

引用格式:

蒋亮,何俊.利用3种曲线模型拟合蝇蛆体质量的生长曲线[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2021,47(5): 587–590.

JIANG L, HE J. Using three curve models to fit the growth curve of fly maggot[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(5): 587–590.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



利用3种曲线模型拟合蝇蛆体质量的生长曲线

蒋亮, 何俊*

(湖南农业大学动物科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘要:为研究蝇蛆的生长发育规律,以12 h为周期,测定1.0~4.0日龄蝇蛆的体质量数据,共采集到7个时间点数据,采用3种(Gompertz、Logistic、Bertalanffy)非线性生长模型对7个时间点的体质量进行生长曲线拟合。结果表明:3种非线性生长模型均具有较高的拟合度($R^2 > 0.970$),其中Bertalanffy模型的拟合效果最好($R^2=0.988$),但其拐点与实际测量值相差甚远;Logistic模型与Gompertz模型拟合的拐点分别为(1.75 d, 13.64 mg)、(1.53 d, 10.30 mg),能较好地反映蝇蛆体质量的生长规律,但Logistic模型拟合度($R^2=0.978$)小于Gompertz模型的($R^2=0.986$),且整体标准误差偏大。可见,在本研究条件下,Gompertz模型最适合用来拟合蝇蛆体质量的生长发育规律。

关键词:蝇蛆;体质量;Logistic模型;Gompertz模型;Bertalanffy模型;生长曲线;拟合度;拐点

中图分类号:S899.9

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2021)05-0587-04

Using three curve models to fit the growth curve of fly maggot

JIANG Liang, HE Jun*

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to study the law of growth and development of fly maggot, the body mass data of 1.0-4.0 day old fly maggots were collected every 12 hours with total 7 time sampling points. The growth curves of 7 points were fitted by Gompertz, Logistic, Bertalanffy nonlinear growth models. The results showed that all the three nonlinear growth models had high fitting degree($R^2 > 0.970$), among which the Bertalanffy model had the best fitting effect($R^2=0.988$), but its inflection point was far from the actual measured value. Logistic model the inflection points fitted with the Gompertz model were (1.75 d, 13.64 mg), (1.53 d, 10.30 mg), which could better reflect the growth law of fly maggot body weight, but the fitting degree of Logistic model($R^2=0.978$) was smaller than that of Gompertz model($R^2=0.986$), and the overall standard error was large. It can be seen that the Gompertz model was most suitable to fit the growth and development law of fly maggot body mass.

Keywords: fly maggot; body mass; Logistic model; Gompertz model; Bertalanffy model; growth curve; fit; inflection point

动物在长期的进化过程中,遗传、饲养管理和环境对其生长性能产生互作影响^[1]。分析和探究动物的生长发育规律,并对动物生长进行预测是目前养殖领域热切关注的问题。生长曲线对于动物饲养

和选育有着重要的参考价值。现阶段采用的曲线模型主要有Gompertz、Logistic和Bertalanffy,且主要应用于猪、家禽和反刍动物等主要畜禽上^[2-4]。陈杰等^[5]和何兰花等^[6]利用Gompertz和Logistic模

收稿日期:2020-02-07

修回日期:2020-06-18

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2017NK2151)

作者简介:蒋亮(1997—),男,湖南永州人,硕士研究生,主要从事动物遗传育种研究,1287142205@qq.com; *通信作者,何俊,博士,副教授,主要从事动物遗传育种研究,hejun@hunau.edu.cn

型对湘村黑猪和新丹系瘦肉型公猪的体质量进行了拟合,结果表明湘村黑公猪和杜洛克公猪以 Gompertz 模型拟合效果最好,而长白公猪与大白公猪则以 Logistic 模型拟合效果最佳。蔡东森等^[7]通过测定山猪 0~8 月龄的体质量,采用 Gompertz、Logistic 和 Bertalanffy 3 种模型研究其生长发育规律,发现 Bertalanffy 模型优于其他 2 种模型。此外,在反刍动物(美姑山羊^[8]、藏羊^[9-10]、肉牛^[11])及家禽(黄麻羽肉鸡^[12]、京红系蛋鸡^[13]、宁都黄公鸡^[14]、鹅^[15-16])中开展了生长曲线的研究。而针对蝇蛆的生长发育规律和生长曲线拟合的研究鲜见报道。

家蝇广泛分布于人类居所的 90% 以上区域,具有繁殖能力强、世代周期短等特点,其幼虫蝇蛆不仅可作为一种新型的优质动物性蛋白饲料资源,且其多种提取物 also 具有很高的潜在开发和应用价值。此外,利用蝇蛆对畜禽粪便进行资源化利用,也是目前处理畜禽排泄物,消纳畜禽粪便污染的常用方法之一^[17-18]。许乐为等^[19]研究结果表明,家蝇年世代数明显因地域和气候而异。在营养充足和环境优越的情况下,家蝇完成 1 代仅需 7~14 d,其中卵期约为 1 d;幼虫期 3~6 d;蛹期为 3~7 d。本研究中,通过测定 1.0~4.0 日龄蝇蛆体质量,并对所测得的数据进行生长曲线拟合,分析其生长发育性能特点和发育规律,旨在为家蝇的进一步选育及有效的饲养管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2019 年 6—10 月,在畜禽安全生产湖南省重点实验室开展试验。将 60 条 1.0 日龄的健康蝇蛆放入由 30 g 发酵麦麸、3 g 红糖和 6 g 奶粉配制而成的培养基(含水量为 80%)中。温度控制为 30 ℃。饲养过程中采取一次性投食,自由采食,定期观察,每天记录 2 次(11:00、23:00),即分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 日龄,共计 7 个时间点。测定时用少量乙醚使蝇蛆处于晕眩状态,用分析天平对其体质量进行个体测定,并计算平均日增质量和相对增长率。为降低测量误差,每次随机测量 3 个重复,每重复测 3 条蝇蛆。

1.2 函数模型

利用蝇蛆 7 个时间点的体质量数据,采用 Gompertz、Logistic 和 Bertalanffy 3 种非线性模型建立回归方程,对累计生长曲线进行拟合,并绘制实测值和模型拟合值的生长曲线。3 种模型及其参数特征列于表 1。通过决定系数(R^2)判断拟合优度。

表 1 采用的 3 种回归模型及其参数

Table 1 Three regression models and their parameters			
模型	方程式	拐点体质量	拐点日龄
Gompertz	$W_t = Ae^{-Be^{-kt}}$	A/e	$(\ln B)/k$
Logistic	$W_t = A/(1 + Be^{-kt})$	$A/2$	$(\ln B)/k$
Bertalanffy	$W_t = A(1 - Be^{-kt})^3$	$1 - Be^{-kt}$	$(\ln 3B)/k$

W_t 年龄为 t 时的体质量; A 体质量极限参数; k 接近极限体质量时的生长速率; B 达到生长曲线拐点(即体质量增长最快)时的年龄。

1.3 数据统计与分析

应用 Excel 2108 整理数据和绘图;采用 SPSS 20.0 进行模型分析。

2 结果与分析

2.1 蝇蛆体质量变化情况

由表 2 可知,蝇蛆相对生长率整体上是随着日龄的增加而逐渐降低,中间存在轻微波动,可能是由于蝇蛆本身特异性差异或称量误差引起的。1.0~2.5 日龄的相对生长率和日增质量均较大,表明蝇蛆此阶段生长发育较快,可充分利用此阶段生长速率快的特点,加强饲养,促进蝇蛆生长;而 3 日龄后蝇蛆生长发育基本稳定,此阶段可适当降低蝇蛆营养水平,适时出售,以节约养殖成本。

表 2 蝇蛆的平均体质量和平均日增重及相对生长率
Table 2 The average body mass and average daily mass gain and relative growth rate of fly maggots

日龄/d	平均体质量/mg	平均日增质量/mg	相对生长率/%
1.0	2.43±0.09		
1.5	9.40±0.22	13.94	117.83
2.0	19.00±0.24	19.20	67.60
2.5	23.00±0.54	8.00	19.04
3.0	24.53±0.79	3.06	6.43
3.5	26.53±0.70	4.00	7.83
4.0	28.67±1.05	4.28	7.75

2.2 蝇蛆生长模型拟合分析

由表 3 可知,各参数 $P < 0.001$,均达到极显著水平,其中 Gompertz、Bertalanffy 模型对蝇蛆生长曲线拟合的 R^2 均大于 0.980,分别为 0.986 和 0.988,

优于 Logistic 模型对蝇蛆体质量的拟合度 ($R^2=0.978$),且整体标准误也相对较小,说明 Gompertz、Bertalanffy 模型对蝇蛆生长发育规律拟合的效果更好。

表 3 运用 3 种曲线模型对蝇蛆生长曲线拟合的参数

Table 3 The parameters for fitting the growth curve of fly maggots by three models										
模型	P	R^2	拐点体质量/mg	拐点日龄/d	参数估计值			参数标准误		
					A	B	k	A	B	k
Logistic	<0.001	0.978	13.64	1.75	27.284	90.782	2.570	0.552	36.847	0.239
Gompertz	<0.001	0.986	10.30	1.53	28.001	13.241	1.693	0.516	2.637	0.128
Bertalanffy	<0.001	0.988	18.19	2.34	0.031	2.042	0.774	0.002	0.036	0.016

Logistic 的拟合曲线回归方程为 $W_t=27.284/(1+90.782e^{-2.570t})$,体质量的拐点为 13.64 mg,拐点日龄为 1.75 d,符合蝇蛆体质量的生长发育规律,但其模型参数的标准误较大;Bertalanffy 的拟合曲线回归方程为 $W_t=0.031(1-2.042e^{-0.774t})^3$,体质量的拐点为 18.19 mg,拐点日龄为 2.34 d,其拐点不符合蝇蛆生长的实际情况;Gompertz 的拟合曲线回归方程为 $W_t=28.001e^{-13.241\exp(-1.693t)}$,体质量的拐点为 10.30 mg,拐点日龄为 1.53 d,符合蝇蛆体质量的生长发育规律。

2.3 蝇蛆体质量实测值验证结果

将蝇蛆体质量的实测值和 3 个模型的预测值作蝇蛆生长曲线图(图 1)。由图 1 可知,3 个模型拟合的生长曲线与实测值生长曲线的趋势一致;Bertalanffy 模型拟合曲线与实测生长曲线偏离较大,7 个时间点的预测值均偏离实测值;Logistic 模型拟合的生长曲线在 2.5 日龄后与实测生长曲线出现明显分离,说明 Logistic 模型只能较好的拟合 2.5

日龄前蝇蛆体质量的生长发育规律;Gompertz 模型拟合曲线很好的反映了蝇蛆体质量的生长发育规律,与实测生长曲线最接近。可见,3 个模型中,Gompertz 模型最适用于拟合 1.0~4.0 日龄蝇蛆体质量的生长曲线,其结果可为蝇蛆育种和饲养管理提供参考依据。

3 结论与讨论

本研究中采用 Gompertz、Logistic 和 Bertalanffy 3 种非线性模型拟合了蝇蛆体质量的生长曲线。3 个模型的拟合度(R^2)均大于 0.970,其中 Bertalanffy 模型对蝇蛆的拟合度($R^2=0.988$)最高,但其拐点不符合蝇蛆生长的实际情况;Gompertz 模型对蝇蛆的拟合度($R^2=0.986$)优于 Logistic 模型的($R^2=0.978$),且拐点符合蝇蛆体质量的生长发育规律。此外,根据蝇蛆体质量实测值与拟合预测值分析,Gompertz 模型的拟合效果较理想,较好地描述了蝇蛆体质量的生长发育趋势,可作为蝇蛆生长曲线的拟合模型。

尹仁国^[20]曾用 Logistic 模型对蝇蛆体质量进行生长曲线拟合,拟合度为 0.981,本研究结果与其相当,但其生长拐点位于 3.04 日龄处,本研究中 Logistic 模型拟合的拐点为 1.75 日龄,与其差异较大。造成此差异的原因可能是由于蝇蛆生长受季节、气候、地区、营养及测量方式的影响较大的缘故。刘钦来^[21]对 3 个不同品种的蝇类进行曲线拟合,发现棕尾别麻蝇符合三次方程,而丝光绿蝇和大头金蝇前期符合指数方程,后期符合三次方程。殷京珍^[22]也研究了棕尾别麻蝇、丝光绿蝇和大头金蝇的生长曲线,发现三者的拟合度均高于 0.988,前者拐点为 1.5 日龄,后面两者拐点均为 1.0 日龄,本

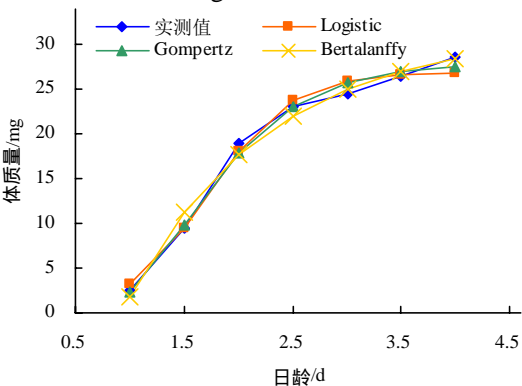


图 1 蝇蛆体质量实测值和 3 种曲线拟合预测结果
Fig.1 The result of measured and three fitting curves of fly maggots' body mass

研究中蝇蛆最适拟合模型(Gompertz)的拐点日龄与棕尾别麻蝇的相似,晚于丝光绿蝇和大头金蝇的,可能是由于丝光绿蝇和大头金蝇成熟体质量偏小的缘故。可见,不同品种及性状间的最佳生长模型会存在一定的差异。在实际分析中,不同品种应逐一对其进行验证分析,选择适合的数学模型来拟合畜禽生长发育规律。

参考文献:

- [1] 张乐红. 修水黄羽乌鸡体形外貌特征及蛋用性能研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013.
ZHANG L H. Study of shape appearance and egg performance in Xiushui black-bone chicken[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013.
- [2] BANGAR Y C, LAWAR V S, NIMASE R G, et al. Comparison of non-linear growth models to describe the growth behaviour of deccani sheep[J]. Agricultural Research, 2018, 7(4): 490-494.
- [3] HOSSEIN-ZADEH, N G. Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models[J]. Small Ruminant Research, 2015, 130: 60-66.
- [4] COYNE J M, BERRY D P, MÄNTYSAARI E A, et al. Comparison of fixed effects and mixed model growth functions in modelling and predicting live weight in pigs[J]. Livestock Science, 2015, 177: 8-14.
- [5] 陈杰, 陈辉, 陈斌. Logistic 和 Gompertz 模型拟合湘村黑猪体重生长曲线研究[J]. 猪业科学, 2018, 35(10): 130-134.
CHEN J, CHEN H, CHEN B, et al. Logistic and Gompertz model fit the weight growth curve of the village black pig study[J]. Swine Industry Science, 2018, 35(10): 130-134.
- [6] 何兰花, 赵云翔, 李私丞, 等. 新丹系瘦肉型公猪生长发育规律和生长曲线拟合分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(3): 72-75.
HE L H, ZHAO Y X, LI S C, et al. Analysis of the growth and development law and growth curve of lean male pigs in Xindan[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(3): 72-75.
- [7] 蔡东森, 陈海军, 袁咏刚, 等. 山猪生长曲线拟合与分析[J]. 猪业科学, 2019, 36(7): 134-135.
CAI D S, CHEN H J, YUAN Y G, et al. The growth curve of mountain pigs is fitted and analyzed[J]. Swine Industry Science, 2019, 36(7): 134-135.
- [8] 杨世忠, 陈星月, 周潇, 等. 美姑山羊体尺体重相关分析及生长曲线模型拟合[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 15-19.
YANG S Z, CHEN X Y, ZHOU X, et al. The growth curve fitting and the correlation analysis between body weight and body measurements in Meigu goat[J]. Journal of Xichang University(Natural Science Edition), 2018, 32(3): 15-19.
- [9] 马朝银, 赵索南, 周玉青, 等. 青海藏羊生长发育规律与生长曲线拟合研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(12): 41-44.
MA C Y, ZHAO S N, ZHOU Y Q, et al. The growth pattern and simulation of growth curve of Qinghai Tibetan sheep [J]. Heilongjiang Animal Husbandry Veterinarian Medicine, 2019(12): 41-44.
- [10] LUPI T M, NOGALES S, LEÓN J M, et al. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed[J]. Animal, 2015, 9(8): 1341-1348.
- [11] 罗宗刚, 王玲, 伏彭辉, 等. 三峡库区不同杂交组合肉牛生长曲线拟合分析[J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(5): 696-701.
LUO Z G, WANG L, FU P H, et al. Analysis of growth curve of different cross combinations of beef cattle in Three Gorges reservoir area[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2018, 36(5): 696-707.
- [12] 杨鹏. 黄麻羽肉鸡生长曲线模型的建立及各性状指标的相关分析[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
YANG P. Establishment of growth curve model and correlation analysis of various traits for yellow-feather chicken [D]. Shihezi, China: Shihezi University, 2019.
- [13] 王克文, 杨鹏, 赵洁. 京红系蛋鸡生长发育规律的曲线拟合分析[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(5): 945-954.
WANG K W, YANG P, ZHAO J. Study on the growth and development regularity of Jinghong laying hens[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(5): 945-954.
- [14] 谭玉文, 朱学农, 章逸, 等. 宁都黄公鸡 3 种生长曲线拟合的比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(8): 59-61.
TAN Y W, ZHU X N, ZHANG Y, et al. Comparative analysis of the growth curve of ningdu yellow rooster[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2019, 55(8): 59-61.
- [15] 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.
FANG F P, MA M, ZHOU Z Y, et al. Fit and analysis of the growth curve of flat dam gray goose[J]. Heilongjiang Animal Husbandry Veterinarian, 2019(6): 41-43.

(下转第 597 页)

- circular granary[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2018, 39(3): 99-102.
- [12] 金立兵, 薛雅琪, 梁新亚, 等. 地下储粮仓温度场的数值模拟与试验研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 120-125.
- JIN L B, XUE Y Q, LIANG X Y, et al. Numerical simulation and experiment on temperature field in underground granary[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2019, 40(5): 120-125.
- [13] 王远成, 段海峰, 张来林. 就仓通风时粮堆内部热湿耦合传递过程的数值预测[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(6): 75-79.
- WANG Y C, DUAN H F, ZHANG L L. Numerical simulation of coupled heat and moisture transfer in grain bulk during in-bin drying[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(6): 75-79.
- [14] 杨希文, 蒋蘋, 罗亚辉, 等. 气雾栽培箱喷雾条件下温度场的 CFD 数值模拟[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(1): 103-107.
- YANG X W, JIANG P, LUO Y H, et al. CFD numerical simulation of temperature field under spray condition in aeroponics cultivation box[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2019, 5(1): 103-107.
- [15] 潘钰. 房式仓粮堆自然储藏和机械通风过程中热湿耦合问题的研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2017.
- PAN Y. Research on coupled heat and moisture transfer in the warehouse during natural storage and mechanical ventilation process[D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2017.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 吴志立

(上接第 590 页)

- [16] 曲湘勇, 彭豫东, 何俊, 等. 道州灰鹅×朗德鹅杂交 F_1 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 F_1 generation of Daozhou grey goose×lande goose and lande goose [J]. China Poultry, 2016, 38(19): 9-14.
- [17] 蒋亮, 何俊. 蝇蛆及其提取物在动物生产中的应用[J]. 家畜生态学报, 2020, 41(5): 71-77.
- JIANG L, HE J. Application of fly maggot and its extractions in animal production[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2020, 41(5): 71-77.
- [18] 宋宇琨, 何俊. 4 种动物性蛋白饲料的营养特性及其在畜禽养殖中的应用[J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 109-118.
- SONG Y K, HE J. Nutritional characteristics of four animal protein feeds and their application in livestock and poultry breeding[J]. Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(1): 109-118.
- [19] 许乐为, 刘洋. 农村基本环境卫生常识[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2016.
- XU L W, LIU Y. Basic Rural Sanitation Common Sense[M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 2016.
- [20] 尹仁国. 菜粉蝶幼虫 S 型生长曲线及其拐点的初步研究[J]. 昆虫学报, 1989, 32(3): 380-381.
- YIN R G. A preliminary study on the S-shaped growth curve and its point of inflection of *Artogeia rapae* (L.) [J]. Acta Entomologica Sinica, 1989, 32(3): 380-381.
- [21] 刘钦来. 嗜尸性丽蝇分子标记的检测及发育规律的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- LIU Q L. Detection of molecular markers of sarcophagous calliphorid flies and study on the growth and development laws[D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [22] 殷京珍. 郑州地区尸食性蝇类生长发育规律及其产卵习性的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2011.
- YIN J Z. The study on growing development low and spawning behavior of necrophagous flies in Zhengzhou[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2011.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳 正