



聂富美,毛静艺,李雪,任一帆,刘桂芬,柏妍,石晓雷,魏晨,张果平,王明,裴全帮,黄锡霞,田可川.不同月龄青海藏羊体尺与体重的相关性及主成分分析[J].中国农业大学学报,2026,31(03):144-159.

NIE Fumei, MAO Jingyi, LI Xue, REN Yifan, LIU Guifen, BAI Yan, SHI Xiaolei, WEI Chen, ZHANG Guoping, WANG Ming, PEI Quanbang, HUANG Xixia, TIAN Kechuan. Correlation and principal component analysis of body size and weight in Qinghai-Tibetan sheep at different months[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(03): 144-159.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.03.13

## 不同月龄青海藏羊体尺与体重的相关性及主成分分析

聂富美<sup>1,2</sup> 毛静艺<sup>1</sup> 李雪<sup>1,2</sup> 任一帆<sup>1,2</sup> 刘桂芬<sup>1</sup> 柏妍<sup>3</sup> 石晓雷<sup>3</sup> 魏晨<sup>1</sup>  
张果平<sup>1</sup> 王明<sup>1,2</sup> 裴全帮<sup>4</sup> 黄锡霞<sup>2\*</sup> 田可川<sup>1\*</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. 青海大学 农牧学院, 西宁 810016;

4. 青海省种羊繁育推广服务中心, 青海 刚察 812300)

**摘 要** 为探究不同月龄青海藏羊体尺与体重之间的关系,选取145只青海藏羊(公羊70只、母羊75只),测定其初生、3月龄、6月龄、8月龄和10月龄的体尺体重数据,采用SPSS 19.0和SAS 8.0软件进行相关性、通径和主成分分析。结果表明:1)在不同月龄阶段,公、母羊体重的变异系数最大;在体尺指标中,管围的变异系数最大。2)在初生、3月龄、8月龄、10月龄时,体重与体高、体长、胸围和管围均呈极显著正相关,各体尺性状间也均呈极显著正相关。3)对公、母羊体重直接作用最大指标均为体高,其次为体长和胸围。4)基于主成分的特征向量和贡献率,在初生阶段,公羊选取前2个主成分,母羊选取前3个主成分;3月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前1个主成分;6月龄阶段,公、母羊均选取前3个主成分;8月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前2个主成分;10月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前2个主成分。公、母羊的第一主成分均为体型因子,反映了青海藏羊的整体体型结构特征。综上,除6月龄外,各月龄体重与体尺性状均呈极显著正相关,不同阶段的主成分反映了青海藏羊不同阶段的生长发育特征,且第一主成分体型因子起主导作用。本研究结果可对不同月龄青海藏羊当前育种方案进行优化调整,为后期青海藏羊的选种选育提供理论依据。

**关键词** 青海藏羊; 体尺; 体重; 相关性; 主成分分析

中图分类号 S827

文章编号 1007-4333(2026)03-0144-16

文献标志码 A

## Correlation and principal component analysis of body size and weight in Qinghai-Tibetan sheep at different months

NIE Fumei<sup>1,2</sup>, MAO Jingyi<sup>1</sup>, LI Xue<sup>1,2</sup>, REN Yifan<sup>1,2</sup>, LIU Guifen<sup>1</sup>, BAI Yan<sup>3</sup>, SHI Xiaolei<sup>3</sup>,  
WEI Chen<sup>1</sup>, ZHANG Guoping<sup>1</sup>, WANG Ming<sup>1,2</sup>, PEI Quanbang<sup>4</sup>,  
HUANG Xixia<sup>2\*</sup>, TIAN Kechuan<sup>1\*</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. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China;

4. Qinghai Province Sheep Breeding and Promotion Service Center, Gangcha 812300, China)

收稿日期: 2025-08-08; 接受日期: 2025-11-20

基金项目: 中央引导地方科技发展专项资金项目(YDZX2023012)

第一作者: 聂富美(ORCID:0009-0004-4106-1309), 硕士研究生, E-mail: 2259431085@qq.com

通讯作者: 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

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

**Abstract** In order to explore the relationship between body size and body weight of Qinghai-Tibetan sheep at different months of age, 145 Qinghai-Tibetan sheep (70 rams and 75 ewes) were selected in the study, and the body size and body weight data were determined at newborn, 3-month, 6-month, 8-month, and 10-month ages, and correlation, path, and principal component analysis were carried out using SPSS19.0 and SAS8.0 software. The results showed that: 1) Among different age groups, the coefficient of variation of body weight was the largest for males and females at different ages, and the coefficient of variation of tube circumference was the largest among the body-size indicators. 2) There was a highly significant positive correlation between body weight and body height, body length, chest circumference and tube circumference at newborn, 3-month, 8-month and 10-month ages. There was also a highly significant positive correlation between various body size traits. 3) The indicators that had the largest direct effect on body weight of males and ewes were body height, followed by body length and chest circumference. 4) In terms of the eigenvectors and contribution rates of the principal components, at the newborn stage, the first 2 principal components were selected for rams and the first 3 for ewes. At the 3-month-old stage, the first 3 principal components were selected for rams and the first 1 for ewes. At the 6-month-old stage, the first 3 principal components were selected for both males and females. At the 8-month-old stage, the first 3 principal components were selected for rams and the first 2 for ewes. At the 10-month-old stage, the first 3 principal components were selected for rams and the first 3 for ewes. And at the 10-month-old stage, the first 3 for rams and the first 1 for ewes were selected for rams. At the 8-month-old stage, the first 3 principal components were selected for rams and the first 2 principal components were selected for ewes. The first principal component of both rams and ewes was the body size factor, reflecting the overall body structure of Qinghai-Tibetan sheep. In conclusion, except for the age of 6 months, there was a highly significant positive correlation between body weight and body size traits at all ages. The principal components at different stages reflected the growth and development characteristics of Qinghai-Tibetan sheep at different stages, and the first principal component was the body size factor, which played a dominant role. The study could optimize and adjust the current breeding program of Qinghai-Tibetan sheep of different ages, and provide a theoretical guidance for the selection of Qinghai-Tibetan sheep in the later stage.

**Keywords** Qinghai-Tibetan sheep; body size; body weight; correlation; principal component analysis

藏羊,又称藏系羊、西藏羊,是我国三大粗毛羊品种之一<sup>[1]</sup>,主要分布在平均海拔3 500 m的青藏高原,具有抗严寒、耐粗饲、体质强壮、善于攀爬等特点<sup>[2]</sup>。藏羊作为青藏高原畜牧业的主要家畜之一,是高原地区广大农牧民重要经济来源。青海藏羊是我国优良的毛、肉、皮兼用型地方品种,体格较大、身躯修长,胸深广开阔,背腰平直呈长方形,适应高原行走和觅食。其头部粗糙、额宽鼻隆,公羊角粗大,呈扁平螺旋或捻曲状向外伸展,母羊角相对扁平略小、多呈捻曲状。根据生态环境、生产特性及经济价值,将该品种划分为高原型、山谷型与欧拉型三类,其中以高原型为主要类型<sup>[3]</sup>。

体尺是评估羊只生长状况与遗传潜力的重要指标,其数据不仅能直观反映羊只的体格大小与生长发育状况,还可客观反映个体或群体的生产性能水平,以及对外部环境的适应能力等<sup>[4]</sup>。体重在衡量动物的经济价值和饲养效率方面具有重

要作用。因此,体重与体尺指标的相关研究日益受到重视。主成分分析是一种数学降维方法,其核心是将多变量转化为少数几个综合变量以简化数据集,在多元统计分析中的重要统计方法<sup>[5]</sup>。于航等<sup>[6]</sup>对西藏河谷型绵羊表型指标进行主成分分析,结果表明,14个表型指标提取的前2个主成分分别为体格大小和头部大小。张强龙等<sup>[7]</sup>应用多元统计方法对6月龄的欧拉羊进行体尺体重的聚类 and 主成分分析,提取的3个主成分主要为重量因子、宽度因子和长度因子。李雪等<sup>[8]</sup>探究成年和田羊体尺体重的关联性,发现成年和田羊体重与各体尺性状之间均呈极显著正相关,并建立了和田羊生长性状主成分评估模型。目前,对青海藏羊不同月龄体尺与体重进行相关性和主成分分析的相关研究较少,因此,本研究选取初生、3、6、8、10月龄5个阶段的青海藏羊公、母羊为研究对象,对其体尺与体重指标进行相关性、通径及主成分分析,以了解青海藏羊群体生长发育规律,为不

同月龄藏羊的选育提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

本研究试验地位于青海省种羊繁育推广服务中心,该区域地理位置独特,南临青海湖,北接青大玛滩。整体海拔呈梯度分布:场部海拔在3 200~3 900 m,区域平均海拔为3 200 m;其中丘陵山地区域平均海拔3 500 m,最高海拔3 900 m。气候类型属典型的大陆性气候,具有冬春干旱、多风、寒冷,夏季凉爽,雨热同季等鲜明特点,为青海藏羊的生长繁育提供了典型的高原环境。在青海省种羊繁育推广服务中心选取统一饲养管理、健康无病、年龄和体重基本一致的145只青海藏羊,其中公羊70只,母羊75只,测定初生、3月龄、6月龄、8月龄和10月龄的青海藏羊的体尺和体重。试验期间全程采用“舍饲补饲与高寒草甸放牧”相结合的混合饲养模式,兼顾自然放牧优势与营养供给稳定性:放牧阶段以青海本地天然高寒草甸草场为依托,使其自由采食针茅、嵩草等原生牧草,充分契合其生物学采食特性;舍饲补饲环节严格遵循“早晚各一次”的规律,保障营养供给的稳定性。同时每日清扫羊舍,清除粪便、残留饲料和杂物,每周实施一次全方位消毒作业。羔羊采用自由饮水方式,确保水分摄入充足;免疫程序严格按照羊场标准化规程执行,全程做好免疫记录与健康监测,确保试验数据的真实性与可靠性。

### 1.2 测定指标

参照《家畜育种学》<sup>[9]</sup>和《肉羊生产性能测定技术规范》<sup>[10]</sup>,测定青海藏羊的体重( $Y$ )、体高( $X_1$ )、体长( $X_2$ )、胸围( $X_3$ )、管围( $X_4$ )5个主要性状,体重以kg为单位,体尺性状以cm为单位。

### 1.3 数据分析

对收集的数据进行整理,剔除无号的个体数据,运用“ $X \pm 3\sigma$ ”的方法剔除异常值和极端值等不合理的数据。采用SPSS 19.0软件对数据进行描述性统计,以体重指标与各体尺指标为变量进行相关性分析,通径分析计算各月龄体尺性状对体重的直接和间接作用。采用SAS 9.2软件进行主成分分析,计算青海藏羊主成分特征值和贡献率、累计贡献率、特征向量,选取在不同性状中累计贡献率 $>85\%$ 的主成分<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 青海藏羊公母羊体尺及体重描述性统计

由表1和表2可知,公、母羊体重指标变异系数均大于体尺指标变异系数。公羊体重的变异系数在初生阶段最大(7.14%),8月龄阶段最小(4.98%);母羊体重的变异系数在3月龄阶段最大(6.42%),10月龄阶段最小(5.24%)。在不同月龄中,公、母羊管围的变异系数均最大。初生和3月龄阶段,公羊体高的变异系数均最小,分别为3.17%和2.67%;6月龄阶段,公、母羊体长的变异系数均最小,分别为3.15%和2.33%;8月龄阶段,公、母羊体高的变异系数均最小,分别为1.63%和1.99%。10月龄阶段,公羊体高的变异系数最小(3.03%),母羊体长的变异系数最小(2.63%)。

### 2.2 青海藏羊公母羊体重与体尺的相关性分析

应用SPSS 19.0软件对各月龄藏羊体重与体尺性状之间的相关性进行分析(图1和图2)。公、母羊在初生、3月龄、8月龄和10月龄时,体重与其他4个性状均呈极显著正相关,其中,公羊相关系数为0.412~0.916,母羊相关系数为0.319~0.958;6月龄公、母羊体重与其他4个体尺性状相关性均不显著。在初生阶段,公羊相关系数最大为体高(0.815),最小为管围(0.554),母羊相关系数最大为体长(0.632),最小为管围(0.365);3月龄阶段公羊相关系数最大为胸围(0.702),最小为管围(0.586),母羊相关系数最大为体高(0.920),最小为管围(0.753);在8月龄阶段,公羊相关系数最大为体高(0.614),最小为管围(0.412),母羊相关系数最大为体高(0.788),最小为管围(0.604);在10月龄阶段,公羊相关系数最大为体高(0.916),最小为胸围(0.499),母羊相关系数最大为体高(0.888),最小为管围(0.600)。

### 2.3 青海藏羊公母羊体重对体尺的通径分析

由表3和表4可知,公羊初生、6月龄、8月龄和10月龄阶段体高对体重直接作用最强,直接系数依次为0.833、0.200、0.660和1.084;3月龄阶段胸围对体重直接作用最强,直接系数为0.395。初生、8月龄和10月龄阶段体长对体重的间接作用最大,间接系数依次为0.621、0.634和0.847;3月龄阶段管围对体重的间接作用最大,间接系数为0.565;6月龄阶段胸围对体重的间接作用最大,间接系数

表 1 青海藏羊公羊体尺与体重的表型参数

Table 1 Phenotypic parameters of body measurements and body weight in Qinghai-Tibetan rams

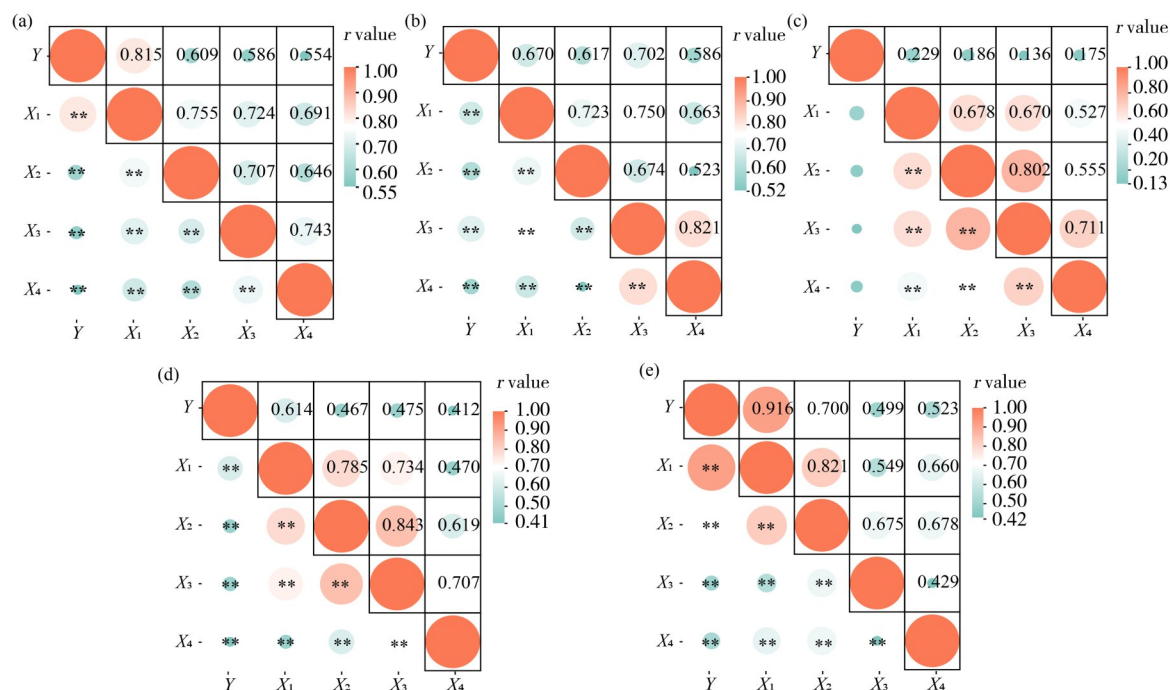
| 月龄<br>Months of age    | 项目<br>Project | 体重 Y/kg<br>Body weight | 体高 X <sub>1</sub> /cm<br>Body height | 体长 X <sub>2</sub> /cm<br>Body length | 胸围 X <sub>3</sub> /cm<br>Chest girth | 管围 X <sub>4</sub> /cm<br>Cannon<br>circumference |
|------------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 初生<br>Newborn          | 均值 Mean       | 3.92                   | 37.17                                | 34.77                                | 38.70                                | 5.86                                             |
|                        | 标准差 SD        | 0.28                   | 1.18                                 | 1.19                                 | 1.34                                 | 0.23                                             |
|                        | 极小值 Min       | 3.40                   | 35.00                                | 32.80                                | 35.00                                | 5.50                                             |
|                        | 极大值 Max       | 4.50                   | 39.20                                | 37.00                                | 41.00                                | 6.00                                             |
|                        | 变异系数/% CV     | 7.14                   | 3.17                                 | 3.42                                 | 3.46                                 | 3.92                                             |
| 3 月龄<br>3 months old   | 均值 Mean       | 18.10                  | 53.47                                | 57.69                                | 64.65                                | 6.70                                             |
|                        | 标准差 SD        | 1.08                   | 1.43                                 | 1.58                                 | 1.79                                 | 0.35                                             |
|                        | 极小值 Min       | 16.30                  | 50.00                                | 53.00                                | 59.50                                | 6.00                                             |
|                        | 极大值 Max       | 20.10                  | 56.00                                | 60.00                                | 67.50                                | 7.50                                             |
|                        | 变异系数/% CV     | 5.96                   | 2.67                                 | 2.74                                 | 2.77                                 | 5.22                                             |
| 6 月龄<br>6 months old   | 均值 Mean       | 28.25                  | 61.47                                | 66.69                                | 72.04                                | 7.25                                             |
|                        | 标准差 SD        | 1.50                   | 2.06                                 | 2.10                                 | 2.48                                 | 0.34                                             |
|                        | 极小值 Min       | 26.00                  | 56.80                                | 61.90                                | 65.00                                | 6.50                                             |
|                        | 极大值 Max       | 33.40                  | 65.00                                | 71.20                                | 77.00                                | 8.00                                             |
|                        | 变异系数/% CV     | 5.31                   | 3.35                                 | 3.15                                 | 3.44                                 | 4.69                                             |
| 8 月龄<br>8 months old   | 均值 Mean       | 37.11                  | 64.93                                | 71.86                                | 77.44                                | 7.59                                             |
|                        | 标准差 SD        | 1.85                   | 1.06                                 | 2.05                                 | 1.98                                 | 0.27                                             |
|                        | 极小值 Min       | 33.30                  | 61.50                                | 67.50                                | 73.50                                | 7.00                                             |
|                        | 极大值 Max       | 40.00                  | 67.00                                | 75.30                                | 81.50                                | 8.20                                             |
|                        | 变异系数/% CV     | 4.98                   | 1.63                                 | 2.85                                 | 2.55                                 | 3.56                                             |
| 10 月龄<br>10 months old | 均值 Mean       | 39.83                  | 68.17                                | 74.02                                | 80.60                                | 7.88                                             |
|                        | 标准差 SD        | 2.18                   | 2.07                                 | 2.63                                 | 2.82                                 | 0.30                                             |
|                        | 极小值 Min       | 36.10                  | 64.20                                | 65.60                                | 72.10                                | 7.40                                             |
|                        | 极大值 Max       | 44.00                  | 71.50                                | 78.00                                | 84.90                                | 8.50                                             |
|                        | 变异系数/% CV     | 5.47                   | 3.03                                 | 3.55                                 | 3.50                                 | 3.81                                             |

注：变异系数=标准差/均值×100%。下同。  
Note: Coefficient of variation=Standard deviation/Mean×100%. The same below.

表 2 青海藏羊母羊体尺与体重的表型参数

Table 2 Phenotypic parameters of body measurements and body weight in Qinghai-Tibetan ewes

| 月龄<br>Months of age   | 项目<br>Project | 体重 Y/kg<br>Body weight | 体高 X <sub>1</sub> /cm<br>Body height | 体长 X <sub>2</sub> /cm<br>Body length | 胸围 X <sub>3</sub> /cm<br>Chest girth | 管围 X <sub>4</sub> /cm<br>Cannon<br>circumference |
|-----------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 初生<br>Newborn         | 均值 Mean       | 3.83                   | 36.63                                | 33.85                                | 37.89                                | 5.49                                             |
|                       | 标准差 SD        | 0.24                   | 0.99                                 | 0.95                                 | 0.95                                 | 0.31                                             |
|                       | 极小值 Min       | 3.20                   | 34.30                                | 31.50                                | 36.00                                | 5.00                                             |
|                       | 极大值 Max       | 4.20                   | 38.50                                | 35.70                                | 40.00                                | 6.00                                             |
|                       | 变异系数/% CV     | 6.27                   | 2.70                                 | 2.80                                 | 2.51                                 | 5.52                                             |
| 3月龄<br>3 months old   | 均值 Mean       | 16.20                  | 51.45                                | 55.85                                | 61.55                                | 6.51                                             |
|                       | 标准差 SD        | 1.04                   | 1.27                                 | 1.59                                 | 1.98                                 | 0.32                                             |
|                       | 极小值 Min       | 14.30                  | 49.40                                | 52.90                                | 57.00                                | 6.00                                             |
|                       | 极大值 Max       | 18.50                  | 54.50                                | 59.00                                | 65.50                                | 7.10                                             |
|                       | 变异系数/% CV     | 6.42                   | 2.47                                 | 2.84                                 | 3.21                                 | 4.91                                             |
| 6月龄<br>6 months old   | 均值 Mean       | 28.39                  | 58.44                                | 62.64                                | 70.35                                | 6.23                                             |
|                       | 标准差 SD        | 1.70                   | 1.65                                 | 1.46                                 | 2.96                                 | 0.37                                             |
|                       | 极小值 Min       | 25.70                  | 55.00                                | 59.00                                | 64.50                                | 6.00                                             |
|                       | 极大值 Max       | 32.50                  | 60.90                                | 64.70                                | 79.50                                | 7.70                                             |
|                       | 变异系数/% CV     | 5.99                   | 2.82                                 | 2.33                                 | 4.21                                 | 5.94                                             |
| 8月龄<br>8 months old   | 均值 Mean       | 33.51                  | 63.19                                | 68.89                                | 74.80                                | 7.06                                             |
|                       | 标准差 SD        | 1.85                   | 1.26                                 | 2.15                                 | 2.39                                 | 0.29                                             |
|                       | 极小值 Min       | 30.80                  | 60.00                                | 62.40                                | 69.50                                | 6.50                                             |
|                       | 极大值 Max       | 37.60                  | 65.50                                | 72.50                                | 78.40                                | 8.10                                             |
|                       | 变异系数/% CV     | 5.52                   | 1.99                                 | 3.12                                 | 3.19                                 | 4.11                                             |
| 10月龄<br>10 months old | 均值 Mean       | 37.41                  | 65.32                                | 72.64                                | 77.87                                | 7.65                                             |
|                       | 标准差 SD        | 1.96                   | 1.81                                 | 1.91                                 | 2.54                                 | 0.35                                             |
|                       | 极小值 Min       | 33.70                  | 62.00                                | 68.00                                | 71.00                                | 7.00                                             |
|                       | 极大值 Max       | 41.00                  | 68.50                                | 76.00                                | 82.50                                | 8.30                                             |
|                       | 变异系数/% CV     | 5.24                   | 2.77                                 | 2.63                                 | 3.26                                 | 4.57                                             |

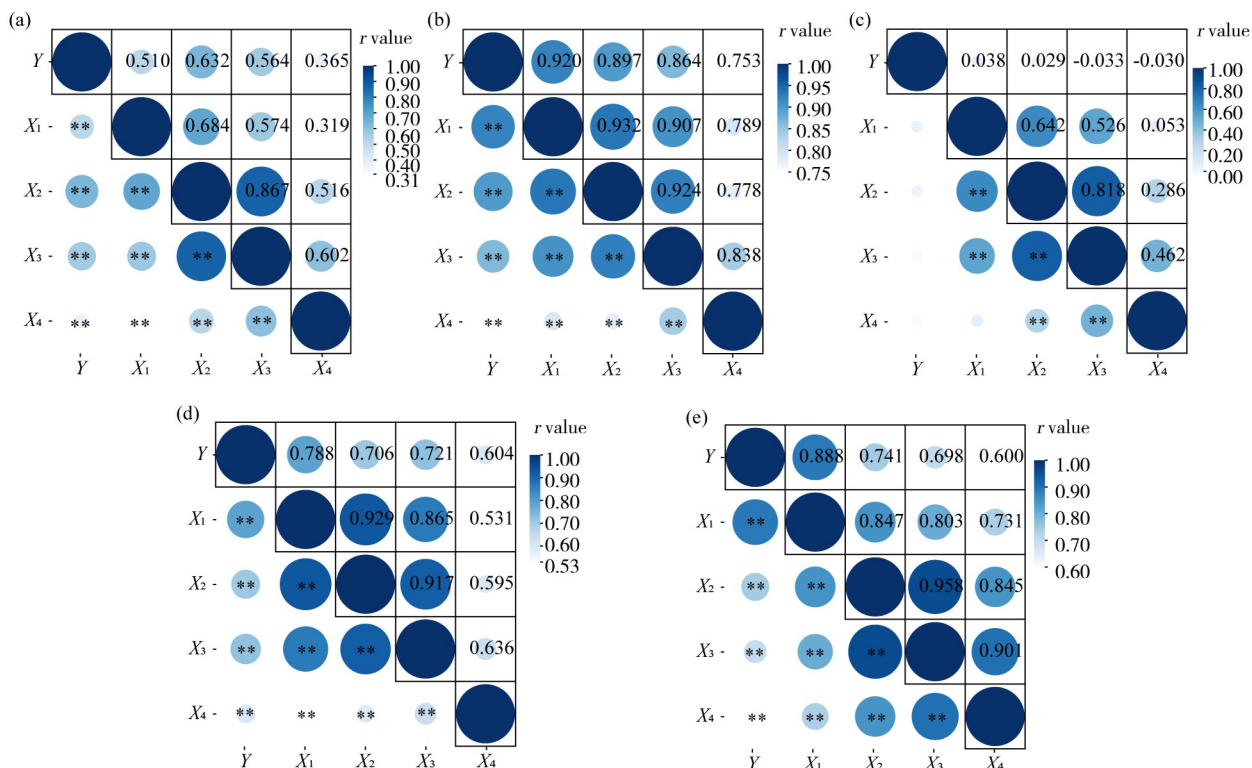


\*\*表示相关性极显著( $P < 0.01$ )。下同。(a)初生阶段;(b)3月龄阶段;(c)6月龄阶段;(d)8月龄阶段;(e)10月龄阶段。

\*\* indicates an extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ). The same below. (a) Newborn stage; (b) 3 months stage; (c) 6 months stage; (d) 8 months stage; (e) 10 months stage.

图1 青海藏羊公羊不同月龄体尺与体重相关性热图

Fig. 1 Correlation heatmap of body measurements and body weight in Qinghai-Tibetan rams across different monthly ages



(a)初生阶段;(b)3月龄阶段;(c)6月龄阶段;(d)8月龄阶段;(e)10月龄阶段。

(a) Newborn stage; (b) 3 months stage; (c) 6 months stage; (d) 8 months stage; (e) 10 months stage.

图2 青海藏羊母羊不同月龄体尺与体重相关性热图

Fig. 2 Correlation heatmap of body measurements and body weight in Qinghai-Tibetan ewes across different monthly ages

表3 青海藏羊(公羊)不同月龄体尺对体重的通径分析

Table 3 Path analysis of body measurements on body weight of Qinghai-Tibetan sheep (rams) at different months of age

| 月龄<br>Months of age   | 项目<br>Project  | 相关系数<br>Correlation coefficient | 直接作用<br>Direct effect | 间接作用 Indirect effect |                |                |                | 合计 Total |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
|                       |                |                                 |                       | X <sub>1</sub>       | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |          |
| 初生<br>Newborn         | X <sub>1</sub> | 0.815                           | 0.833                 | —                    | −0.010         | 0.004          | −0.012         | −0.018   |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.609                           | −0.013                | 0.629                | —              | 0.003          | −0.011         | 0.621    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.586                           | 0.005                 | 0.603                | −0.009         | —              | −0.013         | 0.041    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.554                           | −0.017                | 0.576                | −0.008         | 0.004          | —              | 0.572    |
| 3月龄<br>3 months old   | X <sub>1</sub> | 0.670                           | 0.240                 | —                    | 0.123          | 0.298          | 0.009          | 0.430    |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.617                           | 0.170                 | 0.173                | —              | 0.266          | 0.007          | 0.446    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.702                           | 0.395                 | 0.181                | 0.115          | —              | 0.011          | 0.307    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.586                           | 0.014                 | 0.152                | 0.089          | 0.324          | —              | 0.565    |
| 6月龄<br>6 months old   | X <sub>1</sub> | 0.229                           | 0.200                 | —                    | 0.098          | −0.143         | 0.075          | 0.030    |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.186                           | 0.144                 | 0.135                | —              | −0.172         | 0.079          | 0.042    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.136                           | −0.214                | 0.134                | 0.115          | —              | 0.101          | 0.350    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.175                           | 0.142                 | 0.105                | 0.080          | −0.152         | —              | 0.033    |
| 8月龄<br>8 months old   | X <sub>1</sub> | 0.614                           | 0.660                 | —                    | −0.132         | −0.020         | 0.106          | −0.046   |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.467                           | −0.168                | 0.518                | —              | −0.023         | 0.139          | 0.634    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.475                           | −0.027                | 0.484                | −0.142         | —              | 0.159          | 0.501    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.412                           | 0.225                 | 0.310                | −0.104         | −0.019         | —              | 0.187    |
| 10月龄<br>10 months old | X <sub>1</sub> | 0.916                           | 1.084                 | —                    | −0.121         | 0.028          | −0.076         | −0.169   |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.700                           | −0.148                | 0.890                | —              | 0.035          | −0.078         | 0.847    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.499                           | 0.052                 | 0.595                | −0.100         | —              | −0.049         | 0.446    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.523                           | −0.115                | 0.715                | −0.100         | 0.022          | —              | 0.637    |

为0.350。母羊初生和6月龄阶段体长对体重的直接作用最大,直接系数分别为0.464和0.148;3月龄、8月龄和10月龄阶段体高对体重的直接作用最大,直接系数分别为0.616、0.981和0.937。初生、3月龄和6月龄阶段胸围对体重的间接作用最大,间接系数分别为0.520、0.847和0.142;8月龄阶段体长对体重的间接作用最大,间接系数为1.278;10月龄阶段管围对体重的间接作用最大,间接系数为0.799。由此可知,体高、体长和胸围对青海藏羊体重影响显著。

2.4 青海藏羊公母羊体尺体重性状主成分分析

2.4.1 适合性检验

Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)检验是一种评估数据适合进行因子分析的指标。KMO值为0~1,值越接近1,表示数据越适合因子分析。通常,KMO值大于0.5才认为数据适合因子分析<sup>[12]</sup>。由表5可知,在初生、3月龄、6月龄、8月龄和10月龄阶段,公羊数据集的KMO值依次为0.842、0.844、0.775、

0.791和0.756,母羊数据集的KMO值分别为0.793、0.890、0.649、0.784和0.784,表明变量间的偏相关性较弱;公母羊不同月龄数据集的Bartlett球形检验的显著性均小于0.01,表明10组数据集变量间的相关性较强。因此,本研究的10组数据集均可用于后续的主成分分析。

2.4.2 各主成分的特征值和贡献率

对青海藏羊公、母羊不同月龄体尺体重进行主成分分析,得到的主成分特征值、贡献率和累计贡献率见表6和表7。按照累计贡献率在85%以上的标准,初生阶段,选取公羊前2个主成分,母羊选取前3个主成分;3月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前1个主成分;6月龄阶段,公、母羊均选取前3个主成分;8月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前2个主成分;10月龄阶段,选取公羊前3个主成分,母羊选取前2个主成分。

2.4.3 主成分的特征向量和信息表达式

不同月龄青海藏羊公羊入选主成分特征值对应

表 4 青海藏羊母羊不同月龄体尺对体重的通径分析

Table 4 Path analysis of body measurements on body weight of Qinghai-Tibetan ewes at different months of age

| 月龄<br>Age             | 项目<br>Project  | 相关系数<br>Correlation coefficient | 直接作用<br>Direct effect | 间接作用 Indirect effect |                |                |                | 合计 Total |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
|                       |                |                                 |                       | X <sub>1</sub>       | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |          |
| 初生<br>Newborn         | X <sub>1</sub> | 0.510                           | 0.152                 | —                    | 0.317          | 0.025          | 0.016          | 0.358    |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.632                           | 0.464                 | 0.104                | —              | 0.038          | 0.026          | 0.168    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.564                           | 0.044                 | 0.087                | 0.402          | —              | 0.031          | 0.520    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.365                           | 0.051                 | 0.048                | 0.239          | 0.026          | —              | 0.313    |
| 3月龄<br>3 months old   | X <sub>1</sub> | 0.920                           | 0.616                 | —                    | 0.263          | 0.014          | 0.027          | 0.304    |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.897                           | 0.282                 | 0.568                | —              | 0.015          | 0.026          | 0.609    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.864                           | 0.016                 | 0.559                | 0.260          | —              | 0.028          | 0.847    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.753                           | 0.034                 | 0.486                | 0.219          | 0.013          | —              | 0.718    |
| 6月龄<br>6 months old   | X <sub>1</sub> | 0.038                           | 0.035                 | —                    | 0.095          | —0.092         | 0.000          | 0.003    |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.029                           | 0.148                 | 0.022                | —              | —0.143         | 0.002          | —0.119   |
|                       | X <sub>3</sub> | —0.033                          | —0.175                | 0.018                | 0.121          | —              | 0.003          | 0.142    |
|                       | X <sub>4</sub> | —0.030                          | 0.007                 | 0.002                | 0.042          | —0.081         | —              | —0.037   |
| 8月龄<br>8 months old   | X <sub>1</sub> | 0.788                           | 0.981                 | —                    | —0.530         | 0.186          | 0.152          | —0.192   |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.706                           | —0.571                | 0.911                | —              | 0.197          | 0.170          | 1.278    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.721                           | 0.215                 | 0.848                | —0.523         | —              | 0.182          | 0.507    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.604                           | 0.286                 | 0.521                | —0.340         | 0.137          | —              | 0.318    |
| 10月龄<br>10 months old | X <sub>1</sub> | 0.088                           | 0.937                 | —                    | —0.044         | 0.140          | —0.145         | —0.049   |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.741                           | —0.052                | 0.794                | —              | 0.167          | —0.168         | 0.793    |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.698                           | 0.175                 | 0.752                | —0.050         | —              | —0.179         | 0.523    |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.600                           | —0.199                | 0.685                | —0.044         | 0.158          | —              | 0.799    |

表 5 青海藏羊 KMO 检验和 Bartlett's 球形检验结果

Table 5 Results of KMO test and Bartlett's test of sphericity for Qinghai-Tibetan sheep

| 性别<br>Gender | 月龄<br>Age          | Kaiser-Meyer-Olkin 检验<br>KMO test | Bartlett 的球形度检验 Bartlett's test of sphericity |                           |                     |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------|
|              |                    |                                   | 近似卡方<br>Approximate chi-Square                | 自由度<br>Degrees of freedom | 显著性<br>Significance |
| 公<br>Ram     | 初生 Newborn         | 0.842                             | 249.188                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 3月龄 3 months old   | 0.844                             | 240.903                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 6月龄 6 months old   | 0.775                             | 167.928                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 8月龄 8 months old   | 0.791                             | 231.799                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 10月龄 10 months old | 0.756                             | 288.868                                       | 10                        | $P<0.001$           |
| 母<br>Ewe     | 初生 Newborn         | 0.793                             | 215.475                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 3月龄 3 months old   | 0.890                             | 519.351                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 6月龄 6 months old   | 0.649                             | 140.301                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 8月龄 8 months old   | 0.784                             | 397.393                                       | 10                        | $P<0.001$           |
|              | 10月龄 10 months old | 0.784                             | 505.032                                       | 10                        | $P<0.001$           |

表 6 青海藏羊公羊主成分特征值和贡献率

Table 6 Eigenvalues and contribution rates of principal components of Qinghai-Tibetan rams

| 项目<br>Project         | 主成分<br>Principal component | 特征值<br>Eigenvalue | 贡献率/%<br>CR | 累计贡献率/%<br>CCR |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|-------------|----------------|
| 初生<br>Newborn         | 1                          | 3.738             | 74.762      | 74.762         |
|                       | 2                          | 0.533             | 10.665      | 85.427         |
|                       | 3                          | 0.343             | 6.860       | 92.287         |
|                       | 4                          | 0.245             | 4.893       | 97.180         |
|                       | 5                          | 0.141             | 2.820       | 100.000        |
| 3月龄<br>3 months old   | 1                          | 3.701             | 74.021      | 74.021         |
|                       | 2                          | 0.523             | 10.460      | 84.480         |
|                       | 3                          | 0.383             | 7.656       | 92.136         |
|                       | 4                          | 0.248             | 4.951       | 97.087         |
|                       | 5                          | 0.146             | 2.913       | 100.000        |
| 6月龄<br>6 months old   | 1                          | 3.044             | 60.878      | 60.878         |
|                       | 2                          | 0.947             | 18.932      | 79.810         |
|                       | 3                          | 0.505             | 10.106      | 89.915         |
|                       | 4                          | 0.345             | 6.895       | 96.811         |
|                       | 5                          | 0.159             | 3.189       | 100.000        |
| 8月龄<br>8 months old   | 1                          | 3.483             | 69.666      | 69.666         |
|                       | 2                          | 0.691             | 13.828      | 83.493         |
|                       | 3                          | 0.507             | 10.138      | 93.632         |
|                       | 4                          | 0.175             | 3.504       | 97.135         |
|                       | 5                          | 0.143             | 2.865       | 100.000        |
| 10月龄<br>10 months old | 1                          | 3.610             | 72.205      | 72.205         |
|                       | 2                          | 0.605             | 12.097      | 84.302         |
|                       | 3                          | 0.526             | 10.513      | 94.814         |
|                       | 4                          | 0.204             | 4.075       | 98.889         |
|                       | 5                          | 0.056             | 1.111       | 100.000        |

的特征向量见表 8,主成分的信息表达式分别为:

1) 初生阶段:

$$F1=0.426Y+0.478X_1+0.445X_2+0.450X_3+0.434X_4$$
$$F2=0.697Y+0.302X_1-0.096X_2-0.403X_3-0.501X_4$$

2) 3月龄阶段:

$$F1=0.431Y+0.462X_1+0.426X_2+0.480X_3+0.435X_4$$
$$F2=0.191Y+0.184X_1+0.623X_2-0.289X_3-0.677X_4$$
$$F3=0.871Y-0.224X_1-0.403X_2-0.064X_3-0.159X_4$$

3) 6月龄阶段:

$$F1=0.174Y+0.478X_1+0.505X_2+0.526X_3+0.458X_4$$
$$F2=0.977Y+0.016X_1-0.091X_2-0.174X_3-0.087X_4$$
$$F3=0.059Y-0.496X_1-0.340X_2+0.066X_3+0.794X_4$$

4) 8月龄阶段:

$$F1=0.369Y+0.468X_1+0.486X_2+0.491X_3+0.410X_4$$
$$F2=0.774Y+0.271X_1-0.178X_2-0.269X_3-0.472X_4$$
$$F3=0.444Y-0.443X_1-0.363X_2-0.119X_3+0.679X_4$$

5) 10月龄阶段:

$$F1=0.458Y+0.496X_1+0.483X_2+0.383X_3+0.405X_4$$
$$F2=-0.324Y-0.279X_1+0.127X_2+0.858X_3-0.256X_4$$
$$F3=-0.520Y-0.246X_1+0.104X_2-0.049X_3+0.810X_4$$

由表达式可知,初生阶段,对F1贡献较大的是体高、胸围、体长、管围、体重,反映了初生羔羊的整体体型结构,可称为体型因子;F2中体重的特征向量最大,可称为重量因子。3月龄时,对F1贡献较

表 7 青海藏羊母羊主成分特征值和贡献率

Table 7 Eigenvalues and contribution rates of principal components of Qinghai-Tibetan ewes

| 项目<br>Project          | 主成分<br>Principal component | 特征值<br>Eigenvalue | 贡献率/%<br>CR | 累计贡献率/%<br>CCR |
|------------------------|----------------------------|-------------------|-------------|----------------|
| 初生<br>Newborn          | 1                          | 3.294             | 65.883      | 65.883         |
|                        | 2                          | 0.731             | 14.626      | 80.510         |
|                        | 3                          | 0.497             | 9.943       | 90.452         |
|                        | 4                          | 0.365             | 7.301       | 97.753         |
|                        | 5                          | 0.112             | 2.247       | 100.000        |
| 3 月龄<br>3 months old   | 1                          | 4.446             | 88.924      | 88.924         |
|                        | 2                          | 0.297             | 5.933       | 94.857         |
|                        | 3                          | 0.128             | 2.561       | 97.418         |
|                        | 4                          | 0.069             | 1.378       | 98.796         |
|                        | 5                          | 0.060             | 1.204       | 100.000        |
| 6 月龄<br>6 months old   | 1                          | 2.487             | 49.743      | 49.743         |
|                        | 2                          | 1.044             | 20.886      | 70.629         |
|                        | 3                          | 0.938             | 18.752      | 89.381         |
|                        | 4                          | 0.378             | 7.570       | 96.950         |
|                        | 5                          | 0.152             | 3.050       | 100.000        |
| 8 月龄<br>8 months old   | 1                          | 3.944             | 78.885      | 78.885         |
|                        | 2                          | 0.555             | 11.104      | 89.990         |
|                        | 3                          | 0.342             | 6.841       | 96.831         |
|                        | 4                          | 0.113             | 2.257       | 99.087         |
|                        | 5                          | 0.046             | 0.913       | 100.000        |
| 10 月龄<br>10 months old | 1                          | 4.213             | 84.260      | 84.260         |
|                        | 2                          | 0.523             | 10.467      | 94.727         |
|                        | 3                          | 0.142             | 2.831       | 97.558         |
|                        | 4                          | 0.092             | 1.848       | 99.407         |
|                        | 5                          | 0.030             | 0.593       | 100.000        |

大的是胸围、其次为体高、管围、体重和体长,反映了整体体型结构,可命名为体型因子;F2中管围的特征向量系数的绝对值最大,其次是体长,因此可称为肢体因子;体重对F3的贡献最大,可称为重量因子。6月龄时,胸围、体长、体高和管围对F1的贡献较大,反映了整体体型结构,因此称为体型因子;F2中体重的特征向量最大,可称为重量因子;F3中管围的特征向量最大,可称为肢体因子。8月龄阶段,对F1贡献较大的是胸围、体长、体高和管围,反映了整体体型结构,可称为体型因子;F2中体重的特征向量最大,可称为重量因子;管围对F3的贡献最大,可称为肢体因子。10月龄阶段,体高、体长、

体重和管围对F1的贡献较大,因此F1可命名为体型因子;胸围对F2的贡献最大,可称为围度因子;管围对F3的贡献最大,因此称为肢体因子。

不同月龄青海藏羊母羊入选主成分特征值对应的特征向量见表9,主成分的信息表达式分别为:

- 1) 初生阶段:  
 $F1=0.417Y+0.422X_1+0.512X_2+0.499X_3+0.371X_4$   
 $F2=-0.315Y-0.480X_1-0.081X_2+0.158X_3+0.800X_4$   
 $F3=0.833Y-0.517X_1-0.142X_2-0.135X_3+0.030X_4$
- 2) 3月龄阶段:  
 $F1=0.447Y+0.458X_1+0.457X_2+0.456X_3+0.417X_4$
- 3) 6月龄阶段:

表 8 不同月龄青海藏羊公羊入选主成分特征值对应的特征向量

Table 8 Eigenvectors corresponding to the selected principal component eigenvalues of Qinghai-Tibetan ams at different months of age

| 月龄<br>Age             | 项目<br>Project  | 主成分 1, F1<br>PC1, F1 | 主成分 2, F2<br>PC2, F2 | 主成分 3, F3<br>PC3, F3 |
|-----------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 初生<br>Newborn         | Y              | 0.426                | 0.697                |                      |
|                       | X <sub>1</sub> | 0.478                | 0.302                |                      |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.445                | −0.096               |                      |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.450                | −0.403               |                      |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.434                | −0.501               |                      |
| 3月龄<br>3 months old   | Y              | 0.431                | 0.191                | 0.871                |
|                       | X <sub>1</sub> | 0.462                | 0.184                | −0.224               |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.426                | 0.623                | −0.403               |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.480                | −0.289               | −0.064               |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.435                | −0.677               | −0.159               |
| 8月龄<br>8 months old   | Y              | 0.174                | 0.977                | 0.059                |
|                       | X <sub>1</sub> | 0.478                | 0.016                | −0.496               |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.505                | −0.091               | −0.340               |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.526                | −0.174               | 0.066                |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.458                | −0.087               | 0.794                |
| 8月龄<br>8 months old   | Y              | 0.369                | 0.774                | 0.444                |
|                       | X <sub>1</sub> | 0.468                | 0.271                | −0.443               |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.486                | −0.178               | −0.363               |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.491                | −0.269               | −0.119               |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.410                | −0.472               | 0.679                |
| 10月龄<br>10 months old | Y              | 0.458                | −0.324               | −0.520               |
|                       | X <sub>1</sub> | 0.496                | −0.279               | −0.246               |
|                       | X <sub>2</sub> | 0.483                | 0.127                | 0.104                |
|                       | X <sub>3</sub> | 0.383                | 0.858                | −0.049               |
|                       | X <sub>4</sub> | 0.405                | −0.256               | 0.810                |

$F1=0.004Y+0.470X_1+0.584X_2+0.584X_3+0.311X_4$   
 $F2=0.775Y+0.333X_1+0.103X_2-0.102X_3-0.518X_4$   
 $F3=0.630Y-0.389X_1-0.102X_2+0.059X_3+0.661X_4$   
4) 8月龄阶段:  
 $F1=0.433Y+0.472X_1+0.476X_2+0.474X_3+0.373X_4$   
 $F2=0.059Y-0.354X_1-0.262X_2-0.135X_3+0.886X_4$   
5) 10月龄阶段:  
 $F1=0.415Y+0.453X_1+0.468X_2+0.465X_3+0.434X_4$   
 $F2=0.676Y+0.385X_1-0.176X_2-0.330X_3-0.505X_4$   
由表达式可知,初生阶段,对F1贡献较大的是体长、胸围、体高、体重,反映了初生羔羊的整体体型结构,可称为体型因子;F2中管围的特征向量最

大,可称为肢体因子;体重对F3的贡献最大,可称为重量因子。3月龄阶段,对F1贡献较大的是体长、胸围、体高和管围,可反映整体体型结构,因此称为体型因子。6月龄阶段,对F1贡献较大的是体长、胸围、体高、体重,可反映整体体型结构,因此称为体型因子;F2中体重的特征向量最大,可称为重量因子;管围对F3的贡献最大,因此称为肢体因子。8月龄阶段,对F1贡献较大的是体长、胸围、体高和体重,反映了体型结构,可称为体型因子;F2中管围的特征向量最大,可称为肢体因子。10月龄阶段,体长、胸围、体高和管围对F1的贡献较大,因此将F1称为体型因子;体重对F2的贡献最大,可称为重

表 9 不同月龄青海藏羊母羊入选主成分特征值对应的特征向量

Table 9 Eigenvectors corresponding to the selected principal component eigenvalues of Qinghai-Tibetan ewes at different months of age

| 月龄<br>Age              | 项目<br>Project  | 主成分 1, F1<br>PC1, F1 | 主成分 2, F2<br>PC2, F2 | 主成分 3, F3<br>PC3, F3 |
|------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 初生<br>Newborn          | Y              | 0.417                | −0.315               | 0.833                |
|                        | X <sub>1</sub> | 0.422                | −0.480               | −0.517               |
|                        | X <sub>2</sub> | 0.512                | −0.081               | −0.142               |
|                        | X <sub>3</sub> | 0.499                | 0.158                | −0.135               |
|                        | X <sub>4</sub> | 0.371                | 0.800                | 0.030                |
| 3 月龄<br>3 months old   | Y              | 0.447                |                      |                      |
|                        | X <sub>1</sub> | 0.458                |                      |                      |
|                        | X <sub>2</sub> | 0.457                |                      |                      |
|                        | X <sub>3</sub> | 0.456                |                      |                      |
|                        | X <sub>4</sub> | 0.417                |                      |                      |
| 6 月龄<br>6 months old   | Y              | 0.004                | 0.775                | 0.630                |
|                        | X <sub>1</sub> | 0.470                | 0.333                | −0.389               |
|                        | X <sub>2</sub> | 0.584                | 0.103                | −0.102               |
|                        | X <sub>3</sub> | 0.584                | −0.102               | 0.059                |
|                        | X <sub>4</sub> | 0.311                | −0.518               | 0.661                |
| 8 月龄<br>8 months old   | Y              | 0.433                | 0.059                |                      |
|                        | X <sub>1</sub> | 0.472                | −0.354               |                      |
|                        | X <sub>2</sub> | 0.476                | −0.262               |                      |
|                        | X <sub>3</sub> | 0.474                | −0.135               |                      |
|                        | X <sub>4</sub> | 0.373                | 0.886                |                      |
| 10 月龄<br>10 months old | Y              | 0.415                | 0.676                |                      |
|                        | X <sub>1</sub> | 0.453                | 0.385                |                      |
|                        | X <sub>2</sub> | 0.468                | −0.176               |                      |
|                        | X <sub>3</sub> | 0.465                | −0.330               |                      |
|                        | X <sub>4</sub> | 0.434                | −0.505               |                      |

量因子。

3 讨 论

3.1 青海藏羊体重与体尺表型分析

体重和体尺作为家畜重要的表型特征,在动物育种中具有关键作用,是评价动物生产性能的关键指标。本研究结果显示,在青海藏羊初生、3月龄、6月龄、8月龄、10月龄这 5 个阶段,公羊和母羊的体重指标变异系数均高于体尺指标,表明体重指标具有较大的选择潜力和提升空间。此外,体重会受到营养供给、饲养环境等多种因素的协同影响。本研

究采用的“放牧+舍饲”混合模式虽保障了营养供给的稳定性,但天然牧草的季节性波动可能在一定程度上放大个体的体重差异,而这种差异恰好为育种过程中筛选优良个体提供了理想的表型基础。该结论与唐丽等<sup>[13]</sup>对和田羊、陆会宁等<sup>[14]</sup>对兰小杂交羊 F1 代羔羊的研究结果基本一致。在初生、3 月龄、8 月龄和 10 月龄阶段,藏羊公羊体尺指标中变异系数最小的均为体高,这与陈俞任等<sup>[15]</sup>对白萨福克羊、杨存明等<sup>[16]</sup>对和田羊的研究结果一致,说明体高的整齐度较高。值得注意的是,6 月龄公羊体高变异系数并非最小,这可能与该时期公羊进入性成

熟前期、生长发育重心向生殖系统转移有关,骨骼生长速率的暂时性放缓,从而可能导致群体体高发育的同步性下降。此外,母羊群体体尺指标的变异规律与公羊存在一定差异,这可能是由性别及繁殖相关生理调控机制差异所致。因此在后续研究中,将结合性别差异展开深入探究。

### 3.2 青海藏羊体重与体尺相关性分析

相关系数用于衡量体尺与体重的相关性,两者可反映体型特征并预测生产性能,具有重要的实践价值<sup>[17]</sup>。本研究结果表明,公羊、母羊初生、3月龄、8月龄、10月龄的体重与各项体尺指标间均呈极显著正相关,且各体尺性状之间也均存在极显著正相关。廖圆圆等<sup>[18]</sup>研究发现,公滩羊各个体尺性状之间及各体尺与体重之间对体重都呈现极显著相关;李娟等<sup>[19]</sup>研究发现,高原型藏系羊初生体重与体尺指标呈极显著正相关;何军敏等<sup>[20]</sup>研究发现,萨福克羊公羔和母羔0日龄体重与各体尺均有正相关关系。毛静艺等<sup>[21]</sup>研究发现,除管围外,其余各体尺性状与体重呈正相关,且各体尺性状之间均为正相关。以上研究结果均与本研究结果一致。然而在本研究中,6月龄公、母羊体重与其他4个体尺性状均不显著,可能是由于6月龄是青海藏羊从羔羊向育成羊过渡的关键阶段,优先发育体高、体长等体尺性状,以适应高原放牧的基本需求,同时体重增长缓慢。因此,今后在进行青海藏羊优良品种选育时,要综合考核体重和各项体尺指标,以取得较好的选育效果。

### 3.3 青海藏羊体重与体尺通径分析

通径分析是一种统计方法,用于研究多个变量之间的因果关系,以量化变量之间的直接影响和间接影响,揭示各变量间复杂的因果关系<sup>[22]</sup>。本研究中,青海藏羊公羊在初生、6月龄、8月龄和10月龄时,体高对体重的直接作用最大,而在3月龄时,胸围的直接作用最大;青海藏羊母羊初生和6月龄体长对体重的直接作用最大,3月龄、8月龄和10月龄体高对体重的直接作用最大。公羊和母羊的体长对体重的间接作用均为最大。综合来看,体高和体长对青海藏羊体重的选择具有重要作用。李胜开等<sup>[23]</sup>研究发现,隆林山羊体高和体长的直接作用高于胸围对体重的直接作用;侯晨曦等<sup>[24]</sup>研究发现,柯尔克孜公羊、母羊的胸围和体高对体重直接作用均最大;刘孟君等<sup>[25]</sup>研究发现,西藏河谷型绵羊体长对体重的间接作用最大;王志明

等<sup>[26]</sup>研究发现,甘肃高山细毛羊体长对体重的综合间接作用最大,这些结果均与本研究结果较为相似。在陈玲等<sup>[27]</sup>对湖羊的研究中,发现湖羊公羊初生和6月龄胸围对体重的直接作用最大,与本研究结果不一致,可能是由于品种、饲养管理及环境条件等差异所致。本研究描述性统计结果显示,体高的变异系数最小,表明其群体内整齐度高,从单一性状层面来看,其改良潜力相对有限。但通径分析发现,体高、体长和胸围对青海藏羊体重影响较大,是影响体重的重要指标。因此,可在后期育种中,可根据后期青海藏羊选育工作的核心方向:若以增加体重为首要目标,重点关注体高、体长及胸围三大性状,通过针对性改良这些性状,最大化实现体重提升的育种目标。

### 3.4 青海藏羊体尺体重主成分分析

主成分分析法可简化畜禽生长性能的多个相关指标,提取少数独立的综合指标,揭示性状内在规律,明确体型特征、体尺体重指标间的关系,为家畜选种和育种提供依据<sup>[28]</sup>。张衍震等<sup>[29]</sup>对6月龄湖羊的研究,筛选出的第一主成分为尾形因子,第二主成分为整体体型因子,第三主成分为胸围因子;刘孟君等<sup>[30]</sup>对霍尔巴成年母羊的14个表型指标进行主成分分析,得出PC1与体型相关指标有较高关联,PC2与体型形状指标相关,PC3与头部指标相关,耳长对因子构成的贡献最小;罗春彦等<sup>[31]</sup>对柯尔克孜羊5个性状进行主成分分析,结果表明公羔对第一主成分起决定作用的因子是体长和体重,贡献较大的为胸围,母羔对第一主成分起决定作用的因子是胸围,贡献较大的为体重。本研究结果可知,公羊各月龄阶段筛选的第一主成分均为体型因子,初生、6、8月龄阶段第二主成分为重量因子,6、8、10月龄阶段第三主成分为肢体因子;母羊各月龄阶段筛选的第一主成分均为体型因子,初生、8月龄阶段第二主成分为肢体因子,6、10月龄阶段第二主成分为重量因子。公、母羊第一主成分均为体型因子,反映了青海藏羊的整体体型结构,说明了体型特征对青海藏羊的选育有非常重要的作用。本研究结果与沈嘉玘等<sup>[32]</sup>对澳湖杂交一代羔羊和杜湖杂交一代羔羊、施海娜等<sup>[33]</sup>对南湖羊、Elsaid等<sup>[34]</sup>对苏哈吉羊、张旭等<sup>[35]</sup>对特哈肉羊的研究结果略有差异,这可能是由于地理环境、品种差异、选育的侧重方向不同等原因造成的,还有待进一步分析探究。

## 4 结 论

通过对不同月龄青海藏羊公、母羊的体尺与体重指标进行相关性及其主成分分析,本研究发现,在初生、3月龄、8月龄和10月龄阶段,公羊和母羊的体重均与体高、体长、胸围和管围呈极显著正相关,且各体尺性状间也呈现极显著正相关。进一步分析表明,各月龄公羊和母羊对体重直接作用最大的体尺指标为体高,其次为体长。因此,在青海藏羊后期的选育工作中,应重点关注体高和体长,同时将其他性状间的相关性作为间接选择的参考依据。本研究为青海藏羊的选种选育及生长发育指标测定提供理论依据。

## 参考文献 References

- [1] 王维民. 基于全基因组选择信号挖掘中国地方绵羊在驯化过程中的选择印记[D]. 武汉:华中农业大学, 2018  
Wang W M. Genome-wide detection of selection signatures reveals selective imprints of Chinese indigenous sheep breeds during domestication [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [2] 德吉, 孙珂欣, 罗琪, 阿旺措吉, 王小龙, 吴玉江. 藏羊和牦牛的生理特征及高原适应性分子遗传学研究进展[J]. 家畜生态学报, 2022, 43(4): 1-7  
De J, Sun K X, Luo Q, Awangcuoji, Wang X L, Wu Y J. Physiological characteristics and molecular genetics study of Tibetan sheep, goats and yak adaptation to highland [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2022, 43(4): 1-7 (in Chinese)
- [3] 李泰春, 马世科, 金夏阳, 马玉红, 孙武. 青海高原型藏羊生长性能测定及生长曲线模型构建[J]. 黑龙江动物繁殖, 2025, 33(5): 39-44  
Li T C, Ma S K, Jin X Y, Ma Y H, Sun W. Determination of production performance and construction of growth curve model for plateau-type Tibetan sheep in Qinghai [J]. *Heilongjiang Journal of Animal Reproduction*, 2025, 33(5): 39-44 (in Chinese)
- [4] 邵高岗, 肖莹莹, 张晓, 王赛赛, 陈其新. 豫东肉用山羊母羊体尺与体重相关性回归分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2025(8): 45-48, 53  
Shao G G, Xiao Y Y, Zhang X, Wang S S, Chen Q X. Correlation and regression analysis between body size and body weight of female meat goats in eastern Henan Province [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2025, (8): 45-48, 53 (in Chinese)
- [5] 宋志芳, 解佑志, 芦春莲, 李赛, 曹洪战. 主成分分析在动物科学的应用研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(11): 21-24  
Song Z F, Xie Y Z, Lu C L, Li S, Cao H Z. Research progress on principal component analysis in animal science [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(11): 21-24 (in Chinese)
- [6] 于航, 郭荣明, 赵芯, 高云, 夏茂林. 西藏河谷型绵羊表型指标主成分分析[J]. 西藏农业科技, 2022, 44(4): 78-84  
Yu H, Guo R M, Zhao X, Gao Y, Xia M L. Principal component analysis of phenotypic indices in Tibetan valley sheep [J]. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 44(4): 78-84 (in Chinese)
- [7] 张强龙, 余忠祥, 阎明毅, 吴森. 6月龄欧拉羊体尺和体重的聚类与主成分分析[J]. 畜牧兽医科技信息, 2021(9): 34-35  
Zhang Q L, Yu Z X, Yan M Y, Wu S. Cluster and principal component analysis of body size and body weight of 6-month-old Euler sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2021(9): 34-35 (in Chinese)
- [8] 李雪, 张梦华, 刘黎, 阿布力克木·阿地力, 毛静艺, 张文静, 杨存明, 黄锡霞, 田月珍. 和田羊体尺体重相关及主成分分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(9): 171-176  
Li X, Zhang M H, Liu L, Abulikemu A, Mao J Y, Zhang W J, Yang C M, Huang X X, Tian Y Z. Correlation and principal component analysis of body size and body weight of Hotan sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(9): 171-176 (in Chinese)
- [9] 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)
- [10] 中国畜牧业协会. 肉羊生产性能测定技术规范[J]. 畜牧产业, 2023(4): 27-35  
China Animal Agriculture Association. Technical specification of mutton sheep and goat performance test [J]. *Animal Agriculture*, 2023(4): 27-35 (in Chinese)
- [11] 汪斌, 龚争, 程郁昕. 主成分分析在畜牧生产中几种常用方法的解析[J]. 当代畜牧, 2018(12): 70-71  
Wang B, Gong Z, Cheng Y X. Analysis of several common methods of principal component analysis in animal husbandry production [J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2018 (12): 70-71 (in Chinese)
- [12] Khan N N, Ganai N A, Ahmad T, Shanaz S, Majid R, Mir M A, Ahmad S F. Morphometric indices of native sheep breeds of the Himalayan region of India using multivariate principal component analysis [J]. *Zygote*, 2023, 31(2): 157-162
- [13] 唐丽, 田可川, 张昕宁, 刘黎, 阿布力克木·阿地力, 杨智, 杨存明, 张晓雪, 黄锡霞, 田月珍. 不同生长阶段和田羊体重体尺指标的聚类与主成分分析[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(11): 2853-2860  
Tang L, Tian K C, Zhang X N, Liu L, Abulikemu A, Yang Z, Yang C M, Zhang X X, Huang X X, Tian Y Z. Clustering and principal component analysis of Hotan sheep body weight indexes in different growth stages [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2024, 61(11): 2853-2860 (in Chinese)
- [14] 陆会宁, 刘妍妍, 张丽, 金鑫, 何林波, 曹忻. 兰州大尾羊×小尾寒羊F1代体重和体尺的相关性研究[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(6): 1628-1635  
Lu H N, Liu Y Y, Zhang L, Jin X, He L B, Cao X. Correlation analyses between body weight and body sizes of F1 hybrid of Lanzhou fat-tailed sheep × small-tailed Han sheep [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, 46(6): 1628-1635 (in Chinese)
- [15] 陈俞任, 孙洪新, 刘月, 丁虹, 赵志强, 董玉玲, 敦伟涛, 王红娜. 白萨福克羊体重与体尺指标的相关性及回归分析[J]. 中国草食动物科学, 2025, 45(2): 107-112  
Chen Y R, Sun H X, Liu Y, Ding H, Zhao Z Q, Dong Y L, Dun W T, Wang H N. Correlation and regression analysis between weight and body size index of white Suffolk sheep [J]. *China Herbivore Science*, 2025, 45(2): 107-112 (in Chinese)
- [16] 杨存明, 张梦华, 黄锡霞, 李雪, 刘黎, 阿布力克木·阿地力, 唐丽, 张文静, 田月珍, 田可川. 和田羊体重与体尺指标的多元回归分析[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(6): 130-133  
Yang C M, Zhang M H, Huang X X, Li X, Liu L, Abulikemu A, Tang L, Zhang W J, Tian Y Z, Tian K C. Multiple regression analysis of body weight and body size index of Hotan sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(6): 130-133 (in Chinese)
- [17] Ren Y F, Li X, He J M, Zhang M H, Liu G F, Wei C, Zhang G P, Zhang W H, Nie F M, Wang M, Tian K C, Huang X X. Estimation of genetic

- parameters for early growth traits in Luzhong mutton sheep[J]. *Animals*, 2024, 14(12): 1754
- [18] 廖圆圆, 王燕新, 蔡勇. 公滩羊体重与体尺性状的多元回归分析[J]. 现代畜牧兽医, 2020, (1): 27-31
- Liao Y Y, Wang Y X, Cai Y. Multivariate regression analysis of body weight and body size traits of Tan sheep[J]. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2020(1): 27-31 (in Chinese)
- [19] 李娟, 索南, 张海瑾, 赵寿保. 高原型藏系羊初生体重与体尺指标的相关性研究[J]. 四川畜牧兽医, 2019, 46(3): 27-28
- Li J, Suo N, Zhang H J, Zhao S B. Study on the correlation between body weight and body size index of Tibetan sheep in plateau-type [J]. *Sichuan Animal & Veterinary Sciences*, 2019, 46(3): 27-28 (in Chinese)
- [20] 何军敏, 臧长江, 黄锡霞, 赵冰茹, 周靖航, 热西提·阿不都热依木, 萨福克羔羊0~65日龄生长发育规律研究[J]. 中国畜牧兽医, 2017, 44(6): 1707-1713
- He J M, Zang C J, Huang X X, Zhao B R, Zhou J H, Rexiti A. Study on the growth and development regularity of Suffolk lambs from 0 to 65 days of age [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2017, 44(6): 1707-1713 (in Chinese)
- [21] 毛静艺, 张梦华, 刘桂芬, 张果平, 魏晨, 何军敏, 杨存明, 李雪, 张文静, 黄锡霞, 田可川. 济宁青山羊成年母羊体尺与体重相关性回归分析[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(12): 120-123
- Mao J Y, Zhang M H, Liu G F, Zhang G P, Wei C, He J M, Yang C M, Li X, Zhang W J, Huang X X, Tian K C. regression analysis of correlation between body size and weight of adult ewe Jining Grey goat[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(12): 120-123 (in Chinese)
- [22] Figueroa Sánchez A, Perea Muñoz J, Caballero-Villalobos J, Arias Sánchez R, Garzón A, Angón Sánchez de Pedro E. Coagulation process in Manchega sheep milk from Spain: A path analysis approach [J] *Journal of Dairy Science*. 2021, 104(7): 7544-7554
- [23] 李胜开, 张勤, 刘雨琪, 赵子贵, 邵俊红, 武婷婷, 杨膺白. 隆林山羊周岁体重与体尺指标的相关性分析[J]. 现代畜牧兽医, 2016(1): 23-27
- Li S K, Zhang Q, Liu Y Q, Zhao Z G, Shao J H, Wu T T, Yang Y B. A correlation analysis between yearling body weight and body sizes indexes of Longlin goat[J]. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016(1): 23-27 (in Chinese)
- [24] 侯晨曦, 洪文娟, 何宗龙, 姚力丹, 决肯·阿尼瓦什. 柯尔克孜羊体重与体尺指标的相关性、通径及逐步回归分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(11): 59-62, 68
- Hou C X, Hong W J, He Z L, Yao L D, Juekenrin A. Correlation, path and stepwise regression analysis between body weight and body size of Kirgiz sheep[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2021, (11): 59-62, 68 (in Chinese)
- [25] 刘孟君, 次旺仁增, 刘乐乐, 刘艳超. 西藏河谷型绵羊体重与体尺相关性分析[J]. 高原科学研究, 2021, 5(3): 11-19
- Liu M J, Ciwangrenzzeng, Liu L L, Liu Y C. Correlation analysis between body weight and body size of Tibetan valley-type sheep[J]. *Plateau Science Research*, 2021, 5(3): 11-19 (in Chinese)
- [26] 王志明, 王婕姝, 王毅, 韩向敏, 王华. 甘肃高山细毛羊体重与体尺指标的相关性研究[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(1): 28-32
- Wang Z M, Wang J S, Wang Y, Han X M, Wang H. Correlation analyses between the body weight and body sizes of Gansu alpine fine-wool sheep[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2016, 28(1): 28-32 (in Chinese)
- [27] 陈玲, 李振龙, 刘桐序, 苏锐, 孙炜, 孙伟. 不同月龄湖羊体重与体尺的多元回归分析[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(2): 80-84, 91
- Chen L, Li Z L, Liu T X, Su R, Sun W, Sun W. Multiple regression analysis of body weight and body size of Hu sheep at different months[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(2): 80-84, 91 (in Chinese)
- [28] 李明明, 贺娜, 张军霞. 藏羊羔羊不同月龄体尺性状的综合评价[J]. 青海大学学报, 2022, 40(6): 47-54
- Li M M, He N, Zhang J X. Comprehensive evaluation of body size traits of Tibetan sheep lambs at different months of age [J]. *Journal of Qinghai University*, 2022, 40(6): 47-54 (in Chinese)
- [29] 张衍震, 章晓炜, 曹丁壬, 张文龙, 陈悦, 王翀, 孙玲玲. 湖羊公羔体重与体尺的主成分分析及回归模型的建立[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(7): 178-182
- Zhang Y Z, Zhang X W, Cao D R, Zhang W L, Chen Y, Wang C, Sun L L. Principal component analysis of body weight and body size of male lamb of Hu sheep and establishment of regression model[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(7): 178-182 (in Chinese)
- [30] 刘孟君, 任越, 扎西央宗, 阚向东, 次旺仁增. 霍尔巴绵羊形态结构主成分分析[J]. 高原科学研究, 2022, 6(2): 33-41
- Liu M J, Ren Y, Zhaxiyangzong, Kan X D, Ciwangrenzeng. Principal component analysis of the morphological structure of huorba sheep [J]. *Plateau Science Research*, 2022, 6(2): 33-41 (in Chinese)
- [31] 罗春彦, 周喜荣, 阿米妮古丽·阿不来孜, 牙生江·那斯尔, 朱马浪·托合提霍主, 玛尔孜娅·亚森, 白锋, 于丽娟, 纳扎开提·艾尼万尔, 张艳花. 不同生长阶段柯尔克孜羊体重与体尺指标相关性研究[J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61(3): 147-153
- Luo C Y, Zhou X R, Aminiguli A, Yashengjiang N, Zhumalang T, Maerziya Y, Bai F, Yu L J, Nazhakaiti A, Zhang Y H. Correlation analysis between body weight and body size index of Kirgiz sheep at different growth stages [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2025, 61(3): 147-153 (in Chinese)
- [32] 沈嘉妃, 耿智广, 施海娜, 岳耀敬, 杨博辉, 卢曾奎. 不同杂交组合羔羊6月龄体重和体尺的聚类与主成分分析[J]. 中国草食动物科学, 2022, 42(5): 31-36
- Shen J Q, Geng Z G, Shi H N, Yue Y J, Yang B H, Lu Z K. Clustering and principal component analysis of weight and body size for 6-month-old lambs in different crossbred combinations [J]. *China Herbivore Science*, 2022, 42(5): 31-36 (in Chinese)
- [33] 施海娜, 张瑞, 耿智广, 张金霞, 牛春娥, 贺怀刚, 安雪娇, 靳善宁, 郑雷, 岳耀敬, 徐振飞. 南湖羊体重与体尺指标的相关性、聚类的主成分分析[J]. 中国畜禽种业, 2025, 21(8): 42-53
- Shi H N, Zhang R, Geng Z G, Zhang J X, Niu C E, He H G, An X J, Jin S N, Zheng L, Yue Y J, Xu Z F. Correlation, cluster and principle components analysis of body weight and body sizes in Southdown × Hu sheep [J]. *China Livestock and Poultry Seed Industry*, 2025, 21(8): 42-53 (in Chinese)
- [34] Elsaid R, Elnahas A A. Principal components analysis of body measurements of Sohagi sheep in Upper Egypt [J]. *Egyptian Journal of Sheep and Goat Sciences*, 2019, 14(1): 83-92
- [35] 张旭, 刘孟健, 新别力克, 巴特齐米格, 热很拜·勒尔很拜, 巴音门达, 陈勇, 邓海峰. 特哈肉羊体重与体尺性状的相关性及回归分析[J]. 新疆农业大学学报, 2024, 47(5): 358-365
- Zhang X, Liu M J, Xinbielike, Bateqimige, Rehenbai L, Bayinmenda, Chen Y, Deng H F. Correlation and regression analysis between body weight and body size traits in teha sheep [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2024, 47(5): 358-365 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



**第一作者简介：**聂富美,硕士研究生,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;参与发表中文核心期刊论文1篇;SCI 2篇;参与获批专利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,中国畜牧兽医学会遗传标记学分会常务理事,中国畜牧兽医学会家畜生态学分会理事,新疆遗传学会常务理事。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;获授权专利50余项,发表核心期刊论文200余篇(SCI收录50余篇),参编专著4部,编制行业和地方标准10余项。获大北农科技奖1项,新疆维吾尔自治区科技进步奖8项。



**通讯作者简介：**田可川,博士,二级研究员。享受“国务院政府特殊津贴”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30余篇。获批专利45项,制定标准或技术规程21项,主编、参编专业书籍13部。获新疆维吾尔自治区科技进步奖6项,中华农业科技奖1项,全国农牧渔业丰收奖1项,大北农科技奖1项。