

DOI: 10.3724/SP.J.1005.2012.00591

母猪繁殖力性状影响因素分析及遗传参数估计

沈君叶¹, 俞英¹, 王茜¹, 马裴裴¹, 朱士恩¹, 史文清², 王雅春¹, 张勤¹

1. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100193;
2. 北京市畜牧兽医总站, 北京 100107

摘要: 母猪繁殖力是影响种猪场经济效益的重要因素。文章对纯种大白猪、长白猪、杜洛克猪的 8491 窝产仔记录进行统计分析, 建立固定效应模型对总产仔数、健仔数、初生窝重、弱仔数、死胎数、木乃伊胎数和畸形胎数共 7 个繁殖性状进行最小二乘分析, 分析胎次、配种季节、品种对母猪繁殖性能的影响, 同时比较了纯繁和杂交的效果。利用动物模型 REML(约束最大似然)方法估计繁殖性状的遗传力和遗传相关。结果表明, 胎次、配种季节和品种对总产仔数、健仔数、初生窝重影响极显著 ($P<0.001$), 胎次和品种对弱仔数影响极显著 ($P<0.001$), 但配种季节对弱仔数影响不显著。胎次对死胎数影响显著 ($P<0.05$), 而配种季节和品种对死胎数影响不显著, 胎次、配种季节和品种对木乃伊胎、畸形胎数影响不显著。长白♂×大白♀交配组合具有最高的总产仔数、健仔数和初生窝重。繁殖性状遗传力估计结果显示, 长白猪初生窝重的遗传力最高, 为 0.227。其余性状遗传力均在 0.2 以下, 为低遗传力性状。3 个品种母猪的健仔数与初生窝重、总产仔数与健仔数之间的遗传相关达 0.96 以上。研究结果为降低非传染性因素造成的种母猪产仔数低的问题以及种猪场对母猪繁殖力的选育提高提供了参考数据和理论依据。

关键词: 母猪; 繁殖性状; 影响因素; 遗传参数

Factors analysis and genetic parameter estimation of female reproductive traits in pigs

SHEN Jun-Ye¹, YU Ying¹, WANG Xi¹, MA Pei-Pei¹, ZHU Shi-En¹, SHI Wen-Qing², WANG Ya-Chun¹, ZHANG Qin¹

1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Animal Husbandry and Veterinary Station of Beijing, Beijing 100107, China

Abstract: Reproductive performance of stock sows is one of the important factors of economic impact in pig farms. In this study, 8491 litter records from 2699 sows of Yorkshire, Landrace, and Duroc were analyzed using fixed model to determine the effect of parity, mating season, and breed on total number born (TNB), number healthy birth (NHB), litter birth

收稿日期: 2011-07-12; 修回日期: 2011-09-06

基金项目: 北京市农业局试验示范项目(编号: 20100222), 昆明市科技局重点项目(编号: 09H130303)和转基因生物新品种培育科技重大专项(编号: 2009ZX08009-146B)资助

作者简介: 沈君叶, 硕士研究生, 专业方向: 动物抗病育种。E-mail: stonly5566@yahoo.com.cn

通讯作者: 俞英, 副教授, 研究方向: 动物抗病育种与表观遗传调控。E-mail: yuying@cau.edu.cn

网络出版时间: 2012-2-21 10:24:51

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20120424.1144.006.html>

weight (LWB), number weak birth (NWB), stillbirth, mummy fetus, and deform fetus by the least square analysis. Genetic parameters of the above traits were estimated by restricted maximum likelihood (REML) procedure. In addition, the effectiveness of pure-breeding and cross-breeding on litter performance were compared. The results showed that, parity, mating season, and breed had significant effect on TNB, NHB, and LWB ($P < 0.001$). The effects of parity and breed were significant on NWB ($P < 0.001$), while mating season had non-significant effect on NWB. Parity showed significant effect on stillbirth, while the effect of mating season and breed was not significant. Parity, mating season, and breed had no significant effect on mummy fetus and deform fetus. Landrace♂×Large White♀ showed the best litter performance, including TNB, NHB, and LWB. Moreover, LWB of Landrace depicted the highest heritability, while other traits were all below 0.2. The genetic correlation between TNB and NHB, NHB and LWB were higher than 0.96 in the three breeds. These results provided reference data for minimizing low-reproductive performance caused by non-infectious factors and improving sow reproductive performance in pig farms.

Keywords: stock sow; reproductive traits; influence factors; genetic parameters

对于种猪场来说,经济效益很大程度上取决于母猪的生产力。窝产仔数、断奶仔猪成活率、繁殖年限以及胎间距决定了母猪的终身生产力,这些指标对猪场的经济效益至关重要。目前在我国的养猪生产中,困扰种猪场的难题是发情晚、产仔数少、胎间距长、母猪年哺育仔猪头数少,母猪繁殖力低。

近年来,由于饲养管理水平的不断提高,欧美一些养猪业发达国家猪的生长和胴体性状接近于最适值,其育种目标中加大了母猪繁殖力的选育比重。如丹麦 2002 年启动“超级母猪计划”项目,提出每头母猪每年提供 30 头成活仔猪。2004 年,丹麦调整了配套系父系和母系的选择标准,在综合指数中加入新指标 LP5(母猪产后第 5d 的活仔数)进行选育,间接提高了产活仔数、母猪泌乳性能和断奶仔猪成活率。丹麦采用新综合育种值后,每世代活仔数增加了 0.43 头/胎,明显加大了对母系繁殖性能的改良速度^[1]。2010 年,我们对云南、北京两地规模猪场母猪繁殖性能现状进行了调查。云南某商品猪场二元杂母猪窝产活仔数为 9.2 头^[2],北京某良种猪场大白、长白、杜洛克等 3 个引进品种母猪 2~6 胎的窝产活仔数平均为 8.57 头。其中产仔数最高的大白母猪的平均胎间距为 173 d,每头母猪年提供活仔 18.1 头。总体来说,我国母猪的繁殖力与世界养猪发达国家的差距还很大。

母猪繁殖力的影响因素众多,其中饲养管理是限制我国母猪繁殖力发挥的主要原因。本研究首先分析了影响母猪产仔数的非遗传性因素(胎次、配种

季节和品种),找到造成产仔数少的原因,研究结果有助于在生产实践中有针对性地去改进管理方法、改善饲养环境,提高母猪繁殖力。

目前国内种猪场主要是依据表型和生产记录来选留种母猪。但是由于繁殖力性状属于低遗传力性状,直接选择的效果不佳。本文进一步对母猪部分繁殖性状进行了遗传参数的估计,旨在为种猪场母猪的选育和繁殖力的遗传改良提供理论依据。本研究采用 REML 方法估计方差组分,该方法在估计大样本时偏差较小,在畜禽遗传参数估计中得到广泛应用。

1 材料和方法

1.1 数据来源

北京市某良种猪场从 2007 年 1 月至 2010 年 10 月长白、大白和杜洛克 3 个品种共 2 699 头母猪的 8491 窝产仔记录以及公母猪的配种记录。母猪产仔记录包括总产仔数、健仔数、弱仔数、初生窝重、畸形胎数、木乃伊胎数、死胎数 7 个性状。其中,总产仔数是指同一胎出生的所有仔猪头数,包括死胎;健仔数是计数初生体重大于 1 kg 并无遗传缺陷的仔猪;弱仔数是计数初生体重小于 1 kg 并无遗传缺陷的仔猪;初生窝重是指刚出生还未吃初乳前全部活仔体重之和;畸形胎指具有遗传缺陷的仔猪,包括肢体残缺、生殖系统缺陷等;木乃伊胎是指生前已死亡的仔猪,由于水分不断被母体吸收,形成尸体紧缩、颜色为棕褐色、极似木乃伊的死胎;死胎

指妊娠后期死亡、出生时已经断气的仔猪。

1.2 统计方法

采用 Excel 软件对原始数据进行整理,再用 SAS9.1 统计软件的 GLM 程序分析胎次、配种季节和品种等 3 个因素对 7 个母猪繁殖力性状的影响,将影响不显著的胎次进行合并。采用 Duncan's 法进行多重比较。

产仔数统计分析模型: $y_{ijkl} = \mu + P_i + S_j + B_k + e_{ijkl}$

其中, y_{ijkl} 为第 i 胎、第 j 个配种季节、第 k 个品种的第 l 头母猪繁殖性能观察值; μ 为群体均值; P_i 为胎次效应, 将胎次分为第 1 胎、2~6 胎、7~10 胎及 10 胎以上; S_j 为配种季节, 将配种季节分为春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)和冬季(12~2 月); B_k 为品种(或交配组合)效应; e_{ijkl} 为随机残差。

采用动物模型 REML 方法估计繁殖性状的遗传参数, 利用 DMUv6 育种软件的 Dmuai 程序计算方差组分。Dmuai 程序采用平均信息算法(Average information, AI)进行方差组分的估计。AI 算法是基于两种求似然函数最大值的常用算法 Newton-Raphson 算法和 Fisher's Scoring 方法发展而成, 其收敛速度快。

方差组分估计模型: $y = X\beta + Za + e$

其中, y 为个体观察值向量, β 为固定效应向量(配种季节、品种、胎次), a 为个体加性遗传效应向量, e 为随机残差效应向量, X, Z 分别是对应于 β, a 的结构矩阵。 $a \sim N(0, A\sigma_a^2)$, $e \sim N(0, I\sigma_e^2)$ 。其中, σ_a^2 为

个体加性遗传方差, σ_e^2 为残差方差, A 为个体间的分子血缘相关矩阵。

2 结果与分析

2.1 胎次对母猪繁殖性能的影响

胎次对总产仔数、健仔数、初生窝重和弱仔数的影响极显著, 对死胎数影响显著, 对木乃伊数和畸形胎数影响不显著。不同胎次之间多重比较结果如表 1 所示。可以看出, 除弱仔数基本不随胎次的变化而变化外($P > 0.05$), 总产仔数、健仔数和初生窝重 3 个性状均呈现随胎次显著变化的趋势($P < 0.01$)。初产母猪的总产仔数、健仔数和初生窝重均较低, 2~6 胎次的繁殖性能最佳, 7 胎以上出现下降趋势, 11 胎以上母猪的繁殖性能水平下降迅速。

2.2 配种季节对母猪繁殖性能的影响

配种季节按照配种月份划分为春、夏、秋、冬四季。配种季节对总产仔数、健仔数和初生窝重影响极显著, 而对死胎、木乃伊和畸形胎均无显著影响。针对总产仔数、健仔数和初生窝重, 春季配种母猪的表现最好, 夏季配种母猪最差, 且两个季节之间的差异极显著($P < 0.01$)。夏季配种母猪的健仔数和初生窝重也显著低于秋、冬配种母猪($P < 0.01$) (表 2)。由此可以看出, 北京地区良种猪场春季配种母猪的繁殖性能表现最好, 秋冬季节次之, 夏季配种最差。

表 1 不同胎次母猪繁殖性状最小二乘均值

胎次	窝数	总产仔数(头)	健仔数(头)	初生窝重(kg)	弱仔数(头)	死胎数(头)
1(1)	1583	8.71 ^A ±0.10	7.83 ^A ±0.10	12.09 ^A ±0.15	0.70 ^A ±0.03	0.25 ^A ±0.06
2(2~6)	4854	9.42 ^B ±0.08	8.57 ^B ±0.07	13.47 ^B ±0.11	0.71 ^A ±0.02	0.19 ^A ±0.05
3(7~10)	1698	8.69 ^{AC} ±0.10	7.78 ^{AC} ±0.09	12.09 ^{AC} ±0.14	0.73 ^A ±0.03	0.20 ^A ±0.04
4(11~)	356	7.69 ^D ±0.17	6.90 ^D ±0.16	10.81 ^D ±0.25	0.64 ^A ±0.05	0.16 ^B ±0.05

注: 表中数据进行同列比较, 标有不同字母者为差异极显著($P < 0.01$), 标有相同字母者为差异不显著($P > 0.01$)。

表 2 不同配种季节母猪繁殖性状最小二乘均值

季度(月份)	窝数	总产仔数(头)	健仔数(头)	初生窝重(kg)	弱仔数(头)
春(3/4/5)	2152	7.07 ^A ±0.20	6.06 ^A ±0.18	8.72 ^A ±0.29	0.81 ^A ±0.07
夏(6/7/8)	1857	6.48 ^B ±0.21	5.47 ^B ±0.18	7.85 ^B ±0.29	0.84 ^A ±0.07
秋(9/10/11)	2459	6.76 ^{AB} ±0.20	5.80 ^A ±0.19	8.40 ^A ±0.28	0.77 ^A ±0.06
冬(12/1/2)	2023	6.79 ^{AB} ±0.20	5.82 ^A ±0.18	8.39 ^A ±0.28	0.76 ^A ±0.06

注: 表中数据进行同列比较, 标有不同字母者为差异极显著($P < 0.01$), 标有相同字母者为差异不显著($P > 0.01$)。

2.3 品种对母猪繁殖性能的影响

品种对总产仔数、健仔数、初生窝重和弱仔数的影响极显著,对死胎、木乃伊和畸形胎无显著影响。不同品种母猪产仔数的多重比较结果显示(表 3),3 个品种之间的繁殖性能差异显著。其中大白猪的总产仔数、健仔数和初生窝重极显著高于长白猪和杜洛克($P < 0.01$),长白母猪产仔数极显著高于杜洛克($P < 0.01$)。结果表明该种猪场大白猪的繁殖性能表现最佳。

2.4 不同交配组合母猪繁殖性能比较

表 4 显示不同交配组合母猪的总产仔数、健仔数和初生窝重的比较结果。长白公猪与大白母猪的交配组合(长白♂×大白♀)具有最高的总产仔数、健仔数和初生窝重,并极显著高于其他 3 种交配方式($P < 0.01$)。而大白公猪与长白母猪的交配组合除初生窝重略高于长白纯繁猪外,总产仔数及健仔数均极显著低于大白纯繁组合($P < 0.01$),并略低于长白纯繁母猪。表明该猪场合长白♂×大白♀杂交组合在繁殖性能上表现最佳。

2.5 母猪繁殖性状遗传参数估计

母猪繁殖性状的遗传力估计值如表 5 所示。结果表明,产仔数的遗传力偏低,除长白猪初生窝重的遗传力达到 0.227 外,其余品种母猪繁殖性状的遗传力均在 0.200 以下。总产仔数与健仔数、总产仔数与初生窝重以及总产仔数与初生窝重之间的遗传相关高(表 6),在育种实践中可适当减少选择性状

以简化选育工作。

3 讨 论

影响母猪繁殖性能的因素主要包括遗传和环境两部分,其中环境因素主要是配种季节、胎次等,遗传因素主要有品种的遗传效应等。本研究收集了北京地区某大型良种猪场长白、大白和杜洛克 3 个品种自 2007 年以来的 4 年产仔数据,对影响母猪繁殖性能的环境和遗传因素进行了估计,结果发现胎次、配种季节和品种对母猪繁殖性能均有显著影响,提示在种猪繁殖性能方面应对这些因素加以优化和改善。

在影响母猪繁殖性能的 3 个因素中,胎次对产仔性能影响最大,3 个品种的母猪均表现出第 1 胎产仔数较低,2~6 胎产仔数达到高峰,7 胎以后产仔数,尤其是产活仔数开始下降,11 胎后产仔数最低的趋势,结果与国内外研究报道基本一致^[3-7]。建议在生产实践中,种猪场可酌情淘汰 7 胎以上母猪,并及时补充后备母猪。

对配种季节的分析表明,夏季配种母猪的总产仔数、健仔数和初生窝重显著低于其他 3 个季节。这可能是因为北京地区夏季炎热,高温对公猪精液品质、母猪排卵、卵子质量以及胚胎成活率都有不利影响^[7,8]。猪场在安排母猪群配种时,在条件允许的情况下,尽量将配种时间安排在春季及秋、冬季节,减少夏季高温对公、母猪繁殖性能的影响。

对品种的分析表明,该种猪场大白母猪的总产仔数、健仔数和初生窝重均明显高于长白母猪。经观察发现,该种猪场饲养的大白母猪毛色、体型较

表 3 不同品种母猪繁殖性状最小二乘均值

品种(头数)	窝数	总产仔数(头)	健仔数(头)	初生窝重(kg)	弱仔数(头)
长白(1024)	2919	8.65 ^A ±0.18	7.97 ^A ±0.17	12.36 ^A ±0.26	0.44 ^A ±0.06
大白(785)	2541	9.74 ^B ±0.19	8.69 ^B ±0.17	13.13 ^B ±0.27	0.73 ^B ±0.06
杜洛克(890)	3031	8.20 ^C ±0.19	7.48 ^C ±0.18	11.40 ^C ±0.27	0.48 ^A ±0.06

注:表中数据进行同列比较,标有不同字母者为差异极显著($P < 0.01$),标有相同字母者为差异不显著($P > 0.01$)。

表 4 不同交配组合母猪繁殖性状最小二乘均值

组合	窝数	总产仔数(头)	健仔数(头)	初生窝重(kg)
大白♂×大白♀	1560	9.74 ^A ±0.07	8.63 ^A ±0.07	13.18 ^B ±0.10
长白♂×长白♀	2239	8.88 ^B ±0.06	8.17 ^B ±0.05	12.79 ^{CD} ±0.09
大白♂×长白♀	433	8.41 ^B ±0.29	7.89 ^B ±0.27	12.86 ^{BC} ±0.42
长白♂×大白♀	340	10.06 ^A ±0.15	8.99 ^A ±0.14	13.90 ^A ±0.22

注:表中数据进行同列比较,标有不同字母者为差异极显著($P < 0.01$),标有相同字母者为差异不显著($P > 0.01$)。

表5 3个品种母猪繁殖性状的遗传力估计值

遗传力 $h^2 \pm SE$	大白猪	长白猪	杜洛克
总产仔数	0.162±0.026	0.179±0.024	0.161±0.025
健仔数	0.164±0.026	0.182±0.024	0.168±0.025
弱仔数	0.065±0.019	0.063±0.019	0.086±0.020
初生窝重	0.158±0.026	0.227±0.026	0.188±0.026
死胎数	0.039±0.018	0.013±0.013	0.016±0.013
木乃伊胎	0.010±0.016	0.020±0.017	0.006±0.010
畸形胎	0.011±0.015	0.024±0.018	0.009±0.011

表6 不同品种母猪繁殖性状之间的遗传相关

遗传相关	大白猪	长白猪	杜洛克
总产仔数/健仔数	0.965	0.987	0.972
总产仔数/弱仔数	0.565	0.334	0.391
总产仔数/初生窝重	0.910	0.935	0.943
健仔数/弱仔数	0.348	0.178	0.172
健仔数/初生窝重	0.984	0.978	0.992

好, 而长白猪毛短、稀疏且体型偏胖, 这可能是因为猪场采用统一的饲料配方, 不能满足不同品种母猪的营养需要量所致, 建议猪场针对不同品种母猪, 调整其饲料配方以适应不同品种母猪的营养需求。

本研究对母猪繁殖性状估计遗传力的值在 0.009 ~ 0.227 范围内, 属低遗传力性状。近年来在估计猪的经济性状遗传参数的方法上, 由于REML能有效消除因未知固定效应引起的方差估计的偏差, 对大样本群体具有较高的估计准确性, 在估计猪产仔数遗传力时得到较多应用^[9-12]。国内外研究者利用该方法估计的长白猪、大白猪和杜洛克猪繁殖性状遗传力范围在 0.01 ~ 0.30^[13-19]; 国内地方品种猪为 0.01 ~ 0.37^[20-26], 与本研究结果基本一致。本研究中 3 个品种母猪的总产仔数与健仔数、健仔数与初生窝重之间的遗传相关达 0.96 以上, 属高度正相关。Roche和Kennedy^[19]报道了Yorkshire母猪 1 ~ 4 胎总产仔数与产活仔数的平均遗传相关为 0.97, 产活仔数与断奶仔猪之间的遗传相关为 0.65; 朱吉等^[26]报道爱平系大白猪的总产仔数与健仔数、总产仔数与初生窝重、健仔数与初生窝重之间的遗传相关分别为 0.90、0.72 和 0.82, 与本文的研究结果相近。

以前的研究结果表明, 母猪的繁殖性能易受年龄、气候、营养状况和公猪精液品质等多种因素的影响, 因而遗传力低。本研究对包括总产仔数、健仔数、弱仔数、死胎数、初生窝重等 5 个繁殖性状

的遗传参数估计结果与以前结果相似, 除长白猪初生窝重的遗传力稍高外(遗传力为 0.227), 其余几个性状的遗传力均低于 0.2。其中, 弱仔数、死胎、木乃伊和畸形胎的遗传力低于 0.1, 这些性状受环境影响极大。对繁殖性状直接选择的效果微弱, 这也是该性状选择进展缓慢的主要原因。目前在猪育种实践中已开始采用分子遗传标记的信息来辅助选择。国内外学者对大量的产仔数候选基因, 如*ESR1*、*ESR2*、*FSH α* 、*FSH β* 、*PRLR*、*RBP4*、*OPN*、*EGF*和*LIF*等基因作过关联分析等研究^[27]。随着分子生物学技术的发展, 尤其是后基因组时代, 由于高通量技术的不断发展, 筛选候选基因的手段将变得更为丰富, 效率更高, 可以期待候选基因的研究和验证将为母猪繁殖性状的提高提供重要理论基础。

本文对母猪繁殖力性状影响因素的分析表明, 胎次、配种季节和品种均是影响母猪繁殖力的重要非遗传性因素。由于母猪的繁殖力直接影响了种猪场的经济效益, 猪场管理人员在实行育种工作时应注意要有针对性地引种, 及时淘汰生产力低的母猪并合理安排配种。对母猪繁殖力性状遗传参数的估计表明, 繁殖力性状为低遗传力性状, 而健仔数与初生窝重、总产仔数与健仔数之间的遗传相关较高。本研究结果为种猪场母猪的选育工作提供了参考依据。

参考文献(References):

- [1] 赵永聚, 李尧峰, 郭刚, 苏国生, 张家骅. 丹麦动物遗传育种研究热点. 中国畜牧杂志, 2011, 47(4): 54-57. DOI
- [2] 沈君叶, 卢建福, 鲁绍雄, 连林生, 朱士恩, 俞英. 滇陆猪扩繁母猪产仔性能调查分析. 中国畜牧杂志, 2010, 46(22): 40-42. DOI
- [3] 呼红梅, 郭建凤, 朱荣生, 韩红, 王怀中, 张印, 武英. 胎次对杜洛克和大约克母猪繁殖性能影响的研究. 黑龙江畜牧兽医, 2008, (3): 31-33. DOI
- [4] 赵青, 钟土木, 楼平儿, 朱建忠, 龚宝明. 不同胎次与配种季节对金华猪繁殖性能的影响. 中国畜牧杂志, 2009, 45(17): 52-55. DOI
- [5] 韩盛利, 王希彪, 潘玉春, 王起山, 魏文浩, 姜红菊, 张和军, 肖苏荣. 影响母猪繁殖性状的固定效应分析. 东北农业大学学报, 2008, 39(2): 213-216. DOI
- [6] 李明, 孙桂荣, 王凤云, 郭跃, 王伟, 王永彬. 胎次与配种月份对大约克母猪繁殖性能的影响. 家畜生态学报, 2008, 29(3): 37-40. DOI

- [7] 夏彩锋, 方建新, 李菊峰. 高温对母猪产仔数的影响. 养猪, 2006, (4): 12–13. DOI
- [8] 黄名英, 周光荣, 傅安静, 林莉, 孟宇航. 胎次、月份和妊娠期对长白、大约克和杜洛克母猪产仔数的影响. 中国畜牧杂志, 2006, 42(21): 51–53. DOI
- [9] Thompson R, Brotherstone S, White IMS. Estimation of quantitative genetic parameters. *Phil Trans R Soc B*, 2005, 360(1459): 1469–1477. DOI
- [10] Barbosa L, Lopes PS, Regazzi AJ, de Almeida Torres R, Júnior MLS, Veroneze R. Estimation of variance components: genetic parameters and genetic trends for litter size of swines. *R Bras Zootec*, 2010, 39(10): 2155–2159. DOI
- [11] Barbosa L, Lopes PS, Regazzi AJ, de Almeida Torres R, Junior MLS, Veroneze R. Estimation of genetic parameters for litter size in pigs using multi-trait analyses. *R Bras Zootec*, 2008, 37(11): 1947–1952. DOI
- [12] Restelli GL, Pagnacco G. Genetic parameters of reproductive traits in pigs: a contribution. *Italian J Anim Sci*, 2003, 2(1): 76–78. DOI
- [13] 孙华, 梅书棋, 程妮, 彭先文, 郭万正, 李良华. 中国大白猪SII系繁殖性状的遗传参数估计. 湖北农业科学, 2007, 46(3): 109–111. DOI
- [14] 孙华, 宋忠旭, 李良华, 彭先文, 郭万正, 梅书棋. 中国大白猪SII系主要繁殖性状的遗传参数估计. 安徽农业科学, 2010, 38(5): 2370–2371. DOI
- [15] Chansomboon C, Elzo MA, Suwanasopee T, Koonawootrittriron S. Estimation of genetic parameters and trends for weaning-to-first service interval and litter traits in a commercial Landrace-Large White swine population in northern Thailand. *Asian-Aust J Anim Sci*, 2010, 23(5): 543–555. DOI
- [16] Imboonta N, Rydhmer L, Tumwasorn S. Genetic parameters for reproduction and production traits of Landrace sows in Thailand. *J Anim Sci*, 2007, 85(1): 53–59. DOI
- [17] Wolf J. Heritabilities and genetic correlations for litter size and semen traits in Czech Large White and Landrace pigs. *J Anim Sci*, 2010, 88(9): 2893–2903. DOI
- [18] Hanenberg EHAT, Knol EF, Merks JWM. Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. *Liv Produc Sci*, 2001, 69(2): 179–186. DOI
- [19] Roehe R, Kennedy BW. 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(10): 2959–2970. DOI
- [20] 朱家涛, 陶建良, 谢江明. 长白猪繁殖性状的遗传参数估计. 浙江畜牧兽医, 2001, (4): 1–2. DOI
- [21] 李玉华. 应用动物模型BLUP和REML对大白猪遗传评定和遗传参数估计[学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2003. DOI
- [22] 谢保胜, 徐宁迎. 应用动物模型REML法估计金华猪繁殖性状遗传参数. 畜牧与兽医, 2003, 35(2): 4–6. DOI
- [23] 张浩, 强巴央宗, 凌遥, 杨涛, 吴克亮. 藏猪繁殖性状遗传参数分析. 中国畜牧兽医, 2009, 36(11): 97–198. DOI
- [24] 张树敏, 李娜, 李毅, 金鑫, 赵晓东, 张嘉保. 松辽黑猪繁殖性状遗传规律的研究. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(3): 349–352. DOI
- [25] 肖天放, 连森阳, 林国徐, 吴国为, 陈玉敏. 莆田黑猪繁殖性状遗传规律的研究. 江西农业大学学报, 2005, 27(3): 435–438. DOI
- [26] 朱吉, 彭英林, 刘爱平, 刘东翔, 易康乐, 杨仕柳. 爱平系大白猪繁殖性能的遗传参数估计. 湖南畜牧兽医, 2010, (4): 6–8. DOI
- [27] 肖正中, 邬苏晓. 影响猪产仔数性状候选基因的研究进展. 猪业科学, 2009, (1): 96–97. DOI