

日本医蛭早期发育阶段的生长性能与生长模型分析

鲁增辉^{1,2}, 石萍^{1,2}, 游华建^{1,2}, 李军德³, 陈仕江^{1,2*}

(1. 重庆市中药研究院, 重庆 400065; 2. 中国中医科学院中药资源中心

重庆分中心, 重庆 400065; 3. 中国中医科学院中药资源中心地道药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700)

摘要 [目的]研究日本医蛭的生长性能及生长发育规律。[方法]对人工繁育的日本医蛭摄食习性及其生长性能进行了分析,并利用 Logistic、Gompertz、Von Bertalanffy 3 种非线性生长模型对日本医蛭体重生长情况进行曲线拟合。[结果]日本医蛭的特定生长率随生长时间的延长而逐渐下降,幼蛭孵化后 4 d 喂食,生长率达到最高(10.99%/d),日本医蛭的体重随着投喂次数、日龄、摄食量的增加呈现上升趋势。3 种生长曲线模型均能较好地拟合日本医蛭的生长曲线,其中以 Gompertz 曲线的拟合度最好($R^2=0.999$)。[结论]曲线模型对日本医蛭生长曲线的拟合和分析是可行的。通过生长曲线的拟合分析可及时掌握日本医蛭的生长发育规律,发现饲养管理中存在的问题。

关键词 日本医蛭;生长性能;生长曲线;模型

中图分类号 R 931.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)25-0075-03

Analysis of Growth Performance and Fitting Growth Curve of *Hirudo nipponia* in Early Developmental StageLU Zeng-hui^{1,2}, SHI Ping^{1,2}, YOU Hua-jian^{1,2} et al (1. Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065; 2. Chongqing Sub-center of National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Science, Chongqing 400065)

Abstract [Objective] To study the growth performance and growth laws of *Hirudo nipponia*. [Method] The feeding habit and growth performance of *H. nipponia* in artificial breeding were analyzed. And the growth situations of *H. nipponia* were fitted and analyzed by using three nonlinear regression models (Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy). [Result] The specific growth rate of *H. nipponia* gradually declined with the increase of time, the highest specific growth rate reached 10.99%/d when *H. nipponia* larvae were fed after hatching 4 d. The body weight of *H. nipponia* increased with the feeding number, day-age and feeding amount. Three growth curve models all could fit the growth curve of *H. nipponia* better, and the fitting degree of Gompertz curve model was the best ($R^2=0.999$). [Conclusion] The curve models were feasible for fitting the growth curve of *H. nipponia*. The growth laws of *H. nipponia* could be grasped timely by fitting the growth curves.

Key words *Hirudo nipponia*; Growth performance; Growth curve; Model

日本医蛭(*Hirudo nipponia* Whitman, 1886)是中国药典(2015年版)收录的唯一吸食动物血液的水蛭药材基源,含有迄今为止发现的最强凝血酶天然抑制剂水蛭素^[1-2],具有极好的抗凝、抗血小板聚集作用,此外还能改善微循环、改善脑部缺氧、抗纤维化及抑制肿瘤细胞等作用,临床上广泛用于脑血栓、冠心病、脑水肿等的治疗^[3]。用新鲜日本医蛭冷冻、干燥、研磨成粉末的脉血康胶囊具有抑制血小板聚集、调节血脂、减低血液粘稠度、降低三酰甘油及胆固醇等作用,对心脑血管疾病具有良好的治疗作用^[4-6]。目前日本医蛭栖息地大面积缩减,野生水蛭资源量急剧下降,规模化的人工养殖是挽救这一宝贵中药资源直接有效的途径^[7]。然而,关于日本医蛭人工养殖生长性能尚未见报道,不利于日本医蛭集约化养殖工作的开展。

动物养殖生长曲线的分析和拟合是研究养殖动物生长发育规律的重要手段,目前养殖动物生长上常用 Logistic、Gompertz、Bertalanffy 3 种生长曲线模型拟合^[8-10]。通过对动物生长曲线的拟合分析,不仅可以动态了解动物的生长过程、预测动物的生长规律,而且可以指导饲养管理,为选育适合不同要求的动物品种提供依据。笔者对日本医蛭早期发育阶段生长性能与生长曲线模型进行了研究,以期日本医

蛭的集约化养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验所用日本医蛭幼蛭均为重庆市中药研究院药用动物研究组长期饲养,人工繁殖、孵化获得的个体。未摄食初孵幼蛭养殖于自制养殖玻璃容器,水量为 200 mL,养殖用水为充分曝气的自来水。每隔 1 d 换水 1 次,单次换水量为 200 mL。自然水温为 18~25 °C,溶解氧(DO)≥5 mg/L, pH 为(7.0±0.2),光照:黑暗周期控制在 12 h:12 h。

1.2 试验方法

1.2.1 特定生长率及饵料系数。根据投喂饵料量、生长时间等,计算特定生长率(SGR)和饵料系数(FCR)。

$$SGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / t \times 100\% \quad (1)$$

$$FCR = A / (W_2 - W_1) \quad (2)$$

式中, W_1 为初始体质量(g); W_2 为终末体质量(g); t 为养殖时间(d); A 为饲料投喂量(g)。

1.2.2 拟合曲线模型。采用 3 种常用的生长模型,即 Logistic 模型、Gompertz 模型和 Von Bertalanffy 模型,模型表达式及相关参数见表 1。其中, A 为极限生长量, k 为瞬时相对生长率, B 为调节参数, t 为日龄。

表 1 非线性生长模型表达式与参数

Table 1 The expression and parameters of nonlinear regression models

模型 Model	表达式 Expression	拐点体重 Body weight of inflexion	拐点日龄 Day-age of inflexion
Logistic	$Y = A / (1 + Be^{-kt})$	$A/2$	$(\ln B) / k$
Gompertz	$Y = Ae^{-B \exp(-kt)}$	A/e	$(\ln B) / k$
Von Bertalanffy	$Y = A(1 - Be^{-kt})^3$	$8A/27$	$(\ln 3B) / k$

基金项目 重庆市卫计委中医药科技项目(zy201602097);重庆市南岸区科技攻关计划项目(2017-17-46);重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2016shmszx1247)。

作者简介 鲁增辉(1983—),男,安徽桐城人,助理研究员,硕士,从事药用动物资源及可持续利用研究。*通讯作者,研究员,硕士生导师,从事中药资源研究。

收稿日期 2018-06-05

2 结果与分析

2.1 日本医蛭的生长性能 日本医蛭历经卵期孵化后,体重随着日龄的增加及投喂频率的增高而迅速生长。由表 2 可知,随着喂食次数及生长周期的增加,日本医蛭的特定生长率随生长时间的增长而逐渐下降,幼蛭孵化后 4 d 喂食,特定生长率最高(10.99%/d),其次为 14、24 d,均达到 9.16%/d。34、44 d 特定生长率相对较低,分别为 7.47%/d 和 1.25%/d。随着日龄及投喂次数的增加,日增重率逐渐增大,从第 1 次喂食到第 5 次喂食后,日增重率增加近 10 倍。4 d 日本医蛭饵料系数为 1.99,14、24、34 d 饵料系数相近,分别为 2.11、2.08 和 2.09,44 d 饵料系数最高,为 3.57。

表 2 不同日龄日本医蛭的生长性能

Table 2 The growth performance of *H. nipponia*

日龄 Day-age d	特定生长率 Specific growth rate//%/d	日增重率 Daily weight gain rate//mg/d	饵料系数 Feed coefficient
4	10.99	1.39	1.99
14	9.16	3.37	2.11
24	9.16	7.66	2.08
34	7.47	12.22	2.09
44	1.25	12.48	3.57

2.2 投喂次数、日龄、摄食量对日本医蛭体质量的关系 由表 3 可知,人工养殖日本医蛭摄食量及体重随投喂次数、日龄的增加呈现上升趋势。日本医蛭幼蛭摄食量,在前 2 次喂食期间无显著差异。随着投喂次数及日龄的增加,摄食量大幅度增加,试验组间存在显著差异($P < 0.05$)。日本医蛭首次喂食后平均体重为(0.020±0.013)g,投喂 1 次和 2 次日本医蛭的体重无显著差异。随投喂次数的增加,日本医蛭的体

重显著增加($P < 0.05$)。摄食 5 次后,日本医蛭的平均体重达到(0.377±0.170)g,即能达到性成熟,可用于作为第 2 年繁殖用的亲蛭。

回归分析表明,在日本医蛭早期发育阶段,日本医蛭体重与投喂次数呈幂函数增长,其回归方程为 $y = 0.0179x^{1.8585}$ ($R^2 = 0.9898$);日本医蛭体重与生长日龄呈二次函数增长关系,其回归方程为 $y = 0.0002x^2 + 0.0013x + 0.009$ ($R^2 = 0.9979$)。日本医蛭的体重与摄食量存在幂函数增长关系,其回归方程为 $y = 0.9959x^{1.0325}$ ($R^2 = 0.9979$)。

表 3 日本医蛭体重与投喂次数、日龄、摄食量的相关性

Table 3 The correlation between the body weight and feeding times, day-age and feeding amount of *H. nipponia*

投喂次数 Feeding times/次	日龄 Day- age d	平均摄食量 Average feeding amount//g	体重 Body weight//g	
			范围 Range	$\bar{x} \pm SD$
1	4	0.022±0.013 a	0.005~0.054	0.020±0.013 a
2	14	0.061±0.046 a	0.013~0.141	0.054±0.040 a
3	24	0.150±0.123 b	0.045~0.418	0.130±0.098 b
4	34	0.248±0.155 c	0.107~0.502	0.252±0.138 c
5	44	0.388±0.223 d	0.164~0.700	0.377±0.170 d

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$)

2.3 生长方程 Logistic、Gompertz 和 Von Bertalanffy 3 种生长曲线模型对日本医蛭的生长发育规律进行数学模拟的拟合参数估计值及拟合度(R^2),结果见表 4。从表 4 可以看出,Gompertz 和 Von Bertalanffy 曲线模型能很好地模拟日本医蛭幼蛭的生长曲线,拟合度均在 0.99 以上。其中,Gompertz 曲线模型的拟合度最好,达到 0.999,高于 Von Bertalanffy 和 Logistic 模型。

表 4 日本医蛭 3 种模型生长曲线参数估计值和拟合度

Table 4 The estimated value and fitting degree of three growth curve models' parameters of *H. nipponia*

模型 Model	A	B	K	R^2	拐点体重 Body weight of inflexion//g	拐点日龄 Day-age of inflexion//d
Logistic	0.406	6.714	0.071	0.851	0.203	26.820
Gompertz	0.964	4.829	0.037	0.999	0.355	42.558
Von Bertalanffy	2.602	0.876	0.014	0.998	0.771	69.016

用 Gompertz 和 Von Bertalanffy 模型拟合的日本医蛭幼蛭各日龄体重值与实际曲线均较为吻合,但 Gompertz 模型拟合精度更高,在估计日本医蛭早期体重方面更优。3 种曲线的拟合生长值与实际生长值曲线的生长曲线走势见图 1。从图 1 可以看出,Logistic 拟合生长曲线与实际生长曲线偏离较大,说明 Logistic 生长曲线并不适宜于拟合日本医蛭早期发育阶段的体重。

3 讨论与结论

3.1 日本医蛭的生长性能 关于水蛭生长性能方面的文献报道较少,主要集中于牛虻蛭^[11]、宽体金钱蛭^[12]、南美水蛭^[13]等少数物种。该研究首次报道了日本医蛭生长性能研究,并分析了特定生长率及饵料系数等数据,为开展规模化日本医蛭人工养殖奠定基础。研究发现日本医蛭体重增加

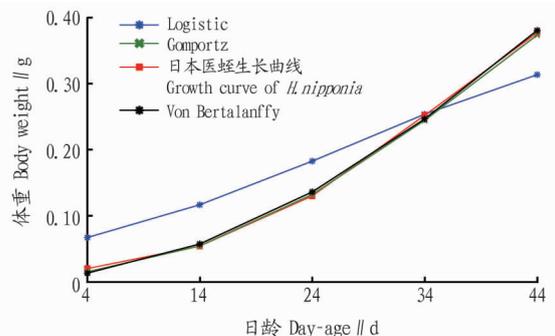


图 1 日本医蛭生长曲线与 3 种拟合曲线的比较

Fig. 1 The comparison between the growth curve of *H. nipponia* and three fitting curves

速度较快,呈现跳跃式生长,与已报道的其他水蛭相一致^[13-14]。幼蛭孵化后4 d喂食,生长率能高达10.99%/d,喂食5次后日本医蛭的平均体重是喂食1次平均体重的19倍左右。初孵日本医蛭在摄食5次后即能达到性成熟,平均体重为(0.377±0.170)g,单个体生物量远低于已报道的非牛蛭^[15]、欧洲医蛭^[16]、宽体金钱蛭^[17]。生物量小加上自身繁殖效率低下^[18],是限制日本医蛭药材产量的两个重要因素。

该研究发现日本医蛭生长初期,摄食量较小,平均摄食量为(0.022±0.013)g,生长却十分迅速,饵料系数也相应较小,而第5次喂食后饵料系数明显增加,可能与日本医蛭本身生长发育特点有关,也可能与第5次喂食期间外界环境温度降低有所关联。日本医蛭的体质量与投喂次数、日龄、摄食量均有较大关系,回归方程分别为 $y = 0.0179x^{1.8585}$ ($R^2 = 0.9898$)、 $y = 0.0002x^2 + 0.0013x + 0.009$ ($R^2 = 0.9979$)和 $y = 0.9959x^{1.0325}$ ($R^2 = 0.9979$)。因此,日本医蛭规模化养殖过程中,应该充分考虑投喂次数、日龄、摄食量等因素的影响。

3.2 日本医蛭最适生长方程比较 日本医蛭生长发育3种模型中,Gompertz曲线模型以及Von Bertalanffy曲线模型均能较好的吻合日本医蛭早期发育阶段的实际生长曲线,拟合生长方程分别为 $Y = 0.964e^{-4.829\exp(-0.057x)}$ ($R^2 = 0.999$)和 $Y = 2.602(1 - 0.876e^{-0.014x})^3$ ($R^2 = 0.998$),其中以Gompertz曲线模型最佳。Gompertz模型曲线拟合结果表明日本医蛭早期发育阶段曲线拐点时间分别为42.558 d,即在日本医蛭早期发育在43 d达到生长拐点,拐点体重为0.355 g,体重增长速度从越来越快变为越来越慢。Logistic模型拟合生长曲线与实际生长曲线有较大偏差,说明Logistic生长曲线并不适宜于拟合日本医蛭早期发育阶段的体重。

该研究运用Logistic、Gompertz、Von Bertalanffy 3种模型对日本医蛭早期发育阶段生长曲线拟合及分析,为及时了解日本医蛭的生长发育规律提供了参考。在实际规模化养殖中,可以根据模拟生长模型对日本医蛭的生长趋势进行预测,也可以根据不同的生长发育阶段提供不同的营养标准,

以满足其生长发育需要,用以提高日本医蛭的生产性能,满足日本医蛭药材的市场巨大需求。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 鲁增辉,贺宗毅,石萍,等. 日本医蛭抗凝活性研究[J]. 中国现代中药,2017,19(1):37-39.
- [3] 张香东,刘庚,常素慧,等. 水蛭 ISSR-PCR 反应体系的建立及优化[J]. 中草药,2013,44(2):215-218.
- [4] 李艳波. 脉血康胶囊治疗中老年冠心病心绞痛疗效观察[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2014,12(3):302.
- [5] 王志忠,胡叶暖,司马欣元,等. 脉血康胶囊治疗不稳定型心绞痛的疗效及安全性分析[J]. 中国医药,2012,7(9):1062-1063.
- [6] 刘伟芳. 脉血康胶囊治疗冠心病心绞痛的临床疗效研究[J]. 临床合理用药杂志,2016,9(15):114-116.
- [7] 石萍,鲁增辉,曾纬,等. 日本医蛭的研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2016,18(11):2013-2018.
- [8] KWAKKEL R P, DUCRO B J, KOOPS W J. Multiphasic analysis of growth of the body and its chemical components in white *Leghorn pullets* [J]. Poultry science, 1993,72(8):1421-1432.
- [9] HAMOUDA M B, ATTI N. Comparison of growth curves of lamb fat tail measurements and their relationship with body weight in Babarine sheep [J]. Small ruminant research, 2011,95(2/3):120-127.
- [10] 陆专灵,赵忠添,侯树鉴,等. 开口饵料对泥鳅苗种存活率的影响及其生长曲线拟合分析[J]. 南方农业学报,2016,47(8):1411-1415.
- [11] TEH J C, KAMARUDIN M S, ABDRAHIM A, et al. Effects of feeding frequency on the survival, growth and body composition of buffalo leech, *Hirudinaria manillensis* [J]. Asian journal of animal & veterinary advances, 2011,8(1):130-134.
- [12] 熊良伟,王帅兵,王建国,等. 宽体金钱蛭繁殖性能及蛭苗生长特征研究[J]. 上海海洋大学学报,2016,25(3):374-380.
- [13] SAWYER R T, LEPONT F, STUART D K, et al. Growth and reproduction of the giant glossiphoniid leech *Haementeria ghilianii* [J]. Biological bulletin, 1981,160(2):322-331.
- [14] 谭恩光,黄立英,关莹,等. 广东非牛蛭生长和生殖的研究[J]. 中草药,2002,33(9):837-840.
- [15] ZHANG B, LIN Q, LIN J D, et al. Effects of broodstock density and diet on reproduction and juvenile culture of the Leech, *Hirudinaria manillensis* Lesson, 1842 [J]. Aquaculture, 2008,276(1/2/3/4):198-204.
- [16] DAVIES R, MCLOUGHLIN N. The effects of feeding regime on the growth and reproduction of the medicinal leech *Hirudo medicinalis* [J]. Freshwater biology, 1996,36(3):563-568.
- [17] 张涛,于翔,龚元,等. 宽体金钱蛭室内繁殖的初步研究[J]. 水产学杂志,2014,27(2):52-55.
- [18] 石萍,鲁增辉,贺元川,等. 水蛭(日本医蛭)繁殖性能的研究[J]. 中药材,2015,38(6):1144-1147.

科技论文写作规范——缩略语

采用国际上惯用的缩略语。如名词术语 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)、ATP(三磷酸腺苷)、ABA(脱落酸)、ADP(二磷酸腺苷)、CK(对照)、CV(变异系数)、CMS(细胞质雄性不育性)、IAA(吲哚乙酸)、LD(致死剂量)、NAR(净同化率)、PMC(花粉母细胞)、LAI(叶面积指数)、LSD(最小显著差)、RGR(相对生长率)、单位名缩略语 IRRI(国际水稻研究所)、FAO(联合国粮农组织)等。对于文中有些需要临时写成缩写的词(如表及图中由于篇幅关系以及文中经常出现的词而写起来又很长时),则可取各主要词首字母写成缩写,但需在第一次出现处写出全称,表及图中则用注解形式在下方注明,以便读者理解。