

การประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของผลผลิตและวันท้องว่างตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกรพันธุ์แท้

Estimating genetic parameters of lifetime productivity and lifetime non-productive days in purebred sows

ณัฐนิช จิมงคลกุล¹ และ นิติพงศ์ หอมวงษ์^{1*}

Nattanit Jimongkolkul¹ and Nitipong Homwong^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของผลผลิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime productivity) และวันท้องว่างตลอดช่วงชีวิต (lifetime non-productive day) ของแม่สุกรพันธุ์แท้ สุกรแลนด์เรซ (LR) ยอร์กเชียร์ (YS) และดูโรค (DR) จำนวน 507, 97 และ 11 แม่ ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 615 แม่ จำนวน 2,589 บันทึก เข้าฝูงปี 2559 ถึงคัดทิ้งปี 2562 ลักษณะที่ศึกษาคือ วันท้องว่างตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LNPD, ALNPD) ช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรกตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LWSI, ALWSI) วันที่ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LPD, ALPD) วันอุ้มท้องตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LGL, ALGL) วันเลี้ยงลูกตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LLT, ALLT) จำนวนลูกแรกเกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LTB, ALTB) จำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิตตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LBA, ALBA) จำนวนลูกหย่านมตลอดช่วงชีวิตและต่อปี (LPW, ALPW) จำนวนลูกแรกเกิดทั้งหมด (TB) จำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิต (BA) และจำนวนลูกหย่านม (PW) วันท้องว่าง (NPD) และช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรก (WSI) โดยตัวแบบในการวิเคราะห์เป็นแบบ Multivariate animal models เพื่อประมาณค่าทางพันธุกรรม (h^2 , r_g) ผลการศึกษาพบว่าแม่สุกรพันธุ์ LR ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตมากที่สุดและมี LNPD ต่ำสุด ส่วนพันธุ์ DR สามารถอยู่ในฝูงได้นานแต่มี LNPD สูงและให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ค่า h^2 ของ LTB LBA และ LPW อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.04 ส่วนค่า h^2 ของ LNPD และ LWSI อยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.19 ค่า r_g ระหว่าง LTB กับ LBA LTB กับ LPW และ LBA กับ LPW มีค่า 0.99 0.89 และ 0.92 ตามลำดับ ส่วนค่า r_g ระหว่าง LNPD และ LWSI มีค่า 0.81 จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลเนื่องจากพันธุกรรมของลักษณะ LNPD LWSI LTB LBA และ LPW มีค่าต่ำ

คำสำคัญ: ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต; วันท้องว่างตลอดช่วงชีวิต; พันธุ์แท้; สุกร; พันธุกรรม

ABSTRACT: The objective of this study was to estimate the genetic parameters of sow lifetime productivity and lifetime non-productive days. Purebred sows, 507 of Landrace (LR), 97 of Yorkshire (YS), and 11 of Duroc (DR) respectively, were selected as 615 sows (2,589 records). They were from entry in 2016 to removal in 2019. The traits in this study were classified as sow-level and parity-level. The sow-level consisted of the lifetime non-productive days (LNPD), annualized lifetime non-productive days (ALNPD), lifetime weaned-to-first service interval (LWSI), annualized lifetime weaned-to-first service interval (ALWSI), lifetime productive days (LPD), annualized lifetime productive days (ALPD), lifetime gestation length (LGL), annualized lifetime gestation length (ALGL), lifetime lactation length (LLT), annualized lifetime lactation length (ALLT), lifetime total born (LTB), annualized lifetime total born (ALTB), lifetime pig born alive (LBA), annualized lifetime pig born alive (ALBA), lifetime pig weaned (LPW) and annualized lifetime pig weaned (ALPW), while parity-level had traits of NPD, WSI, TB, BA, and PW in each parity. Multivariate animal models were used to estimate genetic parameters as heritability (h^2), genetic correlation (r_g), and

* Corresponding author: nitipong.h@ku.ac.th

Received: date; May 17, 2022 Accepted: date; September 16, 2022 Published: date; January , 2023

phenotypic correlation (r_p) of traits. The results showed that the LR sows have the highest lifetime productivity with the lowest in LNPD. The DR sows were able to retain in the herd for the longer time with higher LNPD and lower lifetime productivity than other breed sows. The h^2 estimation of LTB, LBA and LPW were low, ranged from 0 to 0.04, while h^2 of the LNPD and LWSI were ranged from 0.10 to 0.19. The r_g among LTB vs LBA, LTB vs LPW and LBA vs LPW were estimated by 0.99, 0.89, and 0.92, respectively. The r_g between LNPD and LWSI was estimated by 0.81. This study indicates that the genetic effect on LNPD, LWSI, LTB, LBA, and LPW traits is relatively low.

Keywords: lifetime productivity; lifetime non-productive day; purebred; sow; genetic

บทนำ

ประสิทธิภาพฝูงแม่พันธุ์สุกรเชิงอุตสาหกรรมบ่อยครั้งที่ประเมินจากจำนวนลูกหย่านมต่อแม่ต่อปี (pig weaned per sow per year, PSY) (Koketsu, 2002) แต่ไม่ได้พิจารณาจากอายุการใช้งานของแม่สุกร (longevity) หรือลำดับท้องที่คัดทิ้ง (parity at removal) ซึ่งอาจทำให้ประเมินประสิทธิภาพของฝูงแม่พันธุ์สุกรไม่ครบถ้วนทุกประเด็น (Koketsu et al., 2017) ปัจจุบันการประเมินประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกรได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น สามารถประเมินได้จากผลผลิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime productivity) ความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต (lifetime fertility) และประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิต (lifetime efficiency) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยสามารถบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรได้ดีกว่า PSY (Koketsu and Iida, 2020) และ 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยผลผลิตตลอดช่วงชีวิต สามารถประเมินได้จากจำนวนลูกแรกเกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต (lifetime total born, LTB) จำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime pig born alive, LBA) และจำนวนลูกหย่านมตลอดช่วงชีวิต (lifetime pig weaned, LPW) ปริมาณผลผลิตที่แม่สุกรสามารถผลิตได้เหล่านี้ ส่วนหนึ่งเป็นอิทธิพลเนื่องมาจากพันธุกรรม รายงานการศึกษาค่าอัตราพันธุกรรม (heritability, h^2) ของ LTB LBA และ LPW มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.08 ถึง 0.11 0.09 ถึง 0.11 และ 0.09 ตามลำดับ (Sevón-Aimonen and Uimari, 2013) สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (genetic correlation, r_g) และสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ (phenotypic correlation, r_p) ระหว่าง LTB กับ LBA LTB กับ LPW และ LBA กับ LPW มีค่า r_g ประมาณ 0.99 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ และมีค่า r_p ประมาณ 0.99 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ (Sevón-Aimonen & Uimari, 2013)

ความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต เป็นการประเมินประสิทธิภาพด้านความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกร สามารถประเมินได้จากจำนวนวันท้องว่างตลอดช่วงชีวิต (lifetime non-productive days, LNPD) คือ จำนวนวันที่ไม่ได้อุ้มท้องและไม่ได้เลี้ยงลูกหรือวันท้องว่าง (non-productive day, NPD) (Koketsu, 2005) ที่เกิดขึ้นในแต่ละลำดับท้องสะสมจนกระทั่งถูกคัดทิ้งออกจากฝูง โดยแม่สุกรที่มีความสมบูรณ์พันธุ์สูงมีแนวโน้มที่ LNPD จะมีจำนวนน้อยลง มีวันที่ให้ผลผลิต (productive day, PD) เพิ่มขึ้น จึงอาจทำให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตเพิ่มขึ้น (Leite et al., 2011; Sasaki and Koketsu, 2008) ซึ่ง NPD สามารถเกิดขึ้นได้หลายช่วง ได้แก่ ช่วงสุกรสาวเข้าฝูงถึงผสม (gilt entry-to-service interval) (Kirkwood, 2011) ช่วงสุกรสาวผสมครั้งแรกถึงตั้งท้อง (gilt first-mating-to-pregnancy interval) ช่วงสุกรสาวผสมครั้งแรกถึงคัดทิ้ง (gilt first-mating-to-removal interval) ช่วงหย่านมถึงคัดทิ้งโดยที่ยังไม่ได้รับการผสม (unmated weaning-to-removal interval) ช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรก (weaned-to-first-mating interval) ช่วงสุกรนางผสมครั้งแรกถึงตั้งท้อง (sow first-mating-to-pregnancy interval) และช่วงสุกรนางผสมครั้งแรกถึงถูกคัดทิ้ง (sow first-mating-to-removal interval) (Koketsu, 2005)

อายุการใช้งานหรือความสามารถในการอยู่ในฝูงของแม่สุกร สามารถประเมินได้จาก 3 ลักษณะ ได้แก่ ช่วงตั้งแต่วันที่ผสมครั้งแรกจนกระทั่งถูกคัดทิ้ง (herd-life days, HLD) ช่วงตั้งแต่เกิดจนกระทั่งถูกคัดทิ้ง (sow life days, SLD) และลำดับท้องที่คัดทิ้ง (parity at removal) (Koketsu and Iida, 2020) ซึ่งแม่สุกรที่สามารถอยู่ในฝูงประมาณ 1,071.6 วัน หรือคัดทิ้งลำดับท้องที่ 7 จะสามารถให้ผลผลิต LBA ได้ประมาณ 87.6 ตัว ในทางตรงกันข้ามหากแม่สุกรที่สามารถอยู่ในฝูงได้ในช่วงใกล้เคียงกันหรือประมาณ 1,072.7 วัน แต่แม่สุกรสามารถให้ผลผลิต LBA ได้เพียง 64 ตัว จึงคาดว่าอาจมี NPD เพิ่มขึ้น (Sasaki and Koketsu, 2008) และแม่สุกรที่มี LBA มากกว่า 80 ตัว จะมีโอกาสที่ LPW สูงขึ้น โดยมี LPW เฉลี่ย 64.1 ตัว (Stalder et al., 2009) ซึ่งให้เห็นว่าระยะเวลาที่แม่สุกรอยู่ในฝูงได้นานอาจไม่ใช่วันที่แม่สุกรให้ผลผลิต แต่เป็น NPD ที่ทำให้ LNPD สูงขึ้นตามไปด้วย จึงต้องมีการพิจารณาอายุการใช้งาน และ LNPD

ควบคุมไปด้วย จากการศึกษาของ Suwanasopee et al. (2005) ได้รายงานค่า h^2 ของช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรก (weaned-to-first mating interval, WSI) ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของ NPD มีค่าประมาณ 0.03

ประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกร เป็นการพิจารณาาร่วมกันของผลผลิตตลอดช่วงชีวิตและความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต สามารถคำนวณได้จาก ลักษณะตลอดช่วงชีวิตคูณด้วย 365.25 วัน หากด้วย SLD หรือ HLD (Koketsu et al., 2017; Sasaki and Koketsu, 2008) จะได้เป็นค่าประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกร ลักษณะตลอดช่วงชีวิต ได้แก่ จำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิตตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime pig born alive, ALBA) (Koketsu and Iida, 2020) นอกจากนี้ยังสามารถใช้คำนวณประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตกับลักษณะอื่นๆ เช่น จำนวนลูกแรกเกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime total born, ALTB) จำนวนลูกหย่านมตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime pig weaned, ALPW) จำนวนวันท้องว่างตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime non-productive days, ALNPD) และจำนวนวันที่แม่สุกรให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime non-productive days, ALPD) ประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตเหล่านี้อาจเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ดีของฝูงแม่พันธุ์สุกร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ALBA ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง LBA และ LNP (Koketsu et al., 2017) แต่ในประเทศไทยมีการศึกษาการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของผลผลิตตลอดช่วงชีวิตและวันท้องว่างตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกรพันธุ์แท้ยังมีน้อย สมมติฐานของการศึกษานี้คือ ค่าทางพันธุกรรมของลักษณะ LTB LBA และ LPW มีค่าต่ำ และค่าทางพันธุกรรมของลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ALTB ALBA ALPW LWSI ALWSI LNP และ ALNP จะมีค่าต่ำเช่นกัน ซึ่งทำให้การคัดเลือกทางพันธุกรรมของลักษณะดังกล่าวเป็นไปได้ยาก ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อ 1) เปรียบเทียบอิทธิพลจากแม่ (maternal effect) อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม (environment effect) และอิทธิพลร่วมระหว่างแม่และสภาพแวดล้อม (maternal and environment effect) ที่อาจเกี่ยวเนื่องกับลักษณะที่ศึกษาดังกล่าวข้างต้น และ 2) คัดเลือกโมเดลสุดท้าย (final model) ของอิทธิพลจากแม่ จากสภาพแวดล้อม หรืออิทธิพลร่วม เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของลักษณะที่ศึกษา

วิธีการศึกษา

ข้อมูลของสุกรสาวทดแทนจากฝูงแม่พันธุ์ในเขตภาคตะวันตกของประเทศไทย ขนาด 2,500 แม่ นำมาจากโปรแกรม “หมอหมู” เกษตรศาสตร์ วินโดวส์ 2000 v4.00 (PigLIVE® Version 4.0, Live informatics) สุกรสาวทดแทนถูกผลิตเพื่อใช้ทดแทนภายในฝูงแม่พันธุ์ เป็นแม่สุกรพันธุ์แท้แลนด์เรซ (Landrace, LR) ยอร์กเชียร์ (Yorkshire, YS) และดิวร็อค (Duroc, DR) จำนวน 507, 97 และ 11 แม่ ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 615 แม่ ตั้งแต่วันที่ย้ายเข้าฝูงถึงวันที่คัดทิ้ง ในช่วงเดือนสิงหาคม 2559 ถึงธันวาคม 2562 รวมระยะเวลา 3 ปี 4 เดือน โดยการศึกษาได้รับอนุญาตให้ดำเนินการใช้ข้อมูลของสัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Approval no. ACKU62-AGK-007)

ข้อมูลแม่สุกร ลำดับท้องและเกณฑ์การเลือกค่าสังเกต

บันทึกข้อมูลรายตัวของแม่สุกร (sow-level) และรายลำดับท้อง (parity-level) ข้อมูลรายตัวของแม่สุกรก่อนการเลือกค่าสังเกต 615 แม่ ประกอบด้วยข้อมูลพันธุ์ประวัติ ได้แก่ เบอร์สุกร (animal ID) เบอร์พ่อ (sire ID) และเบอร์แม่ (dam ID) ลักษณะผลผลิตตลอดช่วงชีวิต จะบันทึกข้อมูลผลผลิตในแต่ละลำดับท้องของแม่สุกรตั้งแต่เข้าฝูงจนกระทั่งถูกคัดทิ้ง โดยเรียงลำดับข้อมูลในรูปแบบตามยาว (longitudinal format) มีข้อมูลลำดับท้องก่อนการเลือกค่าสังเกต ทั้งหมด 2,589 บันทึก จากนั้นใช้เกณฑ์การเลือก (inclusion criteria) เพื่อเลือกค่าสังเกตที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยเกณฑ์การเลือกมีดังนี้ จำนวนลูกแรกเกิดทั้งหมด (total pigs born, TB) และจำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิต (pigs born alive, BA) ไม่เท่ากับ 0 และน้อยกว่าเท่ากับ 26 ตัว จำนวนลูกหย่านม (pigs weaned, PW) ไม่เท่ากับ 0 และน้อยกว่าเท่ากับ 22 ตัว (Jimongkolkul and Homwong, 2021) ระยะเวลาท้อง (gestation length, GL) มากกว่า 104 วันและน้อยกว่า 126 วัน ระยะเวลาเลี้ยงลูก (lactation length, LT) น้อยกว่า 41 วัน ช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรก (weaned-to-first service interval, WSI) น้อยกว่า 61 วันและวันที่ไม่ให้ผลผลิต (non-productive days, NPD) น้อยกว่า 99 เพอร์เซ็นต์ไทม์ (Homwong et al., 2018) หลังจากเลือกค่าสังเกต มีข้อมูลของแม่สุกร 414 แม่ ข้อมูลลำดับท้อง 1,376 บันทึก

ลักษณะที่ใช้ในการศึกษา

ลักษณะผลผลิตตลอดช่วงชีวิต ที่นำมาวิเคราะห์ ประกอบด้วย จำนวนลูกสุกรแรกเกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต (lifetime total born, LTB) จำนวนลูกสุกรแรกเกิดมีชีวิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime pig born alive, LBA) จำนวนลูกสุกรหย่านมตลอดช่วงชีวิต (lifetime pig weaned, LPW) ระยะอุ้มท้องตลอดช่วงชีวิต (lifetime gestation length, LGL) ระยะเลี้ยงลูกตลอดช่วงชีวิต (lifetime lactation length, LLT) จำนวนวันที่ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime productive days, LPD) วันที่ไม่ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต (lifetime non-productive day, LNPD) และช่วงหย่านมถึงผสมครั้งแรกตลอดช่วงชีวิต (lifetime weaned-to-first service interval, LWSI)

ลักษณะประสิทธิผลตลอดช่วงชีวิต มีดังนี้ จำนวนลูกสุกรแรกเกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime total born, ALTB) จำนวนลูกสุกรแรกเกิดมีชีวิตตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime pig born alive, ALBA) จำนวนลูกสุกรหย่านมตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime pig weaned, ALPW) ความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิตต่อปี ได้แก่ ระยะอุ้มท้องตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime gestation length, ALGL) ระยะเลี้ยงลูกตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime lactation length, ALLT) จำนวนวันที่ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime productive days, ALPD) วันที่ไม่ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime non-productive day, ALNPD) ช่วงหย่านมถึงผสมตลอดช่วงชีวิตต่อปี (annualized lifetime weaned-to-first service interval, ALWSI) โดยประสิทธิผลตลอดช่วงชีวิต = ลักษณะตลอดช่วงชีวิต $\times 365.25 / \text{HLD}$ โดย HLD ของการศึกษานี้ เป็นช่วงตั้งแต่สุกรสาวเข้ายืนของในโรงเรือนสุกรสาวทดแทนเพื่อเตรียมผสมถึงคัดทิ้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การสร้างโมเดล

การประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมสำหรับลักษณะของข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPD LWSI ALTB ALBA ALPW ALNPD และ ALWSI จะใช้โมเดลทางพันธุกรรมที่ 1 2 3 หรือ 4 ส่วนลักษณะของข้อมูลประเภท parity-level ได้แก่ TB BA PW NPD และ WSI จะใช้โมเดลทางพันธุกรรมที่ 1 หรือ 4

สร้างโมเดลแบบ multibreed โดยใช้โมเดลทางพันธุกรรมทั้งหมด 4 โมเดล ได้แก่ 1) animal model, 2) animal model with maternal effects, 3) animal model with maternal and environment effects และ 4) animal model with environment effects ดังนี้

โมเดลทางพันธุกรรมที่ 1 animal model

มีโมเดลทางสถิติดังนี้

$$y \sim Xb + Zu + \epsilon \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของแต่ละลักษณะในข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPD LWSI ALTB ALBA ALPW ALNPD และ ALWSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept ข้อมูลประเภท parity-level ค่าสังเกตของแต่ละลักษณะ ได้แก่ TB BA PW NPD และ WSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept ลำดับท้อง (parity at insemination) u เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม (additive genetic effect) และ ϵ เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากความคลาดเคลื่อน X และ Z เป็นเมทริกซ์ (incidence matrix) ที่เกี่ยวข้องกับ b และ u ตามลำดับ

เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมดังนี้

$$\text{var} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & 0 & 0 \\ g_{21}A & g_{22}A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{e_1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_2}^2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ g คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมระหว่างลักษณะ 2 ลักษณะ A คือ เมทริกซ์ของความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างตัวสัตว์ (animal relationship matrix) และ I คือ identity matrix

โมเดลทางพันธุกรรมที่ 2 animal model with maternal effects

มีโมเดลทางสถิติดังนี้

$$y \sim Xb + Zu + Wm + \varepsilon \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของแต่ละลักษณะในข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPDI LWSI ALTB ALBA ALPW ALNPDI และ ALWSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept u เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม m เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของแม่ และ ε เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากความคลาดเคลื่อน X Z และ W เป็นเมทริกซ์ (incidence matrix) ที่เกี่ยวข้องกับ b u และ m ตามลำดับ

เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมดังนี้

$$\text{var} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ m_1 \\ m_2 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & g_{13}A & g_{14}A & 0 & 0 \\ g_{21}A & g_{22}A & g_{23}A & g_{24}A & 0 & 0 \\ g_{31}A & g_{32}A & g_{33}A & g_{34}A & 0 & 0 \\ g_{41}A & g_{42}A & g_{43}A & g_{44}A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}$$

เมื่อ g คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมระหว่างลักษณะ 2 ลักษณะ A คือ เมทริกซ์ของความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างตัวสัตว์ (animal relationship matrix) และ r คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของความคลาดเคลื่อน

โมเดลทางพันธุกรรมที่ 3 animal model with maternal and environment effects

มีโมเดลทางสถิติดังนี้

$$y \sim Xb + Zu + Wm + Spe + \varepsilon \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pe_1 \\ pe_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของแต่ละลักษณะในข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPD LWSI ALTB ALBA ALPW ALNPD และ ALWSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept u เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม m เป็นปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของแม่ pe เป็นปัจจัยสุ่มเนื่องจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมแบบถาวร และ ε เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากความคลาดเคลื่อน $X Z W$ และ S เป็นเมทริกซ์ (incidence matrix) ที่เกี่ยวข้องกับ $b u m$ และ pe ตามลำดับ

เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมดังนี้

$$var \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ m_1 \\ m_1 \\ pe_1 \\ pe_2 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & g_{13}A & g_{14}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_{21}A & g_{22}A & g_{23}A & g_{23}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_{31}A & g_{32}A & g_{33}A & g_{34}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_{41}A & g_{42}A & g_{43}A & g_{44}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{11} & q_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{21} & q_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}$$

เมื่อ g คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมระหว่างลักษณะ 2 ลักษณะ A คือ เมทริกซ์ของความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างตัวสัตว์ (animal relationship matrix) q คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมแบบถาวร และ r คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของความคลาดเคลื่อน

อิทธิพลเนื่องจากแม่ (dam ID) และอิทธิพลเนื่องจากสภาพแวดล้อมถาวร (permanent environment) นำมาเป็นปัจจัยสุ่ม (random effects) ได้แก่ ปี-ฤดูกาลที่เข้าฝูง (year-season entry) ซึ่งจะใช้ในข้อมูลประเภท sow-level โดยพิจารณาปี-ฤดูกาล ดังนี้ ปีที่เข้าฝูงและคลอดลูก คือ พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2562 และฤดูกาลที่คลอดลูก แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน ถึง กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม ถึง มกราคม)

โมเดลทางพันธุกรรมที่ 4 animal model with environment effects

มีโมเดลทางสถิติดังนี้

$$y \sim Xb + Zu + Spe + \varepsilon \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pe_1 \\ pe_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของแต่ละลักษณะในข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPD LWSI ALTB ALBA ALPW ALNPD และ ALWSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept ข้อมูลประเภท parity-level ค่าสังเกตของแต่ละลักษณะ ได้แก่ TB BA PW NPD และ WSI b เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยคงที่ของ intercept และลำดับท้อง (parity at insemination) u เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่ม เนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม pe เป็นปัจจัยสุ่มเนื่องจากสภาพแวดล้อมแบบถาวร และ ε เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยสุ่มเนื่องจากความคลาดเคลื่อน $X Z$ และ S เป็นเมทริกซ์ (incidence matrix) ที่เกี่ยวข้องกับ $b u$ และ pe ตามลำดับ

เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมคือ

$$\text{var} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ pe_1 \\ pe_2 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_{21}A & g_{22}A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{11} & q_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{21} & q_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}$$

เมื่อ g คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมระหว่างลักษณะ 2 ลักษณะ A คือ เมทริกซ์ของความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างตัวสัตว์ (animal relationship matrix) q คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมแบบถาวร และ r คือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเนื่องจากอิทธิพลของความคลาดเคลื่อน

อิทธิพลเนื่องจากสภาพแวดล้อมถาวร (permanent environment) นำมาเป็นปัจจัยสุ่ม ได้แก่ ปี-ฤดูกาลที่เข้าฝูง (year-season entry) จะใช้ในข้อมูลประเภท sow-level และปี-ฤดูกาลที่คลอด (year-season farrow) จะใช้ในข้อมูลประเภท parity-level โดยพิจารณาปี-ฤดูกาล ดังนี้ ปีที่เข้าฝูงและคลอดลูกคือ พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2562 และฤดูกาลที่คลอดลูก แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน ถึง กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม ถึง มกราคม)

Average Information (AI) algorithm ถูกใช้ในโมเดลของข้อมูล sow-level ได้แก่ LTB LBA LPW LNPD LWSI ALNPD และ ALWSI ส่วน Expectation-maximization (EM) algorithm ถูกใช้ในโมเดลของข้อมูล parity-level ได้แก่ TB BA PW NPD และ WSI โดยการวิเคราะห์ทีละลักษณะ (univariate model) เพื่อประเมินความสำคัญของลักษณะนั้น ๆ จากนั้นใช้การวิเคราะห์ทีละสองลักษณะ (bivariate model) จนครบทุกลักษณะ เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม และค่าประมาณค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม และค่าสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ

การเลือกโมเดล (model selection)

ในการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลจะหาค่า $-2 \times \log \text{likelihood}$ (-2LL) และ Akaike Information Criterion (AIC) โดย $\text{AIC} = -2\text{LL} + 2k$, k คือ จำนวนพารามิเตอร์ในโมเดล โมเดลสุดท้าย (final model) สำหรับปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อลักษณะที่ศึกษา โมเดลที่ให้ค่า AIC น้อยที่สุดถูกพิจารณาเป็นโมเดลสุดท้าย (Moore, 2016) โดยโมเดลสุดท้ายที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของลักษณะในข้อมูลประเภท sow-level ได้แก่ ชุดโมเดลที่ 1 และ ชุดโมเดลที่ 4 โดยชุดโมเดลที่ 1 ค่า y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของลักษณะ ALTB ALBA ALPW และ ALNPD ส่วนชุดโมเดลที่ 4 ค่า y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของลักษณะ LTB LBA LPW LNPD LWSI และ ALWSI โมเดลสุดท้ายที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของลักษณะในข้อมูลประเภท parity-level ได้แก่ ชุดโมเดลที่ 4 ซึ่งค่า y เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกตของลักษณะ TB BA PW NPD และ WSI

การวิเคราะห์ทางสถิติและการประเมินทางพันธุกรรมใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2 (R core team, 2021) โดยใช้แพ็คเกจ “breedR” (Muñoz and Sanchez, 2020) สำหรับ linear mixed-effects model แพ็คเกจ “nadiv” (Wolak, 2012) สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ทางเครือญาติของแม่สุกร แพ็คเกจ “GeneticsPed” (Gorjanc and Henderson, 2021) แพ็คเกจ “pedigree” (Coster, 2013) แพ็คเกจ “kinship2” (Therneau and Sinnwell, 2020) สำหรับการวิเคราะห์พันธุ์ ประวัติ และแพ็คเกจ “pedantics” (Morrissey, 2018) สำหรับการสร้างแผนภาพพันธุ์ประวัติ

ผลการศึกษา

ข้อมูลแม่สุกรทั้งหมด 615 แม่ มีจำนวนที่ผ่านเกณฑ์การเลือก 414 แม่ ทั้งหมด 1,376 บันทึก โดยพบว่ามีทั้งสิ้น 92 ครอบครัว (family) และพันธุ์ LR YS และ DR มี 72 34 และ 4 ไหล่ (line) ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย (mean $\pm$ SE) ค่าต่ำสุด (minimum) และค่า

สูงสุด (maximum) **Table 1** แสดงอายุการใช้งานและผลิตผล พบว่า HLD ของแม่สุกรแต่ละพันธุ์ LR YS และ DR มีค่าเฉลี่ย 675.41 605.95 และ 785.00 วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแม่สุกรพันธุ์ DR สามารถอยู่ในฝูงได้นานกว่าแม่สุกรพันธุ์อื่น ๆ เมื่อพิจารณาผลผลิตตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกร **Table 2** ผลผลิตและประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิต พบว่า LTB LBA และ LPW ของแม่สุกรพันธุ์ พบว่าค่าเฉลี่ยของ LTB LBA และ LPW ของแม่สุกรพันธุ์ LR สูงที่สุด เมื่อเทียบกับพันธุ์ YS และ DR โดยมีค่า LTB เฉลี่ย 60.39 56.54 และ 45.62 ตัวตามลำดับ มีค่า LBA เฉลี่ย 55.47 51.37 และ 41.25 ตัว ตามลำดับ และมีค่า LPW เฉลี่ย 50.27 40.44 และ 46.75 ตัว ตามลำดับ

Table 1 Summary statistics for longevity and productivity

Traits ^{2/}	LR ^{1/}					YS ^{1/}				DR ^{1/}		
	N ^{3/}	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max
		± SE ^{4/}				± SE				± SE		
Longevity												
SLD (day)	129	958.37 ± 23.37	912	1,004	21	901.33 ± 57.68	787	1,015	4	1,097.00 ± 132.16	835	1,358
HLD (day)	129	675.41 ± 23.68	628	722	21	605.95 ± 58.70	489	721	4	785.00 ± 134.51	519	1,050
Py (parity)	129	4.58 ± 0.15	2	8	21	4.04 ± 0.39	2	7	4	5.25 ± 0.90	3	7
Productivity												
TB (pig)	1182	13.29 ± 0.11	13	13	166	14.89 ± 0.28	14	15	28	10.10 ± 0.69	8	11
BA (pig)	1182	12.28 ± 0.10	12	12	166	13.62 ± 0.26	13	14	28	9.00 ± 0.65	7	10
PW (pig)	1182	11.56 ± 0.06	11	11	166	10.81 ± 0.18	10	11	28	9.75 ± 0.44	8	10

^{1/} LR =Landrace, YS = Yorkshire, DR = Duroc

^{2/} SLD = sow life day, HLD = herd-life day, Py = parity at removal, TB = total born, BA = pig born alive, PW = pig weaned

^{3/} N = number of observations

^{4/} SE = standard error

Table 2 Summary statistics for lifetime productivity and lifetime efficiency

Traits ^{2/}	LR ^{1/}					YS ^{1/}				DR ^{1/}		
	N ^{3/}	Mean $\pm$	Min	Max	N	Mean $\pm$	Min	Max	N	Mean $\pm$	Min	Max
		SE ^{4/}					SE				SE	
Lifetime productivity												
LTB (pig)	345	60.39 $\pm$ 1.36	57	63	61	56.54 $\pm$ 3.23	50	62	8	45.62 $\pm$ 8.93	28	63
LBA (pig)	345	55.47 $\pm$ 1.24	53	57	61	51.37 $\pm$ 2.95	45	57	8	41.25 $\pm$ 8.16	25	57
LPW (pig)	345	50.27 $\pm$ 1.14	48	45	61	40.44 $\pm$ 2.73	35	52	8	46.75 $\pm$ 7.54	31	61
Lifetime efficiency												
ALTB (pig)	129	29.89 $\pm$ 0.54	28	30	21	31.04 $\pm$ 1.35	28	33	4	20.00 $\pm$ 3.10	13	26
ALBA (pig)	129	27.28 $\pm$ 0.51	26	28	21	28.05 $\pm$ 1.26	25	30	4	18.46 $\pm$ 2.88	12	24
ALPW (pig)	129	24.53 $\pm$ 0.47	23	25	21	22.06 $\pm$ 1.18	19	24	4	19.87 $\pm$ 2.71	14	25

^{1/} LR =Landrace, YS = Yorkshire, DR = Duroc^{2/} LTB = lifetime total born, ALTB = annualized lifetime total born, LBA = lifetime pig born alive, ALBA = annualized lifetime pig born alive, LPW = lifetime pig weaned, and ALPW = annualized lifetime pig weaned^{3/} N = number of observations^{4/} SE = standard error

Table 3 Summary statistics for non-productive days and lifetime fertility

Traits ^{2/}	LR ^{1/}					YS ^{1/}				DR ^{1/}		
	N ^{3/}	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max
		± SE ^{4/}				± SE				± SE		
Non-productive days												
NPD	1182	9.85	9	10	166	8.42	6	10	28	13.46	8	18
(day)		± 0.40				± 1.09				± 2.65		
WSI	1182	7.11	6	7	166	7.07	6	8	28	8.71	6	11
(day)		± 0.18				± 0.50				± 1.23		
Lifetime fertility												
LNP	339	60.20	55	64	60	61.53	50	72	8	86.25	56	116
(day)		± 2.33				± 5.55				± 15.19		
LWSI	345	25.31	23	27	61	21.01	16	25	8	37.12	25	49
(day)		± 0.93				± 2.21				± 6.10		
ALNP	129	44.21	38	49	21	62.16	47	76	4	51.87	19	84
(day)		± 2.90				± 7.32				± 16.36		
ALWSI	129	12.04	10	13	21	12.11	9	15	4	24.70	17	31
(day)		± 0.61				± 1.51				± 3.45		

^{1/} LR = Landrace, YS = Yorkshire, DR = Duroc

^{2/} NPD = non-productive day, LNP = lifetime non-productive day, ALNP = annualized lifetime non-productive day, WSI = weaned-to-first service interval, LWSI = lifetime weaned-to-first service interval, ALWSI = annualized lifetime weaned-to-first service interval

^{3/} N = number of observations

^{4/} SE = standard error

Table 3 แสดงวันท้องว่างและความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต พบว่าแม่สุกรพันธุ์ DR มีจำนวน LNP สูงกว่าพันธุ์ LR และ YS ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 86.25 60.20 และ 61.53 วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าแม่สุกรพันธุ์ DR มีจำนวนวัน LNP สูงกว่าทุกสายพันธุ์ ซึ่งเมื่อพิจารณา LWSI ซึ่งเป็นค่าตัวแทนของช่วงวันท้องว่าง พบว่าพันธุ์ DR สูงกว่า LR และ YS โดยมีค่าเฉลี่ย 37.12 25.31 และ 21.01 วัน ตามลำดับ

Table 4 Summary statistics for productive day traits

Traits ^{2/}	LR ^{1/}					YS ^{1/}				DR ^{1/}			
	N ^{3/}	Mean $\pm$	Min	Max	N	Mean $\pm$ SE	Min	Max	N	Mean $\pm$ SE	Min	Max	
		SE ^{4/}											
Productive days													
GL (day)	1182	116.82 $\pm$ 0.04	116	116	166	115.66 $\pm$ 0.11	115	115	28	115.21 $\pm$ 0.27	114	115	
LT (day)	1182	24.63 $\pm$ 0.06	24	24	166	24.87 $\pm$ 0.16	24	25	28	24.78 $\pm$ 0.40	23	25	
PD (day)	1182	141.45 $\pm$ 0.07	141	141	166	140.54 $\pm$ 0.18	140	140	28	140.00 $\pm$ 0.46	139	140	
LGL (day)	345	525.97 $\pm$ 11.00	504	398	61	450.45 $\pm$ 26.18	398	501	8	554.12 $\pm$ 72.29	412	696	
LLT (day)	345	106.37 $\pm$ 2.38	101	111	61	92.06 $\pm$ 5.66	80	103	8	110.62 $\pm$ 15.65	79	141	
LPD (day)	345	617.15 $\pm$ 13.28	591	643	61	527.26 $\pm$ 31.59	465	589	8	664.75 $\pm$ 87.24	493	836	
ALGL (day)	129	273.73 $\pm$ 2.37	269	278	21	259.34 $\pm$ 5.87	247	270	4	271.86 $\pm$ 13.46	245	298	
ALLT (day)	129	54.63 $\pm$ 0.65	53	55	21	53.21 $\pm$ 1.63	49	56	4	48.06 $\pm$ 3.74	40	55	
ALPD (day)	129	327.71 $\pm$ 2.84	322	333	21	312.56 $\pm$ 7.05	298	326	4	319.92 $\pm$ 16.16	287	351	

^{1/} LR = Landrace, YS = Yorkshire, DR = Duroc^{2/} GL = gestation length, LGL = lifetime gestation length, ALGL = annualized lifetime gestation length, LT = lactation length, LLT = lifetime lactation length, ALLT = annualized lifetime gestation length, PD = productive days, LPD = lifetime productive days, ALPD = annualized lifetime productive days^{3/} N = number of observations^{4/} SE = standard error

Table 4 แสดงลักษณะวันให้ผลผลิต พบว่าระยะยั้งท้อง (GL) ของแม่สุกรในฟาร์มแห่งนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 115 ถึง 116 วัน ซึ่งแม่สุกรพันธุ์ DR มีจำนวน LPD สูงกว่าพันธุ์ LR และ YS ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 664.75 617.15 และ 527.26 วัน ตามลำดับ

การสร้างและเลือกโมเดล

ข้อมูลมี 2 ประเภท ได้แก่ sow-level และ parity-level โดยลักษณะของข้อมูลประเภท sow-level ถูกนำมาสร้างโมเดลทั้งหมด 4 ชุดโมเดล (animal model, animal model with maternal effects, animal model with maternal effects and

permanent environment และ animal model with permanent environment) ส่วนลักษณะของข้อมูลประเภท parity-level จะถูกสร้างทั้งหมด 2 ชุดโมเดล (animal model และ animal model with permanent environment) จากนั้นโมเดลแต่ละลักษณะที่ให้ค่า AIC น้อยที่สุด จะถูกเลือกเป็นโมเดลสุดท้าย (final model) และโมเดลสุดท้ายถูกใช้เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม

Table 5 Estimates of heritability on diagonal, genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation between NPD and WSI at parity-level from the final model

Traits ^{1/}	NPD	WSI
NPD	0.01	0.26
WSI	0.43	0.02

^{1/} NPD = non-productive day, WSI = weaned-to-first service interval

EM algorithm was used; therefore, SE were not estimated

Table 5 การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะ NPD และ WSI ของแม่สุกรทุกพันธุ์ ด้วยโมเดลสุดท้าย มีค่าอัตราพันธุกรรม 0.01 และ 0.02 ตามลำดับ สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและปรากฏได้ 0.26 และ 0.43 ตามลำดับ

Table 6 Estimates of heritability ($\pm$ SE) on diagonal, genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation among LNPD, ALNPD, LWSI, and ALWSI at sow-level from the final model

Traits ^{1/}	LNPD	ALNPD	LWSI	ALWSI
LNPD	0.20 $\pm$ 0.11	up ^{2/}	0.79	up
ALNPD	up	0.09 $\pm$ 0.09	up	0.01
LWSI	0.34	up	0.01 $\pm$ 0.01	up
ALWSI	up	0.00	up	0.02 $\pm$ 0.02

^{1/} LNPD = lifetime non-productive day, ALNPD = annualized lifetime non-productive day,

LWSI = lifetime weaned-to-first service interval, ALWSI = annualized lifetime weaned-to-first service interval

^{2/} up = un-performed

AI algorithm was used; therefore, SE were estimated

Table 6 ลักษณะ LNPD ALNPD LWSI และ ALWSI มีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.20 โดย LNPD และ LWSI มีค่าอัตราพันธุกรรม 0.20 และ 0.01 ตามลำดับ มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม 0.79 และมีค่าสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ 0.34 ตามลำดับ ส่วน ALNPD และ ALWSI มีค่าอัตราพันธุกรรม 0.02 และ 0.01 ตามลำดับ มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม -0.99 และมีค่าสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ 0.00

Table 7 Estimates of heritability on diagonal, genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation among TB, BA, and PW at parity-level from the final model

Traits ^{1/}	TB	BA	PW
TB	0.19	0.95	0.27
BA	0.92	0.18	0.37
PW	0.28	0.32	0.11

^{1/}TB = total born, BA = pig born alive, PW = pig weaned

EM algorithm was used; therefore, SE were not estimated

Table 7 ลักษณะ TB BA และ PW มีค่าอัตราพันธุกรรมอยู่ในช่วง 0.19 0.18 และ 0.11 ตามลำดับ และมีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่าง TB กับ BA TB กับ PW และ BA กับ PW มีค่าประมาณ 0.95 0.27 และ 0.37 ตามลำดับ ส่วนค่าสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ ระหว่าง TB กับ BA TB กับ PW และ BA กับ PW ค่าประมาณ 0.92 0.28 และ 0.32 ตามลำดับ

Table 8 Estimates of heritability ($\pm$ SE) on diagonal, genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation among LTB, ALTB, LBA, ALBA, LPW, and ALPW at sow-level from the final model

Traits ¹	LTB	ALT	LBA	ALBA	LPW	ALPW
LTB	0.00	² up	0.99	up	0.89	up
ALT	up	0.00	up	0.95	up	0.99
LBA	0.98	up	0.00	up	0.92	up
ALBA	up	0.71	up	0.03 $\pm$ 0.03	up	0.99
LPW	0.88	up	0.89	up	0.04 $\pm$ 0.04	up
ALPW	up	0.18	up	0.18	up	0.02 $\pm$ 0.02

¹LTB = lifetime total born, ALT = annualized lifetime total born, LBA = lifetime pig born alive,

ALBA = annualized lifetime pig born alive, LPW = lifetime pig weaned and ALPW = annualized lifetime pig weaned

²up = unperformable

AI algorithm was used; therefore, SE were estimated

Table 8 แสดงอัตราพันธุกรรมของลักษณะ LTB ALT LBA ALBA LPW และ ALPW อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.04 ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างลักษณะ LTB กับ LBA LTB กับ LPW และ LBA กับ LPW ค่าประมาณ 0.99 0.89 และ 0.92 ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏระหว่างลักษณะ LTB กับ LBA LTB กับ LPW และ LBA กับ LPW มีค่าประมาณ 0.98 0.88 และ 0.89 ตามลำดับ

วิจารณ์

ค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานในการศึกษานี้พบว่าแม่สุกรพันธุ์ DR มี SLD และ HLD สูงกว่าแม่สุกรพันธุ์ LR และ YS แต่มีจำนวนผลผลิตตลอดช่วงชีวิตน้อยกว่าพันธุ์ LR และ YS และแม่สุกรพันธุ์ DR ยังมีจำนวน LNPD สูงกว่าแม่สุกรพันธุ์ LR และ YS ทำให้เห็นว่าแม่สุกรสามารถอยู่ในฝูงได้นาน แต่ไม่ได้เป็นวันที่ให้ผลผลิต และพบว่าแม่สุกรพันธุ์ LR ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตมากกว่าแม่สุกรพันธุ์อื่น ๆ แม้ว่าจะมี HLD น้อยกว่าแม่สุกรพันธุ์ DR ก็ตาม ซึ่งเห็นว่าแม่สุกรพันธุ์ DR ในฝูงนี้มีประสิทธิภาพในการอยู่ในฝูงได้ยาวนาน แต่มี

ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตต่ำ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตต่ำลง แต่จากการศึกษาของ Tunboonjit and Duangjinda (2019) รายงานว่าแม่สุกรพันธุ์ DR ที่สามารถอยู่ในฝูงได้นาน เนื่องจากฟาร์มแห่งนี้มีแม่สุกรพันธุ์ DR ที่มีโครงสร้างแข็งแรง จึงมีโอกาที่จะถูกคัดทิ้งจากสาเหตุขาเจ็บค่อนข้างน้อย และแม่สุกรพันธุ์ DR มีผลผลิตตลอดช่วงชีวิตน้อยกว่าพันธุ์ LR และ YS ส่วนแม่สุกรพันธุ์ YS ให้ผลผลิตตลอดช่วงชีวิตมากกว่า (Li et al., 2018; Tunboonjit and Duangjinda, 2019) จึงทำให้แม่สุกรพันธุ์ DR มีปัญหาทางระบบสืบพันธุ์น้อยกว่าพันธุ์ LR และ YS (Tunboonjit and Duangjinda, 2019)

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกรจำเป็นต้องพิจารณาควบคู่กันทั้งอายุการใช้งานและผลผลิตตลอดช่วงชีวิต รวมถึงความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต วันท้องว่างตลอดช่วงชีวิตและประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตด้วย (Koketsu and Iida, 2020) การตัดสินใจคัดทิ้งของแม่สุกรพันธุ์นี้ทั้งภายในฝูงนี้ เป็นไปตามการจัดการของฟาร์มและการตัดสินใจของผู้ผลิต โดยเฉพาะแม่สุกรพันธุ์ DR ที่มี NPD มากกว่าแม่สุกรพันธุ์ LR และ YS เนื่องจากเป็นแม่พันธุ์ในฝูงนิวเคลียส การตัดสินใจคัดทิ้งจะทำให้มีการทดแทนสุกรสาวเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อโครงสร้างลำดับท้องและสุขภาพของแม่สุกรภายในฝูง หรือการให้แม่สุกรที่สมควรถูกคัดทิ้งแต่ไม่ถูกคัดทิ้งอยู่ในฝูงต่อไป อาจส่งผลแม่น้อยต่ออัตราพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งาน เนื่องมาจากว่าแม่สุกรอายุมากจะมีค่าดัชนีที่สูงกว่าสุกรสาวทดแทน (Abell et al., 2016)

โมเดลทางพันธุกรรมที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมทั้ง 4 โมเดล เมื่อคัดเลือกโมเดลโดยใช้ค่า AIC แล้วพบว่า ข้อมูลประเภท sow-level โมเดลที่เหมาะสมกับลักษณะ LTB LBA LPW (ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต) และลักษณะ LNPD และ LWSI (ความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต) คือ animal model with permanent environment ด้วย AI algorithm ส่วนข้อมูลประเภท parity-level โมเดลที่เหมาะสมกับลักษณะ ALTB ALBA ALPW ALNPD และ ALWSI (ประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิต) คือ animal model ด้วย AI algorithm โมเดลที่เหมาะสมกับลักษณะ TB BA PW (ผลผลิต) และลักษณะ NPD และ WSI (ความสมบูรณ์พันธุ์) คือ animal model with permanent environment ด้วย EM algorithm จะเห็นว่า ผลผลิต ความสมบูรณ์พันธุ์ ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต และความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิต มีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมถาวรเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างมาก ที่มีผลทำให้แม่สุกรให้ผลผลิต ความสมบูรณ์พันธุ์ ผลผลิตตลอดช่วงชีวิต และความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิตแตกต่างกัน ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตเป็นค่าดัชนีประสิทธิภาพที่ถูกปรับให้เป็นรายปีเรียบร้อยแล้ว จึงไม่มีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมถาวรเข้ามาเกี่ยวข้อง

การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะ NPD และ WSI ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าค่าต่ำ ทำให้การคัดเลือกทางพันธุกรรมของลักษณะดังกล่าวเป็นไปได้ยาก จึงควรให้ความสำคัญเรื่องของการจัดการ อาหาร และโรงเรือน สภาพแวดล้อมมากขึ้น คล้ายกับการศึกษาในเขตร้อนชื้นที่รายงานก่อนหน้านี้ (Suwanasopee et al., 2005) และการศึกษาในประเทศเขตอบอุ่น (Abell et al., 2012) รายงานค่าอัตราพันธุกรรมของ WSI ประมาณ 0.03 และมีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและทางลักษณะปรากฏระหว่าง NPD กับ WSI ประมาณ 0.26 และ 0.43 ตามลำดับ ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะ LNPD และ LWSI ของการศึกษานี้มีค่าค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกับ NPD และ WSI ส่วนค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะตลอดชีวิต (LNPD และ LWSI) และลักษณะตลอดชีวิตต่อปี (ALNPD และ ALWSI) ไม่มีสหสัมพันธ์ (correlation) ซึ่งกันและกัน เนื่องมาจากว่า LWSI เป็นส่วนหนึ่งของ LNPD แต่ LNPD ประกอบไปด้วย 7 ลักษณะ ดังนี้ ช่วงเข้าฝูงถึงผสมครั้งแรก (gilt entry-to-first-mating interval) ช่วงผสมครั้งแรกถึงตั้งท้อง (gilt first-mating-to-pregnancy interval) ช่วงผสมครั้งแรกถึงคัดทิ้ง (gilt first-mating-to-culling interval) ช่วงหย่านมถึงคัดทิ้งของแม่สุกรที่ยังไม่ผสม (unmated weaning-to-culling interval) LWSI ช่วงชีวิตผสมครั้งแรกถึงตั้งท้อง (lifetime first-mating-to-pregnancy) และช่วงผสมครั้งแรกถึงคัดทิ้ง (sow first-mating-to-culling interval) ทำให้ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่าง LNPD และ LWSI ค่าอัตราพันธุกรรมของ NPD และ WSI ค่อนข้างต่ำ เป็นลักษณะที่มีอิทธิพลทางพันธุกรรมน้อย แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงเพื่อลด NPD และ WSI จะต้องเน้นการจัดการเพื่อเพิ่มอัตราเข้าคลอด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อ NPD การจัดการด้านอาหารเพื่อให้แม่สุกรสูญเสีย น้ำหนักตัวตอนเลี้ยงลูกต่ำเพื่อลดระยะ WSI (Iida and Koketsu, 2015) แม่สุกรที่มีอัตราการเข้าคลอดมากกว่า 85% จะมี NPD น้อยกว่า 76 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับแม่สุกรที่มีอัตราการเข้าคลอดน้อยกว่า 72% จะมี NPD มากกว่า 101 วัน (Kaneko et al., 2013) และเนื่องจาก LWSI เป็นช่วงหนึ่งของ LNPD เมื่อ LWSI เพิ่มขึ้นจึงทำให้ LNPD เพิ่มขึ้น ผู้ผลิตจึงสามารถนำ LNPD มาใช้ในการประเมินความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดชีวิตของแม่สุกร ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับจำนวนครอกคลอด (Koketsu and Iida, 2020) นอกจากนี้แม่สุกรที่มี

ช่วงเลี้ยงลูกยาวนานในท้องแรก จะมีช่วงหย่านมถึงผสมพันธุ์และอัตราการตั้งท้อง รวมถึงจำนวนลูกแรกเกิดมีชีวิตเพิ่มขึ้น การตายแรกคลอดและน้ำหนักรอกเมื่ออายุ 21 วันของแม่สุกรท้องแรก ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเครียดต่อการคัดทิ้งของแม่สุกรด้วย (Hoge and Bates, 2011) ประสิทธิภาพของแม่สุกรท้องแรกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งาน (Abell et al., 2016; Iida and Koketsu, 2015; Iida et al., 2015; Kraeling and Webel, 2015) ซึ่งควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ

ในการศึกษานี้ ลักษณะ TB BA และ PW มีค่าอัตราพันธุกรรมค่อนข้างต่ำ เป็นไปตามสมมติฐาน ทำให้การคัดเลือกลักษณะดังกล่าวจากค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมเป็นไปได้ยาก จึงควรให้ความสำคัญเรื่องของการจัดการ อาหาร และสภาพแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งคล้ายกับการศึกษาก่อนหน้าพบว่าอัตราพันธุกรรมของ BA มีค่าอยู่ในช่วง 0.07 ถึง 0.09 (Camargo et al., 2020; Dube et al., 2012) ส่วนอีกการศึกษารายงานว่าแม่สุกรพันธุ์ LR YS และ DR มีอัตราพันธุกรรม BA มีค่า 0.08 0.10 และ 0.09 ตามลำดับ ส่วน PW มีค่า 0.05 0.05 และ 0.07 ตามลำดับ (Chen et al., 2003) เช่นเดียวกับการศึกษาพบว่าอัตราพันธุกรรม TB และ BA ของแม่สุกรพันธุ์ LR และ YS อยู่ในช่วงประมาณ 0.08 ถึง 0.11 ของ (Sevón-Aimonen and Uimari, 2013)

ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและทางลักษณะปรากฏระหว่าง TB และ BA ของการศึกษานี้มีค่าสูง เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้าพบว่าค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและทางลักษณะปรากฏระหว่าง TB และ BA มากกว่า 0.90 แต่ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและทางลักษณะปรากฏระหว่าง TB และ BA กับ PW ค่อนข้างต่ำ (Ogawa et al., 2019; Sevón-Aimonen and Uimari, 2013) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chen et al. (2003) รายงานค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและทางลักษณะปรากฏระหว่าง BA และ PW มีค่าประมาณ 0.19 และ 0.06 ตามลำดับ (Chen et al., 2003)

ในการศึกษานี้อัตราพันธุกรรมของลักษณะ LTB ALTB LBA ALBA LPW และ ALPW มีค่าต่ำมาก (0 ถึง 0.04) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน ทำให้การคัดเลือกลักษณะทางพันธุกรรมดังกล่าวเป็นไปได้ยาก จึงควรให้ความสำคัญเรื่องของการจัดการ อาหาร และสภาพแวดล้อมมากขึ้น คล้ายกับการศึกษาก่อนหน้าพบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วย linear mixed-effects model อัตราพันธุกรรม LBA มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.12 (Engblom et al., 2009; Serenius and Stalder, 2004) ส่วนค่าอัตราพันธุกรรมของอายุการใช้งาน (วันที่คลอดครั้งแรกถึงวันที่คัดทิ้ง) เมื่อวิเคราะห์ด้วย linear mixed-effects model มีค่า 0.05 ถึง 0.10 แต่เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเดียวกันด้วย survival mixed-effects model อัตราพันธุกรรม มีค่า 0.16 ถึง 0.19 (Serenius and Stalder, 2004) จะเห็นได้ว่าการประเมินทางพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตตลอดช่วงชีวิตด้วย survival mixed-effects model ได้ค่าอัตราพันธุกรรมที่สูงกว่า ดังนั้นวิธีการนี้จะเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมมากกว่าในการวิเคราะห์ลักษณะตลอดชีวิตของแม่สุกร ซึ่งจะได้มีการศึกษาในอนาคตต่อไป

สรุป

ค่าอัตราพันธุกรรมของ LTB LBA LPW LWSI LNPD ALTB ALBA ALPW ALWSI และ ALNPD มีค่าต่ำ ลักษณะ LTB LBA LPW LWSI LNPD และ ALNPD มีอิทธิพลเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง และลักษณะ ALTB ALBA ALPW ALWSI มีอิทธิพลเนื่องมาจากตัวแม่สุกรเอง การที่ลักษณะมีอัตราพันธุกรรมที่ต่ำจะทำให้การตอบสนองต่อการปรับปรุงหรือการคัดเลือกลักษณะที่สนใจเกิดได้ช้า การจัดการฟาร์มและการจัดการด้านอาหารควรเป็นสิ่งที่ให้ความสนใจด้วย ส่วนค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างแต่ละลักษณะของผลผลิตตลอดช่วงชีวิต ประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตและความสมบูรณ์พันธุ์ตลอดช่วงชีวิตมีค่าสูง การปรับปรุงลักษณะหนึ่งก็จะทำให้อีกลักษณะถูกปรับปรุงไปด้วย อย่างไรก็ตามการประมาณค่าทางพันธุกรรมของลักษณะตลอดช่วงชีวิตของแม่สุกร อาจจำเป็นต้องใช้วิธีการทางสถิติที่ซับซ้อนกว่าและเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลมากกว่า อย่างเช่น survival mixed-effects model ซึ่งจะได้มีการศึกษาในอนาคตต่อไป

คำขอบคุณ

ขอบคุณปณพารม ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา ทุนวิจัย ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และเจ้าหน้าที่สัตวบาลฟาร์มทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนตลอดระยะเวลาที่ศึกษา อีกทั้งขอบคุณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abell, C.E., J.W. Mabry, J.C.M. Dekkers, and K.J. Stalder. 2012. Genetic and phenotypic relationships among reproductive and post-weaning traits from a commercial swine breeding company. *Livestock Science*. 145(1-3): 183-188.
- Abell, C.E., R.L. Fernando, T.V. Serenius, M.F. Rothschild, K.A. Gray, and K.J. Stalder. 2016. Genetic relationship between purebred and crossbred sow longevity. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 7(1): 1-6.
- Camargo, E.G., D.B.D. Marques, E.A.P.D. Figueiredo, and P.S. Lopes. 2020. Genetic study of litter size and litter uniformity in Landrace pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 49.
- Chen, P., T.J. Baas, J.W. Mabry, K.J. Koehler, and J.C.M. Dekkers. 2003. Genetic parameters and trends for litter traits in US Yorkshire, Duroc, Hampshire, and Landrace pigs. *Journal of Animal Science*. 81(1): 46-53.
- Coster, A. (2013). Pedigree: pedigree functions. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=pedigree>. Accessed Jun.28, 2021.
- Dube, B., S.D. Mulugeta, and K. Dzama. 2012. Estimation of genetic and phenotypic parameters for sow productivity traits in South African Large White pigs. *South African Journal of Animal Science*. 42(4): 390-397.
- Engblom, L., N. Lundeheim, M. del P Schneider, A.M. Dalin, and K. Andersson. 2009. Genetics of crossbred sow longevity. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*. 3(6): 783.
- Gorjanc, G., and D.A. Henderson. 2021. Pedigree and genetic relationship functions. Available: <http://rgenetics.org>. Accessed Jun.28, 2021.
- Hoge, M.D., and R.O. Bates. 2011. Developmental factors that influence sow longevity. *Journal of Animal Science*. 89(4): 1238-1245.
- Homwong, N., C. Piñeiro, and Y. Koketsu. 2018. Factors affecting an occurrence of a hypo-prolific sow in Brazilian breeding swine herds. Paper presented at the ISVEE, Chiang Mai, Thailand.
- Iida, R., and Y. Koketsu. 2015. Number of pigs born alive in parity 1 sows associated with lifetime performance and removal hazard in high-or low-performing herds in Japan. *Preventive Veterinary Medicine*. 121(1-2): 108-114.
- Iida, R., C. Piñeiro, and Y. Koketsu. 2015. High lifetime and reproductive performance of sows on southern European Union commercial farms can be predicted by high numbers of pigs born alive in parity one. *Journal of Animal Science*. 93(5): 2501-2508.
- Jimongkolkul, N., and N. Homwong. 2021. Factors as ages at first-estrus and at first-mating of gilts influencing sow lifetime performance located in the western region of Thailand, pp. 187-194. In *Proceedings of the 18th KU KPS National Conference 8-9 December 2021*. Thailand.
- Kaneko, M., R. Iida, and Y. Koketsu. 2013. Herd management procedures and factors associated with low farrowing rate of female pigs in Japanese commercial herds. *Preventive Veterinary Medicine*. 109(1-2): 69-75.
- Kirkwood, R. 2011. Non-Productive Days: Their Significant and Control. Available: <http://porkgateway.org/resource/non-productive-days-their-significance-and-control/>. Accessed Jul.13, 2021.

- Koketsu, Y. 2002. Reproductive productivity measurements in Japanese swine breeding herds. *Journal of Veterinary Medical Science*. 64(3): 195-198.
- Koketsu, Y. 2005. Six component intervals of nonproductive days by breeding-female pigs on commercial farms. *Journal of Animal Science*. 83(6): 1406-1412.
- Koketsu, Y., and R. Iida. 2020. Farm data analysis for lifetime performance components of sows and their predictors in breeding herds. *Porcine Health Management*. 6(1): 1-12.
- Koketsu, Y., S. Tani, and R. Iida. 2017. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*. 3(1): 1-10.
- Kraeling, R.R., and S.K. Webel. 2015. Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 6(1): 1-14.
- Leite, C.D.S., J.F. Lui, L.G. Albuquerque, and D.N.M. Alves. 2011. Environmental and genetic factors affecting the weaning-estrus interval in sows. *Genetics and Molecular Research*. 2692-2701.
- Li, Q., X. Yuan, Z. Chen, A. Zhang, Z. Zhang, H. Zhang, and J. Li. 2018. Heritability estimates and effect on lifetime reproductive performance of age at puberty in sows. *Animal Reproduction Science*. 195: 207-215.
- Moore, D.F. 2016. *Applied survival analysis using R*: Springer.
- Morrissey, M. 2018. Pedantics: Functions to facilitate power and sensitivity analyses for genetic studies of natural populations. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=pedantics>. Accessed June 28, 2021.
- Muñoz, F., and L. Sanchez. 2020. breedR: Statistical Methods for Forest Genetic Resources Analysts. Available: <https://github.com/famuvie/breedR>. Accessed June 28, 2021.
- Ogawa, S., A. Konta, M. Kimata, K. Ishii, Y. Uemoto, and M. Satoh. 2019. Estimation of genetic parameters for farrowing traits in purebred Landrace and Large White pigs. *Animal Science Journal*. 90(1): 23-28.
- Sasaki, Y., and Y. Koketsu. 2008. Sows having high lifetime efficiency and high longevity associated with herd productivity in commercial herds. *Livestock Science*. 118(1-2): 140-146.
- Serenius, T., and K.J. Stalder. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *Journal of Animal Science*. 82(11): 3111-3117.
- Sevón-Aimonen, M.L., and P. Uimari. 2013. Heritability of sow longevity and lifetime prolificacy in Finnish Yorkshire and Landrace pigs. *Agricultural and Food Science*. 22(3): 325-330.
- Stalder, K., L. Engblom, and J. Mabry. 2009. Benchmarking sow lifetime productivity. PigCHAMP's Benchmarking Available: <https://www.pigchamp.com/news/benchmark-magazine/articles/benchmarking-sow-lifetime-productivity-2009>. Accessed Jun 19, 2021.
- Suwanasopee, T., J.W. Mabry, S. Koonawootrittriron, P. Sopannarath, and S. Tumwasorn. 2005. Estimated genetic parameters of non-productive sow days related to litter size in swine raised in Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*. 38: 87-93.
- Therneau, T., and J. Sinnwell. 2020. Kinship2: pedigree Functions. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=kinship2>. Accessed June 28, 2021.
- Tunboonjit, A., and M. Duangjinda. 2019. Genetic parameter of sow longevity and sow lifetime prolificacy traits using purebred swine censored record. *Khon Kaen Agricultural Journal*. 47(1): 41-50.

Wolak, M.E. 2012. Nativ: an R package to create relatedness matrices for estimating non-additive genetic variances in animal models. *Methods in Ecology and Evolution*. 3(5): 792-796. Available: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2041-210X.2012.00213.x>. Accessed Jun.28, 2021.

Supplementary material

Supplementary table 1 Model building and selection for genetic models of studied traits

Data	Model	Genetic model	Traits ^{1/}	-2LL	AIC ^{2/}	Final model
Sow-level	Model 1	Animal model	LTB	3810.18	3814.18	
	Model 2	Animal model with maternal effects		3821.67	3827.67	
	Model 3	Animal model with maternal effects and permanent environment		3734.13	3742.13	
	Model 4	Animal model with permanent environment		3735.54	3741.54	√
	Model 5	Animal model	LBA	3741.56	3745.56	
	Model 6	Animal model with maternal effects		3753.25	3759.25	
	Model 7	Animal model with maternal effects and permanent environment		3666.21	3674.21	
	Model 8	Animal model with permanent environment		3667.07	3673.07	√
	Model 9	Animal model	LPW	3676.95	3680.95	
	Model 10	Animal model with maternal effects		3682.37	3688.36	
	Model 11	Animal model with maternal effects and permanent environment		3597.26	3605.26	
	Model 12	Animal model with permanent environment		3597.23	3603.23	√
	Model 13	Animal model	LNPB	4253.37	4257.37	
	Model 14	Animal model with maternal effects		4254.31	4260.31	
	Model 15	Animal model with maternal effects and permanent environment		4228.29	4236.29	
	Model 16	Animal model with permanent environment		4228.40	4234.40	√
	Model 17	Animal model	LWSI	3519.76	3523.76	
	Model 18	Animal model with maternal effects		3545.75	3551.74	
	Model 19	Animal model with maternal effects and permanent environment		3491.49	3499.49	
	Model 20	Animal model with permanent environment		3491.47	3497.47	√
	Model 21	Animal model	ALTB	1483.97	1487.97	√
	Model 22	Animal model with maternal effects		1482.98	1488.98	

Supplementary table 1 Model building selection for genetic models for studied traits (continued)

Data	Model	Genetic model	Traits ^{1/}	-2LL	AIC ^{2/}	Final model
Sow-level	Model 23	Animal model with maternal effects and permanent environment	ALTB	1482.98	1490.98	
	Model 24	Animal model with permanent environment		1483.97	1489.97	
	Model 25	Animal model	ALBA	1461.11	1465.11	√
	Model 26	Animal model with maternal effects		1460.16	1466.16	
	Model 27	Animal model with maternal effects and permanent environment		1459.96	1467.96	
	Model 28	Animal model with permanent environment		1460.88	1466.88	
	Model 29	Animal model	ALPW	1437.69	1441.68	√
	Model 30	Animal model with maternal effects		1437.70	1443.70	
	Model 31	Animal model with maternal effects and permanent environment		1437.72	1445.72	
	Model 32	Animal model with permanent environment		1437.69	1443.69	
	Model 33	Animal model	ALNPD	1982.84	1986.84	
	Model 34	Animal model with maternal effects		1980.71	1986.71	
	Model 35	Animal model with maternal effects and permanent environment		1975.11	1983.11	
	Model 36	Animal model with permanent environment		1975.34	1981.34	√
	Model 37	Animal model	ALWSI	1518.75	1522.75	
	Model 38	Animal model with maternal effects		1526.40	1532.40	
	Model 39	Animal model with maternal effects and permanent environment		1527.58	1535.58	
	Model 40	Animal model with permanent environment		1518.76	1524.76	
Parity-level	Model 41	Animal model	TB	7394.79	7398.79	√
	Model 42	Animal model with permanent environment		7363.33	7369.33	
	Model 43	Animal model	BA	7298.35	7302.35	√
	Model 44	Animal model with permanent environment		7261.90	7267.90	

Supplementary table 1 Model selection for genetic models for studied traits (continued)

Data	Model	Genetic model	Traits ^{1/}	-2LL	AIC ^{2/}	Final model
Parity-level	Model 45	Animal model	PW	6163.01	6167.01	√
	Model 46	Animal model with permanent environment		6091.48	6097.48	
	Model 47	Animal model	NPD	11172.92	11176.92	√
	Model 48	Animal model with permanent environment		11128.16	11134.16	
	Model 49	Animal model	WSI	9057.75	9061.75	√
	Model 50	Animal model with permanent environment		9053.08	9059.08	

^{1/} LTB = lifetime total born, LBA = lifetime pig born alive, LPW = lifetime pig weaned, LNPD = lifetime non-productive day, LWSI = lifetime weaned-to-first service interval, ALTB = annualized lifetime total born, ALBA = annualized lifetime pig born alive, ALPW = annualized lifetime pig weaned, ALNPD = annualized lifetime non-productive day, ALWSI = annualized lifetime weaned-to-first service interval, TB = total born, BA = pig born alive, PW = pig weaned, NPD = non-productive day, and WSI = weaned-to-first service interval

^{2/} AIC = Akaike Information Criterion