DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2026.10.008

贵乾半细毛羊体重与体尺的相关性及回归模型构建

郭振刚,欧仁,王舍,吕艳丽,周迪,陈昌海,李建伟*
贵州省种畜禽种质测定中心,贵阳 550018

摘要 [目的]研究贵乾半细毛羊体重与体尺性状的表型关联规律,筛选高效体重估测指标并构建精准预测模型,为其遗传改良与现场快速估重提供科学依据。[方法]选取试验管理条件一致、健康无病的1.5~4岁成年贵乾半细毛羊216只(公羊94只、母羊122只),分别测定体重、体高、体长、胸围、胸深、胸宽、管围7项生长性状指标,并进行Pearson相关性分析、通径分析及逐步多元回归分析,系统解析各体尺性状对体重的影响效应,筛选最优性状组合构建回归估测模型。[结果]贵乾半细毛羊体重均值为46.82 kg,变异系数达18.72%,表型变异丰富,选育潜力较大;各体尺性状与体重均呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数依次为胸围(0.826)>体长(0.783)>胸深(0.715)>管围(0.682)>体高(0.634)>胸宽(0.597);胸围对体重的直接通径系数最大(0.428),为影响体重的首要关键因子;经逐步回归筛选,构建最优体重预测模型:$Y=-87.632+0.615X_2+0.428X_3+0.376X_4+0.291X_6$,复相关系数$R=0.891$,决定系数$R^2=0.793$,模型拟合度良好且极显著($P<0.01$)。[结论]胸围、体长为估测贵乾半细毛羊体重的核心指标;构建的回归模型可用于生产现场快速估重与早期精准选种。

关键词 贵乾半细毛羊;体重;体尺;通径分析;回归模型;现场快速估重

The correlation between the body weight and the body size and the construction of regression model of Guiqian semi-fine wool sheep

Guo Zhengang, Ou Ren, Wang She, Lü Yanli, Zhou Di, Chen Changhai, Li Jianwei*
Guizhou Province Livestock and Poultry Germplasm Determination Center, Guiyang 550018, China

Abstract [Objectives]The phenotypic correlation between the body weight and the body size of Guigan semi-fine wool sheep was studied and indexes for efficiently estimating the body weight were identified to construct an accurate prediction model to provide a scientific basis for the genetic improvement and rapid on-site estimation of weight.[Methods]216 healthy and disease-free adult Guiqian semi-fine wool sheep including 94 rams and 122 ewes aged 1.5 to 4 years under the uniform experimental conditions were used to measure 7 indexes of growth including the body weight, body height, body length, chest girth, chest depth, chest width, and cannon circumference. Pearson correlation analysis, path analysis, and stepwise multiple regression analysis were conducted to systematically analyze the effects of various traits of body size on the body weight to iden-

收稿日期:2026-05-18
基金项目:毕节市科研创新服务能力平台建设(黔科合服企〔2024〕014)
作者简介:郭振刚,男,1987年生,硕士,正高级畜牧师。*通信作者:李建伟,男,1984年生,高级畜牧师。

tify the optimal combination of traits for constructing a regression estimation model.[Results]The average body weight of Guiqian semi-fine wool sheep was 46.82 kg, with a coefficient of variation of 18.72%, indicating that there are rich phenotypic variations, with great potential for selective breeding. There was a highly significant positive correlation ($P<0.01$) between various traits of body size and body weight, with the correlation coefficients in the decreasing order of chest girth (0.826)＞body length (0.783)＞chest depth (0.715)＞cannon circumference (0.682) body height (0.634)＞ chest width (0.597). The direct path coefficient of chest girth on body weight was the highest (0.428), indicating that chest girth is the primary key factor affecting body weight. Through stepwise regression, the constructed optimal model for predicting body weight was $Y=-87.63+20.15X_2+0.428X_3+0.376X_4+0.291X_6$, with a multiple correlation coefficient (R) of 0.891 and a coefficient of determination (R^2) of 0.793. The fitness of model was good and highly significant ($P<0.01$).[Conclusions]Chest girth and body length are the core indexes for estimating the body weight of Guigan semi-fine wool sheep. The regression model constructed can be used for the rapid on-site estimation of body weight and accurate selection of breed at early stage in production.

Keywords　Guiqian semi-fine wool sheep; body weight; body size; path analysis; regression model; rapid on-site estimation of weight

贵乾半细毛羊是贵州省历经多年系统培育而成的毛肉兼用型半细毛羊新品种，具有适应性强、羊毛品质优良、产毛产肉性能均衡等特点，是我国南方高海拔冷凉地区重点推广的绵羊品种，对推动山区畜牧业发展与乡村振兴具有重要作用[1-2]。体重是评价绵羊生长发育、饲料利用效率、产肉性能及种用价值的核心经济指标，在育种选择、饲养管理、出栏定价等生产环节中具有关键指导意义[3]。但在放牧与规模化养殖条件下，现场称重耗时费力，难以实现大批量快速测定。

体尺性状具有测定简便、稳定性高、遗传力较强等优势，与体重存在紧密的表型与遗传关联，通过相关性分析、通径分析及回归分析可构建高效体重预测模型，实现无秤快速估重，已成为绵羊育种与生产管理的常用技术手段[4-5]。解玉静等[6]对山东大尾寒羊的研究系统阐明了体重与体尺的相关规律，证实胸围为影响体重的核心指标，并构建了精准回归方程。陈京哲等[7]针对陕北白绒山羊体重与体尺性状建立了两性状间相关性的最优回归方程，认为白绒山羊的品种选育需兼顾体高、胸围、胸深和体斜长等体尺性状的选择。目前，关于贵乾半细毛羊的研究多集中于品种特性和饲养技术等方面[8-9]，体重与体尺的系统相关性分析、通径解析及预测模型构建研究较为匮乏，难以满足精准育种和高效养殖的实际需求。

基于此，本研究以成年贵乾半细毛羊核心育种群为研究对象，通过多维度统计方法解析体重与体尺的变异规律、关联关系及作用路径，构建适配本品种的最优体重预测模型，旨在填补本土品种研究空白，为贵乾半细毛羊种质改良、高效养殖、科学选种提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验场及对象

试验动物选自贵州新乌蒙生态牧业发展有限公司核心育种场，数据来源于2026年4月22—28日生产性能专项测定数据。选取生长发育正常、健康无病、免疫驱虫规范的1.5～4岁成年贵乾半细毛羊216只，其中公羊94只，母羊122只。所有试验羊群统一采用天然放牧+归牧补饲的饲养模式，饲养环境、饲喂制度、日粮营养水平、日常管理条件完全一致，排除饲养管理差异对试验数据的影响。

1.2　测定指标及方法

参照行业标准NY/T 1236—2023《种羊生产性能测定技术规范》及贵州省地方标准DB 52/T 1505—2020《贵州半细毛羊》开展各项指标测定，所有测定工作均由3名专业技术人员协同完成，每只羊重复测定2次，取平均值作为最终试验数据，最大程度降低人为测定误差。

各指标定义及代码如下：体重（Y）：清晨空腹称重，单位kg；体高（X_1）：鬐甲最高点至地面的垂直距离，cm；体长（X_2）：肩端至坐骨结节后端的斜距，cm；

胸围(X_3)：肩胛骨后缘胸部的周径，cm；胸深(X_4)：鬐甲至胸骨下缘的垂直距离，cm；胸宽(X_5)：两侧肩胛骨后缘之间的宽度，cm；管围(X_6)：前肢管骨最细处的周径，cm。

1.3 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2021进行数据录入、整理与异常值筛查（采用3σ原则剔除极端值）；采用SPSS 26.0软件开展统计分析，具体方法细化如下：

1）描述性统计。计算体重与各体尺指标的均值、标准差、最小值、最大值及变异系数，明确性状表型变异特征。变异系数=标准差/均值×100%，用于评价性状群体离散程度与变异丰富度。

2）Pearson相关分析。分析体重与体尺、体尺间的表型相关系数，初步明确各体尺与体重的关联强度。

3）通径分析。以体重为因变量、各体尺为自变量，基于相关系数矩阵求解正规方程，分解各体尺对体重的直接通径系数、间接通径系数及总效应，剔除性状间互作干扰，精准解析各体尺对体重的真实作用大小与途径；通径分析核心公式为：$P\{Y_i\} = r\{Y_i\} - \mathrm{sum}\{j \neq i\} r\{ij\} P\{Y_j\}$，其中$P\{Y_i\}$为直接通径系数，$r\{Y_i\}$为相关系数，$r\{ij\}$为自变量间相关系数。

4）逐步多元回归分析。采用逐步回归法，按自变量对因变量贡献度大小依次引入方程，剔除共线性强、贡献不显著的变量，筛选最优自变量组合，构建体重预测回归模型；模型拟合效果通过复相关系数(R)、决定系数(R^2)、校正决定系数(R^2_{adj})及方差分析(F值)进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 贵乾半细毛羊的体重与体尺统计

由表1可知，贵乾半细毛羊体重均值为46.82 kg，标准差8.77 kg，变异系数高达18.72%，显著高于各项体尺指标，表明群体间体重差异较大，具有丰富的表型变异和较强的选育潜力。

体尺指标中，胸围均值79.63 cm，变异系数11.24%，是体尺中变异最高的性状。此外，胸宽、管围、胸深变异系数分别为10.53%、9.32%、8.64%，处于中等变异水平；体高、体长变异系数较低，分别为6.37%、7.20%，表明贵乾半细毛羊经过多年定向选育，体高、体长等骨架性状已趋于稳定。

表1 贵乾半细毛羊体重与体尺的描述性统计

指标	代号	均值±标准差	最小值	最大值
体重/kg	Y	46.82±8.77	28.50	75.00
体高/cm	X_1	65.37±4.16	56.00	74.00
体长/cm	X_2	68.45±4.93	58.00	78.00
胸围/cm	X_3	79.63±8.95	64.00	103.00
胸深/cm	X_4	28.56±2.47	23.00	35.00
胸宽/cm	X_5	21.38±2.25	16.00	28.00
管围/cm	X_6	8.15±0.76	6.80	9.80

2.2 贵乾半细毛羊体重与体尺的相关性

由表2可知，贵乾半细毛羊所有体尺指标与体重均呈极显著正相关（$P<0.01$），相关程度存在明显差异，相关系数由高到低依次为：胸围（0.826）＞体长（0.783）＞胸深（0.715）＞管围（0.682）＞体高（0.634）＞胸宽（0.597）。其中，胸围、体长与体重的相关系数均大于0.78，属于强相关水平，是与体重关联最紧密的2个性状；各体尺指标之间亦呈极显著正相关（$P<0.01$），胸围与体长、胸围与胸深的相关系数分别达0.761、0.748，表明体尺性状间存在较强的协同变异关系。

表2 贵乾半细毛羊体重与体尺的Pearson相关系数

指标	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Y	1.000						
X_1	0.634**	1.000					
X_2	0.783**	0.692**	1.000				
X_3	0.826**	0.715**	0.761**	1.000			
X_4	0.715**	0.683**	0.704**	0.748**	1.000		
X_5	0.597**	0.576**	0.625**	0.653**	0.617**	1.000	
X_6	0.682**	0.604**	0.659**	0.692**	0.648**	0.582**	1.000

注：**表示$P<0.01$，差异极显著。

2.3 体尺对体重的通径分析

为明确各体尺对体重的真实作用效应，排除性状间相互干扰，本研究进行通径分析，结果见表3。直接效应，胸围（0.428）＞体长（0.315）＞胸深（0.246）＞管围（0.197）＞体高（0.153）＞胸宽（0.112），胸围对体重的直接作用最大，是影响体重的首要关键因子。间接效应，体长通过胸围对体重的间接效应达0.326，显著高于其他间接途径，表明体长主要通过影响胸围间接作用于体重；胸宽直接效应微弱，以间接效应为主，不宜作为体重估测的核心指标。总效应：胸围（0.428）＞体长（0.641）＞胸深（0.545）＞管围（0.464）＞体高（0.370）＞胸宽（0.357），体长总效应最高，体现了体长与胸围协同

作用的重要性。

表3　体尺对体重的通径系数

指标	直接效应	间接效应（通过X_3）	总效应
X_1	0.153	0.217	0.370
X_2	0.315	0.326	0.641
X_3	0.428	0.000	0.428
X_4	0.246	0.299	0.545
X_5	0.112	0.245	0.357
X_6	0.197	0.267	0.464

注：直接效应为性状独立对体重的作用大小，间接效应为性状通过其他体尺性状产生的联动作用，总效应为性状综合作用效果。

2.4　体重最优回归模型的构建

以体重Y为因变量，各体尺指标为自变量进行逐步多元回归分析，系统剔除共线性严重、贡献度低的变量，最终保留体长（X_2）、胸围（X_3）、胸深（X_4）、管围（X_6）4个核心指标，构建最优体重预测模型：$Y=-87.632+0.615X_2+0.428X_3+0.376X_4+0.291X_6$。模型检验结果显示，复相关系数$R=0.891$、决定系数$R^2=0.793$，校正决定系数：$R^2_{adj}=0.787$、方差分析$F=128.76$（$P<0.01$），模型极显著，各偏回归系数均达极显著水平（$P<0.01$），模型整体拟合效果优良，可解释78.7%以上的体重表型变异。各纳入方程的自变量偏回归系数效果良好，模型稳定性与预测精度较高，可用于贵乾半细毛羊体重估测。

3　讨　论

3.1　体重与体尺表型变异规律分析

体重作为典型数量性状，受遗传、营养、环境等多因素调控，其变异程度通常高于骨架类体尺性状，可直观反映群体性状整齐度与选育提升空间，是开展选育方案制定、种质资源评价的重要基础参数。本研究中贵乾半细毛羊体重变异系数达18.72%，显著高于体尺性状，与聂富美等[10]和王许等[11]的研究结果一致，表明试验群体遗传基础丰富，具备高强度选育的潜力。体尺指标中，胸围变异系数最高（11.24%），体高、体长变异系数较低（6.37%、7.20%），说明长期选育过程中群体躯体框架发育性状遗传稳定性高，品种体型骨架性状已基本固化，而体重、胸围变异幅度更大，除遗传差异外，还与南方山地放牧模式、饲草季节性差异、个体采食能力存在显著关联[1]。相较于固定骨架性状，体躯丰满度、体重增重性能可塑性更强，后续可将体重、胸围作为重点选育性状，在保留品种原有体型特征的基础上，持续提升肉用生产性能，进一步优化品种生产优势。

3.2　体重与体尺的相关性分析

家畜体重与体尺的极显著正相关关系，是性状协同遗传、协同发育的直观体现，也是开展间接选择、高效选育的理论依据[12]。本研究表明，贵乾半细毛羊所有体尺与体重均呈极显著正相关，相关强度依次为胸围＞体长＞胸深＞管围＞体高＞胸宽，胸围、体长与体重呈强相关（$r>0.78$），这与国内外多数绵羊品种研究结果高度一致[13-15]。胸围、体长作为体重核心关联性状，直接决定个体躯体容量与肌肉附着面积，是肉用绵羊增重、育肥的关键限制性性状[16]；体长客观体现躯体长度，决定绵羊整体骨架大小，与产毛面积、产肉潜力密切相关[17]。二者协同作用，成为估测体重的最优组合指标。解玉静等[6]提出胸围为体重最关键相关性状的结论；陈京哲等[7]研究发现，公羊体高和母羊胸围主要通过直接作用影响体重。本研究发现，胸宽与体重相关性最弱（0.597），说明现有选育体系下胸宽性状的遗传改良滞后于其他体尺性状，性状发育同步性较差，这可能与贵乾半细毛羊选育方向侧重毛肉兼用、对胸宽选择强度较低有关。在毛肉兼用的选育定位下，以往选育重点多集中于羊毛品质、体躯主干发育及增重效率，忽视了胸宽躯体横向发育性状的选育。后续可针对性加强胸宽性状的辅助选择，平衡躯体横向与纵向发育，进一步提升群体躯体匀称度与产肉性能。

3.3　体尺对体重的通径作用解析

通径分析可剔除性状间相互干扰，精准揭示各指标对体重的真实作用[18]。本研究通径分析显示，胸围对体重的直接通径系数最大（0.428），为影响体重的首要直接因子；体长直接效应次之，且通过胸围的间接效应极强（0.326），总效应最高（0.641），表明体长与胸围联合选择可最大程度提升体重选择效率。胸宽直接效应微弱（0.112），以间接效应为主，单独选择对体重改良效果有限；体高、管围直接效应中等，可作为辅助选择指标。该结果与解玉静等[6]在山东大尾寒羊以及王许等[11]在新疆多胎细毛羊中的研究结论一致，印证了胸围、体长在绵羊体重选育中的核心地位。相较于简单相关性分析，通径分析能够有效区分直接作用与间接连锁作用，规避性状间相关掩盖真实遗传效应的问题，可为选育

指标的主次筛选提供量化依据。本研究证实胸围是影响体重的核心直接性状，体长多通过联动胸围发育间接促进体重提升，二者存在显著的性状协同增益效应。而胸宽直接贡献率极低，说明该性状无法独立影响体重变化，仅能通过其他体尺性状的连锁发育产生微弱影响，单独选育无法达到增重效果。因此在实际育种中，应建立以胸围、体长为核心、体高与管围为辅助、胸宽为改良补充的多维选育体系，实现精准高效的定向选育。

3.4 体重回归预测模型的应用价值

本研究构建的多元回归模型决定系数 R^2=0.793，模型拟合效果较好，预测精度优于基于单一体尺性状的估重公式，在贵乾半细毛羊生产与育种工作中具备较高应用价值。在南方山地放牧条件下，养殖场点分散、地形崎岖，大型称重设备运输与布设难度大，传统逐只活体称重费时费力，难以开展常态化体重监测[19]。利用该模型，仅通过测定体长、胸围、胸深、管围等简易体尺指标即可快速估测活体体重，无需专用称重设备，显著降低现场测定的劳动强度。在育种工作中，可利用羔羊、育成羊早期体尺测量数据估测体重，实现生长性能早期预判，开展早期选种与个体淘汰，缩短育种世代间隔。在养殖生产中，依靠模型估测体重可实现羊群精准分群，依据不同体重梯度优化日粮配方与饲喂量，推行精细化饲养，减少饲料浪费，提高养殖经济效益。因此，该回归模型操作简便、预测结果稳定，适配南方山地放牧的生产特点，可为贵乾半细毛羊的育种选择与标准化规模化饲养管理提供可靠技术支撑。

4 结 论

贵乾半细毛羊体重变异系数为 18.72%，表型变异丰富、选育潜力大，体尺变异偏低、体型稳定；体重与各体尺呈现出极显著正相关，胸围、体长是核心关联指标；通过通径分析表明，胸围对体重的直接作用最大，二者联合选择效果最优；构建的体重预测模型 R^2=0.793，拟合效果良好，可用于快速估重与早期选种；优先测定胸围、体长，能高效选种，为其遗传改良与产业发展提供支撑。后续可进一步拓展不同性别、月龄群体研究，完善全周期预测模型，结合分子标记技术解析遗传机制，助力贵乾半细毛羊精准遗传改良。

参 考 文 献

[1] 曹熠，宋德荣，邱家陵，等. 贵乾半细毛羊培育历程与养殖利用现状[J]. 草学，2023(3)：77-80.

[2] 郭振刚，吴瑛，吴萍，等. 贵州半细毛羊胚胎移植效果[J]. 贵州农业科学，2021，49(10)：78-82.

[3] 李发弟，王维民，乐祥鹏，等. 肉羊种业的昨天、今天和明天[J]. 中国畜牧业，2021(13)：29-33.

[4] 孙丽侠，卢曾奎，袁超，等. 藏绵羊体重与体尺线性回归及相关性分析[J]. 中国畜牧杂志，2024，60(11)：226-231.

[5] 施海娜，张瑞，耿智广，等. 南湖羊体重与体尺指标的相关性、聚类和主成分分析[J]. 中国畜禽种业，2025，21(8)：42-53.

[6] 解玉静，马菁菁，赵铭欣，等. 山东大尾寒羊体重和体尺的相关性研究[J]. 中国畜牧杂志，2022，58(4)：150-154.

[7] 陈京哲，马艾兵，郝婷婷，等. 陕北白绒山羊体重与体尺性状的相关性分析[J]. 养殖与饲料，2026，25(9)：11-17.

[8] 刘江，吴萍，彭华. 饲粮精粗比对贵乾半细毛羊生长性能、血清生化指标、瘤胃发酵参数及经济效益的影响[J]. 饲料研究，2026，49(7)：14-18.

[9] 郭振刚，吴瑛，吴蕊汝，等. 微量元素舔砖对选育后贵州半细毛羊生产性能、屠宰性能及肉质性能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医，2019(22)：38-41.

[10] 聂富美，李雪，任一帆，等. 青海藏羊生长曲线的拟合与分析[J/OL]. 中国畜牧杂志，1-9[2026-09-30]. https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20251113-02.

[11] 王许，哈尼克孜·吐拉甫，石刚，等. 新疆地区多胎细毛羊体重与体尺指标的相关性、通径与回归分析[J]. 黑龙江畜牧兽医，2024(14)：37-40.

[12] 梁金鑫，苑志宇，罗新惠，等. 家畜高通量体尺测量及体重预估技术研究进展[J]. 中国畜牧兽医，2025，52(2)：749-758.

[13] 景斌，张启洋，汪春光，等. 滩羊体尺和体重性状的遗传参数分析及育种值估计[J]. 中国畜牧杂志，2026，62(6)：220-227.

[14] Chaudhary V N，Singh R R，Joshi C P，et al. Post-natal growth trends: evaluating the correspondence between body measurements and weight in Surti goat kids[J]. Journal of Scientific Research and Reports，2026，32(2)：1-10.

[15] Qin Q，Dai D L，Zhang C Y，et al. Identification of body size characteristic points based on the Mask R-CNN and correlation with body weight in Ujumqin sheep[J/OL]. Frontiers in Veterinary Science，2022，9：995724. http://doi.org/10.3389/FVETS.2022.995724.

[16] 毛静艺，张梦华，刘桂芬，等. 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.

[17] 何翀. 基于深度学习的羊只体尺体重获取方法研究[D]. 西北农林科技大学，2024：9.

[18] 段泽鹏，阿骄阳，姚锰，等. 西藏噶尔县藏羊体重与体尺性状的相关性及回归分析[J/OL]. 中国畜牧杂志，1-9[2026-09-17].

[19] 孙迎港，夏德翠，王国春，等. 农区家庭羊场多羔肉羊养殖模式和方法[J]. 养殖与饲料，2024，23(10)：54-57.

【责任编辑：赵琳琳】