

돼지 다리건강에 대한 유전모수 추정

김영신¹, 송치은², 사수진¹, 조은석¹, 홍준기^{1*}
¹농촌진흥청 국립축산과학원 양돈과, ²한국종축개량협회

Estimation of Genetic Parameters for Leg Health in Pigs

Young Sin Kim¹, Chi Eun Song², Soo Jin Sa¹, Eun Seok Cho¹, Joon Ki Hong^{1*}
¹Swine Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration
²Korea Animal Improvement Association

요약 본 연구의 목적은 국내 돼지의 다리건강에 대한 유전적 특성을 구명하고 종돈장에서 활용 가능한 형질을 발굴하는 것이다. 검정이 완료된 총 41,918 두(요크셔 29,980 두, 랜드레이스 11,938 두)를 활용하였으며 전체 공시축 중에 요크셔 2,515 두, 랜드레이스 703 두로 총 3,218 두의 개체에 대해 다리형태 외모를 조사하였다. 90kg도달일령(일), 등지방두께(mm), 기립자세(점), 무릎관절(점), 발목(점), 발톱(점) 및 종합외모(점)의 총 7개 형질에 대해 선형-임계(linear-threshold) 모델로 형질별 유전력과 형질 간의 유전상관을 추정하였다. 90kg도달일령(일), 등지방두께(mm) 및 무릎관절은 중도의 유전력(0.2-0.5)으로 추정되었으며, 나머지 형질은 저도의 유전력(0.2 미만)으로 추정되었다. 유전상관에서 종합외모와 발목의 유전상관이 0.89±0.04로 가장 높았다. 다리형태 형질에서 기립자세, 무릎관절 및 발목은 사이의 유전상관은 양의 상관(0.29-0.40)으로 서로 유기적인 관계를 형성하였다. 다리형태 형질 중 무릎관절과 발목 형질의 유전력은 각각 0.23과 0.14로 다른형질보다 더 높은 개량 효과를 기대할 수 있었다. 또한 이 두 형질은 유전상관에서 다른 생산성 형질과 상충성이 낮거나 중립적인 장점이 있었다. 따라서 돼지의 다리건강 개선을 위해 무릎관절과 발목의 외모가 국내개량에서 주요한 지표가 될 수 있다고 사료된다.

Abstract This study was undertaken to identify genetic parameters of leg health in pigs. We estimated the heritability and genetic correlations of several performance traits: day of 90 kg (DAY), backfat thickness (BF), standing posture (SP), knee joint (KJ), pastern (PT), claw (CL), and leg overall. The phenotypic records of test performances (DAY and BF) and leg conformations (the other traits) of 41,918 and 3,218 pigs, respectively, were evaluated. Heritability (h^2) was moderately correlated ($h^2 = 0.2-0.5$) with DAY, BF, and KJ, but poorly correlated ($h^2 < 0.2$) with SP, PT, CL, and leg overall. As regards genetic correlations, PT was strongly and positively correlated (0.89±0.04) with leg overall, and SP, KJ, and PT were significantly correlated (0.29-0.40) with each other. KJ and PT had higher heritabilities than other leg conformation traits and these traits were weakly associated with test performance (DAY and BF). The present study shows KJ and PT are more correlated with leg health than other growth traits. The findings of this study can be used to elucidate the genetic architecture of leg conformation and help improve leg health in pigs.

Keywords : Leg Conformation, Leg Health, Genetic Parameter, Pig, Breeding

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01428902)에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Joon-Ki Hong(National Institute of Animal Science)

email: john8604@korea.kr

Received September 7, 2021

Revised October 8, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

돼지에서 다리 파행(lameness)은 동물복지뿐만 아니라 양돈산업 생산성 측면에서 매우 중요한 형질이다. 다리 파행은 돼지에 물리적 고통과 스트레스를 유발하여 생산성에 악영향을 미치는 요인이다[1]. 다리 파행은 비육돈과 모돈의 생산성에 부정적인 영향을 준다[2-5]. 또한 덴마크, 스웨덴 및 핀란드에서 종돈장 모돈의 도태원인을 분석한 결과, 다리 파행이 9~13%로 가장 높게 조사되었다[2,6,7]. 돼지 다리상태를 악화시키는 주요원인은 골연골증(osteochondrosis)으로 조사되었으며, 육안상의 다리형태 점수와 골연골증 사이에 유의적인 유전상관이 있다고 보고되었다[8-10]. 또한 많은 연구에서 다리형태 형질로 종돈의 생산 지속성을 조기에 판별할 수 있다고 보고한 바 있다[11-16]. 따라서 대부분의 북유럽에서는 다리형태에 대한 개량을 돼지 육종 목표에 포함하고 있다[17]. 하지만 국내의 경우, 종돈에 대한 유전특성 구멍이 미비하여 종돈장 또는 국가단위의 유전능력 평가 시 다리형태 형질을 활용하지 않고 있다.

캐나다의 CCSI(Canadian Centre for Swine Improvement)에서는 다리형태에 대한 외모심사표와 점수기준을 만들어 국가표준 평가(<http://www.ccsi.ca>)에 활용하고 있다. CCSI와 같이 다리형태에 대한 표현형은 대부분 육안평가 점수로 범주형 자료에 속한다. 다리형태와 장수 형질의 유전모수 추정 시 REML(restricted maximum likelihood) 기반 일반적인 선형모델로 추정해왔다[13,16]. 하지만 범주형 자료의 경우 정규분포를 따르지 않기 때문에 정규분포 가정 하에 추정하는 일반 선형모델은 적합하지 않다. 임계(threshold) 모델을 적용한 베이지안(Bayesian) 접근법은 형질의 분포특성을 반영할 수 있으며, 깃스샘플링을 이용하여 임계분석이 가능하다[18]. 최근에는 다리형태를 포함한 다중형질의 유전모수 추정 시 선형과 임계 모델을 통합한 선형-임계(linear-threshold) 모델을 베이지안 접근법을 활용하였다[19]. 다리형태와 같이 정규분포를 따르지 않는 형질을 임계모델로 평가 시, 선발 정확도와 유전적 개량량을 높일 수 있다[20,21].

따라서 본 연구의 목적은 국내 돼지의 다리건강에 대한 유전적 특성을 구명하고 종돈장에서 활용 가능한 형질을 발굴하는 것이다. 이를 위해 국내 주요 종돈장의 돼지 다리형태를 외관적으로 심사하고 선발에 활용하기 위한 표현형으로 변환하였다. 그리고 다리형태와 국내 주요 개량 형질을 통합한 선형-임계(linear-threshold) 모델

로 형질별 유전력과 형질 간의 유전상관을 추정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시동물

국내 4개 종돈장에서 2018년부터 2020년까지 검정이 완료된 41,918두(요크셔 29,980 두, 랜드레이스 11,938 두)를 공시축으로 활용하였으며, 공시축과 연계된 47,324 두의 혈통정보를 확보하였다. 모든 개체는 사료와 물에 대해 자유채식으로 사육되었으며, 집단의 평균체중이 90~100 kg에 도달하였을 때 검정을 실시하였다. 모든 공시축은 농림축산식품고시(제2018-63호)의 검정기준에 따라 90kg도달일령(DAY, day of target weight)과 등지방두께(BF, backfat thickness)의 표현형을 산출하였다[22].

2.2 조사방법

전체 공시축 중에 다리형태의 외모는 요크셔 2,515 두, 랜드레이스 703 두로 총 3,218 두를 조사하였으며, 캐나다 CCSI의 외모심사기준(<http://www.ccsi.ca/genetics/conformation.pdf>) 기반으로 정상 3점을 기준으로 1~5 점 범위로 심사하였다. 구체적으로 기립자세(SP, standing posture), 무릎관절(KJ, Knee joint), 발목(PT, pastern) 및 발톱(CL, claw)으로 4개의 외모항목을 조사하였으며, 항목별로 각각 2회(앞다리, 뒷다리) 심사하였다(Fig. 1).

외모심사 점수는 3 점이 정상이기 때문에, 정상개체가 최고점을 받고 앞다리와 뒷다리 점수가 통합될 수 있다

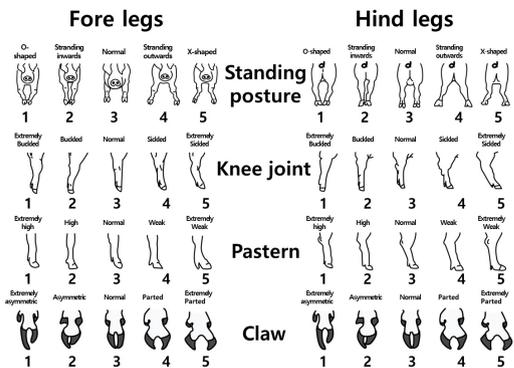


Fig. 1. Description of leg conformation traits analyzed in this study.

록 심사점수의 보정이 필요하다. 이를 위해 최초 모든 개체에 대해 5 점 만점을 부여하고 외모심사점수에서 정상(3점)과의 차이에 따라 감점하여 외모심사 점수를 5점 만점으로 보정하였다. 예를 들어, 기립자세 항목에서는 앞다리 2 점(감점 1), 뒷다리 5 점(감점 2) 일 경우, 5 점 만점에서 3점이 감점되어 최종적으로 이 개체에 대한 기립자세 표현형은 3 점으로 보정한다. 또한 기립자세, 무릎관절, 발목 및 발톱의 표현형을 합산한 종합외모를 추가하여 최종적으로 5개의 다리형태 표현형을 본 연구에 활용하였다(Fig. 2). 90kg도달일령(일), 등지방두께(mm), 기립자세(점), 무릎관절(점), 발목(점), 발톱(점) 및 종합외모(점)의 표현형 평균은 각각 148.5 ± 13.7 , 13.1 ± 2.3 , 4.6 ± 0.5 , 4.7 ± 0.8 , 4.3 ± 0.9 , 4.4 ± 0.8 및 8.0 ± 1.6 로 조사되었다.

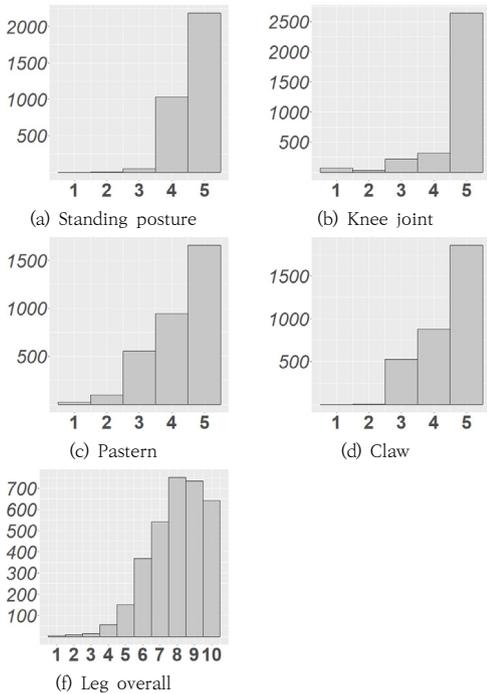


Fig. 2. Distributions of leg conformation traits

2.3 통계분석

7개의 형질에 대해 베이저안 접근의 선형-임계(linear-threshold) 다형질 모델로 유전모수를 추정하였으며, 90kg도달일령과 등지방두께는 선형모델로, 5개의 다리형태 표현형은 임계모델로 설정하였다. 모든 형질에 대해 환경효과 유의성 검증 후($P < 0.05$), 품종, 성별 및

농장-검정연도-검정주차를 고정효과로 설정하였으며, 다리형태 형질의 경우 외모심사자를 고정효과에 추가하였다. 분석을 위해 THRGIBBS1F90[23] 프로그램을 활용하였으며, 깁스샘플링(Gibbs sampling)에서 최초 20,000회는 번인(burn-in)으로 처리하고 20회 간격으로 총 220,000회 추출하였다. POSTGIBBSF90[23] 프로그램을 통해 최종적으로 10,000개의 샘플을 사후 분석에 활용하였다. 유전력 또는 유전상관에서 모수의 통계적 유의성은 사후분포의 평균을 포함하는 95% HPD(High Probability Distribution) 구간 안에 0의 포함 여부로 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유전력

7개 형질에 대한 유전력 추정 결과는 Table 1의 대개에 제시하였다. 유전력은 0~1의 범위를 가지며 유전력 1일 경우 부모의 표현형의 능력이 100%로 후대에 발현되는 것을 의미한다. 추정된 모든 유전력은 95% HPD 구간에서 0을 포함하지 않았다($P < 0.05$). 90kg도달일령(DAY)과 등지방두께(BF)의 유전력(h^2)은 0.48 ± 0.01 과 0.44 ± 0.01 로 중도의 유전력($h^2 = 0.2-0.5$)으로 조사되었다. 본 연구에서 추정된 유전력은 선행연구의 결과와 유사하였다. 많은 연구에서 성장형질을 중도의 유전력으로 지방형질은 중도에서 고도의 유전력으로 추정한 바 있다[22,24-28].

다리형태 5개 형질의 유전력 범위는 0.06에서 0.23으로 조사되었다. 유전력이 높은 순서는 무릎관절(KJ,

Table 1. Posterior mean of heritabilities for each trait in dam line pigs

Trait ¹	Mean	SD ²	95% HPD ³
DAY	0.48	0.01	0.46 to 0.51
BF	0.44	0.01	0.41 to 0.47
SP	0.06	0.02	0.02 to 0.10
KJ	0.23	0.05	0.13 to 0.34
PT	0.14	0.04	0.05 to 0.22
CL	0.12	0.04	0.05 to 0.20
Leg overall	0.14	0.04	0.07 to 0.21

¹ DAY, day of target weight; BF, backfat thickness; SP, standing posture; KJ, knee joint; PT, pastern; CL, claw

² SD, standard deviation

³ 95% HPD, highest posterior density interval containing 95% of the observations

$h^2=0.23\pm 0.05$), 발목(PT, $h^2=0.14\pm 0.04$), 종합외모(Leg overall, $h^2=0.14\pm 0.04$), 발톱(CL, $h^2=0.12\pm 0.04$) 및 기립자세(SP, $h^2=0.06\pm 0.02$) 순으로 조사되었다. 선행 연구의 결과에서 다리형태의 유전력은 저도에서 중도의 유전력을 가지는 것으로 조사되어[8,10,29], 본 연구의 결과와 유사하였다.

Table 2. Posterior mean of phenotypic correlations for each trait in dam line pigs

Trait ¹	Mean	SD ²	95% HPD ³
DAY-BF	0.15	0.01	0.14 to 0.17
DAY-SP	0.05	0.02	0.01 to 0.09
DAY-KJ	0.01	0.03	-0.05 to 0.07
DAY-PT	0.06	0.02	0.02 to 0.10
DAY-CL	0.08	0.02	0.03 to 0.12
DAY-Leg overall	0.06	0.02	0.03 to 0.11
BF-SP	0.02	0.02	-0.02 to 0.05
BF-KJ	0.05	0.03	-0.01 to 0.11
BF-PT	-0.03	0.02	-0.07 to 0.01
BF-CL	-0.02	0.02	-0.06 to 0.02
BF-Leg overall	-0.01	0.02	-0.04 to 0.03
SP-KJ	-0.05	0.03	-0.11 to 0.02
SP-PT	0.05	0.02	0.01 to 0.09
SP-CL	0.05	0.03	-0.01 to 0.09
SP-Leg overall	0.28	0.03	0.22 to 0.33
KJ-PT	0.18	0.03	0.12 to 0.25
KJ-CL	0.02	0.03	-0.04 to 0.09
KJ-Leg overall	0.42	0.04	0.34 to 0.49
PT-CL	0.19	0.02	0.14 to 0.23
PT-Leg overall	0.66	0.02	0.62 to 0.70
CL-Leg overall	0.42	0.03	0.35 to 0.49

¹ DAY, day of target weight; BF, backfat thickness; SP, standing posture; KJ, knee joint; PT, pastern; CL, claw

² SD, standard deviation

³ 95% HPD, highest posterior density interval containing 95% of the observations

Luther 등 (2007) [10]은 다리형태에서 유전력이 가장 높은 형질은 발목($h^2=0.26$)이며 무릎관절의 유전력은 0.10-0.14로 보고하여, 본 연구의 결과(발목 0.12, 무릎관절 0.23)와 일부 차이가 있었다. 또한 Luther 등 (2007) [10]에서 기립자세의 유전력은 0.13으로 본 연구의 결과(0.06)보다 높게 보고하였다. 최근의 연구에서는 다리 부위와 위치의 심사에 집중하기 보다는 다리 전반적인 점수를 유전능력평가에 활용하고 있다[19,30]. Le 등 (2016) [19]의 연구에서 종합외모 형질의 유전력은 0.12로 본 연구의 결과(0.14)와 매우 유사하다. 경제적

측면에서 다리건강 개선의 궁극적인 목적은 선발된 종돈의 조기도태를 예방하고 생산수명을 높이는 것이다. 하지만 일반적으로 생산수명 형질은 개체의 도태 이후에 알 수 있으며, 유전력은 매우 낮기 때문에 조기지표로 다리건강 형질을 활용하고 있다[19,20,31]. Plaengkaeo 등 (2021) [32]는 생산수명에 대해 어미품종의 유전효과 보다는 어미품종의 유전효과가 높아, 랜드레이스와 요크셔 같은 어미품종의 개량이 중요하다고 보고한 바 있다.

3.2 표현형 상관 및 유전 상관

7개 형질 간의 표현형과 유전 상관은 Table 2에 제시하였다. 형질 간의 표현형 상관(r)범위는 -0.05에서 0.66으로 조사되었으며, 종합외모와 다른 다리형태 형질 간의 상관은 0.28-0.66으로 95% HPD 기준 모두 유의적으로 양의 상관을 가졌다. 구체적으로 종합외모(Leg overall)와 발목(PT)이 높은 표현형 상관($r=0.66\pm 0.02$)을 가졌으며, 종합외모(Leg overall)와 발톱(CL)은 0.42 ± 0.03 , 종합외모(Leg overall)와 무릎관절(KJ)은 0.42 ± 0.04 및 종합외모(Leg overall)와 기립자세(SP)는 0.28 ± 0.03 로 조사되었다.

Table 3에 형질별 유전상관(r_G)을 제시하였다. 표현형 상관과 유사하게 종합외모(Leg overall)와 발목(PT)의 유전상관이 0.89 ± 0.04 로 가장 높았다. 다리형태 형질에서 기립자세(SP), 무릎관절(KJ) 및 발목(PT)은 사이의 유전상관은 양의 상관($r_G=0.29-0.40$)으로 서로 유기적인 관계를 형성하였다. 하지만 이 3개 형질과 발톱(CL)의 유전상관은 95% HPD 기준에서 모두 유의적이지 않았다. 선행연구에서 발톱에 대한 유전력은 0.07로 본 연구 결과보다 더 낮게 추정되었으며[31], 최근의 연구에서는 유전능력평가 시 무릎관절과 발목 위주의 종합된 점수와 걸음걸이를 활용하고 있다[19,30]. 본 연구 역시 무릎관절과 발목의 유전력이 다른 다리형태 형질보다 높고, 종합점수에 대해 이 2개 형질의 유전적 영향력이 가장 높았다($r_G=0.60-0.89$).

90kg도달일령(DAY)과 유의적으로(95% HPD 기준) 유전상관을 가진 형질은 발톱($r_G=0.47\pm 0.12$) 과 기립자세($r_G=0.38\pm 0.16$)로 조사되었다. 또한 등지방두께(BF)와 유의적으로(95% HPD 기준) 유전상관을 가진 형질은 무릎관절($r_G=0.28\pm 0.12$)로 조사되었다. 본 연구의 결과에 따르면, 돼지의 성장속도가 빠르면(낮은 90kg도달일령), 발톱과 기립자세의 다리건강에 부정적 영향을 줄 수 있다. 선행연구에서 성장, 지방 등의 생산성 형질과 다리건강 형질과의 유전상관은 부의 상관관계로 보

Table 3. Posterior mean of genetic correlations for each trait in dam line pigs

Trait ¹	Mean	SD ²	95% HPD ³
DAY-BF	0.09	0.03	0.04 to 0.15
DAY-SP	0.38	0.16	0.06 to 0.71
DAY-KJ	-0.16	0.15	-0.43 to 0.15
DAY-PT	-0.05	0.11	-0.27 to 0.16
DAY-CL	0.47	0.12	0.22 to 0.68
DAY-Leg overall	0.23	0.13	-0.01 to 0.49
BF-SP	0.05	0.14	-0.23 to 0.31
BF-KJ	0.28	0.13	0.03 to 0.53
BF-PT	-0.19	0.13	-0.43 to 0.05
BF-CL	-0.08	0.11	-0.29 to 0.14
BF-Leg overall	0.01	0.12	-0.22 to 0.25
SP-KJ	0.29	0.21	-0.12 to 0.66
SP-PT	0.38	0.18	0.07 to 0.72
SP-CL	-0.35	0.25	-0.79 to 0.16
SP-Leg overall	0.55	0.16	0.23 to 0.82
KJ-PT	0.40	0.15	0.12 to 0.68
KJ-CL	0.03	0.20	-0.31 to 0.42
KJ-Leg overall	0.60	0.10	0.39 to 0.79
PT-CL	0.17	0.20	-0.24 to 0.53
PT-Leg overall	0.89	0.04	0.8 to 0.96
CL-Leg overall	0.22	0.18	-0.12 to 0.55

¹ DAY, day of target weight; BF, backfat thickness; SP, standing posture; KJ, knee joint; PT, pastern; CL, claw

² SD, standard deviation

³ 95% HPD, highest posterior density interval containing 95% of the observations

고하였다[8,32,33]. 또한 유전적으로 돼지의 성장속도가 빠르면, 정상적인 보행에 부정적 영향을 주거나 골연골 증 발병을 높일 수 있다고 보고된 바 있다[10,34]. 따라서 본 연구 결과 역시 선행연구의 결과를 뒷받침하고 있다. Le 등 (2017) [37]은 다리건강에 대한 전장유전체 분석으로 특정 유전자 그룹이 뼈와 근육 발달의 조절할 수 있다고 보고한 바 있다. 돼지의 다리건강과 성장속도 모두 중요한 경제형질로, 선발지수를 설정하여 다양한 형질을 동시에 개량하는 것이 필요하다.

3. 결론

본 연구의 목적은 국내 돼지의 다리형태에 대한 유전적 특성을 구명하고 종돈장에서 활용 가능한 형질을 발굴하는 것이다. 90kg도달일령(일), 등지방두께(mm), 기립자세(점), 무릎관절(점), 발목(점), 발톱(점) 및 종합외모

(점)의 총 7개 형질의 유전력과 형질 간의 유전상관을 추정하였다. 90kg도달일령(일), 등지방두께(mm) 및 무릎관절은 중도의 유전력으로 추정되었으며, 나머지 형질은 저도의 유전력으로 추정되었다. 개량 효율(유전력) 측면에서 다리형태 형질 중 무릎관절과 발목 형질이 다른형질보다 더 높은 개량량을 기대할 수 있다. 또한 이 두 형질은 다른 생산성 형질과 상충성이 낮거나 중립적인 장점이 있었다. 따라서 돼지의 다리건강 개선을 위해 무릎관절과 발목의 외모가 국내개량에서 주요한 지표가 될 수 있다고 사료된다.

References

- [1] S. Einarsson, Y. Brandt, N. Lundeheim, A. Madej, "Stress and its influence on reproduction in pigs: a review", *Acta Veterinaria Scandinavica*, Vol. 50, No. 1, pp. 48, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-48>
- [2] M. Heinonen, J. Oravainen, T. Orro, L. Seppä-Lassila, E. Ala-Kurikka, J. Virolainen, A. Tast, O. A. Peltoniemi, "Lameness and fertility of sows and gilts in randomly selected loose-housed herds in Finland", *Veterinary Record*, Vol. 159, No. 12, pp. 383-387, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.159.12.383>
- [3] T. B. Jensen, N. P. Baadsgaard, H. Houe, N. Toft, S. Østergaard, "The effect of lameness treatments and treatments for other health disorders on the weight gain and feed conversion in boars at a Danish test station", *Livestock Science*, Vol. 112, No. 1, pp. 34-42, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.153>
- [4] L. M. Pluym, A. Van Nuffel, S. Van Weyenberg, D. Maes, "Prevalence of lameness and claw lesions during different stages in the reproductive cycle of sows and the impact on reproduction results", *animal*, Vol. 7, No. 7, pp. 1174-1181, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1017/s1751731113000232>
- [5] D. Wischner, N. Kemper, E. Stamer, B. Hellbruegge, U. Presuhn, J. Krieter, "Characterisation of sows' postures and posture changes with regard to crushing piglets", *Applied Animal Behaviour Science*, Vol. 119, No. 1, pp. 49-55, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.03.002>
- [6] L. Engblom, N. Lundeheim, A.-M. Dalin, K. Andersson, "Sow removal in Swedish commercial herds", *Livestock Science*, Vol. 106, No. 1, pp. 76-86, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.07.002>
- [7] B. Jørgensen, "Influence of floor type and stocking density on leg weakness, osteochondrosis and claw disorders in slaughter pigs", *Animal Science*, Vol. 77, No. 3, pp. 439-449, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1357729800054382>

- [8] B. Jørgensen, S. Andersen, "Genetic parameters for osteochondrosis in Danish Landrace and Yorkshire boars and correlations with leg weakness and production traits", *Animal Science*, Vol. 71, No. 3, pp. 427-434, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1357729800055442>
- [9] N. Lundeheim, "Genetic Analysis of Osteochondrosis and Leg Weakness in the Swedish Pig Progeny Testing Scheme", *Acta Agriculturae Scandinavica*, Vol. 37, No. 2, pp. 159-173, 1987.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00015128709436552>
- [10] H. Luther, D. Schwörer, A. Hofer, "Heritabilities of osteochondral lesions and genetic correlations with production and exterior traits in station-tested pigs", *animal*, Vol. 1, No. 8, pp. 1105-1111, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1017/s1751731107000493>
- [11] M. D. Hoge, R. O. Bates, "Developmental factors that influence sow longevity¹", *Journal of Animal Science*, Vol. 89, No. 4, pp. 1238-1245, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.2527/ias.2010-3175>
- [12] M. López-Serrano, N. Reinsch, H. Looft, E. Kalm, "Genetic correlations of growth, backfat thickness and exterior with stayability in large white and landrace sows", *Livestock Production Science*, Vol. 64, No. 2, pp. 121-131, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00169-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00169-4)
- [13] T. Serenius, K. J. Stalder, "Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations¹", *Journal of Animal Science*, Vol. 82, No. 11, pp. 3111-3117, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.82113111x>
- [14] T. Serenius, K. J. Stalder, "Selection for sow longevity^{1,2}", *Journal of Animal Science*, Vol. 84, No. suppl_13, pp. E166-E171, 2006.
DOI: https://doi.org/10.2527/2006.8413_supplE166x
- [15] T. Serenius, K. J. Stalder, "Length of productive life of crossbred sows is affected by farm management, leg conformation, sow's own prolificacy, sow's origin parity and genetics", *animal*, Vol. 1, No. 5, pp. 745-750, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173110769185X>
- [16] M. H. Yazdi, N. Lundeheim, L. Rydhmer, E. Ringmar-Cederberg, K. Johansson, "Survival of Swedish Landrace and Yorkshire sows in relation to osteochondrosis: a genetic study", *Animal Science*, Vol. 71, No. 1, pp. 1-9, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1357729800054849>
- [17] L. Engblom, N. Lundeheim, M. d. P. Schneider, A. M. Dalin, K. Andersson, "Genetics of crossbred sow longevity", *animal*, Vol. 3, No. 6, pp. 783-790, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173110900411X>
- [18] I. R. Korsgaard, M. S. Lund, D. Sorensen, D. Gianola, P. Madsen, J. Jensen, "Multivariate Bayesian analysis of Gaussian, right censored Gaussian, ordered categorical and binary traits using Gibbs sampling", *Genetics Selection Evolution*, Vol. 35, No. 2, pp. 159, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-35-2-159>
- [19] T. H. Le, P. Madsen, N. Lundeheim, K. Nilsson, E. Norberg, "Genetic association between leg conformation in young pigs and sow longevity", *Journal of Animal Breeding and Genetics*, Vol. 133, No. 4, pp. 283-290, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jbg.12193>
- [20] L. Engblom, J. A. Calderón Díaz, M. Nikkilä, K. Gray, P. Harms, J. Fix, S. Tsuruta, J. Mabry, K. Stalder, "Genetic analysis of sow longevity and sow lifetime reproductive traits using censored data", *Journal of Animal Breeding and Genetics*, Vol. 133, No. 2, pp. 138-144, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jbg.12177>
- [21] K. H. Martinsen, J. Ødegård, T. Aasmundstad, D. Olsen, T. H. E. Meuwissen, "Genetic relationships between boar feed efficiency and sow piglet production, body condition score, and stayability in Norwegian Landrace pigs¹", *Journal of Animal Science*, Vol. 94, No. 8, pp. 3159-3168, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.2527/ias.2015-0247>
- [22] J. K. Hong, K. H. Cho, Y. S. Kim, H. J. Chung, S. Y. Baek, E. S. Cho, S. J. Sa, "Genetic relationship between purebred and synthetic pigs for growth performance using single step method", *Anim Biosci*, Vol. 34, No. 6, pp. 967-974, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0261>
- [23] I. Misztal, S. Tsuruta, T. Strabel, B. Auvray, T. Druet, D. Lee, "BLUPF90 and related programs (BGF90)", *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*, pp. 743-744, 2002.
- [24] Y. H. Choy, A. Mahboob, C. I. Cho, J. G. Choi, I. S. Choi, T. J. Choi, K. H. Cho, B. H. Park, "Genetic Parameters of Pre-adjusted Body Weight Growth and Ultrasound Measures of Body Tissue Development in Three Seedstock Pig Breed Populations in Korea", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol. 28, No. 12, pp. 1696, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0971>
- [25] J. G. Choi, C. I. Cho, S. S. L. Im Soo Choi, T. J. Choi, K. H. Cho, B. H. Park, Y. H. Choy, "Genetic parameter estimation in seedstock Swine population for growth performances", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol. 26, No. 4, pp. 470, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12454>
- [26] J. Noguera, L. Varona, D. Babet, J. Estany, "Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: I. Bayesian variance component estimation", *Journal of Animal Science*, Vol. 80, No. 10, pp. 2540-2547, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1093/ansci/80.10.2540>
- [27] J. Arango, I. Misztal, S. Tsuruta, M. Culbertson, W. Herring, "Threshold-linear estimation of genetic parameters for farrowing mortality, litter size, and test performance of Large White sows", *Journal of Animal Science*, Vol. 83, No. 3, pp. 499-506, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.833499x>

- [28] P. Chen, T. Baas, J. Mabry, J. Dekkers, K. Koehler, "Genetic parameters and trends for lean growth rate and its components in US Yorkshire, Duroc, Hampshire, and Landrace pigs", *Journal of Animal Science*, Vol. 80, No. 8, pp. 2062-2070, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1093/ansci/80.8.2062>
- [29] T. Serenius, M. L. Sevón-Aimonen, E. A. Mäntysaari, "The genetics of leg weakness in Finnish Large White and Landrace populations", *Livestock Production Science*, Vol. 69, No. 2, pp. 101-111, 2001.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00260-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00260-8)
- [30] T. Aasmundstad, D. Olsen, E. Sehested, O. Vangen, "The genetic relationships between conformation assessment of gilts and sow production and longevity", *Livestock Science*, Vol. 167, No. pp. 33-40, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.004>
- [31] A. Wallenbeck, C. Eliasson, N. Lundeheim, K. Nilsson, "Leg health, growth and carcass characteristics in growing-finishing pigs of two different genotypes reared on Swedish organic farms", *Organic Agriculture*, Vol. 10, No. 1, pp. 97-103, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00260-8>
- [32] S. Plaengkaeo, M. Duangjinda, K. J. Stalder, "Longevity and lifetime reproductive trait genetic parameter estimates from Thai Landrace and Large White pig populations", *Tropical Animal Health and Production*, Vol. 53, No. 2, pp. 319, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02579-5>
- [33] E. Grindflek, "Conformation and longevity in Norwegian pigs", *Proc. NIF-Seminar 265*, Denmark, 1996, pp. 77-83, 1996.
- [34] N. Lundeheim, L. Rydhmer, "Genetic analysis of osteochondrosis and leg weakness in the Swedish Landrace pig population", *Proceedings of the 4th World Congress on Genetics applied to Livestock Production*, Edinburgh 23-27 July 1990. XV. Beef cattle, sheep and pig genetics and breeding, fibre, fur and meat quality, pp. 493-496, 1990.
- [35] H. N. Kadarmideen, D. Schwörer, H. Ilahi, M. Malek, A. Hofer, "Genetics of osteochondral disease and its relationship with meat quality and quantity, growth, and feed conversion traits in pigs¹", *Journal of Animal Science*, Vol. 82, No. 11, pp. 3118-3127, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.82113118x>
- [36] M. Busch, G. Christensen, H. Wachmann, P. Olsen, "Osteochondrosis of the elbow joint in finishers-association with growth rate and heritability", *Proceedings of the 19th international pig veterinary society congress*, Copenhagen, Denmark, pp. 110, 2006.
- [37] T. H. Le, O. F. Christensen, B. Nielsen, G. Sahana, "Genome-wide association study for conformation traits in three Danish pig breeds", *Genetics Selection Evolution*, Vol. 49, No. 1, pp. 12, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0289-2>

김 영 신(Young Sin Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 전남대학교 동물공학과 (농학석사)
- 2012년 8월 : 전남대학교 동물공학과 (농학박사)
- 2012년 8월 ~ 2015년 2월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가축육종, 유전체학

송 치 은(Chi Eun Song)

[정회원]



- 2002년 2월 : 충남대학교 농과대학 축산학과 (농학석사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 농과대학 축산학과 (농학박사 수료)
- 2000년 4월 ~ 현재 : 한국종축개량협회

<관심분야>

가축육종, 유전체학

사 수 진(Soo Jin Sa)

[정회원]



- 2002년 2월 : 강원대학교 축산대학 축산학과 (농학석사)
- 2006년 2월 : 강원대학교 축산대학 축산학과 (농학박사)
- 2007년 2월 ~ 2009년 1월 : University of Nottingham(영국) 박사후연구원
- 2009년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물번식, 생명공학

조 은 석(Eun Seok Cho)

[정회원]



- 2007년 2월 : 경남과학기술대학교 동물소재공학과 (농학석사)
- 2011년 8월 : 경상대학교 응용생물공학과 (이학박사)
- 2012년 1월 ~ 2015년 6월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원

• 2015년 7월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가축육종, 유전체학

홍 준 기(Joon Ki Hong)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충남대학교 농과대학 축산학과 (농학석사)
- 2017년 2월 : 한경대학교 미래기술대학원 동물자원과 (이학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가축육종, 유전체학