



李雪, 洪巍, 刘桂芬, 魏晨, 何军敏, 张文静, 龙丽, 杨存明, 田可川, 黄锡霞. 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(10): 220-229.  
LI Xue, HONG Wei, LIU Guifen, WEI Chen, HE Junmin, ZHANG Wenjing, LONG Li, YANG Cunming, TIAN Kechuan, HUANG Xixia. Genetic analysis of  
body weight traits in Tianmu multiparous lambs[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 220-229.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.10.19

## 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传分析

李雪<sup>1,2</sup> 洪巍<sup>3</sup> 刘桂芬<sup>1</sup> 魏晨<sup>1</sup> 何军敏<sup>1</sup> 张文静<sup>1,2</sup> 龙丽<sup>1,2</sup>  
杨存明<sup>1,2</sup> 田可川<sup>1\*</sup> 黄锡霞<sup>2\*</sup>

(1. 山东省农业科学院 畜牧兽医研究所, 济南 250100;

2. 新疆农业大学 动物科学学院, 乌鲁木齐 830052;

3. 浙江赛诺生态农业有限公司, 杭州 311300)

**摘要** 为进一步提高天目多胎羊的生长性能和育种效率, 收集2013—2022年天目多胎羊18 534条断奶前体重数据, 分析影响天目多胎羊羔羊期体重性状的非遗传因素, 利用DMU软件估计遗传参数和育种值, 分析其遗传趋势和表型趋势。结果表明: 1) 性别、出生年份和出生季节对天目多胎羊羔羊期体重性状均影响极显著( $P < 0.01$ ); 出生类型对断奶前克菜伯比率具有显著( $P < 0.05$ )影响, 对其他性状具有极显著影响。2) 初生重为中等遗传力性状, 直接遗传力为 $0.18 \pm 0.03$ , 母体遗传力为 $0.13 \pm 0.02$ ; 断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克菜伯比率属于低遗传力性状, 直接遗传力分别为 $0.06 \pm 0.02$ ,  $0.06 \pm 0.02$ 和 $0.02 \pm 0.01$ , 母体遗传力估计值分别为 $0.07 \pm 0.01$ ,  $0.07 \pm 0.01$ 和 $0.09 \pm 0.01$ 。3) 除初生重与断奶前克菜伯比率之间为负的遗传相关与表型相关外, 其余各性状间均为正遗传与表型相关。4) 初生重的平均育种值整体呈现下降趋势, 平均表型值呈先上升后下降的趋势; 断奶重的平均育种值与平均表型值均先下降后上升; 断奶前平均日增重和断奶前克菜伯比率的平均育种值先下降后上升又下降终上升, 平均表型值先下降后上升。5) 初生重、断奶重、断奶前日增重和断奶前克菜伯比率的遗传进展分别为 $-0.013 \text{ kg/a}$ ,  $-0.005 \text{ kg/a}$ ,  $-0.001 \text{ g/(d} \cdot \text{a)}$ 和 $0.005$ ; 表型进展分别为 $0.066 \text{ kg/a}$ ,  $0.218 \text{ kg/a}$ ,  $3.388 \text{ g/天/a}$ 和 $0.092$ 。综上, 本研究可对天目多胎羊当前育种方案进行优化调整, 进一步稳定其优良遗传性能, 提高育种效率, 节约饲养成本, 为天目多胎羊的科学早期选育、提高生长性能和群体遗传稳定性提供理论依据。

**关键词** 天目多胎羊; 羔羊期体重性状; 遗传参数; 育种值; 遗传趋势

中图分类号 S827

文章编号 1007-4333(2024)10-0220-10

文献标志码 A

## Genetic analysis of body weight traits in Tianmu multiparous lambs

LI Xue<sup>1,2</sup>, HONG Wei<sup>3</sup>, LIU Guifen<sup>1</sup>, WEI Chen<sup>1</sup>, HE Junmin<sup>1</sup>, ZHANG Wenjing<sup>1,2</sup>,  
LONG Li<sup>1,2</sup>, YANG Cunming<sup>1,2</sup>, TIAN Kechuan<sup>1\*</sup>, HUANG Xixia<sup>2\*</sup>

(1. Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2. School of Animal Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China;

3. Zhejiang Sino ecological agriculture Co., Ltd. Hangzhou 311300, China)

**Abstract** In order to further improve the growth performance and breeding efficiency of Tianmu multiparous sheep, 18 534 pre-weaning weight data of Tianmu multiparous sheep from 2013 to 2022 were collected.

收稿日期: 2023-10-30

基金项目: 山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2023F10, CXGC2023A33)

第一作者: 李雪(ORCID: 0009-0002-4059-9647), 硕士研究生, E-mail: lixueli126@163.com

通讯作者: 田可川(ORCID: 0000-0002-4964-0629), 研究员, 主要从事动物遗传育种研究, E-mail: tiankechuan@163.com

黄锡霞(ORCID: 0000-0001-6247-4488), 教授, 主要从事动物遗传育种研究, E-mail: au-huangxixia@163.com

The non-genetic factors affecting the lamb body weight traits of Tianmu multiparous sheep was analyzed. The genetic parameters and breeding values were estimated and their genetic trends and phenotypic trends was analyzed. The results showed that: 1) Sex, birth year and birth season had extremely significant effect on the lamb body weight traits of Tianmu multiparous sheep ( $P < 0.01$ ). Brith type had significant effects on the pre-weaning Kleber ratio, and had extremely significant effects on other traits. 2) Birth weight was a trait with medium heritability, with a direct heritability of  $0.18 \pm 0.03$ , and a maternal heritability of  $0.13 \pm 0.02$ . Weaning weight (WWT), average daily gain before weaning (ADG) and pre-weaning Kleber ratio (KR) were low heritability traits, which the direct heritabilities were  $0.06 \pm 0.02$ ,  $0.06 \pm 0.02$  and  $0.02 \pm 0.01$ , the maternal heritabilities were  $0.07 \pm 0.01$ ,  $0.07 \pm 0.01$  and  $0.09 \pm 0.01$ , respectively. 3) Except for the negative genetic correlation and phenotypic correlation between BWT and KR, the other traits were positive genetic correlation and phenotypic correlation. 4) The average breeding value of BWT showed a downward trend as a whole, and the average phenotypic value showed a trend of increasing first and then decreasing. The average breeding value and average phenotypic value of WWT decreased first and then increased. The average breeding value of ADG and the KR decreased first, then increased, then decreased and finally increased, and the average phenotypic value decreased first and then increased. 5) The genetic gains of BWT, WWT, ADG and KR were  $-0.013$  kg/a,  $-0.005$  kg/a,  $-0.001$  g/day/a and  $0.005$ , respectively. The phenotypic gains were  $0.066$  kg/a,  $0.218$  kg/a,  $3.388$  g/(d·a) and  $0.092$ , respectively. In summary, this study can optimize and adjust the current breeding program of Tianmu multiparous sheep, further stabilize its excellent genetic performance, improve breeding efficiency, save feeding costs, and provide a theoretical basis for the scientific early breeding, improvement of growth performance and population genetic stability of Tianmu multiparous sheep.

**Keywords** Tianmu multiparous sheep; lamb body weight traits; genetic parameters; breeding value; genetic trends

羔羊期的体重性状主要包括初生重、断奶重、断奶前平均日增重等,对羊的后期生长发育和最终生产性能具有重要意义,是影响经济效益的重要因素<sup>[1]</sup>。克莱伯比率(Kleiber ratio, KR)是衡量饲料转化效率或生长效率的指标,与平均日增重相比,克莱伯比率能更准确地预测饲料转化率和反映动物的代谢体重,可作为生长效率的重要选择指标<sup>[2]</sup>。我国是养羊大国,羊存栏量、出栏量、肉产量均居世界首位。近年来,随着人们生活水平的提高,对优质羊肉的需求量逐渐增加,出现了羊肉供不应求、价格持续上涨的情况<sup>[3]</sup>。虽然我国肉羊种业发展迅速,种质资源不断丰富,但总体上与发达国家仍存在较大差距,现有羊在羊肉生产中贡献率较低,市场竞争力差<sup>[4]</sup>。因此,加快羊生长速度和生产效率是提高羊产业经济效益的关键。遗传参数可以反映动物群体的总体遗传特征,主要包括遗传力、遗传相关和重复力等。在家畜育种实践中,通常使用估计育种值来尽可能准确地将遗传上优良的个体选留作为种畜,提高群体生产性能与遗传效率<sup>[5]</sup>。

Kariuki等<sup>[6]</sup>估计肯尼亚杜泊羊初生重直接遗传力为 $0.18$ ,母体遗传力为 $0.16$ ;断奶重直接遗传力为 $0.28$ ,母体遗传力为 $0.19$ 。Ghaderi-Zefrehei等<sup>[7]</sup>

采用贝叶斯方法估计洛里巴赫蒂亚里绵羊初生重和断奶重的直接遗传力分别为 $0.36$ 和 $0.18$ 。李秀丽<sup>[8]</sup>建立多性状动物模型并考虑误差间协方差时,估计出考力代羊初生重和断奶重的遗传力分别为 $0.28$ 和 $0.33$ 。Ehsaninia<sup>[9]</sup>估计克马尼羊羔羊断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率的直接遗传力分别为 $0.13$ 和 $0.12$ ,母体遗传力分别为 $0.11$ 和 $0.10$ 。Balasundaram等<sup>[10]</sup>使用6种不同动物模型估计了梅凯里绵羊初生重和3月龄体重的直接遗传力分别为 $0.21$ 和 $0.24$ ,母体遗传力分别为 $0.12$ 和 $0.05$ 。李丽娟等<sup>[11]</sup>建立不同模型估计了贵州半细毛羊初生重和断奶重直接遗传力分别为 $0.21$ 和 $0.25$ ,母体遗传力分别为 $0.04$ 和 $0.25$ 。

湖羊是我国十大优异畜禽种质资源之一,具有前期生长速度快、高繁殖性、耐粗饲、遗传性能稳定等特点,是目前我国推广范围最广、养殖数量最多的绵羊品种,也是作为母本杂交生产肥羔的首选品种<sup>[12]</sup>。天目多胎羊是以浙江本地湖羊为育种素材开展本品种选育培育出的体型外貌一致、遗传性能稳定、生产性能优于传统湖羊的肉皮兼用型新品种。天目多胎羊的生长发育速度、产肉性能等均优于传统湖羊品种,为提高肉羊综合产肉能力提供了

优质的种质资源,且目前尚未有关于天目多胎羊羔羊期体重性状遗传参数的相关报道。为了更好的发挥天目多胎羊的优秀品质,本研究以天目多胎羊为研究对象,运用DMU软件估计羔羊期体重性状遗传参数和育种值,分析遗传趋势与表型趋势,以期为天目多胎羊早期选种选育、提高群体生产性能和遗传稳定性提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究收集了浙江赛诺生态农业有限公司2013—2022年天目多胎羊系谱记录和18 534条断奶前体重数据,包括初生重(BWT)、断奶重

(WWT)。根据以下公式<sup>[4]</sup>计算得出断奶前平均日增重(ADG)和断奶前克莱伯比率(KR):

$$ADG = \frac{WWT - BWT}{n}$$
(1)

$$KR = \frac{ADG}{WWT^{0.75}}$$
(2)

式中:ADG为断奶前平均日增重,g/d;KR为断奶前克莱伯比率;WWT为断奶重,kg;*n*为羔羊断奶日龄(*n*=45)。

对原始数据进行处理,剔除父号和母号缺失、不准确表型值和在平均值±3倍标准差之外的数据,每个性状的统计数量为18 534,数据的描述性统计见表1。

表1 羔羊期体重性状描述性统计  
Table1 Descriptive statistics of body weight traits in lambs

| 性状<br>Trait | 均值<br>Mean  | 标准差<br>Standard deviation | 极小值<br>Min | 极大值<br>Max |
|-------------|-------------|---------------------------|------------|------------|
| BWT/kg      | 3.42±0.01   | 0.82                      | 1.00       | 6.10       |
| WWT/kg      | 14.25±0.02  | 2.75                      | 5.00       | 23.40      |
| ADG/(g/d)   | 240.65±0.42 | 57.39                     | 71.11      | 437.78     |
| KR          | 32.53±0.03  | 3.67                      | 20.01      | 43.21      |

注:BWT,初生重;WWT,断奶重;ADG,断奶前平均日增重;KR,断奶前克莱伯比率。下同。  
Note: BWT, Birth weight; WWT, Weaning weight; ADG, Average daily gain before weaning; KR, Kleiber ratio before weaning. The same below.

1.2 固定效应分析

对非遗传因素进行效应水平划分。将性别效应划分为2个水平(1为公羊,2为母羊),出生年份效应划分为10个水平(2013—2022年,每年为1个水平),出生季节效应划分为4个水平:春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12—2月),赋值1~4。出生类型效应划分为2个水平(1为单羔,2为双羔)。

使用SAS 8.2软件的GLM过程,分析性别、出生年份和出生季节对天目多胎羊羔羊期体重性状的影响,将影响显著的因素作为固定效应,用于后续的遗传分析。使用的线性模型如下:

$$Y_{ijklm} = \mu + s_i + b_j + n_k + t_l + e_{ijklm}$$

式中:*Y<sub>ijklm</sub>*为个体观察值,*μ*为群体均值,*s<sub>i</sub>*为性别效应,*b<sub>j</sub>*为出生年份效应,*n<sub>k</sub>*为出生季节效应,*t<sub>l</sub>*为出生类型效应,*e<sub>ijklm</sub>*为残差效应。

1.3 统计分析方法

使用DMU软件的DMUAI模块估计天目多胎羊羔羊期体重性状遗传参数。通过求解混合模型方程组,得到估计育种值。使用的动物模型如下:

$$Y = X\beta + Z_a a + Z_m m + e$$

式中:*Y*为个体观察值向量,*β*为固定效应向量,*a*为个体加性遗传效应向量,*m*为母体遗传效应向量,*e*为残差效应向量,*X*、*Z<sub>a</sub>*、*Z<sub>m</sub>*分别为*β*、*a*、*m*的结构矩阵。

2 结果与分析

2.1 固定效应显著性检验

表2为非遗传因素对天目多胎羊羔羊期体重性状的影响。结果表明,性别、出生年份和出生季节对天目多胎羊羔羊期体重性状均有极显著(*P*<0.01)影响,出生类型对断奶前克莱伯比率有显著(*P*<0.05)影响,对其他性状具有极显著影响。因

表 2 非遗传因素对羔羊期体重性状的影响  
Table 2 Effects of non-genetic factors on lamb body weight traits

| 因素<br>Factor         | BWT |            | WWT |            | ADG |                | KR |            |
|----------------------|-----|------------|-----|------------|-----|----------------|----|------------|
|                      | df  | MS         | df  | MS         | df  | MS             | df | MS         |
| 性别 Sex               | 1   | 258.13**   | 1   | 4 539.60** | 1   | 1 300 118.97** | 1  | 1 379.20** |
| 出生年份<br>Birth year   | 9   | 55.84**    | 9   | 3 359.35** | 9   | 1 606 176.22** | 9  | 5 784.65** |
| 出生季节<br>Birth season | 3   | 34.77**    | 3   | 247.05**   | 3   | 94 218.91**    | 3  | 284.86**   |
| 出生类型<br>Birth type   | 1   | 1 070.86** | 1   | 4 557.54** | 1   | 597 546.60**   | 1  | 66.93*     |

注：\*\*表示差异极显著( $P<0.01$ ), \*表示差异显著( $P<0.05$ )。  
Note: \*\*indicated that the effect was extremely significant ( $P<0.01$ ), \*indicated that the effect was extremely significant ( $P<0.05$ ).

此,在后续遗传分析中,固定效应为性别、出生年份、出生季节和出生类型。

## 2.2 天目多胎羊羔羊期体重性状方差组分及遗传力估计值

天目多胎羊羔羊期体重性状方差组分及遗传力估计值如表 3 所示。初生重的直接遗传力估计值

为  $0.18\pm0.03$ ,母体遗传力估计值为  $0.13\pm0.02$ ,属于中等遗传力性状。断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率的直接遗传力估计值分别为  $0.06\pm0.02$ 、 $0.06\pm0.02$  和  $0.02\pm0.01$ ,母体遗传力估计值分别为  $0.07\pm0.01$ 、 $0.07\pm0.01$  和  $0.09\pm0.01$ ,均为低遗传力性状。

表 3 羔羊期体重性状方差组分及遗传力估计值  
Table 3 Variance components and heritability estimates of body weight traits in lambs

| Trait | $\sigma_a^2$ | $\sigma_m^2$ | $\sigma_e^2$ | $\sigma_p^2$ | $h_a^2$       | $h_m^2$       |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| BWT   | 0.11         | 0.08         | 0.41         | 0.59         | $0.18\pm0.03$ | $0.13\pm0.02$ |
| WWT   | 0.35         | 0.36         | 4.78         | 5.49         | $0.06\pm0.02$ | $0.07\pm0.01$ |
| ADG   | 146.49       | 177.28       | 2 090.87     | 2 414.65     | $0.06\pm0.02$ | $0.07\pm0.01$ |
| KR    | 0.16         | 0.94         | 9.38         | 10.48        | $0.02\pm0.01$ | $0.09\pm0.01$ |

注: $\sigma_a^2$ ,直接加性遗传方差; $\sigma_m^2$ ,母体遗传方差; $\sigma_e^2$ ,残差方差; $\sigma_p^2$ ,表型方差; $h_a^2$ ,直接遗传力; $h_m^2$ ,母体遗传力。  
Note:  $\sigma_a^2$ , Direct genetic variance;  $\sigma_m^2$ , Maternal genetic variance;  $\sigma_e^2$ , Residual variance;  $\sigma_p^2$ , Phenotypic variance;  $h_a^2$ , Direct heritability;  $h_m^2$ , Maternal heritability.

## 2.3 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传相关与表型相关

表 4 为天目多胎羊羔羊期体重性状遗传相关与表型相关。遗传相关绝对值范围为  $0.03\sim0.96$ 。断奶重与断奶前平均日增重、断奶重与断奶前克莱伯比率、断奶前平均日增重与断奶前克莱伯比率呈较高的正遗传相关,其中断奶重与断奶前平均日增重的遗传相关性最高,为  $0.96$ 。初生重与断奶重、初生重与断奶前平均日增重为较低的正遗传相关,

初生重与断奶前克莱伯比率为负的遗传相关。表型相关绝对值范围为  $0.06\sim0.96$ 。除初生重与断奶前克莱伯比率为极显著的负表型相关外,其余各性状间均为极显著的正表型相关。其中,断奶重与断奶前平均日增重的表型相关系数最高,为  $0.96$ ;初生重与断奶前平均日增重的表型相关系数最低,为  $0.06$ 。

## 2.4 天目多胎羊羔羊期体重性状育种值估计

表 5 为天目多胎羊羔羊期体重性状各性状育种值排名前 20 的种公羊。各性状育种值排名第一的

表4 羔羊期体重性状遗传相关与表型相关

Table 4 Estimation of genetic and phenotypic correlations between lamb body weight traits

| Trait | BWT     | WWT       | ADG       | KR         |
|-------|---------|-----------|-----------|------------|
| BWT   |         | 0.30±0.29 | 0.06±0.27 | -0.03±0.63 |
| WWT   | 0.35**  |           | 0.96±0.14 | 0.86±0.59  |
| ADG   | 0.06**  | 0.96**    |           | 0.72±0.08  |
| KR    | -0.33** | 0.76**    | 0.91**    |            |

注:对角线以上为遗传相关,对角线以下为表型相关。  
Note: Below diagonal was genetic correlations, above diagonal was phenotypic correlations.

表5 种公羊体重性状各性状排名前20育种值

Table 5 The breeding values of body weight traits of breed rams ranked top 20

| Number | ID       | BWT_EBV | ID       | WWT_EBV | ID       | ADG_EBV | ID       | KR_EBV |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|
| 1      | 11170264 | 0.731   | 11161327 | 0.865   | 11211547 | 15.692  | 11161640 | 1.351  |
| 2      | 11151640 | 0.629   | 11202440 | 0.820   | 31130007 | 15.389  | 11172133 | 1.260  |
| 3      | 11191322 | 0.612   | 31130007 | 0.818   | 11202440 | 14.875  | 11173001 | 1.259  |
| 4      | 11192167 | 0.612   | 11211547 | 0.813   | 11151841 | 14.574  | 41170612 | 1.233  |
| 5      | 11181115 | 0.586   | 11202441 | 0.813   | 11150421 | 14.106  | 11173281 | 1.190  |
| 6      | 11160740 | 0.579   | 11173236 | 0.802   | 1114395  | 13.881  | 11170523 | 1.174  |
| 7      | 11160518 | 0.548   | 61150441 | 0.786   | 11150680 | 13.574  | 11191465 | 1.173  |
| 8      | 11162833 | 0.538   | 11173104 | 0.784   | 11173104 | 13.376  | 11193570 | 1.130  |
| 9      | 11162832 | 0.538   | 11162963 | 0.775   | 11180064 | 13.372  | 11173126 | 1.105  |
| 10     | 11162399 | 0.537   | 11181258 | 0.773   | 11151988 | 13.322  | 11172487 | 1.097  |
| 11     | 11151889 | 0.526   | 11225272 | 0.772   | 11224549 | 13.252  | 11171708 | 1.087  |
| 12     | 11181077 | 0.521   | 11224549 | 0.770   | 11170523 | 13.099  | 11182494 | 1.083  |
| 13     | 11141243 | 0.520   | 11150421 | 0.763   | 11162963 | 12.959  | 11172512 | 1.076  |
| 14     | 11151891 | 0.519   | 11161243 | 0.754   | 11201684 | 12.882  | 11202537 | 1.073  |
| 15     | 11171444 | 0.514   | 11180845 | 0.740   | 11225272 | 12.746  | 11163262 | 1.058  |
| 16     | 11160659 | 0.509   | 1114395  | 0.737   | 11224549 | 12.631  | 11171903 | 1.048  |
| 17     | 11151890 | 0.504   | 11162001 | 0.737   | 11150231 | 12.580  | 11172196 | 1.046  |
| 18     | 11151893 | 0.502   | 11193879 | 0.733   | 11150408 | 12.488  | 11151988 | 1.042  |
| 19     | 11171381 | 0.497   | 11190165 | 0.727   | 11140861 | 12.301  | 11172149 | 1.034  |
| 20     | 11160132 | 0.493   | 11225232 | 0.722   | 11181258 | 12.257  | 11180235 | 1.031  |

种公羊编号分别为11170264、11161327、11211547和11161640。表6为天目多胎羊羔羊期体重性状各性状育种值排名前20的母羊。各性状育种值排名第一的母羊编号分别为11161373、11180376、11181674和11163394。根据本研究种公羊和母羊的各性状育种值排名,可以将育种值高的个体作为良种,留作种畜,以提高后代遗传性能,提高群体遗传素质。

表 6 母羊体重性状各性状排名前 20 育种值

Table 6 The breeding values of body weight traits of ewes ranked top 20

| Number | ID       | BWT_EBV | ID       | WWT_EBV | ID       | ADG_EBV | ID       | KR_EBV |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|
| 1      | 11161373 | 0.746   | 11180376 | 1.436   | 11181674 | 27.381  | 11163394 | 1.834  |
| 2      | 11161026 | 0.708   | 11181674 | 1.273   | 11180376 | 26.006  | 2114541  | 1.766  |
| 3      | 11190021 | 0.692   | 11140265 | 1.079   | 11140265 | 25.247  | 11150496 | 1.690  |
| 4      | 11181076 | 0.617   | 11161438 | 1.078   | 11140183 | 22.958  | 11141412 | 1.689  |
| 5      | 11181072 | 0.597   | 11192706 | 1.030   | 11161583 | 22.827  | 11161583 | 1.652  |
| 6      | 11171488 | 0.585   | 11180376 | 1.010   | 11171420 | 22.487  | 11160507 | 1.635  |
| 7      | 11171129 | 0.584   | 11193017 | 0.990   | 11200820 | 21.525  | 11171420 | 1.598  |
| 8      | 11150669 | 0.572   | 11160195 | 0.980   | 11151388 | 21.113  | 11140265 | 1.575  |
| 9      | 11171458 | 0.546   | 11151388 | 0.962   | 11192706 | 21.100  | 11181897 | 1.558  |
| 10     | 11193616 | 0.536   | 11171420 | 0.938   | 11193017 | 21.007  | 11173369 | 1.551  |
| 11     | 11190060 | 0.530   | 11130408 | 0.923   | 11150496 | 20.901  | 11173170 | 1.549  |
| 12     | 11160195 | 0.528   | 11170835 | 0.918   | 11160507 | 20.283  | 71130178 | 1.542  |
| 13     | 11141244 | 0.525   | 11180857 | 0.909   | 11163021 | 20.224  | 11150980 | 1.513  |
| 14     | 11140314 | 0.512   | 11180760 | 0.905   | 11181982 | 20.194  | 31120005 | 1.486  |
| 15     | 11181071 | 0.508   | 11190021 | 0.903   | 31120005 | 20.004  | 11130255 | 1.470  |
| 16     | 11150481 | 0.507   | 11140183 | 0.900   | 11202344 | 19.932  | 11181965 | 1.467  |
| 17     | 11150495 | 0.507   | 11161488 | 0.882   | 11163394 | 19.862  | 11140183 | 1.426  |
| 18     | 11150064 | 0.504   | 11200820 | 0.874   | 11130255 | 19.669  | 11162212 | 1.402  |
| 19     | 11200163 | 0.504   | 11181614 | 0.872   | 2114496  | 18.815  | 11163297 | 1.387  |
| 20     | 11191138 | 0.502   | 11193952 | 0.867   | 11171175 | 18.630  | 11160606 | 1.361  |

### 2.5 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传趋势与表型趋势

图 1 为天目多胎羊羔羊期体重性状遗传趋势与表型趋势。可以看出,随着年份的增加,初生重的平均育种值整体呈现下降趋势,断奶重的平均育种值在 2021 年前呈现下降趋势,于 2021 年后上升。断奶前平均日增重与断奶前克莱伯比率 的平均育种值于 2016 年前呈现下降趋势,2016—2018 年间呈上升趋势,2018—2021 年间又呈现下降趋势,2021 年后急剧上升。随着年份的增加,初生重的平均表型值整体呈现先上升后下降的趋势,断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率整体呈现先下降后上升的趋势。初生重的平均表型值于 2020 年前一直上升,在 2020 年达到最大值,后缓慢下降。断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率 的平均表型值在 2016 年前一直下降,于 2016 年达到最小值,后持续且急剧上升。

从遗传进展和表型进展方面来看,初生重、断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率的遗传进展分别为  $-0.013\text{ kg/a}$ 、 $-0.005\text{ kg/a}$ 、 $-0.001\text{ g/天/a}$ 、 $0.005$ ;表型进展分别为  $0.066\text{ kg/a}$ 、 $0.218\text{ kg/a}$ 、 $3.388\text{ g/(d}\cdot\text{a)}$ 、 $0.092$ 。

## 3 讨 论

### 3.1 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传力分析

本研究中,天目多胎羊初生重为中等遗传力性状,直接遗传力为 0.18,母体遗传力为 0.13。与 Tesema 等<sup>[13]</sup>估计的埃塞俄比亚杜泊地方杂交羊、陶林等<sup>[14]</sup>估计的鲁中肉羊、王江<sup>[15]</sup>估计的湖羊初生重遗传力结果一致,低于郭强<sup>[16]</sup>估计的杜湖杂种羊和陈世尧<sup>[17]</sup>估计的巴什拜羊初生重遗传力估计值,高于 Hamadani 等<sup>[18]</sup>估计的朗布依羊初生重遗传力。

断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比

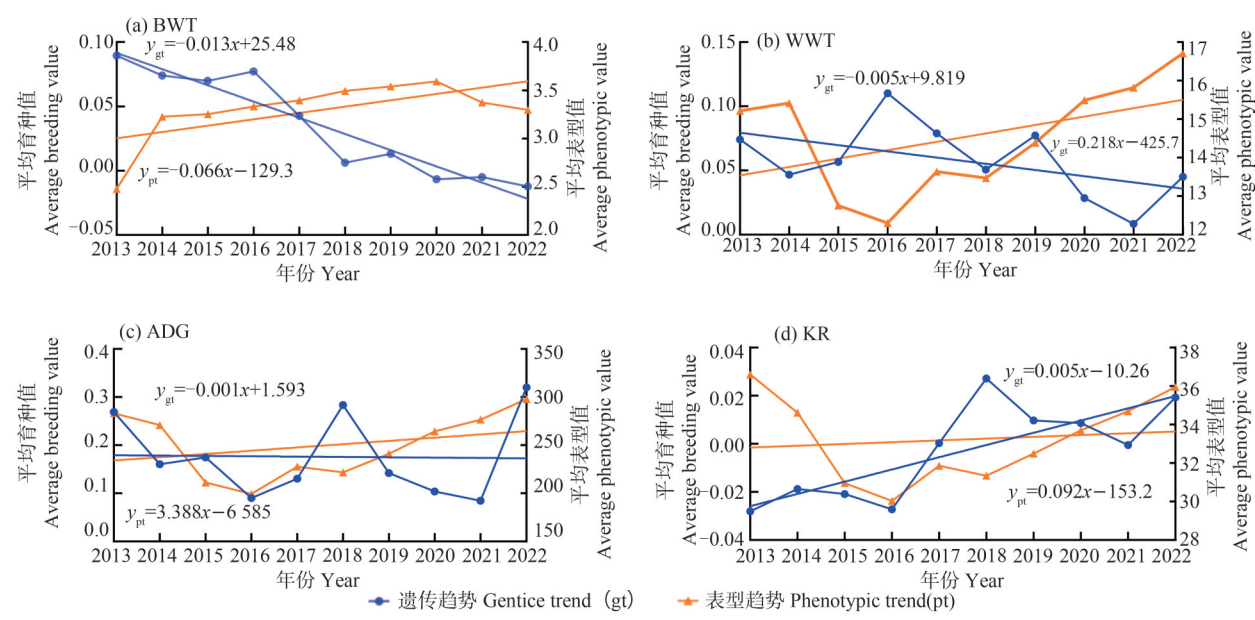


图1 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传趋势与表型趋势

Fig.1 Genetic trend and phenotypic trend of body weight traits in Tianmu multiparous lambs

率为低遗传力性状,直接遗传力分别为0.06、0.06和0.02,母体遗传力分别为0.07、0.07和0.09。与李范文等<sup>[19]</sup>对甘肃高山细毛羊和I等<sup>[20]</sup>对内洛尔羊的断奶重、Jalil-Sarghale等<sup>[21]</sup>对巴鲁奇羊和Boujenane等<sup>[22]</sup>对萨迪羊的断奶前平均日增重、Chauhan等<sup>[23]</sup>对哈那利羊和Ghafouri-Kesbi等<sup>[24]</sup>对赞迪羊的断奶前克莱伯比率估计的遗传力基本一致,低于赵源等<sup>[25]</sup>对湖羊断奶重、Lalit等<sup>[26]</sup>对哈那利羊断奶前平均日增重、Eskandarinasab等<sup>[27]</sup>对伊朗大尾阿夫沙里羊断奶重和断奶前克莱伯比率估计值。

根据《羊生产学》,绵羊初生重和断奶重的遗传力范围为0.30~0.35,属于中、高遗传力性状<sup>[28]</sup>。本研究初生重遗传力低于参考值,但仍属于中遗传力,而断奶重遗传力远低于参考值。造成这种差异的原因可能是数据结构、动物模型的选择、生产管理、气候环境以及品种特性的不同<sup>[29]</sup>。断奶前平均日增重反映羔羊断奶前阶段的生长发育状况,受饲养环境和饲料营养成分及品质影响较大。断奶前克莱伯比率反映了羔羊对羊乳和饲料的吸收状况及转化效率。在实际生产中,可根据这2个性状指标判断羔羊的饲料转化率和后续生长发育潜能。

3.2 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传相关与表型相关

天目多胎羊初生重与断奶前克莱伯比率呈负

的遗传相关和表型相关,其余各性状间均呈正的遗传相关和表型相关。其中,断奶重与断奶前平均日增重、断奶前平均日增重与断奶前克莱伯比率均具有较高度度的相关性。Sallam等<sup>[30]</sup>研究表明,巴基羊早期生长性状间的遗传相关和表型相关为正,且断奶重与断奶前平均日增重的遗传相关系数和表型相关系数最大。Bangar等<sup>[31]</sup>研究报道,哈那利羊除了初生重与断奶前克莱伯比率呈负的遗传相关和表型相关外,其他早期生长性状间均呈正的遗传相关和表型相关,且断奶重与断奶前平均日增重、断奶前平均日增重与断奶前克莱伯比率的遗传相关系数和表型相关系数均较大。Tesema等<sup>[13]</sup>研究表明,杜泊与本地羊杂交品种初生重与断奶前克莱伯比率呈负的遗传相关和表型相关,其余各早期生长性状间均呈正遗传相关与表型相关,其中断奶重与断奶前平均日增重、断奶前平均日增重与断奶前克莱伯比率的遗传相关系数和表型相关系数均较大。与本研究结果基本一致。

天目多胎羊初生重与断奶前克莱伯比率无论是在遗传水平还是在表型水平上,均存在拮抗作用。这说明,这2个性状并不能通过选择来同时得到改善,因此在实际育种实践中,要明确育种目标,将选择集中于最重要的性状。其他性状间正的遗传相关和表型相关关系表明,这些性状之间存在协

同作用,影响这些性状的是同一组基因或者这些基因存在着连锁关系,因此,在种畜选育时可以通过选择其中一个性状,使得其他性状也得到不同程度的改善。

### 3.3 天目多胎羊羔羊期体重性状育种值分析

目前,对于种羊的选择,大多根据单性状育种值或个体表型数据<sup>[32]</sup>。单性状育种值较高的个体,说明其对于该性状具有较大的遗传潜力,并能将表型优势最大程度地遗传给后代,可留作种畜使用。关鸣轩<sup>[33]</sup>对苏博美利奴羊种公羊和母羊的生长性状的育种值进行排名,使用的方法与本研究一致,但育种值大小存在出入,原因可能是羊品种、使用的数据结构和地理环境等因素不同。根据天目多胎羊羔羊期体重性状育种值排序结果,在实际生产过程中,第一,根据不同的生产需求,可以按照育种值高低进行配种,以育种值较高个体进行选育,达到平衡作用。本研究以羔羊期体重性状为例,比如编号为11170264的种公羊初生重、断奶重与断奶前日增重的育种值较高,但其断奶前克莱伯比率的育种值较低,选育中应选择断奶前克莱伯比率育种值较高的母羊进行配种,以获得早期生长较快的个体。第二,可以组建核心母羊群与种公羊群,以核心群体为基础进行繁殖扩群,不断提高后代群体的生长发育速度和生产性能,从而加快遗传进展,增进经济效益。第三,可以根据性状的经济重要性和各性状间遗传相关程度来制定育种目标,将各性状分别赋予不同的权重,制定出适合天目多胎羊的综合选择指数,以便选留优秀个体,并对其后代进行预测,从而对羔羊进行早期选择,节约饲养成本,缩短群体世代间隔。

### 3.4 天目多胎羊羔羊期体重性状遗传趋势与表型趋势

天目多胎羊羔羊期体重性状的遗传趋势与表型趋势各不相同。性状的表型值受基因型和环境因素的共同影响,其中,影响基因型的加性效应为育种值,能够稳定遗传。个体的表型值高并不能说明其育种值高。由此可见,用表型趋势制定育种计划将存在误差,甚至导致相反的育种结果。因此,应通过遗传趋势的变化规律来制定合理的育种方案<sup>[33]</sup>。

天目多胎羊初生重的平均表型值呈先上升、后下降的趋势,平均育种值整体呈下降趋势,造成这

种趋势变化的原因可能是在实际选育过程中,没有注重对初生重的选择,并且由于初生重受母体影响较大,怀孕母羊的营养状况极大地影响羔羊初生重,因此后续要注重提高怀孕母羊妊娠期的营养水平。断奶重的平均表型值呈先下降、后上升的趋势,平均育种值在2021年前下降,于2021年后上升,可能的原因是2016—2021年间采用断奶重表型值对天目多胎羊进行选育。断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率的平均表型值呈先下降、后上升的趋势,平均育种值先下降、后上升、而后下降至2021年,这可能是由于场内对这2个性状不够重视且在2018—2021年间采用表型值进行选育。2021年后断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率的平均育种值急剧上升,这说明近两年天目多胎羊羔羊期体重性状的选育及遗传改良取得了一定进展。

## 4 结 论

天目多胎羊初生重为中等遗传力性状,断奶重、断奶前平均日增重和断奶前克莱伯比率属于低遗传力性状。初生重与断奶前克莱伯比率呈负遗传与表型相关,其他性状间呈正遗传与表型相关。随着年份的增加,天目多胎羊羔羊期体重性状的平均育种值和平均表型值变化波动较大。本研究为天目多胎羊育种规划的调整与优化提供理论依据,以期提高天目多胎羊的群体遗传素质和生长性能,增加经济效益。

## 参考文献 References

- [1] 李彦飞,田可川,陶卫东,郑文新,黄锡霞,张富全. 不同因素对南疆绒山羊早期生长性状的影响[J]. 家畜生态学报, 2015, 36(1): 28-31  
Li Y F, Tian K C, Tao W D, Zheng W X, Huang X X, Zhang F Q. On factors affecting the early growth traits of Nanjiang Cashmere goat [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2015, 36(1): 28-31 (in Chinese)
- [2] Vyas J, Pannu U, Saran R K, Narula H K, Chopra A, Gowane G R. Performance evaluation of Marwari lambs for growth traits and impact of inbreeding [J]. *Zygote*, 2023, 31(3): 288-295
- [3] 苗春瑞,郭艳琴,陈智勇,袁英良,高佳滨,李淑娟. 我国肉羊的生产现状及对策[J]. 吉林畜牧兽医, 2023, 44(9): 103-104  
Miao C R, Guo Y Q, Chen Z Y, Yuan Y L, Gao J B, Li S J. Production status and countermeasures of mutton sheep in China [J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2023, 44(9): 103-104 (in Chinese)
- [4] 李发弟,王维民,乐祥鹏,李万宏. 肉羊种业的昨天、今天和明天[J]. 中国畜牧业, 2021(13): 29-33  
Li F D, Wang W M, Le X P, Li W H. Yesterday, today and tomorrow of mutton sheep seed industry [J]. *China Animal Industry*, 2021(13): 29-

- 33 (in Chinese)
- [5] 张沅. 家畜育种学[M]. 2版. 北京:中国农业出版社,2018  
Zhang Y. *Animal Breeding* [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2018 (in Chinese)
- [6] Kariuki C M, Ilatsia E D, Kosgey I S, Kahi A K. Direct and maternal (co) variance components, genetic parameters and annual trends for growth traits of Dorper sheep in semi-arid Kenya[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2010, 42(3):473-481
- [7] Ghaderi-Zefrehei M, Safari A, Moridi M, Khanzadeh H, Dehsaraei A R. Bayesian estimate of genetic parameters for growth traits in Lori Bakhtiari sheep [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, 53(5):457-466
- [8] 李秀丽. 多性状动物模型对考力代羊生长性状遗传参数的估计[J]. 中国草食动物科学, 2020, 40(3):83-85  
Li X L. Estimation of genetic parameters of growth traits in Cowley generation sheep by multi-trait animal model [J]. *China Herbivore Science*, 2020, 40(3):83-85 (in Chinese)
- [9] Ehsaninia J. Growth rate and efficiency-related traits in Kermani lambs: estimations of (co) variance components and genetic parameters [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2023, 55(2):92-103
- [10] Balasundaram B, Thiruvankadan A K, Murali N, Muralidharan J, Cauveri D, Peters S O. Genetic parameters of growth traits and quantitative genetic metrics for selection and conservation of mecheri sheep of Tamil Nadu[J]. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 2023, 13(3):454-469
- [11] 李明娟, 杨莉, 申小云, 宋德荣. 不同模型对贵州半细毛羊的遗传参数估计比较[J]. 畜牧与兽医, 2014, 46(7):37-40  
Li L J, Yang L, Shen X Y, Song D R. Comparison of genetic parameters estimation of Guizhou semi-fine wool sheep by different models [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2014, 46(7):37-40 (in Chinese)
- [12] 毛明伟, 贺小云, 肖国亮. 湖羊体重与体尺性状的相关和回归分析[J]. 中国草食动物科学, 2023, 43(4):68-70, 74  
Mao M W, He X Y, Xiao G L. Correlation and regression analysis of body weight and body size traits in Hu sheep [J]. *China Herbivore Science*, 2023, 43(4):68-70, 74 (in Chinese)
- [13] Tesema Z, Deribe B, Lakew M, Getachew T, Tilahun M, Belayneh N, Kefale A, Shibesh M, Zegeye A, Yizengaw L, Alebachew G W, Tiruneh S, Kiros S, Asfaw M, Bishaw M. Genetic and non-genetic parameter estimates for growth traits and Kleiber ratios in Dorper  $\times$  indigenous sheep [J]. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 2022, 16(6):100533
- [14] 陶林, 潘林香, 王金文, 狄冉, 刘秋月, 胡文萍, 王翔宇, 储明星. 鲁中肉羊初生体尺体重的遗传参数估计[J]. 中国草食动物科学, 2019, 39(2):17-19, 27  
Tao L, Pan L X, Wang J W, Di R, Liu Q Y, Hu W P, Wang X Y, Chu M X. Estimation of genetic parameters for body measurements and weight at birth in Luzhong mutton sheep [J]. *China Herbivore Science*, 2019, 39(2):17-19, 27 (in Chinese)
- [15] 王江. 湖羊早期生长性状的影响因素分析及遗传参数估计[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2023  
Wang J. Analysis of factors affecting early growth traits of Hu sheep and estimation of genetic parameters [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [16] 郭强. 杜湖杂种绵羊肉用性能测定及生长性状遗传参数估计[D]. 太原:山西农业大学, 2020  
Guo Q. Test of meat performance and estimation of genetic parameters of growth traits in Dorper  $\times$  Hu hybrid sheep [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [17] 陈世尧. 不同生长期的巴什拜羊体尺体重遗传参数估计[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2023  
Chen S Y. Genetic parameter estimation of body weight in different growth periods of Bashbay sheep [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [18] Hamadani A, Ganai N A, Khan N N, Shanaz S, Ahmad T. Estimation of genetic, heritability, and phenotypic trends for weight and wool traits in Rambouillet sheep [J]. *Small Ruminant Research*, 2019, 177:133-140
- [19] 李范文, 文亚洲, 刘继刚, 王天翔, 李桂英. 甘肃高山细毛羊重要性状遗传参数估计[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2016, 32(5):63, 48  
Li F W, Wen Y Z, Liu J G, Wang T X, Li G Y. Estimation of genetic parameters of important traits of Gansu alpine fine-wool sheep [J]. *Chinese Animal Husbandry and Veterinary Digest*, 2016, 32(5):63, 48 (in Chinese)
- [20] I S K, C V K, G G, Nath S, A K T. Estimates of direct and maternal (co)variance components as well as genetic parameters of growth traits in Nellore sheep [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2017, 49(7):1431-1438
- [21] Jalil-Sarghale A, Kholghi M, Shahrehabak M M, Shahrehabak M H, Mohammadi H, Aadollahi-Arpanahi R. Model comparisons and genetic parameter estimates of growth traits in Baluchi sheep [J]. *Slovak Journal of Animal Science*, 2014, 47(1):12-18
- [22] Boujenane I, Diallo I T. Estimates of genetic parameters and genetic trends for pre-weaning growth traits in Sardi sheep [J]. *Small Ruminant Research*, 2017, 146:61-68
- [23] Chauhan A, Dahiya S P, Magotra A, Bangar Y C. Evaluating animal models comprising direct and maternal effects associated with growth rates and the Kleiber ratio in Harnali sheep [J]. *Zygote*, 2022, 30(2):244-248
- [24] Ghafouri-Kesbi F, Abbasi M A, Afraz F, Babaei M, Baneh H, Abdollahi Arpanahi R. Genetic analysis of growth rate and Kleiber ratio in Zandi sheep [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2011, 43(6):1153-1159
- [25] 赵源, 张德印, 张煜坤, 张小雪, 李晓龙, 宋其志, 周步博, 林长春, 赵利明, 王江荟, 徐丹, 程江博, 李文馨, 王维民. 湖羊不同阶段体重遗传参数与育种值估计及其与饲料效率性状的遗传相关[J]. 草业科学, 2022, 39(2):352-361  
Zhao Y, Zhang D Y, Zhang Y K, Zhang X X, Li X L, Song Q Z, Zhou B B, Lin C C, Zhao L M, Wang J H, Xu D, Cheng J B, Li W X, Wang W M. Estimation of genetic parameters and breeding value of body weight at different stages of Hu sheep growth and development and genetic correlations with key feed efficiency indices [J]. *Pratacultural Science*, 2022, 39(2):352-361 (in Chinese)
- [26] Lalit, Malik Z S, Dalal D S, Dahiya S P, Patil C S, Dahiya R. Genetic analysis of growth traits in Harnali sheep [J]. *Veterinary World*, 2016, 9(2):128-132
- [27] Eskandarinasab M, Ghafouri-Kesbi F, Abbasi M A. Different models for evaluation of growth traits and Kleiber ratio in an experimental flock of Iranian fat-tailed Afshari sheep [J]. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2010, 127(1):26-33
- [28] 张英杰. 羊生产学[M]. 2版. 北京:中国农业大学出版社, 2015  
Zhang Y J. *Sheep Production* [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2015 (in Chinese)
- [29] Areb E, Getachew T, Kirmani M A, Abate Z, Haile A. Estimation of (co) variance components, genetic parameters, and genetic trends of

- growth traits in community-based breeding programs of Bonga sheep[J]. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 2021, 15(5): 100202
- [30] Sallam A M, Ibrahim A H, Alsheikh S M. Estimation of genetic parameters and variance components of pre-weaning growth traits in Barki lambs[J]. *Small Ruminant Research*, 2019, 173:94-100
- [31] Bangar Y C, Magotra A, Yadav A S. Estimates of covariance components and genetic parameters for growth, average daily gain and Kleiber ratio in Harnali sheep [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2020, 52(5):2291-2296
- [32] 侯芳. 应用REML法和动物模型BLUP对中国美利奴羊(新疆型)遗传参数估计和遗传评定[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018
- Hou F. Genetic evaluation and genetic parameter estimation in Chinese Merino sheep (Xinjiang type) using REML and BLUP [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [33] 关鸣轩. 苏博美利奴羊生长性状与繁殖性状的遗传参数估计及遗传趋势分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021
- Guan M X. Estimation of genetic parameter and genetic trends for growth traits and reproductive traits in Subo Merino sheep [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021 (in Chinese)
- [34] 李彦飞. 用不同动物模型对新疆南疆绒山羊主要性状进行遗传分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016
- Li Y F. Genetic analysis of main characters of Xinjiang Nanjiang cashmere goat with different animal models [D] Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



**第一作者简介:** 李雪, 硕士研究生, 现就读于新疆农业大学动物科学学院, 主要从事动物遗传育种与繁殖研究工作。曾获新疆维吾尔自治区学业奖学金; 发表中文核心期刊论文 4 篇; 参与新疆农业大学自治区级大学生创业训练计划项目 3 项; 参与获批专利 3 项, 软件著作权 1 项; 先后获第八届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛新疆赛区决赛二等奖、第十三届全国大学生电子商务“创新、创意及创业”挑战赛全国总决赛二等奖。



**通讯作者简介:** 田可川, 博士, 二级研究员, 新疆农业大学、甘肃农业大学、内蒙古农业大学博士研究生导师。享受“国务院特殊津贴”专家, 全国农业科研杰出人才。曾任国家绒毛用羊产业技术体系首席科学家 12 年。国家畜禽遗传资源委员会委员及羊专业委员会副主任, 全国羊遗传改良计划专家委员会副主任, 中国畜牧业标委会委员, 中国畜牧业协会羊业分会会长。主要从事羊遗传育种与繁殖研究及产业化示范推广工作。主持承担国家和省部级重大科研项目 30 余项。先后在国内外核心期刊发表论文 80 多篇, SCI 收录 20 余篇。获批专利 42 项, 制定标准或技术规程 21 项, 主编、参编专业书籍 13 部。获新疆自治区科技进步奖 6 项, 中华农业科技奖 1 项, 全国农牧渔业丰收奖 1 项, 大北农业科技奖 1 项。



**通讯作者简介:** 黄锡霞, 博士, 二级教授, 新疆农业大学博士研究生导师。任自治区畜禽种业提升行动领衔专家, 中国乳肉兼用牛培育自主创新联盟副理事长, 中国畜牧兽医学遗传标记学会常务理事, 中国畜牧兽医学学会家畜生态学会理事, 新疆遗传学会常务理事, 自治区奶业协会和乌鲁木齐市奶业协会常务理事。主要从事动物遗传育种、牛生产相关的教学、科研、推广工作。国家自然科学基金项目 2 项、自治区自然科学基金项目 1 项、国家科技支撑计划子课题 3 项、国家现代农业产业技术体系子项目 1 项、省部级科研项目 9 项; 先后在国内外核心期刊发表论文 194 篇, SCI 收录 10 篇; 获批专利 20 项, 编制地方标准 9 项, 获批软件著作权 4 项, 参编专著 3 部。获大北农业科技奖 1 项, 新疆维吾尔自治区科技进步奖 8 项。