

深县猪早期生长曲线的拟合及校正公式的制定

刘吉祥¹, 李兰会¹, 芦春莲¹, 刘松赞¹, 赵嘉龙¹, 杨珊¹, 陈海涛¹, 李煜¹, 李赛², 曹洪战^{1*}

(1. 河北农业大学动物科技学院, 河北保定 071000; 2. 河北正农牧业有限公司, 河北石家庄 050000)

摘要: 本文旨在比较不同日龄深县猪的早期生长发育情况, 在选择后备猪时挑选出生长性能优越的种猪。研究选取了 304 头 (182 头母猪、122 头公猪) 健康状况良好且在相同饲养条件下饲养的深县猪, 从 90 日龄开始测定猪只的体重, 每隔 10 d 测定 1 次, 150 日龄测定结束。使用双因素方差分析比较公猪和母猪早期生长发育情况, 通过 Logistic、Gompertz、Von Bertalanffy 和 Saturation 4 种非线性动物生长模型对深县猪早期生长曲线进行拟合, 分别计算深县猪公猪、母猪 4 种生长模型的校正公式。使用线性插值法计算每个个体达 50 kg 体重日龄真值, 并通过校正公式获取校正日龄绘制残差箱线图。根据残差箱线图比较校正公式在不同体重下的校正效果。结果表明: 深县猪母猪早期生长发育速度明显快于公猪, Logistic 模型与深县猪公猪的早期生长性状拟合度更高 ($R^2=0.988$), 在残差箱线图中箱体更接近残差中线, 尾线范围更小; Von Bertalanffy 模型与深县猪母猪的早期生长性状拟合度更高 ($R^2=0.992$), 在残差箱线图中箱体位于残差中线的数量最多, 尾线范围更小。综上所述, 深县猪公猪达 50 kg 体重日龄校正公式为 $t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{3.064}{2.720 + \ln W - \ln(85.443 - W)}$ 、深县猪母猪达 50 kg 体重日龄校正公式为 $t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{1.924}{0.176 - \sqrt{\frac{W}{88.826}}}$ 。本研究表明通过生长模型建立深县猪的校正公式是可行的,

且深县猪公猪达 50 kg 的平均日龄为 146 d, 深县猪母猪达 50 kg 的平均日龄为 128 d。

关键词: 深县猪; 生长模型; 早期生长性状; 校正公式; 线性插值法

中图分类号: S828.2

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20241224-01

在我国肉类食品市场中, 猪肉的占比处于绝对领先的地位。根据国家统计局数据显示, 2023 年我国猪肉总产量为 5 794 万 t, 占我国畜禽总产量的 54.8%^[1]。随着经济的发展和生活水平的提高, 人们对绿色健康食品的需求也逐渐提升, 扩大地方猪的市场以及注重生态养殖必然会成为现代畜牧业发展的趋势^[2]。深县猪作为京津冀地区唯一的地方猪, 具有繁殖率高、抗逆性强、耐粗饲、口感好、性成熟早的特点^[3]。据现有数据统计, 杜洛克、长白猪、大白猪、宣和猪、江泉黑猪、深县猪达 6 月龄平均体重分别为 113、113、115、94、91、56 kg^[4-7], 这一数据表明, 深县猪和其他猪种相比, 早

期生长速度较慢。因此在对深县猪进行选育时, 应注重对其生长速度的选择。

深县猪性成熟早, 公猪 6 月龄、母猪 7 月龄时即可进行配种。通常在深县猪 5 月龄时便可进行后备猪的选育工作。但在实际生产中, 由于猪群数量较大, 无法严格按照统一日龄进行后备猪的选育, 导致在对不同个体进行生产性能评定时可能会存在偏差。现有的体重日龄校正公式主要针对瘦肉型猪^[8-10], 关于地方猪校正公式的研究相对较少^[11-13]。此外, 不同的地方猪种生长状况不一致, 为更好的了解和比较深县猪早期生长发育状况, 在后备猪选育时筛选出生长性能更优越的种猪, 本试验通过建立深县猪达 50 kg 体重日龄的校正公式, 为判定不同日龄、不同体重下深县猪的生长性能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物 试验选择 2023—2024 年期间在河北正农牧业有限公司 (深县猪国家级核心育种场) 出生的健康无病仔猪, 每窝各选择 5 头猪 (3 母 2 公) 进行体重

收稿日期: 2024-12-24; 修回日期: 2025-02-28

资助项目: 河北省现代农业产业技术体系建设专项资金 (HBCT 2024220204)

作者简介: 刘吉祥 (2000-), 女, 河南武陟人, 硕士研究生, 主要从事动物遗传与育种研究, E-mail: 18239165675@163.com

* 通信作者: 曹洪战 (1970-), 男, 河北枣强人, 教授, 主要从事猪的遗传育种、养猪生产研究, E-mail: chz516@hebau.edu.cn

测定，截至试验结束共有 304 头（182 头母猪、122 头公猪）健康状况良好的猪只可用于进行深县猪早期生长曲线的拟合以及校正公式的制定。

1.2 试验设计 在试验开始前，对育肥舍进行全面打扫和消毒。自 90 日龄开始，每隔 10 d 测定 1 次体重，150 日龄时测定结束。所有的试验动物在相同的饲养管理和饲养水平下进行饲喂。采用自由采食、半封闭式的饲养模式。测定期间严格按照防疫手册进行防疫工作。体重的测定在每天早上料线放料前进行。

1.3 数据处理与分析 使用 Excel 2016 对数据进行初步处理，使用 SPSS 26.0 软件对生长曲线进行拟合并进行校正公式的制定，使用 RStudio 进行生长曲线图、残差箱线图的绘制。

1.3.1 校正公式的制定 采用 Logistic^[14]、Gompertz^[15]、Von Bertalanffy^[16] 和 Saturation 4 种非线性模型分别对深县猪的早期生长数据进行拟合，试验使用的 4 种生长模型如表 1 所示。通过计算不同生长模型对应的参数，探究不同生长模型与深县猪早期生长状况的拟合度。根据计算结果制定不同生长模型下深县猪达 50 kg 体重日龄的校正公式。校正公式的计算方法为：目标性状校正值 = 目标性状实测值 × C^[17]，C 为校正系数，C = 性状的目标预测值 ÷ 性状的实测值。

1.3.2 校正公式与校正效果比较 使用线性插值法获取每个个体达 50 kg 体重时的日龄真值，根据上述 4 种生长模型制定的校正公式分别对所有的测定数据进行校正，以获取每个个体在不同阶段达 50 kg 体重时的校正日龄。通过计算深县猪达 50 kg 体重时的日龄真值与校正日龄之间的差值获取残差并绘制残差箱线图，根据残差箱线图比较不同生长模型下校正公式的校正效果。

2 结果与分析

2.1 深县猪生长体重变化 深县猪早期生长数据如表 2 所示，由表 2 可知，不同性别、不同日龄的深县猪体重变异系数较大，均属于中等变异，表明深县猪各阶段的

体重即生长速度有较大的选育空间。由图 1 可知，早期深县猪母猪体重均高于公猪，使用 SPSS 26.0 软件中的双因素方差分析对不同性别深县猪的生长发育情况进行分析，结果显示 F 值为 95.736，显著性 $P<0.01$ ，说明不同性别的深县猪早期生长性状有显著差异。因此为了更好地对深县猪的生长曲线进行拟合以及对深县猪的校正公式进行制定，需要根据深县猪的性别分别进行分析和制定。

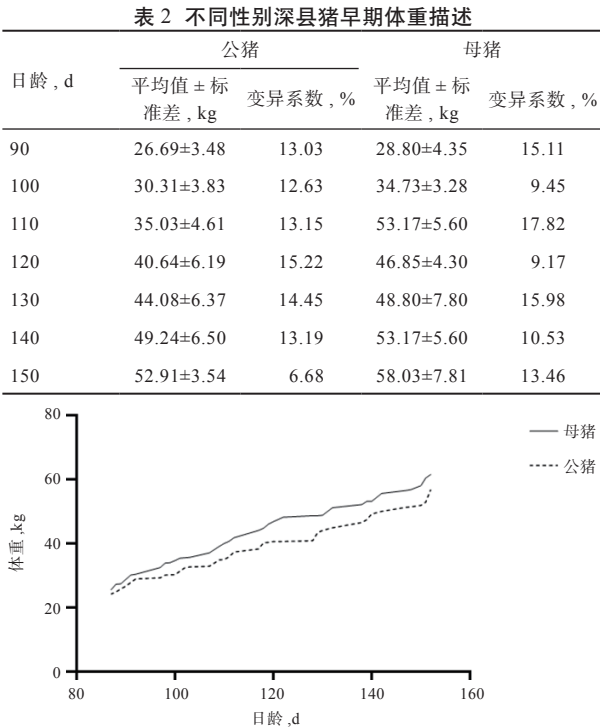


图 1 不同性别深县猪早期体重变化趋势

2.2 深县猪早期生长曲线拟合结果 使用 SPSS 26.0 软件通过 4 种模型对深县猪的早期生长曲线进行拟合，经迭代后各生长模型的最终参数 A、B、K 如表 3、4 所示。根据 Logistic、Gompertz、Von Bertalanffy 在不同性别深县猪中迭代后的最终参数可计算拐点日龄、拐点体重以及最大日增重，计算结果如表 3、4 所示。由表 3 可知，在深县猪公猪中，各生长模型拟合度由高到低分别为 Logistic、Gompertz、Von Bertalanffy、Saturation，

表 1 拟合生长曲线待定生长模型

模型	表达式	拐点日龄, d	拐点体重, kg	最大日增重, kg
Logistic	$W_t=A/(1+B\times e^{(-K\times t)})$	$(\ln B)/K$	A/2	Kw/2
Gompertz	$W_t=A\times e^{(-B\times e^{(-K\times t)})}$	$(\ln B)/K$	A/e	Kw
Von Bertalanffy	$W_t=A\times (1-B\times e^{-Kt})^3$	$(\ln 3B)/K$	8A/27	3Kw/2
Saturation	$W_t=t/(A+B\times t)$	-	-	-

注：Wt 表示日龄为 t 时的体重；A 表示体重极限参数；K 表示接近极限体重时的生长速率；B 表示达生长曲线拐点时的日龄（下表同）。Saturation 模型为单调递增函数，没有拐点。

Logistic 模型可以更好的反应公猪早期体重变化，模型表达式为 $W_t=85.443/(1+15.177\times e^{(-0.021\times t)})$ ；由表 4 数据可知，在深县猪母猪中，各生长模型拟合度由高到低分别为 Von Bertalanffy、Gompertz、Logistic、Saturation，Von Bertalanffy 模型可以更好的反应母猪早期体重变化，模型表达式为 $W_t=88.826\times(1-1.192\times e^{-0.015t})^3$ 。将表 3、4 中的参数代入表 1 中进行计算，可知不同性别深县猪在不同生长模型下的生长曲线表达式（表 5）。使用 RStudio 对深县猪的生长模型进行拟合，拟合结果如图 2、3 所示。图中 4 条曲线分别表示 4 种不同生长模型对深县猪公猪和深县猪母猪的早期生长曲线拟合结果。由图 2 和图 3 可知，除 Saturation 模型与实测数据偏差较大外，其余 3 种模型均能较好的反映不同性别深县猪的早期生长情况。

2.3 生长模型与校正公式的计算 根据本试验的研究内容可知，目标性状校正值为达 50 kg 体重时的日龄，性状实测值为实际测定时的日龄，经简化为：校正日龄 = 实测日龄 × 校正系数。对表 1 中各生长模型进行推导和计算可得不同生长模型对应的校正公式（表 6），根据推导和计算过程可知，不同生长模型下 W 的取值范围如表 6 所示。

2.4 校正公式的制定 将表 3、表 4 中参数代入表 6 可得不同性别深县猪在 4 种生长模型下的校正公式、校正公式的适用范围以及各校正公式达 50 kg 体重时的平均日龄，结果如表 7 所示。

2.5 校正公式与校正效果比较 使用 Rstudio 分别对不同性别深县猪的 4 种校正公式进行残差箱线图的绘制，横坐标为实测体重，纵坐标为日龄残差（残差为线性插

表 5 深县猪早期生长曲线模型表达式		
项目	生长模型	模型表达式
公猪	Logistic	$W_t=85.443/(1+15.177\times e^{(-0.021\times t)})$
	Gompertz	$W_t=139.733\times e^{(-3.713\times e^{(-0.009\times t)})}$
	Von Bertalanffy	$W_t=200.617\times(1-0.785\times e^{(-0.005t)})$
	Saturation	$W_t=t/(4.114-0.009\times t)$
母猪	Logistic	$W_t=73.053/(1+23.622\times e^{(-0.03\times t)})$
	Gompertz	$W_t=82.764\times e^{(-5.706\times e^{(-0.019\times t)})}$
	Von Bertalanffy	$W_t=88.826\times(1-1.192\times e^{(-0.015t)})$
	Saturation	$W_t=t/(3.626-0.008\times t)$

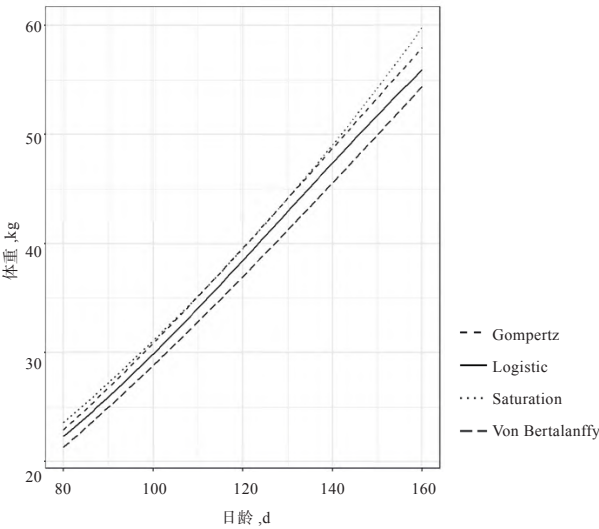


图 2 深县猪公猪不同模型的生长曲线

值法获取的日龄真值与校正日龄的差值），如图 4 所示。由图 4（A）可知，在深县猪公猪中，Logistic 模型在残差箱线图中箱体更接近残差中线，且尾线范围更小；由图 4（B）可知，在深县猪母猪中，Von Bertalanffy 模型在残差箱线图中箱体位于残差中线的数量最多，且

表 3 深县猪公猪生长曲线拟合系数及拟合度								
项目	参数					拐点日龄, d	拐点体重, kg	最大日增重, kg
	A	B	K	R ²	RSS			
Logistic	85.443	15.177	0.021	0.988	0.011	129.513	42.717	0.449
Gompertz	139.733	3.713	0.009	0.987	0.010	145.760	51.405	0.514
Von Bertalanffy	200.617	0.785	0.005	0.987	0.010	171.308	59.442	0.446
Saturation	4.114	-0.009	-	0.987	37.537	-	-	-

表 4 深县猪母猪生长曲线拟合系数及拟合度								
项目	参数					拐点日龄, d	拐点体重, kg	最大日增重, kg
	A	B	K	R ²	RSS			
Logistic	73.053	23.622	0.030	0.990	0.012	105.406	36.527	0.342
Gompertz	82.764	5.706	0.019	0.991	0.011	93.129	30.446	0.548
Von Bertalanffy	88.826	1.192	0.015	0.992	0.010	85.958	26.319	0.585
Saturation	3.626	-0.008	-	0.980	92.143	-	-	-

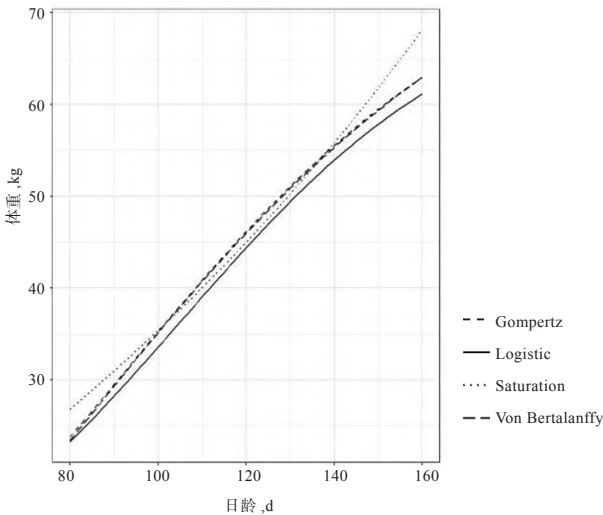


图 3 深县猪母猪不同模型的生长曲线
尾线范围更小。

3 讨论

3.1 生长模型 Logistic、Gompertz 和 Von Bertalanffy

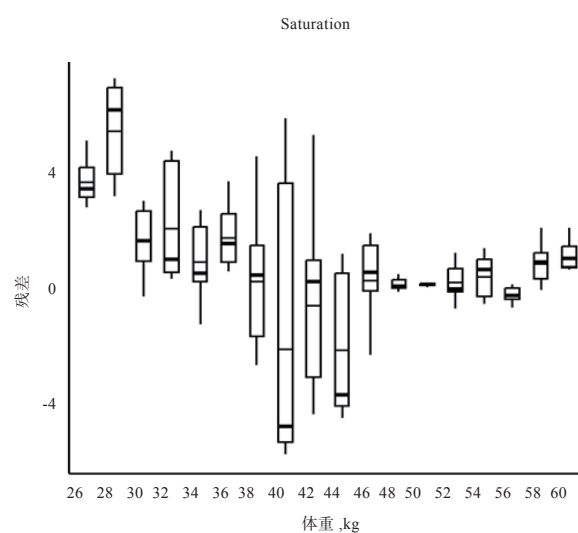
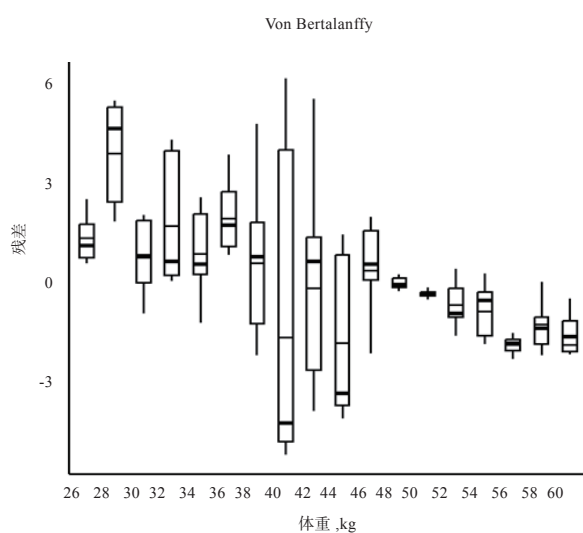
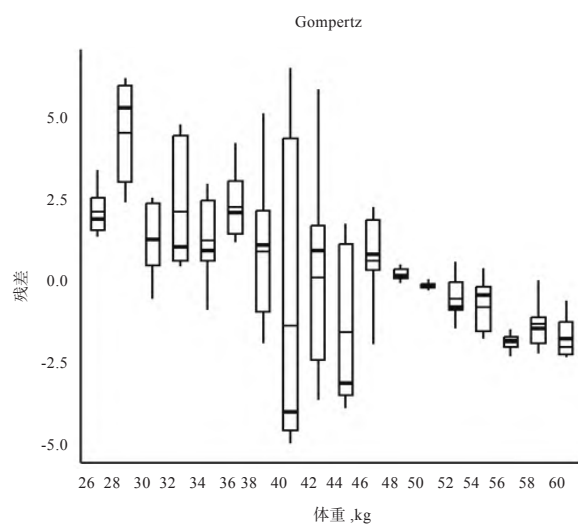
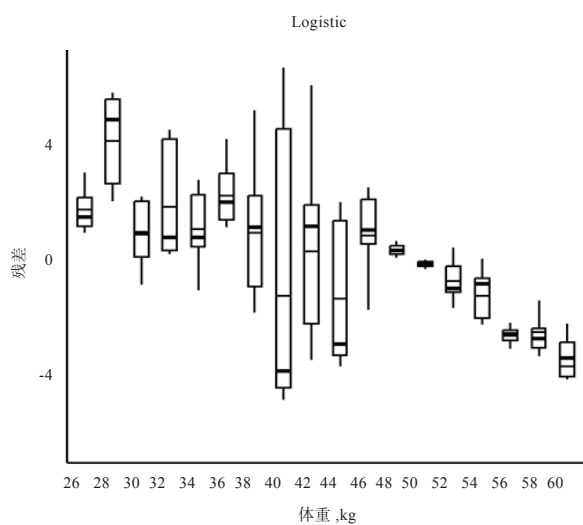
模型是目前拟合动物生长曲线最常用的生长模型，**Saturation** 模型在猪的一定发育阶段，是研究日龄与体重关系的最适方程，该模型回归拟合度高，公式简单实用。本研究使用 4 种生长模型对深县猪早期生长曲线进行拟合发现，在深县猪公猪中，**Logistic** 模型的拟合度最高 ($R^2=0.988$)；在深县猪母猪中，**Von Bertalanffy** 模型拟合度最高 ($R^2=0.992$)。本研究数据表明，**Logistic**、**Gompertz**、**Von Bertalanffy** 模型在深县猪生长曲线的拟合度均大于 0.987。王梓蓓等^[18]使用 **Logistic**、**Gompertz**、**Von Bertalanffy** 3 种模型对德宏瘤牛的体重进行拟合分析，结果表明 3 种模型 R^2 均大于 0.902；葛影影等^[19]使用 **Logistic**、**Gompertz**、**Von Bertalanffy** 3 种模型对清远黄羽乌鸡生长曲线进行拟合，发现 R^2 均大于 0.990，与本研究结果基本一致。这表明本研究所采用的 3 种非线性模型同样符合深县猪的一般生长规律。本试验在对不同性别深县猪的研究结果中发现，**Saturation** 模型拟合度较低，柏云心等^[12]使用

表 6 生长模型对应校正公式计算

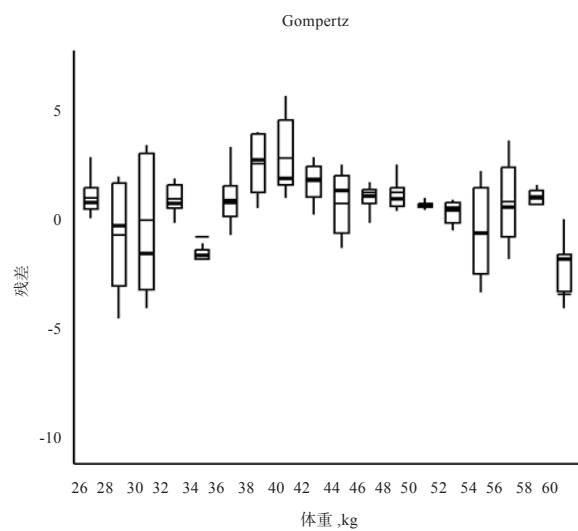
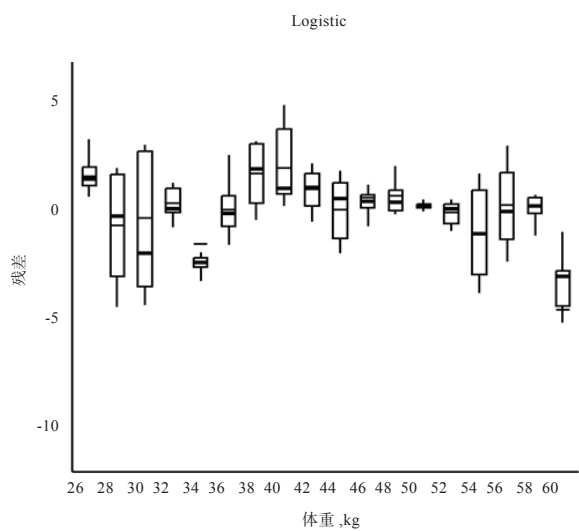
模型	校正系数		校正公式	使用范围
Logistic	$t = \frac{\ln BW - \ln (A - W)}{K}$	$C = \frac{\ln 50B - \ln (A - 50)}{\ln WB - \ln (A - W)}$	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{\ln 50B - \ln (A - 50)}{\ln WB - \ln (A - W)}$	$\frac{A}{B+1} < W < A$
Gompertz	$t = \frac{\ln B - \ln \ln (\frac{A}{W})}{K}$	$C = \frac{\ln B - \ln (\ln \frac{A}{50})}{\ln B - \ln (\ln \frac{A}{W})}$	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{\ln B - \ln (\ln \frac{A}{50})}{\ln B - \ln (\ln \frac{A}{W})}$	$\frac{A}{e^B} < W < A$
Von Bertalanffy	$t = \frac{\ln B - \ln (1 - 3\sqrt{\frac{W}{A}})}{K}$	$C = \frac{\ln B - \ln (1 - 3\sqrt{\frac{50}{A}})}{\ln B - \ln (1 - 3\sqrt{\frac{W}{A}})}$	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{\ln B - \ln (1 - 3\sqrt{\frac{50}{A}})}{\ln B - \ln (1 - 3\sqrt{\frac{W}{A}})}$	$0 < W < A$
Saturation	$t = \frac{AW}{1 - WB}$	$C = 1 + \frac{W - 50}{W (50B - 1)}$	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times 1 + \frac{W - 50}{50 (1 - WB)}$	$W > 0$

表 7 深县猪达 50 kg 体重日龄校正公式

性别	模型	校正公式	适用范围	达 50 kg 平均日龄, d
公猪	Logistic	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{3.06}{2.72 - \ln \frac{W}{85.44 - W}}$	$5.28 < W < 85.44$	145.90
	Gompertz	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{1.28}{1.31 - \ln(4.94 - \ln W)}$	$3.41 < W < 139.73$	142.72
	Von Bertalanffy	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{0.75}{-0.24 - \ln(1 - 3\sqrt{\frac{W}{200.62}})}$	$0 < W < 200.617$	149.90
	Saturation	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{1000 + 9W}{29W}$	$W > 0$	141.86
	Logistic	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{3.94}{3.16 - \ln \frac{W}{73.05 - W}}$	$2.97 < W < 73.05$	131.18
母猪	Gompertz	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{2.425}{1.74 - \ln(4.42 - \ln W)}$	$0.28 < W < 82.76$	127.72
	Von Bertalanffy	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{1.92}{0.18 - \ln(1 - 3\sqrt{\frac{W}{88.83}})}$	$0 < W < 88.83$	127.91
	Saturation	$t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{250 + 2W}{7W}$	$W > 0$	129.50



深县猪公猪



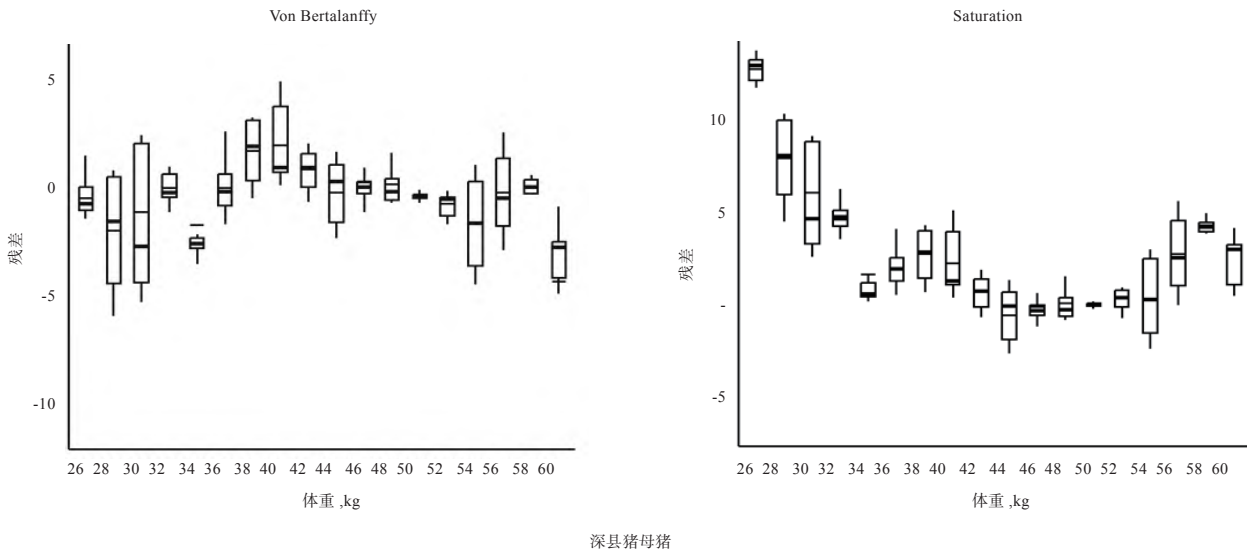


图 4 深县猪达 50 kg 体重日龄残差箱线图

Logistic、Gompertz 和 Saturation 模型对湘岭猪体重的生长规律进行拟合,发现 Logistic、Gompertz 模型拟合度接近且优于 Saturation 模型,与本研究的拟合结果一致,表明深县猪的生长发育更接近于非线性增长。冯小芳等^[20]研究发现,Logistic 模型在早期生长缓慢,生长拐点时间较晚的动物中拟合效果更好,Gompertz 模型在早期生长速度较快的动物中拟合效果更好,而生长增量慢的动物使用 Von Bertalanffy 模型拟合效果更好。这与本研究结果一致,表明该研究的可信度较高。

3.2 校正公式的制定 动物的生长曲线呈现非线性增长,我国生猪产业体系直接采用加拿大、美国的校正公式进行达 100 kg 体重日龄校正公式的制定^[21]。但研究发现,加拿大、美国的校正公式都是基于线性生长模型推导得到的,并不适用于畜禽的非线性增长,且如果直接运用到其他体重的校正公式时,与达 100 kg 体重的校正效果相比会产生较大差异^[22]。因此,本研究在对深县猪达 50 kg 体重日龄校正公式进行制定时,选择更符合畜禽生长发育规律的非线性模型进行制定。

生长性状是经济性状的重要指标之一。在生产过程中,动物的遗传选育工作主要目标是为了提高动物的经济性状。在进行后备猪的选择以及屠宰性能测定时,生产人员会更多的注重生长状况这一指标。学者们通常会根据动物的生长模型进行校正公式的制定,陈文成等^[10]通过 Logistic 曲线模型制作了杜洛克公猪达 100 kg 体重日龄的校正公式,朱良宇等^[23]通过猪的早期数据预

测了兰德瑞斯、约克夏、杜洛克猪达 100 kg 体重日龄的校正公式,均为屠宰时间提供了参考依据。李丛艳等^[24]通过生长曲线模型拟合了蜀兴 1 号肉兔达 2 000 g 体重日龄的生长性状校正公式,为肉兔的出栏时间提供了参考依据。杨岸奇等^[25]利用 Saturation 模型制定了沙子岭猪达 50 kg 体重日龄校正公式,为沙子岭猪后备猪的选育提供了依据。吴有林等^[11]制定了上杭槐猪达 8 kg 体重日龄的校正公式,有助于衡量断乳时上杭槐猪的生长性能。

3.3 校正公式与校正效果比较 生长模型的拟合度 R^2 可以评判生长曲线的优劣,拟合度更高的生长模型可以更好的反应生长发育规律^[26]。残差箱线图中箱体的位置越接近标准线、尾线范围越窄表明校正效果更好^[11,22]。本研究通过对不同生长模型拟合度的计算以及残差箱线图的绘制可知,拟合度越高的生长模型在残差箱线图中尾线的范围更小,且箱体更接近残差中线。该结果表明生长模型拟合度越高,校正效果越好。通过残差箱线图的绘制,可以比较校正公式在不同体重时的校正效果,根据校正效果精确校正公式适用的体重范围,更好的预测达 50 kg 体重的校正日龄。

4 结 论

Logistic 模型可以更好的反映深县猪公猪的生长发育规律,模型表达式为 $W_t=85.443/(1+15.177 \times e^{(-0.021 \times t)})$,通过该生长模型制定深县猪公猪达 50 kg 体重日龄校正

公式为 $t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{3.064}{2.720 + \ln W - \ln(85.443 - W)}$, 达 50 kg 时的平均日龄为 146 d; Von Bertalanffy 模型可以更好的反映深县猪母猪的生长发育规律, 模型表达式为 $W_t = 88.826 \times (1 - 1.192 \times e^{-0.015t})^3$, 通过该模型制定深县猪母猪达 50 kg 体重日龄校正公式为 $t_{\text{校}} = t_{\text{实}} \times \frac{1.924}{0.176 - 3\sqrt[3]{\frac{W}{88.826}}}$, 达 50 kg 时的平均日龄约为 128 d。

参考文献:

- [1] 侯水生. 建议优先发展高质量家禽产业[J]. 中国经济报告, 2024(2): 50-51.
- [2] 胡朝平, 李波, 张荣兵. 郟阳黑猪产业化发展路径研究[J]. 当代畜牧, 2023(12): 163-168.
- [3] 李建广, 焦静社, 高永涛, 等. 深县猪的优良性状及发展方向[J]. 猪业科学, 2015, 32(8): 134-136.
- [4] 赵海燕. 基于高密度 SNP 芯片的深县猪体型性状全基因组关联分析[D]. 石家庄: 河北农业大学, 2018.
- [5] 杨壮. 江泉黑猪生长和繁殖性能测定及遗传评估和指数构建[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [6] 董合瑞. 大体型瘦肉型猪生长性能和体尺性状分析及曲线拟合研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [7] 吴浩铭, 朱怡轩, 曾韦植, 等. 宣和猪 *FGF14* 基因多态性及其对生长性状的影响[J]. 江西农业学报, 2022, 34(2): 154-159.
- [8] 刘望宏. 瘦肉型种猪早期生长性状校正公式及其效果初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [9] 陈颖. 长白猪 21 日龄窝重校正公式的建立[J]. 中国猪业, 2015, 10(5): 51-53.
- [10] 陈文成, 王爱国, 叶健. 利用 sas 软件拟合猪生长曲线并制作校正公式[J]. 当代畜禽养殖业, 2019(7): 3-5.
- [11] 吴有林, 阳文攀, 何清辉, 等. 上杭槐猪达 8 kg 体重日龄校正公式研究[J]. 福建畜牧兽医, 2022, 44(5): 23-26.
- [12] 柏云心, 谭红, 李玉莲, 等. 湘岭猪生长曲线拟合及校正公式制定研究[J]. 猪业科学, 2022, 39(9): 100-103.
- [13] 崔登帅, 熊三亚, 郑浩, 等. 里岔黑猪和巴里杂交猪母猪 100 kg 体重日龄校正方法的比较[J]. 中国农业科学, 2023, 56(6): 1177-1188.
- [14] Wu R L, Ma C X, Littell R C, et al. A logistic mixture model for characterizing genetic determinants causing differentiation in growth trajectories[J]. Genet Res, 2002, 79(3): 235-245.
- [15] Wang J L, Guo X. The Gompertz model and its applications in microbial growth and bioproduction kinetics: past, present and future[J]. Biotechnol Adv, 2024, 72: 108335.
- [16] Fernandes F A, Fernandes T J, Pereira A A, et al. Growth curves of meat-producing mammals by von Bertalanffy's model[J]. Pesqui Agropecu Bras, 2019, 54: e01162.
- [17] 张勤, 徐宁迎, 贾青, 等. 生物统计学 2 版[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 141-142.
- [18] 王梓蓓, 戴思凡, 孔小艳, 等. 德宏瘤牛体型外貌鉴定及生长曲线拟合分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(12): 146-151.
- [19] 葛影影, 何国戈, 郑经成, 等. 清远黄羽乌鸡生长曲线的拟合与分析[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(17): 90-93.
- [20] 冯小芳, 蒋秋斐, 封元, 等. 安格斯牛体重和体尺性状生长曲线拟合与相关性分析[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(1): 50-59.
- [21] 张金山, 王立刚, 张跃博, 等. 杜洛克猪饲料利用效率测定阶段及 RFI 校正公式研究[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(6): 1723-1729.
- [22] 陆杰, 李双智, 张宝羽, 等. 种猪生长性状校正公式研究[J]. 中国猪业, 2024, 19(3): 77-84.
- [23] 朱良宇, 杨喜堤, 朱康平, 等. 利用早期测定数据预测猪达 100 kg 体重日龄的集成学习模型研究[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(5): 94-100.
- [24] 李丛艳, 谢晓红, 雷岷, 等. 蜀兴 1 号肉兔生长性状校正公式的制定[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(11): 123-126.
- [25] 杨岸奇, 吴买生, 向拥军, 等. 沙子岭猪生长性状校正公式的制定[J]. 猪业科学, 2015, 32(2): 132-134.
- [26] 王玲, 吴盈萍, 李海英, 等. 不同杂交组合鸽后代生长性能比较与生长曲线模型建立[J]. 中国饲料, 2024(15): 41-48.

(责任编辑: 石丽丹)