



长白公猪精液性状遗传参数评估 及采精月龄和季节因素分析

尚秀国¹, 喻维维^{1,2}, 赵云翔^{1*}, 朱晓萍¹, 曹婷婷¹, 高广雄¹

(1. 佛山科学技术学院生命科学与工程学院, 佛山 528231; 2. 重庆三峡职业学院动物科技学院, 重庆 404511)

摘要: 旨在估计华南地区长白种公猪精液性状遗传参数以及分析公猪采精月龄和季节对精液性状的影响, 为合理制定种公猪育种方案提供理论依据。本研究采用 Asreml-R 对华南地区两个公猪站 1 605 头长白公猪 107 221 条精液数据进行统计分析, 利用单性状重复力动物模型估计公猪精液各性状的方差组分、遗传力和重复力, 利用两性状重复力动物模型对精液体积、精液密度、精子活力和精子畸形率等性状进行遗传相关和表型相关估计; 利用 R 语言程序中的一般线性模型分析采精月龄和季节对精液性状的影响。结果表明, 精液体积和精子畸形率属于中等遗传力(0.23 和 0.38), 其中精子畸形率的变异系数较大, 为 85.42%, 其余性状都为低遗传力(0.07~0.19); 精液体积与精液密度以及精子活力与精子畸形率为极显著遗传负相关(-0.77 和 -0.90); 精液密度与精子活力呈极显著的遗传正相关(0.50)。采精月龄对精液性状影响显著($P < 0.05$), 在公猪达到性成熟后, 精液体积呈显著上升趋势, 精液密度和精子畸形率总体呈下降趋势, 精子总数和有效精子数在 13~18 月龄组显著高于其他组($P < 0.05$)。在春季精液密度最高, 精子总数和有效精子数在秋、冬季显著优于春、夏季($P < 0.05$)。综上, 长白公猪精液体积和精子畸形率具有较大的选育潜力, 可作为候选性状进行选择。在公猪生产管理方面, 公猪 36 月龄后精液产量下降, 考虑更新淘汰。公猪精液品质在秋、冬季显著优于春、夏季, 在中国南方夏季应提前做好降温工作。

关键词: 精液性状; 遗传参数; 采精月龄; 季节效应; 长白公猪

中图分类号: S828.3

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2020)10-2425-08

Estimation of Genetic Parameters and Analysis of Season Effects and Age Effects for Semen Traits in Landrace Boars

SHANG Xiuguo¹, YU Weiwei^{1,2}, ZHAO Yunxiang^{1*},
ZHU Xiaoping¹, CAO Tingting¹, GAO Guangxiong¹

(1. School of Life Science and Engineering, Foshan University, Foshan 528231, China;

2. School of Animal Science and Technology, Chongqing Three Gorges Vocational College, Chongqing 404511, China)

Abstract: The purpose of this study was to estimate the genetic parameters of semen traits of Landrace boars in South China and to analyze the influence of the age and season of semen collection on semen traits, so as to provide theoretical basis for formulating reasonable boar breeding program. The Asreml-R was used to analyze the 107 221 semen data of 1 605 Landrace boars from 2 AI stations in Southern China, the single-trait repeatability animal model was used

收稿日期: 2020-03-30

基金项目: 广东省科技创新战略专项(2018B020203002); 广东省现代农业产业技术体系创新团队项目(2019KJ28)

作者简介: 尚秀国(1970-), 男, 黑龙江人, 副教授, 博士, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: xiuguoshang@163.com; 喻维维(1995-), 女, 重庆人, 硕士生, 主要从事猪遗传育种研究, E-mail: 530058790@qq.com。尚秀国和喻维维为同等贡献作者

* 通信作者: 赵云翔, 主要从事猪遗传育种研究, E-mail: yunxiangzhao@126.com

to estimate the variance components, heritability and repeatability of each semen traits, two-trait repeatability animal model was used to estimate genetic correlation and phenotypic correlation of semen volume, semen density, sperm motility and percentage of abnormal sperm. The general linear model of R language program was used to analyze the influence of age and season of semen collection on semen traits. The results showed that the semen volume and percentage of abnormal sperm had medium heritability (0.23 and 0.38), and the variation coefficient of percentage of abnormal sperm was 85.42%, while the other traits had low heritability (0.07-0.19). Semen volume-semen density and sperm motility-percentage of abnormal sperm had extremely significantly negative genetic correlation(-0.77 and -0.90, respectively). Semen density-sperm motility showed extremely significantly positive genetic correlation (0.50). The influence of the age of semen collection on semen traits was significant ($P < 0.05$). After boars reached sexual maturity, semen volume showed a significant increase, semen density and percentage of abnormal sperm showed a general decrease, and total sperm number and functional sperm number were significantly higher in the 13-18-month of age group than those in the other groups ($P < 0.05$). The semen density was the highest in spring, and the total sperm number and functional sperm number were significantly higher in autumn and winter than those in spring and summer ($P < 0.05$). In conclusion, the semen volume and percentage of abnormal sperm of Landrace boars can be selected as candidate traits. In the boar production management, boar whose semen production after 36 months of age decline, will be considered to update. Boar semen quality was significantly higher in autumn and winter than those in spring and summer. It is suggested that cooling work should be done in advance in Southern China in summer.

Key words: semen traits; genetic parameters; age of month of semen collection; season effect; Landrace boars

* **Corresponding author:** ZHAO Yunxiang, E-mail: yunxiangzhao@126.com

猪人工授精技术不仅降低了疾病传播的风险^[1],同时也最大限度发挥了公猪的繁殖潜力。随着养殖业规模化、集约化的发展,人工授精技术已成为一种强有力的工具,在规模化养猪场应用比例已达到 85% 以上^[2]。当前种公猪主要以身体结构、生长速率和产肉速率等性状作为主选性状进行选育,精液相关性状尚未纳入选育指标。但公猪精液品质和产量与公猪生产效益息息相关,高品质的精液是母猪受孕率的保证^[3],公猪站效益也取决于优质精液的数量^[4]。因此,考虑将精液性状加入到公猪选育指数中,对优化我国瘦肉型公猪选种选育,推进公猪生产性能与繁殖性能兼顾的平衡育种具有重要意义。国内外关于公猪精液性状遗传参数研究较少,且由于各研究的群体数量、品种、环境和方法不同等原因^[5-7],它们互相参考性较小。因此,研究我国特定地区猪群的精液遗传参数是进行遗传评估的基础。

公猪采精月龄及季节等对精液品质有着直接影响,甚至制约种公猪的使用年限^[8],研究发现,生产

的公猪中有 47.3% 由于精液不良被淘汰^[9],导致种公猪的寿命降低了 12.3 个月^[10]。季节对公猪精液品质的影响主要是由温度变化引起体外病原体与体内微生物的失衡,从而导致公猪抵抗力降低,诱发疾病发生^[11],造成精液品质下降。因此,公猪精液品质选育是改善公猪使用年限的有效手段。

本研究旨在评估华南地区长白公猪精液性状的遗传参数和分析采精月龄及季节对精液性状的影响,为该地区长白种公猪精液性状提供有效的遗传参数,为合理制定种公猪育种方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验对象

本试验以华南地区某集团下属两个公猪站的长白种公猪为研究对象,选取 2016 年 1 月至 2020 年 3 月共计 1 065 头长白公猪的 107 221 条精液生产记录,进行精液性状遗传参数估计及采精月龄和季节因素分析。公猪日粮为公猪专用饲料,猪舍采用

全自动环境控制系统、正压空气过滤系统及自动采精系统。公猪在 7 月龄左右开始调教,采精频率为 10 月龄以下每 10 d 采精一次,10~13 月龄每 7 d 采精一次,14 月龄以上每 5 d 采精一次。

1.2 数据管理

精液性状包括精液体积(semen volume, VOL; mL)、精液密度(semen density, DEN; $10^8 \cdot \text{mL}^{-1}$)、精子活力(sperm motility, MOT; %)、精子畸形率(percentage of abnormal sperm, ABN; %)。精液检测数据由计算机辅助分析系统(CASA)算出^[12],通过分析天平称量后以 1 g=1 mL 换算精液体积。单次采精精子总数(total sperm number, TSN)=精液体积×精液密度;单次采精有效精子数(functional sperm number, FSN)=精液体积×精液密度×精子活力×(1-畸形率)。根据 Marques 等^[13]和 Wang 等^[10]的研究,利用 WPS 将 6~66 月龄公猪的精液体积以 50~650 mL、精液密度以 $(0.1 \sim 10) \times 10^8 \cdot \text{mL}^{-1}$ 、精子活力以 10%~99%、畸形率以 0%~90% 的标准进行异常数据剔除。对以上公猪的系谱信息追溯 3 代,长白家系群体为 2 980 头。

1.3 遗传参数估计模型

本研究利用 R-Studio 程序的 wald 函数对场

别、年度季节、采精月龄、公猪出生胎次等因素进行检验,从而确定固定效应。使用 Asreml-R 进行遗传参数估计,采用单性状重复力动物模型对 6 个精液性状进行遗传力和重复力估计,两性状重复力动物模型进行遗传相关和表型相关估计及其显著性检验:

$$Y = Xb + Za + Wpe + e$$

其中, Y 为精液性状的各项观测值; b 是固定效应向量(包括场别效应、年度季节效应、采精月龄效应); a 是个体动物的加性遗传效应向量; pe 是个体动物永久环境效应向量; e 为随机残差效应向量; X、Z、W 分别为 b、a、pe 的结构矩阵。

2 结果

2.1 公猪精液性状描述性统计

表 1 为长白公猪精液性状表型描述性统计结果。由表 1 可知,长白公猪精液体积、精液密度、精子活力、精子畸形率、精子总数和有效精子数的平均值分别为 233.45 mL、 $3.55 \times 10^8 \cdot \text{mL}^{-1}$ 、88.11%、8.59%、 739.52×10^8 和 600.50×10^8 。精液各性状变异系数范围为 8.66%~85.42%,其中精子活力的变异系数最小,精子畸形率的变异系数最大。

表 1 长白公猪精液性状描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of semen traits of Landrace boars

性状 Trait	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	变异系数/% CV
精液体积/mL VOL	233.45±83.11	50~650	35.60
精液密度/($\times 10^8 \cdot \text{mL}^{-1}$) DEN	3.55±1.60	0.1~10	45.07
精子活力/% MOT	88.11±7.63	10~99	8.66
精子畸形率/% ABN	8.59±7.33	0~100	85.42
精子总数($\times 10^8$) TSN	739.52±312.50	6.20~5 098.80	42.25
有效精子数($\times 10^8$) FSN	600.50±266.97	1.70~3 640.54	44.45

2.2 长白公猪精液性状方差组分及遗传力估计

表 2 为公猪精液性状遗传参数估计结果。由表 2 可知,精液体积和精子畸形率为中等遗传力,分别为 0.23 和 0.38,重复力分别为 0.40 和 0.62,为中等重复力。精液密度、精子活力、精子总数和有效精子数等性状的遗传力较低,范围为 0.07~0.19。

2.3 长白公猪精液性状表型相关与遗传相关

由于精子总数和有效精子数是函数性状,因此,

仅对 VOL、DEN、MOT 和 ABN 性状进行两性状重复力动物模型分析。表 3 为长白公猪精液性状表型相关和遗传相关估计及其显著性检验结果。由表 3 可以看出,精液体积与精液密度、精子活力与精子畸形率呈极显著的遗传负相关(-0.77 和 -0.90),极显著的表型负相关(-0.37 和 -0.35)。精液密度与精子活力存在极显著的遗传正相关(0.50),极显著的表型相关(0.17)。

表 2 长白公猪精液性状方差组分及遗传力

Table 2 Variance components and heritabilities of semen traits in Landrace boars

性状 Trait	加性遗传方差 a^2	永久环境方差 Pe^2	残差方差 e^2	遗传力 h^2	重复力 R
VOL	1 507.40 (261.26)	1 106.00 (184.85)	3 972.70 (18.68)	0.23 (0.04)	0.40 (0.01)
DEN	0.36 (0.07)	0.51 (0.06)	1.65 (0.01)	0.14 (0.03)	0.34 (0.01)
MOT	14.84 (3.52)	21.00 (2.72)	40.77 (0.19)	0.19 (0.04)	0.47 (0.01)
ABN	32.01 (5.58)	20.48 (3.80)	32.17 (0.15)	0.38 (0.06)	0.62 (0.01)
TSN	6 263.79 (1 955.82)	22 186.61 (1 881.32)	66 316.33 (312.40)	0.07 (0.02)	0.30 (0.01)
FSN	6 525.38 (1 723.01)	15 711.06 (1 515.63)	48 156.04 (226.95)	0.09 (0.02)	0.32 (0.01)

括号中数字为标准误

Numbers in brackets are standard error

表 3 长白公猪精液性状表型相关及遗传相关

Table 3 Genetic correlation and phenotypic correlation of semen traits in Landrace boars

性状 Trait	VOL	DEN	MOT	ABN
VOL	1.00	-0.77(0.07)***	0.11 (0.15)	0.13 (0.12)
DEN	-0.37(0.00)***	1.00	0.50 (0.11)***	-0.36 (0.12)**
MOT	0.01(0.00)	0.17(0.00)***	1.00	-0.90 (0.03)***
ABN	-0.06(0.00)***	-0.05 (0.03)***	-0.35 (0.00)***	1.00

右三角为遗传相关,左三角为表型相关,括号里数字为标准误。***. $0 < P < 0.001$; **. $0.001 < P < 0.01$; *. $0.01 < P < 0.05$

The right triangle is genetic correlation, the left triangle is phenotypic correlation, and numbers in brackets are standard error.

***. $0 < P < 0.001$; **. $0.001 < P < 0.01$; *. $0.01 < P < 0.05$

2.4 不同采精月龄对公猪精液性状的影响

将公猪采精月龄分为 6~12、13~18、19~24、25~30、31~36、36~42 月龄和大于 42 月龄共 7 组^[14]。利用 R-Studio 程序的 GLM 及 Duncan test 函数进行分析。由表 4 可知,随着采精时公猪月龄的增加,VOL 呈先上升后下降的趋势,在 31~36 月龄达到最佳($P < 0.05$),最差为 6~12 月龄组;DEN 方面,6~12 月龄组显著高于其它组($P < 0.05$),之后呈下降趋势,在 31~36 月龄组最低;MOT 方面,整体波动较小,36~42 月龄组显著高于其它组($P < 0.05$);ABN 方面,在 >42 月龄组显著低于其它组,总体呈下降的趋势。TSN 和 FSN 方面,6~12 月龄组最低,13~18 月龄组显著高于其它组。

2.5 不同采精季节对公猪精液性状的影响

根据华南地区亚热带季风气候的特点,将采精月份 3~5 月划为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季、12~2 月为冬季。由表 5 可知,不同季节对精液性状有显著影响。其中,VOL、ABN、TSN、FSN

在春季最差,秋季显著优于其他季节($P < 0.05$)。DEN 在春季最优,MOT 在冬季最优,夏季最差。总体来说,长白公猪精液品质在秋、冬季显著优于春、夏季($P < 0.05$)。

3 讨论

近年来,受非洲猪瘟疫情影响,我国生猪业面临着巨大的危机与挑战。目前,安全、高效的复产是养殖业的首要任务,需要高效人工授精技术的应用以及精液质量和数量的保证。遗传参数估计是育种工作能顺利开展的前提,因此评估不同地区不同群体公猪精液性状遗传参数,探究公猪采精年龄和季节对精液品质的影响在生猪产业的发展中具有重要意义。

3.1 精液性状遗传力分析

本研究发现,长白公猪精液体积和精子畸形率性状为中等遗传力,精液密度、精子活力、精子总数和有效精子数等性状属于低遗传力性状。国内外关

表 4 不同采精月龄对精液性状影响

Table 4 The influence of different ages of semen collection on semen traits

月龄组 Month	记录数 Number	VOL	DEN	MOT	ABN	TSN	FSN
6~12	10 163	187.67±72.18 ^c	3.97±1.71 ^a	87.96±8.05 ^c	9.16±7.74 ^a	709.75±327.77 ^c	574.63±279.63 ^d
13~18	21 012	214.18±80.18 ^d	3.79±1.68 ^b	87.95±8.64 ^c	8.73±8.10 ^c	759.94±325.20 ^a	616.95±208.35 ^a
19~24	17 816	231.84±83.06 ^b	3.47±1.51 ^c	88.13±7.10 ^{bc}	8.94±7.82 ^b	751.04±299.98 ^b	606.71±256.62 ^b
25~30	18 019	230.18±84.64 ^b	3.41±1.50 ^d	88.21±7.08 ^b	8.45±6.95 ^d	733.57±305.86 ^d	596.13±260.46 ^c
31~36	12 536	238.20±83.69 ^a	3.30±1.53 ^e	88.19±7.56 ^b	8.10±6.45 ^e	735.52±312.55 ^{cd}	599.69±265.23 ^{bc}
36~42	6 898	237.13±85.13 ^a	3.37±1.54 ^d	88.50±7.08 ^a	8.24±6.20 ^e	743.20±303.32 ^{bc}	605.94±255.29 ^b
>42	5 577	224.1±81.28 ^c	3.37±1.60 ^d	87.95±6.68 ^c	7.75±5.91 ^f	703.48±299.02 ^e	574.79±257.63 ^d

不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同

Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), and the same letter indicate no significant difference ($P > 0.05$). The same as below

表 5 不同采精季节对精液性状影响

Table 5 The influence of different seasons of semen collection on semen traits

采精季节 Season	记录数 Number	VOL	DEN	MOT	ABN	TSN	FSN
春季 Spring	19 823	212.48±78.47 ^d	3.62±1.57 ^a	88.14±7.48 ^b	9.48±8.04 ^a	721.72±299.88 ^c	581.05±256.62 ^b
夏季 Summer	22 848	221.96±82.12 ^c	3.51±1.69 ^c	87.17±8.14 ^d	8.83±7.49 ^b	727.36±308.31 ^c	583.63±262.27 ^b
秋季 Autumn	25 002	232.42±87.34 ^a	3.53±1.66 ^{bc}	87.85±8.02 ^c	7.94±6.60 ^d	758.39±328.95 ^a	617.50±279.40 ^a
冬季 Winter	24 348	224.54±82.15 ^b	3.58±1.57 ^b	89.24±6.63 ^a	8.28±7.20 ^c	746.08±307.85 ^b	614.72±264.53 ^a

于公猪精液性状遗传参数研究的结果差异较大, Smital 等^[15]对 2 862 头样本的 210 733 次采精数的遗传分析发现,精液性状遗传力范围在 0.34~0.58; Oh 等^[16]对 843 头公猪精液数据遗传分析发现,精液性状遗传力均高于本研究结果,分析原因,一方面是研究群体不同,另外,以上研究在分析模型中忽略了永久环境效应,改变了原始数据的离散程度,导致了表型方差的降低;Buranawit 和 Imboonta^[17]的研究结果中,除精子畸形率性状的遗传力与本研究结果相符外,其余性状均高于本研究结果; Wolf 和 Smital^[18]的前期研究中, MOT 和 ABN 性状的遗传力略低于本研究,后续研究^[19]增加了 TSN 和 FSN 的遗传参数评估,两品种遗传力范围在 0.10~0.13,与本研究结果一致; Li 等^[20]的研究结果则大

体与本研究一致。综上,本研究结果与以往研究报道的结果相符,部分性状估算的遗传参数存在差异,原因可能是由于不同公猪站环境和管理模式、数据分析模型、群体样本量以及数据测定方法不同等因素造成,所以,探求适合特定环境群体的分析模型和方法很有必要。众多研究表明,长白公猪精液性状属于中低遗传力,可以通过有效的选择提升精液品质。

3.2 精液性状遗传相关和表型相关

在精液生产中,原精体积和原精密度决定了稀释精液的份数,如果原精密度过低或者体积过少会导致该份精液被遗弃。本研究中,精液体积与精液密度呈高度遗传负相关,与 Smital 等^[15]研究结果一致,独立选择其中某个性状会导致另一个性状质量

下降,所以,公猪育种者需要对精液体积和精液密度性状进行平衡选择。本研究中,精子活力与精子畸形率存在高的遗传负相关,精子畸形率为中等遗传力,变异系数高达 85.42%,表明精子畸形率性状有较大的选育潜力且也会对精子活力带来正向影响。相关研究表明,精液密度与精子畸形率的遗传相关很低(0.01~0.06)^[18],而本研究结果为中等遗传负相关(-0.358),可能是研究群体差异所致。同 Li 等^[20]和陈毅龙^[21]的研究结果一致,精液密度和精子活力呈中等遗传正相关(0.30~0.45),但在实践生产中发现,密度越高的精液中精子更容易凝结而导致精子直线运动能力降低。根据本研究中精液性状的遗传相关结果,精液密度同精子活力呈正相关,同精液体积和精子畸形率呈负相关,精液密度提升的同时,精子活力增加,畸形率减少,体积会相应减少。综上所述,在长白公猪精液性状改良工作中精液密度和精子畸形率可以作为主要候选性状进行选择。

3.3 采精月龄对公猪精液性状影响的分析

本研究表明,精液体积在 6~36 月龄呈逐渐上升趋势,同 Fraser 等^[22]及 Banaszewska 和 Kondracki^[23]研究结果一致,这是由于 8 月龄之后公猪睾丸发育达到成熟^[24],随着公猪年龄的增加,精子生成能力不断增强。Wolf 和 Smital^[18]研究结果与本研究一致,精液密度在 12 月龄之后开始逐渐下降。在精子总数和有效精子数方面,19~24 和 36~42 月龄组优于其他组,王超^[8]研究表明,这两个性状在 32~38 月龄间达到峰值。Clark 等^[25]发现,公猪 8~14 月龄之间的单次采集精子总数急剧增加,之后趋于稳定。综合来说,公猪精液在 24 月龄前具有良好稳定的产精状态,36 月龄后精液产量下降,考虑更新淘汰。

3.4 采精季节对公猪精液性状影响的分析

动物生殖过程(生精、排卵和配子质量)表现出季节性变化^[26],季节变化表现为光照和气温的差异,这是公猪生产中至关重要的影响因素。曹竞^[27]研究表明,气温升高(由春季到夏季、冬季到春季)或气温下降(由秋季到冬季)时,公猪的精子活力和密度均下降,与本研究结果一致。Argenti 等^[28]发现,巴西亚热带地区公猪精液的 TSN 和 DEN 在夏季显著低于其他季节,由于猪的汗腺不发达,耐热性能差,从而易产生热应激,导致睾丸的正常生理功能受到抑制,影响了公猪类固醇激素的合成与分泌及生

精细胞的生成^[29]。Murase 等^[30]发现,公猪精液在秋季有更高的睾酮浓度。Smital 等^[31-32]证明,精子总数和有效精子数在秋、冬季显著高于春、夏季,这与本研究结果一致。综上,应加强公猪舍环境设施配套,减少环境变化,尤其在中国南方夏季要做好降温工作,如配置中央空调,使公猪舍内达到恒温管理。

4 结论

综上所述,精液相关性状存在遗传变异,育种工作者可以有效地选择相关性状,但各个公猪品种精液性状之间的遗传相关存在差异,因此,应分别考虑这些精液性状的选择策略。目前,国内公猪精液遗传评估数据较少,且其遗传参数也由于群体数量、品种、环境等原因差异较大,本研究结果可对我国不同地区各品种公猪精液性状遗传参数的估计提供理论参考。建议在公猪选育计划中加入精液性状,当然需要进一步研究公猪精液性状与生产性状之间的关系(如生长速度、背膘厚度、肉质和繁殖力等),结合标记辅助选择及全基因组等分子遗传技术进行深入研究。

参考文献(References):

- [1] RIESENBECK A, SCHULZE M, RÜDIGER K, et al. Quality control of boar sperm processing: implications from European AI centres and two spermatology reference laboratories [J]. *Reprod Domest Anim*, 2015, 50(S2):1-4.
- [2] 李亚新,魏海燕,李思慧,等.猪人工授精技术发展趋势分析[J].畜牧兽医学报,2015,34(3):42-44.
LI Y X, WEI H Y, LI S H, et al. The development trend of swine artificial insemination technology[J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2015, 34(3):42-44. (in Chinese)
- [3] 王建林.提高种猪繁殖力的综合策略[J].国外畜牧学(猪与禽),2018,38(6):44-45.
WANG J L. A comprehensive strategy to improve breeding capacity of breeding pigs[J]. *Animal Science Abroad (Pigs and Poultry)*, 2018, 38(6):44-45. (in Chinese)
- [4] BROEKHUIJSE M L W J, FEITSMA H, GADELLA B M. Field data analysis of boar semen quality[J]. *Reprod Domest Anim*, 2011, 46(2):59-63.
- [5] OH S H, SEE M T, LONG T E, et al. Genetic parameters for various random regression models to

- describe total sperm cells per ejaculate over the reproductive lifetime of boars[J]. *J Anim Sci*, 2006, 84(3):538-545.
- [6] WOLF J. Genetic parameters for semen traits in AI boars estimated from data on individual ejaculates[J]. *Reprod Domest Anim*, 2009, 44(2):338-344.
- [7] 陈清森,陈瑶生,张 豪,等.公猪精液性状的遗传分析[C]//中国畜牧业协会.《2011 中国猪业进展》论文集.青岛:中国畜牧业协会,2011:78-85.
CHEN Q S, CHEN Y S, ZHANG H, et al. Genetic analysis of boar semen traits [C]//China Animal Husbandry Association. Proceedings of 2011 China Pig Industry Progress. Qingdao: China Animal Agriculture Association, 2011:78-85. (in Chinese)
- [8] 王 超.影响公猪种用年限和精液品质的因素及青年公猪营养培育方案研究[D].武汉:华中农业大学,2017.
WANG C. Analysis of influencing factors of boar longevity and semen quality, and the study on feeding regimen of young boars [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [9] SCHULZE M, BUDER S, RÜDIGER K, et al. Influences on semen traits used for selection of young AI boars [J]. *Anim Reprod Sci*, 2014, 148 (3-4): 164-170.
- [10] WANG C, LI J L, WEI H K, et al. Linear growth model analysis of factors affecting boar semen characteristics in Southern China [J]. *J Anim Sci*, 2017, 95(12):5339-5346.
- [11] 张建各,朱春霞.季节对种公猪精液品质的影响[J].河南农业,2015(20):47-48,52.
ZHANG J G, ZHU C X. Effect of season on semen quality of boars [J]. *Agriculture of Henan*, 2015 (20):47-48,52. (in Chinese)
- [12] 赵 鹏,李 腾,杨兴元. CASA-型系统在种公猪精液质量检测中的应用效果研究[J].黑龙江畜牧兽医,2018(18):78-80.
ZHAO P, LI T, YANG X Y. Study on the application effect of CASA- type system in semen Quality detection of boars [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018 (18): 78-80. (in Chinese)
- [13] MARQUES D B D, LOPES M S, BROEKHUIJSE M L W J, et al. Genetic parameters for semen quality and quantity traits in five pig lines [J]. *J Anim Sci*, 2017, 95(10):4251-4259.
- [14] 朱 琳,赵云翔,喻维维,等.季节和采精月龄对扬翔华系杜洛克精液品质的影响[J].养猪,2019(5):33-35.
ZHU L, ZHAO Y X, YU W W, et al. Effects of season and age of semen collection on semen quality of Hua-Duroc from Yangxiang [J]. *Swine Production*, 2019(5):33-35. (in Chinese)
- [15] SMITAL J, WOLF J, DE SOUSA L L. Estimation of genetic parameters of semen characteristics and reproductive traits in AI boars [J]. *Anim Reprod Sci*, 2005, 86(1-2):119-130
- [16] OH S H, SEE M T, LONG T E, et al. Estimates of genetic correlations between production and semen traits in boar [J]. *Asian Austral J Anim*, 2006, 19 (2):160-164.
- [17] BURANAWIT K, IMBOONTA N. Genetic parameters of semen quality traits and production traits of pure-bred boars in Thailand [J]. *Thai J Vet Med*, 2016, 46(2):219-226.
- [18] WOLF J, SMITAL J. Effects in genetic evaluation for semen traits in Czech Large White and Czech Landrace boars [J]. *Czech J Anim Sci*, 2009, 54(8):349-358.
- [19] WOLF J. Heritabilities and genetic correlations for litter size and semen traits in Czech Large White and Landrace pigs [J]. *J Anim Sci*, 2010, 88 (9): 2893-2903.
- [20] LI X J, JIANG B, WANG X B, et al. Estimation of genetic parameters and season effects for semen traits in three pig breeds of South China [J]. *J Anim Breed Genet*, 2019, 136(3):183-189.
- [21] 陈毅龙.杜洛克公猪精液性状全基因组关联分析及遗传参数估计[D].武汉:华中农业大学,2019.
CHEN Y L. Genome wide association study and estimation of genetic parameters for semen traits of the Duroc boar [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [22] FRASER L, STRZEŹEK J, FILIPOWICZ K, et al. Age and seasonal-dependent variations in the biochemical composition of boar semen [J]. *Theriogenology*, 2016, 86 (3):806-816.
- [23] BANASZEWSKA D, KONDRACKI S. An assessment of the breeding maturity of insemination boars based on ejaculate quality changes [J]. *Folia Biol*, 2012, 60 (3-4):151-162.
- [24] 呼正祥,张金玉,孙博兴,等.军牧1号公猪睾丸组织不同发育时期 IGF-I 基因表达量研究[J].河套大学学报,2011,8(4):40-47,55.

- HU Z X, ZHANG J Y, SUN B X, et al. Expression study of insulin-like growth factor 1 (IGF-I) gene in different developmental stages of testicular tissue in JUN MU NO. 1 Pig [J]. *Journal of Hetao University*, 2011, 8(4): 40-47, 55. (in Chinese)
- [25] CLARK S G, SCHAEFFER D J, ALTHOUSE G C. B-mode ultrasonographic evaluation of paired testicular diameter of mature boars in relation to average total sperm numbers [J]. *Theriogenology*, 2003, 60 (6): 1011-1023.
- [26] CHEMINEAU P, MALPAUX B, BRILLARD J P, et al. Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals [J]. *Animal*, 2007, 1(3): 419-432.
- [27] 曹 竞. 不同季节长白种公猪精液品质差异 [J]. 中国畜牧兽医文摘, 2012, 28(1): 40-41.
- CAO J. The semen quality of long-white boar in different seasons was different [J]. *Abstract of Animal Husbandry and Veterinary of China*, 2012, 28(1): 40-41. (in Chinese)
- [28] ARGENTI L E, PARMEGGIANI B S, LEIPNITZ G, et al. Effects of season on boar semen parameters and antioxidant enzymes in the south subtropical region in Brazil [J]. *Andrologia*, 2018, 50(4): e12951.
- [29] 席华明. 热应激对猪睾丸生精细胞凋亡和葡萄糖转运蛋白表达与定位的影响 [D]. 晋中: 山西农业大学, 2019.
- XI H M. Effect of heat stress on germ cell apoptosis and expression and localization of glucose transporter in boar testes [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [30] MURASE T, IMAEDA N, YAMADA H, et al. Seasonal changes in semen characteristics, composition of seminal plasma and frequency of acrosome reaction induced by calcium and calcium ionophore A23187 in Large White boars [J]. *J Reprod Dev*, 2007, 53(4): 853-865.
- [31] SMITAL J, DE SOUSA L L, MOHSEN A. Differences among breeds and manifestation of heterosis in AI boar sperm output [J]. *Anim Reprod Sci*, 2004, 80(1-2): 121-130.
- [32] SMITAL J. Effects influencing boar semen [J]. *Anim Reprod Sci*, 2009, 110(3-4): 335-346.

(编辑 郭云雁)