



基因组选择技术在羊育种中的应用研究

冯娜¹, 刘小东¹, 刘柯柯¹, 张冬冬¹, 苗晓茸¹, 李宜璇²

(1. 榆林市羊产业发展中心, 陕西榆林 719000; 2. 渭南市富平县宫里镇人民政府, 陕西渭南 714000)

摘要:随着分子生物技术的发展, 在2001年有一种新型动物育种方法——基因组选择出现, 此项技术弥补了传统育种的不足, 具有缩短世代间隔、降低育种成本等优势。羊养殖作为畜牧产业中的重要组成部分, 育种困难是当前亟须解决的难题。因此, 本文综述了基因组选择的原理、方法及基因分型的方法, 同时总结了基因组选择技术在羊育种方面的应用以及该技术在应用中面临的挑战, 以期为之后羊育种研究提供理论参考。

关键词:基因组选择; 羊; 育种; 应用研究

[中图分类号] S813.2 [文献标志码] A [文章编号] 1004-6704(2025)-02-0103-04

Application of Genome Selection Technique in Sheep Breeding

FENG Na¹, LIU Xiaodong¹, LIU Keke¹, ZHANG Dongdong¹, MIAO Xiaorong¹, LI Yixuan²

(1. Sheep Industry Development Center of Yulin City, Yulin, Shaanxi 719000, China;

2. Gongli Town People's Government Fuping County, Weinan, Shaanxi 714000, China)

Abstract: With the development of molecular biotechnology, a new animal breeding method—molecular breeding came into being in 2001. This technology makes up for the shortcomings of traditional breeding methods, and has the advantages of shortening generation interval and reducing breeding cost. As an important part of animal husbandry industry, sheep breeding faces urgent problem that urgent solution. Therefore, this paper reviewed the principles, algorithms and genotyping methods of genome selection, and summarized the application of genome selection technology in sheep breeding and the challenges faced during its application, aiming to provide theoretical reference for future research in sheep breeding.

Key words: genome selection; sheep; breeding; applied research

随着科技的发展和人们生活水平的提高, 传统的畜产品品种已不能满足当前的饮食需求, 逐渐出现了品种引进和品种杂交的现象, 一定程度上造成了本土畜禽品种遗传资源的丢失, 同时获得的培育品种的品质也不尽如人意。随着分子生物技术的快速发展, 2001年基因组选择(genomic selection, GS)或称全基因组选择(whole selection, WGS)问世, 该技术是指覆盖参考群体全基因组高密度单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)标记的技术, 可以打破传统育种弊端, 增加育种准确

度, 为羊育种工作的顺利进行提供了一定的技术支撑^[1]。因此, 本文综述了GS的原理、方法及基因分型的方法, 同时总结了基因组选择技术在羊育种方面的应用以及该技术在应用中存在的问题, 以期为之后羊育种研究提供理论参考。

1 基因组选择

1.1 GS的原理

GS技术主要通过对覆盖全基因组范围的遗传标记进行检测, 利用得到的遗传信息从基因组水平出发, 对畜禽个体不同性状进行基因组估计育种值(genomic estimated breeding value, GEBV), 通过GS确定的数量性状基因座(quantitative trait loci, QTL)能够更准确的估计育种值(estimated breed-

ing value, EBV)(图 1), 从而促进育种工作^[2]。目前, 在畜禽育种工作中, GS 主要把群体分成参考群体和候选群体, 参考群体一般具有系谱、表型和基因型记录信息, 而候选群体一般是只有基因型的个体^[3]。

1.2 基因分型方法

基因分型一般是指通过生物学实验检测个体 DNA 的过程, 当前常用的基因分型方法包括基因芯片、全基因组重测序和简化基因组测序等方法, 详见表 1^[4]。

1.3 GS 的方法

针对不同畜禽的不同性能, GS 有不同的方法, 目前, 在羊的育种中统计方法主要有传统法(直接法、间接法)和新起之秀机器学习法(表 2)^[5]。

2 GS 在羊育种中的应用

当前, 羊产业的发展主要受到羊只良种化程度不高、生长速度缓慢和繁殖率较低等问题的限制, 同时, 羊只自身个体经济效益较低, 这些问题均阻碍了 GS 技术在羊育种方面的应用。因此, 目前亟须应用 GS 技术, 进一步提高羊只产奶性能、繁殖性能、羊毛性能、肉用性能和抗病性能(表 3), 为畜牧业的

可持续发展带来积极影响。

3 GS 在羊育种中存在的问题与展望

目前, GS 在畜禽育种中得到了一定的应用, 但是在实践的过程中仍存在一些问题, 首先, 中国羊品种较多, 育种目标多样性, 但有关羊的育种基础研究较薄弱, 为加快 GS 育种研究进程, 需进一步建立良好的参考群体、选择更优的算法和选择优质的预测模型。其次, GS 技术育种试验中遗传参数和预测模型存在一定的不确定性和误差, 为进一步提高育种的准确性, 需进一步研究和积累更多畜禽育种情况。最后, 随着芯片技术的快速发展, GS 技术在预

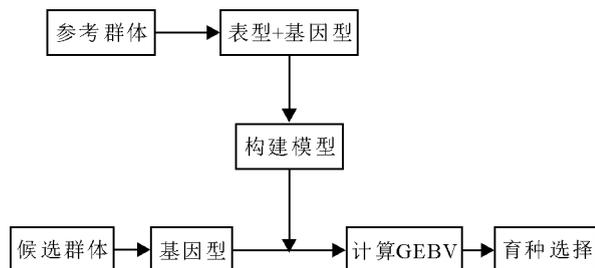


图 1 全基因组选择流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of whole genome selection process

表 1 基因分型方法

Table 1 Genotyping methods

类别	基因芯片	全基因组测序	简化基因组测序
原理	主要通过 在固体支持物上设置成千上万的核酸探针, 把检测样品置于芯片上进行杂交, 从而检测信号确定样品的遗传信息。	指对基因组已知的参考群体进行不同个体基因组测序的方法, 一般用于分析不同个体间的差异性。	指利用限制性内切酶切断基因组 DNA, 对特定的基因片段进行高通量测序从而获取大量遗传多态性序列, 以此代表目标群体全基因信息的测序方法。
特点	成本低、灵活性高, 在畜禽育种工作中被广泛应用。	结果准确可靠, 但其测序数据较大、检测周期长且费用较高。	步骤简单、成本较低、测序数据较小, 广泛应用于畜禽育种中。

表 2 基因组选择的方法

Table 2 Methods of genome selection

类别	直接法	间接法	机器学习法
原理	通过对参考和候选群体构建的亲缘关系矩阵求解混合模型方程组, 从而预测候选个体的 EBV。	通过在参考群体中估计标记 SNPs 效应值后, 把预测群体的基因型信息标记效应进行累加, 最后获取预测群体个体的 EBV。	ML 可有效解决传统育种方法不能解决的非线性问题、数组维度和更好捕捉数据相关性, 能够灵活适应不同数据类型和模型复杂度。
代表方法	GBLUP 和 ssGBLUP	BayesA、BayesB、BayesC、rrBLUP、BayesCπ、BayesDr、BayesLASSO、BayesR	随机森林、提升、支持向量机、神经网络
特点	计算效率较高, 受主观因素影响较大, ssGBLUP 方法的检测准确性更高。	计算准确性较高, 计算量庞大, 使用统计算法不同, 计算速度、难度和估计育种值结果均不相同。	允许大于样本大小的变量数量, 可全面捕捉基因型和表型之间的潜在关系, 使预测变量更具灵活性和适应性。

表 3 基因组选择在羊育种中的应用
Table 3 Application of genome selection in sheep breeding

性能	研究内容	作者
产奶性能	研究细胞因子信号转导抑制因子 2(SOCS2)(影响绵羊泌乳、生长和体细胞评分)发现,基于 54K 芯片的基因分型准确度提高约 14%;而在没有芯片的条件下,该基因的基因分型仅提高约 6%。	Oget 等 ^[6]
	利用 Illumina 55K 芯片对 500 多只母山羊和 80 多只公山羊进行基因分型,结果显示,相比于 BLUP 方法,ssGBLUP 估计的准确性增加 1.06%。	Molina 等 ^[7]
	利用 Illumina Goat SNP 50 BeadChip 对约 500 只萨能山羊进行基因分型,ssGBLUP 方法的准确度增加 3%。	Teissier 等 ^[8]
繁殖性能	运用 Caprine 对 900 多只萨能山羊进行基因分型,采用 3 种方法比较山羊产奶量等的基因组预测准确度,结果显示,GBLUP 方法更可靠、合适。	Sousa 等 ^[9]
	利用 HD 600K SNP 芯片对绵羊杂交群体进行基因分型,结果显示,胴体平均观测准确度为 0.28~0.55,肉质性状的准确度为 0.21~0.36,有助于种羊的育种分析。	Brito 等 ^[10]
	利用 GS 评估 1 岁母羊的生育率,通过对 1 岁的公羊和母羊进行基因组预测后选种选配,从而减少生产风险,增加育种收益。	Newton 等 ^[11]
羊毛性能	分析约 90 只中国家羊和 10 只澳大利亚家羊的全基因组测序数据,发现 HIRA SNP 显著影响绵羊的产仔数。	Zhou 等 ^[12]
	利用 GBLUP 方法预测绵羊毛毛性状的 GEBV 的平均准确度约 0.2,同时羊毛产量和羊毛纤维直径的 EBV 准确度大于 0.4,结果提高了改善羊毛性状的性能。	Bolormaa ^[13]
	通过 GWAS 对 1 岁细毛羊毛丛长度、净毛率、平均毛纤维直径和油汗毛重进行分析,结果检测到 14 个基因位于基因组显著 SNP 附近的±50 kb 区域。	Zhao 等 ^[14]
肉用性能	利用基因组 BLUP 算法研究美利奴羊的羊毛性状,结果显示准确度在 0.28~0.60 之间。	Zhu 等 ^[15]
	采用 Illumina Ovine SNP 50K 芯片基因分型结果表明,SOX18、ALX4、FGF1 和 LRP4 等基因与绵羊毛囊发育等有关。	雷志惠等 ^[16]
	对 46 只澳大利亚波尔山羊进行全基因组测序分析,结果显示 30 个候选基因与肌肉发育相关,178 个基因与血管平滑肌收缩有关。	Yang 等 ^[17]
疾病性能	对肋骨数正常的 36 只绵羊和肋骨数增多的 36 只湖羊进行全基因组检测,结果显示,三个同义突变基因与肋骨数量显著相关。	Zhang 等 ^[18]
	采用全基因组测序研究与湖羊眼肌面积有关的基因,结果显示,有 3 个基因中的 SNP 与肋眼面积显著相关。	Zhao 等 ^[19]
疾病性能	采用 GWAS 方法把绵羊大疱性表皮松懈症基因座定位到绵羊 11 号染色体上,为识别变异提供了适宜的选择。	Suarez-Vega 等 ^[20]
	对绵羊寄生虫抗性基因进行数据分析,GWAS 的预测准确度增加 5%。	Al Kalaldehy ^[21]
	采用 Ovine SNP50 BeadChip 对约 270 只绵羊进行基因分型,结果显示,绵羊胃肠道线虫感染的抗性性状的预测估计值为 0.03~0.46,基因组数据的参考明显能够提高育种预测的准确度。	Dos Santos ^[22]

处理、统计分析和关联分析等相关数据处理中的复杂性较大,同时,基因分型成本较高,缺乏足够的经济效益,一般育种者不会采用此技术^[23]。

总之,GS 技术可以增加畜禽育种的准确度、缩短世代间隔、减少育种成本,高效率地推动了畜禽育种工作。在羊育种方面,当前研究表明该技术可以进一步提高羊只产奶性能、繁殖性能、羊毛性能、肉

用性能和抗病性能。展望未来,GS 技术开启了羊育种技术的新领域,期待 GS 技术在羊育种中得到更广泛的应用,尤其是通过结合新起之秀机器学习等新技术来进一步提高遗传改良效率和育种水平,将有助于推动羊育种事业的可持续发展。总而言之,GS 技术将有望为羊育种带来更加显著的成果,一定会给育种领域带来深远的影响,进而促进中国

羊产业的长远发展。

参考文献:

- [1] 林秀蔚,韩永胜,王洪宝,等.动物分子育种技术在反刍动物育种中的研究进展[J].现代畜牧科技,2024(7):74-77.
LIN X W, HAN Y SH, WANG H B, et al. Research progress of animal molecular breeding techniques in ruminant breeding[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2024(7):74-77.
- [2] 贾宏霞,刘在霞,周乐,等.基因组选择在肉牛中的研究进展[J].畜牧兽医学报,2024,55(9):3 757-3 768.
JIA H X, LIU Z X, ZHOU L, et al. Research progress of genomic selection in beef cattle[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2024, 55(9):3 757-3 768.
- [3] 洪渊,阳文攀,陈梦会,等.基于 SNP 芯片猪早期选留的基因型填充效果研究[J].中国畜牧杂志,2024,60(8):300-303.
- [4] 刘继强,郝晓东,武丽娜,等.全基因组 SNP 分型技术在畜禽遗传育种研究中的应用[J].畜牧兽医学报,2022,53(12):4 123-4 137.
LIU J Q, HAO X D, WU L N, et al. Application of whole genome SNP genotyping technology in livestock and poultry genetics and breeding[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2022, 53(12):4 123-4 137.
- [5] 窦腾飞,吴嘉浩,吴姿仪,等.基因组选择和选配技术在猪育种中的应用[J].畜牧兽医学报,2024,55(7):2 795-2 808.
DOU T F, WU J H, WU Z Y, et al. Application progress of genomic selection and mating allocation techniques in pig breeding[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2024, 55(7):2 795-2 808.
- [6] 胡晓玉,肖成朋,高超群,等.基于全基因组 SNPs 标记对河南斗鸡遗传多样性及选择信号分析[J].河南农业大学学报,2024,58(3):394-402.
HU X Y, XIAO CH P, GAO CH Q, et al. Analysis of the genetic diversity and selection signals of Henan Game chicken using genome-wide SNPs[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2024, 58(3):394-402.
- [7] 倪世恒,王子轶,谢鑫峰,等.基因组选择技术在畜禽育种中的应用研究进展[J].中国畜牧杂志,2024,60(6):95-101.
NI SH H, WANG Z Y, XIE X F, et al. Advances in the application of genomic selection technology in livestock breeding[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(6):95-101.
- [8] 王欣,徐一亿,徐扬,等.作物全基因组选择育种技术研究进展[J].生物技术通报,2024,40(3):1-13.
WANG X, XU Y Y, XU Y, et al. Research progress in genomic selection breeding technology for crops[J]. Biotechnology Bulletin, 2024, 40(3):1-13.
- [9] 王海锋,李诚兰,岳耀敬.基因组选择在反刍动物中的应用与研究进展[J].中国草食动物科学,2024,44(1):38-42.
WANG H F, LI CH L, YUE Y J. Application and research progress of genome selection in ruminants[J]. China Herbivore Science, 2024, 44(1):38-42.
- [10] 史玉洁,李芳,王昕. CRISPR 技术应用于山羊和绵羊育种的研究进展[J].中国畜牧杂志,2022,58(4):16-21.
SHI Y J, LI F, WANG X. Research progress on application of CRISPR in goat and sheep breeding[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(4):16-21.
- [11] 石少磊,武丽娜,冯羿方,等.基因组检测技术在肉鸡遗传育种中的应用[J].中国畜禽种业,2023,19(12):122-128.
- [12] 王亦秋,姜自琴,王宇哲,等.全基因组 SNP 分型策略及基因组选择在畜禽中的应用[J].广东畜牧兽医科技,2023,48(5):1-6.
WANG Y Q, JIANG Z Q, WANG Y ZH, et al. Genomic-wide SNP genotyping methods and the application of genomic selection in livestock and poultry [J]. Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science, 2023, 48(5):1-6.
- [13] 邢生炎,黄永震,吕世杰,等.生物育种技术及其在畜禽育种中的应用研究进展[J].中国畜牧杂志,2024,60(3):57-65.
XING SH Y, HUANG Y ZH, LÜ SH J, et al. Research progress on biological breeding technology and its application in livestock and poultry breeding[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(3):57-65.
- [14] 邱奥,张梓鹏,王雪,等.猪 50K 液相芯片基因组选择效果分析[J].中国畜牧杂志,2022,58(8):82-86.
- [15] 刘继强,郝晓东,武丽娜,等.全基因组 SNP 分型技术在畜禽遗传育种研究中的应用[J].畜牧兽医学报,2022,53(12):4 123-4 137.
LIU J Q, HAO X D, WU L N, et al. Application of whole genome SNP genotyping technology in livestock and poultry genetics and breeding[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2022, 53(12):4 123-4 137.