วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



รูปแบบและความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและลักษณะซากในไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม

Genetic variation of Myogenic Factor 5 (*MYF5*) and its association with growth and carcass traits in Thai native chickens and their Crossbred

ธนวรรณ อุปสัย[1], ยุวเรศ มลิลา[3], อนุวัฒน์ จันดามุก[1], ภัทรวรรณ กีฬา[4], ทองสา บัวสุข[2] และ สจี กัณหาเรียง[1]*

Thanawan Uopasai[1], Yuwares Malila[3], Anuwat Jandamook[1], Pattarawan Keela[4], Thongsa Buasook[2] and Sajee Kunhareang[1]*

[1] *สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002*
[1] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002*
[2] *ศูนย์ศึกษาค้นคว้า วิจัยและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002*
[2] *Research Center and Central Laboratory Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002*
[3] *ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) จ. ปทุมธานี 12120*
[3] *The National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), Pathum Thani 12120*
[4] *สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จ. มหาสารคาม 44000*
[4] *Program in Animal Science Faculty of Agricultural Technology Rajabhat Mahasarakham University 44000*

บทคัดย่อ: การศึกษารูปแบบและความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและลักษณะซากในไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม ด้วยเทคนิค PCR-RFLP ตัดเอนไซม์จำเพาะ *Hha*I เก็บตัวอย่างเลือดทั้งหมด 311 ตัวอย่าง ในไก่ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี (100NT) ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% (50NT), 25% (25NT) และไก่เนื้อทางการค้า (0NT) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบยีนที่ศึกษากับลักษณะการเจริญโตและซากโดยใช้ Proc GLM ผลการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB และ BB มีความถี่จีโนไทป์ AA อยู่ในช่วง 0.000-0.041, AB ในช่วง 0.108-0.432 และ BB อยู่ ในช่วง 0.527-1.000 นอกจากนี้พบจีโนไทป์ AB มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่อายุ 2 สัปดาห์ ที่เพิ่มขึ้นในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% มีค่าเท่ากับ 196.13±8.93 กรัม และรูปแบบจีโนไทป์ AB มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ซากตลาดเท่ากับ 80.75±0.68 และเปอร์เซ็นต์น่องเท่ากับ 12.04±0.76 ในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% รวมถึงจีโนไทป์ AB มีผลเพิ่มเปอร์เซ็นต์เนื้ออกในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชีเท่ากับ 15.67±0.33 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงรูปแบบของยีน *MYF5* มีความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักตัวในช่วงอายุ 0-2 สัปดาห์ และลักษณะซากในไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ 25% แสดงให้เห็นว่าความหลากหลายรูปแบบยีน *MYF5* มีศักยภาพที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องหมายพันธุกรรมช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ไก่พื้นเมืองไทยให้มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและลักษณะที่ดีขึ้นได้

คำสำคัญ: Myogenic Factor 5 (*MYF5*); ไก่พื้นเมืองไทย; ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม; น้ำหนักตัว; ลักษณะซาก

ABSTRACT: The investigation of genetic pattern of *MYF5* and its association with growth and carcass traits were performed in Thai native chickens and their Crossbred. The PCR-RFLP/*Hha*I technique, was used to identify the genetic variation of *MYF5* from a total of 311 of blood samples were collected from 4 groups of chickens including Thai native chicken (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens

* Corresponding author: ksajee@kku.ac.th

Received: date; December 16, 2025 Revised: date; March 7, 2026

Accepted: date; March 23, 2026 Published: date; June 24, 2026

(25NT) and commercial broiler (0NT). Association analysis of the *MYF*5 with growth and carcass traits ware performed by Proc GLM. The results showed 3 genotypes: AA, AB and BB of *MYF*5 pattern. The frequency of AA genotype was range between 0.000-0.041, the frequency of AB was 0.108-0.432 and the frequency of BB was 0.527-1.000. In addition, the AB genotype showed association with a higher average body weight at 2 weeks of age in 25NT which body weight was 196.13±8.93 g, and the AB genotype was also associated with an increased percentage of local carcass and drumstick percentage in the 50NT which accounted for 80.75±0.68% and 12.04±0.76%, respectively. Additionally, the AB genotype tended to increase a percentage of breast in 100NT at 15.67±0.33 g. The finding indicated that the genetic variation of *MYF*5 could be associated with body weight at 0-2 weeks and carcass traits in 100NT, 50NT and 25NT. This suggesting that the *MYF*5 has potential to be used as genetic markers to facilitate selection of growth efficiency and carcass traits in Thai native chicken breeds.
Keywords: Myogenic Factor 5 (*MYF*5); Thai native chicken; Thai native crossbred chicken; body weight; carcass traits

บทนำ

การบริโภคเนื้อไก่พื้นเมืองของไทยเป็นที่นิยมของกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเนื้อไก่มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และมีไขมันต่ำ (Sawasdee et al., 2015; Tongsiri et al., 2019) ในด้านการเลี้ยงพบว่าไก่พื้นเมืองมีความสามารถในการต้านทานโรค ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมอากาศเขตร้อนได้ง่าย และมีอัตราการตายต่ำ (Jaturasitha et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ในด้านการเจริญเติบโต ไก่พื้นเมืองมีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าไก่เนื้อทางการค้าที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว (Sawasdee et al., 2015; Jaturasitha et al., 2017) แม้ไก่เนื้อทางการค้ามีการเจริญเติบโตเร็ว แต่ยังคงประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของเนื้อไก่โดยเฉพาะส่วนกล้ามเนื้อที่มีความผิดปกติ (Lusk, 2018; Petracci et al., 2015) จากรายงานดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดการพัฒนาไก่สายพันธุ์พื้นเมืองที่โดดเด่นในด้านความแข็งแรง มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น มาใช้เป็นต้นพันธุ์เพื่อผลิตไก่ลูกผสม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตให้กับไก่พื้นเมือง การพัฒนาพันธุกรรมด้านการเจริญเติบโต คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อจะเพิ่มโอกาสการใช้ประโยชน์พันธุกรรมที่ดีของไก่พื้นเมืองไทยได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

จากการตรวจเอกสารพบว่า ยีนที่มีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของกล้ามเนื้อในไก่มีความสัมพันธ์กับยีนในตระกูล Myogenic Regulatory Factors gene (*MRF*) ประกอบด้วยยีน 4 ยีน ได้แก่ *MYOD*1 (Myogenic Differentiation), *MYF*5 (Myogenic Factor 5), *MYOG* (Myogenin) และ *MRF*4 (Myogenic regulatory factor) ซึ่งเป็น transcription factor หลักที่มีลักษณะเป็น bHLH (basic helix loop helix) โดยจับบริเวณที่เป็น E-box พบบริเวณโปรโมเตอร์ของยีนเฉพาะของกล้ามเนื้อเท่านั้น (Hyttel et al., 2010) โดย *MYOD*1 ทำหน้าที่ร่วม *MYF*5 และ *PAX*3 กระตุ้นการแยกตัวของ myotome ซึ่งเป็นเซลล์ต้นกำเนิดของ myogenic progenitor cells ออกมาจาก dermomyotome ของ somite (Chen et al., 2005) ต่อมา myogenic progenitor cells กลายเป็น myoblast และเข้าสู่วัฏจักรเซลล์จะทำการเพิ่มจำนวนเซลล์ (proliferation) และ Hyperplasia โดย *MYOD*1 ควบคุมการเปลี่ยนแปลง (differentiation) myoblasts ของกล้ามเนื้อโครงร่าง ในขณะที่ *MYF*5 ควบคุมการสร้าง myogenesis และ สภาวะสมดุล (homeostasis) เมื่อออกจากวัฏจักรเซลล์ต่อมา *MYOG* และ *MRF*4 กระตุ้น myoblasts เปลี่ยนแปลง (differentiation) และ Hypertrophy เป็นรูปร่างยาว เรียกว่า myocytes จะหลอมรวมกับเซลล์ข้างเคียงเป็น multinucleated myotubes โดย *MYOG* ควบคุมการสร้าง myotubes และ fiber (Jang and Baik, 2013; Yin et al., 2015) ในขณะที่ *MRF*4 ควบคุม final differentiation ของ myotubes และพัฒนากลายไปเป็น muscle fiber

ยีน *MYF*5 เป็นยีนควบคุมที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างกล้ามเนื้อโดยอยู่บนโครโมโซมที่ 26 และประกอบด้วย 3 exon และ 2 intron (NCBI, 2022) ยีน *MYF*5 มีการแสดงออกในระยะแรกของกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อ (myogenesis) ในระยะแรกก่อนฟักและส่งผลต่อการพัฒนากล้ามเนื้อโครงร่างหลังฟัก ซึ่งมีอิทธิพลต่อลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจในสัตว์ปีก เช่น การเจริญเติบโตและลักษณะซาก ทั้งนี้ความแตกต่างของจีโนไทป์ในสัตว์ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของลำดับเบสในดีเอ็นเอส่งผลต่อการแสดงออกของยีนที่ควบคุมกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้ชนิดและปริมาณโปรตีนที่ผลิตแตกต่างกัน ส่งผลต่อผลผลิตที่ไม่เหมือนกันในสัตว์แต่ละตัว (Yin et al., 2011; Wu et al., 2013; กัลยา, 2551; ภัทรวรรณ, 2563) Rudnicki et al. (1993) รายงานว่า หนูที่มีความบกพร่องของ ยีน *MYF*5 จะตายในระยะก่อนคลอดเนื่องจากสูญเสียส่วนปลายของซี่โครงและไม่สามารถหายใจได้ อีกทั้ง หนูที่มีความบกพร่องของ ยีน

MYOD และ *MYF5* จะไม่มีกล้ามเนื้อโครงร่างสอดคล้องกับรายงานของ Gayraud-Morel et al. (2007) รายงานว่า การไม่แสดงออกของยีน *MYF5* ส่งผลทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงแบบค่อยเป็นค่อยไปและกล้ามเนื้อไม่ฟื้นตัวในหนู การขาด *MYF5* อาจส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการพัฒนาของกล้ามเนื้อโครงร่างในไก่ ในการศึกษาสัตว์ปีก Yin et al. (2011) รายงานว่าพบความสัมพันธ์ยีน *MYF5* ต่อน้ำหนักมีชีวิต (Live weight) น้ำหนักซาก (Carcass Weight) น้ำหนักซากรวมเครื่องใน (Semi-Eviscerated Weight) น้ำหนักซากไม่รวมเครื่องใน (Eviscerated Weight) ในประชากรไก่ Sichuan Daheng Wu et al. (2013) รายงานว่า ความสัมพันธ์ยีน *MYF5* ต่อลักษณะน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซาก น้ำหนักซากรวมเครื่องใน น้ำหนักซากไม่รวมเครื่องใน น้ำหนักกล้ามเนื้อขา น้ำหนักปีก เปอร์เซ็นต์ซากรวมเครื่องใน และเปอร์เซ็นต์ซากไม่รวมเครื่องใน ในห่าน white Songliao Genxi et al. (2014) รายงานความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโตของ ยีน *MYOG* และ *MYF5* ต่อน้ำหนักแรก (First day-weight) โดยรูปแบบจีโนไทป์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ยีน *MYOG* และ *MYF5* กับ น้ำหนักอายุ 6 สัปดาห์ น้ำหนักอายุ 8 สัปดาห์ และน้ำหนัก 300 วัน ภัทรวรรณ (2563) รายงานว่า ความผันแปรทางพันธุกรรมของยีน *MYF5* ต่อน้ำหนักมีชีวิตในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ประดู่หางดำ ไก่จีนดำไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (พ่อพันธุ์ประดู่หางดำ × แม่พันธุ์จีนดำ) ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (พ่อพันธุ์จีนดำ × แม่พันธุ์ประดู่หางดำ) และไก่เนื้อทางการค้า (สายพันธุ์ Ross 308) ซึ่งเน้นย้ำถึงบทบาทสำคัญของยีนในการสร้างกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาที่ผ่านมาแม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาความหลากหลายของยีน *MYF5* ในไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองลูกผสมบางกลุ่ม แต่ยังขาดการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในประชากรไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมที่มีสัดส่วนระดับเลือดแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้ การนำไก่พื้นเมืองไทยมาผสมข้ามกับไก่สายพันธุ์อื่นที่มีลักษณะเด่น เพื่อให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะต่าง ๆ ซึ่งช่วยเสริมจุดเด่นของแต่ละสายพันธุ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นอาจก่อให้เกิดความแปรผันทั้งด้านอัตราการเจริญเติบโตและลักษณะซาก ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับโมเลกุล

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษารูปแบบและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของยีน *MYF5* ด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) เพื่อค้นหารูปแบบยีนที่มีความเหมาะสมในการพัฒนาเครื่องหมายพันธุกรรมช่วยคัดเลือกไก่พื้นเมืองไทยให้มีความโดดเด่นด้านการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง

การศึกษาใช้ไก่ทั้งหมด 311 ตัวจากไก่ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี (มีระดับเลือดไก่พื้นเมือง 100%) จำนวน 74 ตัว ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (ระดับเลือดไก่พื้นเมือง 50%) จำนวน 66 ตัว ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (ระดับเลือดไก่พื้นเมือง 25%) จำนวน 83 ตัว และไก่เนื้อทางการค้า (ระดับเลือดไก่พื้นเมือง 0%) จำนวน 88 ตัว ทำการทดลอง 12 สัปดาห์โดยเลี้ยงไก่ในระยะเวลาแตกต่างกันตามน้ำหนักตัวที่เหมาะสมกับน้ำหนักที่จำหน่าย (Market weight) ดังนี้ การเลี้ยงไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี (มีระดับเลือดไก่พื้นเมือง 100%) 12 สัปดาห์ สำหรับการเลี้ยงไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (ระดับเลือดไก่พื้นเมือง 50%) 10 สัปดาห์สำหรับการเลี้ยงไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (ระดับเลือดไก่พื้นเมือง 25%) 8 สัปดาห์ และเลี้ยงไก่เนื้อทางการค้า 6 สัปดาห์ เลี้ยงด้วยอาหารไก่เนื้อทางการค้าระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 21% ในสัปดาห์ที่ 0-3 และระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 20% ในสัปดาห์ที่ 4-12 ให้กินน้ำและอาหารไก่เนื้อทางการค้าโดยให้กินแบบไม่จำกัด (ad libitum) สัตว์ทดลองทั้งหมดเลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิดหมวดสัตว์ปีก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โรงเรือนและการจัดการ

โรงเรือนที่ใช้เลี้ยงไก่เป็นโรงเรือนระบบเปิด ภายในโรงเรือนกั้นเป็นคอกย่อยขนาด 1.5 x 3 x 2 ตร.ม. เลี้ยงไก่แบบคละเพศ ทำการกกตั้งแต่แรกเกิดถึง 4 สัปดาห์ ด้วยหลอดไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ หลังจากนั้นปล่อยให้ได้รับแสงธรรมชาติ และทำวัคซีนไก่แต่ละสายพันธุ์ที่อายุ 7 วัน คือ วัคซีนนิวคลาสเซิล (ND) ร่วมกับวัคซีนหลอดลมอักเสบติดต่อ (IB)

การเก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโต

การเก็บข้อมูลประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ประกอบด้วย น้ำหนักตัว (body weight, BW) ที่อายุ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake, FI) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain, ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio, FCR) ที่ช่วงอายุ 0-2, 0-4, 0-6, 0-8, 0-10 และ 0-12 สัปดาห์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อสกัดดีเอ็นเอ โดยคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักมีชีวิตของไก่ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มทดลอง จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่ม ทั้งนี้ใช้ไก่คละเพศในทุกกลุ่มทดลอง

การเก็บข้อมูลลักษณะซาก

เมื่อสัตว์ทดลองอายุครบกำหนดการเลี้ยงทำการสุ่มตัวอย่างไก่โดยคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักมีชีวิตของไก่ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มทดลอง จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่ม จำนวน 4 กลุ่มทดลอง และเก็บตัวอย่างสายพันธุ์ละ 100 ตัว (คละเพศ) จากนั้นทำการอดอาหารไก่ก่อนเชือดประมาณ 6-12 ชั่วโมง โดยให้น้ำตามปกติ บันทึกน้ำหนักมีชีวิตข้อมูลรายตัว ทำการฆ่าไก่โดยการเชือดคอ ตัดเส้นเลือดแดงใหญ่และเส้นเลือดดำใหญ่ที่คอรวมทั้งหลอดลม นำไก่ลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 58-60 °C นาน 1-2 นาที และถอนขนไก่ ล้างทำความสะอาดตัวไก่ แล้วตัดแยกซากออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนเนื้ออก สะโพก น่อง ปีก หัว คอ แข้ง เท้า โครงร่าง และเครื่องใน ได้แก่ หัวใจ ม้าม ตับ กึ๋น ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากกลม น้ำหนักซากตลาดและน้ำหนักชิ้นส่วนที่ตัดแต่ง จากนั้นนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซากกลม เปอร์เซ็นต์ซากตลาด (น้ำหนักซากกลม และปราศจากเครื่องในยกเว้น ม้าม ตับ หัวใจ และกึ๋น) และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง ตามวิธีของสัญชัย และคณะ (2546)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซากกลมและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากกลม (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักซากกลม}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากตลาด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตลาด}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นส่วนตัดแต่ง}}{\text{น้ำหนักซากกลม}} \times 100$$

การเก็บตัวอย่างเลือดและสกัดดีเอ็นเอ

เก็บตัวอย่างเลือดไก่ทั้งหมด 4 กลุ่ม จำนวน 311 ตัวอย่าง เจาะเลือดที่บริเวณเส้นเลือดดำที่ปีก (wing veins) เก็บตัวอย่างเลือดปริมาตร 500 µl/ตัว ใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 ml ที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด 0.5 M EDTA ปริมาตร 100 µl จากนั้นแบ่งตัวอย่างเลือดปริมาตร 30 µl ใส่ หลอดทดลอง ขนาด 1.5 ml ที่มี 0.9% NaCl ปริมาตร 1000 µl จากนั้นนำไปปั่นที่ความเร็ว 4,000 rpm นาน 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง นำเซลล์เม็ดเลือดที่เหลือไปสกัดดีเอ็นเอต่อไปตามวิธีของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยดัดแปลงจาก Goodwin et al. (2007) รายละเอียดดังนี้ เติมสารละลาย 5M Guanidine HCl ปริมาตร 625 µl, 20% SDS (sodium dodecyl sulfate) ปริมาตร 70 µl, 7.5 M Na-acetate ปริมาตร 50 µl และ 1% Proteinase K (1mg/ml) ปริมาตร 25 µl ผสมให้เข้ากันด้วยดี บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C นานข้ามคืน ใน water bath จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 rpm นาน 5 นาที ดูดส่วนใสปริมาตร 600 µl. ใส่หลอดทดลองใหม่ ขนาด 1.5 ml เติม absolute isopropanol ปริมาตร 600 µl ผสมเข้ากันดี นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 rpm นาน 5 นาที ล้างตะกอนดีเอ็นเอด้วย 75% Ethanol ปริมาตร 500 µl นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 rpm นาน 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง (ล้างตะกอนดีเอ็นเอ ซ้ำอีกครั้ง) ผึ่งตะกอนดีเอ็นเอ

ในหลอดทดลองทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที จากนั้นเติม TE buffer ปริมาตร 20 µl นำไปอุ่นใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 °C นานข้ามคืน เพื่อละลายตะกอนดีเอ็นเอ

การตรวจรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* ด้วยเทคนิค PCR-RFLP

จากนั้นตรวจสอบความเข้มข้น และคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วย Eppendorf Biospectrometer Basic (Eppendorf Biospectrometer, Germany) ปรับความเข้มข้นของจีโนมิกส์ดีเอ็นเอให้มีความเข้มข้น 50 ng/µl เก็บรักษาไว้ที่อุณภูมิ 4 °C ก่อนนำไปเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยีน *MYF5* การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยีนด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction (PCR) ในแต่ละปฏิกิริยาประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ (UltraPure Distilled water, Invitrogen, USA) ปริมาตร 4.1 µl, 10XPCR-buffer ปริมาตร 1 µl, Primer forward (CCAGTTCTCCCCATCCGA) และ Primer reverses (GGCAGGTGATAGTAGTTCTCC) (Wu et al., 2013) อย่างละปริมาตร 1 µl, dNTPs ปริมาตร 1 µl, $MgCl_2$ ปริมาตร 0.8 µl และ Taq DNA Polymerase ปริมาตร 0.1 µl แบ่งใส่ หลอดทดลอง ขนาด 0.2 ml ปริมาตร 9 µl และเติมตัวอย่าง genomic DNA 1 µl ให้มีปริมาตรรวมทั้งสิ้น 10 µl ผสมให้เข้ากัน นำไปเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยีนด้วยเครื่อง PCRmax Alpha cycler (PCRmax Alpha, UK) มีวงรอบการทำ PCR ดังนี้ เริ่ม initial denaturation ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทำปฏิกิริยา 35 รอบ ดังนี้ denaturation ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 45 วินาที Primer annealing ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 วินาที Primer extension ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 45 วินาที และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 3 นาที หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาการเพิ่มชิ้นส่วนยีน นำ PCR Products ไปตรวจสอบผลผลิต PCR Products ด้วย 2% agarose gel electrophoresis (1^{st} BASE, Singapore)

นำ PCR Products ย่อยด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ ประกอบด้วย Buffer for enzymes ปริมาตร 1 µl, Restriction enzymes *Hha*I ปริมาตร 0.3 µl, PCR Product ปริมาตร 3 µl (ปริมาตรการใส่ PCR Product ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PCR Product) เติมน้ำบริสุทธิ์ ปริมาตร 5.7 µl เพื่อปรับปริมาตรให้ครบ 10 µl ก่อนที่จะนำมาบ่มข้ามคืนใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 °C หลังจากนั้นทำการตรวจสอบ Enzyme products ด้วย 2% agarose gel electrophoresis นำแผ่นเจลที่ได้ไปย้อมดีเอ็นเอด้วย Gelstar (Gel Strain, Vivantis, Malaysia) ทำการบันทึกภาพแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นภายใต้แสง UV ด้วย Gel Documentation System และวิเคราะห์รูปแบบจีโนไทป์ที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณค่าความถี่จีโนไทป์และความถี่อัลลีลของยีน *MYF5* ด้วยชุดคำสั่ง FREQ โดยใช้โปรแกรม SAS (SAS® Studio Online) คำนวณค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้ที่ได้จากการสังเกต (Observed Heterozygosity: H_O) ค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้คาดหมาย (Expected Heterozygosity: H_E) ค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้คาดหมายที่ไม่มีอคติ (Unbiased Expected Heterozygosity: H_U) ตามวิธีการของ Nei (1978) ทดสอบ Hardy–Weinberg Equilibrium ด้วย Chi-square test (χ^2-test) ตามวิธีของ Falconer and Mackay (1996) และวิเคราะห์ค่า Polymorphic information content (PIC) ตามวิธีการของ Botstein et al. (1980) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5/Hha*I กับลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะซากด้วยวิธี General Linear Model (GLM) Procedure ของโปรแกรม SAS (SAS® Studio Online) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละลักษณะด้วยวิธี least significant difference หากความถี่ของจีโนไทป์ใดพบต่ำกว่า 5% ของฝูง จะไม่นำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ของรูปแบบยีนกับลักษณะที่ศึกษา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

รูปแบบจีโนไทป์ ความถี่จีโนไทป์และความถี่อัลลีลของยีน *MYF5*

ผลตรวจสอบรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* ด้วยเอนไซม์ *Hha*I พบรูปแบบจีโนไทป์ 3 รูปแบบ คือจีโนไทป์ AA (432 bp) AB (432 bp, 332 bp และ100 bp) และรูปแบบจีโนไทป์ BB (332 bp และ 100 bp) ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี และ ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% พบจีโนไทป์ AA, AB และ BB ส่วนไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% พบจีโนไทป์ AB และ BB แต่ไม่พบจีโนไทป์ AA และไก่เนื้อทางการค้า พบจีโนไทป์ BB เพียงรูปแบบเดียว **(Figure 1)**

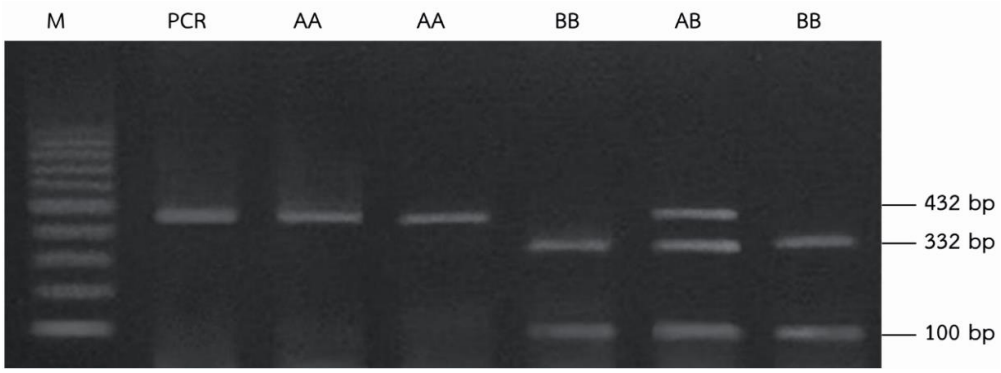


Figure 1 Genotype pattern of *MYF5* gene after digestion with *Hha*I enzyme in the studied samples (M = 100 bp DNA Ladder, lane 1 = PCR product, lane 2 and 3 = AA genotypes, lane 4 and 6 = BB genotypes and lane 5 = AB genotype)

ผลวิเคราะห์ความถี่จีโนไทป์และความถี่อัลลีลของยีน *MYF5* พบว่าในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี มีความถี่จีโนไทป์ BB เท่ากับ 0.527 สูงกว่าจีโนไทป์ AB (0.432) และ AA (0.041) ตามลำดับ มีความถี่อัลลีล B เท่ากับ 0.743 สูงกว่าความถี่อัลลีล A (0.257) ในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% มีความถี่จีโนไทป์ BB เท่ากับ 0.818 สูงกว่าจีโนไทป์ AB (0.167) และ AA (0.015) ตามลำดับ มีความถี่อัลลีล B เท่ากับ 0.902 สูงกว่าความถี่อัลลีล A (0.098) ในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% ไม่พบรูปแบบจีโนไทป์ AA (0.000) มีความถี่จีโนไทป์ BB เท่ากับ 0.892 สูงกว่า จีโนไทป์ AB (0.108) มีความถี่อัลลีล B เท่ากับ 0.946 สูงกว่าความถี่อัลลีล A (0.054) ในไก่เนื้อทางการค้า ไม่พบรูปแบบจีโนไทป์ AA (0.000) และ AB (0.000) พบความถี่จีโนไทป์ BB เพียงรูปแบบเดียว เท่ากับ 1.000 มีความถี่อัลลีล B เท่ากับ 1.000 สูงกว่าความถี่อัลลีล A (0.000) **(Table 1)** จากผลการศึกษารูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* ในครั้งนี้พบว่าความถี่รูปแบบจีโนไทป์ BB สูงกว่า AB และ AA ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50%, 25% และไก่เนื้อทางการค้า และเมื่อพิจารณาความถี่อัลลีลของยีน *MYF5* ในไก่ทั้ง 4 กลุ่ม มีความถี่อัลลีล B สูงกว่าอัลลีล A สอดคล้องกับการศึกษาภัทรวรรณ (2563) ในไก่จีนดำ และ ไก่เนื้อทางการค้า (สายพันธุ์ Ross 308) มีรูปแบบจีโนไทป์ BB สูงกว่า AB และ AA ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความถี่อัลลีลของยีน *MYF5* ในไก่ทั้ง 4 กลุ่ม พบความถี่อัลลีล B สูงกว่าอัลลีล A สอดคล้องกับการศึกษาของ Yin et al. (2011) ในไก่ Sichuan Daheng สายพันธุ์ s03, s05 และ D99 ความถี่อัลลีล B สูงกว่าอัลลีล A เช่นเดียวกับการศึกษาของภัทรวรรณ (2563) ในไก่จีนดำ ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (พ่อพันธุ์ประดู่หางดำ × แม่พันธุ์จีนดำ) ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม (พ่อพันธุ์จีนดำ × แม่พันธุ์ประดู่หางดำ) และไก่เนื้อทางการค้า (สายพันธุ์ Ross 308) ที่มีความถี่ของอัลลีล B สูงกว่าอัลลีล A แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาภัทรวรรณ (2563) ในไก่ประดู่หางดำ มข. 55 มีความถี่อัลลีล A สูงกว่าอัลลีล B ลักษณะนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2013) พบว่า ห่าน Songliao white มีความถี่อัลลีล A เท่ากับ 0.829 สูงกว่าอัลลีล B (0.171)

ผลการศึกษาพบว่าไก่เนื้อทางการค้ามีจีโนไทป์ BB (homozygous genotype) ที่ความถี่ 1.000 ทั้งนี้ไก่เนื้อทางการค้าถูกคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์เพื่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Zuidhof et al., 2014; Riber and Wurtz, 2024) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yin et al. (2011) รายงานในไก่สายพันธุ์ Sichuan Daheng พบว่า ไก่ที่มีจีโนไทป์ BB มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซาก น้ำหนักซากรวมเครื่องใน น้ำหนักซากไม่รวมเครื่องใน สูงกว่าจีโนไทป์ AB อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จึงมีความเป็นไปได้ว่าอัลลีลดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับลักษณะการเจริญเติบโต หากรูปแบบยีนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตในไก่มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือก ไก่พื้นเมืองให้มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นได้ (สจี, 2560) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากประชากรไก่เนื้อทางการค้าที่ศึกษาครั้งนี้พบเพียงจีโนไทป์เดียว (BB) จึงไม่สามารถนำมาประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างจีโนไทป์กับลักษณะการเจริญเติบโตได้

Table 1 Genotype and allele frequencies of *MYF5* in Thai native chickens (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens (25NT), and commercial broiler (0NT)

Breeds	N	Genotype frequencies (N)			Allele frequencies	
		AA	AB	BB	A	B
100NT	74	0.041(3)	0.432(32)	0.527(39)	0.257	0.743
50NT	66	0.015(1)	0.167(11)	0.818(54)	0.098	0.902
25NT	83	0.000	0.108(9)	0.892(74)	0.054	0.946
0NT	88	0.000	0.000	1.000(88)	0.000	1.000

N = Number of samples

ทดสอบภาวะสมดุลของยีน *MYF5*

ผลวิเคราะห์ค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้ที่ได้จากการสังเกต (H_O) ค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้คาดหมาย (H_E) และค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้คาดหมายที่ไม่มีอคติ (uH_E) ของยีน *MYF5* ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี และไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% และไก่เนื้อทางการค้า พบ ค่า H_O มีค่าสูงกว่าค่า H_E และ uH_E ในขณะไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% มีค่า H_O มีค่าต่ำกว่าค่า H_E และ uH_E และเมื่อพิจารณาค่า Polymorphism Information Content (PIC) ของยีน *MYF5* ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ 25% มีค่าเท่ากับ 0.309, 0.162 และ 0.097 ตามลำดับ สำหรับไก่เนื้อทางการค้าไม่สามารถวิเคราะห์ค่าเฮทเทอโรไซโกซิตี้ และ ค่า Polymorphism Information Content (PIC) เนื่องจาก ไก่เนื้อทางการค้ามีจีโนไทป์รูปแบบเดียว **(Table 2)**

Table 2 H_O, H_E, uH_E, chi-square test (x^2) and PIC of *MYF5* in Thai native chickens (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens (25NT), and commercial broiler (0NT)

Breeds	N	H_O	H_E	uH_E	x^2(HWE)	PIC	P-value
100NT	74	0.432	0.382	0.384	1.309	0.309	0.520
50NT	66	0167	0.178	0.179	0.249	0.162	0.883
25NT	83	0.108	0.103	0.103	0.273	0.097	0.873
0NT	88	-	-	-	-	-	-

N = Number of samples, H_O = Observed Heterozygosity, H_E = Expected Heterozygosity, uH_E = Unbiased Expected Heterozygosity, PIC = Polymorphic information content, x^2(HWE) = Hardy-Weinberg equilibrium by the x^2-test (degree of freedom = 1, critical value = 3.841, α=0.05), * P<0.001

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% และ 50% มีความหลากหลายด้านพันธุกรรมในระดับต่ำ (PIC ≤ 0.25) อย่างไรก็ตามในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี พบความหลากหลายด้านพันธุกรรมในระดับปานกลาง (0.25 ≤ PIC ≤ 0.5) บ่งชี้ว่ายีน *MYF5* มีศักยภาพในการใช้ศึกษาความหลากหลายด้านพันธุกรรมในไก่พื้นเมืองพันธุ์ชี ทั้งนี้ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชีมีความหลากหลายด้านพันธุกรรมในระดับปานกลางเนื่องจากไก่พื้นเมืองไม่ได้ถูกคัดเลือกพันธุ์อย่างเข้มข้นเหมือนไก่เนื้อทางการค้า ดังนั้นไก่พื้นเมืองจึงยังคงรักษาความหลากหลายด้านพันธุกรรมไว้ได้ในระดับหนึ่ง (Zhang et al., 2020; Neeteson et al., 2023) ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายด้านพันธุกรรมในระดับต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากจับคู่ของพ่อพันธุ์ที่เป็นไก่เนื้อทางการค้ามีรูปแบบจีโนไทป์ BB รูปแบบเดียวซึ่งไม่มีความหลากหลายด้านพันธุกรรมเนื่องจากถูกคัดเลือกมาหลายรุ่นและแม่พันธุ์ที่เป็นไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี มีความหลากหลายด้านพันธุกรรมปานกลาง ส่งผลให้ประชากรในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมมี ค่า PIC ต่ำ

เมื่อทำการทดสอบภาวะสมดุลความถี่ของยีนที่นำมาศึกษาตามกฎของ Hardy-Weinberg ด้วย Chi-square test (χ^2-test) พบว่ายีน *MYF5* ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ 25% อยู่ในภาวะสมดุล ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่า แม้ค่า PIC จะต่ำ แต่ประชากรยังไม่แสดงหลักฐานของแรงคัดเลือกอย่างเข้มข้น (P>0.01) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yin et al. (2011) ในไก่ Sichuan Daheng พบว่าสายพันธุ์ s01, s02, s03, s05 และ s06 อยู่ในภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาครั้งนี้พบว่ารูปแบบจีโนไทป์ AA มีจำนวนน้อย ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างไก่ที่สุ่มมาศึกษามีขนาดเล็กทำให้มีโอกาสในการตรวจพบอัลลีล A ลดลง (อนุวัฒน์ และคณะ, 2563) ทำให้เกิดการสูญเสียจีโนไทป์บางรูปแบบโดยบังเอิญ แม้จีโนไทป์นั้นจะไม่ได้ถูกกำจัดออกไปจากแรงคัดเลือกตามธรรมชาติก็ตาม การเพิ่มความถี่จีโนไทป์และรูปแบบจีโนไทป์ AA ในประชากรหรือฝูง อาจจะต้องตรวจสอบรูปแบบจีโนไทป์ของไก่พ่อแม่พันธุ์ก่อนการวางแผนจับคู่ผสมพันธุ์เพื่อผลิตลูกไก่มีรูปแบบจีโนไทป์ที่ต้องการเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ของรูปแบบยีน *MYF5/HhaI* ต่อการเจริญเติบโตและลักษณะซาก

ความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* กับน้ำหนักตัว

การศึกษาการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ 25% และไก่เนื้อทางการค้า น้ำหนักตัว ที่อายุ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ **(Table 3)** พบความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ AB ของยีน *MYF5* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่อายุ 2 สัปดาห์ ในไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% โดยไก่ที่มีจีโนไทป์ AB มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 196.13±8.93 กรัม ที่สูงกว่าจีโนไทป์ BB (175.41±3.16 กรัม) (P<0.05) แม้ไม่พบความสัมพันธ์ของจีโนไทป์ AB ในไก่ที่ทำการศึกษาในกลุ่มอื่น แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักตัวของไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% พบว่า ไก่ที่มีจีโนไทป์ AB มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่สูงกว่าไก่ที่มีจีโนไทป์ BB แสดงว่าถึงรูปแบบจีโนไทป์ heterozygous ของยีน *MYF5* มีความสัมพันธ์น้ำหนักช่วงแรกของการเจริญเติบโตที่สูงกว่ารูปแบบจีโนไทป์ homozygous สอดคล้องกับรายงานของ Genxi et al. (2014) ทำการศึกษาในไก่สายพันธุ์ Jinghai yellow พบว่า ยีน *MYF5* ตำแหน่ง exon 1 A1313G รูปแบบจีโนไทป์ที่ CD มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยในช่วงอายุแรกเกิดสูงกว่าไก่ที่มีจีโนไทป์ CC และ DD และ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wei et al. (2016) ทำการศึกษาในไก่สายพันธุ์ Bian แล้วพบว่ายีน *MYF5* ตำแหน่ง exon 1 รูปแบบจีโนไทป์ที่เป็น heterozygous มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวในช่วงอายุตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 20 สัปดาห์

Table 3 Association of *MYF5* on body weight in Thai native chickens (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens (25NT), and commercial broiler (0NT) (Least squares means ± SE)

Breeds	Genotypes (N)	BW0	BW2	BW4	BW6	BW8	BW10	BW12
NT100	AB (31)	31.33±0.50	85.04±2.86	201.44±7.97	404.7±15.72	654.86±24.96	956.74±32.07	1171.35±33.38
	BB (36)	31.12±0.46	80.62±2.65	197.17±7.40	385.88±14.6	630.67±23.19	933.48±29.80	1166.37±31.01
	p-value	0.76	0.26	0.70	0.38	0.48	0.60	0.91
NT50	AB (10)	34.72±0.94	165.82±8.51	505.30±25.63	983.30±62.28	1596.70±80.27	2090.00±96.17	-
	BB (54)	34.27±0.41	156.51±3.72	462.20±11.20	945.35±27.21	1513.78±35.06	1993.59±42.01	-
	p-value	0.66	0.32	0.13	0.58	0.35	0.36	-
NT25	AB (9)	39.95±1.09	196.13±8.93[a]	475.65±27.6	947.15±65.79	1441.01±89.24	-	-
	BB (74)	39.58±0.39	175.41±3.16[b]	467.18±9.77	965.70±23.30	1418.45±31.60	-	-
	p-value	0.75	0.03	0.77	0.79	0.81	-	-
0NT	BB (88)	42.56±0.32	266.18±4.34	896.56±14.72	1672.44±25.46	-	-	-
	p-value	-	-	-	-	-	-	-

[a, b] means with in column superscript in the same trait are differ significantly (P<0.05), N = Number of samples

ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบจีโนไทป์ โดยเฉพาะแบบ heterozygous ของยีน *MYF5* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวเริ่มต้นที่สูงขึ้นและมีศักยภาพในการเจริญเติบโตระยะยาวที่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวสุดท้ายก่อนการจำหน่าย โดยการพัฒนา skeletal muscle เกิดขึ้น

ตั้งแต่ระยะตัวอ่อน ผ่านกระบวนที่เรียกว่า myogenesis ที่เนื้อเยื่อ mesoderm โดยเฉพาะ paraxial mesoderm ที่พัฒนาเป็น somites และแยกเป็น sclerotome และ dermomyotome) โดย ยีน *MYF5* เป็นหนึ่งในยีนลำดับแรกที่มีบทบาทสำคัญทำหน้าที่กำหนด dermomyotome แยกไปเป็น myogenic progenitor cells ซึ่งเป็นเซลล์ต้นกำเนิดและกระตุ้นไปเป็น myoblast (Hyttel et al., 2010; Jang and Baik, 2013) ซึ่งส่งผลจำนวนรวมของเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้มวลกล้ามเนื้อส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและช่วงแรกเริ่มหลังฟัก (Saitoh et al., 1993; Sobolewska et al., 2011) ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มอย่างรวดเร็วในระยะกกซึ่งเป็นช่วงวิกฤตของพัฒนาการลูกไก่ อีกทั้งลูกไก่ที่มีน้ำหนักสูงเริ่มต้นมีอัตรารอดชีวิตและการเจริญเติบโตสูงกว่า เนื่องจากความแข็งแรงและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ดี (Petek et al., 2010) นอกจากนี้การแสดงออกของยีนยังส่งเสริมการสะสมมวลกล้ามเนื้อในระยะยาว (ทองสา และคณะ, 2557; อนุวัฒน์ และคณะ, 2563)

ความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน

ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (Average daily gain; ADG) ที่อายุ 0-4, 0-6, 0-8, 0-10 และ 0-12 สัปดาห์ **(Table 4)** พบว่า ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ 25% ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AB ของยีน *MYF5* มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวันที่สูงกว่าไก่ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ BB แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องการศึกษาของภัทรวรรณ (2563) ในไก่พื้นเมืองไทยไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม และไก่เนื้อ ไม่พบความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* ต่อการเจริญเติบโต เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Saputra et al. (2020) ในโคพันธุ์บาหลีอายุ 6 เดือน ที่ตำแหน่ง exon1 g.643G>A ของยีน *MYF5* ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับอัตราการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามยังพบการศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบยีน *MYF5* กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน ในสัตว์เศรษฐกิจประเภทอื่น อาทิ ในโค สุกร เป็นต้น พบว่า การศึกษาของ Chung and Kim (2005) ที่ทดลองในโคเนื้อสายพันธุ์เกาหลี อายุ 3, 6 และ 12 เดือน พบความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ ของยีน *MYF5* กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวันของโคสายพันธุ์เกาหลี โดยโคที่มีรูปแบบจีโนไทป์ BB และ AB มีค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวันสูงกว่าโคที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AA อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในทำนองเดียวกันการศึกษาของ Park et al. (2015) ที่ทดลองในสุกรสายพันธุ์ดูร็อค (Duroc) โดยน้ำหนักตัวเริ่มต้น 30 กิโลกรัม เลี้ยงจนถึง 90 กิโลกรัม พบว่ารูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน โดยสุกรที่มีจีโนไทป์ AA และ AB มีค่า ADG สูงกว่าสุกรที่มีจีโนไทป์ BB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Table 4 Association of *MYF5* on average daily gain in Thai native chickens (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens (25NT), and commercial broiler (0NT) (Least squares means ± SE)

Breeds	Genotypes (N)	ADG 0 - 4	ADG 0 - 6	ADG 0 - 8	ADG 0 - 10	ADG 0 - 12
NT100	AB (31)	6.08±0.28	8.89±0.37	11.13±0.44	13.22±0.46	13.57±0.40
	BB (36)	5.93±0.26	8.45±0.34	10.71±0.41	12.89±0.42	13.52±0.37
	p-value	0.71	0.38	0.48	0.60	0.92
NT50	AB (10)	16.81±0.92	22.59±1.48	27.89±1.43	29.36±1.37	-
	BB (54)	15.28±0.40	21.69±0.65	26.42±0.63	27.99±0.60	-
	p-value	0.13	0.58	0.35	0.36	-
NT25	AB (9)	15.56±0.97	21.6±1.56	25.02±1.59	-	.
	BB (74)	15.27±0.34	22.05±0.55	24.62±0.56	-	-
	p-value	0.78	0.79	0.81	-	-
0NT	BB (88)	30.5±0.52	38.81±0.60	-	-	-
	p-value	-	-	-	-	-

[a, b] means with in column superscript in the same trait are differ significantly ($P<0.05$), N = Number of samples

การศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์ของยีน *MYF5* กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน อย่างไรก็ตามในการเจริญเติบโตของไก่อาจมียีนอื่นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อเข้ามามีส่วนร่วมในช่วงหลังฟัก เช่น myostatin (*MSTN*), growth hormone (*cGH*) และ insulin-like growth factors (*IGF*1) ซึ่งยีนเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (hypertrophy) (สจี และคณะ, 2560; อนุวัฒน์ และคณะ, 2563; Lei et al., 2007; Mohammadabadi et al., 2021)

การวิเคราะห์เฉพาะยีน *MYF5* เพียงตำแหน่งเดียวอาจไม่เพียงพอในการอธิบายความแปรผันของการเจริญเติบโตทั้งหมด เนื่องจากการเจริญเติบโตเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ Polygenic Trait ซึ่งมีกลไกการทำงานที่ซับซ้อน ในการศึกษาครั้งถัดไปควรพิจารณาการวิเคราะห์การทำงานร่วมระหว่างยีน (gene interaction) โดยร่วมกับ *MYOD*1, *MSTN* และ *IGF*1 เป็นต้น เพื่อประเมินผลแบบบูรณาการทั้งกระบวนการ hyperplasia และ hypertrophy

ความสัมพันธ์ของยีน *MYF5* กับลักษณะซาก

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *MYF5* ที่มีต่อลักษณะซากไก่ทั้ง 4 กลุ่ม **(Table 5)** พบว่า ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% และ ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AB ของยีน *MYF5* มีลักษณะซากที่สูงกว่าไก่ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ BB โดยพบว่า ไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ชี ที่มีจีโนไทป์ AB มีเปอร์เซ็นต์เนื้ออก เท่ากับ 15.67±0.33 สูงกว่าจีโนไทป์ BB (14.59±0.33) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ส่วนไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 50% ที่มีจีโนไทป์ AB มีเปอร์เซ็นต์ซากตลาดเท่ากับ 80.75±0.68 สูงกว่าจีโนไทป์ BB (78.39±0.31) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) และมีเปอร์เซ็นต์น่อง เท่ากับ 12.04±0.76 สูงกว่าจีโนไทป์ BB (9.98±0.35) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ส่วนไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% จีโนไทป์ AB มีเปอร์เซ็นต์สะโพก เท่ากับ 10.44±0.79 ต่ำกว่าจีโนไทป์ BB (12.11±0.28) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ ภัทรวรรณ (2563) ที่พบว่ายีน *MYF5* มีความสัมพันธ์กับลักษณะซากของในไก่จีนดำโดยรูปแบบจีโนไทป์ AB มีน้ำหนักมีชีวิตเท่ากับ 2,011.40±181.50 g สูงกว่าจีโนไทป์ BB (1,343.90±53.64 g) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2013) ในห่านสายพันธุ์ Songliao white พบว่า ห่านที่มีจีโนไทป์ AB มีน้ำหนักกล้ามเนื้อขา อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

Table 5 Association of *MYF5* gene on carcass traits in Thai native chickens (Chee) (100NT), 50% Thai native crossbred chickens (50NT), 25% Thai native crossbred chickens (25NT), and commercial broiler (0NT) (Least squares means ± SE)

Breeds	Genotypes(N)	Live Weight (g)	Whole Carcass %	Local Carcass %	Breast %	Wing %	Thigh %	Drumstick %	Abdominal fat %
100NT	AB (25)	1,138.91±31.51	88.61±0.46	76.60±0.69	15.67±0.33[a]	10.68±0.33	11.96 ±0.43	11.04±0.49	0.01±0.01
	BB (25)	1,050.51±31.51	88.58±0.46	75.43±0.81	14.59±0.33[b]	10.55±0.39	11.06± 0.44	10.70±0.58	0.03±0.01
	p-value	0.053	0.961	0.283	0.028	0.799	0.151	0.660	0.258
50NT	AB (10)	2,090.00±96.14	90.57±0.45	80.75±0.68[a]	20.56±0.55	9.09±0.26	11.41±0.67	12.04±0.76[a]	1.62±0.42
	BB (54)	1,998.35±42.26	89.58±0.20	78.39±0.31[b]	20.68±0.24	9.31±0.12	10.86±0.29	9.98±0.35[b]	1.88±0.17
	p-value	0.386	0.053	<0.01	0.842	0.452	0.469	0.017	0.572
25NT	AB (9)	1,440.37±1.37	87.45±1.37	73.31±1.52	16.39±0.72	9.21±0.25	10.44±0.79[b]	9.41±0.57	2.34±0.43
	BB (71)	1,420.63±0.49	87.74±0.49	73.98±0.51	17.12±0.72	9.32±0.09	12.11±0.28[a]	10.29±0.21	2.02±0.16
	p-value	0.830	0.846	0.679	0.346	0.692	0.049	0.147	0.485
0NT	BB (87)	1,674.66±24.97	90.67±0.22	77.84±0.26	24.25±0.26	8.16±0.04	11.85±0.19	10.06±0.16	1.76±0.07
	P-value	-	-	-	-	-	-	-	-

[a, b] means with in column superscript in the same trait are differ significantly (P<0.05), N = Number of samples

ผลการศึกษาพบว่าไก่ที่มีจีโนไทป์ AB มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ซากตลาด เนื้ออก และ น่อง ขณะที่จีโนไทป์ BB มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์สะโพก สอดคล้องกับการศึกษายีน *MYF5* มีการแสดงออกตั้งแต่แรกเกิดถึง 10 สัปดาห์ โดยมีการแสดงออกของยีนสูงที่กล้ามเนื้ออกมากกว่ากล้ามเนื้อขา (Yin et al., 2014; Genxi et al., 2014) และพบการแสดงออกของยีนที่กล้ามเนื้อสะโพก

มากกว่าเนื้ออก (Yin et al., 2015) จีโนไทป์ AB จึงอาจกระตุ้นการสร้างกล้ามเนื้อบริเวณอกและน่อง ส่วนจีโนไทป์ BB มีผลเฉพาะกับกล้ามเนื้อสะโพก ทั้งนี้ยีน *MYF5* เป็นหนึ่งในยีนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและพัฒนากล้ามเนื้อโครงร่าง โดย *MYF5* ทำหน้าที่เป็น determination factor ควบคุมการสร้าง myogenesis และ สภาวะสมดุล (homeostasis) โดยกระตุ้นให้เซลล์ต้นกำเนิดกล้ามเนื้อ (myogenic progenitor cells) เปลี่ยนแปลงไปเป็น myoblasts (Jang and Baik, 2013) ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อโดยรวม แสดงให้เห็นว่ายีน *MYF5* มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มคุณภาพซาก โดยเฉพาะในไก่ที่มีจีโนไทป์ AB (heterozygous genotype) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะด้านซากที่ดีขึ้น ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การนำไก่สายพันธุ์ท้องถิ่นมาผสมข้ามพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีศักยภาพด้านผลผลิตสูง เป็นแนวทางที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะการเจริญเติบโตจะเห็นได้ว่า ไก่พื้นเมืองลูกผสมมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าไก่พื้นเมืองพันธุ์แท้ (Zhang et al., 2022; Sungkhapreecha et al., 2022; Mancinelli et al., 2023; Mariandayani et al., 2023) ซึ่งอาจเป็นผลจากปรากฏการณ์ heterosis effect หรือ hybrid vigor ซึ่งพบในลูกผสมรุ่นแรก (F1) โดยอาศัยการผสมข้ามสายพันธุ์ที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมของพ่อและแม่ส่งผลให้รุ่นลูกมีการแสดงออกของลักษณะที่ดีเด่น เช่น การเจริญเติบโต ความสมบูรณ์พันธุ์ และผลผลิตที่เหนือกว่าพ่อแม่ (อมรรัตน์, 2555; สจี และคณะ, 2560; อนุวัฒน์ และคณะ, 2563; Mancinelli et al., 2023; Erensoy and Sarıca, 2023) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมระดับเลือด 25% ที่มีจีโนไทป์ BB มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์สะโพก มีความเป็นไปได้ว่าหากระดับเลือดไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมมีระดับเลือดไก่เนื้อทางการค้าสูงขึ้นอาจทำให้เปอร์เซ็นต์ซากใกล้เคียงกับไก่เนื้อทางการค้า

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีน *MYF5* จำนวน 3 รูปแบบในไก่พื้นเมืองไทย และไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม ทั้งนี้รูปแบบยีน *MYF5* พบมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่อายุ 2 สัปดาห์ และมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มคุณภาพซาก เปอร์เซ็นต์ซากตลาด เปอร์เซ็นต์เนื้ออก เปอร์เซ็นต์น่อง และเปอร์เซ็นต์สะโพก ซึ่งรูปแบบยีนและความสัมพันธ์กับลักษณะทางการเจริญเติบโตและลักษณะซากนี้มีโอกาสนำมาพัฒนาเป็นเครื่องหมายพันธุกรรมช่วยในการคัดเลือกลักษณะน้ำหนักตัวและลักษณะซากในไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมได้ต่อไปอย่างไรก็ตามการศึกษาในอนาคตควรขยายขอบเขตของการศึกษาในฝูงไก่พื้นเมืองไทยและไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมจากพื้นที่อื่นๆ เพื่อตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมในโครงสร้างประชากร จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและได้ผ่านการรับรองการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์เลขที่ จส.มข. 109/65 วันที่อนุมัติ 3 กุมภาพันธ์ 2566

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติตามสัญญารับทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย เลขที่ SCA-CO-2564-14419-TH ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางสัตว์ ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยและหมวดสัตว์ปีก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนสัตว์ทดลองและสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กัลยา เก่งวิกย์กรรม. 2551. คู่มือการปฏิบัติงานตรวจพิสูจน์พ่อ-แม่-ลูกโค ด้วยลายพิมพ์ดีเอ็นเอ. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพการปศุสัตว์, สำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์.

ทองสา บัวสุข, มนต์ชัย ดวงจินดา, ยุพิน ผาสุข และสจี กัณหาเรียง. 2557. รูปแบบของยีน cGH, IGF-1, ApoB2, ApoVLDL-II และ FASN กับน้ำหนักตัวและระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมาของไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม. วารสารแก่นเกษตร. 42: 357-368.

สจี กัณหาเรียง. 2560. การประเมินความหลากหลายพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตเนื้อ และคุณภาพเนื้อในไก่พื้นเมืองไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สัญชัย จตุรสิทธา, ศุภฤกษ์ สายทอง, อังคณา ผ่องแผ้ว, ทัศนีย์ อภิชาติสรางกูร และอำนวย เลี้ยวธารากุล. 2546. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์: คุณภาพซาก และเนื้อของไก่พื้นเมืองและสายพันธุ์ลูกผสม 4 สายพันธุ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ภัทรวรรณ กีฬา. 2563. ความผันแปรทางพันธุกรรมของยีน *MRF*4 และ *MYF*5 ต่อการ เจริญเติบโต ลักษณะซาก และคุณภาพเนื้อในไก่พื้นเมืองไทย ไก่พื้นเมืองไทยลูกผสม และ ไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อมรรัตน์ โมฬี. 2555. เอกสารประกอบคำสอน วิชา การปรับปรุงพันธุ์สัตว์ Animal Breeding. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อนุวัฒน์ จันดามุก, บัญญัติ เหล่าไพบูลย์ และสจี กัณหาเรียง. 2563. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบยีน cGH และ IGF-1 กับน้ำหนักตัวและการเจริญเติบโตของไก่ไข่มุกอีสาน 2. วารสารเกษตร. 36: 235-246.

Botstein, D., R. L. White, M. Skolnick, and R. W. Davis. 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. American Journal of Human Genetics. 32: 314-331.

Chen, A. E., D. D. Ginty, and C. M. Fan. 2005. Protein kinase A signalling via CREB controls myogenesis induced by Wnt proteins. Nature. 433: 317-322.

Chung, E. R., and W. T. Kim. 2005. Association of SNP marker in IGF-I and MYF5 candidate genes with growth traits in Korean cattle. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 18: 1061–1065.

Erensoy, K., and M. Sarıca. 2023. Fast growing broiler production from genetically different pure lines in Turkey. 2. Broiler traits: growth, feed intake, feed efficiency, livability, body defects and some heterotic effects. Tropical Animal Health and Production. 55: 1-15.

Falcorner, D. S., and T. F. C. Mackey. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4th Edition. Pearson Education, New York.

Gayraud-Morel, B., F. Chrétien, P. Flamant, D. Gomès, P. S. Zammit, and S. Tajbakhsh. 2007. A role for the myogenic determination gene Myf5 in adult regenerative myogenesis. Developmental Biology. 312: 13-28.

Genxi, Z., T. Ying, Z. Tao, J. Y. Wang, and Y. J. Wang. 2014. Expression profiles and association analysis with growth traits of the MyoG and Myf5 genes in the Jinghai yellow chicken. Molecular Biology Reports. 41: 7331-7338.

Goodwin, W., A. Linacre, and S. Hadi. 2007. An In-troduction to Forensic Genetics. John Wi-ley & Sons Ltd., Chicheste.

Hyttel, P., F. Sinowatz, and M. Vejlsted. 2010. Essentials of domestic animal embryology. Saunders Elsevier, Toronto.

Jaturasitha, S., N. Chaiwang, and M. Kreuzer. 2017. Thai native chicken meat: an option to meet the demands for specific meat quality by certain groups of consumers. Animal Production Science. 57: 1582-1587.

Jang, Y. N., and E. J. Baik. 2013. JAK-STAT pathway and myogenic differentiation. JAK-STAT. 2: e23282.

Lei, M., C. Luo, X. Peng, M. Fang, Q. Nie, D. Zhang, G. Yang, and X. Zhang. 2007. Polymorphism of growth-correlated genes associated with fatness and muscle fiber traits in chickens. Poultry Science. 86: 835-842.

Lusk, J. L. 2018. Consumer preferences for and beliefs about slow growth chicken. Journal of Poultry Science. 97: 4159-4466.

Mancinelli, A. C., L. Menchetti, M. Birolo, G. Bittante, D. Chiattelli, and C. Castellini. 2023. Crossbreeding to improve local chicken breeds: predicting growth performance of the crosses using the Gompertz model and estimated heterosis. Poultry Science. 102: 1-11.

Mariandayani, H. N., S. Darwati, I. Khaerunnisa, and V. D. Prasasty. 2023. Growth performance of Indonesian three-breed cross chicken associated with growth hormone and insulin-like growth factor 2 genes. Veterinary World. 16: 2471-2478.

Mohammadabadi, M., F. Bordbar, J. Jensen, M. Du, and W. Guo. 2021. Key genes regulating skeletal muscle development and growth in farm animals. Animals. 11: 835.

NCBI. 2022. MYOD FAMILY GenBank. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/374048. Accessed Mar.31, 2023.

Neeteson, A. M., S. Avendaño, A. Koerhuis, B. Duggan, E. Souza, J. Mason, J. Ralph, P. Rohlf, T. Burnside, A. Kranis, and R. Bailey. 2023. Evolutions in commercial meat poultry breeding. Animals (Basel). 13: 1-33.

Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics. 89: 583-590.

Park, S. J., J. Ha, I. S. Kim, S. G. Kwon, J. H. Hwang, D. H. Park, D. G. Kang, T. W. Kim, S. W. Kim, and C. W. Kim. 2015. Effects of LEP, GYS1, MYOD1, and MYF5 polymorphisms on pig economic traits. Annals of Animal Science. 15: 629–640.

Petek, M., A. Orman, S. Dikmen, and F. Alpay. 2010. Physical chick parameters and effects on growth performance in broilers. Archives Animal Breeding. 53: 108-115.

Petracci, M., S. Mudalal, F. Soglia, and C. Cavani. 2015. Meat quality in fast-growing broiler chickens. World's Poultry Science Journal. 71: 363-374.

Riber, A. B., and K. E. Wurtz. 2024. Impact of growth rate on the welfare of broilers. Animals (Basel).14: 3330.

Rudnicki, M. A., P. N. Schnegelsberg, R. H. Stead, T. Braun, H. H. Arnold, and R. Jaenisch. 1993. MyoD or Myf-5 is required for the formation of skeletal muscle. Cell. 75: 1351-1359.

Saitoh, O., A. Fujisawa-Sehara, Y. Nabeshima, and M. Periasamy. 1993. Expression of myogenic factors in denervated chicken breast muscle: isolation of the chicken Myf5 gene. Nucleic Acids Research. 21: 2503-2509.

Saputra, E. A., M. F. Ulum, and J. Jakaria. 2020. Association of SNP g.643G>A of MYF5 gene polymorphism with body weight and body measurements in Bali cattle Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. 45: 1–6.

Sawasdee, P., A. Leotaragul, and J. Kammongkun. 2015. Reproductive performance of Thai native chicken (Pradu-Hangdum Chiangmai) in local condition. Khon Kaen Agriculture Journal. 43: 234-237.

Sobolewska, A., G. Elminowska-Wenda, J. Bogucka, M. Szpinda, K. Walasik, M. Bednarczyk, and M. Paruszewska-Achtel. 2011. Myogenesis-possibilities of its stimulation in chickens. Folia Biologica (Krakow). 59: 85-90.

Sungkhapreecha, P., V. Chankitisakul, M. Duangjinda, and W. Boonkum. 2022. Combining abilities, heterosis, growth performance, and carcass characteristics in a diallel cross from black-bone chickens and Thai native chickens. Animals. 12: 1-33.

Tongsiri, S., G. M. Jeyaruban, S. Hermesch, J. H. J. van der Werf, L. Li, and T. Chormai. 2019. Genetic parameters and inbreeding effects for production traits of Thai native chickens. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 32: 930-938.

Wei, Y., G. X. Zhang, T. Zhang, J. Y. Wang, Q. C. Fan, Y. Tang, F. X. Ding, and L. Zhang. 2016. Myf5 and MyoG gene SNPs associated with Bian chicken growth trait. Genetics and molecular research: GMR. 15: 1-9.

Wu, J. B., L. P. Cao, M. M. Li, N. N. Du, H. L. Huang, and Y. Jin. 2013. Myf5 gene polymorphisms and production performance traits in Songliao white geese. Genetics and Molecular Research. 12: 6052-6058.

Yin, H., Z. Zhang, X. Lan, X. Zhao, Y. Wang, and Q. Zhu. 2011. Association of MyF5, MyF6 and MyOG gene polymorphisms with carcass traits in Chinese meat type quality chicken populations. Journal of Animal and Veterinary Advances. 10: 704-708.

Yin, H., S. Zhang, E. R. Gilbert, P. B. Siegel, Q. Zhu, and E. A. Wong. 2014. Expression profiles of muscle genes in postnatal skeletal muscle in lines of chickens divergently selected for high and low body weight. Poultry Science. 93: 147-154.

Yin, H., D. Li, Y. Wang, X. Zhao, Y. Liu, Z. Yang, and Q. Zhu. 2015. Myogenic regulatory factor (MRF) expression is affected by exercise in postnatal chicken skeletal muscles. Gene. 561: 292-299.

Zhang, J., C. Nie, X. Li, Z. Ning, Y. Chen, Y. Jia, J. Han, L. Wang, X. Lv, W. Yang, and L. Qu. 2020. Genome-wide population genetic analysis of commercial, indigenous, game, and wild chickens using 600K SNP microarray data. Frontiers in Genetics. 11: 543294.

Zhang, P., X. Qiu, L. Wang, and F. Zhao. 2022. Progress in genomic mating in domestic animals. Animals (Basel). 12: 18.

Zuidhof, M. J., B. L. Schneider, V. L. Carney, D. R. Korver, and F. E. Robinson. 2014. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. Poultry Science. 93: 1-13.