

李娅兰, 吴珍芳, 蔡更元. 母猪繁殖力性状的特点及选择方法[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(S): 132-138.

LI Yalan, WU Zhenfang, CAI Gengyuan. The characteristics and selection methods of reproductive traits of sow[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(S): 132-138

母猪繁殖力性状的特点及选择方法

李娅兰¹, 吴珍芳^{1,2}, 蔡更元^{1,2}

(1 广东温氏种猪科技有限公司, 广东 新兴 527400;
2 国家生猪种业工程技术研究中心/华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642)

摘要:母猪的繁殖性能是影响养猪业经济效益的重要因素,提高母猪繁殖性能也是种猪育种者和肉猪生产者追求的目标之一。母猪的繁殖力性状既是低遗传力性状,又是限性性状,用传统的选择方法选择效果不明显。本文通过查阅国内外有关文献,对猪繁殖力性状的特点、影响因素以及繁殖性状选择方法进行了总结,并就提高种猪繁殖性能方法的优缺点进行探讨。基因组选择为猪繁殖性能的选育提供了新的方法和思路。

关键词:母猪;繁殖力性状;遗传特性;选择方法

The characteristics and selection methods of reproductive traits of sow

LI Yalan¹, WU Zhenfang^{1,2}, CAI Gengyuan^{1,2}

(1 Guangdong Wens Pig Breeding Technology Co., Ltd., Xinxing 527400, China; 2 National Engineering Research Center for Breeding Swine Industry/College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The reproductive performance of sow is an important factor affecting the economic benefits of pig industry, and improvement of reproductive performance is one of the goals for breeders and pork-producers. The reproductive trait of sow is not only a low-heritability trait, but also a sex-limited trait. So the selection effect is not obvious when the traditional selection methods are used. The characteristics, influencing factors, selection methods of porcine reproductive traits were summarized by consulting the relevant literatures and researches. And the advantages and disadvantages of these selection methods were discussed. Genomic selection is the potential selection method to improve porcine reproductive performance.

Key words: sow; reproductive trait; genetic characteristic; selection method

养猪生产的目的是以最低生产成本向社会提供尽可能多的优质瘦肉^[1]。母猪的繁殖力是影响猪肉生产成本的重要因素^[2-4]。母猪的繁殖力一般以母猪一生提供的断奶仔猪数或者年提供断奶仔猪数来评估,主要受母猪窝产仔猪数和断奶前成活率的影响。母猪的繁殖力性状主要有产仔数、仔猪存活率、初产年龄、产仔间隔及母猪使用寿命等。

1 繁殖性状及影响因素

1.1 产仔数

产仔数性状包括总产仔数、产活仔数、健仔数等。健仔数是指初生体重 ≥ 1.0 kg,活力好、健康、无遗传缺陷的仔猪数^[5]。产仔数受母猪排卵数、受精率、胚胎成活率、胎盘效率等因素影响。总仔数和

收稿日期:2019-08-08

作者简介:李娅兰(1970—),女,主任畜牧师,博士, E-mail:272550446@qq.com; 通信作者:蔡更元(1970—),男,研究员,博士, E-mail:cg0415@163.com

基金项目:广东省重点领域研发计划(2018B020203002); 全国优质瘦肉型猪联合攻关项目(19190536)

活仔数都属于低遗传力性状(0.1左右)^[6-7]。据报道,活仔数和总仔数的遗传相关达到0.970、0.929和0.910^[8-10];健仔数和总仔数的遗传相关达到0.98(温氏数据分析结果)。因此,在育种方案中只需包括其中一个性状即可对其他性状进行间接选择。

母猪在一个发情周期内的排卵数一般在12~30枚之间。中国猪种初产猪的排卵数平均为17.21枚,经产猪为21.58枚;外国猪种初产猪平均为13.5枚,经产猪为21.4枚。排卵数的遗传力为0.4~0.5,为中等偏高遗传力,通过选择可以提高,但在实际育种生产中难以操作。

猪的胚胎成活率为50%~65%,胚胎死亡大部分发生在受精后25 d内,占胚胎总数的25%~45%。胚胎着床前的成活率主要取决于胚胎的成活力,着床后的成活率主要由子宫内环境决定。

胎盘效率(初生窝重/胎盘重)也是影响产仔数的一个重要因素^[11-12],其遗传力约0.46^[13],可作为产仔数的间接选育性状,但实际操作性不强,因此很少利用。

随着母猪总产仔数的提高,死胎、弱仔、木乃伊数也会相应增加^[14-15],仔猪的死亡率也会增加。仔猪出生后前5 d的死亡率较高,为了加强对仔猪成活率的选择,有些企业(如丹育)以产后5 d的活仔数作为选择性状^[16-17],也有企业将产活仔数或健仔数作为选育目标。

1.2 初生重和仔猪均匀度

初生重包括初生个体重和初生窝重,分别指仔猪出生后24 h内仔猪的个体重和窝重。孙华等^[9]估计的仔猪初生窝重的遗传力为0.14,周立平^[10]估计长白猪的仔猪初生个体重和初生窝重遗传力分别为0.17和0.19,属于中等偏低遗传力性状。

通过选育提高母猪总产仔数会导致断奶前仔猪的死亡率增加^[15,18-19]。Su等^[19]发现初生仔猪体重和仔猪前期的死亡率呈较强的遗传正相关,而与后期死亡率相关性不高。初生重对断奶前死亡率有很大关系,窝内仔猪均匀度和初生重是影响初生仔猪死亡率的两个重要因素^[20-21]。提高窝内仔猪均匀度也能提高仔猪成活率,窝内仔猪均匀度差会导致断奶时窝内仔猪均匀度差,从而影响猪只上市均匀度,这对养猪生产管理者极其不利^[22]。据CCSI 2014年年会报道,加拿大已经将均匀度纳入繁殖性能选育中^[23]。

Hogberg等^[24]对大白猪均匀度遗传力的估计值为0.1(利用同一窝内仔猪初生重的标准差代表均匀度)。Hermesch等^[25]对大白猪均匀度(利用同一窝内仔猪初生重的变异系数代表均匀度)遗传力估计值为0.11。施辉毕等^[26]估计仔猪均匀度的遗传力为0.096,均匀度与总产仔数、产死仔猪数的遗传相关分别为0.205和0.157。由于均匀度与产死仔猪数成正比,因此需要关注该性状。

1.3 泌乳力和断奶窝重

由于仔猪21日龄前的营养基本来自母猪乳汁,所以一般用21日龄窝重表示母猪的泌乳力^[27]。目前在猪场一般21 d断奶,所以21日龄窝重也作为断奶窝重。母猪泌乳力的高低直接影响仔猪的成活率和哺乳期生长发育,所以对该性状的选育是非常重要的。但由于母猪排放乳汁的生理特点,很难直接准确度量排乳量,所以以21日龄窝重来表示。Fernández等^[28]估计伊比利亚猪的LW21($t \leq 2$)和LW21($t \geq 3$)的遗传力分别为0.22和0.15,Dube等^[29]估计南非大白的遗传力为0.06,表明该性状的遗传力差异很大。由于我国养猪企业存在较多出生3 d后寄养现象,所以对该性状的记录不准,选育效果不佳。

1.4 断奶仔猪数

断奶仔猪数的遗传力估值为0.08^[8]。断奶仔猪数是决定母猪年生产力的关键指标,由于我国种猪场普遍采用寄养模式,所以限制了对该性状的直接选择。Krupa和Wolf^[30]估计捷克大白和长白的断奶仔猪数的遗传力为0.07~0.09,也是低遗传力性状,并发现繁殖性状与生长发育性状的遗传相关为中等负遗传相关。我国存在太多寄养情况,所以用该性状估计母猪的繁殖性能不准确。

1.5 乳头数

乳头数的遗传力在0.20~0.47^[31-32],为中等偏高遗传力性状。Kim等^[33]发现母猪有效乳头数与母猪产仔数和泌乳性能呈正相关;随着选育的母系猪产仔数增加,有效乳头数越来越重要,具有14个以上乳头数比11~13个乳头数的后备母猪具有更高的产仔数和断奶窝重。因此母系猪选种中,选择有14个以上乳头数的种猪能提高产仔数。

1.6 母猪非生产时间

后备母猪选留进入种猪群后,母猪怀孕时间和哺乳时间为其生产时间,其他时间就是非生产时间,主要包括初次配种前、断奶至配种间隔时间^[34]。由

于母猪的非生产时间没有产出,所以随着非生产时间增加,母猪的饲养成本增高。加拿大的窝断奶仔猪 10 头的母猪非生产时间成本为 MYM1.85 ~ 4.44^[35]。

母猪非生产时间主要受选留母猪出生至第一次配种的时间、分娩率、断奶至配种时间、配种后流产或返情时间等因素的影响。母猪第一次配种时间受母猪的早熟性影响,早熟性由品种确定,且受饲养管理条件的影响较大,在实际育种中选育意义不大。

母猪断奶至配种时间一般 3 ~ 7 d,母猪非生产时间主要由它决定,所以该性状具有一定经济价值。断奶至配种时间的遗传力约 0.1^[36-37],属于低遗传力性状。海波来、PIC 等育种企业都将该性状列入选育目标;温氏母系猪的断奶至配种时间的遗传方差较小,所以未将其纳入选择指数。哺乳期母猪的采食量及背膘厚的变化对该性状的影响较大,所以遗传评估的准确性有待提高。

1.7 母猪使用年限

母猪使用年限近几年来越来越受到种猪生产者的关注。Yazdi 等^[36]、Serenius 等^[37]和 Serenius 等^[38]估计的遗传力在 0.11 ~ 0.31 之间。母猪使用年限属于中等偏低遗传力,可通过选择获得遗传进展,丹育公司将该性状纳入母系猪选育中^[39]。

由于该性状的表型值需要在母猪淘汰或死亡后才能获得,而且选择的目标是提高商品群母猪的使用年限,影响因素较多,所以通常采用间接选择方法。Thomaz 等^[40]发现母猪繁殖障碍、产仔少和肢蹄情况是淘汰母猪的重要原因。母猪使用年限与肢蹄评分的遗传相关为 0.17 ~ 0.32^[36]。Serenius 等^[41]发现母猪哺乳期采食量低和背膘厚低也严重影响母猪使用寿命;Holm 等^[42]发现母猪断奶至配种间隔、返情率等性状与使用寿命的遗传相关系数分别为 0.93 和 0.79。对这些性状的选择也间接选择了母猪的使用寿命。

2 改良母猪繁殖性能的方法

猪繁殖力性状的遗传力都较低,而且影响因素多,因此对其遗传改良难度较大。由于母猪产仔数直接关系到养猪的经济效益,因此在猪育种中将产仔数作为母系猪繁殖性能的选育目标。过去主要依靠杂交手段或改善管理方法来提高猪的繁殖性能;随着计算机和分子生物学技术的发展,BLUP 方法广泛应用以及近几年基因组选择技术应用,对猪繁

殖性能的选择也取得了较大的进展。

2.1 杂交

杂交方法是历史上对繁殖性状改良采用的主要方法,在我国优质地方猪种的利用上,杂交方法也是一种遗传改良的重要手段。于传军等^[43]采用杂交方式对苏淮猪进行选育,提高了其繁殖性能;何若钢等^[44]采用杂交方式改良地方品种陆川猪的繁殖和生长性能。我国地方猪种具有高繁殖力特点,如梅山猪被多个国家引入使用,PIC 公司培育的母系猪 L1230 系中就有梅山猪的血统,法国国家农业科学院利用杂交方式培育的、具有很好繁殖性能的太祖母(Taizumu)就含有梅山猪的血统^[45-46]。

目前,我国很多地方品种都是与国外品系杂交培育而成,如荣昌猪、上海白猪、苏太猪、南昌白猪等^[47]。为了提高母猪繁殖性能还可以利用不同品系的杂种优势来生产合成系,但主要是商业育种公司的培育品系,如温氏的 W61 系大白就是含有美系、丹系等品系大白的血统,具有抗逆性好、繁殖性能中等的特点。

2.2 家系表型选择

家系选择法适合于对低遗传力繁殖性状的选择。母猪在无自身繁殖性能时,采用同胞选择;有自身繁殖性能记录时,结合本身和同胞成绩选择;公猪采用同胞选择或后裔选择。一般情况下,在闭锁群体内,采用家系选择和多世代选择相结合的方法,提高种猪的繁殖性能。

性能好的家系选留的概率大,但也会增加群体的近交程度。比较有效的方法是超多产选择法。该方法的基本思路是将选择群体扩大,用高选择强度和母猪的多胎繁殖成绩来克服繁殖性能遗传力和重复率低的缺陷^[48]。该方法主要是采用高产母猪与其后代公猪反复回交再选择,培育高繁殖力品系,后代每胎可多产 0.9 头仔猪,对法国高产母系猪的选育起到非常重要的作用^[49-50]。

2.3 育种值和选择指数选择

BLUP 法可以利用所有亲属的表型记录,剔除环境对性状的影响,对低遗传力的繁殖性状育种值估计更准确,提高选择的准确性^[51-52]。但用 BLUP 法估计种猪性状育种值时,在个体本身无表型记录时,无法区分全同胞的差异,而且来自优秀血缘的个体育种值都高;群体近交速度加快,尤其在闭锁小群中,近交速度上升更快。Wray^[53]对一个有 26 头公猪和 156 头母猪的闭锁群体利用 BLUP 方法连续选

择产仔数,发现群体每年的近交增量为3%,导致窝产仔数下降0.15头,其近交速度是仅根据母猪个体表型记录进行选择5.33倍。

在实际育种中,通常需要同时改善若干性状,选择指数中同时包含生产性状和繁殖性状,产生的近交增量小于仅选择繁殖性状的。选择指数选择尽管会降低单个性状的遗传进展,但能提高母猪的整体性能。我国的联合育种对母系猪的选择,采用的母系指数中就包括了达100 kg体重日龄、背膘厚和产仔数。

2.4 标记辅助选择和基因组选择

尽管BLUP方法对繁殖性能的选择有一定效果,但由于繁殖性状遗传力较低、性状表现晚,通过常规选育方法选育的遗传进展有限,而且当选育群体较小时,近交系数增量加快。

分子标记辅助选择能利用标记信息,且不易受环境影响,无性别、年龄限制,可早期选种,缩短世代间隔;对低遗传力性状、限性性状以及难以度量的性状,其优越性更加明显。繁殖力性状作为低遗传力性状,要定位其QTL(Quantitative trait loci,数量性状位点)较难,而且影响QTL定位结果的因素很多,如品种、定位的方法、群体大小等,使得不同研究结果差异很大;另外,因QTL多效使得性状之间发生互作等情况从而使育种值估计准确性降低,检测出的QTL只能解释一小部分的遗传方差,所以MAS在实际猪育种中预测育种值的应用有限,在实际育种中成功的案例不多。

Meuwissen等^[54]提出的基因组选择(Genomic Selection, GS)法,其实质就是在全基因组范围内的MAS,它在缩短世代间隔、提高低遗传力性状育种值估计选择的准确性等方面比MAS更有优势,而且经济效益显著,能降低群体的近交增量,因此成为研究热点。

2009年1月,Illumina公司推出了猪SNP60基因芯片,为GS在种猪育种中的应用提供了有利条件。自2010年以来,世界上知名的猪育种公司都纷纷开始采用基因组选择方法进行育种。Lillehammer等^[55]利用模拟数据比较了采用GS、传统选择、后裔测定等方法对母系猪繁殖性状的选择效果,发现GS比传统的BLUP选择对种猪繁殖性能的遗传进展提高幅度为23%~91%,提高的幅度依赖于基因分型的个体数,增加母猪基因分型个数对繁殖性能提高更有意义。Lillehammer等^[56]模拟了与挪威国家核

心场一致的猪群,当只对公猪站公猪和基础群种猪的基因分型时,GS可以使选留公猪的遗传进展提高14%,而近交系数降低40%;单独增加母猪分型数或公猪分型数都能提高群体遗传进展,但增加母猪分型数对繁殖性能遗传进展提高更有效。因此,为了提高种猪的繁殖性能,应该优先考虑对种母猪基因分型,同时还能降低群体近交系数的增量。Simianer^[57]研究了利用GS对产仔数等繁殖性状选择在皮特兰×长白×大白配套系生产过程的潜力,GS比常规BLUP选择高0.103个单位年遗传进展,在1000头基础母猪群中采用GS比常规BLUP选择可多获利135.2万欧元。

2010年9月,PIC公司开始利用GS对阴囊疝、僵猪死淘率、产仔数等性状进行选育,随着低密度标记芯片的使用,标记分型成本降低,目前GS法已经广泛应用在各个品系中^[58]。Hypor公司已经在猪育种中用GS对繁殖性状、肉质性状和抗病性状进行选择;该公司于2012年6月在母系猪中开始采用GS方法,使得产仔数、初生重、仔猪成活率、母猪母性等性状上的遗传进展更明显,2013年该公司已经在猪育种中开始常态化应用基因组选择^[59]。Topigs公司在使用基因组选择对公猪膻味进行选择后,开始在母系猪中对产仔数、初生重、活力和母猪母性等性状的选择上使用基因组选择,估计遗传进展可提高约30%^[60]。2010年,丹育公司正式应用GS育种。Guo等^[61]研究丹育长白和大白猪一步法全基因育种值预测的可靠性,结果表明有基因型分型个体的可靠性是传统BLUP估计育种值的2倍,没有基因型分型个体的可靠性比传统BLUP估计育种值提高15%。2013年末,温氏集团也开始在母系猪中采用GS育种,目前已经估计标记的效应,并自主开发出低密度芯片,实现了全面应用^[62]。

3 改善种猪繁殖性能措施的建议

我国的种猪繁殖性能总体偏低,国外企业母猪的年提供断奶仔猪在25头以上,有些企业已经达到30头,而我国的平均水平只有20头左右,温氏集团在24头左右,与国外的水平差距还很大。下面就我国种猪育种企业提高种猪繁殖性能方面提出几点建议。

1)扩大繁殖性能测定的个体数,加强遗传交流。由于繁殖性状遗传力低,需要大量记录数据,估计育种值才有较高的准确性。对于中小型种猪育种

企业,多个企业数据共享联合育种,扩大参与评估的群体数量,可以提高遗传评估的准确性;同时加强与优秀场间的遗传交流,如:购买优秀公猪或其精液育种,利用其他猪场的优秀遗传资源,从而提高自身种猪的质量。遗传交流可以加强种猪群体之间的遗传联系,提高共享数据联合遗传评估的效果。对于大型企业,可以在对中小型企业提供种猪的同时,将客户信息纳入自己的遗传评估体系中,提高双方的遗传评估准确性,达到互惠互利的效果。

2)提高饲养管理水平,发挥种猪遗传潜力。我国的种猪育种企业基本都是引进国外优良种猪进行选育。国外都是使用先进的自动化饲养管理设备,这对种猪遗传潜力的发挥起到积极作用。我国的猪场管理较为粗放,所以在对种猪驯化适应过程中,要为种猪提供合适的营养和饲养管理条件,保证充分发挥种猪的繁殖潜力。

3)加强新技术在育种中的应用。对于大的种猪育种企业,如温氏集团,有比较完善的育种体系,自身技术和经济力量相对较强,要跻身国际先进种猪育种企业,必须利用最新的种猪育种技术,如全基因组选择技术,这对繁殖性能的提高是非常有效的。

因此,对于我国的种猪育种企业,需要在保证性能测定准确性的情况下,提高种猪遗传评估的准确性,同时适度引进外部优秀血缘,加强基因组选择新技术的利用,这是保证种猪繁殖性能得到大幅度提高的有效手段。

参考文献:

- [1] WEBB A J. Objectives and strategies in pig improvement: An applied perspective[J]. Dairy Sci, 1998, 81(2):36-46.
- [2] TESS M W, BENNETT G L, DICKERSON G E. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production:I: A bio-economic model[J]. Anim Sci, 1983, 56:336-353.
- [3] TESS M W, BENNETT G L, DICKERSON G E. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production:II: Effects of components on efficiency[J]. Anim Sci, 1983, 56:354-368.
- [4] ROTHSCCHILD M F, BIDANEL J P. Biology and genetics of reproduction[M] // ROTHSCCHILD M F, RUVINSKY A. The genetics of the pig. CAB, 1998:313-343.
- [5] 沈叶君, 俞英, 王茜, 等. 母猪繁殖力性状影响因素分析及其遗传参数估计[J]. 遗传, 2012, 34(5):591-596.
- [6] CHEN P, BAAS T J, MABRY J W, et al. Genetic parameters and trends for litter traits in US Yorkshire, Duroc, Hampshire, and Landrace pigs[J]. Anim Sci, 2003, 81:46-53.
- [7] KRUPA E, WOLF J. Simultaneous estimation of genetic parameters for production and litter size traits in Czech Large White and Czech Landrace pigs[J]. Anim Sci, 2013, 58:429-436.
- [8] ROEHE R, KENNEDY B W. Estimation of genetic parameters for litter size in Canadian Yorkshire and Landrace swine with each parity of farrowing treated as a different trait[J]. Anim Sci, 1995, 73:2959-2979.
- [9] 孙华, 宋忠旭, 李良华, 等. 中国大白猪 S II 1 系主要繁殖性状的遗传参数估测[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(5):2370-2371, 2383.
- [10] 周立平. 长白猪主要性能测定及遗传参数估计研究[J]. 湖南农业科学, 2011(7):122-124.
- [11] WILSON M E, BIENSEN N J, FORD S P. Novel insight into the control of litter size in the pig, using placental efficiency as a selection tool[J]. Anim Sci, 1999, 77:1654-1658.
- [12] 王立贤, 李光全, 刘剑锋. 猪胎盘效率用于选择产仔数的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2004, 35(5):487-490.
- [13] 李光全, 王立贤, 刘剑锋. 大白猪胎盘效率遗传参数初步研究[J]. 北京农学院学报, 2002, 17(4):59-62.
- [14] JOHNSON R K, NIELSEN M K, CASEY D S. Responses in ovulation rate, embryonal survival, and litter traits in swine to 14 generations of selection to increase litter size[J]. J Anim Sci, 1999, 77:541-557.
- [15] LUND M S, PUONTI M, RYDHMER L J. Relationship between litter size and perinatal and pre-weaning survival in pigs[J]. Anim Sci, 2002, 74:217-222.
- [16] SU G, LUND M S, SORESENSEN D. Selection for litter size at day five to improve litter size at weaning and piglet survival rate relationship[J]. Anim Sci, 2007, 85:1385-1392.
- [17] NIELSEN B, SU G, LUND M S et al. Selection for increased number of piglets at 5 d after farrowing has increased litter size and reduced piglet mortality[J]. Anim Sci, 2013, 91:2575-2582.
- [18] ARANGO J, MISZTAL I, TSURUTA S, et al. Genetic study of individual preweaning mortality and birth weight in Large White piglets using threshold-linear models[J]. Livest Prod Sci, 2006, 101:208-218.
- [19] SU G, SORESENSEN D, LUND M S. Variance and covariance components for liability of piglet survival during different periods[J]. Animal, 2008(2):184-189.

- [20] FIX J S, CASSADY J P. Effect of piglet birth weight on survival and quality of commercial market swine[J]. *Livest Sci*, 2010, 132(1):98-106.
- [21] ROEHE R, SHRESTHA N P, MEKKAWY W, et al. Genetic analyses of piglet survival and individual birth weight on first generation data of a selection experiment for piglet survival under outdoor conditions[J]. *Livest Sci*, 2008, 121(2):173-181.
- [22] WOLF J, ZAKOVA E, GROENEVELD E. With-litter variation of birth weight in hyper prolific Czech Large White sows and its relation to litter size traits, stillborn piglets and losses until weaning. *Livestock Prod*[J]. *Science*, 2008, 115:195-205.
- [23] Charlottetown. Genetic Evaluation[C]//the 2014th Annual Meeting. Prince Edward Island, 2014.
- [24] HOGBERG A, LOTTA R. A genetic study of piglet growth and survival[J]. *Anim Sci*, 2000, 50:300-303.
- [25] HERMESCH S, LUXFORD B G, GRASERHU. Genetic parameters for piglet mortality, within litter variation of birth weight, litter size and litter birth weight[J]. *Advmt Anim Breed Genet*, 2001, 81(14):211-214.
- [26] 施辉毕,王立刚,梁晶,等. 仔猪均匀度遗传参数估计及影响因素分析[J]. *畜牧兽医学报*, 2015, 46(12):2146-2152.
- [27] WILSON E R, JOHNSON R K. Adjustment of 21-day litter weight for number of pigs nursed for purebred and crossed dams[J]. *J Anim Sci*, 1980, 51:37-42.
- [28] FERNÁNDEZ A, RODRIGÁEZ J, ZUZÚARREGUI J, et al. Genetic parameters for litter size and weight at different parities in Iberian pigs[J]. *Span J Agri Res*, 2008, 6 (Special issue):98-106.
- [29] DUBE B, MULUGETA S D, DZAMA K. Estimation of genetic and phenotypic parameters for sow productivity traits in South African Large White pigs[J]. *South Afri J Anim Sci*, 2012, 42(4):390-398.
- [30] KRUPA E, WOLF J. Simultaneous estimation of genetic parameters for production and litter size traits in Czech Large White and Czech Landrace pigs[J]. *Czech J Anim Sci*, 2013, 58 (9) 429-436.
- [31] Mc KAY R M, RAHNEFELD G W. Heritability of teat number in swine[J]. *Can J Anim Sci*, 1990, 70:425-430.
- [32] CHALKIAS H, RYDHMER L, LUNDEHEIM N. Genetic analysis of functional and non-functional teats in a population of Yorkshire pigs[J]. *Livest Sci*, 2013, 152:127-134.
- [33] KIM J S, JIN D I, LEE J H, et al. Effects of teat number on litter size in gilts[J]. *Anim Reprod Sci*, 2005, 90:111-116.
- [34] KOKETSU Y. Six component intervals of nonproductive days by breeding-female pigs on commercial farms[J]. *Anim Sci*, 2005, 83:1406-1412.
- [35] TULLY B. Sow Non-productive days and their opportunity costs [DB/OL]. [2019-05-08]. http://benchmark.farms.com/2013_Sow_Non_Productive_Days.html.
- [36] SERENIUS T, STALDER K J. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations[J]. *Anim Sci*, 2004, 82:3111-3117.
- [37] SERENIUS T, STALDER K J, FERNANDO R L. Genetic associations of sow longevity with age at first farrowing, number of piglets weaned, and wean to insemination interval in the Finnish Landrace swine population[J]. *J Anim Sci*, 2008, 86:3324-3329.
- [38] YAZDI H, RYDHMER L, RINGMAR-CEDERBERG E, et al. Genetic study of longevity in Swedish Landrace sows[J]. *Livest Prod Sci*, 2000, 63:255-264.
- [39] 丹育育种目标[DB/OL]. [2019-06-08]. <http://ch.danavl.com/About%20us/Breeding%20objective.aspx>.
- [40] THOMAZ L JR, GARY D D, WILLIAM E M. Lifetime reproductive performance in female pigs having distinct reasons for removal[J]. *Livest Prod Sci*, 2000, 63:213-222.
- [41] SERENIUS T, STALDER K J, BAAS T J, et al. A comparison of six maternal genetic lines for sow longevity[J/OL]. *Anim Indus Rep*, 2005, 651. https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-1075.
- [42] HOLM B, BAKKEN M, VANGEN O, et al. Genetic analysis of age at first service, return rate, litter size, and weaning-to-first service interval of gilts and sows[J]. *J Anim Sci*, 2005, 83:41-48.
- [43] 于传军,何正东,李学斌,等. 苏淮猪选育过程中繁殖性能及早期生长性能分析[J]. *畜牧与兽医*, 2004, 36(12):18-19.
- [44] 何若钢,李琼华,段福君等. 陆川猪杂交优势选育的种质特征研究[J]. *畜牧与兽医*, 2008, 40(10):58-60.
- [45] BIDANEL J P. Potential use of prolific Chinese breeds in maternal lines of pigs[C]//Proc 4th World Cong on Genet Appl to Livestk Prod. 1990:481-484.
- [46] 周伟良,马孝斌,王嘉琳. 国外对我国地方猪种的利用[J]. *猪业科学*, 2006(4):50-51.
- [47] 段晓红. 不同地方猪品种杂交组合生产性能研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2015.
- [48] 王重龙,陶立. 猪育种中的选择性状[J]. *中国畜牧兽*

- 医,2008,35(1):64-67.
- [49] BICHARD M, SEIDEL C M. Selection for reproduction performance in maternal lines of pigs [C] // Proc 2nd World Cong on Genet Appl to Livestk Prod. 1982;565-569.
- [50] BIDANEL J P, GRUAND J, LEGAULT C. An overview of twenty years of selection for litter size in pigs using 'hyperprolific' schemes [C] // Proc 5th World Cong on Genet Appl to Livest Prod. 1994;512-515.
- [51] SORESENSEN D A, KENNEDY B W. Estimation of response to selection using least squares and mixed model methodology[J]. J Anim Sci,1984,58:1097-1106.
- [52] BELONSKY G M, KENNEDY B W. Selection on individual phenotype and best linear unbiased predictor of breeding value in a closed swine herd[J]. J Anim Sci,1988,66:1124-1131.
- [53] WRAY N R. Consequences of selection in closed populations with particular reference to closed nucleus herds of pigs[D]. Edinburgh: University of Edinburgh,1989.
- [54] MEUWISSEN T H E, HAYES B J, GODDARD M E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps[J]. Genetics, 2001,157:1819-1829.
- [55] LILLEHAMMER M, MEUWISSEN T H E, SONESSON A K, Genomic selection for maternal traits in pigs[J]. J Anim Sci, 2011, 89:3908-3916.
- [56] LILLEHAMMER M, MEUWISSEN T H E, SONESSO A K, Genomic selection for two traits in a maternal pig breeding scheme[J]. J Anim Sci, 2013,91:3079-3087.
- [57] SIMIANER H. The potential of genomic selection to improve litter size in pig breeding programs [C] // EAAP Barcelona Annual Meeting, 2009.
- [57] PIC adds relationship based genomic selection[DB/OL]. [2019-07-08]. <http://www.pigprogress.net>.
- [58] Hypor announces pig genomic selection [DB/OL]. [2019-07-08]. http://regator.com/p/256421008/hypor_announces_pig_genomic_selection/.
- [59] Genomic selection now used in TOPICS dam lines as well. [DB/OL]. [2019-07-08]. <http://www.topigsnorsvin.ru/en/news/news-topigs/138.html>
- [60] Denmark: Better breeding animals with genomic selection. [DB/OL]. [2019-07-08]. <http://www.pigprogress.net/news/denmark-better-breeding-animals-with-genomic-selection-4709.html>.
- [61] GUO X, CHRISTENSEN O F, OSTERSEN T, et al. Improving genetic evaluation of litter size and piglet mortality for both genotyped and non-genotyped individuals using a single-step method[J]. J Anim Sci,2015, 93:503-512.
- [62] 佟晓群.我国首例采用全基因组选择技术选育特级种公猪在粤诞生[DB/OL]. [2019-07-08]. http://www.ce.cn/cysc/sp/info/201311/12/t20131112_1741412.shtml.