



佟丽佳,冯小芳,王苏皖,李亚博,王瑜,封元,蒋秋斐,徐军,顾亚玲,张娟.安格斯牛18月龄体尺体重性状遗传参数分析[J].中国农业大学学报,2024,29(05):65-73.

TONG Lijia, FENG Xiaofang, WANG Suwan, LI Yabo, WANG Yu, FENG Yuan, JIANG Qiufei, XU Jun, GU Yaling, ZHANG Juan. Analysis of genetic parameters for body size and weight traits in Angus cattle at 18 months of age[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(05): 65-73.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.06

安格斯牛18月龄体尺体重性状遗传参数分析

佟丽佳¹ 冯小芳¹ 王苏皖¹ 李亚博¹ 王瑜² 封元²
蒋秋斐² 徐军³ 顾亚玲¹ 张娟^{1*}

(1. 宁夏大学 动物科技学院, 银川 750021;

2. 宁夏畜牧工作站, 银川 750001;

3. 宁夏农垦集团有限公司, 银川 750004)

摘要 为分析不同动物模型对宁夏地区安格斯牛18月龄生长性状遗传参数估计的影响,筛选出估计生长性状遗传参数的最佳动物模型,本研究使用包含或删除母体遗传效应、母体永久环境效应及母体与直接遗传效应之间是否存在协方差来区分6种动物模型,借助DMU软件的DMU_AI模块,利用约束最大似然法(AI-REML)估计安格斯牛18月龄生长性状的遗传参数。利用赤池信息准则(AIC)和似然比检验(LRT)确定遗传参数估计的最佳动物模型。结果表明:1)模型4是估计安格斯牛18月龄体重(Body weight, BW)、十字部高(Crucifixion height, CH)和管围(Shin circumference, SC)的最佳模型,该模型估计的以上3个性状的直接遗传力分别为0.42、0.29和0.22,母体遗传力分别为0.11、0.14和0.05,总遗传力分别为0.23、0.12和0.11。2)模型6是估计安格斯牛18月龄体高(Body height, BH)、体斜长(Body length, BL)和胸围(Chest circumference, CC)的最佳模型,该模型估计的这些性状的直接遗传力分别为0.48、0.48和0.64,母体遗传力分别为0.02、0.12和0.08,总遗传力分别为0.33、0.18和0.34。综上,考虑直接遗传效应和母体遗传效应之间的协方差、母体效应可对目的性状更加准确的进行无偏预测。本研究为加快安格斯牛的遗传进展提供理论依据。

关键词 安格斯牛; 遗传参数; 体尺体重; 模型比较

中图分类号 S823.8

文章编号 1007-4333(2024)05-0065-09

文献标志码 A

Analysis of genetic parameters for body size and weight traits in Angus cattle at 18 months of age

TONG Lijia¹, FENG Xiaofang¹, WANG Suwan¹, LI Yabo¹, WANG Yu², FENG Yuan²,
JIANG Qiufei², XU Jun³, GU Yaling¹, ZHANG Juan^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Animal Husbandry Extension Station, Yinchuan 750001, China;

3. Ningxia Agricultural Reclamation Group Co., Ltd, Yinchuan 750004, China)

Abstract The study was to analyze the effects of different animal models on the estimation of genetic parameters of growth traits in Angus cattle at 18 months of age in Ningxia, and to screen out the best animal models for estimating genetic parameters of growth traits. In this study, six animal models were

收稿日期: 2023-09-05

基金项目: 宁夏回族自治区重大研发项目(2021BEF01002); 宁夏回族自治区农牧厅2017年第一批农业财政计划基金项目(安格斯牛核心群建设项目); 宁夏回族自治区青年拔尖人才培养工程项目

第一作者: 佟丽佳(ORCID: 0009-0006-9965-9017), 硕士研究生, E-mail: tonglijia2020@163.com

通讯作者: 张娟(ORCID: 0000-0002-4526-5016), 教授, 主要从事动物遗传育种研究, E-mail: zhangjkathy@126.com

distinguished using the inclusion or exclusion of maternal genetic effects, maternal permanent environmental effects and the presence or absence of covariance between maternal and direct genetic effects, and the genetic parameters of 18-month-old growth traits in Angus cattle were estimated using the constrained maximum likelihood method (AI-REML) with the help of the DMU_AI module of DMU software. The best animal model for genetic parameter estimation was determined using the Akaike Information Criterion (AIC) and Likelihood Ratio Test (LRT). The results showed that: 1) Model 4 was the best model for estimating body weight (BW), crucifixion height (CH) and shin circumference (SC) in Angus cows at 18 months of age, and the direct heritability of the above three traits estimated by this model was 0.42, 0.29 and 0.22, respectively. Maternal heritability was 0.11, 0.14 and 0.05, respectively, and total heritability was 0.23, 0.12 and 0.11, respectively. 2) Model 6 was the best model for estimating body height (BH), body length (BL) and chest circumference (CC) in 18-month-old Angus cows, and the estimated direct heritability for these traits was 0.42, 0.29 and 0.22, respectively, and the estimated direct heritability for the above three traits was 0.11, 0.14 and 0.05, respectively. The estimated direct heritability of these traits was 0.48, 0.48 and 0.64, the maternal heritability was 0.02, 0.12 and 0.08, and the total heritability was 0.33, 0.18 and 0.34, respectively. In summary, considering the covariance and maternal effects between direct genetic effects and maternal genetic effects, and maternal effects allows for more accurate and unbiased prediction of the target trait. This study provides a theoretical basis for accelerating genetic progress in Angus cattle.

Keywords Angus cattle; genetic parameters; body size and weight; model comparison

安格斯牛(Angus cattle)具有优质的肉品质和优秀的产肉性能^[1],以及对新环境较强的适应能力,使其成为了著名的专门化肉牛品种。宁夏地区属于典型的大陆性半湿润半干旱气候,非常适合肉牛养殖业的发展。近年来,引进了大量的安格斯牛,已经成为宁夏地区肉牛发展的重要基础,由于其生存条件和饲养方式的改变,以及诸多因素导致缺乏科学合理的育种计划。因此,准确估计肉牛生长性状的遗传参数是科学制定育种方案的前提^[2]。目前,研究肉牛生长发育性状使用较多的模型是简单的直接加性遗传效应模型^[3-6]。然而,Kruuk等^[7]研究表明,利用单一模型估计一个性状的遗传力可能会因为其他效应以及不同性状之间的互作效应产生高度误导的结果,使单变量预测的有效性降低。Moore等^[8]和Foolad等^[9]研究发现,母体效应也是导致表型变异的重要因素之一,并对促进动物适应性方面有巨大潜力。想要对安格斯牛的生产目标性状做最佳线性无偏预测,应全面考虑直接加性遗传效应、母体效应以及直接加性遗传效应与母体效应之间的协方差。限制性最大似然法(REML)是动物育种中使用最广泛的方差组分和遗传参数估计方法^[10-11]。REML可以分析缺失表型测量的不平衡数据集,未测量的个体仍然可以包括在谱系中,以提供被测量个体之间的联系,还可以将母体遗传效应、母体环境效应以及

性状间的协方差纳入模型中。并且因为关系矩阵允许遗传信息从一代传递到下一代,所以对基础种群中方差组分的估计不会受到非随机交配的任何影响的偏倚^[7]。因此,使用REML可以更好的对安格斯牛目标性状的遗传参数进行最佳无偏预测。

为进一步加强宁夏地区安格斯牛的遗传改良,本研究采用包括环境效应和遗传效应在内的6种动物模型估计安格斯牛体成熟生长发育性状(18月龄)的遗传参数,旨在探讨除个体加性效应外的其他效应对各研究性状的影响,同时通过比较不同模型估计的方差组分和遗传参数间的差异,筛选出最佳估计模型来提高遗传参数估计的准确性,以期为宁夏地区安格斯牛核心群选育和制定科学合理的选种选配方案提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 数据收集与整理

本研究所用数据来自宁夏地区4个安格斯牛核心群选育场,安格斯牛18月龄生产性能测定记录和系谱资料由宁夏畜牧工作站收集并授权使用,其中生产性能测定记录包括公母牛的体重(Body weight, BW)、体高(Body height, BH)、十字部高(Crucifixion height, CH)、体斜长(Body length, BL)、胸围(Chest circumference, CC)和管围(Shin

circumference, SC)。对原始数据记录进行预处理,剔除父号和母号记录缺失和不准确记录、表型值异常和在平均值 ± 3 倍标准差($\bar{X} \pm 3SD$)之外的记录后,最终得到的数据集中有 2 030 只动物至少有一个表型

记录,有表型记录的个体父母双方都知道。共有 1 195 个母畜,她们均有后代记录,最少 1 个,最多 8 个,平均后代数为 1.88 个,其中 371 个母畜有自己的表型记录,质控后的各性状描述性统计结果列于表 1 中。

表 1 安格斯牛 18 月龄各性状描述性统计量

Table 1 Descriptive statistics of 18-month-old traits of Angus cattle

性状 Trait	数据量 N	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	最大值 Max	最小值 Min
BW	1 858	561.93	68.91	12.26	771	400
BH	2 028	127.49	9.29	7.28	160	110
CH	1 889	130.73	9.31	7.12	163	115
BL	1 959	153.41	13.53	8.82	180	118
CC	2 030	186.70	17.42	9.33	235	128
SC	1 774	21.03	1.75	8.39	25	18

注:BW: 体重; BH: 体高; CH: 十字部高; BL: 体斜长; CC: 胸围; SC: 管围。下同。

Notes: BW: Body weight; BH: Body height; CH: Crucifixion height; BL: Body length; CC: Chest circumference; SC: Shin circumference. The same below.

1.2 参数估计模型

为准确估计安格斯牛生长性状的遗传参数,本研究使用了 6 个单性状动物模型,所有模型都考虑了直接加性遗传效应,除此之外还包括母体遗传效应和母体永久环境效应,同时考虑直接-母体之间的协方差效应。具体模型如下^[12]:

$$\text{Model 1: } y = Xb + Z_1\alpha + e$$

$$\text{Model 2: } y = Xb + Z_1\alpha + Z_3c + e$$

$$\text{Model 3: } y = Xb + Z_1\alpha + Z_2m + e, \sigma_{\alpha,m} = 0$$

$$\text{Model 4: } y = Xb + Z_1\alpha + Z_2m + e, \sigma_{\alpha,m} \neq 0$$

$$\text{Model 5: } y = Xb + Z_1\alpha + Z_2m + Z_3c + e, \sigma_{\alpha,m} = 0$$

$$\text{Model 6: } y = Xb + Z_1\alpha + Z_2m + Z_3c + e, \sigma_{\alpha,m} \neq 0$$

(1)

式中: y 为各性状的观测值向量; b 为固定效应向量(场年效应: 4 个饲养场和 5 个出生年度共 14 个效应水平; 年季效应: 5 个出生年度和 4 个季节共计 17 个效应水平; 性别效应: 公畜和母畜 2 个效应水平); α 、 m 、 c 和 e 分别为直接加性遗传效应向量、母体遗传效应向量、母体永久环境效应向量和残差效应向量; X 、 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 分别为固定效应、直接加性遗传效应、母体遗传效应和母体永久环境效应的结构矩阵^[2]。

总遗传力计算公式如下:

$$h_T^2 = (\sigma_a^2 + 0.5\sigma_m^2 + 1.5\sigma_{\alpha,m}) / \sigma_p^2 \quad (2)$$

式中: $\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{\alpha,m} + \sigma_c^2 + \sigma_e^2$, h_T^2 为总遗传力, σ_a^2 为直接加性遗传方差, σ_m^2 为母体加性遗传方差, $\sigma_{\alpha,m}$ 为直接遗传效应和母体遗传效应之间的协方差, σ_c^2 为母体永久环境方差, σ_e^2 为残差方差, σ_p^2 为表型方差。

1.3 不同模型间的比较方法

评价具有嵌套关系的不同动物模型采用赤池信息准则(AIC)进行遗传参数估计效果检验,从而确定安格斯牛 18 月龄生长性状遗传参数估计的最优动物模型。AIC 的计算公式为:

$$\text{AIC} = 2k - 2\ln(L_{\text{Max}}) \quad (3)$$

式中: L_{Max} 为最大似然函数值, k 为需要估计的参数个数。AIC 值最低的模型是候选模型中的首选模型^[14]。

结合似然比检验(LRT)来判断是否可以简化模型 I 为模型 II。LRT 的计算公式为:

$$\text{LR} = -2\ln \frac{(L_{\text{Max}})_{\text{模型 I}}}{(L_{\text{Max}})_{\text{模型 II}}} \quad (4)$$

式中: LR 为似然比值, L_{Max} 模型 I 和 L_{Max} 模型 II 为不同模型下的最大似然函数值; LR 近似服从卡方分布, 自由度为 2 个模型间估计参数个数之差, 再根据卡方分布临界值表判断模型间差异是否显著。

如果差异显著,那么增加参数就对该性状具有显著影响,反之则没有^[2]。

2 结果与分析

2.1 赤池信息准则(AIC)比较不同动物模型

不同动物模型的-2ln值和AIC值列于表2,本试验寻找AIC值最低的模型作为参数估计的最佳

模型。通过比较不同动物模型AIC信息标准值,发现模型4是估计安格斯牛18月龄体重、十字部高和管围的最佳模型;模型6是估计安格斯牛18月龄体高、体斜长和胸围的最佳模型。这些结果表明对安格斯牛18月龄生长性状的遗传参数估计除考虑直接遗传效应外,有必要考虑母体遗传效应及直接遗传效应与母体遗传效应间的协方差。

表2 最佳动物模型-2lnL值和AIC信息标准值
Table 2 Best animal model-2lnL value and AIC information standard value

模型 Model	参数数量/个 Number of parameters	BW		BH		CH	
		-2lnL	AIC	-2lnL	AIC	-2lnL	AIC
1	2	20 078.06	20 082.06	7 883.79	7 887.79	11 210.49	11 214.49
2	3	19 628.66	19 634.66	7 772.84	7 778.84	10 974.92	10 980.92
3	3	19 628.74	19 634.74	7 772.84	7 778.84	10 974.92	10 980.92
4	4	19 610.12	19 618.12	7 768.64	7 776.64	10 962.51	10 970.51
5	4	19 628.66	19 636.66	7 809.63	7 817.63	10 974.92	10 982.92
6	5	19 609.96	19 619.96	7 752.42	7 762.42	10 962.51	10 972.51

模型 Model	参数数量/个 Number of parameters	BL		CC		SC	
		-2lnL	AIC	-2lnL	AIC	-2lnL	AIC
1	2	11 026.49	11 030.49	13 687.61	13 691.61	4 126.67	4 130.67
2	3	11 026.49	11 032.49	13 687.61	13 693.61	4 126.67	4 132.67
3	3	11 026.49	11 032.49	13 687.61	13 693.61	4 126.67	4 132.67
4	4	11 006.93	11 014.93	13 679.98	13 687.98	4 117.91	4 125.91
5	4	11 026.49	11 034.49	13 687.61	13 695.61	4 126.67	4 134.67
6	5	11 002.90	11 012.90	13 677.63	13 687.63	4 117.91	4 127.91

2.2 似然比检验(LRT)比较不同动物模型

不同动物模型的卡方检验结果列于表3,结果显示,对于安格斯牛18月龄体重、体高和十字部高,模型1与其他模型的卡方检验差异极显著($P<0.01$),模型2、3、5与模型6的卡方检验差异极显著($P<0.01$);对于体重和十字部高,模型2、模型3与模型4卡方检验差异极显著($P<0.01$),模型4与模型6体高卡方检验差异极显著($P<0.01$);对于18月龄体斜长,模型1、模型2、模型3均与模型4和模型6卡方检验差异极显著(P

<0.01),模型5与模型6卡方检验差异极显著($P<0.01$);对于18月龄胸围,模型1、模型2、模型3与模型6以及模型1与模型4卡方检验差异极显著($P<0.01$),模型2、模型3与模型4以及模型5和模型6卡方检验差异显著($P<0.05$);对于18月龄管围,模型1与模型4和模型6卡方检验差异极显著($P<0.01$),模型2、模型3与模型4以及模型2、模型3、模型5与模型6卡方检验差异显著($P<0.05$),其余模型间差异均不显著($P>0.05$)。

表 3 不同动物模型卡方检验分析
Table 3 Cardinality test analysis of different animal models

模型 Model	6:2	4:3	5:3	6:3	6:4	6:5
BW	18.7 AB	18.62 AB	0.08	18.78 AB	0.16	18.7 AB
BH	20.42 AB	4.20	−36.79	20.42 AB	16.22 AB	57.21 AB
CH	12.41 AB	12.41 AB	0.00	12.41 AB	0.00	12.41 AB
BL	23.59 AB	19.56 AB	0.00	23.59 AB	4.03	23.59 AB
CC	9.98 AB	7.63 ab	0.00	9.98 AB	2.35	9.98 ab
SC	8.76 ab	8.76 ab	0.00	8.76 ab	0.00	8.76 ab

模型 Model	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1	4:2	5:2
BW	449.4 AB	449.32 AB	467.94 AB	449.4AB	468.1 AB	18.54 AB	0.00
BH	110.95 AB	110.95 AB	115.15 AB	74.16AB	131.37 AB	4.2	−36.79
CH	235.57 AB	235.57 AB	247.98 AB	235.57AB	247.98 AB	12.41 AB	0.00
BL	0.00	0.00	19.56 AB	0.00	23.59 AB	19.56 AB	0.00
CC	0.00	0.00	7.63 AB	0.00	9.98 AB	7.63 ab	0.00
SC	0.00	0.00	8.76 AB	0.00	8.76 AB	8.76 ab	0.00

注：表中的数字 1、2、3、4、5 和 6 分别代表模型 1、模型 2、模型 3、模型 4、模型 5 和模型 6。不同小写字母表示不同模型在同一性状间在 $P<0.05$ 水平差异显著；不同大写字母表示不同模型在同一性状间在 $P<0.01$ 水平差异显著。
Notes: The numbers 1, 2, 3, 4, 5 and 6 in the table represent model 1, model 2, model 3, model 4, model 5 and model 6. Different lowercase letters indicate that different models differ significantly among the same trait at the $P<0.05$ level. Different uppercase letters indicate that different models differ significantly among the same trait at the $P<0.01$ level.

2.3 最佳模型对安格斯牛 18 月龄生长性状方差组分和遗传参数的估计

模型 4 估计的 BW h_a^2 的估计值为 0.42,同时,母体遗传效应解释了 BW 表型变异的 11%,母体永久环境效应 c^2 对 18 月龄体重的影响为零。当模型中考虑直接-母体协方差时, h_T^2 相比 h_a^2 的估计值降低,为 0.23;模型 6 估计的 BH h_a^2 的估计值为 0.48, h_m^2 和 c^2 的估计值比较低,但是他们之间存在较强的负的遗传相关,使得 h_T^2 的估计值(0.33)低于 h_a^2 的估计值。模型 4 估计的 CH h_a^2 的估计值为 0.29, h_m^2 的估计值为 0.14,母体遗传效应解释了总表型变异的 14%, h_T^2 的估计值仅为 0.12;模型 6 估计的 BL h_a^2 估计值为 0.48,此时 h_T^2 的估计值下降到 0.18, h_m^2 的估计值为 0.12,母体遗传效应解释了表型变异的 12%;模型 6 估计的 CC h_a^2 的估计值为 0.64,此时 h_T^2 的估计值下降到 0.34, h_m^2 的估计值为 0.08;模型 4 估计的 SC h_a^2 的估计值为 0.22,而 h_T^2 的估计值为 0.11,

h_m^2 的估计值为 0.05。综上分析,直接-母体效应间负的相关性会导致 h_a^2 高估,从而使得 h_a^2 和 h_T^2 出现偏差。母体遗传效应对安格斯牛生长发育性状的影响能够持续到 18 月龄,而母体永久环境效应对 18 月龄生长发育性状的影响为零。

2.4 性状间的遗传相关和表型相关

对各性状间的遗传相关和表型相关进行估计可以衡量 2 个性状之间的关系强度^[15],对于制定选择指数和育种规划是必需的。表 5 展示了 18 月龄生长发育性状间的遗传相关和表型相关。不同性状间均呈正相关,遗传相关系数在 0.32~0.83,表型相关系数在 0.22~0.92。性状间较强的正相关表明:在性状选择中,对其中一个性状的选择,可实现对另外个性状的间接选择。这意味着在动物育种中,任何决定都不能孤立做出。因此,对个性状的选择也会对所有其他性状产生影响。

表4 最佳模型估计的18月龄生长性状方差组分和遗传参数

Table 4 Variance components and genetic parameters of 18-month-old growth traits estimated by the best model

模型 Model	性状 Trait	σ_a^2	σ_m^2	$\sigma_{a,m}$	σ_c^2	σ_e^2	σ_p^2
4	BW	2 069.84	526.83	−957.77		2 341.23	3 980.13
6	BH	22.43	0.91	−5.01	0.00	28.77	47.09
4	CH	34.65	16.20	−20.54		67.24	97.55
6	BL	39.89	9.95	−19.89	0.00	53.87	83.81
6	CC	166.81	20.28	−58.16	0.00	131.40	260.33
4	SC	0.62	0.15	−0.28		2.08	2.57

模型 Model	性状 Trait	$h_a^2 \pm \text{SE}$	$h_m^2 \pm \text{SE}$	$c^2 \pm \text{SE}$	$h_T^2 \pm \text{SE}$	$r_{a,m}$
4	BW	0.42	0.11		0.23	−0.92
6	BH	0.48	0.02	0.00	0.33	−0.92
4	CH	0.29	0.14		0.12	−0.95
6	BL	0.48	0.12	0.00	0.18	−1.00
6	CC	0.64	0.08	0.00	0.34	−0.87
4	SC	0.22	0.05		0.11	−0.93

注: σ_a^2 : 直接加性遗传方差; σ_m^2 : 母体加性遗传方差; $\sigma_{a,m}$: 个体和母体遗传协方差; σ_c^2 : 母体永久环境方差; σ_e^2 : 残差方差; σ_p^2 : 表型方差; h_a^2 : 直接遗传力; h_m^2 : 母体效应遗传力; c^2 : 母体永久环境方差与表型方差之比; h_T^2 : 总遗传力; $r_{a,m}$: 直接-母体效应的遗传相关。

Notes: σ_a^2 : Direct additive heritability variance; σ_m^2 : Maternal additive genetic variance; $\sigma_{a,m}$: Individual and maternal genetic covariance; σ_c^2 : Variance of parent permanent environment; σ_e^2 : Residual variance; σ_p^2 : Phenotypic variance; h_a^2 : Direct heritability; h_m^2 : Maternal effect heritability; c^2 : Ratio of maternal permanent environment variance to phenotypic variance; h_T^2 : Total heritability; $r_{a,m}$: Direct-maternal effect genetic correlation.

表5 安格斯牛18月龄阶段各体尺性状间的遗传相关和表型相关

Table 5 Genetic and phenotypic correlations between body size traits in Angus cattle at the 18-month age stage

	BW	BH	CH	BL	CC	SC
BW	0.42	0.22	0.28	0.47	0.44	0.46
BH	0.35	0.48	0.92	0.56	0.38	0.53
CH	0.51	0.83	0.29	0.63	0.36	0.56
BL	0.66	0.55	0.67	0.48	0.47	0.48
CC	0.59	0.40	0.40	0.47	0.64	0.40
SC	0.55	0.32	0.40	0.55	0.44	0.22

注:表中遗传力沿着对角线以粗体显示,对角线以下为遗传相关,对角线以上为表型相关。

Notes: The heritability in the table is shown in bold along the diagonal. The genetic correlation is below the diagonal, and the phenotypic correlation is above the diagonal.

3 讨 论

3.1 最佳动物模型估计效果的比较

确定用于遗传评估的有效模型是遗传改良计

划中最重要的步骤之一^[16]。本研究使用了6种不同的动物模型,寻找AIC最低的模型并结合似然比检验(LRT),发现估计安格斯牛18月龄BW、CH和SC的最佳模型为模型4,BH、BL和CC的最佳模型

为模型6。

母体效应包括母体遗传效应与母体环境效应。有研究表明,预测直接加性遗传效应的结果与增加考虑母体效应所预测的结果之间差异很大^[17-19]。母体遗传效应可影响后代表型,促进遗传变异,进而维持遗传多态性^[20]。影响母体表现的基因对个体的出生体重等性状的影响也大于个体携带的基因^[21]。也有研究表明,母体效应对澳大利亚肉牛体重的影响可以持续到600日龄^[22],即使随着年龄增长,母体效应的影响减弱,但这种影响仍然存在^[23]。这意味着不考虑母体遗传效应而直接对直接加性遗传效应进行预测是不可靠的。还有研究表明,未能充分模拟母体效应的贡献会在一定程度上对加性遗传效应高估^[24]。同时,这点与本研究结果保持一致。

直接与母体之间可能存在协方差。因此,如果为正协方差,直接加性遗传效应可能会因母体遗传效应被促进,但如果直接与母体之间存在负协方差,也可能被抑制^[21]。在机制水平上,这种负协方差可能通过多效性发生,例如,如果一个基因对后代性状有积极影响,但对母体该性状的表现有负面影响^[21]。当直接与母体存在较高的负相关性时,考虑直接与母体协方差的选择方法对长期选择的经济反应要大于仅仅基于直接遗传效应的选择^[25]。本研究中,当同时考虑母体遗传效应及其与直接加性遗传效应的协方差时,直接遗传力和母体遗传力值增加,总遗传力值降低明显。这可能与直接加性遗传效应与母体遗传效应间呈较强的负相关有关。综上,为更准确的估计生长性状遗传参数,需要考虑母体遗传效应及其与直接遗传效应间的协方差。

3.2 最佳动物模型对18月龄安格斯牛生长性状遗传参数的估计

最佳模型估计的BW、BH、CH、BL、CC和SC的 h_a^2 分别为0.42、0.48、0.29、0.48、0.64和0.22; h_T^2 分别为0.23、0.33、0.12、0.18、0.34和0.11。其他肉牛品种多半报道体重的是直接遗传力,Marestone等^[26]估计的内洛尔牛550日龄体重的遗传力为 0.39 ± 0.02 ;Baldi等^[27]估计的坎奇姆牛18月龄体重直接遗传力为0.28;Vargas等^[28]估计婆罗门牛550日龄体重的直接遗传力为0.23~0.28;Ferreira等^[29]估计的内洛尔牛550日龄生长性状的遗传力估计值为0.43;Mota等^[30]估计的西门塔尔牛550日龄体重

直接遗传力为0.46;Corbet等^[31]估计本斯马拉牛和贝尔蒙特红牛的18月龄体重直接遗传力为0.42;吕明鹏等^[32]估计的晋南牛BW遗传力为 0.23 ± 0.12 ,其他体尺性状遗传力分别为BH(0.24 ± 0.13)、CH(0.30 ± 0.13)、BL(0.16 ± 0.11)、CC(0.25 ± 0.13)和SC(0.43 ± 0.15);彭朋等^[33]估计的西门塔尔牛18月龄BW、BH、CH、BL、CC和SC遗传力分别为0.41、0.41、0.45、0.45、0.48和0.66。综上,肉牛成熟体重的遗传力属于中等偏高的遗传力性状,但不同的研究得出不同结果的可能原因是品种不同,不同的饲养环境条件以及不同的拟合模型^[34],在大多数的参数估计模型中忽略了母体遗传效应及其与直接加性遗传效应的协方差,考虑到直接-母体协方差会导致直接遗传力的高估,我们建议使用总遗传力作为评价的结果。

4 结 论

通过比较不同动物模型,筛选出了18月龄安格斯牛生长性状遗传参数估计的最佳动物模型。除直接加性遗传效应外,母体遗传效应、直接与母体协方差对安格斯牛18月龄生长性状有重要影响,因此,在估计安格斯牛生长性状的遗传参数和制定安格斯牛育种规划中应加以考虑,能有效提高遗传参数估计的准确性和制定科学合理的选种选配方案。

参考文献 References

- [1] Chambaz A, Scheeder M R L, Kreuzer M, Dufey P A. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content[J]. *Meat Science*, 2003, 63(4): 491-500
- [2] 冯小芳, 蒋秋斐, 封元, 王瑜, 母童, 黎明, 陈亚飞, 王影, 蔡正云, 张娟, 顾亚玲. 不同动物模型对安格斯牛周岁生长性状遗传参数估计的比较分析[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(9): 72-82
Feng X F, Jiang Q F, Feng Y, Wang Y, Mu T, Li M, Chen Y F, Wang Y, Cai Z Y, Zhang J, Gu Y L. Comparison analysis of genetic parameter estimation of Angus cattle's one-year-old growth traits by different animal models [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 72-82 (in Chinese)
- [3] 周振勇, 李红波, 闫向民, 张金山, 杜玮, 张杨. 新疆褐牛主要经济性状的遗传参数估计[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(2): 8-12
Zhou Z Y, Li H B, Yan X M, Zhang J S, Du W, Zhang Y. Genetic parameter estimation of Xinjiang brown cattle's main economic characters [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(2): 8-12 (in Chinese)
- [4] 董刚辉, 张旭, 王雅春, 吴宏军, 刘爱荣, 张毅, 王东升, 崔久辉, 袁鹏, 姜立鑫, 周磊, 赵健. 三河牛成年母牛体尺体重性状遗传参数估计[J]. *畜牧*

- 兽医学报, 2017, 48(10): 1843-1854
- Dong G H, Zhang X, Wang Y C, Wu H J, Liu A R, Zhang Y, Wang D S, Cui J H, Yuan P, Jiang L X, Zhou L, Zhao J. Genetic parameter estimation of body size and weight of adult Sanhe Cows [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48(10): 1843-1854 (in Chinese)
- [5] 周桂珍, 魏趁, 张晓雪, 管潇萌, 赵雄, 彭箫, 黄锡霞, 马光辉. 用DMU软件估计西门塔尔母牛主要经济性状的遗传参数[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(6): 43-46
- Zhou G Z, Wei C, Zhang X X, Guan X M, Zhao X, Peng X, Huang X X, Ma G H. Estimation of genetic parameters of main economic characters of Simmental Cattle by DMU software[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2018, 54(6): 43-46 (in Chinese)
- [6] 朱波, 李姣, 汪聪勇, 徐凌洋, 陈燕, 高雪, 张路培, 高会江, 李俊雅. 我国肉用西门塔尔牛群体生长发育性状遗传参数估计及其遗传进展[J]. 畜牧兽医学报, 2020, 51(8): 1833-1844
- Zhu B, Li J, Wang C Y, Xu L Y, Chen Y, Gao X, Zhang L P, Gao H J, Li J Y. Genetic parameter and genetic gain estimation for growth and development traits in Chinese Simmental Beef cattle [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2020, 51(8): 1833-1844
- [7] Kruuk L E B. Estimating genetic parameters in natural populations using the 'animal model' [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 2004, 359(1446): 873-890
- [8] Moore M P, Whiteman H H, Martin R A. A mother's legacy: The strength of maternal effects in animal populations[J]. *Ecology Letters*, 2019, 22(10): 1620-1628
- [9] Foolad M R, Jones R A. Models to estimate maternally controlled genetic variation in quantitative seed characters [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1992, 83(3): 360-366
- [10] Lee C. Methods and techniques for variance component estimation in animal breeding review [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2000, 13(3): 413-422
- [11] Diffey S M, Smith A B, Welsh A H, Cullis B R. A new REML (parameter expanded) EM algorithm for linear mixed models [J]. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 2017, 59(4): 433-448
- [12] Mohammadi K, Mamouei M, Bojarpour M, Mirzadeh K, Aghaei A. Genetic parameter estimates for lamb weight at post-weaning in zandi sheep, using single-trait animal models [J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010, 9(17): 2220-2223
- [13] Willham R L. The role of maternal effects in animal breeding: III. biometrical aspects of maternal effects in animals[J]. *Journal of Animal Science*, 1972, 35(6): 1288-1293
- [14] Mokhtari M S, Borzi N K, Fozi M A, Bahreini Behzadi M R. Evaluation of non-linear models for genetic parameters estimation of growth curve traits in Kermani sheep [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2019, 51(8): 2203-2212
- [15] Kassahun D, Taye M, Kebede D, Tilahun M, Tesfa A, Bitew A, Kebede A, Meseret M, Lakew E, Bimrow T, Haile A. Phenotypic and genetic parameter estimates for early growth, growth rate and growth efficiency-related traits of Fogera cattle in Ethiopia [J]. *Veterinary Medicine and Science*, 2021, 8: 387-397
- [16] Souza J E R, Ferreira J, Pilar Solar Diaz I, Silveira R M F, Sousa W H. Comparison of different models for the estimation of genetic parameters in tropical goats[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2022, 54(6): 1-6
- [17] Marques L F A, Pereira J C C, Oliveira H N, Pereira C S, Bergmann J A G. Componentes de (co) variância e parâmetros genéticos de características de crescimento da raça simental no Brasil [J]. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária Zootecnia*, 1999, 51(4): 363-370
- [18] Gauzere J, Pemberton J M, Morris S, Morris A, Kruuk L E B, Walling C A. The genetic architecture of maternal effects across ontogeny in the red Deer[J]. *Evolution*, 2020, 74(7): 1378-1391
- [19] McAdam A G, Boutin S, Réale D, Berteaux D. Maternal effects and the potential for evolution in a natural population of animals[J]. *Evolution*, 2002, 56(4): 846-851
- [20] Yamamichi M, Hosono M. Roles of maternal effects in maintaining genetic variation: Maternal storage effect[J]. *Evolution*, 2017, 71(2): 449-457
- [21] Wilson A J, Coltman D W, Pemberton J M, Overall A D J, Byrne K A, Kruuk L E B. Maternal genetic effects set the potential for evolution in a free-living vertebrate population [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2005, 18(2): 405-414
- [22] Meyer K, Carrick M J, Donnelly B J P. Genetic parameters for growth traits of Australian beef cattle from a multibreed selection experiment[J]. *Journal of Animal Science*, 1993, 71(10): 2614-2622
- [23] Dias L T, Albuquerque L G, Tonhati H, Almeida Teixeira R. Estimation of genetic parameters for weight in different ages in tabapua cattle[J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2005, 34(6): 1914-1919
- [24] Clément V, Bibé B, Verrier E, Elsen J M, Manfredi E, Bouix J, Hanocq E. Simulation analysis to test the influence of model adequacy and data structure on the estimation of genetic parameters for traits with direct and maternal effects[J]. *Genetics, Selection, Evolution; GSE*, 2001, 33(4): 369-395
- [25] Eler J P, Van Vleck L D, Ferraz J B, Lôbo R B. Estimation of variances due to direct and maternal effects for growth traits of Nelore cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(11): 3253-3258
- [26] Marestone B S, Torres Junior R A A, Silva L O C, Menezes G R O, Muniz C A S D, Ribeiro E L A. Genetic parameters for traditional and novel ultrasound carcass traits in Nelore cattle [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2022, 54(1): 1-7
- [27] Baldi F, Alencar M M, Albuquerque L G. Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento em bovinos da raça Canchim utilizando modelos de dimensão finita [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2010, 39(11): 2409-2417
- [28] Vargas G, Buzanskas M E, Guidolin D G F, do Amaral Grossi D, da Silva Bonifácio A, Lôbo R B, da Fonseca R, de Oliveira J A, Munari D P. Genetic parameter estimation for pre- and post-weaning traits in Brahman cattle in Brazil [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2014, 46(7): 1271-1278
- [29] Ferreira J L, Lopes F B, Pereira L S, Nepomuceno L L, Soares Garcia J A S, Lôbo R B, Sainz R D. Estimation of (co)variances for growth traits in Nelore cattle raised in the Humid Tropics of Brazil by random regression[J]. *Semina: Ciências Agrárias*, 2015, 36(3): 1713-1723
- [30] Mota R R, Marques L F A, Lopes P S, da Silva L P, Neto F R A, de Resende M D V, Torres R A. Genetic evaluation using multi-trait and random regression models in Simmental beef cattle [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2013, 12(3): 2465-2480
- [31] Corbet N J, Shepherd R K, Burrow H M, Prayaga K C, van der Westhuizen J, Bosman D J. Genetic parameters for growth and fertility [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2006, 46(2): 213-223
- [32] 吕明鹏, 孟源, 王宏浩, 王元, 车雷杰, 申莉, 王曦. 晋南牛不同生长阶段体重和体尺性状遗传参数估计[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54(4): 1452-1464

- Guo M P, Meng Y, Wang H H, Wang Y, Chen L J, Shen L, Wang X. Estimation of genetic parameters of body weight and body size traits in Jinnan cattle at different growth stages [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2023, 54(4): 1452-1464 (in Chinese)
- [33] 彭朋, 王思伟, 李树静, 阎志刚, 赵增元, 苏硕青, 刘苗, 王昆. 河北省西门塔尔牛体重体尺性状遗传参数分析[J]. *中国牛业科学*, 2022, 48(6): 1-4
- Peng P, Wang S W, Li S J, Yan Z G, Zhao Z Y, Su S Q, Liu Z, Wang K. Genetic parameters analysis for body weight and body size of Simmental beef cattle in Hebei Province[J]. *China Cattle Science*, 2022, 48(6): 1-4 (in Chinese)
- [34] Ladeira G C, de Paiva J T, de Oliveira H R, Carrara E R, Pilonetto F, Freitas F A O, de Mattos E C, Eler J P, Ferraz J B S, de Genova Gaya L. Random-effect meta-analysis of genetic parameter estimates for carcass and meat quality traits in beef cattle[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, 53(4): 420
- 责任编辑: 秦梅



第一作者简介：佟丽佳, 宁夏大学动物科技学院在读研究生。2021 年于沈阳农业大学获得学士学位, 研究生期间获得三等学业奖学金, 以第三作者参与发布团体标准《静原鸡种蛋孵化技术规程》。



通讯作者简介：张娟, 博士, 宁夏大学动物科技学院教授, 宁夏回族自治区禽蛋产业首席, 主要从事动物遗传育种研究。近 5 年作为主持人和主要参与者承担各类科研项目 30 余项, 发表研究论文 60 余篇, 主编著作 2 部, 制定地方标准 5 项, 团体标准 5 项; 自治区科技成果登记 5 项。