克力 Qiaokeli | 雄性 Male | 2012-11-05 | 大连 Dalian | 1.686 | 72 |
| 迪森 Disen | 雄性 Male | 2015-07-16 | 大连 Dalian | 2.125 | 78 |

—：个体出生体重数据缺失
—: indicates the birth bodyweight data of this infant is missing

**表2 北京和大连森林动物园人工育幼黑猩猩幼仔的食谱**

Table 2 Daily diet of hand-reared chimpanzee infants at Beijing Zoo and Dalian Forest Zoo

| 动物园名称 Zoo name | 0～3月龄 0－3 months | 4～6月龄 4－6 months | 7～9月龄 7－9 months | 10～12月龄 10－12 months |
|---|---|---|---|---|
| 北京动物园 Beijing Zoo | 蛋黄,米粉,橙汁 Yolk, rice flour, orange juice | 蛋黄,米粉,橙汁,水果,蔬菜 Yolk, rice flour, orange juice, fruits, vegetables | 蛋黄,米粉,橙汁,水果,蔬菜 Yolk, rice flour, orange juice, fruits, vegetables | 蛋黄,水果汁,米粉,蔬菜,水果,少量坚果,淀粉类食物 Yolk, juice, rice flour, vegetables, fruits, nuts, starchy food |
| 大连森林动物园 Dalian Forest Zoo | 蛋黄 Yolk | 蛋黄,橙汁,水果 Yolk, orange juice, fruits | 蛋黄,橙汁,米粉,水果 Yolk, orange juice, rice flour, fruits | 蛋黄,米粉,饼干,面包,混合水果,熟牛肉 Yolk, rice flour, biscuits, bread, fruits, cooked beef |

### 1.3 数据收集与处理

为排除进食对幼仔体重测量结果的影响，一般在早上08: 00—08: 30喂食前，饲养员使用电子秤 (YP50001，精确度0.1 g，上海景迈仪器设备有限公司，上海) 称量并记录幼仔体重。在幼仔100日龄前，每日称量1次，之后每2～5 d称量1次。因为两个单位的饲养员采集幼仔体重数据的日期间隔不一致，在相同日龄时未能获得全部幼仔的体重数据 (表1)，加之不同个体间的体重差异较大，采用平均值不能准确反映幼仔体重的变化规律。因此，以每只幼仔为单位，单独计算并分析其体重随日龄的变化。然后，再分别计算每只幼仔的日增重和日增重率。

幼仔$n$日龄时的日增重：

$$\Delta W_{YYn} = W_{YYn} - W_{YY(n-1)} \quad (1)$$

幼仔 $n$ 日龄时的日增重率：

$$R_{YYn} = \frac{W_{YYn} - W_{YY(n-1)}}{W_{YY(n-1)}} \quad (2)$$

其中 $W$ 表示体重 (kg)，$n$ 表示幼仔日龄 (d)。

1.4　数据统计分析

考虑不同幼仔间体重数据的较大差异和数据采集日期不统一可能对统计分析结果的影响，首先采用局部加权回归散点平滑法 (Locally Weighted Scatterplot Smoothing, LOWESS) 对 6 只幼仔的体重数据进行了生长曲线拟合，并检查散点图趋势。LOWESS 是一种非参数回归方法，之前曾被用于拟合黑猩猩幼仔 (Marzke *et al.*, 1996a) 和草原狒狒 (*Papio cynocephalus*) 的体重增长曲线 (Moses *et al.*, 1992)。LOWESS 法的核心思路是以一个点 $x$ 为中心，向前后截取一段长度为 *frac* 的数据 ($f$)，对该段数据用权值函数 $W$ 做一个加权的线性回归，记 $(x, \hat{y})$ 为该回归线的中心值，其中 $\hat{y}$ 为拟合曲线的对应值。那么，依此对所有的 $n$ 个数据点则可做出 $n$ 条加权回归线，每条回归线中心值的连线则为该段数据的 LOWESS 曲线。$f$ ($0 < f < 1$) 代表的是应该截取多长的数据作局部处理，$f$ 越小，LOWESS 曲线的平滑度越差，也容易偏离回归。通常认为截取 $f \leqslant 0.5$ 时，LOWESS 曲线可以较好地反映数据的变化趋势，同时结合曲线是否偏离回归，判断数据分布是否符合线性回归模型 (Moses *et al.*, 1992)。在检查并确认体重数据的 LOWESS 分析结果符合线性回归模型后，再利用该模型对黑猩猩幼仔体重与日龄的关系进行拟合。然后，采用广义线性模型 (Generalized Linear Model, GLM) 对不同性别幼仔的体重、日增重和日增重率进行比较分析，并分别将体重、日增重及日增重率与幼仔日龄做相关分析。

数据的统计分析过程，使用 R 程序 (4.2.2) 与 SPSS 26.0 (IBM SPSS Corporation, New York) 完成，数据以平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示，全部检验为双尾检验，显著性水平为 0.05。

## 2　结果

2.1　人工育幼黑猩猩幼仔在 12 月龄内的体重变化

2.1.1　LOWESS 法判定幼仔体重变化的模型类型

从 0.25 到 0.05，逐级以 0.05 为梯度截取不同的 $f$ 对幼仔体重数据变化曲线进行拟合，结果发现，当 $f$ 为 0.1 时，曲线比较平滑、无明显偏离回归现象。这说明整体数据符合线性规律，可以使用线性模型拟合 (图 1)。

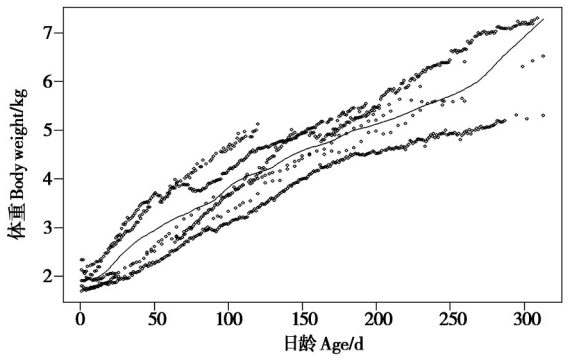


图 1　采用 LOWESS 法 ($f$ = 0.1) 对黑猩猩幼仔 ($n$ = 6) 的 982 个体重数据 (菱形) 进行拟合的结果 (实线)

Fig. 1　The fitting curve (solid line) of body weight with age based on 982 data points (diamond) of infants chimpanzees ($n$ = 6) using LOWESS method ($f$ = 0.1)

2.1.2　幼仔体重变化与日龄的关系

基于 6 只黑猩猩幼仔的体重数据，采用线性回归模型拟合体重增长曲线，得到置信区间为 95% 的线性回归模型 (图 2)：$y = 0.015x + 2.139$ ($R^2$ = 0.830, $P$ = 0.000 1)。相关分析结果显示，幼仔体重与其日龄呈显著正相关关系 (相关系数 $r$ = 0.921，$P$ = 0.000 1)。人工育幼、不满 12 月龄的黑猩猩幼仔体重随日龄增加而显著增大 (图 2)。

2.1.3　不同性别幼仔体重变化与日龄的关系

利用线性回归模型分别对雌、雄幼仔的体重与日龄的关系进行拟合，得到置信区间为 95% 的线性回归模型：雌性，$y = 0.015x + 2.486$ ($R^2$ = 0.838, $P$ = 0.000 1, $n$ = 2)；雄性，$y = 0.016x + 1.975$ ($R^2$ = 0.849, $P$ = 0.000 1, $n$ = 4)。

12 月龄内的同日龄幼仔，雌性的体重显著大于雄性 ($F$ = 10.175, $P$ = 0.000 1)，表明性别对体重有显著影响。雄性幼仔的体重增长率较雌性高 0.1%，随着幼仔日龄的增长，雌雄间的体重差异逐渐减小 (图 3)。

2.1.4　黑猩猩幼仔日增重和日增重率变化

根据幼仔日增重和日增重率与日龄的散点图，数据点离散分布于基线上下，变化无规律，未能拟合出合适的回归模型。对日增重和日龄的相关分析结果显示，12 月龄内幼仔的日增重与日龄呈

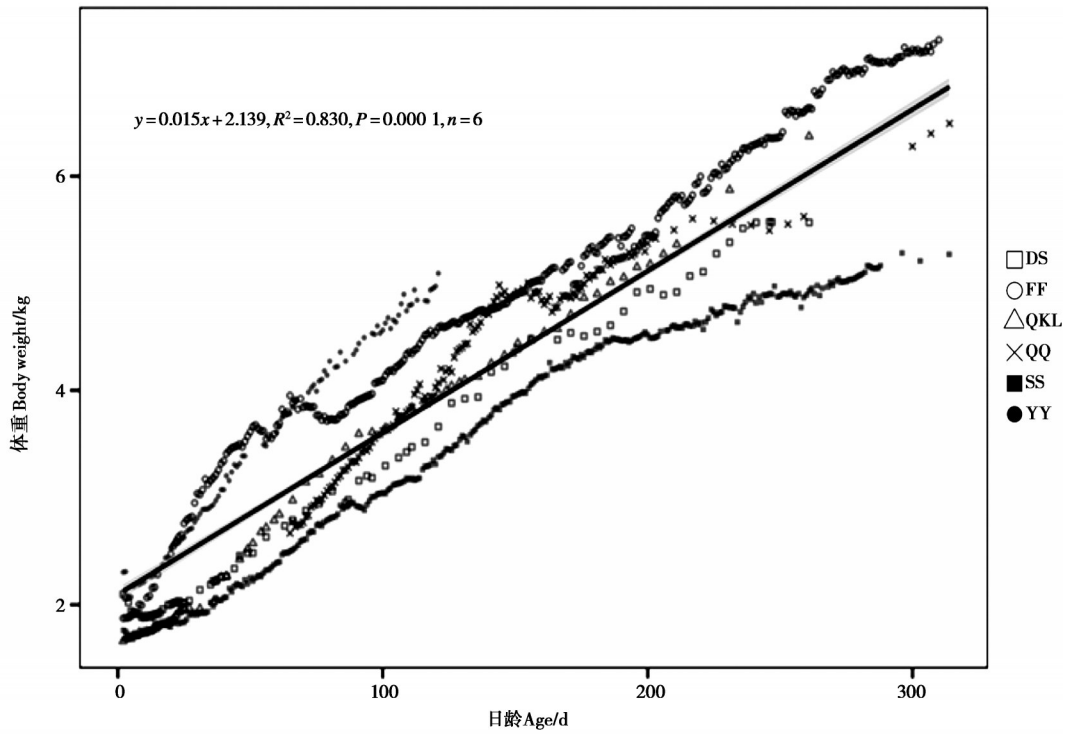


图2 黑猩猩幼仔 ($n$ = 6) 体重随日龄的变化和线性回归拟合. DS：迪森；FF：飞飞；QKL：巧克力；QQ：脐脐；SS：思思；YY：丫丫；实线为拟合结果，阴影部分为95%的置信区间

Fig. 2 The changes of infant chimpanzees' body weight ($n$ = 6) with age fitted with linear regression method. DS: Disen; FF: Feifei; QKL: Qiaokeli; QQ: Qiqi; SS: Sisi; YY: Yaya. The solid line is the estimated line. The shadow area is the 95% confidence interval

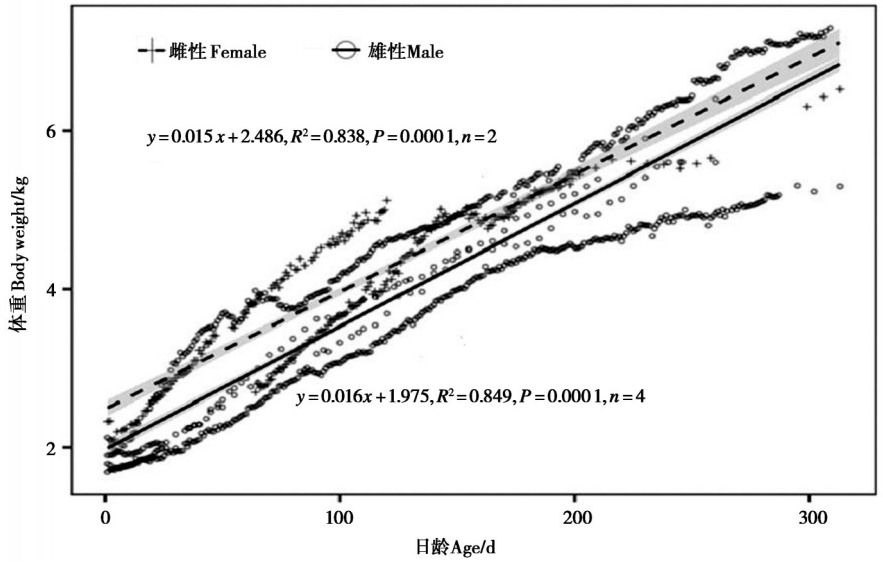


图3 雌性 ($n$ = 2) 和雄性 ($n$ = 4) 黑猩猩幼仔体重随日龄的变化. 6只个体总计982个数据，虚线和实线分别为雌性和雄性的体重拟合曲线，阴影部分为95%的置信区间

Fig. 3 The change of female ($n$ = 2) and male ($n$ = 4) infant chimpanzees' body weight with age (linear regression method). A total of 982 data were collected from 6 individuals. The dotted line shows the female estimated line, the solid line shows the male estimated line. The shadow area are the 95% confidence intervals

显著负相关关系 (GLM, $r$ = − 0. 067, $P$ = 0. 035, $n$ = 6)。雌性幼仔的平均日增重 [(0. 022 ± 0. 053) kg, $n$ = 2] 显著大于雄性幼仔 [(0. 014 ± 0. 038) kg, $n$ = 4] (GLM, $F$ = 1067. 2, $P$ = 0. 014) (图4)。在235日龄前，

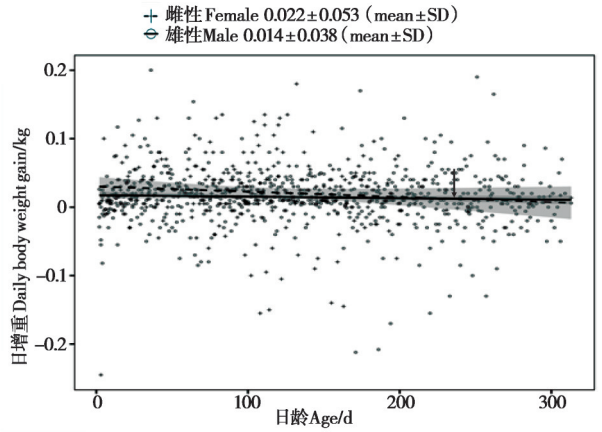


图4　雌性 ($n$ = 2) 和雄性 ($n$ = 4) 黑猩猩幼仔日增重与日龄散点图．阴影部分为95%的置信区间，黑色色箭头表示雌雄日增重相同的日龄 (235日龄)

Fig. 4　The plots of daily body weight gain of female ($n$ = 2) and male ($n$ = 4) infant chimpanzees with their age by day. The shadow area is the 95% confidence interval, and the black arrow indicates the age by day (235 days) on when the female and male infants show an equal daily body weight gain

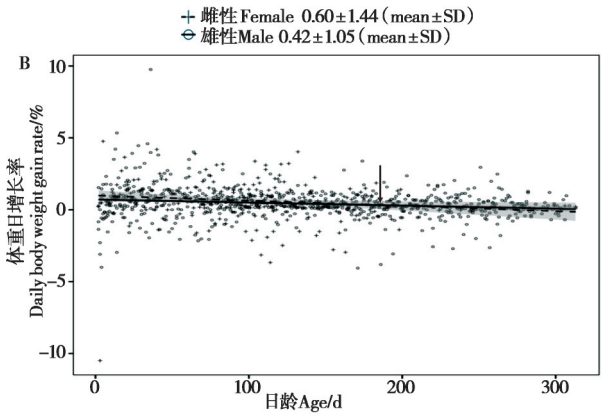


图5　雌性 ($n$ = 2) 和雄性 ($n$ = 4) 黑猩猩幼仔体重日增长率与日龄散点图．阴影部分为95%的置信区间，黑色箭头表示雌雄日增重相同的日龄 (184日龄)

Fig. 5　The plots of relative daily body weight gain of female ($n$ = 2) and male ($n$ = 4) infant chimpanzees with their age by day. The shadow area is the 95% confidence interval, and the black arrow indicates the age by day (184 days) on when female and male infant chimpanzees with equal relative daily body weight gain

雌性幼仔的日增重大于雄性幼仔，之后变为小于雄性幼仔 (图4)。对幼仔日增重率和日龄的相关分析结果显示，12月龄内幼仔的日增重率与日龄也呈显著负相关关系 ($r$ =−0. 224, $P$ = 0. 042, $n$ = 6)。雌性幼仔的平均日增重率 (0. 60% ± 1. 44%, $n$ = 2) 显著大于雄性幼仔 (0. 42% ± 1. 05%, $n$ = 4) (GLM, $F$ = 7. 285, $P$ = 0. 000 1) (图5)。在184日龄前，雌性幼仔的日增重率大于雄性幼仔，之后变为小于雄性幼仔 (图5)。

## 3　讨论

本研究发现全人工育幼的黑猩猩幼仔在幼年早期，雌雄个体的体重均呈规律性快速增长，体重与日龄的关系符合线性模型，且雌性幼仔的体重大于雄性幼仔。该结果支持黑猩猩幼仔在体重上存在性二型性以及体重随年龄增长呈现线性增长的假说。同时，随着幼仔日龄的增加，雌性个体的日增重和日增重率从大于雄性逐渐变为小于雄性。

人工育幼的黑猩猩幼仔1岁前体重变化规律与以往报道的人工育幼和母兽育幼的个体体重变化规律相同 (Spence and Yerkes, 1937; Marzke *et al.*, 1996a; Cole *et al.*, 2020)。在幼仔早期发育过程中，不同性别个体的体重均表现为随年龄增长而显著增加，区别在于不同研究中雌、雄幼仔的体重增长率不同。本研究中雌性幼仔的日增重和日增重率均高于雄性。Spence 和 Yerkes (1937) 曾报道人工育幼雌雄个体的平均日增重率为 (0. 469% ± 0. 463%，这明显低于本研究的雌性个体，而大于雄性个体。同时，本研究与 Spence 和 Yerkes (1937) 所报道的日增重率都高于Marzke等 (1996a) 所报道的人工育幼的黑猩猩幼仔 (雌性：0. 332% ± 0. 126%，$n$ = 59；雄性：0. 285% ± 0. 107%，$n$ = 28) 和母兽育幼的幼仔 (雌性：0. 224% ± 0. 068%，$n$ = 32；雄性：0. 233% ± 0. 079%，$n$ = 38)。不同黑猩猩饲养单位及其饲养员在饲养管理、操作程序、饲养环境和食物等方面的差异，都可能是造成幼仔日增重率不同的原因。因此，不同饲养单位有必要采用国际统一的饲养管理规范和操作，开展黑猩猩的人工育幼工作。此外，本研究和其他人工育幼的黑猩猩幼仔日增重率较母兽育幼的幼仔高，并非表明人工育幼优于母兽育幼。毋庸置疑，黑猩猩母乳喂养要优于人工育幼中的配方乳，而且营养物质含量丰富，同时还促进了母−幼之间在行为与情感上的互动与交流，确保幼仔行为和心理发育正常。而人工育幼则不具备这些功能，人工饲喂配方乳明显较母乳喂养更容易导致幼仔体重增加 (Cerasani *et al.*, 2020)。

日增重和日增重率在性别差异方面，本研究结果显示雌性幼仔日增重和日增重率均显著大于雄性幼仔。在个体发育早期，雌性幼仔可能具有一些生理和行为上的优势，导致其体重增长较同龄的雄性个体快 (Lonsdorf *et al.*, 2014; Bădescu *et al.*, 2020)。然而，随着日龄的增加，在一定的日龄 (235 日龄和 184 日龄)，雄性黑猩猩幼仔的日增重和日增重率会赶上并超过雌性幼仔。不过，本研究结果与 Spence 和 Yerkes (1937) 以及 Marzeke 等 (1996a) 的结果都不一致。Spence 和 Yerkes (1937) 的研究结果为人工育幼的雄性幼仔日增重率 (0.492% ± 0.503%) 高于雌性幼仔 (0.446% ± 0.422%)，而 Marzeke 等 (1996a) 则未发现幼仔的上述两个与体重有关的参数存在显著的性别差异。我们认为，除上文中所提及人工育幼过程中饲养方面的影响因素外，个体出生体重的不同和人工育幼开始时幼仔的日龄，可能是导致不同研究中体重变化的性别差异结果不一致的主要原因。

此外，本研究中黑猩猩幼仔体重随日龄变化呈线性增长，也与以往针对其他圈养灵长类动物幼仔，如山魈 (*Mandrillus sphinx*) (邓家波等，2006)、领狐猴 (*Varecia variegata*) (倪俊等，2020) 和马来亚长臂猿 (也称合趾猿，*Symphalangus syndactylus*) (王长美等，2022) 的研究结果一致，但与白脸僧面猴 (*Pithecia pithecia*) 和戴帽长臂猿 (*Hylobates pileatus*) 的幼仔体重变化趋势略有不同。白面僧面猴在 60 ~ 123 日龄体重无明显增加，123 ~ 180 日龄体重呈持续增长趋势，总体增重率为 129.36% (毕靖征等，2021)。戴帽长臂猿在 225 日龄前体重呈递增趋势，但在 225 ~ 240 日龄时出现了负增长 (黄小妹等，2021)。这两种灵长类动物幼仔体重增长趋势与本研究不同，其原因可能与饲喂方式、食谱、地理位置以及研究时间段等多种因素有关。比如在针对白面僧面猴的研究中，初期幼仔由母兽喂养，60 日龄后转为人工哺育，且研究仅记录了幼仔 180 日龄内的体重变化，而本研究记录了幼仔 12 月龄的体重变化。对戴帽长臂猿幼仔的研究条件虽与本研究类似，但幼仔食谱中并未包含坚果类食物，且研究地点为广西南宁动物园，相比于本研究的北京动物园与大连森林动物园，其地理位置偏南，气候条件也与本研究的两个动物园不同。因此，基于体重研究灵长类幼仔生长发育变化规律及性别差异的原因，需要采用集合分析 (meta-analysis) 的方法，消除因物种、饲养方式和食谱等差异对研究结果带来的影响。

哺乳动物的幼仔紧密依赖母兽完成其生长发育过程 (Bales, 2017)。除需要从母兽获取食物——乳汁以外，幼仔还需要借助与母兽的互动和交流，完成其神经系统的发育和行为学习过程。以往研究表明，黑猩猩在新生儿期完成 40% 的大脑发育 (DeSilva and Lesnik, 2006)，缺少母兽抚育会导致幼仔身体生长和大脑发育变缓、肌肉质量下降 (Samuni *et al.*, 2020)。母兽剥夺或缺失对野生黑猩猩的生存、繁殖和社会地位高低等均有影响，且该影响能持续十年之久 (Crockford *et al.*, 2020)。因此，除借助体重评估个体生长发育、健康和营养状况外，同时还要考虑其他的一些指标，如行为和神经系统的发育状况，对个体的生长发育进行全面评估，在提高个体存活率的同时，改善圈养黑猩猩的种群质量。

本研究存在一定的局限性。首先，本研究采用的样本均为母兽弃养后被迫转为人工抚育的黑猩猩幼仔，样本数量偏少。此外，虽然北京和大连两家单位均严格按照中国动物园协会制订的《圈养黑猩猩饲养管理标准》饲养和管理这些黑猩猩幼仔，但是具体到每只个体的食谱、身体状况等可能有所不同，给研究结果造成一定的偏差。同时，北京和大连两地的气候条件和饲养管理模式等可能还存在一定的差异。最后，两家单位的饲养员在采集和记录数据的方法与日期间隔上缺乏一致性，也影响了整体实验数据的完整性和一致性，从而影响本研究结果的参考价值。未来的研究中应当统一数据记录的标准和方法，以更好地探究黑猩猩幼仔体重随日龄的变化规律。

## 4 结论与建议

本研究中，人工哺育的黑猩猩幼仔与母兽哺育的个体体重增长规律基本相同，雌性个体的体重显著大于雄性，在体重、日增重和日增重率上表现出性二型性。日增重与日增重率随日龄增加而逐渐减小，且雌性幼仔的日增重率从大于雄性逐渐变为小于雄性幼仔。

本研究所建立的黑猩猩幼仔体重增长模型为评估圈养黑猩猩幼仔的生长发育和健康状况提供

了可靠参考，对于圈养黑猩猩的健康监测具有一定的指导作用。在未来的黑猩猩饲养管理中，首先，应考虑加强对黑猩猩母兽弃婴原因以及影响因素的研究，矫正母兽的弃婴、伤婴行为，努力实现母兽抚育；其次，研究并模拟与母兽抚育相似的饲喂条件，一旦发生弃婴，可尽快处理并避免因母兽弃养而造成幼仔死亡；再次，应考虑在前期人工哺育经验和理论框架基础上，根据不同个体生长发育情况制定适宜的育幼方案，以增加人工育幼方法的灵活性，如根据本研究中雌性幼仔的日增重率在184日龄左右由大于雄性逐渐变为小于雄性幼仔的结果，适时调整雌雄幼仔的食谱，关注雌雄幼仔的体重变化；最后，黑猩猩幼仔的出生体重与生长发育和未来存活显著相关，应提早关注怀孕黑猩猩的身体状况，监测孕期母黑猩猩的营养与健康情况，并在其食谱中增加营养物质的含量，以确保胎儿期幼仔体重的正常。

**致谢：**感谢北京动物园与大连森林动物园的工作人员对本研究提供的帮助，感谢北京师范大学生命科学学院闫拯、刘晓燕、史闰涵和申思嘉等对本研究提供的建设性意见。

**参考文献：**

Andrade M C R, Higgins P B, Mattern V L, De la Garza M A, Brasky K M, Voruganti V S, Comuzzie A G. 2011. Morphometric variables related to metabolic profile in captive chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Comparative Medicine*, **61** (5): 457−461.

Angst W, Thommen D. 1977. New data and a discussion of infant killing in old-world monkeys and apes. *Folia Primatologica*, **27** (3): 198−229.

Bădescu I, Sicotte P, Sandel A A, Desruelle K J, Curteanu C, Watts D P, Sellen D W. 2020. Premasticated food transfer by wild chimpanzee mothers with their infants: effects of maternal parity, infant age and sex, and food properties. *Journal of Human Evolution*, **143**. DOI: 10. 1016/j. jhevol. 2020. 102794.

Bales K L. 2017. Parenting in animals. *Current Opinion in Psychology*, **15**: 93−98.

Bi J Z, Zhang Q, Wang Y J, Ma G L, Sun S Q. 2021. A preliminary study on hand-raising a mother-abandoned infant of white-face saki (*Pithecia pithecia*). *Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, (5): 41−44. (in Chinese)

Bi Y T, Sun G Y, Yao L. 2015. Hand−rearing infant of chimpanzee and captive reproduction. *Heilongjiang Animal Reproduction*, **23** (1): 42−43. (in Chinese)

Cerasani J, Ceroni F, De Cosmi V, Mazzocchi A, Morniroli D, Roggero P, Mosca F, Agostoni C, Giannì M L. 2020. Human milk feeding and preterm infants' growth and body composition: A literature review. *Nutrients*, **12** (1). DOI: 10. 3390/nu12041155.

Cole M F, Cantwell A, Rukundo J, Ajarova L, Fernandez-Navarro S, Atencia R, Rosati A G. 2020. Healthy cardiovascular biomarkers across the lifespan in wild−born chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, **375** (1811). DOI: 10. 1098/rstb. 2019. 0609.

Courtenay J. 1988. Infant-mortality in mother-reared captive chimpanzees at Taronga Zoo, Sydney. *Zoo Biology*, **7** (1): 61−68.

Courtenay J, Santow G. 1989. Mortality of wild and captive chimpanzees. *Folia Primatologica*, **52**: 167−177.

Crockford C, Samuni L, Vigilant L, Wittig R M. 2020. Postweaning maternal care increases male chimpanzee reproductive success. *Science Advances*, **6** (38). DOI: 10. 1126/sciadv. aaz5746.

Curry B A, Drane A L, Atencia R, Feltrer Y, Howatson G, Calvi T, Palmer C, Moittie S, Unwin S, Tremblay J C, Sleeper M M, Lammey M L, Cooper S, Stembridge M, Shave R. 2023. Body mass and growth rates in captive chimpanzees (*Pan troglodytes*) cared for in African wildlife sanctuaries, zoological institutions, and research facilities. *Zoo Biology*, **42** (1): 98−106.

De Silva J, Lesnik J. 2006. Chimpanzee neonatal brain size: Implications for brain growth in *Homo erectus*. *Journal of Human Evolution*, **51** (2): 207−212.

Deng J B, Wu K J, Wang Q, Niu L L, Yu K M, Hao K C. 2006. Hand−raising infant of mandrill (*Mandrillus sphinx*). *Journal of Sichuan Zoology*, **25** (4): 878−880. (in Chinese)

Goodall J. 1977. Infant killing and cannibalism in free-living chimpanzees. *Folia Primatologica*, **28** (4): 259−282.

Goodall J. 1983. Population−dynamics during a 15 year period in one community of free-living chimpanzees in the Gombe National Park, Tanzania. *Zeitschrift Fur Tierpsychologie-Journal of Comparative Ethology*, **61** (1): 1−60.

Havercamp K, Watanuki K, Tomonaga M, Matsuzawa T, Hirata S. 2019. Longevity and mortality of captive chimpanzees in Japan from 1921 to 2018. *Primates*, **60** (6): 525−535.

Hill K, Boesch C, Goodall J, Pusey A, Williams J, Wrangham R. 2001. Mortality rates among wild chimpanzees. *Journal of Human Evolution*, **40** (5): 437−450.

Huang X M, Feng Y Y, Lan J C, Wu K J, Yang K X, Peng W P, Yuan B, Xie Y, Wang S Q, Chen M, Deng T. 2021. Changes in body weight of captive giant panda cubs at early age. *Acta Theriologica Sinica*, **41** (2): 224−234. (in Chinese)

Huang X M, Huang C H, Liang T T, Zhang L L, Wang S. 2021. A prelinmary study on hand−raising and adaptation to environment after weaning in the pileated gibbon (*Hylobates pileatus*). *Guangxi Journal of Husbandry and Veterinary Medicine*, **37** (4): 184−186. (in Chinese)

Humle T, Maisels F, Oates J F, Plumptre A, Williamson E A. 2016. *Pan troglodytes*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e. T15933A102326672.

Laurence H, Kumar S, Owston M A, Lanford R E, Hubbard G B, Dick E J. 2017. Natural mortality and cause of death analysis of the captive chimpanzee (*Pan troglodytes*): A 35−year review. *Journal of Medical Primatology*, **46** (3): 106−115.

Littleton J. 2005. Fifty years of chimpanzee demography at Taronga Park Zoo. *American Journal of Primatology*, **67** (3): 281−298.

Lonsdorf E V, Markham A C, Heintz M R, Anderson K E, Ciuk D J, Goodall J, Murray C M. 2014. Sex differences in wild chimpanzee behavior emerge during infancy. *PLoS ONE*, **9** (6). DOI: 10. 1371/journal. pone. 0099099.

Marzke M W, Young D, Fritz J. 1996a. Weight gain in captive chimpanzee infants: Comparisons by sex, rearing, and colony. *American Journal of Primatology*, **38** (2): 133−144.

Marzke M W, Young D L, Hawkey D E, Su S M, Fritz J, Alford P L. 1996b. Comparative analysis of weight gain, hand/wrist maturation, and dental emergence rates in chimpanzees aged 0−24 months from varying captive environments. *American Journal of Physical Anthropology*, **99** (1): 175−190.

Moses L E, Gale L C, Altmann J. 1992. Methods for analysis of unbalanced, longitudinal, growth data. *American Journal of Primatology*, **28**: 49−59.

Ni J, Zhu Y D, Zhu W L. 2020. Artificial brood of *Varecia variegate*. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, **10**: 138−139, 148. (in Chinese)

Nishida T. 1979. The social structure of chimpanzees of the Mahale mountains. In: Hamburg D A, McCown E R eds. *The Great Apes*. Menlo Park, California: The Benjamin/Cummings Publishing Compary, 73−121.

Nishida T, Corp N, Hamai M, Hasegawa T, Hiraiwa-Hasegawa M, Hosaka K, Hunt K D, Itoh N, Kawanaka K, Matsumoto-Oda A, Mitani J C, Nakamura M, Norikoshi K, Sakamaki T, Turner L, Uehara S, Zamma K. 2003. Demography, female life history, and reproductive profiles among the chimpanzees of Mahale. *American Journal of Primatology*, **59** (3): 99−121.

Reamer L A, Webb S J N, Jones R, Thiele E, Haller R L, Schapiro S J, Lambeth S P, Hanley P W. 2020. Validation and utility of a body condition scoring system for chimpanzees (*Pan troglodytes*). *American Journal of Primatology*, **82** (10). DOI: 10. 1002/ajp. 23188.

Samuni L, Tkaczynski P, Deschner T, Lohrrich T, Wittig R M, Crockford C. 2020. Maternal effects on offspring growth indicate post−weaning juvenile dependence in chimpanzees (*Pan troglodytes verus*). *Frontiers in Zoology*, **17** (1). DOI: 10. 1186/s12983−019−0343−8.

Spence K W, Yerkes R M. 1937. Weight, growth and age in chimpanzee. *American Journal of Physical Anthropology*, **22**: 229−246.

Videan E N, Fritz J, Murphy J. 2007. Development of guidelines for assessing obesity in captive chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Zoo Biology*, **26** (2): 93−104.

Walker R, Hill K, Burger O, Hurtado A M. 2006. Life in the slow lane revisited: Ontogenetic separation between chimpanzees and humans. *American Journal of Physical Anthropology*, **129** (4): 577−583.

Wang C M, Ge C, Wang Q, Li W, Mei S H, Zhao C C, Sun W D. 2022. A preliminary study on artificial breeding of siamang. *Chinese Journal of Wildlife*, **43** (2): 508−512. (in Chinese)

Yan D Y, Zeng X Y, Jia M M, Guo X B, Que T C, Tao L, Li M Z, Li B C, Chen J Y, Xu S H, Hua Y, Wu S B, Zeng P, Li S S, Wei Y J. 2022. Weaning period and growth patterns of captive Sunda pangolin (*Manis javanica*) cubs. *PLoS ONE*, **17** (9). DOI: 10. 1371/journal. pone. 0272020.

王长美, 葛超, 王倩, 李薇, 梅素红, 赵春晨, 孙伟东. 2022. 合趾猿的人工育幼. 野生动物学报, **43** (2): 508−512.

邓家波, 吴孔菊, 王强, 牛李丽, 余星明, 郝克创. 2006. 山魈初生幼仔人工育幼. 四川动物, **25** (4): 878−880.

毕延台, 孙贵媛, 姚琳. 2015. 黑猩猩的饲养繁殖及人工育幼. 黑龙江动物繁殖, **23** (1): 42−43.

毕靖征, 张琴, 王艳君, 马广乐, 孙时奇. 2021. 白面僧面猴人工育幼初探. 上海畜牧兽医通讯, (5): 41−44.

倪俊, 朱迎娣, 朱玮莉. 2020. 领狐猴的人工育幼. 黑龙江畜牧兽医, **10**: 138−139, 148.

黄小妹, 黄翠红, 梁婷婷, 张丽兰, 王松. 2021. 戴帽长臂猿人工育幼及断奶幼体的环境适应力探讨. 广西畜牧兽医, **37** (4): 184−186.

黄祥明, 奉永友, 兰景超, 吴孔菊, 杨奎兴, 彭文培, 袁博, 谢意, 王树群, 陈敏, 邓陶. 2021. 圈养大熊猫幼仔的早期体重变化. 兽类学报, **41** (2): 224−234.