

内蒙古绒山羊不同毛被类型遗传参数估计及遗传进展研究

李学武 王瑞军* 王志英 李宏伟 王振宇 苏蕊 张燕军 刘志红 李金泉

(内蒙古农业大学 动物科学学院/动物遗传育种与繁殖自治区重点实验室/农业部肉羊遗传育种重点实验室/
内蒙古自治区山羊遗传育种工程技术研究中心,呼和浩特 010018)

摘要 为研究内蒙古绒山羊不同毛被类型遗传,收集内蒙古白绒山羊种羊场 1990—2014 年间 54 044 只绒山羊毛长(自然长度)的重复数据记录,按照不同羊毛长度将绒山羊分为三个类型:短毛型(≤ 13 cm,SSL)、中间型(13 cm $<$ 羊毛长度 ≤ 22 cm,ISL)和长毛型(> 22 cm,LSL)。对毛长进行基本统计分析,发现内蒙古绒山羊个体之间的羊毛长度存在很大的差异,毛长度在 5~34 cm 之间,而且毛长的分布规律基本符合正态分布。采用 WOMBAT 软件的 AIREML 算法进行方差组分分析和遗传参数估计。结果表明短毛型、中间型和长毛型的遗传力分别是 0.11、0.16 和 0.22,长毛型的遗传力高于短毛型和中间型,并且短毛型和中间型属于低遗传力,而长毛型属于中等遗传力。从遗传进展上看,三种类型的遗传趋势相一致,总体上呈上升趋势,并且三种类型毛长的平均育种值每年分别增加 0.005 9、0.011 3 和 0.014 1 cm。研究表明长毛型的遗传进展比中间型和短毛型的遗传进展快,所以选择长毛型的绒山羊可以加速毛长遗传进展,为与其相关的重要经济性状间接选择奠定理论基础。

关键词 绒山羊; 毛长; 遗传参数; 遗传进展

中图分类号 S827

文章编号 1007-4333(2018)04-0053-07

文献标志码 A

Estimation of genetic parameters and research on the genetic progress of different staple length Inner Mongolian Cashmere goats

LI Xuewu, WANG Ruijun, WANG Zhiying*, LI Hongwei, WANG Zhenyu,
SU Rui, ZHANG Yanjun, LIU Zhihong, LI Jinquan

(College of Animal Science/Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Inner Mongolia Autonomous Region/
Key Laboratory of Mutton Sheep Genetics and Breeding of Ministry of Agriculture/Engineering Research Center for Goat Genetics and
Breeding of Inner Mongolia Autonomous Region, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract The repetitive data of staple length (natural length) of 54 044 Inner Mongolia White Cashmere goats from 1990 to 2014 were collected in a breeding farm. The staple length of Inner Mongolian Cashmere goats were divided into three types: Short-staple length (≤ 13 cm, SSL), intermediate-staple length (> 13 cm and ≤ 22 cm, ISL) and long-staple length (> 22 cm, LSL). After the basic statistical analysis of different hair length, it was found that there were significant differences in staple length among Inner Mongolia Cashmere goats. The staple length was ranged from 5 to 34 cm, and the distribution of staple length was consistent with the normal distribution. The average information restricted maximum likelihood (AIREML) method in a multivariate animal model on wombat software was used to analyze variance components and estimate the genetic parameters to reveal the staple length genetic regularity. The result showed that: the heritability of SSL, ISL and LSL were 0.11, 0.16 and 0.22, respectively. The heritability of LSL was highest in three types. And the heritability of SSL and ISL belong to the low heritability, while the heritability of LSL was the moderate heritability. The genetic trends of all three types' staple length were consistent in both genetic

收稿日期: 2017-07-03

基金项目: 国家绒毛细羊现代农业产业技术体系(CARS-40-05); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303059); 内蒙古自治区计划项目

第一作者: 李学武, 博士研究生, E-mail: nmgndlxw@163.com

通讯作者: 王瑞军, 助理研究员, 主要从事绒山羊遗传育种研究, E-mail: nmgwj@126.com

progress and genetic progress. The result showed that LSL was most stable in the genetic progress. Genetic trends for SSL (0.005 9 cm/year), ISL (0.011 3 cm/year) and LSL (0.014 1 cm/year) was positive during the period of breeding. The genetic progress of the LSL3 was the fastest among three types. So, selecting of LSL3 could accelerate genetic progress. And this study lay the theoretical foundation for the indirect selection in other important economic traits

Keywords Cashmere goats; staple length; genetic parameters; genetic change

内蒙古绒山羊是经过长期自然选择和人工选育而成的优良绒肉兼用型地方品种,其羊绒因纤细、柔软、洁白、富有弹性而闻名中外。内蒙古绒山羊主要分布于二郎山地区、阿尔巴斯地区和阿拉善左旗地区,按其产地分为二郎山型、阿尔巴斯型和阿拉善型。内蒙古绒山羊的毛被主要是由初级毛囊产生的羊毛和次级毛囊产生的羊绒组成,其绒毛生长是一个复杂的生理过程,受遗传和环境因素共同影响^[1],羊绒生长具有明显的季节性,但是羊毛没有明显的季节性生长和脱落^[2]。在实际生产中发现内蒙古绒山羊的毛长(自然长度)在个体间存在较大的差异,而且不同毛长的个体在产绒量、绒长、体重等重要经济性状之间也存在差异。李金泉等^[3]发现羊绒和羊毛具有较强的相关性,这种相关性不仅表现在表型相关,还存在较高的正遗传相关(0.51~0.69)。不同羊毛长度对羊毛强度具有不同影响,而且毛长性状在不同年龄其遗传力也不同^[4-6]。因此,在实际生产中可以将毛长作为选择性状对其他重要经济性状进行间接选择。所以依据羊毛长度不同而将绒山羊群体分为三种类型,即短毛型(≤ 13 cm, SSL)、中间型(13 cm $<$ 且 ≤ 22 cm, ISL)和长毛型(> 22 cm, LSL),并且经过显著性检验得出每种类型的毛长对其他抓绒性状均存在显著性影响^[7]。由于羊绒具有较高的经济价值,目前,绒山羊研究中主要集中在羊绒的研究^[8-10],而绒山羊羊毛的研究甚少。因此,本研究拟利用传统数量遗传学的方法对羊毛进行系统性研究,揭示其绒山羊羊毛的遗传规律,以期为绒山羊羊毛的进一步研究奠定一定的理论基础,同时为绒山羊的选种选育提供科学依据,更好的实现与其相关的重要经济性状进行间接选择。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于内蒙古白绒山羊种羊场 1990—2014 年 54 044 只绒山羊毛长的数据记录,该羊场采用分群放牧饲养管理。每年 10 月份利用人工授精方法实施统一配种,并记录配种数据。5 月份开始

抓绒,并记录毛自然长度(毛长),所以该羊场的毛长数据和系谱数据记录完整详实。

1.2 统计分析

1.2.1 毛长的基本统计分析

将 1990—2014 年毛长的重复记录数据利用 Excel 进行初步整理,用于统计分析。并对历年毛长的平均值、最大值和最小值进行趋势分析。

1.2.2 不同毛被类型的基本统计分析

将 1990—2014 年毛长的重复记录数据利用 Excel 按照不同毛被类型分为三种类型,即短毛型(≤ 13 cm, SSL)、中间型(13 cm $<$ 且 ≤ 22 cm, ISL)和长毛型(> 22 cm, LSL),并按其进行初步整理,用于统计分析。

1.3 不同毛被类型的遗传参数评估

利用 SAS 9.0 的 GLM 程序确定各性状的固定效应,本研究考虑的固定效应包括测定年份、群、个体年龄、母羊年龄、出生类型(单羔/双羔)和性别。而且在随机效应当中除个体加性效应和个体永久环境效应之外,根据先前的研究发现^[11-12],母体加性效应和母体永久环境效应仅对早期生长性状有影响^[13],对其他抓绒性状和绒毛品质性状没有影响。因此,综合固定效应和随机效应得出模型如下:

$$y = Xb + Za + Wp + e$$

式中: y 是性状观察值; b 是固定效应; a 是个体加性效应, p 永久环境效应。 X, Z, W 分别是固定效应、个体加性效应、永久环境效应对应的结构矩阵, e 是随机残差效应。然后,利用 WOMBAT 软件的平均信息约束最大似然法(AIREML),采用多性状重复力模型进行方差组分和遗传参数估计。

2 结果与分析

2.1 历年毛长的变化趋势

毛长描述性统计结果见表 1。通过对内蒙古绒山羊毛长的历年表型值进行统计分析,发现毛长随着测定年份的增加在逐步增加,并且毛长的变异系数和标准差也在逐年增加。与 1990 年相比,2014

年羊毛长度增加了 3.05 cm,标准差增加了 1.71,变异系数则增加了 5.88%。

最大值、最小值和平均值变化趋势见图 1。毛长的平均值和最大值随着选育时间的增加呈上升趋势,但是毛长的最小值没有显著变化。不同毛被类

型的毛长描述性统计结果见表 2。内蒙古绒山羊主要分布在中间型,长毛型的数量较少,短毛型居中。变异系数和标准差随着毛长的增加逐渐减小,长毛型的标准差和变异系数最小。由此可知,通过选育可以提高羊毛长度。

表 1 毛长的基本统量

Table 1 Basic statistics of staple length

年份 Year	计数 Counts	平均值/cm Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	年份 Year	计数 Counts	平均值/cm Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
1990	1 909	14.80	3.27	22.09	2003	2 488	17.30	3.72	21.50
1991	1 792	15.75	3.61	22.92	2004	2 657	15.89	4.27	26.87
1992	1 923	15.21	3.66	24.06	2005	2 681	16.64	4.54	27.28
1993	1 841	14.96	4.59	30.68	2006	2 228	15.10	4.34	28.74
1994	1 779	15.32	4.33	28.26	2007	2 279	16.63	4.62	27.78
1995	1 568	15.87	4.10	25.83	2008	2 259	16.59	3.98	23.99
1996	2 061	16.35	3.58	21.90	2009	2 385	16.46	4.44	26.97
1997	2 123	17.30	3.53	20.40	2010	2 113	14.26	5.33	37.38
1998	2 272	17.96	3.53	19.65	2011	2 398	14.34	4.65	32.43
1999	2 173	16.90	3.55	21.01	2012	2 023	18.80	4.50	23.94
2000	2 546	17.01	3.73	21.93	2013	2 334	18.24	4.90	26.86
2001	1 946	17.55	4.54	25.87	2014	2 056	17.85	4.98	27.90
2002	2 210	18.27	4.36	23.86					

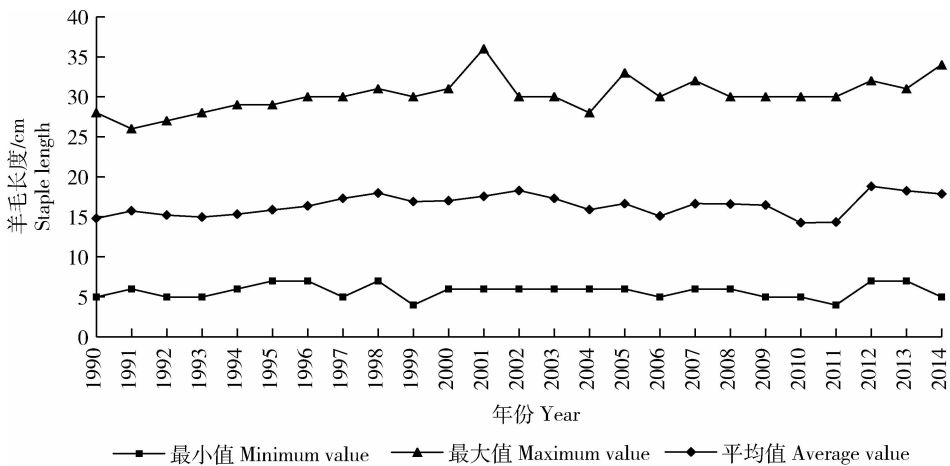


图 1 历年毛长的最大值、最小值和平均值的变化

Fig. 1 Changes of the maximum, minimum and average of staple length during 1990-2014

表2 不同毛被类型的毛长基本统计量

Table 2 Basic statistics of the length of different staple types

性状 Trait	计数项 Counts	平均值/cm Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	第1次重复 测量比/% Second repetitive measurement ratio	第2次重复 测量/% Third repetitive measurement ratio	第3次重复 测量比/% Fourth repetitive measurement ratio
短毛型 SSL	12 878	10.29	2.00	19.66	81.92	77.72	75.73
中间型 ISL	37 281	17.84	2.23	12.50	89.32	78.76	70.07
长毛型 LSL	3 885	24.62	1.80	7.31	94.77	77.48	48.66

2.2 遗传评估结果

不同毛被类型的固定效应分析结果见表3。结果表明不同毛被类型的固定效应有所差别,测定年份、群和个体年龄对毛长影响极显著,母羊年龄对短

毛型的毛长影响显著,对其他2个类型的毛长影响不显著,出生类型对中间型的影响极显著,对短毛型和长毛型影响不显著,性别对各种类型的毛长影响均不显著。

表3 不同毛被类型毛长的固定效应

Table 3 Fixed effects for different types of staple length

性状 Trait	测定年份 Year	群 Herd	个体年龄 Individual age	母羊年龄 Ewes age	出生类型(单羔/双羔) Birthtype single lamb/double lamb	性别 Sex
短毛型 SSL	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$
中间型 ISL	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P > 0.05$	$P < 0.01$	$P > 0.05$
长毛型 LSL	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$

注: $P < 0.01$ 表示差异极显著; $P < 0.05$ 表示差异显著; $P > 0.05$ 表示差异不显著。

Note: $P < 0.01$ means extremely significant difference; $P < 0.05$ means significant difference; $P > 0.05$ means insignificant difference.

利用多性状重复力模型进行方差组分和参数估计,评估结果见表4和表5,由方差组分(表4)可以看出短毛型的加性效应最低,中间型和长毛型之间变化不大,中间型的表型方差最大。短毛型、中间型和长毛型的遗传力分别是0.11,0.16和0.22,短毛型和中间型属于低遗传力,长毛型属于中等遗传力。由

表5可发现各性状之间的遗传相关在0.59~0.98之间,属于高度正相关。表型相关较低,为0.05~0.17。遗传进展是根据每年新生个体的平均育种值计算获得,遗传进展结果见图2。从遗传进展来看,短毛型中间型的遗传进展一致,长毛型的遗传进展比中间型和短毛型快,短毛型的遗传进展最慢。

表 4 不同毛被类型的各性状方差组分估计

Table 4 Estimates of variance components for each trait in different staple length

性状 Trait	σ_a^2	σ_p^2	σ_e^2	$h_T^2 + SE$
短毛型 SSL	0.40	3.61	2.32	0.11±0.02
中间型 ISL	0.73	4.43	2.92	0.16±0.01
长毛型 LSL	0.63	2.84	2.42	0.22±0.02

注： σ_a^2 ：性遗传效应方差； σ_p^2 ：表型方差； σ_e^2 ：环境效应方差；SE：标准误差。

Note: σ_a^2 , Direct additive genetic variance; σ_p^2 , phenotypic variance; σ_e^2 , residual variance; SE, standard error.

表 5 不同毛被类型遗传参数评估

Table 5 Evaluation of genetic parameters for different types of staple length

性状 Trait	短毛型 SSL	中间型 ISL	长毛型 LSL
短毛型 SSL	0.11±0.02	0.15±0.01	0.04±0.05
中间型 ISL	0.71±0.01	0.16±0.01	0.17±0.02
长毛型 LSL	0.59±0.02	0.98±0.01	0.22±0.02

注：对角线为遗传力，下三角为遗传相关，上三角为表型相关。

Note: The diagonal is heritability of each trait; Below diagonal is a genetic correlation; Above diagonal is a phenotypic correlation.

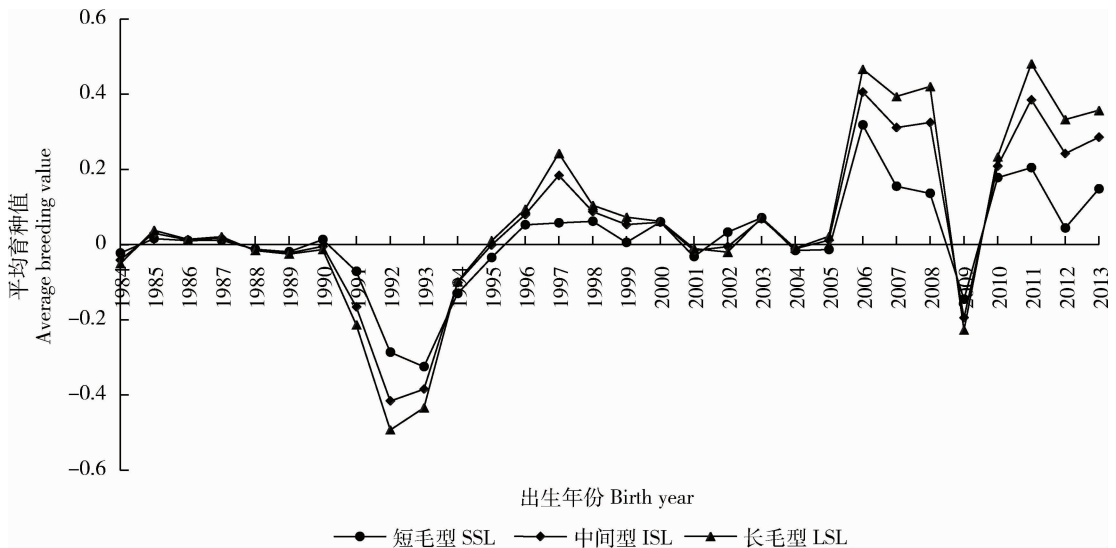


图 2 不同毛被类型毛长的遗传进展

Fig. 2 Genetic progress for the staple length of different types

3 讨论

3.1 毛长基本统计量分析

1990—2014 年毛长在逐步增加，标准差较小，由此说明随着年份的增加毛长的离散程度变化不大，变异系数的提高说明了毛长的提升潜力也在逐年增加，而且毛长的变异系数均在 20% 以上，说明毛长具有较高的提升潜力(表 1)。由图 1 可以看出随着选育时间的增加羊毛长度在逐渐增加，毛长的最小值没有明显的上升或下降规律，但是最大值和

平均值均呈线性上升趋势，说明毛长整体呈上升趋势。该羊场并没有将毛长纳入育种目标，但是在以产绒量、绒长和绒细等抓绒性状进行选种选育时，毛长也随之增加，可以推测毛长与其他性状存在连锁遗传或一因多效。由此推测，如果将毛长作为选育目标，根据毛长的表型分析可以对其他生产性状进行间接选择，以便减少数据测量，加快品种的遗传进展，同时也减少数据测量和育种过程中的资金消耗。

内蒙古绒山羊毛长的主要分布在中间型，长毛型的数量较少，长毛型的标准差最小，说明长毛型的

分布比较集中(表2)。变异系数和标准差随着毛长的增加逐渐减小,说明长毛型受环境影响较小,虽然提升潜力没有短毛型高,但是遗传相对稳定,在后代表型中容易固定,有助于与其相关的重要经济性状选择。由上述可知长毛型毛长遗传相对稳定,受环境影响最小,中间型次之,短毛型遗传最不稳定,受环境影响最大。

3.2 遗传参数评估结果

不同毛被类型的固定效应有所差别,测定年份、群和个体年龄对毛长影响极显著,母羊年龄对短毛型的毛长影响显著,对其他两种类型的毛长影响不显著,出生类型对中间型的影响极显著,对短毛型和长毛型影响不显著,性别对各种类型的毛长影响均不显著(表3)。表明毛长受环境和个体加性效应影响较大,母体效应几乎没有影响。并且 Bai 等^[14]、Barazandeh 等^[15]和 McGregor 等^[16]的研究也发现母体效应对羊毛长度几乎没有影响,经整理和计算得出不同毛被类型各性状的固定效应为测定年份、群和个体年龄。

短毛型毛长的加性效应最低,中间型和长毛型的加性遗传效应差别不大,推测短毛型的毛长性状在遗传过程中微效基因效应低于中间型和长毛型(表4)。中间型的表型方差最大,短毛型次之,长毛型表型方差和残差最小,说明长毛型比其他两个性状的遗传相对稳定,受环境影响较小。由表5可知不同毛被类型的遗传参数估计值不同,短毛型、中间型和长毛型的遗传力分别是0.11、0.16和0.22,均属于中等遗传力,本研究的结果与 Wang Z 等研究^[17]和 Di 等^[18]的研究结果相似(0.28和0.17),但是稍低于与白俊燕等^[19]和 Visser 等^[20]的研究结果(0.31和0.30),这可能是由于品种、数据结构和数据大小不同引起的。长毛型的遗传力高于其他两种类型,说明长毛型的遗传进展较快。由于毛长是由微效多基因控制的,可以推测长毛型的微效多基因高于其他2个性状。而且这3种类型存在高度正遗传相关,尤其是中间型和长毛型之间的遗传相关达到0.98,并且3种类型的表型相关较低(0.04~0.17),说明在育种过程中选择任意一种类型,另一种类型出现的概率相当高,所以在选育过程中值得注意。已有研究发现长毛型个体的后代会出现3种类型,但是短毛型个体的后代不会出现长毛型,所以通过对长毛型的选择可以提高后代的表型值。由图6可以看出不同毛被类型的遗传趋势是一致的,

但是随着毛长的增加遗传进展越来越快,即选择长毛型的可以加速毛长的遗传进展。毛长与绒长的遗传相关为正遗传相关(0.11),说明绒长随着毛长的增加而增加,通过选择长毛型的个体留种可以提高羊绒长度^[21]。并且在实际生产中也发现长毛型的平均绒长高于短毛型和中间型羊绒长度。已有研究表明绒长与产绒量之间存在正遗传相关(0.36),所以通过毛长提高绒长会间接的提高产绒量,即对不同毛被类型进行研究有助于生产实践^[22]。羊毛与羊绒长度存在中等正遗传相关(0.21),但是与羊绒细度存在低的负遗传相关(-0.02),所以通过羊毛的选择可能提高绒长,降低绒细,从而提高羊绒质量。通过对不同毛被类型的参数估计,从而对其他重要经济性状进行间接选择^[23]。利用毛长对其他经济性状进行间接选择在育种过程中比较容易,加速遗传进展,而且会降低测量其他性状表型值时所消耗的人力和资金。

4 结论

不同毛被类型的遗传力不同,长毛型遗传力最高,遗传相对稳定,受环境影响小于短毛型和中间型,在育种过程中长毛型性状容易固定。从遗传进展上看,长毛型遗传进展较快,即选择长毛型的可以加快毛长的遗传进展,为与毛长相关的重要经济性状的间接选择奠定理论基础。

参考文献 References

- [1] 刘宪明. 影响山羊绒毛品质的五个因素[J]. 养殖技术顾问, 2014(2):28-28.
Liu X M. The influences Cashmere wool quality in five factors [J]. *Aquaculture Technical Advisor*, 2014(2): 28-28 (in Chinese)
- [2] Paula R C D, Borges R D C G, Pires I E, Barros N F D, Cruz C D. Estimation of genetic parameters in half-sib families of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. I. growth characteristics and basic wood density[J]. *Revista Arvore*, 1996;309-317
- [3] 李金泉,王峰,尹俊,刘少卿,张永斌,赵从发,乌兰巴特尔. 内蒙古白绒山羊若干数量性状遗传参数的研究[J]. 遗传, 2001,23(3):211-216
Li J Q, Wang F, Yin J, Liu S Q, Zhang Y B, Zhao C F, Wulanbateer. Studies on genetic parameters of quantitative traits in Inner Mongolia White Cashmere goats[J]. *Hereditas*, 2001,23(3):211-216 (in Chinese)
- [4] Greeff J C, Schlink A C, Villalobos N L. Genetic parameters for staple strength and coefficient of variation of fibre diameter in

- Merino wool of different staple length[C]. In: *Proceedings of the Twentieth Conference of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, 2013, Napier, Translating Science into Action, 2013; 393-396
- [5] Feng M. Estimation of genetic parameters for main wool traits in Keerqin Fine Wool sheep[J]. *Animal Husbandry & Feed Science*, 2014(5): 285-286
- [6] 刘海英, 贾志海, 岳春旺, 于玲玲, 贾存灵, 朱晓萍. 内蒙古白绒山羊年龄与绒毛生产性能的关系[J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12(3): 37-40
- Liu H Y, Jia Z H, Yue C W, Yu L L, Jia C L, Zhu X P. Research of relation between age and production characters of cashmere in Inner Mongolia White Cashmere goats[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2007, 12(3): 37-40 (in Chinese)
- [7] 娜清. 内蒙古绒山羊不同毛被类型遗传规律及其对重要经济性状影响的研究[D]. 呼和浩特市: 内蒙古农业大学, 2016
- Na Q. Genetic pattern of different types of hair coat in Inner Mongolia Cashmere goats and their effect on important economic traits [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [8] Wang Z Y, Wang Z X, Liu Y, Wang R J, Zhang Y J, Su R, Li J Q. Genetic evaluation of fiber length and fiber diameter from Inner Mongolia White Cashmere goats at different ages[J]. *Small Ruminant Research*, 2014, 123(1): 22-26
- [9] Dai S C, Wang C X, Wang Z Y, Wang Z X, Zhang Y J, Na Q, Li J Q. Inbreeding and its effects on fleece traits of Inner Mongolia cashmere goats[J]. *Small Ruminant Research*, 2015, 6(5): 2938-2942
- [10] Celi R, Totoda F, Facciolongo A M, Zarrilli A, Marsico G. Cashmere production from Scottish Cashmere kids and crossbreed Scottish Cashmere Jonica kids[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2016, 8(4): 647-662
- [11] Bai J Y, Jin-Quan L I, Jia X P, Zhang Q, Dao J E. Influence of maternal genetic effect on genetic parameter estimates of production traits of Cashmere goat[J]. *Hereditas*, 2006, 28(9): 1083-6
- [12] Momen S S. Cashmere quality of Raeini goats kept by nomads in Iran[J]. *Small Ruminant Research*, 2012, 104(1-3): 10-16
- [13] Abbasi M A, Abdollahi-Arpanahi R, Maghsoudi A, Torshizi R V, Nejadi-Javaremi A. Evaluation of models for estimation of genetic parameters and maternal effects for early growth traits of Iranian Baluchi sheep[J]. *Small Ruminant Research*, 2012, 104(1-3): 62-69
- [14] Bai J, Zhang Q, Li J, Dao J E, Jia X P. Estimates of genetic parameters and genetic trends for production traits of Inner Mongolian White Cashmere goat [J]. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2006, 19(1): 13-18
- [15] Barazandeh A, Moghbeli S M, Vatankhah M, Mohammadabadi M. Estimating non-genetic and genetic parameters of pre-weaning growth traits in Raini Cashmere goat [J]. *Tropical Animal Health & Production*, 2012, 44(4): 811-817
- [16] McGregor B A, Butler K L. Indices for the identification of biologically productive cashmere goats within farms[J]. *Small Ruminant Research*, 2015(129): 11-17
- [17] Wang Z Y, Wang R J, Li J Q, Zhang W G, Wurlilga, Liu Z H, Zhou J, Wei Y L, Meng R Q, Zhang Y J. Modeling genetic covariance structure across ages of fleece traits in an Inner Mongolia Cashmere goat population using repeatability and multivariate analysis[J]. *Livestock Science*, 2014, 161(3): 1-5
- [18] Di J, Ainiwaer L, Xu X M, Zhang Y H, Yu L J, Li W C. Genetic trends for growth and wool traits of Chinese super fine Merino sheep using a multi-trait animal model [J]. *Small Ruminant Research*, 2014, 117(1): 47-51
- [19] 白俊艳. 应用动物模型 BLUP 和 DFREML 对内蒙古白绒山羊遗传评定和遗传参数估计的研究[D]. 呼和浩特市: 内蒙古农业大学, 2002
- Bai J Y. Using of animal model BLUP and REML estimated genetic evaluation and genetic parameters for Inner Mongolia Cashmere goats [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2002 (in Chinese)
- [20] Visser C, Snyman M A, Marle-Köster E V, Bovenhuis H. Genetic parameters for physical and quality traits of mohair in South African Angora goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2009, 87(1-3): 27-32
- [21] Wang Z, Wang R, Zhang W G, Wang Z X, Wang P Y, Liu H, Gao L X, Bai K, Meng R Q, Zhou J, Zhang Y J, Li I Q. Estimation of genetic parameters for fleece traits in yearling Inner Mongolia Cashmere goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2013, 109(1): 15-21
- [22] Zhou H M, Allain D, Li J Q, Zhang W G, Yu X C. Genetic parameters of production traits of Inner Mongolia Cashmere goats in China [J]. *Journal of Animal Breeding & Genetics*, 2002, 119(6): 385-390
- [23] 李学武, 王瑞军, 王志英, 娜清, 李宏伟, 王振宇, 苏蕊, 张燕军, 李金泉, 刘少卿. 内蒙古绒山羊抓绒性状的遗传参数及遗传进展估计的研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2017(1): 117-120
- Li X W, Wang R J, Wang Z Y, Na Q, Li H W, Wang Z Y, Su R, Zhang Y J, Li J Q, Liu S Q. Study on the estimation of genetic parameters and genetic progress for fleece traits of Inner Mongolian Cashmere goats [J]. *Heilongjiang Animal Science & Veterinary Medicine*, 2017 (1): 117-120 (in Chinese)