วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



ผลของรูปแบบยีน *cGH, IGF-I, VIPR-1* และ *PRL* ต่อลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ขาวค้ำคูณ

Effect of polymorphisms in *cGH, IGF-I, VIPR-1* and *PRL* genes on growth traits in Khaw Khum Koon chicken

อนุวัฒน์ จันดามุก[1,2], ธนวรรณ อุปสัย[1] และ สจี กัณหาเรียง[1]*

Anuwat Jandamook[1], Thanawan Uopasai[1] 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, Thailand*
[2]*คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน จ. น่าน55000*
[2]*Faculty of Science and Agricultural Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan, Nan, 55000*

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ตรวจหารูปแบบของยีน *cGH, IGF-I, PRL* และ *VIPR-1* และความสัมพันธ์ของรูปแบบยีนต่อน้ำหนักตัว, อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน, รอบอก และความกว้างอก ในไก่ขาวค้ำคูณ จำนวน 511 ตัวอย่าง หาความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีน *cGH, IGF-I,* และ *VIPR-1* โดยใช้เทคนิค PCR-RFLP ยีน *PRL* ใช้เทคนิค AS-PCR วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ Proc GLM ผลการศึกษาพบประชากรไก่ที่ศึกษามีความถี่จีโนไทป์ของยีน *cGH* คือ AA, AG, และ GG มีค่าเท่ากับ 0.098, 0.528 และ 0.378 ตามลำดับ ความถี่จีโนไทป์ของยีน *IGF-I* คือ AA, AC และ CC มีค่าเท่ากับ 0.235, 0.485 และ 0.280 ตามลำดับ ความถี่จีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* คือ CC, CT และ TT มีค่าเท่ากับ 0.229, 0.148 และ 0.623 ตามลำดับ และความถี่จีโนไทป์ของยีน *PRL* คือ II, ID และ DD เท่ากับ 0.008, 0.104 และ 0.888 ตามลำดับ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบความสัมพันธ์รูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH, IGF-I* และ *PRL* กับลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ขาวค้ำคูณ (P<0.05) โดยยีน *cGH* พบกลุ่มไก่ที่มีจีโนไทป์ AA มีน้ำหนักแรกเกิดสูงสุด (39.51 ± 0.85 กรัม) เมื่อเทียบในกลุ่มจีโนไทป์ AG (39.02 ± 0.69 กรัม) และ GG (37.90 ± 0.71 กรัม) ยีน *IGF-I* พบกลุ่มไก่ที่มีจีโนไทป์ AC มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวไก่, รอบอก และ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 10 สัปดาห์สูงสุด (1,843.46 ± 40.02 กรัม, 28.93 ± 0.42 ซม. และ 25.62 ± 0.34 กรัม) เมื่อเทียบในกลุ่มจีโนไทป์ AA (1,814.42 ± 44.26 กรัม, 28.31 ± 0.47 ซม. และ 25.28 ± 0.42 กรัม) และ CC (1,748.52 ± 43.17 กรัม, 28.31 ± 0.46 ซม. และ 24.32 ± 0.38 กรัม) ตามลำดับ ยีน *PRL* พบกลุ่มไก่ที่มีจีโนไทป์ ID มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวไก่ที่ 6 และ 8 สัปดาห์สูงสุด (966.71 ± 40.32 กรัม, 1,537.79 ± 56.86 กรัม) เมื่อเทียบในกลุ่มจีโนไทป์ DD (825.41 ± 16.48 กรัม , 1,388.15 ± 23.25 กรัม) ในไก่ขาวค้ำคูณ แต่จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์รูปแบบจีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* กับลักษณะการเจริญเติบโต (P>0.05) ในไก่ขาวค้ำคูณ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ายีน *cGH* และ *IGF-I* น่าจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับลักษณะการเจริญเติบโต ดังนั้นรูปแบบจีโนไทป์ของทั้ง 2 มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องหมายทางพันธุกรรมสำหรับการปรับปรุงการเจริญเติบโตในไก่ขาวค้ำคูณ

คำสำคัญ: เครื่องหมายพันธุกรรม; ลักษณะการเจริญเติบโต; ความหลากหลายทางพันธุกรรม; ไก่ขาวค้ำคูณ

ABSTRACT: This study aimed to investigate the genotypic patterns of the *cGH, IGF-I, PRL,* and *VIPR-1* genes and their association with body weight, average daily gain, breast circumference and breast width in 511 Khaw Khum Koon chickens. Genetic variation of the *cGH, IGF-I,* and *VIPR-1* genes was analyzed using the PCR-RFLP, and PRL using AS-PCR technique, the association analysis was conducted using the Proc GLM procedure. The results showed the genotype frequencies of the *cGH* gene were 0.098 (AA), (0.528) AG, (0.378) GG, for the *IGF-I* gene (0.235) AA, (0.485)

* Corresponding author: ksajee@kku.ac.th

Received: date; October 7, 2025 Revised: date; April 19, 2026

Accepted: date; May 18, 2026 Published: date; August 24, 2026

AC, (0.280) CC, for the *VIPR-1* gene (0.229) CC, (0.148) CT, (0.623) TT, for the *PRL* gene (0.008) II, (0.104) ID, (0.888). Association analysis revealed significant relationships (P<0.05) between the genotypes of *cGH, IGF-I,* and *PRL* genes and growth traits in Khaw Khum Koon chickens. For the *cGH* gene, chickens with the AA genotype had the highest birth weight (39.51 ± 0.85 g), compared to AG (39.02 ± 0.69 g) and GG (37.90 ± 0.71 g). For the *IGF-I* gene, chickens with the AC genotype had the highest average body weight, breast circumference, and average daily gain at 10 weeks (1,843.46 ± 40.02 g, 28.93 ± 0.42 cm, and 25.62 ± 0.34 g), compared to AA (1,814.42 ± 44.26 g, 28.31 ± 0.47 cm, and 25.28 ± 0.42 g) and CC (1,748.52 ± 43.17 g, 28.31 ± 0.46 cm, and 24.32 ± 0.38 g). For the *PRL* gene, chickens with the ID genotype had the highest average body weights at 6 and 8 weeks (966.71 ± 40.32 g and 1,537.79 ± 56.86 g), compared to the DD genotype (825.41 ± 16.48 g and 1,388.15 ± 23.25 g). However, no significant association (P>0.05) was found between the genotypes of the *VIPR-1* gene and growth traits in Khaw Khum Koon chickens. This study suggests that the *cGH* and *IGF-I* genes may play important roles in growth traits, and their genotypes have potential as genetic markers for improving growth performance in Khaw Khum Koon chickens.
Keywords: genetic marker; growth traits; genetic variation; Khaw Khum Koon chicken

บทนำ

ไก่พื้นเมืองเป็นไก่ที่นิยมบริโภคอย่างมากในประเทศไทย และเป็นที่ต้องการของตลาด โดยทั่วไปไก่พื้นเมือง มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ที่อายุ 16 สัปดาห์ มีน้ำหนักประมาณ 1.6 กิโลกรัม (อนุวัฒน์ และคณะ, 2563) ส่งผลให้เกษตรกรต้องเพิ่มต้นทุนด้านอาหารยารักษาโรคและใช้เวลานานในการเลี้ยงเพื่อขาย จึงยังเป็นข้อจำกัดในการพัฒนาการเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมืองในเชิงธุรกิจ ทั้งนี้เพราะไก่พื้นเมืองมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ไก่พื้นเมืองใช้เวลา 3-4 เดือน หรือนานกว่านั้นเพื่อให้ได้น้ำหนักเฉลี่ยเพียง 1.2-1.5 กิโลกรัม ในขณะที่ไก่เนื้อทางการค้าโตเร็วกว่าไก่พื้นเมืองมาก โดยไก่เนื้อใช้เวลาเพียง 35-42 วัน ได้น้ำหนัก 2-2.5 กิโลกรัม ไก่เนื้อทางการค้าจะโตเร็วกว่าและมีอกใหญ่กว่าอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ไก่พื้นเมืองเน้นความแข็งแรงและเนื้อหนึบแน่น ซึ่งเป็นข้อจำกัดในด้านผลผลิตที่สำคัญของไก่พื้นเมือง (บัญญัติ, 2561) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางพันธุกรรมของไก่พื้นเมืองไทยให้มีอัตราการเจริญเติบที่ดี มีระยะเวลาส่งขายตลาดที่สั้นลง สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงมีการพัฒนาพันธุ์ไก่ไทยคือไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ เป็นไก่ที่ถูกพัฒนาสายพันธุ์โดยการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างไก่เนื้อพ่อพันธุ์ทางการค้า และแม่พันธุ์ไก่พื้นเมืองลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างไก่พ่อพันธุ์พื้นเมืองซี เคเคยู 12 กับแม่ไก่ไข่ทางการค้า ได้เป็นไก่ลูกผสม (ไก่ขาวค้ำคูณ) มีระดับเลือดไก่เนื้อทางการค้า 50% ไก่พื้นเมืองไทย 25% และไก่ไข่ทางการค้า 25% เมื่ออายุ 6 สัปดาห์ ได้น้ำหนัก 1.5 กิโลกรัม สามารถเลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิดและสามารถกินอาหารตามธรรมชาติได้ โดยลักษณะภายนอกของไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณเพศผู้ มีรูปร่างสูง สมส่วน ลำตัวลึก ใบหน้ากลมยาว ผิวเรียบ ปากขนาดปานกลาง ตาสีดำ ขอบตาเป็นรูปวงรีสีส้ม คิ้วนูนเรียบตามข้าง หงอนเป็นหงอนถั่วใหญ่ มีขนปิดหูสีขาว ตุ้มหูสีแดง จงอยปากสีเหลือง คอใหญ่ ขนสร้อยคอสีขาวหรือขาวอมเหลืองขึ้นเป็นระเบียบ ปีกยาวมีสีขาว ขนปกหาง สีขาว ปลายขนสีขาวอมเหลือง มีหางพัดและหางกระรวยสีขาว หางพัดเรียงกันเป็นแนวจากล่างขึ้นบน ตามลำดับ แข้งเรียว เกล็ดแข้งสีเหลือง นิ้วเรียวยาว เดือยแหลม สีขนพื้นตัว หน้าคอ หน้าท้อง ใต้ท้อง ใต้ ปีก เป็นสีขาวตลอด สร้อยปีก สร้อยหลัง มีสีขาวอมเหลือง และไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ เพศเมีย มีลักษณะเด่นคือเป็นไก่ที่มีอกกว้าง มีขนปกหูสีขาว ดวงตาสีดำ ขอบตาสีส้ม จงอยปากสีเหลือง หงอนถั่ว แข้งสีเหลืองหรือขาวอมเหลือง สร้อยคอและสร้อยหลังสีขาว ปีกสีขาว

การพัฒนาไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ ซึ่งถูกพัฒนาโดยคณาจารย์และนักวิจัย สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในด้านการเจริญเติบโต การเป็นอาหารสุขภาพ และความสามารถในการแข่งขันในอนาคต โดยไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณถูกพัฒนามาจากไก่พื้นเมืองไทย ที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์ให้มีความโดดเด่นด้านการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อที่ดี และมีระดับไขมันคอเลสเตอรอลต่ำกว่าไก่เนื้อเชิงการค้า มีค่าเฉลี่ย 12.40 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม (บัญญัติ, 2561) ด้านอุตสาหกรรมการผลิตไก่พื้นเมืองลูกผสมในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Jaturasitha et al., 2008) ดังนั้นไก่ขาวค้ำคูณ จึงมีโอกาสในการพัฒนาพันธุ์สู่การเลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสมในเชิงธุรกิจ เพื่อพัฒนาเป็นไก่พ่อแม่พันธุ์เพื่อผลิตไก่พื้นเมืองไทยลูกผสมในอนาคต มุ่งเน้นการพัฒนาลักษณะการเจริญเติบโตให้สูงขึ้น ดังนั้นการพัฒนาด้านการเจริญเติบโต ในไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณจึงมีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแข่งขันในระดับอุตสาหกรรมของไก่ขาวค้ำคูณสูงขึ้น สอดคล้องกับยุทธศาสตร์

ชาติในด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันและการเพิ่มผลิตภาพการผลิตทางการเกษตรทั้งเชิงปริมาณและมูลค่า (สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ, 2561)

ด้วยเหตุนี้การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ไก่ขาวค้ำคูณ ให้มีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นจำเป็นต้องมีความแม่นยำ การใช้ความรู้ด้านพันธุศาสตร์โมเลกุลเพื่อช่วยในการคัดเลือกจะทำให้การคัดเลือกมีความแม่นยำมากขึ้น (Dekkers, 2004) จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ยีนที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโต ประกอบด้วยยีน growth hormone (*GH*) ทำหน้าที่กระตุ้นให้สัตว์มีการเจริญเติบโตและมีความสำคัญต่อการสร้างกระดูก รวมทั้งการสะสมของไขมันในช่องท้องของไก่ (Yan et al., 2003) และยังพบว่ารูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Nie et al., 2005; Nguyen et al., 2005) ยีน insulin-like growth factors (*IGF-I*) มีบทบาทสำคัญ ต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อรวมไปถึงเซลล์กล้ามเนื้อ กระดูก และกระดูกอ่อน อีกทั้งยังพบว่าน้ำหนักไขมันในช่องท้องของไก่ยังได้รับอิทธิพลมาจากความแตกต่างของรูปแบบยีน *IGF-I* (Zhou et al., 2005) ในไก่สายพันธุ์สังเคราะห์มีรายงานพบรูปแบบของยีน *IGF-I* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแรกเกิดและน้ำหนักตัวที่อายุ 10 สัปดาห์ (Promwatee et al., 2013) ยีน prolactin ตำแหน่ง promoter -358 (*PRL*) เกิดจากการเพิ่มขึ้นของเบส 24 เบสบริเวณ promoter -358 มีผลต่อการทำงานของ prolactin ทำให้ไก่ชี และไก่เล็กฮอร์นขาวให้ผลผลิตไข่เพิ่มขึ้นในทางกลับกันกลับส่งผลต่อน้ำหนักตัวไก่ที่ลดลง (สุกัญญา และคณะ, 2555; Cui et al., 2005; Jiang et al., 2009) และ ยีน Vasoactive intestinal peptide receptor-1 (*VIPR-1*) พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนที่ควบคุมวงรอบการสืบพันธุ์ในไก่ ซึ่ง *VIPR-1* จะไปกระตุ้นการหลั่ง Prolactin ทำให้ไก่หยุดไข่ (Chaiseha et al., 2004) และพบว่ารูปแบบจีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* มีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตไข่และอายุแม่ไก่เมื่อให้ไข่ฟองแรกซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักตัวไก่ที่ลดลง (Zhou et al., 2008; Xu et al., 2011; Ngu et al., 2015) ดังนั้นการใช้ยีนเครื่องหมายทางพันธุกรรม (genetic marker) เข้ามาช่วยในการคัดเลือก เป็นการให้ความสำคัญกับอิทธิพลของยีนและการเข้าคู่กันของอัลลีลของยีนในแต่ละตำแหน่งที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อลักษณะที่สนใจและจะทำให้การคัดเลือกมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น (Li and Li, 2006)

ไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณเป็นไก่ที่พึ่งเริ่มต้นประกาศสายพันธุ์ จึงยังขาดข้อมูลการวิจัยทางด้านการเจริญเติบโตและการศึกษาทางด้านพันธุกรรมสัตว์ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษารูปแบบของยีน *cGH, IGF-I, VIPR-1* และ *PRL* ในไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ และศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบยีน *cGH* และ *IGF-I* กับลักษณะการเจริญเติบโต ยีน *VIPR-1* และ *PRL* ที่มีการทำงานควบคู่กับ *cGH* และ *IGF-I* ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตโดยอ้อมในไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ เพื่อค้นหา major gene สำหรับใช้เป็นเครื่องหมายทางพันธุกรรมในการคัดเลือกไก่พ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดีในอนาคต

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง

ไก่ขาวค้ำคูณ ทั้งหมด 511 ตัว เพศผู้ 222 ตัว เพศเมีย 289 ตัว เลี้ยงไก่ในโรงเรือนระบบเปิดขนาดคอกย่อย 1.5 × 3.0 เมตร เลี้ยง 6 ตัวต่อ 1 ตารางเมตร สถานที่เลี้ยง ฟาร์มสัตว์ปีก สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้อาหารไก่ไข่ทางการค้าตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ตั้งแต่อายุ 0-10 สัปดาห์ โดยไก่ขาวค้ำคูณ อายุ 0-4 สัปดาห์ ใช้อาหารไก่ไข่ระยะกกไก่มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 19% มีปริมาณพลังงาน 2,970 kcal ME/kg และเมื่ออายุ 5-10 สัปดาห์ ใช้อาหารไก่ไข่ระยะไก่รุ่น มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 15% มีปริมาณพลังงาน 2,900 kcal ME/kg เลี้ยงในพื้นที่โรงเรือนของฟาร์มสัตว์ปีก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ข้อมูลน้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักตัวที่ 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์,วัดความกว้างของหน้าอกจากไก่มีชีวิต โดยใช้เวอร์เนียร์มาตรฐาน 150 มิลลิเมตร และวัดรอบอกที่ 10 สัปดาห์ โดยใช้สายวัดตัวความยาว 150 เซนติเมตร วัดบริเวณรอบอกไก่เหนือกระดูกอก (keel bone) 3 เซนติเมตรในท่านอนหงาย, อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0-4, 0-6, 0-8, และ 0-10 สัปดาห์ ของไก่ค้ำคูณ จำนวน 511 ตัวอย่าง ทั้งประชากรของสัตว์ที่เลี้ยง

การเก็บตัวอย่างและสกัดดีเอ็นเอ

เก็บตัวอย่างเลือดที่เส้นเลือดดำบริเวณใต้ปีกของไก่พื้นเมืองลูกผสม จำนวน 511 ตัวอย่าง ทั้งประชากรของสัตว์ที่เลี้ยง เก็บตัวอย่างเลือดในหลอดทดลองขนาด 1.5 ml ที่มีสาร 0.5M EDTA ปริมาณ 100 µl เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นล้างเซลล์

ทั้งหมด ด้วย 0.9% NaCl เซลล์เม็ดเลือดที่ได้จะถูกนำไปสกัดดีเอ็นเอต่อไป ตามวิธีของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยดัดแปลงจาก Goodwin et al. (2007) มีขั้นตอนโดยสรุป คือ แบ่งตัวอย่างเลือดปริมาณ 30 µl ใส่หลอดทดลอง ขนาด 1.5 ml ล้างด้วยน้ำเกลือ 0.9% NaCl ปริมาตร 1,000 µl จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง 3,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เทส่วนที่เป็นของเหลวทิ้ง แล้วเติม 5M Guanidine HCl ปริมาตร 625 µl, 20% SDS ปริมาตร 70 µl, 7.5M Na-acetate ปริมาตร 50 µl และ 1% Proteinase K (1mg/ml) ปริมาตร 25 µl ผสมให้สารเข้ากันดี นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3-6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลาย ส่วนใสใส่หลอดใหม่ เติม absolute isopropanol ปริมาตร 600 µl กลับหลอดไปมา เพื่อให้สารเข้ากันดี นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบ/นาที นาน 5 นาที ล้างตะกอนดีเอ็นเอด้วย 75% Ethanol ปริมาตร 500 µl นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง (ล้างตะกอนดีเอ็นเอ ซ้ำอีกครั้ง) ผึ่งตะกอนดีเอ็นเอในหลอดทดลอง ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที จากนั้นเติม TE buffer ปริมาตร 20 µl นำไปอุ่นใน water bath หรือ heat block ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 3-6 ชั่วโมง เพื่อละลายตะกอนดีเอ็นเอ จากนั้นตรวจสอบความเข้มข้นและคุณภาพดีเอ็นเอด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Nano-Drop2000, Wilmington, Delaware USA)

การตรวจสอบรูปแบบจีโนไทป์ด้วยเทคนิค PCR-RFLP

ดีเอ็นเอที่สกัดได้ถูกนำไปเพิ่มชิ้นส่วนยีนโดยใช้เทคนิค polymerase chain reaction (PCR) นำ PCR Products ของยีน *cGH, IGF-I* และ *VIPR-1* จากการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน ดีเอ็นเอ จำนวน 1.5 µl ใส่ microtube ขนาด 0.6 ml จากนั้น นำไปตัดเอนไซม์โดยมีสารประกอบต่าง ๆ **Table 1** ในปฏิกิริยาการตัดเอนไซม์ ดังนี้ ในยีน *IGF-I* มีสารประกอบ คือ CutSmart buffer ปริมาตร 1 µl เอนไซม์ *Hinf*I ปริมาตร 0.3 µl เติม sterile water ปริมาตร 7.2 µl เพื่อให้ปริมาตรครบ 10 µl ยีน *VIPR-1* มีสารประกอบ คือ CutSmart buffer ปริมาตร 1 µl เอนไซม์ *Taq*I ปริมาตร 0.3 µl เติม sterile water ปริมาตร 7.2 µl เพื่อให้ปริมาตรครบ 10 µl

จากนั้นนำมาบ่มข้ามคืนที่อุณหภูมิ 37 °C ส่วนยีน *cGH* มีสารประกอบ คือ 3.1buffer ปริมาตร 1 µl เอนไซม์ *EcoR*V ปริมาตร 0.3 µl เติม sterile water ปริมาตร 7.2 µl เพื่อให้ปริมาตรครบ 10 µl ก่อนที่จะนำไปบ่มข้ามคืนที่อุณหภูมิ 37 °C หลังจากนั้นทำการตรวจสอบชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ได้จากการตัดเอนไซม์ตัดจำเพาะด้วย 2% Agarose gel ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 40 นาที จากนั้นนำแผ่นเจลที่ได้ไปย้อม ดีเอ็นเอ ด้วย Gel star (Gelstar INC.NY) ดูการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอ ภายใต้แสง UV ทำการบันทึกภาพการปรากฏของแถบ ดีเอ็นเอ, จำนวนรูปแบบยีน และตรวจสอบขนาดของดีเอ็นเอด้วยโปรแกรม Gene Tool (Lab focus, INC.)

การตรวจสอบรูปแบบยีนด้วยวิธี Allele Specific - Polymerase Chain Reaction (AS-PCR)

นำ PCR Products ของยีน *PRL* ที่ได้จากการเพิ่มชิ้นส่วนยีนด้วยเทคนิค PCR นำไปตรวจสอบชิ้นส่วนดีเอ็นเอด้วย 3% Agarose gel ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 40 นาที จากนั้นนำแผ่นเจลที่ได้ไปย้อมดีเอ็นเอด้วย Gel star (Gelstar INC.NY) ดูการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV ทำการบันทึกภาพการปรากฏของแถบดีเอ็นเอ, จำนวนรูปแบบยีนและตรวจสอบขนาดของดีเอ็นเอด้วยโปรแกรม Gene Tool

Table 1 PCR primers and PCR-RFLP conditions to detect genetic variation of *cGH*, *IGF-I*, *VIPR-1* and *PRL* gene

Gene/ enzyme	Sequence (5' to 3')	AT (°C)	PCR-RFLP size (bp)	PCR size (bp)	References
cGH/EcoRV	F: 5'TCCCAGGCTGCGTTTTGTTACTC3'	66	AA = 296, 133	429	Nie et al.,
	R: 5'ACGGGGGTGAGCCAGGACTG3'		AG = 429, 296, 133		(2005)
			GG = 429		
IGF-I/HinfI	F: 5'CATTGCGCAGGCTCTATCTG3'	60	AA = 378, 244, 191	813	Zhou et
	R: 5'TCAAGAGAAGCCCTTCAAGC3'		AC = 622, 378, 244, 191		al., (2005)
			CC = 622, 191		
VIPR-1/TaqI	F: 5'TTTAATATTGGTGGGTGAAGAGACA3'	62	TT = 295, 191	486	Xu et al.
	R: 5'ATGCCACTGATCCTCGAAAACTC3'		CT = 486, 191		(2011)
			CC = 486		
PRL	F: 5'TTTAATATTGGTGGGTGAAGAGACA3'	62	II = 154	130, 154	Cui et al.
	R: 5'ATGCCACTGATCCTCGAAAACTC3'		ID = 154, 130		(2006)
			DD = 130		

AT = annealing temperature.

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SAS V.6.02 (SAS, 1998) เนื่องจากข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลจากฟาร์ม (field data) จึงต้องตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูลน้ำหนักตัวไก่ที่ 0, 4, 6, 8, และ 10 สัปดาห์, ความกว้างอก และรอบอกไก่ที่อายุ 10 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 0-4, 0-6, 0-8, และ 0-10 สัปดาห์ หากมีข้อมูลกระจายตัวที่ผิดปกติพิจารณาตัดข้อมูลออกก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูลที่จะถูกคัดทิ้งที่ SD ± 2 ตัดข้อมูลที่บันทึกออก 4.6% ในขั้นตอนต่อไปด้วยคำสั่ง Proc Univariate จากนั้นจึงจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความถี่จีโนไทป์และความถี่อัลลีล โดยใช้คำสั่ง Proc Frequency หากความถี่ของรูปแบบจีโนไทป์ไม่ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ของฝูงถูกตัดออกจากการศึกษา

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ต่อลักษณะทางการสืบพันธุ์ โดยใช้ Proc GLM เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบของยีน ต่อน้ำหนักตัวไก่ที่ 0, 4, 6, 8, และ 10 สัปดาห์, ความกว้างอก และรอบอกไก่ที่อายุ 10 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 0-4, 0-6, 0-8, และ 0-10 สัปดาห์ ในไก่ขาวค้ำคูณ โดยใช้โปรแกรม SAS V.6.02 (SAS, 1998)

มีหุ่นจำลองทางสถิติคือ $y_{ijk} = \mu + Sex_i + G_j + e_{ijk}$ เมื่อ y_{ij} = ค่าสังเกต (น้ำหนักตัวไก่ที่อายุ 0, 4, 6, 8, และ 10 สัปดาห์, ความกว้างอก และรอบอกไก่ที่อายุ 10 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 0-4, 0-6, 0-8, และ 0-10 สัปดาห์), μ = overall mean, Sex_i = อิทธิพลเนื่องจากเพศในไก่ขาวค้ำคูณชั่วรุ่นที่ 5 และ 6, G_j = อิทธิพลของจีโนไทป์ของยีน *cGH*, *IGF-I*, *VIPR-1* และ *PRL* ในไก่ขาวค้ำคูณชั่วรุ่นที่ 5 และ 6, e_{ijk} = ความคลาดเคลื่อน

ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเจริญเติบโต

จากการศึกษาพบว่าไก่ขาวค้ำคูณ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (body weight: BW), อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain: ADG) ความกว้างหน้าอก (breast width: BrW) และ ขนาดรอบอก (breast circumference: BrC) ดังแสดงใน **(Table 2)**

Table 2 Descriptive statistics of data used in gene association study in Khaw Khum Koon chicken

Traits	Male (N=222)				Female (N=289)			
	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
BW0 (g)	39.30	4.27	25	50	37.97	4.66	23	50
BW4 (g)	421.88	74.96	220	690	367.33	72.47	134	610
BW6 (g)	915.49	119.47	639	1,126	760.11	112.80	426	1,040
BW8 (g)	1,537.40	173.19	1,100	1,891	1,241.79	150.24	856	1,646
BW10 (g)	1,980.99	236.69	1,300	2,650	1,641.42	183.91	1060	2,200
BrW (cm)	7.33	0.68	5.40	9.10	7.04	0.60	5.20	8.90
BrC (cm)	29.21	2.39	12.00	36.00	27.87	1.79	22.80	33.70
ADG0-4 (g/d)	13.67	2.64	6.54	22.86	11.75	2.56	3.46	20.07
ADG0-6 (g/d)	20.96	2.84	14.40	26.00	17.25	2.69	9.26	24.00
ADG0-8 (g/d)	26.83	3.10	19.11	33.14	21.54	2.68	14.66	28.82
ADG0-10 (g/d)	27.73	3.37	18.04	37.24	22.90	2.63	14.57	30.79

BW0, 4, 6, 8, and 10 are Birth weight, body weight at 0, 4, 6, 8 and 10 weeks respectively, ADG, average daily gain (during 0 to 4, 0 to 6, 0 to 8 and 0 to 10 weeks of age); BrW, Breast width at 10 weeks of age; BrC, Breast circumference at 10 weeks of age)

อิทธิพลเนื่องจากเพศ ที่มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ขาวค้ำคูณ

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเพศต่อน้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักตัวที่อายุ 4, 6, 8, และ 10 สัปดาห์ ความกว้างอก ขนาดรอบอก และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันในไก่ขาวค้ำคูณ **(Table 3)** โดยเพศผู้จะมีน้ำหนักตัวที่อายุตั้งแต่ 4 สัปดาห์ขึ้นไปจะมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในไก่ขาวค้ำคูณ สอดคล้องกับการศึกษาของ Bekele et al. (2010) พบว่าน้ำหนักตัวไก่เพศผู้ในไก่ลูกผสม 2 สายพันธุ์ คือ Fayoumi (F) x Naked neck (N) และ Rhode Island Red (R) x Local Netch (W) สูงกว่าในไก่เพศเมีย เมื่ออายุได้ 4 สัปดาห์ขึ้นไป เช่นเดียวกับการรายงานของ Lopez et al. (2011) พบว่าไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้าลูกผสมเพศผู้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าเพศเมีย ซึ่งในไก่ลูกผสมที่มีระดับเลือดไก่พื้นเมือง 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเพศมีอิทธิพลต่อน้ำหนักตัวไก่เช่นเดียวกัน (ทองสา และคณะ, 2557) แสดงให้เห็นว่าหากการต้องการจัดการเลี้ยงเพื่อให้มีความสม่ำเสมอของฝูงควรเลี้ยงแบบแยกเพศโดยควรแยกเมื่อลูกไก่อายุ 4 สัปดาห์ขึ้นไป

Table 3 Effect of sex on growth performance in Khaw Khum Koon chickens

Traits	Male (N=222)	Female (N=289)	P-value
BW0 (g)	35.06 ± 1.06	35.91 ± 0.88	0.238
BW4 (g)	407.85 ± 13.97[a]	370.12 ± 11.63[b]	<.0001
BW6 (g)	1,000.37 ± 27.18[a]	847.52 ± 22.62[b]	<.0001
BW8 (g)	1,646.55 ± 38.17[a]	1,351.46 ± 31.78[b]	<.0001
BW10 (g)	2,192.05 ± 43.20[a]	1,747.77 ± 35.96[b]	<.0001
BrW (cm)	8.12 ± 0.13[a]	7.45 ± 0.10[b]	<.0001
BrC (cm)	30.69 ± 0.44[a]	28.27 ± 0.36[b]	<.0001
ADG0-4 (g/day)	13.31 ± 0.50[a]	11.93 ± 0.41[b]	<.0001
ADG0-6 (g/day)	22.98 ± 0.65[a]	19.32 ± 0.54[b]	<.0001
ADG0-8 (g/day)	28.77 ± 0.68[a]	23.49 ± 0.57[b]	<.0001
ADG0-10 (g/day)	29.43 ± 0.77[a]	23.00 ± 0.64[b]	<.0001

BW0, 4, 6, 8, and 10 are Birth weight, body weight at 0, 4, 6, 8 and 10 weeks respectively, ADG, average daily gain (during 0 to 4, 0 to 6, 0 to 8, 0 to 10, 4 to 10, 6 to 10 and 8 to 10 weeks of age); BrW, Breast width at 10 weeks of age; BrC, Breast circumference at 10 weeks of age,). [a,b]means within a row with no common superscript are different significantly (P<0.05), N= number of sample

ความถี่จีโนไทป์และความถี่อัลลีลของยีน *cGH*, *IGF-I*, *VIPR-1* และ *PRL*

ผลการวิเคราะห์ความถี่จีโนไทป์ของยีน *cGH* ที่มีตำแหน่ง SNP ใน Chr.27(G>A +1705 Intron3) ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Figure 1)** พบว่าความถี่จีโนไทป์ AA, AG และ GG เท่ากับ 0.094, 0.528 และ 0.378 ตามลำดับ ความถี่อัลลีล A เท่ากับ 0.358 และ ความถี่อัลลีล G เท่ากับ 0.642 **(Table 4)** โดยอัลลีล G พบความถี่ในไก่ขาวค้ำคูณ 64 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามมีการรายงานพบอัลลีล G มีความถี่สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในไก่เล็กฮอร์นขาว และโรดไอร์แลนด์แดงที่เน้นให้ผลผลิตไข่ (นิกร และคณะ, 2560) ทั้งนี้จะเห็นว่าอัลลีล G มีโอกาสพบในไก่กลุ่มเน้นให้ผลผลิตไข่

ความถี่จีโนไทป์ของยีน *IGF-I* มีตำแหน่ง SNP ของ Chr.1 (A>C 5'UTR) ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Figure 2)** พบว่าความถี่จีโนไทป์ AA, AC และ CC เท่ากับ 0.235, 0.485 และ 0.280 ตามลำดับ ความถี่อัลลีล A เท่ากับ 0.477 และความถี่อัลลีล C เท่ากับ 0.523 **(Table 4)** โดยสัดส่วน อัลลีล C สูงกว่าอัลลีล A มีความสอดคล้องกับการศึกษาในไก่ไข่เล็กฮอร์นขาว และไก่ไข่โรดไอแลนด์เรด พบว่าความถี่อัลลีล C ของยีน *IGF-I* สูงในกลุ่มไก่พันธุ์ไข่ (นิกร และคณะ, 2560) รายงานการศึกษาความถี่ยีน *IGF-I* ในไก่เนื้อไทย (ที่มีระดับสายเลือดไก่เนื้อทางการค้า 50 เปอร์เซ็นต์ ไก่พื้นเมืองไทย 25 เปอร์เซ็นต์ และไก่สายแม่พันธุ์ทางการค้า 25 เปอร์เซ็นต์) พบอัลลีล A มีความถี่สูงกว่าอัลลีล C (Nguyen et al., 2015) ข้อมูลในเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าความถี่อัลลีล A พบได้ในกลุ่มไก่เน้นผลผลิตเนื้อ และอัลลีล C มีโอกาสตรวจพบในกลุ่มไก่ที่เน้นให้ผลผลิตไข่

ความถี่จีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* ที่มีตำแหน่ง SNP ของ Chr. 2 (C1715301T) ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Figure 3)** พบความถี่จีโนไทป์ TT, CT และ CC เท่ากับ 0.229, 0.148 และ 0.623 ตามลำดับ ความถี่อัลลีล T เท่ากับ 0.697 และความถี่อัลลีล C เท่ากับ 0.303 **(Table 4)** โดยพบว่าอัลลีล T มีความถี่สูงกว่าอัลลีล C ในไก่ขาวค้ำคูณ ซึ่งพบความถี่อัลลีล T สูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการ

รายงานความถี่อัลลีล T สูงในกลุ่มไก่ไข่พันธุ์ไวท์เล็กฮอร์น (ศรีนวล และคณะ, 2555) ในขณะที่ความถี่อัลลีล C พบมีความถี่สูงในกลุ่มไก่พื้นเมืองไก่ชีเคเคยู12 และไก่ประดู่หางดำเคเคยู 50 (ศรีนวล และคณะ, 2555) เช่นเดียวกับการศึกษาในไก่พื้นเมืองลูกผสม พบความถี่อัลลีล C สูงกว่าอัลลีล T (อนุวัฒน์ และสจี, 2565) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัลลีล C มีโอกาสพบได้ในกลุ่มไก่เน้นผลผลิตเนื้อ และอัลลีล T มีโอกาสตรวจพบในกลุ่มไก่ที่เน้นให้ผลผลิตไข่

ความถี่จีโนไทป์ของยีน *PRL* ที่มีตำแหน่ง SNP ของ Chr. 2 (Promoter -358) ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Figure 4)** พบความถี่จีโนไทป์ II, ID และ DD เท่ากับ 0.008, 0.104 และ 0.888 ตามลำดับ ความถี่อัลลีล I และ D เท่ากับ 0.060 และ 0.940 ตามลำดับ พบว่าอัลลีล D มีความถี่สูงกว่าอัลลีล I โดยที่อัลลีล D พบมากในไก่ขาวค้ำคูณ สูงถึง 94 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับในไก่ประเทศจีน ได้แก่ ไก่ Yangshan, Taihe Silkies, White Rock, Nongdahe และ Taihe Silkies พบว่าอัลลีล D มีความถี่มากกว่า อัลลีล I แต่รายงานในไก่ไวท์เล็กฮอร์นจะพบเฉพาะอัลลีล I เท่านั้น (Cui et al., 2006) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการพบอัลลีล D มีความถี่สูงกว่า อัลลีล I ในไก่ประดูหางดำเคเคยู50 และ ไก่ชีเคเคยู12 (สุกัญญา และคณะ, 2555) แสดงให้เห็นว่า อัลลีล D จะพบได้ในกลุ่มไก่พื้นเมืองและไก่ลูกผสมที่เน้นให้ผลผลิตเนื้อ และอัลลีล I มีโอกาสตรวจพบในกลุ่มไก่ที่เน้นให้ผลผลิตไข่

ผลการตรวจสอบสมดุลความถี่ของยีนในประชากรไก่ขาวค้ำคูณ ด้วยวิธี Chi-square test **(Table 4)** พบว่ายีน *PRL* และ *IGF-I* อยู่ในภาวะสมดุลตามกฎของ Hardy-Weinberg แต่ผลการตรวจสอบยีน *cGH* และ *VIPR-1* พบความถี่ยีนไม่อยู่ในสมดุลตามกฎของ Hardy-Weinberg ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่าการคัดเลือกลักษณะด้านเจริญเติบโต ลักษณะการให้ไข่ ที่เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมหลายยีน (poly gene) ดังนั้นความถี่ของยีน *cGH* และ *VIPR-1* จึงอาจได้รับผลกระทบ ส่งผลให้ความถี่ยีนไม่อยู่ในสมดุลตามกฎของ Hardy-Weinberg การผสมพันธุ์ภายในฝูงมีการผสมแบบ inter se เพื่อรักษาความดั้งเดิมของสายพันธุ์ และขนาดของประชากรมีขนาดเล็กอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความถี่ยีน *cGH* และ *VIPR-1* ไม่อยู่ในสมดุลตามกฎ Hardy-Weinberg (นิกร และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตามการคัดเลือกลักษณะดังกล่าวและการผสมพันธุ์แบบ inter se ไม่มีผลกระทบต่อความถี่ยีน *PRL* และ *IGF-I* ในไก่ขาวค้ำคูณ

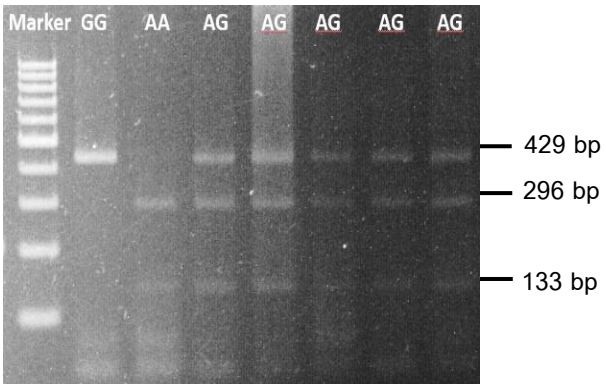


Figure 1. RFLP patterns of *cGH/EcoRV*

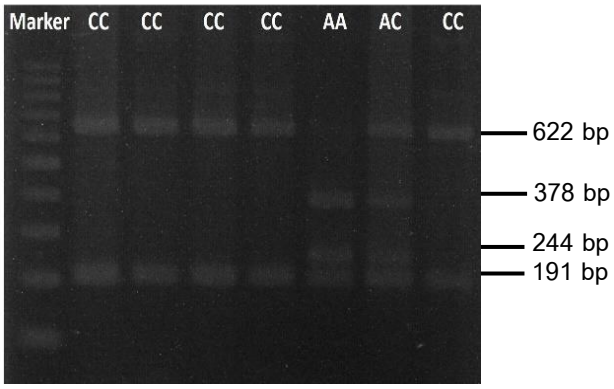


Figure 2. RFLP patterns of *IGF-I/Hinf*I

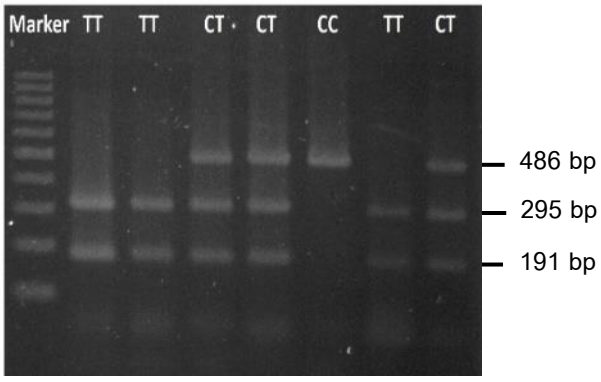


Figure 3. RFLP patterns of *VIPR-1/ Taq*I

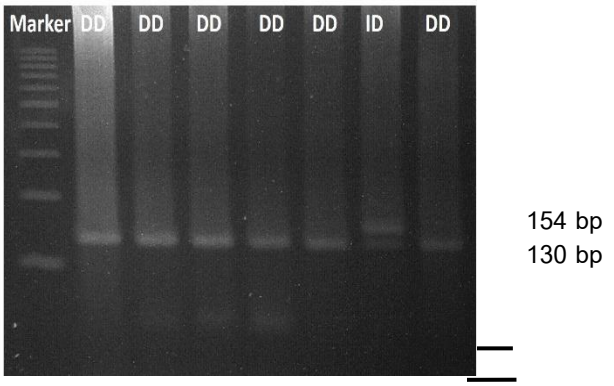


Figure 4. PCR patterns of *PRL*

Table 4 Allele and genotype frequencies of *cGH, IGF-I, VIPR-1* and *PRL* in Khaw Khum Koon chicken

Gene	N	Genotype	Allele	Frequency		$X^2_{(1,0.05)}$ = 3.841
				Genotype	Allele	
cGH/EcoRV	510	AA	A	0.094 (48)	0.358	11.118
Chr.27 (G>A +1705 Intron3)		AG	G	0.528 (269)	0.642	
		GG		0.378 (193)		
IGF-I/HinfI	503	AA	A	0.235 (118)	0.477	0.389
Chr.1 (A>C 5'UTR)		AC	C	0.485 (244)	0.523	
		CC		0.280 (141)		
VIPR-1/TaqI	499	CC	C	0.229 (114)	0.303	209.641
Chr. 2 (C1715301T)		CT	T	0.148 (74)	0.697	
		TT		0.623 (311)		
PRL	511	II	I	0.008 (4)	0.060	2.924
Chr. 2 (Promoter -358)		ID	D	0.104 (53)	0.940	
		DD		0.888 (454)		

ความสัมพันธ์ของยีน *cGH, IGF-I, VIPR-1* และ *PRL* กับค่าสังเกตลักษณะการเจริญเติบโตในไก่พันธุ์ขาวค้ำคูณ

ผลการวิเคราะห์รูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* ที่มีตำแหน่ง SNP ใน Chr.27 (G>A +1705 Intron3) ในกลุ่มไก่ขาวค้ำคูณพบความสัมพันธ์ ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* กับลักษณะน้ำหนักตัวของลูกไก่แรกเกิดในไก่ขาวค้ำคูณ **(Table 5)** โดยพบว่าไก่ขาวค้ำคูณ ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AA มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแรกเกิดในไก่ขาวค้ำคูณสูงที่สุด เท่ากับ 39.51 ± 0.85 กรัม มากกว่ารูปแบบจีโนไทป์ GG เท่ากับ 37.90 ± 0.71 กรัม แต่ไม่แตกจากรูปบบจีโนไทป์ GG ที่มีค่าเท่ากับ 39.02 ± 0.69 กรัม ตามลำดับ และพบว่าที่อายุ 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์ ในไก่ขาวค้ำคูณ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ AA, AG และ GG ของยีน *cGH* อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาในไก่เนื้อทางการค้าว่าไก่ที่น้ำหนักแรกเกิดสูงจะมีอิทธิพลต่อน้ำหนักไก่ที่สูงกว่าเมื่อไก่อายุ 43 วัน (Patbandha et al., 2017) รวมถึงการคัดเลือกลูกไก่ให้มีน้ำหนักสูงขึ้นจะทำให้ลูกไก่มีอัตราการรอดชีวิตที่สูงขึ้นอีกด้วย (Tarachai, 2017) และจากการศึกษาของ Nie et al. (2005) พบรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวไก่ รวมถึงการศึกษาในไก่เนื้อไทย พบความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวที่อายุ 2 สัปดาห์แสดงให้เห็นความหลากหลายของยีน *cGH* และอิทธิพลของยีนมีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ อย่างไรก็ตาม ยีน *cGH* มักมีบทบาทสูงในช่วงการเจริญเติบโตเริ่มแรก (Early growth phase) เมื่อไก่อายุมากขึ้น 8-10 สัปดาห์ กลไกการควบคุมการเจริญเติบโตอาจเปลี่ยนไปใช้ระบบอื่น เช่น Insulin-like Growth Factors (IGF) หรือฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่ออื่นๆ มากขึ้น ทำให้ความแตกต่างของยีน *cGH* เริ่มจางลง (อนุวัฒน์ และสจี, 2565) ทั้งนี้ ยีน *cGH* ถือว่าเป็นยีนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต รวมไปถึงเมทาบอลิซึมของร่างกาย เนื่องจากยีน *cGH* มีผลโดยตรงต่อเซลล์เป้าหมายในกระบวนการผลิตฮอร์โมน GH ซึ่งฮอร์โมน GH จะส่งสัญญาณทำงานไปยังเซลล์เป้าหมายตัวรับสัญญาณหลายชนิด ที่เรียกว่า Growth hormone receptor (GHR) เช่น ตับ เนื้อเยื่อในระบบน้ำเหลือง เซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ไฟโบรบลาสท์ และกระดูกอ่อน ทำให้เซลล์เหล่านี้เกิดการเจริญเติบโต (พรทิวา, 2559)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ ของยีน *IGF-I* ที่มีตำแหน่ง SNP ใน Chr.1 (A>C 5'UTR) พบว่าไก่ขาวค้ำคูณ ที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AC มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวที่อายุ 10 สัปดาห์ ขนาดรอบอกที่อายุ 10 สัปดาห์ และ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 0-10 สัปดาห์ สูงที่สุด เท่ากับ 1,843.46 ± 40.02 กรัม, 28.93 ± 0.42 เซนติเมตร และ 25.62 ± 0.34 กรัม/วัน ตามลำดับ

รูปแบบจีโนไทป์ AA ของยีน *IGF-I* มีค่าเท่ากับ 1,814.42 ± 44.26 กรัม, 28.93 ± 0.42 เซนติเมตร และ 25.28 ± 0.42 กรัม/วัน จีโนไทป์ CC ของยีน *IGF-I* มีค่าเท่ากับ 1,748.52 ± 43.17 กรัม, 28.31 ± 0.46 เซนติเมตร และ 24.32 ± 0.38 กรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยความโดดเด่นของไก่ที่มีจีโนไทป์ AC นี้ อาจมีผลมาจากอิทธิพลของ Heterotic effect ที่ยีนมีสภาพของจีโนไทป์เป็นแบบ heterozygous (Falconer, 1967) จะส่งเสริมให้ลูกมีลักษณะดีเด่นกว่าพ่อแม่ ซึ่งผลการทดลองมีทิศทางเช่นเดียวกับการรายงานของ Promwatee et al. (2013) พบความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ไทยสร้อยนิล พบว่ารูปแบบจีโนไทป์ AC มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักไก่ที่อายุ 8, 12 และ 16 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และขนาดรอบอกที่อายุ 10 สัปดาห์ และเช่นเดียวกันกับการศึกษาในไก่ลูกผสมไก่เนื้อทางการค้า กับไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์น และลูกผสมไก่เนื้อทางการค้า กับไก่ฟายูมิ พบว่ารูปแบบจีโนไทป์ AA ของยีน *IGF-I* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่อายุ 8 สัปดาห์ และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันที่อายุ 6-8 สัปดาห์ (Zhou et al., 2005) และเนื่องด้วยอิทธิพลของฮอร์โมน IGF-I มีผลต่อการพัฒนากล้ามเนื้อโครงร่างทั้งก่อนและหลังคลอดของสัตว์ (Saxena et al., 2009) จึงมีความเป็นไปได้ว่าความผันแปรของยีน *IGF-I* อาจจะส่งผลการแสดงออกของระดับฮอร์โมน IGF-I และส่งผลต่อเนื่องถึงการเจริญเติบโตได้ด้วยการมีปริมาณฮอร์โมนที่มากขึ้นหรือลดลง (Zhou et al., 2005)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบยีน *PRL* ที่มีตำแหน่ง SNP ใน Chr. 2 (Promoter -358) ต่อลักษณะการเจริญเติบโตในไก่ขาวค้ำคูณ พบว่าจีโนไทป์ II ของยีน *PRL* ในไก่ขาวค้ำคูณต่ำมาก จึงไม่นำรูปแบบจีโนไทป์ II เข้ามาร่วมมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโต และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *PRL* พบความความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *PRL* กับลักษณะน้ำหนักตัวไก่ที่อายุ 6 และ 8 สัปดาห์, อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่อายุ 0-6 และ 0-8 สัปดาห์ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Table 5)** โดยพบว่ารูปแบบจีโนไทป์ ID มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวที่อายุ 6 และ 8 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ช่วงอายุ 0-6 และ 0-8 สัปดาห์ สูงกว่ารูปแบบจีโนไทป์ DD แสดงให้เห็นว่าการนำรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *PRL* มาศึกษาเพื่อเป็นเครื่องหมายช่วยในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ไก่ขาวค้ำคูณ อาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากมีความหลากหลายของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *PRL* บางรูปแบบที่ต่ำมาก

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* ที่มีตำแหน่ง SNP ใน Chr. 2 (C1715301T) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *VIPR-1* กับน้ำหนักเมื่อลูกไก่อายุ 0, 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์ ขนาดรอบอก และความกว้างอก ที่อายุ 10 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ที่อายุ 0-4, 0-6, 0-8, 0-10 สัปดาห์ ในไก่ขาวค้ำคูณ **(Table 6)**

Table 5 Association between polymorphisms of *cGH, IGF-I, VIPR-1* and *PRL* with body weight, breast width and breast circumference in Khaw Khum Koon chicken

Genes	Genotype	N	Body weight					BrW	BrC
			0	4	6	8	10		
cGH/EcoRV	AA	48	39.51 ± 0.85[a]	395.06 ± 25.26	944.81 ± 49.94	1,562.73 ± 69.88	1,812.84 ± 48.96	7.25 ± 0.66	28.84 ± 0.52
	AG	269	39.02 ± 0.69[ab]	379.21 ± 12.52	920.48 ± 41.33	1,521.23 ± 57.84	1,785.83 ± 40.17	7.46 ± 0.54	28.51 ± 0.42
	GG	193	37.90 ± 0.71[c]	373.07 ± 12.76	910.97 ± 42.41	1,520.39 ± 59.35	1,807.74 ± 40.89	7.14 ± 0.55	28.19 ± 0.43
	P-value		0.003	0.133	0.515	0.576	0.487	0.519	0.159
IGF-1/HinfI	AA	118	38.16 ± 0.77	382.72 ± 13.79	926.72 ± 45.58	1,554.77 ± 63.79	1,814.42 ± 44.26[b]	7.12 ± 0.60	28.31 ± 0.47[a]
	AC	244	39.21 ± 0.69	386.82 ± 12.47	94732 ± 41.79	1,550.79 ± 58.49	1,843.46 ± 40.02[ab]	7.25 ± 0.54	28.93 ± 0.42[b]
	CC	141	39.05 ± 0.75	377.80 ± 13.45	902.22 ± 43.92	1,498.79 ± 61.47	1,748.52 ± 43.17[c]	7.47 ± 0.59	28.31 ± 0.46[ac]
	P-value		0.070	0.433	0.068	0.083	0.0001	0.619	0.013
VIPR-1/TaqI	TT	311	38.65 ± 0.69	376.34 ± 12.48	915.37 ± 41.17	1,514.17 ± 57.62	1,796.32 ± 40.04	7.40 ± 0.54	28.42 ± 0.42
	CT	74	38.85 ± 0.74	392.16 ± 13.29	939.86 ± 44.16	1,550.09 ± 61.80	1,810.35 ± 42.65	7.25 ± 0.58	28.66 ± 0.45
	CC	114	38.91 ± 0.80	378.83 ± 14.38	921.02 ± 49.0	1,540.10 ± 68.66	1,799.73 ± 46.09	7.20 ± 0.63	28.46 ± 0.49
	P-value		0.813	0.111	0.438	0.368	0.845	0.815	0.661
PRL	ID	53	38.28 ± 0.69	382.90 ± 12.19	966.71 ± 40.32[a]	1,537.79 ± 56.86[a]	1,722.99 ± 38.88	7.12 ± 0.54	28.41 ± 0.41
	DD	454	38.21 ± 0.43	378.91 ± 7.61	825.41 ± 16.48[b]	1,388.15 ± 23.25[b]	1,776.51 ± 24.24	7.23 ± 0.33	28.33 ± 0.26
	P-value		0.898	0.690	0.0003	0.006	0.094	0.810	0.802

(least squares means ± SE)

cGH, chicken growth hormone gene; IGF-I, insulin-like growth factor-I gene; VIPR-1, Vasoactive intestinal peptide receptor-1 gene; PRL, Prolactin gene; BW, body weight (at hatching 0, 4, 6, 8 and 10 weeks of age); BrW, Breast width at 10 weeks of age; BrC, Breast circumference at 10 weeks of age.

[a,b,c] means within a row with no common superscript are different significantly (P<0.05), N = number of sample

Table 6 Association between variation of *cGH, IGF-I, VIPR-1*and *PRL* with average daily gain in Khaw Khum Koon chicken (least squares means ± SE)

Genes	Genotype	N	Average daily gain (g)			
			0-4	0-6	0-8	0-10
cGH/EcoRV	AA	48	12.83 ± 0.40	21.60 ± 0.82	26.62 ± 0.86	25.26 ± 0.51
	AG	269	12.27 ± 0.25	21.03 ± 0.57	25.88 ± 0.60	24.83 ± 0.32
	GG	193	12.06 ± 0.27	20.85 ± 0.57	25.90 ± 0.59	25.12 ± 0.35
	P-value		0.152	0.575	0.596	0.492
IGF-1/HinfI	AA	118	12.42 ± 0.32	21.20 ± 0.67	26.50 ± 0.70	25.28 ± 0.42^{a}
	AC	244	12.53 ± 0.27	21.66 ± 0.61	26.41 ± 0.64	25.62 ± 0.34^{ab}
	CC	141	12.22 ± 0.30	20.61 ± 0.61	25.49 ± 0.63	24.32 ± 0.38^{c}
	P-value		0.456	0.074	0.086	0.0003
VIPR-1/TaqI	TT	311	12.18 ± 0.24	20.93 ± 0.56	25.78 ± 0.58	24.97 ± 0.31
	CT	74	12.73 ± 0.32	21.52 ± 0.63	26.42 ± 0.66	25.20 ± 0.40
	CC	114	12.25 ± 0.35	21.02 ± 0.80	26.21 ± 0.84	25.04 ± 0.45
	P-value		0.122	0.428	0.369	0.801
PRL	ID	53	12.47 ± 0.39	22.90 ± 0.97^{a}	27.52 ± 1.02^{a}	24.75 ± 0.50
	DD	454	12.31 ± 0.18	19.42 ± 0.37^{b}	24.75 ± 0.39^{b}	25.39 ± 0.23
	P-value		0.671	0.0004	0.006	0.158

cGH, chicken growth hormone gene; *IGF-I,* insulin-like growth factor-I gene; *VIPR-1*, Vasoactive intestinal peptide receptor-1 gene; *PRL,* Prolactin gene; ADG, average daily gain (during 0 to 4, 0 to 6, 0 to 8 and 0 to 10 weeks of age) ^{a,b,c} means within a colume with no common superscript are different significantly (P<0.05), N= number of sample.

สรุป

การศึกษาครั้งนี้พบความหลากหลายรูปแบบของยีน *cGH*, *IGF-I และ VIPR-I* แต่พบว่ายีน *PRL* ที่มีการตรวจสอบด้วยเทคนิค AS-PCR พบว่า มีความหลากหลายทางพันธุกรรมต่ำในไก่ขาวค้ำคูณ และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของยีน *cGH* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแรกเกิดในไก่ขาวค้ำคูณ ยีน *IGF-I* มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่ 10 สัปดาห์, ขนาดรอบอกที่ 10 สัปดาห์ และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 10 สัปดาห์ ในไก่ขาวค้ำคูณ ในขณะที่ยีน *PRL* พบความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่ 6 และ 8 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ 0-6 และ 0-8 สัปดาห์ แต่ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ ของยีน *VIPR-1* กับลักษณะน้ำหนักตัวและการเจริญเติบโตในกลุ่มไก่ขาวค้ำคูณ ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าหากพิจารณาโอกาสในการพัฒนาเครื่องหมายพันธุกรรมช่วยในการคัดเลือก จะเห็นว่ารูปแบบของยีน *cGH* และ *IGF-I* น่าจะมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องหมายพันธุกรรมช่วยในการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงลักษณะน้ำหนักตัวในไก่ขาวค้ำคูณได้ต่อไป

คำขอบคุณ

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจาก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น การสนับสนุนสถานที่ในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณคุณ ทองสา บัวสุข ที่ให้คำชี้แนะในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอณูพันธุศาสตร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นอย่างสูงและขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาที่ให้กำลังใจและช่วยเหลืองานครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

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

นิกร ปรีชา, รังสรรค์ เจริญสุข, ทศพร อินเจริญ, สนธยา นุ่มท้วม, นิทัศน์ วิชาสิทธิ์ และธิติมา เพ็ชรคง. 2560. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีน cGH, MC5R, IGFBP2 และ IGF-1 และความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโตในไก่เล็กฮอร์นขาวและโรดไอร์แลนด์แดง. แก่นเกษตร. 45: 783-789.

บัญญัติ เหล่าไพบูลย์. 2561. “ไก่ไร้เก๊าท์” ผลงานวิจัย ม.ขอนแก่น ยกระดับขึ้นพรีเมี่ยมฟูด กินแล้วไม่เป็นเก๊าท์. แหล่งข้อมูล: https://www.77kaoded.com/content/70412. ค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2568.

พรทิวา แก้วนาเคียน. 2559. การแสดงออกของยีน Growth hormone และยีน Insulin-like growth factor-I และการเกิด Heterotic effect ของลักษณะการเจริญเติบโตในไก่โคราช. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศรีนวล คณานิตย์, มนต์ชัย ดวงจินดา, บัญญัติ เหล่าไพบูลย์, และ ปรัชญาพร เอกบุตร. 2553. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีน Vasoactive Intestinal Peptide Receptor-1 (VIPR-1) ในไก่ชี ไก่ประดู่ และไก่เล็กฮอร์น. แก่นเกษตร. 38: 85-89.

สุกัญญา เจริญศิลป์, มนต์ชัย ดวงจินดา, สุภร กตเวทิน และพรรณวดี โสพรรณรัตน์. 2555. การตรวจหาเครื่องหมายพันธุกรรมที่สัมพันธ์กับลักษณะการให้ผลผลิตไข่ ในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ประดู่หางดำและพันธุ์ชี. แก่นเกษตร. 40: 257-268.

สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ, สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2561. ยุทธศาสตร์ชาติ. แหล่งข้อมูล: https://www.nesdb.go.th/download/document/SAC/NS_SumPlanOct2018.pdf. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2568.

อนุวัฒน์ จันดามุก. 2563. การศึกษาเครื่องหมายพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ในพ่อแม่พันธุ์ไก่ไข่มุกอีสาน 2. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อนุวัฒน์ จันดามุก และสจี กัณหาเรียง. 2565. ผลของรูปแบบยีน *cGH, IGF-I, VIPR-1* และ *PRL* ต่อลักษณะการสืบพันธุ์และการให้ผลผลิตไข่ในไก่พื้นเมืองลูกผสม. แก่นเกษตร. 50: 481-492.

Bekele, F., T. Ådnoy, H. M. Gjoen, J. Kathle, and G. Abebe. 2010. Production performance of dual purpose crosses of two indigenous with two exotic chicken breeds in sub-tropical environment. International Journal of Poultry Science. 9: 702-710.

Chaiseha, Y., O. M. Youngren, and M. E. El Halawani. 2004. Expression of vasoactive intestinal peptide receptor messenger RNA in the hypothalamus and pituitary throughout the turkey reproductive cycle. Biology of Reproduction. 70: 593-599.

Cui, J. X., H. L. Du, Y. Liang, X. M. Deng, N. Li, and X. Q. Zhang. 2006. Association of polymorphism in the promoter region of chicken prolactin with egg production. Journal of Poultry Science. 85: 26-31.

Dekkers, J. C. M. 2004. Commercial application of marker-and gene-assisted selection in livestock: Strategies and lessons. Journal of Animal Science. 82: E313-E328.

Falconer, D. S. 1967. Introduction to Quantitative Genetics. New York: Ronald Press.

Goodwin, W., L. Adrian, and H. Sibte. 2007. An Introduction to Forensic Genetics. John Wiley and Sons Ltd, Oxford.

Jaturasitha, S., T. Srikanchai, M. Kreuzer, and M. Wicke. 2008. Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island Red). Journal of Poultry Science. 87: 160-169.

Jiang, R. S., L. L. Zhang, Z. Y. Geng, T. Yang, and S. S. Zhang. 2009. Single nucleotide polymorphisms in the 5'-flanking region of the prolactin gene and the association with reproduction traits in geese. South African Journal of Animal Science. 39: 83-87.

Li, C. Y., and H. Li. 2006. Association of MC4R gene polymorphisms with growth and body composition traits in chicken. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 19: 763-768.

Lopez, K. P., M. W. Schilling, and A. Corzo. 2011. Broiler genetic strain and sex effects on meat characteristics. Poultry Science. 90: 1105-1111.

Ngu, N. T., N. H. Xuan, C. T. Vu, N. T. An, N. T. Dung, and N. T. H. Nhan. 2015. Effects of genetic polymorphisms on egg production in indigenous noi chicken. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 3: 487-493.

Nguyen, A. T. L., S. Kunhareang, and M. Duangjinda. 2015. Association of chicken growth hormones and insulin-like growth factor gene polymorphisms with growth performance and carcass traits in Thai broilers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 28: 1686-1695.

Nie, Q., B. Sun, D. Zhang, C. Luo, N. A. Ishag, M. Lei, G. Yang, and X. Zhang. 2005. High diversity of the chicken growth hormone gene and effects on growth and carcass traits. Journal of Heredity. 96: 698-703.

Patbandha, T. K., D. D. Garg, S. Marandi, D. G. Vaghamashi, S. S. Patil, and H. H. Savsani. 2017. Effect of chick weight and morphometric traits on growth performance of coloured broiler chicken. Journal of Entomology and Zoology Studies. 5: 1278-1281.

Promwatee, N., B. Laopaiboon, T. Vongpralub, Y. Phasuk, S. Kunhareang, W. Boonkum, and M. Duangjinda. 2013. Insulin-like growth factor I gene polymorphism associated with growth and carcass traits in Thai synthetic chickens. Genetics and Molecular Research. 12: 4332-4341.

SAS. 1998. User's Guide: V.6.12. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Saxena, V. K., A. K. Sachdev, R. Gopal, and A. B. Pramod. 2009. Roles of important candidate gene on broiler meat quality. World's Poultry Science Journal. 65: 37-50.

Tarachai, P. 2017. Poultry production: Broiler raising. Available: http://www.as.mju.ac.th/E-Book/t.pdf. Accessed Dec.16, 2025.

Xu, H. P., H. Zeng, D. X. Zhang, X. L. Jia, C. L. Luo, and M. X. Fang. 2011. Polymorphisms associated with egg number at 300 days of age in chickens. Genetics and Molecular Research Journal. 10: 2279-2289.

Zhou, H., A. D. Mitchell, J. P. McMurtry, C. M. Ashwell, and S. J. Lamont. 2005. Insulin-like growth factor-I gene polymorphism associations with growth, body composition, skeleton integrity, and metabolic traits in chickens. Journal of Poultry Science. 82: 9-16.

Zhou, M., F. F. Liang, Y. S. Rao, H. Zeng, D. X. Zhang, and X. Q. Zhang. 2008. Association of twelve polymorphisms of the VIPR-1 gene with chicken early egg production traits. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences. 39: 1147-1152.