



斑嘴环企鹅雏鸟 生长发育规律的拟合分析

刘群秀¹, 王晶晶², 叶珊珊², 裴恩乐², 黄康宁², 袁耀华^{2*}

(1. 上海城建职业学院, 上海, 201415;
2. 上海动物园, 上海, 200335)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-04-18

修回日期: 2023-04-21



关键词: 斑嘴环企鹅;
生长发育;
曲线拟合

Key words: *Spheniscus demersus*;
Growth and development;
Curve fitting

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-01-0169-06

DOI: 10.12375/ysdwxb.20240121

摘要

为探讨斑嘴环企鹅(*Spheniscus demersus*)雏鸟的生长发育特征,对上海动物园0~7月龄斑嘴环企鹅雏鸟的体质量、体长、喙峰长、脚长和翅长进行测定,并利用Logistic和Gompertz两种非线性数学模型对各项体尺指标进行拟合分析。结果表明:Logistic和Gompertz两种模型的拟合度均较高,拟合系数(r^2)均达0.970以上。斑嘴环企鹅的体质量、体长、喙峰长和脚长的生长过程用Logistic模型的拟合效果更佳($r^2 > 0.980$),而翅长的生长过程用Gompertz模型效果更佳。斑嘴环企鹅各项体尺指标存在极显著相关性($p < 0.01$),建议将体质量和体长作为监测斑嘴环企鹅健康状况的重要指标。

A Fitting Analysis of the Growth and Development Rules of the *Spheniscus demersus* Chicks

LIU Qunxiu¹, WANG Jingjing², YE Shanshan²,
PEI Enle², HUANG Kangning², YUAN Yaohua^{2*}

(1. Shanghai Urban Construction Vocational College,
Shanghai, 201415, China;
2. Shanghai Zoo, Shanghai, 200335, China)

第一作者简介: 刘群秀(1980—),男,副教授;主要从事野生动物繁育与保护研究。E-mail: liuqunxiu@succ.edu.cn

*通信作者: 袁耀华, E-mail: yuanyahua2020@qq.com

Abstract: In order to investigate the growth and development of *Spheniscus demersus* chicks, we measured the body mass, body length, bill length, foot length and wing length of 0–7 months old chicks of *S. demersus* in Shanghai Zoo. Two nonlinear models, Logistic and Gompertz, were used to fit and analyze each body size index of the hatchlings. The results show that both Logistic and Gompertz models had a high fitting degree for each growth indicator of *S. demersus*, and the fitting coefficient (r^2) was above 0.970. The Logistic model was used to better fit the growth process of the body mass, body length, bill length and foot length of *S. demersus* ($r^2 > 0.980$), while Gompertz model was more suitable for fitting the growth process of wing length. There was a significant correlations between the body size indexes ($p < 0.01$). It is suggested that the body weight and body length could be used as important indicators to monitor and evaluate the health status of *S. demersus* chicks.

生物体的生长发育过程是各器官和组织通过新陈代谢,引起机体结构和机能发生变化的过程^[1]。不同物种的生长发育特点各异,与物种的数量、营养生态以及环境因子等密切相关^[2]。生长曲线的拟合是通过构建数学模型的方式来分析和探讨动物体质量或体尺参数随年龄增长而表现出规律性变化的曲线,拟合曲线可以形象直观地描述和分析动物的生长发育特征,是研究动物生活史特征的主要方法之一,也是辅助野生动物人工育雏的重要手段^[3]。通常情况下,动物体质量或体尺指标的增长随年龄而发生规律性变化,呈“S”型生长模式,即开始时缓慢上升,中段迅速升高,经一段时间后又趋于缓慢。有关生长曲线的拟合模型主要包括 Gompertz 和 Logistic 等非线性模型^[4-6],对笼养 0~15 周龄黑颈长尾雉 (*Syrnaticus humiae*) 的生长发育进行拟合,发现体质量、跗蹠长、喙峰长和体长的生长过程用 Logistic 模型拟合效果更佳^[6];对红腹锦鸡 (*Chrysolophus pictus*) 生长发育进行分析,结果表明 Logistic 方程能够较好地拟合跗蹠的生长发育规律^[7];在鹅的生长发育拟合曲线中,Logistic 和 Gompertz 模型的效果较好,模型会受鹅的品种、性别和饲养方式的影响而发生变化^[3,8]。拟合模型中相关参数的估计值,如拐点等能够反映机体生长过程中的关键节点,具有重要的实际应用意义,因此在鸟类生长发育变化的研究中得到广泛应用^[9-11]。

斑嘴环企鹅 (*Spheniscus demersus*) 又称非洲企鹅,主要分布于纳米比亚、南非、安哥拉、莫桑比克、刚果和加蓬等地,野外种群数量呈持续下降趋势,IUCN 将其评估为濒危 (EN)^[12]。有关斑嘴环企鹅的

研究较少,目前见于种群统计学与遗传学^[13-14]、人工孵化^[15]、种群线粒体 DNA 序列及遗传管理^[16]和繁殖^[17]等方面,而关于人工育雏的斑嘴环企鹅雏鸟生长曲线的拟合分析还未见报道。本研究运用多种非线性生长曲线模型对笼养斑嘴环企鹅的体质量及体尺指标进行拟合比较,通过分析体质量、体长、喙峰长、翅长和脚长的生长发育特征,揭示该物种的生长发育规律,以为圈养斑嘴环企鹅的日常管理、饲料转换和人工育雏等饲养实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物

以上海动物园 (3 羽) 和上海动物园繁殖场 (1 羽) 出雏的 4 羽斑嘴环企鹅为试验对象,记录雏鸟的多项体尺参数,尝试对其生长发育特征进行探讨。

1.2 体尺指标测量

从 0~7 月龄,每日测定斑嘴环企鹅雏鸟空腹状态下的体质量;每周测定体尺指标^[17],用游标卡尺测量喙峰长和脚长 (精度为 0.02 mm),用卷尺测量翅长和体长 (精度为 1 mm)。

1.3 数据处理与分析

对各类体尺数据汇总整理,以平均值 (最小值、最大值) 表示。首先基于 Logistic、Gompertz、幂函数和指数函数 4 种生长曲线模型对斑嘴环企鹅雏鸟的体质量发育进行拟合,确定最佳数学模型,基于最佳数学模型再对斑嘴环企鹅雏鸟的体长、喙峰长、脚长和翅长的生长发育指标进行拟合,计算模型参数 A、B 和 K 的最优估计值。模型的拟合使用 DPS 7.05 软件。

2 结果

2.1 体质量的拟合分析

在斑嘴环企鹅雏鸟体质量生长曲线的拟合模型中, Logistic ($r^2=0.985$) 和 Gompertz ($r^2=0.983$) 模型的效果最佳 (表 1), 指数函数的拟合效果最差 ($r^2=$

0.722)。Logistic 模型关于斑嘴环企鹅体质量增长的函数表达式为 $Y=2\ 486.516/(1+e^{3.191-0.372t})$, 体质量拐点为 3.12 周 (1 243.258 g), 体质量极限值为 2 486.516 g。选择 Logistic 和 Gompertz 两个模型对其他体尺指标进行拟合分析 (表 2, 表 3)。

表 1 不同数学模型对斑嘴环企鹅雏鸟体质量增长的曲线拟合

Tab. 1 Curve fitting on the growth of the chicks of *Spheniscus demersus* based on different mathematical models

数学模型 Mathematical models	拟合曲线 Fitting curves	拟合系数(r^2) Goodness of fit
Logistic	$Y=2\ 486.516/(1+e^{3.191-0.372t})$	0.985
Gompertz	$Y=2\ 552.573e^{-5.080\exp(-0.235t)}$	0.983
幂函数 Power function	$Y=318.101t^{0.654369}$	0.898
指数函数 Exponential function	$Y=890.359e^{0.042182t}$	0.722

注: Y. 体质量; t. 周龄。

Note: Y. Body mass; t. Weeks of age.

表 2 用于拟合斑嘴环企鹅雏鸟生长的两种非线性模型

Tab. 2 Two nonlinear models used for fitting the growth of chicks of *Spheniscus demersus*

模型 Model	表达式 Equation	拐点 Inflection	拐点周龄 Weekly age of inflection
Logistic	$Y=A/(1+e^{(b-kt)})$	A/2	(lnb)/k
Gompertz	$Y=Ae^{-b\exp(-kt)}$	A/e	(lnb)/k

注: A. 极限值(成年最大生长量); b. 参数; k. 瞬时相对增长率; t. 周龄。

Note: A. Maximum value (maximum value of adult); b. Parameter; k. Instantaneous relative growth rate; t. Weeks of age.

表 3 两种曲线拟合模型对斑嘴环企鹅雏鸟的拟合度和参数估计

Tab. 3 Goodness and parameters of two curve fitting models to fit the growth of *Spheniscus demersus* chicks

生长指标 Growth index	模型 Model	极限值 A	参数 b	瞬时相对增长率 k	拟合系数 r^2	拐点周龄 Weekly age of inflection	拐点数值 Value of inflection
体质量 Body mass	Logistic	2 486.516	3.191	0.372	0.985	3.12	1 243.258
	Gompertz	2 552.573	5.080	0.235	0.983	6.90	939.039
体长 Body length	Logistic	682.649	2.149	0.213	0.987	3.58	341.325
	Gompertz	722.752	2.684	0.132	0.978	7.46	265.886
翅长 Wing length	Logistic	180.806	1.234	0.210	0.996	1.01	90.403
	Gompertz	185.539	1.662	0.149	0.998	3.40	68.256
脚长 Foot length	Logistic	125.661	1.573	0.178	0.983	2.54	62.831
	Gompertz	133.792	1.943	0.111	0.973	5.94	49.220
喙峰长 Bill length	Logistic	76.022	1.183	0.179	0.990	1.02	38.011
	Gompertz	78.679	1.599	0.125	0.988	3.75	28.944

2.2 体尺参数的拟合分析

斑嘴环企鹅雏鸟生长模式呈典型的“S”型(图1), Logistic和Gompertz模型对斑嘴环企鹅体长、喙峰长、脚长和翅长指标的拟合效果均较好($r^2 > 0.900$)。Logistic模型对体长、喙峰长和脚长的拟合效果优于

Gompertz。体长曲线拐点出现于3.58周, 极限值为682.649 mm; 喙峰长在1.02周龄出现拐点, 极限值为76.022 mm; 脚长在2.54周出现拐点, 极限值为125.661 mm。翅长拟合以Gompertz模型为最佳, 翅长拐点出现于3.40周, 极限值为185.539 mm(表3)。

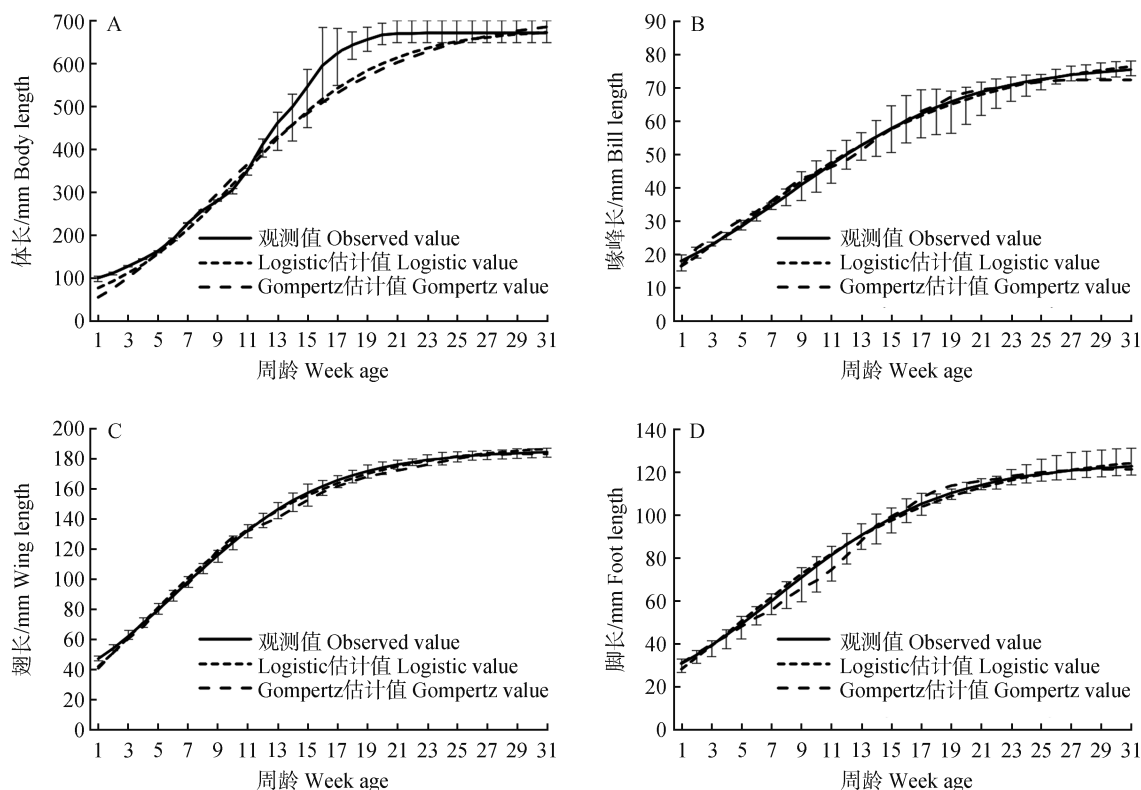


图1 斑嘴环企鹅雏鸟的生长发育拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves on the growth of chicks of *Spheniscus demersus*

斑嘴环企鹅雏鸟的体质量在1~2日龄时降低, 在3日龄后开始增长; 在18~21周龄时, 雏鸟由育幼室转至育成区, 此阶段体质量会出现短暂下降; 22~29周龄后, 体质量恢复稳步增长; 7月龄后, 体质量

达到最高值, 且维持恒定。

2.3 体质量与各体尺指标之间的相关性

斑嘴环企鹅的体质量、体长、喙峰长、翅长和脚长等指标之间均呈极显著相关($p < 0.01$)(表4)。

表4 斑嘴环企鹅雏鸟体质量、体长、喙峰长、翅长和脚长间的相关性

Tab. 4 Correlation between body mass, body length, bill length, wing length and foot length of *Spheniscus demersus* chicks

参数 Parameter	体长 Body length	喙峰长 Bill length	翅长 Wing length	脚长 Foot length
体质量 Body mass	0.933**	0.937**	0.965**	0.939**
体长 Body length		0.988**	0.951**	0.993**
喙峰长 Bill length			0.980**	0.993**
翅长 Wing length				0.968**

注: **. 极显著相关 ($p < 0.01$)。

Note: **. Extremely significant correlation ($p < 0.01$).

3 讨论

动物生长曲线的拟合是研究野生动物生长发育特征的重要手段之一^[18],可以动态了解动物的生长发育情况^[19],探讨其周期性变化规律,可用于指导和预测实际生产中动物的饲养管理、营养供给^[20]和人工育雏工作。Logistic、Gompertz、幂函数和指数函数4种非线性数学模型的内涵是将不同周期的动物生长指标或其他相关信息整合并提炼出少数几个重点参数值,用于研究和分析动物生长发育规律的重要方法。本研究利用Logistic和Gompertz两种数学模型对上海动物园0~7月龄的斑嘴环企鹅雏鸟的体质量、体长、喙峰长、翅长和脚长的生长变化规律进行拟合,并计算极限值、拐点值等重要参数,初步掌握了斑嘴环企鹅雏鸟的生长发育规律。研究表明,Logistic和Gompertz模型对生物个体生长发育均有较好的拟合效果,对很多鸟类和哺乳动物均适用^[21-23],因此,建议动物个体生长曲线的拟合优先考虑应用这两个模型。

斑嘴环企鹅在1~2日龄时出现体质量下降,是由于刚刚破壳的雏鸟需要24 h禁食和禁水,待到内脏发育完全后的第2天开始人工哺育,此阶段机体消耗体内能量,导致体质量短暂下降。在18~21周龄时,雏鸟由育幼室转移至育成区,此阶段体质量会出现短暂下降,平均下降10.67 g。分析认为,一方面是饲养环境发生改变,引发雏鸟的应激反应;另一方面雏鸟开始下水游泳,运动量增加,机体能耗增多,导致体质量下降。拐点数值是动物生长曲线中生长速度的转折点,拐点参数能反映机体的生长发育周期和自然发生特征,其数值因物种的不同而存在差异,且与物种的类别、性别和生活环境等密切相关^[24]。

大量试验研究将体质量作为衡量动物生长发育状况的基础指标^[25-26]。本试验发现,斑嘴环企鹅雏鸟的体质量与其他生长指标均存在极显著差异性($p < 0.01$)。在评估动物健康状况时,体质量和体长可作为斑嘴环企鹅雏鸟生长发育的重要监测指标,综合考虑体质量和体长可以避免异常发育情况(如超重)的发生。本研究中,幼龄斑嘴环企鹅(0~7月龄)正处于生长发育阶段,机体快速生长,运动平衡能力等不断完善,同时监测机体的体质量和体长两个指标对于正确、客观评估雏鸟的健康状况具有十

分重要的意义。本研究对斑嘴环企鹅雏鸟生长发育各阶段的体质量和体尺指标进行测量,筛选出适合斑嘴环企鹅雏鸟生长发育的数学模型,并估算出斑嘴环企鹅的极限体质量和拐点周龄,建议在人工育幼过程中重点关注各生长指标的拐点参数,将有助于该物种的科学饲养和有效管理。

参考文献:

- [1] 万雨. 江南白鹅早期生长发育规律的分析研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2021.
WAN Y. Study of the early growth and development on Jiangnan white geese[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.
- [2] NAHASHON S N, AGGREY S E, ADEFOPE N A, et al. Growth characteristics of pearl gray guinea fowl as predicted by the Richards, Gompertz, and Logistic models[J]. Poultry Science, 2006, 85(2): 359-363.
- [3] 王健, 段修军, 董飏, 等. 皖西白鹅和四川白鹅早期生长发育规律研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(1): 419-422.
WANG J, DUAN X J, DONG B, et al. Comparison on growth regularity and body-size between Wanxi white goose and Sichuan white goose [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(1): 419-422.
- [4] 朱珉仁. Morgan-Mercer-Flodin模型和Weibull模型的拟合[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(1): 1-4.
ZHU M R. Fitting Morgan-Mercer-Flodin model and Weibull model[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2003, 33(1): 1-4.
- [5] ROUSH W B, DOZIER III W A, BRANTON S L. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth[J]. Poultry Science, 2006, 85(4): 794-797.
- [6] 骆鹰, 庾太林, 赵彤, 等. 笼养0~15周龄黑颈长尾雉生长曲线拟合与分析[J]. 四川动物, 2014, 33(6): 901-907.
LUO Y, YU T L, ZHAO T, et al. Analysis and fitting of 0-15 weeks old *Syrnaticus humiae* growth curve in cage [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2014, 33(6): 901-907.
- [7] 张录强, 杨振才, 孙儒泳. 红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)生长曲线分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2002, 38(4): 549-553.
ZHANG L Q, YANG Z C, SUN R Y. The growth curve analysis of golden pheasant (*Chrysolophus pictus*) [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2002, 38(4): 549-553.
- [8] 陈阳, 黄正洋, 张扬, 等. 3种不同类型鹅生长拟合曲线比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(9): 6-9; 66.
CHEN Y, HUANG Z Y, ZHANG Y, et al. Comparative analysis on growth curve fitting of three types of goose [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2014, 50(9): 6-9; 66.
- [9] AGGREY S E. Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves [J]. Poultry Science, 2002, 81(12): 1782-1788.
- [10] 张雅岚, 曾丹, 范蝶, 等. 蛋鸡初生重与后期体重的相关性

- 分析[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(4): 146-149.
ZHANG Y L, ZENG D, FAN D, *et al.* Correlation analysis between birth weight and late weight of laying hens [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(4): 146-149.
- [11] 马猛, 王克华, 曲亮, 等. 不同品种鸡生长曲线拟合及分析[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(1): 129-132.
MA M, WANG K H, QU L, *et al.* Fitting and analysis of growth curves of different breeds of chickens [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(1): 129-132.
- [12] BirdLife International. *Spheniscus demersus* [J/OL]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020: e. T22697810A157423361 [2023-04-18]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22697810A157423361.en>.
- [13] 黄康宁, 张志浩, 裴恩乐. 上海动物园圈养斑嘴环企鹅种群统计学与遗传学分析[J]. 四川动物, 2018, 37(2): 164-171.
HUANG K N, ZHANG Z H, PEI E L. Demography and genetics analysis of captive population of *Spheniscus demersus* in Shanghai Zoo [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2018, 37(2): 164-171.
- [14] 刘芳远, 黄康宁, 刘群秀, 等. 圈养斑嘴环企鹅种群生存力分析[J]. 野生动物学报, 2018, 39(2): 360-365.
LIU F Y, HUANG K N, LIU Q X, *et al.* Population viability analysis for the captive African penguin (*Spheniscus demersus*) [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2018, 39(2): 360-365.
- [15] 王晶晶. 卵重和卵形指数对圈养斑嘴环企鹅人工孵化效果的研究[J]. 野生动物学报, 2023, 44(1): 203-208.
WANG J J. Effect of egg weight and ovate index on artificial hatching of *Spheniscus demersus* [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2023, 44(1): 203-208.
- [16] 耿广耀, 袁耀华, 刘群秀, 等. 上海动物园非洲企鹅种群线粒体DNA序列分析及遗传管理建议[J]. 野生动物学报, 2015, 36(2): 206-210.
GENG G Y, YUAN Y H, LIU Q X, *et al.* Genetic management recommendations for the captive population of the African penguin in Shanghai Zoo, China, based on the analysis of mitochondrial DNA sequences [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2015, 36(2): 206-210.
- [17] 胡善. 上海动物园斑嘴环企鹅繁殖数据相关性分析[J]. 野生动物学报, 2019, 40(1): 127-132.
HU S. Correlation analysis of breeding data of African penguin (*Spheniscus demersus*) at Shanghai Zoo [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2019, 40(1): 127-132.
- [18] 吴华莉, 周兵, 王惠影, 等. 浙东白鹅生长曲线及拟合分析[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(5): 134-137.
WU H L, ZHOU B, WANG H Y, *et al.* Analyze on growth curve fitting of Zhejiang white goose [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011, 38(5): 134-137.
- [19] 曲湘勇, 彭豫东, 何俊, 等. 道州灰鹅×朗德鹅杂交F1代与朗德鹅生长曲线及生产性能比较研究[J]. 中国家禽, 2016, 38(19): 9-14.
QU X Y, PENG Y D, HE J, *et al.* Comparative study on growth curve and production performance between the F1 generation of Daozhou grey goose × Lande goose and Lande goose [J]. China Poultry, 2016, 38(19): 9-14.
- [20] 吴艳, 申杰, 皮劲松, 等. 双莲鸡生长发育与曲线拟合情况分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6504-6506.
WU Y, SHEN J, PI J S, *et al.* Growth and development analysis and curve fitting for Shuanglian chicken [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(24): 6504-6506.
- [21] 万火福, 孙俊丽, 黄英飞, 等. 广西三黄鸡生长曲线拟合与分析[J]. 广西畜牧兽医, 2021, 37(3): 99-102.
WAN H F, SUN J L, HUANG Y F, *et al.* Fitting and analysis of growth curve of Guangxi Sanhuang chicken [J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2021, 37(3): 99-102.
- [22] 吴艳, 潘爱奎, 皮劲松, 等. 江汉鸡生长发育与曲线拟合情况分析[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(21): 106-109; 112.
WU Y, PAN A L, PI J S, *et al.* The analysis and fitting of growth curve of Jiangnan chicken [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(21): 106-109; 112.
- [23] 耿广耀, 刘群秀, 袁耀华. 人工哺育幼獐生长发育初探[J]. 野生动物学报, 2020, 41(2): 490-494.
GENG G Y, LIU Q X, YUAN Y H. The growth of hand reared young *Hydropotes inermis* in captivity [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2020, 41(2): 490-494.
- [24] 苗小猛, 刘嘉, 韩雪, 等. 三穗鸭早期生长曲线拟合及10周龄体尺性状分析[J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(6): 749-754.
MIAO X M, LIU J, HAN X, *et al.* Growth curve fitting at early stage and the body size analysis of Sansui duck at 10 weeks of age [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2020, 38(6): 749-754.
- [25] 方福平, 马明, 周中艳, 等. 平坝灰鹅生长曲线拟合与分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(6): 41-43; 170.
FANG F P, MA M, ZHOU Z Y, *et al.* Fitting and analysis of growth curve of Pingba grey goose [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(6): 41-43; 170.
- [26] 张玲, 张尧, 张希宇, 等. 余干乌骨鸡不同性别生长曲线的比较[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(22): 161-163.
ZHANG L, ZHANG R, ZHANG X Y, *et al.* Comparison of growth curves of different sexes in Yugan black-bone chicken [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(22): 161-163.