

양돈산업의 연구동향 및 미래 발전방향

Trends in Research and Future Direction of Development in Swine Industry

조규호(Kyuho Cho)

농촌진흥청 국립축산과학원

National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

1. 서론

현재 양돈업은 우리나라 축산을 대표하는 1위 산업이다. 농림축산식품부 통계에 따르면 2020년 양돈생산액은 7조 2천억 원으로 추정되어 축산 품목 중 1위를 차지했다. 이는 양돈농가, 관련협회, 연구소, 정부가 협업해온 결과물이라 생각한다. 한편으로 돼지고기를 사랑하는 국민의 관심이 커졌다는 증거로도 볼 수 있다. 2019년 1인당 돼지고기 소비량은 28.0kg으로 10년 전 돼지고기 소비량 19.1kg와 비교하면 국민이 양질의 돼지고기를 선호하고 즐기는 것을 알 수 있다(그림 1).

그러나 양돈업의 성장과 비례하여 어려움도 많아졌다. 2020년 이후 EU·중·일 등이 탄소중립을 선언하고, 미국 또한 존 바이든 대통령 취임 이후 2050 탄소중립에 동참하는 등 전 세계적으로 온실가스 감축 논의가 가속화되고 있다. 우리나라 또한 2050 탄소중립 선언 후 관계부처 합동으로 『2050 국가탄소중립 시나리오』 등 농업의 지속가능성 제고를 위하여 다방면으로 계획을 수립하고 추진하고 있다. 또한, 최근 소비자들의 자신이 지향하는 가치를 토대로 합리적인 소비를 하는 ‘가치소비’ 실천이 증가하면서 동물복지 축산물에 관한 관심 또한 증가하였다. 정부에선 가축의 복지 실현을 위하여 축산법 시행령을 일부 개정하였으며, 현재 최소한의 동물복지를 실천하기 위한 전환기에 있다. 또 한편으로, 양돈선진국들은 ICT(information and communications technologies, 정보통신기술) 연구를 통해 정밀농업을 실현하고 양돈 생산성 향상과 국제 경쟁력 확보에 부단히 힘을 쏟고 있다.

변화하는 세계 속의 국내 양돈산업의 지속적인 성장을 위해서는 시장개방, 환경규제 강화, 동물복지, 정밀농업의 연구 접근을 통한 기술 발전이 필요하다. 따라서, 본 고(考)에서는 양돈산업의 성장을 위하여 돼지 유전·육종, 번식, 영양·사양 3분야로 나누어 관련 연구 동향 및 미래 발전 방향을 살펴보고자 한다.

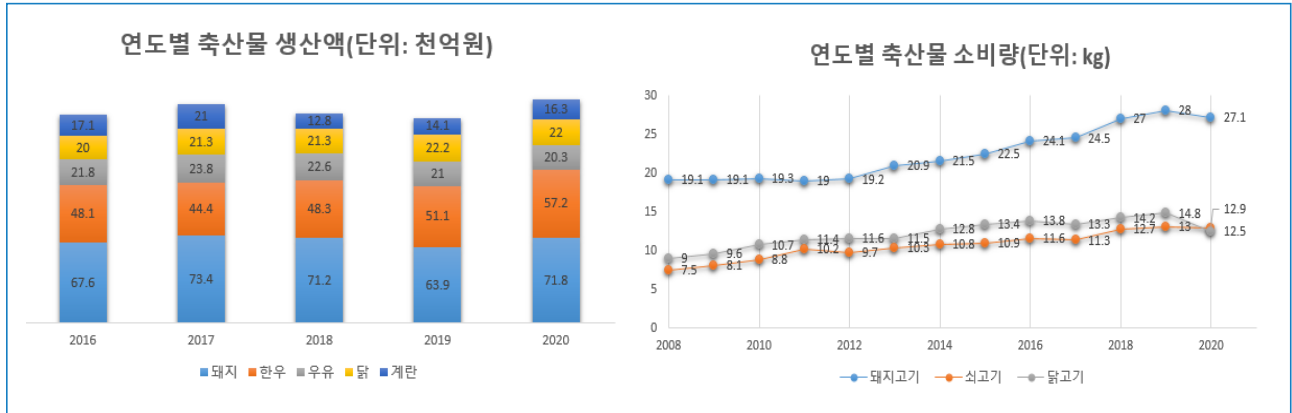
*Corresponding author: Kyuho Cho

National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Tel: +82-41-580-3440

Email: kyuhoch@korea.kr

그림 1. 연도별 축산업 생산액 및 축산물 소비동향



출처: 농림축산식품부.

II. 본론

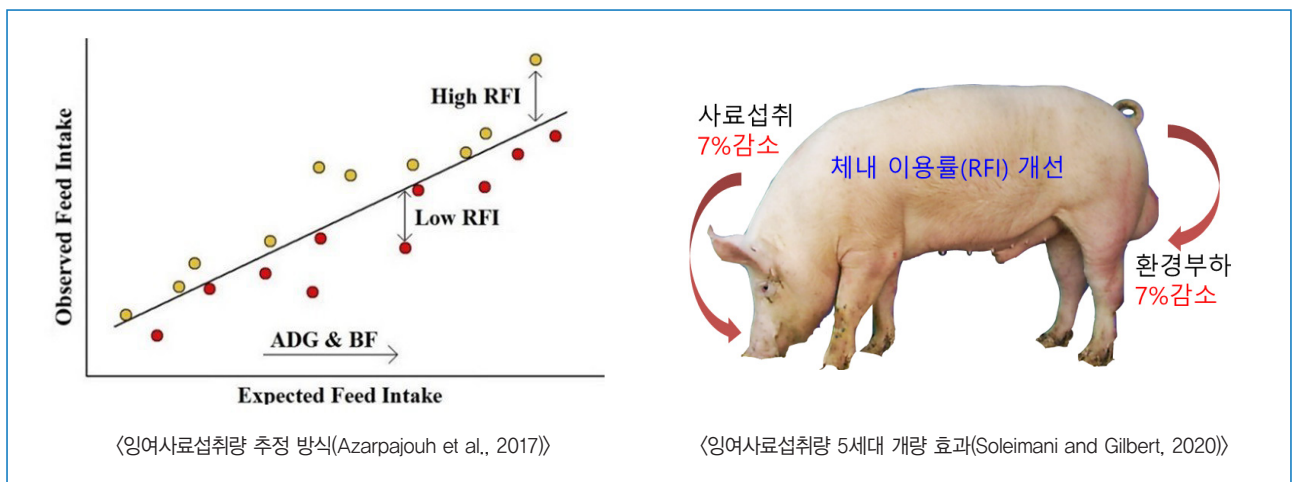
1. 기후변화 대응 및 환경오염 물질 저감 연구

농림부 자료에 따르면, 농업 분야의 온실가스 배출량('18년 기준)은 21.2백만 톤이며, 이 중 축산부문은 9.4백만 톤으로 42%를 차지하고 있다. 축산업은 식량안보를 책임지고 있는 주축으로, 가축사육 두수는 증가 추세여서 축산분뇨 발생 및 투입량은 지속해서 증가할 것으로 전망한다. 따라서, 전 세계적으로 친환경 축산정책을

추진 중이며, 우리나라 또한 축산부문 온실가스 감축 기술개발이 시급하다.

유전·육종 분야는 기존 고기 생산을 위한 양적 증대 중심에서 지속 가능한 생산지표로 전환되고 있다. 사료 효율은 환경(분뇨 발생)과 생산비(사료비) 측면에서 경제적으로 파급력이 가장 높은 개량지표이다(Soleimani and Gilbert, 2020). 사료 효율의 대표 형질인 잉여사료섭취량(RFI, residual feed intake)개량으로 생산비와 환경 부하를 동시에 개선할 수 있다. 또한, 생산성 향상을 위하여 출생 후 새끼돼지 생존율 개선을 위한 개

그림 2. 잉여사료섭취량 추정 방식과 5세대 개량 효과



량지표 발굴과 유전특성을 구명하는 연구와 모든의 강건성 개선을 위한 최대 분만산차, 전생애 산자수 등 장수(longevity) 관련 형질의 발굴연구가 수행 중이다(Paixão et al., 2019). 따라서, 지속 가능한 축산을 위해 환경과의 조화를 고려한 개량을 해야 한다. 잉여사료섭취량, 모든 지속생산능력(stayability), 출생 후 폐사율(mortality rate), 자돈 균일도(uniformity) 등 주요 형질을 개량하여 축산물 생산효율을 극대화가 필요하다. 또한, 영양, 시설, 기후 등 환경변화와 유전발현의 상호작용 효과(genotype-by-environment interactions)를 구명하고 순종과 관련 교잡종의 능력자료를 통합한 평가를 위해 교잡돈의 표현형 수집 중요성이 증대될 것으로 사료된다.

번식 분야는 기후 등 환경변화에 대응한 돼지 번식생리 기전 구명과 번식생리에 기반한 생체 건강관리 기술에 관한 연구가 수행되고 있다. 어미돼지의 위장관 및 자궁 내 마이크로바이옴 변화와 번식생리(생식세포 성숙, 수정, 임신, 착상 등)의 연관성에 대한 연구(Zhang et al., 2021), 임신 및 질병관련 특이인자 발굴에 의한 진단기기 산업화 기술 등에 대한 연구개발이 활발히 진행 중이다(Kauffold et al., 2019; Nannucci et al., 2020). 이상고온 등 환경변화에 따른 스트레스는 사료효율 저하, 장내 환경변화, 에너지 대사이상 및 내분비교란의 요인으로 작용하여 양돈 생산성 저하에 큰 영향을 미친다. 따라서, 환경변화에 따른 번식생리(내분비 기능조절, 난소반응, 자궁회복, 마이크로바이옴 연계성 등) 특성 구명을 통한 하절기 수태율 저하, 가을철 유산빈도 증가 등에 관한 대응연구가 필요하다.

영양·사양 분야에서는 환경오염물질 저감을 위한 대사기초 연구부터 생산성 및 사료효율 향상 연구가 수행되고 있다. 환경오염물질과 돼지 생리와의 상관관계를 추진하여 분과 노로 배설되는 사료 내 질소와 인의 투입량 대비 배설량은 질소 59%, 인 63%가 배출됨을 구명하였다(Han et al., 2001). 또한, 저단백질 사료 공급, 사료가공 방법, 외인성 효소 첨가, 발효 사료 급여, 암수 분리사육, 성장단계에 맞는 영양소 공급 등 분뇨에서

온실가스를 줄일 수 있는 연구가 수행되었다(Aarnink and Verstegen, 2007; Wang et al., 2020). 유럽은 네덜란드의 'Feed-a-Gene' 프로젝트 중심으로 사료효율을 개선하여 영양소 손실 및 환경부하물질 저감 연구를 추진 중이다. 따라서, 지속 가능한 국내 양돈산업을 위하여 주요 원료사료별 환경부하물질(N, P 등) 배출 수준 및 특성을 분석하여 사료 내 영양학적 처리기술 개발 연구가 요구된다. 또한, ICT를 활용하여 사료효율 개량과 사양기술 확보로 생산단계부터 환경부하물질 배출 저감까지 이르는 일련의 기술의 중요성이 증대될 것으로 사료된다.

2. 동물복지 연구

가치소비에 따른 소비자의 동물복지 관심과 소비가 증가하고 있다. 미국은 기업과 일부 주를 중심으로 자체적인 동물복지 가이드라인을 설정하였으며, EU은 동물복지법안 제정('08)으로 단계적으로 스톨사육과 거세·꼬리자르기 제한, 이유일령과 최소 사육면적 등 최소한의 복지 수준을 제시하였다. 최근 EU회원국에서는 2024년까지 분만틀 사육을 금지하는 법안을 마련하고 있다. 국내에서도 산란계 케이지 금지, 임신돈 스톨 금지 등 축산법 개정을 통해 동물복지를 실현하고 있다. 또한, 동물보호법(제29조)에 의거 동물복지 축산농장 인증제('12)가 운영되고 있으며, '22년 4월 기준 전체 동물복지 인증 농가는 총 368호이며, 이중 돼지의 동물복지 인증 농가 수는 16농가이다. 따라서, 동물복지 관련 정책 변화에 따라 농가의 시설 및 사육기술 전환에 도움이 될 수 있도록 관련 기술 개발이 필요하다.

유전·육종 분야는 웅취(수돼지 특유의 냄새) 차단을 위한 거세 대체 방안에 관한 연구가 수행 중이다. 안도스테논(androstenone), 스카톨(skatole) 등의 호르몬이 주요 웅취 물질이며, 특히 안도스테논 농도는 높은 유전력을 가져 웅취 개선을 위한 대표적인 개량 형질이다(Parois 등, 2015). 따라서, 전 세계적인 추세와 소비자의 요구에 맞춰 동물복지와 건강을 개선할 수 있는 개량

연구가 필요하다. 돼지의 스트레스 최소화과 동시에 생산성 유지를 위하여 웅취(boar taint) 성분, 사회성(social genetic effect), 다리형태(leg conformation), 회복력(resilience) 등 형질발굴 확대가 필요하다.

번식·사양 분야에서는 마리당 최소사육면적 증가, 스톨사육 금지, 인도적 도태, 암모니아 농도 규제 등의 개정으로 동물복지 개선 연구가 수행 중이다. 최근 임신돈(교배 6주 이후) 군사사육 의무화 법안 개정으로 2029년까지 의무적으로 임신돈 군사사육 시설을 설치해야 한다. 현재, 임신돈 군사사육 시설별 생산성 구명 연구가 수행되었으며, 군사사육 시 경쟁을 줄일 수 있는 연구가 활발히 추진 중이다(Min et al., 2020; Min et al., 2021). 또한, 다산성 모돈의 생산성 및 복지향상을 위한 개방형 또는 자유분만사 시설 적용으로 모돈의 자유행동 보장, 새끼와 교감 개선 연구가 수행되고 있다(Peltoniemi et al., 2021). 앞으로의 기술 전망은 돼지의 감정, 인지적 지각능력을 측정할 수 있는 기술과 돼지 복지에 영향을 미치는 요인에 관한 연구가 요구될 것이다. 또한, 동물복지형 사육으로 전환을 위한 사양관리 기술과 국가차원의 가이드라인 제시가 필요할 것으로 사료된다.

3. ICT를 이용한 정밀농업 연구

인구 고령화로 인한 노동인구 감소는 농가의 생산에 큰 영향을 미친다. 이를 해결하기 위하여 다양한 통신 장비와 결합한 형태의 전자식 사육시설이 도입되고 있

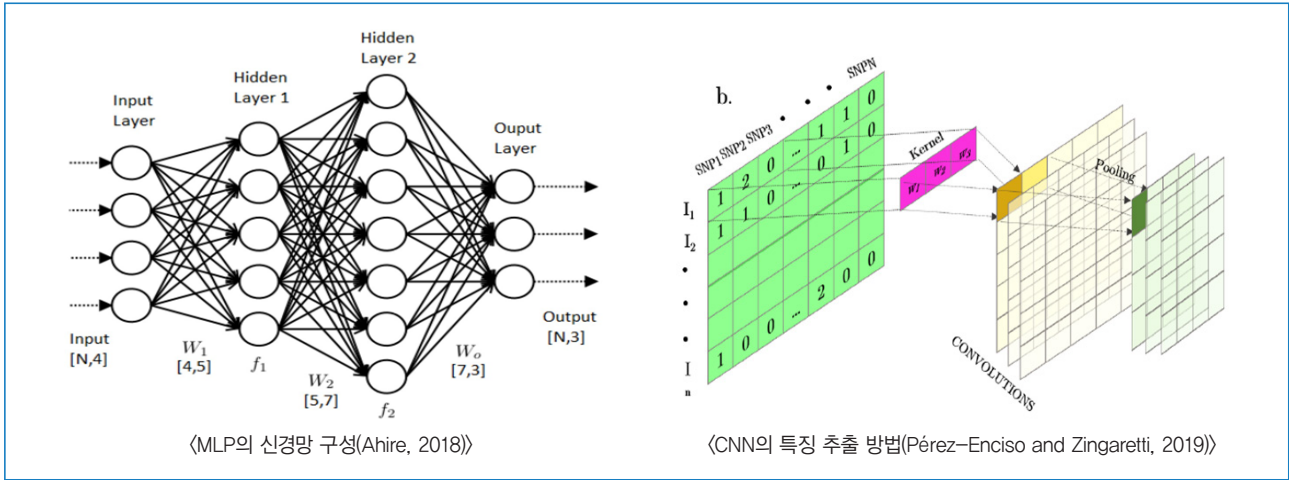
다. 현재 개발된 기기들은 포유모돈 자동급이기, CCTV, 온·습도 제어장치 등이 있다. 이러한 기기들은 인터넷과 연결되면 컴퓨터나 휴대전화로 농장 현황을 파악하고 관리할 수 있으며, 기기들의 정보는 다양한 형태의 데이터를 발생하여 빅데이터를 구성한다. 최근까지도 이러한 빅데이터를 활용하기 어려웠으나, 인공지능 기술이 발달함에 따라 빅데이터를 활용하여 생산성 향상, 노동 효율을 증가시킬 수 있다. 따라서, 앞으로의 양돈산업은 디지털 기기와 관리 기술 개발은 불가피하다.

유전·육종 분야는 선발정확도 개선을 위한 데이터 증강 및 비선형 인공지능(AI) 모델을 적용하고 있다. 순종 능력자료 중심으로 유전능력을 평가하는 방식에서 관련된 교잡종의 능력자료를 통합하여 평가하는 연구가 수행 중이다(Silva 등, 2018). 또한, 유전체 선발모델 개선을 위하여 비선형 AI 모델 연구가 증가하고 있다(Pérez-Enciso과 Zingaretti, 2019). 선형모델과 달리 MLP(multi-layer perception; 여러 개의 망(unit)으로 구성된 층(layer)이 쌓인 구조로 복잡한 유전구조를 적용하기에 적합), CNN(convolutional neural network; MLP에 특징을 추출하는 합성곱층(convolutional layer)이 추가된 모델로 그룹 단위 유전자 작용을 적용하기에 적합) 등의 AI 모델은 상가, 상위성 우성 등 유전 효과의 사전정보 없이 유전체 평가가 가능하다. 따라서, 앞으로는 디지털 장비 기반 실시간 빅데이터의 표준화 및 AI 예측 기술개발이 필요하다. 이미지와 센서 활용으로 돼지 행동특성(섭취빈도, 투쟁빈도 등)과 생체정보

그림 3. 임신돈 일반스틀과 군사사육시설(반스틀, 자동급이시스템, 자유출입스틀)



그림 4.



(체온, 활동량 등)의 실시간 자료를 분석하고 핵심 표현형으로 전환할 수 있는 기술 등을 의미한다. 또한, 클라우드(cloud) 기반 유전체 또는 표현형 정보의 체계통합(system integration)과 AI 모델 기반 예측 기술이 지속해서 성장할 것으로 사료된다.

번식 분야에서는 후보돈 초발정, 수정적기 탐지 등 번식생리 특성에 대한 센싱 기술 연구가 활발하며, 일부는 상용화가 되어 있다(Lei et al., 2021; Lee et al., 2019). 또한, 센싱 기술을 이용한 생체정보(행동패턴, 섭식행동, 체형, 체중 등) 탐지 및 번식성적의 상관성에 관한 연구 또한 진행되고 있다(Hoste et al., 2017; D'Eath, 2018). 따라서, 미래 축산에 대비하여 노동력 절감과 비생산일수(공태일수) 단축을 위한 번식관리 간편화 및 자동화 모델 개발 연구가 요구된다. ICT 기반 개체인식, 비접촉식 체중, 체평점(BCS, body condition score) 등 발육상태 및 행동특성 탐지를 통한 번식돈 생체반응 데이터 분석으로 발정과 수정적기 예측, 임신 여부 자동판정과 분만탐지 디지털 모델 개발이 필요하다.

영양·사양 분야는 사물인터넷(IoT, Internet of Things)을 활용한 출하돈 선별기, 환경관리기, 사료급이기, 체중측정기 등 장비가 주를 이루며, 제품들이 농가에 적용되고 있다. 더 나아가, 최근에는 체온과 동작 패턴 분석, 음성인식, 적외선 센서 등을 통한 돼지의 건

강상태 파악과 인공지능 의사결정 시스템 개발 연구가 수행되고 있다(Okayama et al., 2021; Pan et al., 2021; Ding et al., 2022). 추가적으로, 돼지 성장단계별 일일 영양수준을 맞춘 기초사료 개발 및 개체별 생체정보 인식을 통해 적정 사료(양, 영양수준) 공급 알고리즘 개발이 필요하다. 궁극적으로, 잉여사료소비 방지를 위하여 개체 맞춤형 적정 영양소 공급 자동화 모델을 통해 환경오염물질 저감에 기여할 것으로 사료된다.

III. 결론

양돈업은 2020년 생산액 7조 2천억 원으로, 매년 지속적인 증가 추세에 있다. 그러나, 성장과 비례하여 장·단기적인 문제들이 직면해 있어 이를 해결하기 위해 양돈산업의 연구동향을 살펴보고, 미래 발전방향에 대해 살펴보았다. 첫 번째, 세계적으로 탄소중립, 기후변화에 따른 환경규제가 강화되고 있어 사료효율과 생산성 향상을 위한 기술 개발과 기후변화에 따른 가축의 생리 특성 연구가 수행되어야 한다. 두 번째, 우리나라는 가축의 복지를 실현하기 위한 과도기에 있다. 돼지의 스트레스 최소화와 생산성 유지를 위한 육종 형질 발굴과 돼지의 감정과 인지적 지각능력을 측정하고 복지를 향상할 수 있는 기술들이 개발되어야 한다. 마지막으로, ICT 기

술을 활용한 스마트 축산 개발이 필요하다. AI 모델 적용을 통해 선발정확도를 개선하고, 생산성 향상, 노동효율을 증가시킬 수 있는 인공지능 의사결정 시스템이 개발되어야 한다.

변화하는 세계 속의 국내 양돈업이 지속적으로 성장하

기 위해선 많은 허들(hurdle)을 넘어야 하지만, 무궁무진한 기술을 새롭게 개발할 수 있다는 의미이기도 하다. 양돈업이 국민의 안전한 먹거리를 책임지고, 세계경쟁력을 확보할 수 있도록 양돈농가, 관련협회, 연구소, 대학, 정부가 관련 연구에 집중해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Aarnink, AJA, Verstegen MWA. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science* 109.1(3): 194-203.
2. Ahire JB. 2018. *The artificial neural networks handbook: Part 1* 2018.
3. Azarpajouh S, Colpoys J, Dekkers J, Gabler N, Huff-Lonergan E, Lonergan S, Patience J, Johnson AK. 2017. How Has Selection for Residual Feed Intake (RFI) Affected Nursery And Finisher Pig's Feeding Behavior and Performance. *US Pork Center of Excellence: Clive, IA, USA*.
4. Ding QA, Chen J, Shen MX, Liu LS. 2022. Activity detection of suckling piglets based on motion area analysis using frame differences in combination with convolution neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 194: 106741.
5. D'Eath RB, Jack M, Futro A, Talbot D, Zhu Q, Barclay D, Baxter EM. 2018. Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. *PloS One* 13(4): e0194524.
6. EUR-Lex, European Council Directive 2001/88/EC of 23 October 2001 Amending Directive 91/630/EEC, Laying Down Minimum Standards for the Protection of Pigs, *Official Journal, EUR-Lex, EU*, pp.36-38.
7. Godinho RM, Bergsma R, Silva FF, Sevillano CA, Knol EF, Lopes MS, Lopes PS, Bastiaansen JWM, Guimarães SE. 2018. Genetic correlations between feed efficiency traits, and growth performance and carcass traits in purebred and crossbred pigs. *Journal of Animal Science* 96(3): 817-829.
8. Han IK, Lee JH, Piao XS, Li D. 2001. Feeding and management system to reduce environmental pollution in swine production-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 14(3): 432-444.
9. Hoste R, Suh H, Kortstee H. 2017. Smart farming in pig production and greenhouse horticulture: An inventory in the Netherlands (No. 2017-097). *Wageningen Economic Research*.
10. Kauffold J, Peltoniemi O, Wehrend A, Althouse GC. 2019. Principles and clinical uses of real-time ultrasonography in female swine reproduction. *Animals* 9(11): 950.
11. Lee JH, Lee DH, Yun W, Oh HJ, An JS, Kim YG, Kim GM, Cho JH. 2019. Quantifiable and feasible estrus detection using the ultrasonic sensor array and digital infrared thermography. *Journal of Animal Science and Technology* 61(3): 163.
12. Lei K, Zong C, Du X, Teng G, Feng F. 2021. Oestrus analysis of sows based on bionic boars and machine vision

- technology. *Animals* 11(6): 1485.
13. Min Y, Choi Y, Kim J, Kim D, Jeong Y, Kim Y, Jeong Y, Kim Y, Song M, Jung H. 2020. Comparison of the productivity of primiparous sows housed in individual stalls and group housing systems. *Animals* 10(11): 1940.
 14. Min Y, Kim J, Kim D, Jeong Y, Cho E, Sa S, Jung H, Jin H, Choi Y. 2021. Effects of different gestation housing systems on lameness, skin injuries, and blood constituents in primiparous sows. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 22(9): 308-314.
 15. Nannucci L, Barattini P, Bossis I, Woźniakowski G, Balka G, Pugliese C. 2020. Point-of-service diagnostic technology for detection of swine viral diseases. *Journal of Veterinary Research* 64(1): 15-23.
 16. Okayama T, Kubota Y, Toyoda A, Kohari D, Noguchi G. 2021. Estimating body weight of pigs from posture analysis using a depth camera. *Animal Science Journal* 92(1): e13626.
 17. Paixão G, Martins Â, Esteves A, Payan-Carreira R, Carolino N. 2019. Genetic parameters for reproductive, longevity and lifetime production traits in Bísaro pigs. *Livest Sci* 225: 129-134.
 18. Pan X, Zhu J, Tai W, Fu Y. 2021. An automated method to quantify the composition of live pigs based on computed tomography segmentation using deep neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture* 183: 105987.
 19. Parois SP, Prunier A, Mercat MJ, Merlot E, Larzul C. 2015. Genetic relationships between measures of sexual development, boar taint, health, and aggressiveness in pigs¹. *J Anim Sci* 93: 3749-3758.
 20. Peltoniemi O, Han T, Yun J. 2021. Coping with large litters: Management effects on welfare and nursing capacity of the sow. *Journal of Animal Science and Technology* 63(2): 199.
 21. Pérez-Enciso M, Zingaretti LM. 2019. A guide on deep learning for complex trait genomic prediction. *Genes* 10(7): 553.
 22. Soleimani T, Hélène G. 2020. Evaluating environmental impacts of selection for residual feed intake in pigs. *Animal* 14(12): 2598-2608.
 23. Wang H, Long W, Chadwick D, Velthof GL, Oenema O, Ma W, Wang J, Qin W, Hou Y, Zhang F. 2020. Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 289: 106748.
 24. Zhang J, Liu M, Ke S, Huang X, Fang S, He M, Fu H, Chen C, Huang L. 2021. Gut and vagina microbiota associated with estrus return of weaning sows and its correlation with the changes in serum metabolites. *Frontiers in Microbiology*, 12.
 25. 농림축산식품부. 2021. 농림축산식품 주요통계. 발간번호: 11-1543000-000128-10.
 26. 법제처(국가법령정보센터). 2021. 축산법시행령. 축산업의 허가 및 등록요건(제14조 제2항 및 제14조의 제2항 관련).