



วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



การเปรียบเทียบผลของความผิดปกติของกล้ามเนื้ออกต่อลักษณะคุณภาพของเนื้ออกไก่ดิบและสุก

Comparative effect of pectoralis major myopathies on quality traits of raw and cooked chicken meat

ศิริพร นามเทศ^{1*} และ ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์²

Siriporn Namted^{1*} and Chaiyapoom Bunchasak²

¹ หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 12130

¹ Department of Agriculture, Faculty of Agriculture Technology, Valaya Alongkron Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani, 12130

² ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

² Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Kasetsart University, Bangkok 10900

บทคัดย่อ: เปรียบเทียบผลของความผิดปกติของกล้ามเนื้ออกต่อลักษณะคุณภาพของเนื้ออกไก่ดิบและสุก โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ จำนวน 588 ตัว (อายุ 36 วัน) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 2,721.21±273.40 ก. เลือกไก่จำนวน 3 ตัวต่อคอก ตามน้ำหนักตัวต่ำ (2,050.00 ก.) กลาง (2,721.21 ก.) และ สูง (3,350.00 ก.) พบว่า น้ำหนักตัว น้ำหนักเนื้ออกไก่ และเปอร์เซ็นต์เนื้ออกไก่ที่สูงทำให้เกิดเนื้อ wooden breast (WB) และเนื้อ white striping (WS) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.01) โดย WB และ WS ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าสี L*, a* ของเนื้อสูงขึ้น (P=0.01) WB ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง (P=0.01) WB และ WS ทำให้โปรตีนลดลง (P=0.01) ขณะที่ไขมันและความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.01) การเกิด WB และ WS ทำให้ค่าแรงตัดผ่านและค่าเนื้อสัมผัส (TPA) ของเนื้ออกไก่ดิบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) แต่ไม่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านและค่า TPA ของเนื้อสุก และจากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) พบว่าค่าคะแนน WB และ WS ของเนื้อดิบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าแรงตัดผ่าน (r=0.37; P<0.01) และค่า TPA (Hardness, Gumminess, Chewiness) (r=0.25-0.42; P<0.01) ขณะที่ค่า TPA ของเนื้อ WB และ WS ไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้ออกไก่สุก (P>0.05) ยกเว้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าแรงตัดผ่าน (r= -0.33, -0.29; P<0.01) จึงสรุปได้ว่าความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก (WB และ WS) มีผลต่อลักษณะคุณภาพของเนื้ออกไก่ดิบ เช่น สี ความสามารถในการอุ้มน้ำ และเนื้อสัมผัส แต่ไม่มีผลต่อค่า TPA ของเนื้ออกไก่สุก

คำสำคัญ: ไก่เนื้อ; เนื้ออกไก่; คุณภาพเนื้อ; ความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก

ABSTRACT: The effect of pectoralis major myopathies on the quality traits of raw and cooked chicken breast meat was compared, using a total of 588 male broiler chickens of the Ross 308 breed (at 36 days of age) with 2,721.21±273.40 g of average body weight. Three chickens per pen were selected according to their body weight as light (2,050.00 g), middle (2,721.21 g), and heavy (3,350.00 g) weight. It was found that high body weight (BW) and breast meat weight (g or % of BW) significantly increased the evidence of wooden breast (WB) and white striping (WS) (P=0.01). The pH and color values (L*, a*) of the meat were increased by WB and WS (P=0.01), while WB decreased water holding capacity (P=0.01). WB and WS reduced protein content (P=0.01) and increased fat and

* Corresponding author: Siriporn.nam@vru.ac.th

Received: date; October 9, 2023 Revised: date; March 9, 2024

Accepted: date; March 14, 2024 Published: date;

moisture contents ($P=0.01$). The shear force and texture profile analysis (TPA) values of raw meat were increased by WB and WS ($P<0.01$), and there were no significant effects on the cooked meat. In raw meat, WB and WS scores were positively correlated with the shear force value ($r=0.37$; $P<0.01$) and TPA values (Hardness, Gumminess, Chewiness) ($r=0.25-0.42$; $P<0.01$). However, there was no relationship between TPA values and WB or WS score in cooked meat ($P>0.05$), except the shear force that was negatively correlated with the WB and WS scores ($r=-0.33$, -0.29 ; $P<0.01$). In conclusion, pectoralis major myopathies (both WB and WS) negatively affect characteristics of raw breast meat such as color, water holding capacity, and TPA values, but these negative effects disappeared in cooked meat.

Keywords: broilers; chicken breast meat; meat quality; pectoralis major myopathies

บทนำ

ไก่เนื้อเป็นสัตว์ที่ให้โปรตีนสูงอันดับหนึ่งในกลุ่มเนื้อสัตว์ปีก มีไขมันต่ำ (ชัยวัช, 2563) และให้ผลตอบแทนเร็ว เนื่องจากใช้เวลาในการเลี้ยงสั้น ทำให้ปริมาณการผลิตไก่สูงกว่าเนื้อสัตว์ประเภทอื่นๆ โดย สุภกร (2566) รายงานว่าปริมาณการผลิตไก่เนื้อของไทยมีแนวโน้มเติบโตเฉลี่ย 2.50-3.50% ต่อปี ตามภาวะเศรษฐกิจที่ทยอยฟื้นตัวจากปัจจัยต่างๆ เช่น 1) ความต้องการบริโภคของประเทศคู่ค้าสำคัญ อาทิ ญี่ปุ่น และ สหราชอาณาจักร 2) การขยายตลาดไปยังประเทศในตะวันออกกลาง โดยเฉพาะซาอุดีอาระเบีย และ 3) การยอมรับในมาตรฐานการผลิตของไทย

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาสายพันธุ์ไก่เนื้อให้มีความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปัญหาคุณภาพเนื้อออก (Sihvo et al., 2014; Kawasaki et al., 2018) ความผิดปกติของกล้ามเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ wooden breast (WB) คือ ลักษณะกล้ามเนื้อแข็ง ส่วนท้ายกล้ามเนื้ออกยกตัว สีค่อนข้างซีด และพบจุดเลือดออกกระจายทั่วไป เพราะการฉีกขาดของหลอดเลือดใต้ชั้นผิวของกล้ามเนื้อ กระบวนการไกลโคไลซิส และวงจรยูเรียลดลง ขณะที่วงจรกรดไตรคาร์บอกซิลิก (tricarboxylic acid, TCA) และการสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ ชนิดพิวรีน และไพริมิดีนกลับสูงขึ้น (Zhang et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบการเกิด white striping (WS) ซึ่งเป็นความผิดปกติของลายกล้ามเนื้อที่เป็นทางสีขาวขนานกันไปตามแนวเส้นใยกล้ามเนื้อบริเวณชั้นบนสุดของส่วนบนกล้ามเนื้ออก (Petracci et al., 2019) โดย Prisco et al. (2021) พบ WS ในไก่เนื้อสายพันธุ์ ROS 308 อายุ 55 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 3.50 กก. เกิด CD8/MHC I complexes และการแสดงออกของ IL-6, IL-17 และ LITAF (lipopolysaccharide-induced TNF- α factor) ในเนื้อสูงขึ้น การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและการอักเสบที่รุนแรง ร่วมกับการขาดออกซิเจน (hypoxia) ในกล้ามเนื้อ

ปัญหาคุณภาพเนื้อออกดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ เพราะลักษณะของเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและอาจทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อที่ต่ำกว่าเนื้อไก่ปกติ (Bowker et al., 2018; Petracci et al., 2019; Vieira et al., 2021) จึงเป็นที่ชัดเจนว่าความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก WB และ WS ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อดิบ แต่ยังมีงานวิจัยน้อยที่รายงานผลของความผิดปกติของเนื้อหน้าอกเมื่อถูกทำให้สุก ขณะที่ไทยส่งออกเนื้อไก่ปรุงสุกมากกว่าเนื้อไก่สด คิดเป็นปริมาณ (หน่วยตัน) เท่ากับ 21.48% และมีมูลค่า (หน่วยล้านบาท) มากกว่า 57.36% (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบผลของความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก WB และ WS ต่อลักษณะคุณภาพด้านสี ความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ คุณค่าทางโภชนาการ และเนื้อสัมผัสระหว่างเนื้ออกไก่ดิบและสุกเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของอุตสาหกรรมการส่งออกไก่ของไทย

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและกลุ่มทดลอง

วิธีการศึกษาในงานทดลองครั้งนี้ผ่านการพิจารณาโดยคณะกรรมการจริยธรรมและมาตรฐานการเลี้ยงและการใช้สัตว์เพื่อ งานทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ ACKU66-AGR-020) ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ สายพันธุ์ ROSS 308 อายุ 1 วัน จำนวน 588 ตัว เลี้ยงในโรงเรือนแบบปิด ระยะเวลาในการเลี้ยง 36 วัน โดยให้ไก่เนื้อได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) อาหารทดลองของไก่เนื้อแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ Starter phase Gower phase และ Finisher phase มีค่าโปรตีนเท่ากับ 23.00, 21.50 และ 19.50 % พลังงานเท่ากับ 3000 3100 และ 3200 kcal/kg ตรงความต้องการของสายพันธุ์ เมื่อสิ้นสุดระยะการทดลอง ทำการชั่ง

น้ำหนักไก่เนื้อทุกตัว และเลือกไก่จำนวน 3 ตัวต่อคอก ตามน้ำหนักตัวต่ำ กลาง สูง เท่ากับ 2,050.00 2,721.21 และ 3,350.00 ก. จำนวน 126 ตัว จากนั้นนำมาฆ่า ตัดแต่งซาก (โดยการชำแหละเนื้อส่วนนอก) และแบ่งกลุ่มการทดลองโดยการประเมินคะแนนเนื้อหน้าอกแบบรายตัว ด้วยวิธีการใช้คนประเมิน score ดังนี้

1.1 เนื้อ WB ถูกแบ่งเป็น 3 ระดับ ตามวิธีของ Kuttappan et al. (2013)

คะแนน 0 = ระดับปกติ (Normal) เนื้อที่ไม่แสดงอาการผิดปกติใด ๆ

คะแนน 1 = ระดับปานกลาง (Moderate) เนื้อที่มีความแข็งและนูนขึ้นบริเวณส่วนหัวและท้าย

คะแนน 2 = ระดับรุนแรง (Severe) เนื้อที่มีความแข็งและนูนทั่วบริเวณเนื้อ มีสีซีด ไม่ยืดหยุ่น เกิดการตกเลือดที่ผิว และมีเมือกสีเหลืองใสหลังออกมาที่ผิวหนังเนื้อ

1.2 เนื้อ WS ถูกแบ่งเป็น 3 ระดับตามความรุนแรง ตามวิธีของ Kuttappan et al. (2013)

คะแนน 0 = ระดับปกติ (Normal) พบลักษณะของเส้นสีขาวไม่ชัดเจนหรือไม่เกิดเส้นสีขาวบนผิวหน้าอก

คะแนน 1 = ระดับปานกลาง (Moderate) มีเส้นสีขาวเล็กน้อย โดยทั่วไปจะมีความหนาของเส้นสีขาวน้อยกว่า 0.1 มม. แต่มองเห็นได้ชัดเจนบนผิวหน้าอก

คะแนน 2 = ระดับรุนแรง (Severe) มีลักษณะของเส้นสีขาวขนาดมากกว่า 2 มม. มองเห็นได้ชัดเจนบนผิวหน้าอก ปกคลุมบริเวณพื้นที่ผิวหน้าอกของเนื้อเกือบทั้งหมด

การวัดคุณภาพเนื้อ

วัด pH ของเนื้ออก ที่ 45 นาทีหลังจากไก่ตาย ด้วยเครื่องวัด pH portable meter (Instruments, Wilmington, MA, USA) จากนั้นทำการวัดสี ด้วยเครื่องวัดสีคัลเลอร์มิเตอร์ (color meter) (CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) โดย L* คือ ค่าแสดงความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100, a* คือ ค่าแสดงความแดงและสีเขียว กรณีถ้า a* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีแดง ถ้า a* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว และ b* คือ ค่าแสดงความเหลืองและสีน้ำเงิน กรณีถ้า b* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง ถ้า b* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน (Xing et al., 2017)

การสูญเสียน้ำในเนื้อภายหลังการแช่เย็น (Drip loss) ซึ่งน้ำหนักเนื้ออกทั้งชิ้น หลังจากนั้นเข้าแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียน้ำในเนื้อภายหลังการแช่เย็น (Brambila et al., 2018)

$$\text{การสูญเสียน้ำภายหลังการแช่เย็น} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น} - \text{น้ำหนักหลังแช่เย็น})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น}} \times 100$$

การสูญเสียน้ำในเนื้อภายหลังการแช่แข็ง (Thawing loss) ซึ่งน้ำหนักเนื้ออกทั้งชิ้น หลังจากนั้นเข้าแช่ในตู้แช่อุณหภูมิต่ำ -20 °C เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำเนื้อออกจากตู้แช่อุณหภูมิต่ำ -20 °C แช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียน้ำในเนื้อภายหลังการแช่แข็ง (Brambila et al., 2018)

$$\text{การสูญเสียน้ำภายหลังการแช่แข็ง} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนแช่แข็ง} - \text{น้ำหนักหลังแช่แข็ง})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่แข็ง}} \times 100$$

การสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก (Cooking loss) ซึ่งน้ำหนักเนื้ออกทั้งชิ้น หลังจากนั้นนำไปต้มในเครื่องต้มน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 นาที วัดอุณหภูมิใจกลางเนื้ออกได้ 72 °C จึงนำออกมาพักไว้ให้เย็นจึงนำเข้าแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชม. ทำการชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก (Brambila et al., 2018)

$$\text{การสูญเสียน้ำจากการทำให้สุก} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนต้ม} - \text{น้ำหนักหลังต้ม})}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}} \times 100$$

ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่ ได้แก่ ความชื้น และโปรตีน ตามวิธีของ (AOAC, 1995)

การทดสอบแรงเฉือน (Shear force) ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analysis (TA-XT2i texture analyser, Stable Micro System, UK) หัวมีดตัดแบบ HDP/BS โดยนำเนื้ออกไก่สดและสุกหั่นให้ได้ขนาด 1×3×1 ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) จำนวน 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือน หน่วยที่ได้ คือ นิวตัน (N) (Maxwell et al., 2018)

การทดสอบเนื้อสัมผัส (TPA) ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analysis (TA-XT2i texture analyser, Stable Micro System, UK) หัวกดแบบ P/36R โดยนำเนื้ออกไก่สดและสุกหั่นให้ได้ขนาด 1x1x1 ซม. (กว้างxยาวxสูง) จำนวน 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง ทำการหาค่า TPA โดยค่าที่ได้ คือ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความเหนียว (gumminess) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) หน่วยที่ได้ คือ นิวตัน (N) (Chatterjee et al., 2016)

แผนการทดลอง

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ด้วยโปรแกรม SAS (SAS® Studio, SAS Institute Inc., North Carolina, United States) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธี Tukey's studentized range (HSD) test จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยใช้วิธี Pearson Correlation

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดลอง ไก่เนื้อที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 2,721.21±273.40 ก. และค่า CV ของฝูง ได้เท่ากับ 10.05% โดยเลือกน้ำหนักตัวต่ำ กลาง สูง เท่ากับ 2,050.00 2,721.21 และ 3,350.00 กรัมของคอก เพื่อให้ได้น้ำหนักตัวที่กระจายสม่ำเสมอ จากนั้นประเมินคะแนนเนื้อหน้าอกแบบรายตัว พบว่า ไก่เนื้อเกิด WB คะแนน 0 = ระดับปกติ (normal) 17%, คะแนน 1 = ระดับปานกลาง (moderate) 29%, และคะแนน 2 = ระดับรุนแรง (severe) 54% (Figure 1) และการเกิดเนื้อ WS คะแนน 0 = ระดับปกติ (normal) 5%, คะแนน 1 = ระดับปานกลาง (moderate) 71%, และคะแนน 2 = ระดับรุนแรง (severe) 24% (Figure 1)

แสดงให้เห็นว่าไก่เนื้อที่มีน้ำหนักตัวประมาณ 2.70 กก. เกิดความผิดปกติของเนื้อหน้าอก (WB และ WS) ระดับกลางถึงรุนแรง เนื่องจากอัตราการเจริญโตที่สูง สอดคล้องกับ Cruz et al. (2017) รายงานว่า การเกิด WB สูงถึง 85.90% ที่ 35 วัน และสูงถึง 89.20% ที่ 42 วัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ พบว่า ไก่เนื้อที่มีน้ำหนักตัวมากกว่า 2.70 กก. อัตราการเจริญโตที่ 36 วัน เลี้ยงในระบบโรงเรือนปิดของประเทศไทย ซึ่งมีที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสายพันธุ์ ROSS 308 ที่ 36 วัน น้ำหนักตัว 2,552 ก. (Aviagen, 2022) จะเกิดปัญหาความผิดปกติของเนื้อที่รุนแรงได้เช่นกัน เพราะการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว อาจเกิดปัญหา Hypoxia และ/หรือ Oxidative stress ได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดปกติของการสร้างเนื้อได้ (Petracc et al., 2019)

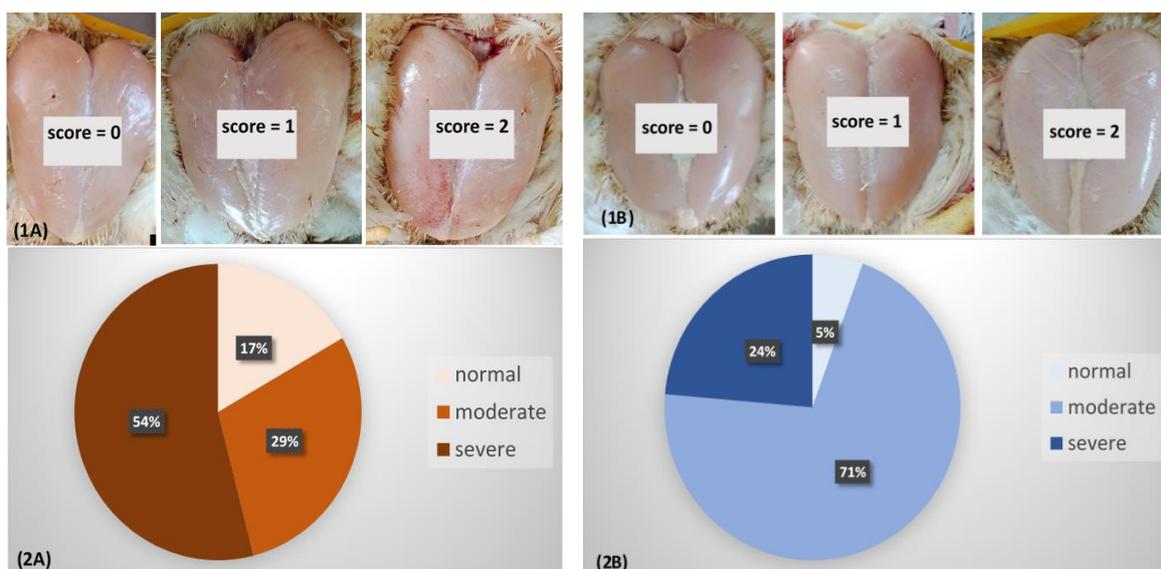


Figure 1 Wooden breast (WB) score (1A) and percentage of WB (2A); White striping (WS) score (1B) and percentage of WS (2B)

ผลของค่า WB และ WS ต่อค่า pH ค่าสี การสูญเสีย น้ำของเนื้อ ปริมาณโปรตีน และน้ำในเนื้อ แสดงใน Table 1 โดยพบว่า น้ำหนักตัวและน้ำหนักเนื้ออกไก่ที่มากขึ้น ทำให้ค่าคะแนน WB และ WS สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) WB และ WS ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าสี L^* , a^* ของเนื้อสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.01$) ขณะที่ WB และ WS ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ของเนื้อ ($P = 0.38, 0.08$ ตามลำดับ) WB ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง เกิดจากความเสื่อมของเส้นใยกล้ามเนื้อส่งผลให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์และซาร์โคพลาสติกลดลง (Kuttappan et al., 2017) โดยพบว่าเนื้อมีการสูญเสีย น้ำในเนื้อภายหลังกการแช่เย็น ($P = 0.01$) การสูญเสีย น้ำในเนื้อภายหลังกการแช่แข็ง ($P < 0.01$) และการสูญเสีย น้ำจากการปรุงสุกสูงขึ้น ($P < 0.01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ WS ไม่มีผลต่อค่าการสูญเสีย น้ำในเนื้อภายหลังกการแช่เย็น การสูญเสีย น้ำในเนื้อภายหลังกการแช่แข็ง ($P > 0.05$) แต่มีผลทำให้การสูญเสีย น้ำจากการปรุงสุกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) นอกจากนี้ พบว่าการเกิด WB และ WS ทำให้โปรตีนลดลง ($P < 0.01$) และความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

Table 1 Effect of pectoralis major myopathies score on breast meat quality

Item	Wooden breast (WB) score			SEM	P - value	White striping (WS) score			SEM	P - value
	0	1	2			0	1	2		
LW (g)	2525.20 ^b	2640.53 ^b	2834.74 ^a	32.55	<0.01	2508.57 ^b	2761.9 ^a	2795.24 ^a	30.74	<0.01
BW (g)	477.78 ^b	482.89 ^b	542.10 ^a	8.54	<0.01	471.47 ^b	545.47 ^a	561.85 ^a	9.04	<0.01
Breast (%)	18.93	18.24	19.11	0.19	0.17	18.80 ^b	19.72 ^{ab}	20.09 ^a	0.21	0.03
pH	5.95 ^b	6.04 ^{ab}	6.12 ^a	0.03	0.01	5.95 ^b	6.09 ^{ab}	6.12 ^a	0.03	0.01
L^*	51.01 ^c	52.91 ^b	55.26 ^a	0.36	<0.01	51.07 ^b	53.93 ^a	55.04 ^a	0.36	<0.01
a^*	2.41 ^b	2.53 ^b	3.48 ^a	0.18	<0.01	2.43 ^b	2.89 ^{ab}	3.25 ^a	0.17	0.01
b^*	7.58	7.88	8.17	0.16	0.32	7.56	8.25	8.35	0.17	0.08
DL (%)	2.73 ^b	2.80 ^b	3.64 ^a	0.12	0.01	3.01	3.17	3.41	0.11	0.37
TL (%)	6.10 ^b	6.56 ^b	6.62 ^a	0.30	<0.01	6.63	5.95	6.08	0.31	0.33
CL (%)	19.69 ^b	21.36 ^b	23.61 ^a	0.40	<0.01	20.22 ^b	22.51 ^a	23.15 ^a	0.34	<0.01
Protein (%DM)	86.86 ^a	85.29 ^{ab}	82.90 ^b	0.52	<0.01	87.05 ^a	83.06 ^b	83.39 ^b	0.55	<0.01
Moisture (%)	73.60 ^b	74.25 ^b	75.69 ^a	0.20	<0.01	73.75 ^b	74.78 ^a	75.46 ^a	0.19	<0.01

^{a-c} Means within row with no common superscript differ significantly ($P < 0.05$)

LW = Live weight; BW = Breast weight; DL = Drip loss; TL = Thawing loss; CL = Cooking loss

Zhang et al. (2021) ศึกษาการเกิด WB ของกล้ามเนื้อในไก่เนื้อโตเร็ว พบว่า เนื้ออกที่เกิด WB มีน้ำหนักมากกว่าเนื้ออกปกติ และ WB มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเนื้ออกที่สูง สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า การเกิด WB มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักตัว ($r = 0.41, P < 0.01$) และน้ำหนักอก ($r = 0.46, P < 0.01$) อย่างมีนัยสำคัญ Sihvo et al. (2014) พบว่า น้ำหนักของเนื้ออกที่มากกว่า 830 ก./ตัว จะทำให้เกิด WB โดย Zhang et al. (2021) พบว่า WB มี Sarcomeres Z-discs ชนิด MYOZ3 ที่สูง แสดงให้เห็นว่าไก่เนื้อที่โตเร็วกว่ามาตรฐานทำให้เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อหน้าอกที่ชัดเจน

โดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงของ pH ในกล้ามเนื้อสัมพันธ์กับกิจกรรมของสัตว์ การทำงานของ ATPase ในกล้ามเนื้อ และความเครียดก่อนสัตว์ตาย (Xing et al., 2019; Baldi et al., 2020) การเกิด WB และ WS ทำให้ค่า pH สูงกว่าค่า pH ของเนื้อปกติ (pH 24 ชม.) ที่อยู่ระหว่าง 5.80-5.97 (Petracci et al., 2017; Baldi et al., 2020; Zhang et al., 2021) สอดคล้องกับการทดลอง

ครั้งนี้พบว่า เนื้อปกติมี pH 24 ซม. เท่ากับ 5.97 ส่วน pH ของเนื้อ WB และ WS มี pH ที่สูงขึ้นระหว่าง 6.04-6.12 โดย Kuttappan et al. (2017) อธิบายว่า เนื้อ WB มีอัตราของ glycolysis ที่ต่ำ ทำให้มีการผลิต ATP ในกล้ามเนื้อน้อยลง pH จึงสูงขึ้น Alnahhas et al. (2016) พบ WS มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ pH การสูญเสียน้ำจากการแช่เย็น และการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุก สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบเช่นกันว่าค่าคะแนน WB และ WS มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ pH ($r=0.25$; $r=0.24$; $P<0.01$) และการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุก ($r=0.47$; $r=0.21$; $P<0.01$)

การเกิด WB และ WS ส่งผลต่อสีของเนื้อ โดย Sánchez-Brambila et al. (2016) รายงานว่า ค่าสีของเนื้อ WB มีสีซีดเมื่อเทียบกับเนื้อปกติ เพราะเกิดจากการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อในมัดกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อมีความชื้นมากขึ้น ความสามารถในการกักเก็บน้ำต่ำ และพบพังผืดในกล้ามเนื้อ จึงทำให้ค่าสี L^* สูงขึ้น เช่นเดียวกับ Oliveira et al. (2021) ที่พบว่า เนื้อ WB ระดับรุนแรงมีค่า L^* และ b^* สูงขึ้น นอกจากนี้ ค่าสี L^* ของเนื้อ WS ที่สูงขึ้น ซึ่ง Petracci et al. (2014) รายงานว่า การเสื่อมของกล้ามเนื้อ WS ทำให้กล้ามเนื้อโปรตีนลดลง (ไมโอซินและแอกติน) ความสามารถในการจับน้ำและกักเก็บน้ำของกล้ามเนื้อจึงลดลงและค่าสี L^* สูงขึ้น นอกจากนี้ Dalle Zotte et al. (2017) ได้อธิบายค่าสี a^* ที่สูงของเนื้อ WB ว่าอาจเกิดจากปริมาณไมโอโกลบินที่สูงและการสลับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ นำไปสู่การ myoglobin overexpression สูงขึ้น (Mutryn et al., 2015)

การศึกษาครั้งนี้พบว่า การเกิด WB และ WS ทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อลดลง และน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การเกิด WB และ WS ทำให้การเกิดอัตราของสลายและการสังเคราะห์โปรตีนสูงขึ้น การหดตัวของกล้ามเนื้อมากขึ้น และความเครียดจากการออกซิเดชันสูงขึ้น (Zhang et al., 2021) สอดคล้องกับ Thanatsang et al. (2020) พบว่าเนื้อ WB มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีไขมันสูง เพราะกล้ามเนื้อเสื่อมสภาพและการสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อใหม่ผิดปกติทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง (Bowker et al., 2018; Petracci et al., 2019; Vieira et al., 2021)

Table 2 แสดงผลของ WB และ WS ต่อเนื้อสัมผัส โดยพบว่า WB และ WS ทำให้ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อดิบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ขณะที่เนื้อสุก WB และ WS ทำให้ค่าแรงตัดผ่านขึ้นเนื้อต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.01$) การวัดค่าเนื้อสัมผัส (ค่า TPA) พบว่า WB และ WS ของเนื้ออกไก่ดิบ ทำให้ค่าความแข็ง (hardness) ความเหนียว (gumminess) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.01$) ขณะที่เนื้อสุก WB และ WS ไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัส (ค่า TPA) ($P>0.05$)

Table 2 Effect of pectoralis major myopathies score on texture of chicken breast meat

Item	Wooden breast (WB)			SE M	P - valu e	White striping (WS)			SE M	P - valu e
	score					score				
	0	1	2			0	1	2		
Shear force (raw; N)	8.83 ^b	10.93 ^b	15.09 ^a	0.62	<0.01	8.87 ^a	12.78 ^{ab}	14.88 ^b	0.63	<0.01
Shear force (cooked; N)	40.22 ^a	33.90 ^{ab}	29.84 ^b	1.42	0.01	41.06 ^a	32.94 ^{ab}	30.53 ^b	0.17	0.01
Hardness (raw; N)	5.57 ^b	6.78 ^b	10.59 ^a	0.54	<0.01	5.87 ^b	8.71 ^{ab}	9.49 ^a	0.53	0.01
Hardness (cooked; N)	22.95	23.60	25.49	0.81	0.43	23.24	24.33	24.15	0.80	0.84
Springiness (raw)	0.45	0.46	0.48	0.01	0.10	0.45	0.48	0.43	0.01	0.13
Springiness (cooked)	0.58	0.58	0.60	0.01	0.29	0.58	0.58	0.59	0.01	0.73
Gumminess (raw)	2.54 ^a	3.08 ^b	4.72 ^b	0.22	<0.01	2.71 ^a	3.92 ^{ab}	4.29 ^a	0.22	0.01
Gumminess (cooked)	12.55	13.05	14.10	0.54	0.50	12.81	13.15	13.25	0.54	0.94
Chewiness (raw; N)	1.19 ^b	1.48 ^b	2.29 ^a	0.11	<0.01	1.27 ^b	1.94 ^a	2.06 ^a	0.37	0.01
Chewiness (cooked; N)	7.34	7.63	8.65	0.37	0.33	7.46	7.73	7.93	0.11	0.88

^{a-b} Means within row with no common superscript differ significantly (P<0.05)

จากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) แสดงดัง **Table 3** พบว่าการเกิด WB และ WS ของเนื้อดิบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าแรงตัดผ่าน (r=0.37, 0.37; P<0.01) ส่วนการเกิด WB และ WS ของเนื้อที่ทำให้สุกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าแรงตัดผ่าน (r=-0.33, -0.29; P<0.01) ในเนื้อดิบที่เกิด WB และ WS มีพังผืดและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงขึ้น ทำให้สัมผัสแข็ง เมื่อทำการ shear force จึงมีค่าแรงตัดผ่านสูง แต่เนื้อสุกที่เกิด WB และ WS ผ่านความร้อน พังผืดและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอ่อนตัวลงและการละลายได้ของคอลลาเจนเปลี่ยนไป จึงอาจทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเนื้อลดลง (Zhang et al., 2021) เมื่อทำการ shear force จึงมีค่าแรงตัดผ่านต่ำลง

ด้านการวัดเนื้อสัมผัส (TPA) ค่า WB และ WS ของเนื้อดิบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า TPA ได้แก่ ค่าความแข็ง (r=0.42, 0.25; P<0.01) ค่าความเหนียว (r=0.41, 0.27; P<0.01) และการทนต่อการเคี้ยว (r=0.42, 0.26; P<0.01) ขณะที่เนื้อ WB และ WS ที่ทำให้สุกไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง ความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยว (P>0.05)

Table 3 Correlation coefficient of WB and WS on texture of chicken breast meat

Item	WB (raw)	WB (cooked)	WS (raw)	WS (cooked)
Shear force (N)	0.37**	-0.33**	0.37**	-0.29**
Hardness (N)	0.42**	0.13	0.25**	0.02
Springiness	0.28	0.18	0.17	0.15
Gumminess	0.41**	0.11	0.27**	0.01
Chewiness (N)	0.42**	0.13	0.26**	0.05

¹ Correlation coefficient (** P<0.01, * P<0.05)

ค่าเนื้อสัมผัสมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ เส้นใยกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (perimysial connective tissue) (Soglia et al., 2018; Sun et al., 2018) จากผลของค่า TPA และการทดสอบประสาทสัมผัส งานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่พบว่า การเกิด WB และ WS ทำให้ความนุ่มน้อยกว่าเนื้อปกติ (Dalgaard et al., 2018) นอกจากนี้ เนื้อที่เกิด WB และ WS มีพังผืด (fibrosis) สูงขึ้น ทำให้สัมผัสแข็ง (Sihvo et al., 2014) เกิดการสะสมและมีความผิดปกติของ extracellular matrix คอลลาเจน โปรตีโอไกลแคน (proteoglycans) ในกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในส่วน epimysium และ perimysium (Sihvo et al., 2014; Mutryn et al., 2015; Abasht et al., 2016) ความผิดปกติดังกล่าวทำให้ค่าแรงตัดผ่าน ค่าความแข็ง และการทนต่อการเคี้ยวของเนื้อดิบที่เกิด WB และ WS สูงขึ้น ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง WB และ WS กับค่าแรงตัดผ่าน ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวของเนื้อดิบ แสดงให้เห็นว่าการเกิด WB และ WS มีผลกับเนื้อสัมผัสของเนื้อดิบโดยตรง

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำเนื้อที่เป็น WB และ WS ทำให้สูกกลับไม่พบผลของของความผิดปกติของเนื้อต่อค่าต่างๆที่ศึกษา อาจเป็นเพราะความร้อนระหว่างการปรุงอาหารทำให้สูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอไฟบริลลาและซาร์โคพลาสซึม เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการหดตัวของเส้นใยไมโอไฟบริลลาและคอลลาเจนในกล้ามเนื้อต่างกัน (Tornberg, 2005) และการละลายได้ของคอลลาเจนเปลี่ยนไป (Wattanachant et al., 2004; Kong et al., 2008) จึงอาจทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเนื้อลดลง สอดคล้องกับเนื้อที่เกิด WB และ WS อาจมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหนา (เช่น ACTR3, TNNT3, GSN) ต่ำ โครงสร้างภายในเซลล์ที่มีการสานเป็นร่างแหอ่อนตัวลง การยึดเกาะกันของเนื้อสัมผัสต่าง (Zhang et al., 2021) งานวิจัยครั้งนี้พบค่าแรงตัดผ่านเนื้อสุกลดลงและพบความสัมพันธ์เชิงลบกับ WB และ WS นอกจากนี้การวัดแรงตัดผ่านขึ้นเนื้อสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อสัตว์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดสัตว์ อายุ ความเครียด เพศ การบ่ม สิ่งแวดล้อม และอาหาร โดยความนุ่มของเนื้อได้รับอิทธิพลจากปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ เฟอร์เซ็นต์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Ismail and Joo, 2017) และระดับการสลายโปรตีนไมโอไฟบริลลา (Marcinkowska-Lesiak et al., 2017) ที่แตกต่างกัน

Pietrasik and Shand (2004) และ Pietrasik et al. (2010) รายงานว่าเนื้อที่มีค่าแรงเคี้ยวต่ำลง จะมีความนุ่มของเนื้อสุกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่า การให้ความร้อนกับเนื้อ WB และ WS ไม่ส่งผลกับค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวของเนื้อสุกและไม่พบความสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่า แม้การเกิด WB และ WS จะส่งผลเสียต่อคุณภาพเนื้อดิบอย่างชัดเจน แต่เมื่อเนื้อได้รับความร้อน การเกิด WB และ WS กลับไม่ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อที่ชัดเจน

สรุป

จากงานวิจัย พบว่า น้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการเลี้ยงไก่ให้น้ำหนักสูง ทำให้เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก (WB และ WS) โดยส่งผลต่อ สี ความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ คุณค่าทางโภชนาการได้แก่ โปรตีน และเนื้อสัมผัสของเนื้ออกดิบ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความรุนแรงของเนื้อดิบผิดปกติที่สูงขึ้นสัมพันธ์โดยตรงต่อค่าคุณภาพเนื้อที่ด้อยลง อย่างไรก็ตาม การเกิด WB และ WS ไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่สุกและไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ของข้อมูลเกิดขึ้น ดังนั้นการเกิด WB และ WS ในเนื้อดิบอาจไม่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อสุกหรือผลิตภัณฑ์แปรรูป

คำขอบคุณ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่สนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ และขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวัช โขจรเจริญสุข. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: ไก่แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป. แหล่งข้อมูล:
<https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/frozen-processed-chicken/io/io-frozen-processed-chicken>. ค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2566.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566. แหล่งข้อมูล:
https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/price/daily_price/dailyprice.pdf. ค้นเมื่อ 14 เมษายน 2566.
- ศุภกร กรบุญไตรทศ. 2566. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2566-68 อุตสาหกรรมไก่แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป. แหล่งข้อมูล:
https://www.krungsri.com/getmedia/d1bc129f-2782-438c-a50f-cfb200c96b3b/IO_Chicken_230214_TH_EX.pdf.aspx. ค้นเมื่อ 14 เมษายน 2566.
- Abasht, B., M.F. Mutryn, R.D. Michalek, and W.R. Lee. 2016. Oxidative stress and metabolic perturbations in wooden breast disorder in chickens. *PLoS One*. 11(4): e0153750.
- Alnahhas, N., C. Berri, M. Chabault, P. Chartrin, M. Boulay, M.C. Bourin, and E. Le Bihan-Duval. 2016. Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in two broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. *BMC Genetics*. 17(1): 61.
- Alonzo, A. 2021. Research shows fast growth leads to breast meat issues. *WATT Poultry USA*. 2020: 10-13.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*, 16th Ed., AOAC International, Gaithersburg.
- Aviagen. 2022. ROSS 308/308 FF Broiler: Performance objective. Available:
https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/RossexRoss308-BroilerPerformanceObjectives2022-EN.pdf. Accessed Dec.14, 2022.
- Baldi, G. C.-N. Yen, M.R. Daughtry, J. Bodmer, B.C. Bowker, H. Zhuang, M. Petracci, and D.E. Gerrard. 2020. Exploring the factors contributing to the high ultimate pH of broiler pectoralis major muscles affected by wooden breast condition. *Frontiers in Physiology*. 11: 343.
- Bowker, B.C., A. Maxwell, D.H. Zhuang, and K. Adhikari. 2018. Marination and cooking performance of portioned broiler breast fillets with the wooden breast condition. *Poultry Science*. 97: 2966–2970.
- Brambila, G.S., B.C. Bowker, D. Chatterjee, and H. Zhuang. 2018. Descriptive texture analyses of broiler breast fillets with the wooden breast condition stored at 4°C and –20°C. *Poultry Science*. 97: 1762–1767.
- Chatterjee, D., H. Zhuang, B.C. Bowker, A.M. Rincon, and G. Sanchezbrambila. 2016. Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. *Poultry Science*. 95: 2449–2454.
- Cruz, R.F., S.L. Vieira, L. Kindlein, M. Kipper, H.S. Cemin, and S.M. Rauber. 2017. Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing lysine levels. *Poultry Science*. 96(2): 501–10.
- Dalgaard, L.B., M.K. Rasmussen, H.C. Bertram, J.A. Jensen, H.S. Møller, M.D. Aaslyng, and J.F. Young. 2018. Classification of wooden breast myopathy in chicken pectoralis major by a standardised method and association with conventional quality assessments. *International Journal of Food Science and Technology*. 53(7): 1–9.

- Dalle Zotte, A., G. Tasoniero, A. Puolanne, H. Remignon, M. Cecchinato, E. Catelli, and M. Cullere. 2017. Effect of 'Wooden Breast' appearance. *Czech Journal of Animal Science*. 62(2): 51–57.
- Ismail, I., and S.T. Joo. 2017. Poultry meat quality in relation to muscle growth and muscle fiber characteristics. *Food Science of Animal Resources*. 37(6): 873-883.
- Kawasaki, T., T. Iwasaki, M. Yamada, T. Yoshida, and T. Watanabe. 2018. Rapid growth rate results in remarkably hardened breast in broilers during the middle stage of rearing: A biochemical and histopathological study. *PLoS ONE*. 13(2): e0193307.
- Kong, F., J. Tang, M. Lin, and B. Rasco. 2008. Thermal effects on chicken and salmon muscles: tenderness, cook loss, area shrinkage, collagen solubility and microstructure. *LWT - Food Science and Technology*. 41: 1210–1222.
- Kuttappan, V.A., G.R. Huff, W.E. Huff, B.M. Hargis, J.K. Apple, C. Coon, and C.M. Owens. 2013. Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal (NORM) and severe (SEV) degrees of WS in breast fillets. *Poultry Science*. 92: 339-345.
- Kuttappan, V.A., W. Bottje, R. Ramnathan, S.D. Hartson, C.N. Coon, B.-W. Kong, C.M. Owens, M. Vazquez-Añon, and B.M. Hargis. 2017. Proteomic analysis reveals changes in carbohydrate and protein metabolism associated with broiler breast myopathy. *Poultry Science*. 96: 2992–2999.
- Marcinkowska-Lesiak, M., E. Poławska, and A. Wierzbicka. 2017. The effect of different gas permeability of packaging on physicochemical and microbiological parameters of pork loin storage under high O₂ modified atmosphere packaging conditions. *Food Science and Technology International*. 23(2): 174-184.
- Maxwell, A.D., B.C. Bowker, H. Zhuang, D. Chatterjee, and K. Adhikari. 2018. Descriptive sensory analysis of marinated and non-marinated wooden breast fillet portions. *Poultry Science*. 97: 2971–2978.
- Mutryn, M.F., E.M. Brannick, W. Fu, W.R. Lee, and B. Abasht. 2015. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. *BMC Genomics*. 16(1): 399.
- Oliveira, R.F., J.L.M. Mello, F.B. Ferrari, E.N.F. Cavalcanti, R.A. Souza, M.R. Pereira, A. Giampietro-Ganeco, E.A. Villegas-Cayllahua, H.A. Fidelis, M.S. Fávero, L. Amoroso, P.A. Souza, and H. Borba. 2021. Physical, chemical, and histological characterization of *Pectoralis major* muscle of broilers affected by wooden breast myopathy. *Animals*. 11(3): 596.
- Petracci, M., F. Soglia, and C. Berri. 2017. Muscle metabolism and meat quality abnormalities. In M. Petracci and C. Berri (Eds.), *Poultry quality evaluation. Quality attributes and consumer values*. p. 51–75. Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- Petracci, M., F. Soglia, M. Madruga, L. Carvalho, E. Ida, and M. Estévez. 2019. Wooden-breast, white striping, and spaghetti meat: causes, consequences, and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 18: 565-583.
- Petracci, M., S. Mudalal, E. Babini, and C. Cavani. 2014. Effects of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. *Italian Journal of Animal Science*. 13: 3138.
- Pietrasik, Z., and P.J. Shand. 2004. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef. *Meat Science*. 66: 871–879.

- Pietrasik, Z., J.L. Aalhus, L.L. Gibson, and P.J. Shand. 2010. Influence of blade tenderization, moisture enhancement and pan- creatin enzyme treatment on the processing characteristics and tenderness of beef semitendinosus muscle. *Meat Science*. 84: 512–517.
- Prisco, F., D. De Biase, G. Piegari, I. d'Aquino, A. Lama, F. Comella, R. Mercogliano, L. Dipineto, S. Papparella, and O. Paciello. 2021. Pathologic characterization of white striping myopathy in broiler chickens. *Poultry Science*. 100(7): 101150.
- Sánchez-Brambila, G., B.C. Bowker, and H. Zhuang. 2016. Comparison of sensory texture attributes of broiler breast fillets with different degrees of white striping. *Poultry Science*. 95: 2472–2476.
- Sihvo, H.-K., K. Immonen, and E. Puolanne. 2014. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary Pathology*. 51: 619–623.
- Soglia, F., G. Baldi, L. Laghi, S. Mudalal, C. Cavani, and M. Petracci. 2018. Effect of White Striping on turkey breast meat quality. *Animal*. 12(10): 2198–2204.
- Sun, X., D.A. Koltjes, C.N. Coon, K. Chenand, and C.M. Owens. 2018. Instrumental compression force and meat attribute changes in woody broiler breast fillets during short-term storage. *Poultry Science*. 97(7): 2600–2606.
- Thanatsang K.V., Y. Malila, S. Arayamethakorn, Y. Srimarut, N. Tatiyaborworntam, T. Uengwetwanit, A. Panya, W. Rungrassamee, and W. Visessanguan. 2020. Nutritional properties and oxidative indices of broiler breast meat affected by wooden breast abnormality. *Animals*. 10(12): 2272.
- Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins-implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 70: 493–508.
- Vieira, S.L., C.T. Simões, L. Kindlein, T.Z. Ferreira, P. Soster, and C. Stefanello. 2021. Progressive in vivo detection of wooden breast in broilers as affected by dietary energy and protein. *Poultry Science*. 100(6): 0032-5791.
- Wattanachant, S., S. Benjakul, and D.A. Ledward. 2004. Effect of heat treatment on changes in texture, structure, and properties of Thai indigenous chicken muscle. *Poultry Science*. 83: 123–128.
- Xing, T., F. Gao, R.K. Tume, G. Zhou, and X. Xu. 2019. Stress Effects on meat quality: A mechanistic perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 18: 380–401.
- Xing, T., X. Zhao, P. Wang, H. Chen, X. Xu, and G. Zhou. 2017. Different oxidative status and expression of calcium channel components in stress-induced dysfunctional chicken muscle. *Journal of Animal Science*. 95: 1565–1573.
- Zhang, X., D.S. Antonelo, J.D. Hendrix, K.V. To, Y.L. Campbell, M. Von Staden, S. Li, S.P. Suman, W. Zhai, J. Chen, H. Zhu, and W. Schilling. 2021. Proteomic characterization of normal and woody breast meat from broilers of five genetic strains. *Meat Muscle Biology*. 4: 1–17.