



不同产犊季节对荷斯坦牛生长曲线拟合的影响

王梦琦, 唐 程, 倪 炜, 郭佳禾, 张慧敏, 李明勋, 杨章平, 毛永江*

(扬州大学 动物科学与技术学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:【目的】掌握不同产犊季节荷斯坦牛的生长发育规律, 为提高其生产性能提供参考依据。【方法】测定并收集江苏地区某大型奶牛场3~24月龄荷斯坦牛的体尺和体重数据共7251头次, 以SPSS 16.0计算出不同产犊季节下不同月龄荷斯坦牛体高、胸围、体斜长、体重和平均日增重的平均值和标准差, 再分别利用Logistic、Gompertz、Brody和Von Bertalanffy等非线性生长曲线模型对体高、胸围、体斜长和体重进行拟合分析, 利用Wood模型对平均日增重进行拟合分析。【结果】各非线性生长曲线模型对不同产犊季节荷斯坦牛生长曲线的拟合效果存在一定差异, 其中, Logistic和Brody模型对各生长指标的拟合度(R^2)整体上高于其他模型, Wood模型仅适用于冬季产犊荷斯坦牛平均日增重拟合。体高、胸围、体斜长和体重的最佳拟合曲线与实测值曲线基本一致, 但平均日增重拟合曲线与其实测值曲线在部分月龄时差异明显。不同产犊季节对荷斯坦牛的最佳生长曲线拟合模型及其体尺和体重指标均有影响, 如6月龄时秋季产犊荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长、体重和日增重显著高于夏季产犊荷斯坦牛($P<0.05$, 下同), 而21月龄时夏季产犊荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长、体重和日增重显著高于冬季产犊荷斯坦牛。不同产犊季节荷斯坦牛的平均日增重均随月龄增加呈先上升后下降的变化趋势, 且冬季产犊荷斯坦牛最先出现平均日增重峰值。【结论】各非线性生长曲线模型对不同产犊季节荷斯坦牛生长曲线的拟合效果存在一定差异, 因此针对不同产犊季节荷斯坦牛采用不同模型对其体尺和体重进行拟合更准确。

关键词: 荷斯坦牛; 体尺; 体重; 产犊季节; 非线性生长曲线模型

中图分类号: S823.91

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2018)11-2311-09

Effects of calving seasons on growth curve fitting of Holstein cattle

WANG Meng-qi, TANG Cheng, NI Wei, GUO Jia-he, ZHANG Hui-min,
LI Ming-xun, YANG Zhang-ping, MAO Yong-jiang*

(College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: 【Objective】The purpose of this study was to explore the growth curve with higher fitting degree for the growth of Chinese Holstein cattle and influence of different calving seasons on the optimal growth fitting curve of Chinese Holstein cattle. 【Method】A total of 7251 recordings of body measurements and weight of Chinese Holstein cattle which were 3–24 months old were measured in a large farm in Jiangsu. SPSS 16.0 was used to calculate the average value and standard deviation of body height, chest circumference, body oblique length, weight and the average daily gain of Chinese Holstein cattle with different monthly ages and calving seasons. Logistic model, Gompertz model, Brody model and Bertalanffy model were used to analyze the body height, chest circumference, body oblique length and weight, and the average daily gain was fitted by Wood model. 【Result】The fitting effects of different non-linear growth curve models were different on Chinese Holstein cattle with different calving seasons. The Logistic and Brody models had generally better fitness to each index than others, and Wood model was only suitable for fitting the average daily gain of cattle calved in winter. The best fitting curves of body height, chest circumference, body oblique length and body weight were basically consistent with the measured ones, but the fitting curves of average daily gain were obviously different from the measured ones at some monthly ages. Different calving seasons had effects on the optimal fitting model, and the body measurement and weight traits. At the age of six months, the cattle calved in autumn had significantly higher body height, chest circumference, body oblique length, weight and the daily gain than those calved in summer ($P<0.05$, the same below). The cattle calved in autumn at 21 months old had significantly higher body height, chest circumference, body oblique length, weight and the daily gain than those calved in winter. The average daily gain of Chinese Holstein cattle with different cal-

收稿日期: 2018-04-24

基金项目: 江苏省农业自主创新基金项目[CX(17)1005]; 江苏省企业研究生工作站体系建设项目[2016(337)]

作者简介: *为通讯作者, 毛永江(1974-), 教授, 主要从事奶牛遗传育种研究工作, E-mail: cattle@yzu.edu.cn。王梦琦(1993-), 研究方向为奶牛遗传育种, E-mail: 770406499@qq.com

ving seasons increased firstly and then decreased with the increase of the monthly age, the cattle calved in winter reached the peak of average daily gain firstly. 【Conclusion】The cumulative growth value and growth rate of body height, chest circumference, body oblique length, weight of Holstein calved in spring and summer are higher than those of Holstein calved in autumn and winter. Therefore, it will be more accurate to fit the body measurement and weight of Chinese Holstein cattle with optimal fitting model according to calving seasons.

Key words: Holstein cattle; body measurement; body weight; calving season; non-linear growth fitting model

0 引言

【研究意义】生长曲线模型是用于研究动物体重或体尺等指标随时间增长而变化的一种模型,现已广泛应用于生物研究领域(王晓博,2016;赵旺等,2017)。通过生长曲线的拟合分析,不仅可精确预测出鸡、羊、猪、牛等畜禽的生长发育过程,有利于充分挖掘其生产性能,还能在育种过程中对发生的选择反应进行精确预测(Behr et al., 2001)。可见,生长曲线对于研究畜禽生长发育规律起着至关重要的作用,而开展畜禽生长曲线拟合分析是畜牧工作者揭示畜禽生长发育规律的最主要方法之一。【前人研究进展】常用的生长曲线研究模型主要有以下4种:Brody、Logistic、Gompertz和Von Bertalanffy模型(戴燕萍等,2012;刘双艳等,2016;张勇等,2016;杨建军等,2017)。其中,Brody模型是模拟渐近生长过程;Logistic和Gompertz模型是有固定拐点的S形生长曲线模型(Darmani et al., 2003);Von Bertalanffy模型也是S形生长曲线模型,但其拐点并不固定。Logistic和Gompertz模型因其拐点位置不同而适用于具有不同生长特点的品种,Logistic模型适用于早期生长慢、生长拐点较迟的品种,Gompertz模型则偏向于模拟早期生长迅速的的生长过程。目前,针对牛生长曲线拟合的研究已有较多报道。张丽等(2008)将Brody、Logistic、Gompertz和Von Bertalanffy模型应用于南阳黄牛母牛体重生长发育拟合分析,结果发现以Von Bertalanffy模型的拟合效果最佳,拟合度(R^2)为0.9800,南阳母牛的生长拐点月龄为4.41月,拐点体重113.77 kg,成熟体重383.97 kg。王玲等(2010)运用Logistic、Gompertz和Brody模型拟合川南山地黄牛的的生长曲线,结果显示3种模型均能很好地拟合公牛、母牛的体尺体重生长曲线,除公牛用Gompertz模型、母牛的体高用Logistic模型拟合较好外,其余的体尺体重指标宜采用Brody模型进行拟合。再娜古丽·君居列克等(2014)、刘丽元等(2015)分别采用Brody、Logisito、Gompertz和Von Bertalanffy模型对新疆褐牛的母牛和公牛进行生长曲线拟合分析,结果证实这4种模型均能较好地拟合新疆褐牛的生长

发育,其中新疆褐牛母牛在1~12月龄,尤其是1~6月龄的生长发育速度快且生长强度大,但随年龄的增加,其生长速度和生长强度逐渐下降。闫向民等(2016)研究表明,Logistic、Gompertz和Von Bertalanffy模型均可应用于新疆褐牛及其后代体重的拟合分析,但以Logistic模型拟合效果最佳,可为新疆褐牛乳用新品系标准化饲养及选种选育提供参考依据。梁永虎等(2018)采用Brody、Logistic、Gompertz和Von Bertalanffy模型拟合西门塔尔牛的生长曲线,结果显示,Von Bertalanffy和Gompertz模型对其体重的拟合度优于其他两种模型。综上所述,Brody、Logistic、Gompertz和Von Bertalanffy模型已广泛应用于牛生长发育的研究,但其拟合效果在不同品种间存在一定差异。【本研究切入点】荷斯坦牛作为目前世界上最优秀的奶牛品种,能带来巨大的经济效益,因此其生长发育规律的研究得到高度重视,并用以指导生产实践。在荷斯坦牛的生长发育过程中,存在诸多影响因素,其中产犊季节是主要因素之一,但目前国内鲜见产犊季节对荷斯坦牛生长曲线拟合影响的相关研究报道。【拟解决的关键问题】采集江苏某奶业集团规模牛场3~24月龄荷斯坦母牛的体高、胸围、体重和体斜长等数据,利用Logistic、Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型进行拟合分析,同时采用不完全伽玛函数模型(简称Wood模型)(王晓博,2016)对平均日增重进行拟合分析,掌握不同产犊季节荷斯坦牛的生长发育规律,为提高其生产性能提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

试验数据采集自江苏地区某大型奶牛场,对3028头荷斯坦牛不同阶段(3~24月龄)的体高、胸围、体斜长、体重和平均日增重共5个指标进行测定,每头牛测定2~4次,测量间隔3~6个月,合计7251头次。该牧场在饲养管理方面较先进,采用先进的Afimilk管理系统全程监控每头牛的运动及产奶等情况。

1.2 统计分析

利用SPSS 16.0计算出不同产犊季节下不同月

龄牛只体高、胸围、体斜长、体重和平均日增重的平均值和标准差,并使用单因素方差模型分析不同产犊季节对不同月龄荷斯坦牛体尺、体重和平均日增重的影响,具体模型如下:

$$Y=\mu+s+e$$

其中, Y 为体高、胸围、体斜长、体重和平均日增重的观察值, μ 为群体均值, s 为产犊季节的固定效应, e 为随机误差。根据当地气候特点,季节划分如下:3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—翌年2月为冬季。

利用Logistic、Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型对荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长和体重进行拟合分析,采用Wood模型对平均日增重进行拟合分析。不同模型公式如下:

$$\text{Logistic模型: } Y_{(t)} = \frac{A}{1 + e^{-k(t-B)}}$$

$$\text{Gompertz模型: } Y_{(t)} = Ae^{[-\text{Bexp}(-kt)]}$$

$$\text{Brody模型: } Y_{(t)} = A(1 - Be^{-kt})$$

$$\text{Von Bertalanffy模型: } Y_{(t)} = A[1 - Be^{(-kt)}]^3$$

$$\text{Wood模型: } Y_{(t)} = At^B e^{-Ct}$$

在前4个模型中, $Y_{(t)}$ 表示 t 月龄时的体尺指标或体重指标; A 表示体尺指标或体重指标的极限值; B 表示达最大生长率时的时间; k 表示瞬时的生长速率; e 表示自然对数,是一个固定值,约2.71828。在Wood模型中, $Y_{(t)}$ 表示平均日增重; t 表示月龄; A 、 B 、 C 是模型参数,其中, A 表示荷斯坦牛的生长潜力, B 表示平均日增重曲线达峰值时的上升速率, C 表示达生长峰值后平均日增重曲线下降的速率。

通过拟合度(R^2)和残差平方和评价各拟合曲线方程的优劣性,当 R^2 越大,误差均方越小,则说明该模型与生长曲线的拟合度越高。

2 结果与分析

2.1 不同生长曲线模型的拟合参数及其拟合度

利用Logistic、Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型对7251头次不同产犊季节荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长和体重进行生长曲线拟合的模型参数及 R^2 详见表1~4。荷斯坦牛体高、胸围、体斜长和体重生长曲线的拟合度均 ≥ 0.940 。

从表1可看出,春季产犊荷斯坦牛体高生长曲线以Logistic模型的 R^2 最高,为0.951;夏季产犊荷斯坦牛体高生长曲线以Brody模型的 R^2 最高,为0.967;秋季产犊荷斯坦牛体高生长曲线以Brody模型的 R^2 最高,为0.977;冬季产犊荷斯坦牛体高生长曲线以Logistic模型的 R^2 最高,为0.956。

从表2可看出,采用Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型拟合春季产犊荷斯坦牛胸围生长曲线的 R^2 均为0.970,但Brody模型的残差平方和最小(24.212);夏季产犊荷斯坦牛胸围生长曲线以Brody和Von Bertalanffy模型的 R^2 最高,均为0.975,但Brody模型的残差平方和最小(21.102);秋季产犊荷斯坦牛胸围生长曲线以Gompertz模型的 R^2 最高,为0.987;冬季产犊荷斯坦牛胸围生长曲线以Brody和Von Bertalanffy模型的 R^2 最高,均为0.989,但Brody模型的残差平方和最小(7.407)。

从表3可看出,春季产犊荷斯坦牛体斜长生长曲线以Logistic和Gompertz模型的 R^2 最高,均为0.941,但Logistic模型的残差平方和最小(27.240);采用4种模型拟合夏季产犊荷斯坦牛体斜长生长曲线的 R^2 均为0.977,但Logistic模型的残差平方和最小(10.473);不同模型拟合秋季产犊荷斯坦牛体斜长生长曲线的 R^2 均为0.967,但Von Bertalanffy模型的残

表 1 不同产犊季节和模型对荷斯坦牛体高进行生长曲线拟合的参数及拟合效果

Table 1 Parameters and fitting effects of growth curve fitting of different calving seasons and models for body height of Holstein cattle

模型 Model	产犊季节 Calving season	模型参数 Model parameter			残差平方和 Residual sum of squares	R^2
		A	B	k		
Logistic	春 Spring	146.474	-1.851	0.175	10.034	0.951
	夏 Summer	146.471	-1.648	0.179	7.252	0.964
	秋 Autumn	148.060	-2.581	0.148	5.033	0.974
	冬 Winter	151.156	-3.486	0.124	8.516	0.956
Gompertz	春 Spring	147.165	0.577	0.154	10.168	0.950
	夏 Summer	147.169	0.594	0.158	6.913	0.965
	秋 Autumn	148.923	0.551	0.131	4.723	0.975
	冬 Winter	152.694	0.524	0.105	8.702	0.955
Brody	春 Spring	148.045	0.464	0.134	10.360	0.949
	夏 Summer	148.05	0.477	0.138	6.622	0.967
	秋 Autumn	150.041	0.447	0.113	4.442	0.977
	冬 Winter	154.739	0.426	0.087	8.915	0.954
Von Bertalanffy	春 Spring	147.434	0.179	0.147	10.225	0.950
	夏 Summer	147.439	0.184	0.151	6.810	0.966
	秋 Autumn	149.262	0.171	0.125	4.626	0.976
	冬 Winter	153.308	0.163	0.099	8.770	0.955

表 2 不同产犊季节和模型对荷斯坦牛胸围进行生长曲线拟合的参数及拟合效果

Table 2 Parameters and fitting effects of growth curve fitting of different calving seasons and models for chest circumference of Holstein cattle

模型 Model	产犊季节 Calving season	模型参数 Model parameter			残差平方和 Residual sum of squares	R^2
		A	B	k		
Logistic	春 Spring	197.647	1.712	0.200	26.185	0.968
	夏 Summer	199.511	1.993	0.190	23.778	0.972
	秋 Autumn	196.546	1.852	0.199	10.763	0.986
	冬 Winter	194.177	1.575	0.212	9.448	0.986
Gompertz	春 Spring	199.471	0.978	0.168	24.881	0.970
	夏 Summer	201.888	0.998	0.156	22.081	0.974
	秋 Autumn	198.582	0.994	0.165	10.446	0.987
	冬 Winter	195.785	0.976	0.178	8.179	0.988
Brody	春 Spring	202.181	0.689	0.135	24.212	0.970
	夏 Summer	205.481	0.693	0.123	21.102	0.975
	秋 Autumn	201.625	0.693	0.131	10.830	0.986
	冬 Winter	198.086	0.692	0.145	7.407	0.989
Von Bertalanffy	春 Spring	200.253	0.290	0.157	24.578	0.970
	夏 Summer	202.915	0.294	0.145	21.664	0.975
	秋 Autumn	199.456	0.293	0.154	10.487	0.986
	冬 Winter	196.457	0.290	0.167	7.859	0.989

差平方和最小(15.535);冬季产犊荷斯坦牛体斜生长曲线以Logistic模型的 R^2 最高(0.943)。

从表4可看出,春季产犊荷斯坦牛体重生长曲线以Brody模型的 R^2 最高,为0.953;夏季产犊荷斯坦牛体重生长曲线以Brody模型的 R^2 最高,为0.984;采用Gompertz和Von Bertalanffy模型拟合秋季产犊荷斯坦牛体重生长曲线的 R^2 最高,均为0.986,但Gompertz模型的残差平方和最小(305.213);采用Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型拟合冬季产犊荷斯坦牛体重生长曲线的 R^2 均为0.988,但Von Bertalanffy模型的残差平方和最小(231.321)。

综上所述,实际生产中只有根据产犊季节不同选用适宜非线性生长曲线模型对荷斯坦牛的各项生长性能指标分别进行拟合,才能获得最佳的拟合效

果,为荷斯坦牛的饲养管理及早期选育提供参考。不同产犊季节和不同指标组合对应的最佳生长曲线模型如表5所示。

Wood模型是目前拟合机体平均日增重生长曲线效果最佳的模型。从表6可看出,采用Wood模型拟合春季、夏季和秋季产犊荷斯坦牛平均日增重生长曲线的 R^2 均不高,仅维持在0.700左右;但冬季产犊荷斯坦牛平均日增重生长曲线的拟合系数达0.909,说明可采用Wood模型进行拟合分析。

2.2 各指标实测值与最佳拟合模型曲线比较及产犊季节对体尺体重的影响

根据2.1试验结果选取最佳生长曲线拟合模型对部分月龄荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长、体重和平均日增重进行拟合(表7),并与实测值进行比较分

表 3 不同产犊季节和模型对荷斯坦牛体斜长进行生长曲线拟合的参数及拟合效果

Table 3 Parameters and fitting effects of growth curve fitting of different calving seasons and models for body oblique length of Holstein cattle

模型 Model	产犊季节 Calving season	模型参数 Model parameter			残差平方和 Residual sum of squares	R^2
		A	B	k		
Logistic	春 Spring	168.003	0.478	0.184	27.240	0.941
	夏 Summer	172.790	0.318	0.145	10.473	0.977
	秋 Autumn	167.256	0.865	0.175	15.698	0.967
	冬 Winter	167.050	0.114	0.164	23.674	0.943
Gompertz	春 Spring	169.517	0.798	0.155	27.446	0.941
	夏 Summer	175.233	0.768	0.119	10.489	0.977
	秋 Autumn	168.823	0.842	0.148	15.539	0.967
	冬 Winter	168.739	0.754	0.138	24.136	0.942
Brody	春 Spring	171.618	0.590	0.127	27.877	0.940
	夏 Summer	178.836	0.570	0.094	10.691	0.977
	秋 Autumn	171.104	0.617	0.120	15.616	0.967
	冬 Winter	171.065	0.566	0.112	24.685	0.941
Von Bertalanffy	春 Spring	170.139	0.240	0.145	27.563	0.940
	夏 Summer	176.273	0.231	0.111	10.534	0.977
	秋 Autumn	169.486	0.253	0.139	15.535	0.967
	冬 Winter	169.429	0.228	0.129	24.309	0.942

表 4 不同产犊季节和模型对荷斯坦牛体重进行曲线拟合的参数及拟合效果

Table 4 Parameters and fitting effects of curve fitting of different calving seasons and models for weight of Holstein cattle

模型 Model	产犊季节 Calving season	模型参数 Model parameter			残差平方和 Residual sum of squares	R^2
		A	B	k		
Logistic	春 Spring	579.076	8.283	0.213	1264.933	0.948
	夏 Summer	618.025	9.566	0.182	536.400	0.977
	秋 Autumn	564.792	8.565	0.215	329.635	0.985
	冬 Winter	553.360	8.049	0.212	289.383	0.985
Gompertz	春 Spring	611.330	2.377	0.143	1169.592	0.952
	夏 Summer	666.501	2.317	0.118	438.062	0.982
	秋 Autumn	596.925	2.489	0.144	305.213	0.986
	冬 Winter	583.708	2.305	0.143	238.942	0.988
Brody	春 Spring	708.598	1.034	0.071	1141.216	0.953
	夏 Summer	835.236	1.003	0.051	382.777	0.984
	秋 Autumn	695.182	1.051	0.071	347.893	0.984
	冬 Winter	667.149	1.029	0.074	237.652	0.988
Von Bertalanffy	春 Spring	631.118	0.596	0.119	1149.605	0.952
	夏 Summer	697.755	0.579	0.096	412.090	0.983
	秋 Autumn	616.637	0.617	0.120	308.839	0.986
	冬 Winter	601.475	0.582	0.120	231.321	0.988

表 5 不同产犊季节和不同指标组合对应的最佳生长曲线模型

Table 5 The best curve fitting model of different calving seasons and each index

产犊季节 Calving season	体高 Body height	胸围 Chest circumference	体斜长 Body oblique length	体重 Weight
春 Spring	Logistic	Brody	Logistic	Brody
夏 Summer	Brody	Brody	Logistic	Brody
秋 Autumn	Brody	Gompertz	Von Bertalanffy	Gompertz
冬 Winter	Logistic	Brody	Logistic	Von Bertalanffy

表 6 不同产犊季节利用Wood模型对荷斯坦牛平均日增重进行曲线拟合的参数及拟合效果

Table 6 Parameters and fitting effects of curve fitting of different calving seasons for daily gain of Holstein cattle by Wood model

产犊季节 Calving season	模型参数 Model parameter			残差平方和 Residual sum of squares	R^2
	A	B	C		
春 Spring	0.557	0.497	0.055	0.007	0.700
夏 Summer	0.628	0.369	0.042	0.004	0.699
秋 Autumn	0.550	0.481	0.054	0.004	0.770
冬 Winter	0.827	0.243	0.040	0.002	0.909

析及绘制相应的生长曲线(图1)。由图1可知,体高、胸围、体斜长和体重的最佳拟合曲线与实测值曲线基本一致,说明这些模型拟合效果较优;平均日增重拟合曲线与其实测值曲线在部分月龄时差异明显,即该模型拟合效果有待进一步提高。

就体高而言,冬季产犊荷斯坦牛3月龄时的体高显著高于其他产犊季节($P<0.05$,下同),6和18月龄时秋、冬产犊荷斯坦牛表现出明显体高优势;9~15月龄及21~24月龄时夏季产犊荷斯坦牛体高具有明显优势。产犊季节对6~24月龄荷斯坦牛胸围有显著影响,除15月龄时秋、冬两季产犊的荷斯坦牛胸围显著高于春、夏两季外,其他各月龄表现为春季或夏季产犊荷斯坦牛具有明显优势,如12、18和21月龄时夏季产犊荷斯坦牛胸围显著高于其他季节。产犊季节对荷斯坦牛体斜长也有显著影响,整体上以春、夏季产犊荷斯坦牛具有明显优势,仅6和15月龄时秋、

冬季产犊荷斯坦牛的体斜长明显高于春、夏季产犊荷斯坦牛。在体重方面,6月龄后的荷斯坦牛体重受产犊季节影响较明显,其中6和15月龄时冬季产犊荷斯坦牛体重显著高于其他产犊季节,而其他月龄时春、夏季产犊荷斯坦牛体重具有明显优势。由图1还可看出,各产犊季节荷斯坦牛的平均日增重均随月龄增加呈先上升后下降的变化趋势,且冬季产犊荷斯坦牛最早出现日增重峰值,其他季节产犊的荷斯坦牛则在9月龄左右出现增长峰值,说明产犊季节对不同月龄荷斯坦牛的日常增重存在显著影响。

3 讨论

目前,Logistic、Von Bertalanffy、Brody和Gompertz等非线性生长曲线模型应用较多,且均可得到较好的拟合效果(白堊,2012),尤其在国外已经使用生长曲线模型对许多牛种的生长发育规律进行拟合

表 7 不同产犊季节对不同月龄荷斯坦牛体尺和体重指标的影响

Table 7 The effects of different calving seasons on body measurements and body weight indexes of Holstein cattle at different month ages

月龄 Month age	产犊季节 Calving season	样本数 N	体高(cm) Body height	胸围(cm) Chest circumference	体斜长(cm) Body oblique length	体重(kg) Weight	平均日增重(kg/d) Average daily gain
3	春 Spring	41	103.61±0.50b	112.24±1.07	104.66±0.70a	131.13±3.18	0.95±0.03a
	夏 Summer	316	102.18±0.22bc	110.84±0.25	105.01±0.24a	127.91±0.84	0.92±0.01ab
	秋 Autumn	8	101.38±1.02c	113.00±0.57	99.75±1.52b	125.83±2.94	0.85±0.02b
	冬 Winter	210	106.02±0.15a	111.31±0.34	101.29±0.22b	124.28±0.94	0.87±0.01ab
	F		58.262	1.601	41.672	3.737	7.588
6	春 Spring	42	114.26±0.33c	141.26±1.38ab	119.19±0.41c	215.22±3.74b	0.95±0.02b
	夏 Summer	43	115.98±0.48b	132.28±1.21c	116.93±0.72d	202.35±4.76c	0.95±0.03b
	秋 Autumn	100	117.56±0.35a	141.98±0.45a	120.81±0.43b	232.13±2.09a	1.09±0.01a
	冬 Winter	77	116.61±0.19ab	139.04±0.77b	123.87±0.44a	226.03±2.16a	1.03±0.01a
	F		14.065	22.601	30.278	18.939	19.022
9	春 Spring	16	130.81±0.83a	163.75±0.86a	139.44±1.20a	327.60±5.88a	1.05±0.03a
	夏 Summer	42	129.02±0.52a	161.12±0.83b	136.14±0.84b	309.84±4.16b	1.00±0.01b
	秋 Autumn	68	126.88±0.50b	159.49±0.52b	136.38±0.67b	303.69±2.35bc	0.97±0.01b
	冬 Winter	27	118.33±0.55c	153.78±0.89c	124.78±0.44c	293.30±4.03c	0.97±0.01b
	F		59.578	7.667	43.880	8.509	5.187
12	春 Spring	26	132.77±0.50b	173.00±1.06bc	154.65±1.66a	406.14±8.27a	0.99±0.02a
	夏 Summer	48	137.06±0.64a	175.44±0.84a	144.92±0.93c	391.64±6.50b	0.99±0.02a
	秋 Autumn	182	132.91±0.46b	171.83±0.27c	143.79±0.27c	371.90±1.64c	0.90±0.00b
	冬 Winter	91	133.32±0.24b	173.74±0.41b	147.46±0.39b	389.90±2.52b	0.96±0.01a
	F		9.260	10.934	47.252	17.919	27.83
15	春 Spring	11	136.55±1.06a	177.27±1.33b	152.45±1.68b	420.00±10.10c	0.85±0.02b
	夏 Summer	29	135.21±0.21ab	177.17±0.51b	151.34±0.61b	415.78±2.92c	0.83±0.01b
	秋 Autumn	32	134.22±0.27b	182.66±0.88a	153.22±0.82b	448.07±5.89b	0.92±0.01a
	冬 Winter	95	134.11±0.35b	183.06±0.53a	163.25±0.77a	479.93±4.64a	0.97±0.01a
	F		3.149	14.919	40.415	25.809	22.691
18	春 Spring	0	—	—	—	—	—
	夏 Summer	60	138.82±0.49b	189.75±0.65a	167.48±0.86a	528.67±5.70a	0.90±0.01a
	秋 Autumn	83	141.90±0.39a	184.96±0.35c	158.67±0.51b	475.28±2.69b	0.79±0.01b
	冬 Winter	83	142.47±0.31a	186.30±0.39b	157.47±0.45b	478.69±3.04b	0.80±0.01b
	F		22.836	27.195	76.593	58.117	71.744
21	春 Spring	38	141.55±0.41c	191.66±0.34c	160.50±0.32c	516.00±2.55c	0.75±0.00c
	夏 Summer	166	145.77±0.28a	195.50±0.35a	163.25±0.39a	546.35±2.47a	0.79±0.00a
	秋 Autumn	300	145.44±0.18a	193.85±0.25b	163.17±0.24a	537.10±1.89b	0.78±0.00b
	冬 Winter	102	144.26±0.34b	191.97±0.40c	161.84±0.40b	521.91±2.08c	0.76±0.00c
	F		20.341	18.555	6.779	19.845	17.664
24	春 Spring	6	145.83±1.92ab	199.83±1.30a	171.67±2.35a	600.32±14.87a	0.77±0.02a
	夏 Summer	50	147.56±0.45a	198.74±0.64ab	165.60±0.46b	572.95±4.99b	0.73±0.01b
	秋 Autumn	20	144.74±0.29b	196.16±0.19c	163.74±0.47b	551.34±2.23c	0.70±0.00c
	冬 Winter	29	145.54±0.29b	197.18±0.30bc	165.31±0.43b	562.47±2.51bc	0.72±0.00bc
	F		9.648	6.336	11.586	9.211	9.087

同一月龄下所列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)Different lowercase letters in the same column for the same month age represented significant difference($P<0.05$)

并建立相应的研究模型(Beltran et al., 1992; Bullock et al., 1993)。但不同品种的生长规律及各地区的饲养管理和环境差异等导致其生长曲线也有所不同,因此生产实践中需对不同情况下的畜禽进行生长曲线拟合。刘丽元等(2015)通过研究得出新疆褐牛母牛早期生长发育过程中体高、体斜长、胸围、管围和体重的最佳生长曲线模型;闫向民等(2016)研究发现Logistic模型对新疆褐牛的生长发育拟合效果最佳,并得出相应的生长曲线方程。此外,在沿江牛(王宝东等, 2011)、秦川牛(杨晓冰等, 2011)和三河牛(白堃, 2012)等品种上开展了大量有关生长发育

规律的研究,但针对荷斯坦牛生长曲线拟合的研究较少,仅刘绍贵等(2010)初步验证了利用Logistic模型对后备荷斯坦牛生长曲线进行拟合的可靠性。本研究利用常见的4种非线性生长曲线模型对江苏地区集中饲养模式下不同产犊季节荷斯坦牛进行拟合并得出最佳拟合模型,为其饲养管理及早期选育提供了详细参考。

动物生长曲线常用几个具有生物学意义的参数对生长过程中的体重、体尺等性状进行拟合计算,其结果对动物品种选育具有重要意义(Mignon-Grasteau et al., 2000; 王晓博, 2016)。本研究采用

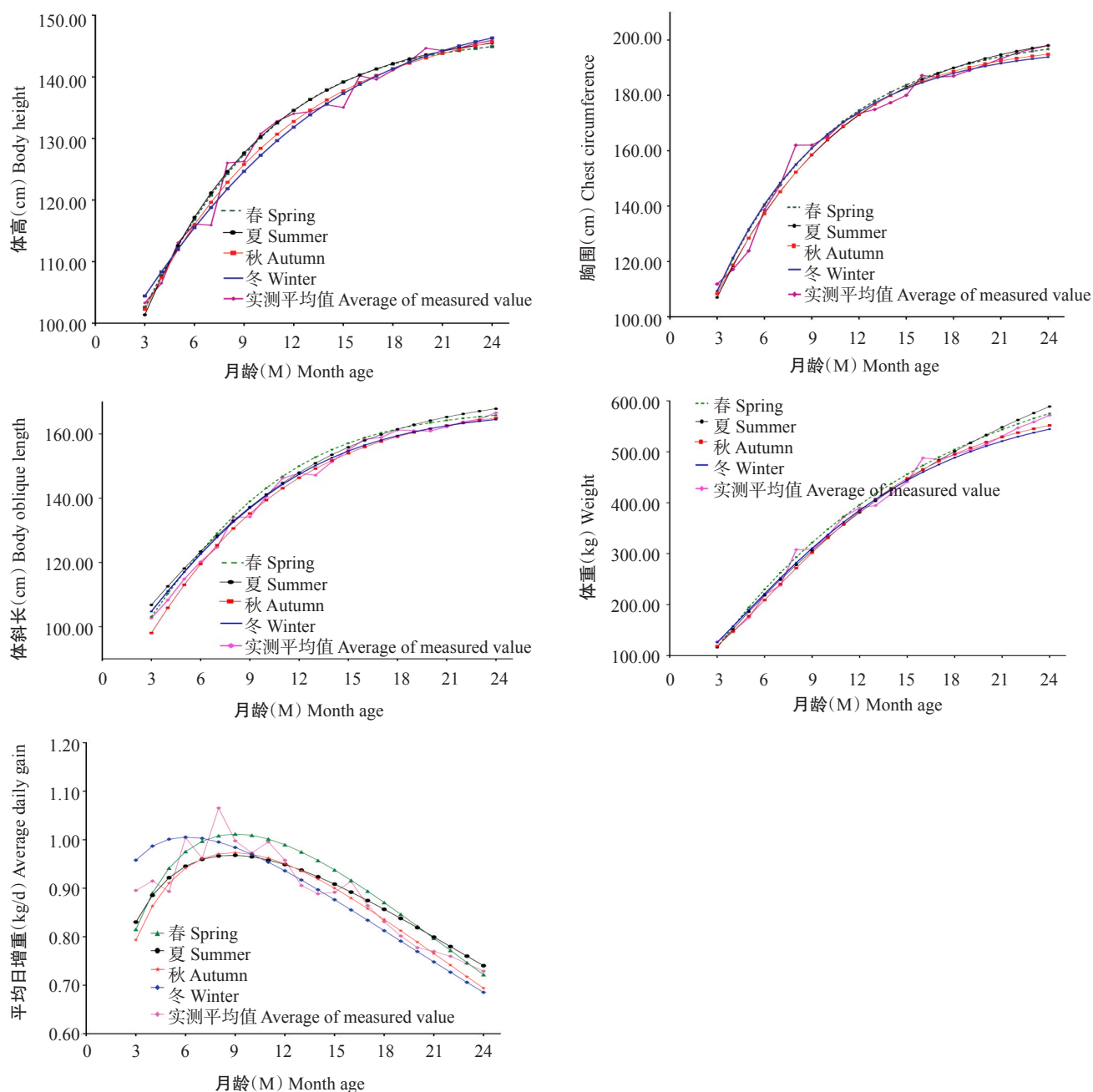


图 1 不同产犊季节荷斯坦牛体尺和体重指标最佳模型拟合生长曲线与实测生长曲线的比较

Fig.1 Comparison between fitting growth curve of the optimal model of body measurements and body weight of Holstein cattle in different calving seasons and measured growth curve

Logistic、Gompertz、Brody和Von Bertalanffy模型对不同产犊季节荷斯坦牛的体高、胸围、体斜长和体重进行拟合分析,旨在分析不同产犊季节对其生长发育的影响,结果表明,各非线性生长曲线模型对不同产犊季节荷斯坦牛各项指标的 $R^2 \geq 0.940$,其中冬季产犊荷斯坦牛的胸围生长曲线 R^2 高达0.989,可用于荷斯坦牛体尺生长曲线的预测。Brody模型对不同产犊季节荷斯坦牛体重的 R^2 均较高(0.953~0.988),与熊飞等(2011)对槟榔江水牛生长性状的拟合结果相似;Gompertz模型对秋季产犊荷斯坦牛体重进行拟合时因其残差平方和具有更小而具有优越性,

Von Bertalanffy模型对冬季产犊荷斯坦牛体重进行拟合时具有相同的特点。各非线性生长曲线模型对秋、冬季产犊荷斯坦牛生长性状的 R^2 均高于春、夏季产犊荷斯坦牛,其原因可能与不同产犊季节荷斯坦牛的生长发育特点有关,秋、冬季产犊荷斯坦牛的生长速度及累积生长低于春、夏季产犊荷斯坦牛,但其生长发育较早。本研究的试验群体为现代化规模牧场中的荷斯坦牛,采取散栏式饲养模式,全年均采食以青贮饲料和精料为主的全混日粮,以保证营养均衡。不同产犊季节荷斯坦牛的生长曲线最佳模型各不相同,可能是因为外界环境的影响。春、夏季产犊

荷斯坦牛在其生长早期会经历夏季热应激,持续高温对生长发育具有负面影响(安永福等,2015);秋、冬季产犊荷斯坦牛则不会受热应激的影响,因此发育相对较早。

Wood模型一般用于拟合奶牛的泌乳曲线。曹露等(2016)研究表明,利用Wood模型拟合荷斯坦牛产犊季节对泌乳曲线具有较高的可行性,对应的 R^2 为0.9489~0.9769。本研究发现荷斯坦牛平均日增重的实测生长曲线较特殊,在3~5月龄有略微下降的趋势,在5月龄后基本符合Wood模型的变化趋势。春、夏、秋三季产犊荷斯坦牛采用Wood模型拟合其平均日增重生长曲线的效果均不理想, R^2 仅维持在0.700左右,但冬季产犊荷斯坦牛平均日增重生长曲线的拟合系数较高,达0.909,究其原因可能是在集中配种等因素作用下春、夏季产犊数量较少,分布不均匀,以及各月龄测定头数偏少等。

4 结论

各非线性生长曲线模型对不同产犊季节荷斯坦牛生长曲线的拟合效果存在一定差异,其中,Logistic和Brody模型对各生长指标的 R^2 整体上高于其他模型,Wood模型仅适用于冬季产犊荷斯坦牛平均日增重拟合。春、夏季产犊荷斯坦牛体高、胸围、体斜长和体高的累积生长值和增长速度均较秋、冬季产犊荷斯坦牛高,因此针对不同产犊季节荷斯坦牛采用不同模型对其体尺和体重进行拟合更准确。

参考文献:

安永福,王晓芳,刘荣昌. 2015. 热应激对奶牛的危害及减缓措施[J]. 北方牧业, (12):23-24. [An Y F, Wang X F, Liu R C. 2015. Heat stress damage to dairy cows and mitigation measures[J]. North Animal Husbandry, (12):23-24.]

白堃. 2012. 三河牛生长曲线模拟及遗传参数估计的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学. [Bai K. 2012. The study on simulation of the curve and estimation of the genetic parameters of growth traits for Sanhe cattle[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University.]

曹露,李想,董刚辉,郭刚,李锡智,王炎,王雅春. 2016. 北京地区荷斯坦奶牛不同产犊季节与胎次泌乳曲线拟合[J]. 黑龙江畜牧兽医, (15):98-101. [Cao L, Li X, Dong G H, Guo G, Li X Z, Wang Y, Wang Y C. 2016. Fitting of lactation curves of Holstein cows with different calving seasons and parities in Beijing area[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, (15):98-101.]

戴燕萍,张玲,段修军. 2012. 三种杂交仔鹅的生长曲线拟合及在选配中的应用[J]. 东北农业大学学报, 43(6):36-40. [Dai Y P, Zhang L, Duan X J. 2012. Comparison on growth curve fitting of three crossbreed geese and its app-

lication[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 43(6):36-40.]

梁永虎,朱波,金生云,宝金山,徐凌洋,陈燕,高雪,张路培,高会江,李俊雅. 2018. 肉用西门塔尔牛群体生长曲线拟合及体重与体尺相关性分析的研究[J]. 畜牧兽医学报, 49(3):497-506. [Liang Y H, Zhu B, Jin S Y, Bao J S, Xu L Y, Chen Y, Gao X, Zhang L P, Gao H J, Li J Y. 2018. The growth curve fitting and the correlation analysis between body weight and body measurements in Chinese Simmental beef cattle population[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 49(3):497-506.]

刘丽元,周靖航,李金芝,颜庭生,黄锡霞,陈树明. 2015. 新疆褐牛母牛早期生长曲线拟合研究[J]. 中国畜牧杂志, 51(19):5-8. [Liu L Y, Zhou J H, Li J Z, Yan T S, Huang X X, Chen S M. 2015. Fitting of the early growth curve for growing Xinjiang brown cattle[J]. Chinese Journal of Animal Science, 51(19):5-8.]

刘绍贵,雷衡,李春平,欧阳晓芳,鲁绍雄,杨亮宇,陆永国. 2010. 云南荷斯坦奶牛生长发育性状初步研究[J]. 云南畜牧兽医, (S):16-19. [Liu S G, Lei H, Li C P, Ouyang X F, Lu S X, Yang L Y, Lu Y G. 2010. Preliminary study on growth and development traits of Holstein dairy cows in Yunnan[J]. Yunnan Journal of Animal Science And Veterinary Medicine, (S):16-19.]

刘双艳,肖秀孝,应豪,苗永旺,叶绍辉. 2016. 腾冲雪鸡生长曲线分析与拟合的研究[J]. 中国家禽, 38(9):45-47. [Liu S Y, Xiao X X, Ying H, Miao Y W, Ye S H. 2016. Study on growth curve analysis and fitting of Tengchong Tetraogallus[J]. China Poultry, 38(9):45-47.]

王宝东,金双勇,李静,周国权,徐敬哲,赵高俊,韩星. 2011. 沿江牛生长曲线拟合初探[J]. 现代畜牧兽医, (4):25-26. [Wang B D, Jin S Y, Li J, Zhou G Q, Xu J Z, Zhao G J, Han X. 2011. Preliminary study on growth curve fitting of Yanjiang cattle[J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, (4):25-26.]

王玲,左福元,周沛,熊廷奎. 2010. 不同性别的川南山地黄牛生长曲线分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 35(3):204-207. [Wang L, Zuo F Y, Zhou P, Xiong T K. 2010. Analysis of growth curve of male and female Chuan-nan mountainous cattle[J]. Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition), 35(3):204-207.]

王晓博. 2016. 生长曲线模型参数的三种有偏估计[D]. 郑州:华北水利水电大学. [Wang X B. 2016. Three kinds of estimation for coefficients in the growth curve model[D]. Zhengzhou:North China University of Water Resources and Electric Power.]

熊飞,苗永旺,李大林,袁峰,李卫真,屈在久. 2011. 槟榔江水牛体重及体尺生长规律的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 26(4):472-478. [Xiong F, Miao Y W, Li D L, Yuan F, Li W Z, Qu Z J. 2011. Growth regularities of body weight and size of Binglangjiang buffalo[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science Edi-

- tion), 26(4): 472-478.]
- 闫向民, 李娜, 邵伟, 杜玮, 李红波, 张金山, 周振勇, 张杨. 2016. 新疆褐牛及杂交后代生长曲线拟合研究[J]. 新疆农业科学, 53(3): 569-574. [Yan X M, Li N, Shao W, Du W, Li H B, Zhang J S, Zhou Z Y, Zhang Y. 2016. Study on growth curve fitting of Xinjiang brown cattle and their hybrids[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 53(3): 569-574.]
- 杨建军, 孙秉耀, 杜晓皎. 2017. 猪生长曲线在生产中的应用探讨[J]. 中国畜牧业, (6): 46. [Yang J J, Sun B Y, Du X J. 2017. Discussion on porcine growth curves in production[J]. China Animal Industry, (6): 46.]
- 杨晓冰, 陈宏, 滑留帅, 杨奇, 袁海江, 文进宝. 2011. 固原地区秦川牛利杂群体生长曲线拟合分析[J]. 中国牛业科学, 37(6): 4-7. [Yang X B, Chen H, Hua L S, Yang Q, Yuan H J, Wen J B. 2011. Growth curve analysis of Limousin× Qinchuan cattle in Guyuan region[J]. China Cattle Science, 37(6): 4-7.]
- 再娜古丽·君居列克, 谈锐, 黄锡霞, 王雅春, 热西提·阿不都热依木, 努尔比亚·吾布力, 程黎明, 付雪峰, 贾旭升, 曾黎. 2014. 新疆褐牛种公牛体重生长发育曲线拟合[J]. 中国畜牧兽医, 41(4): 211-214. [Zainaguli·Junjulieke, Tan R, Huang X X, Wang Y C, Rexiti·Abudoureyimu, Nuerbiye·Wubuli, Cheng L M, Fu X F, Jia X S, Zeng L. 2014. Fitting the weight growth curve of Xinjiang brown cattle[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 41(4): 211-214.]
- 张丽, 张良志, 张爱玲, 张琴, 李天鹏. 2008. 南阳黄牛体重曲线拟合的比较分析[J]. 广东海洋大学学报, 28(1): 98-100. [Zhang L, Zhang L Z, Zhang A L, Zhang Q, Li T P. 2008. Growth curve analysis of body weight of Nanyang cattle[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 28(1): 98-100.]
- 张勇, 郭武君, 李晓梅, 张昌吉, 成述儒, 田萍, 张利平. 2016. 甘肃高山细毛羊羔羊生长曲线模型选择及生长曲线分析[J]. 河南农业科学, 45(9): 125-129. [Zhang Y, Guo W J, Li X M, Zhang C J, Cheng S R, Tian P, Zhang L P. 2016. Growth curve model selection and growth curve analysis of Gansu alpine merino lambs[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 45(9): 125-129.]
- 赵旺, 胡静, 马振华, 于刚, 杨蕊, 王理. 2017. 尖吻鲈幼鱼形态性状对体质量影响的通径分析及生长曲线拟合[J]. 南方农业学报, 48(9): 1700-1707. [Zhao W, Hu J, Ma Z H, Yu G, Yang R, Wang L. 2017. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits to body weight of juvenile *Lates calcarifer*[J]. Journal of Southern Agriculture, 48(9): 1700-1707.]
- Behr V D, Hornick J L, Cabaraux J F, Alvarez A, Istasse L. 2001. Growth patterns of Belgian blue replacement heifers and growing males in commercial farms[J]. Livestock Production Science, 71(2-3): 121-130.
- Beltran J J, Butts W T J, Olson T A, Koger M. 1992. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters[J]. Journal of Animal Science, 70(3): 734-741.
- Bullock K D, Bertrand J K, Benyshek L L. 1993. Genetic and environmental parameters for mature weight and other growth measures in Polled Hereford cattle[J]. Journal of Animal Science, 71(7): 1737-1741.
- Darmani K H, Kebreab E, Lopez S, France J. 2003. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time(age) in meat and egg strains of chicken[J]. Poultry Science, 82(10): 1536-1543.
- Mignon-Grasteau S, Piles M, Varona L, de Rochambeau H, Poivey J P, Blasco A, Beaumont C. 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve [J]. Journal of Animal Science, 78(10): 2515-2524.

(责任编辑 兰宗宝)