

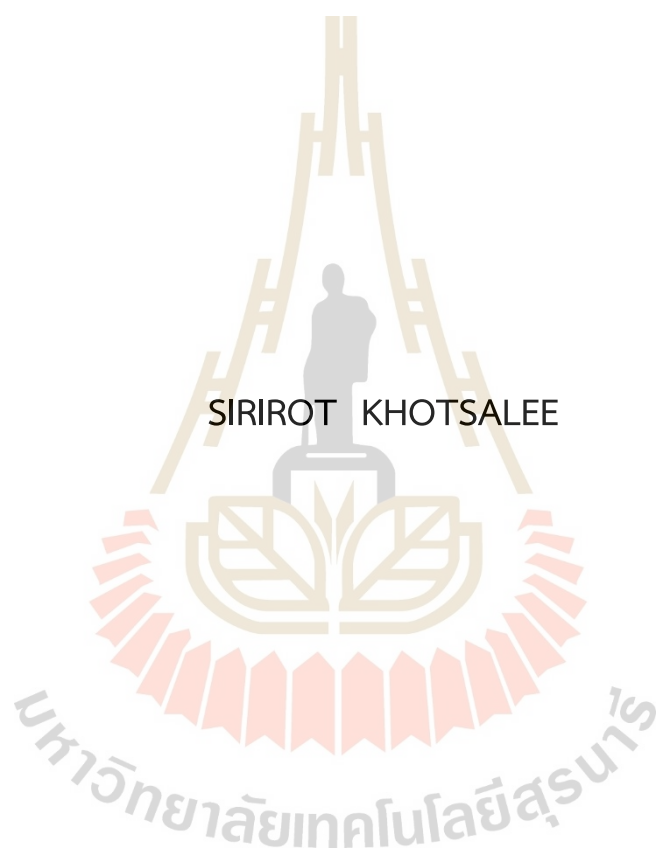
ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรม
ดัชนีความเครียดและโครงสร้างสมองในไก่โคราช

นางสาวสิริโรจน์ โคตรสาลี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2567

EFFECT OF DIFFERENT REARING SYSTEMS ON BEHAVIOR,
STRESS INDEX, AND BRAIN STRUCTURE
IN KORAT CHICKEN



SIRIROT KHOTSALEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Animal Production Technology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2024

ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรม ดัชนีความเครียด
และโครงสร้างสมองในไก่โคราช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. ยุพิน ผาสุข)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. วิทวัส โมพี)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร. จักรสุมา พงศ์เศรษฐกุล)

กรรมการ

(รศ. ดร. สุติศา เข้มผะกา)

กรรมการ

(รศ. ดร. อมรรัตน์ โมพี)

กรรมการ

(ผศ. น.สพ. ดร. ภาณิจ คุปพิทยานันท์)

กรรมการ

(รศ. ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(ศ. ดร. หนึ่ง เตียอำรุง)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

สิริโรจน์ โคตรสาลี : ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรม ดัชนีความเครียดและโครงสร้างสมองในไก่โคราช (EFFECT OF DIFFERENT REARING SYSTEMS ON BEHAVIOR, STRESS INDEX, AND BRAIN STRUCTURE IN KORAT CHICKEN)
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทวัช โมฬี, 93 หน้า.

คำสำคัญ: ไก่โคราช/ระบบการเลี้ยง/การแสดงออกของพฤติกรรม/ดัชนีความเครียด/โครงสร้างสมอง

แนวคิดเรื่องสวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) ถูกนำมาใช้กับสัตว์เลี้ยงในฟาร์มเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของสัตว์ในฟาร์มให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจุบันการเลี้ยงไก่โคราชยังเป็นการเลี้ยงในระบบโรงเรือนเปิด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเครียดเนื่องจากสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันในไก่โคราชต่อการแสดงออกของพฤติกรรม ดัชนีความเครียด และโครงสร้างสมอง เพื่อการพัฒนาปรับปรุงระบบการเลี้ยงไก่กลุ่มโตซ่าให้มีความเหมาะสมในการผลิตเนื้อไก่ที่มีคุณภาพและเป็นไปตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ โดยการศึกษานี้ใช้ไก่โคราชทะเลเทศ อายุ 1 วัน จำนวน 375 ตัว แบ่งไก่ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเลี้ยงแบบทั่วไป (conventional) กลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range) และกลุ่มเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic) เมื่อไก่อายุครบ 91 วัน ทำการบันทึกวิดีโอ เพื่อวิเคราะห์การแสดงออกของพฤติกรรม ประเมินความเสียหายจากการจิกชน เพื่อวิเคราะห์สวัสดิภาพสัตว์ที่เกิดจากการจิกกันในฝูง เก็บตัวอย่างเนื้ออกและสะโพกเพื่อวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ เก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา และเก็บตัวอย่างสมองเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างสมองด้วยแสงซินโครตรอน เทคนิค X-ray tomographic microscopy (XTM) จากผลการศึกษาพบว่า ไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์มีอัตราการกินได้ (FI) ไม่แตกต่างจากไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย แต่ต่ำกว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบทั่วไป ส่งผลให้น้ำหนักตัว (BW) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ต่ำเมื่อเทียบกับไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและแบบทั่วไป ($P < 0.05$) ทั้งนี้การเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ($P > 0.05$) ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีเปอร์เซ็นต์ซากและการสะสมของไขมันในช่องท้องต่ำกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป ($P < 0.05$) การเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า pH และค่า cooking loss ในเนื้ออกและเนื้อสะโพก ($P > 0.05$) แต่เนื้อไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่ากลุ่มทั่วไป ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามการเลี้ยงไก่แบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่า drip loss สูงกว่าการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบทั่วไป ทั้งนี้การเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยส่งผลต่อค่า shear force สูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ($P < 0.05$) นอกจากนี้ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยยังมีค่า Yellowness ในผิวหนังและเนื้อสูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ($P < 0.05$) กลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปมีคะแนนความเสียหายที่เกิดจากการจิกชนบริเวณหางสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเอเทอโรฟิลและลิม

โพไซต์ ($P>0.05$) ในทางกลับกันระดับความเข้มข้นฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในกลุ่มการเลี้ยงแบบ กึ่งชังกึ่งปล่อยต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปแต่ไม่พบความแตกต่างเมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบอินทรีย์ ($P<0.05$) อีกทั้งระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการแสดงออกของพฤติกรรม ($P>0.05$) แต่ กลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปมีแนวโน้มการแสดงพฤติกรรมการต่อสู้ และพฤติกรรมการกระพือปีกมากกว่า การเลี้ยงแบบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบค่าความพรุนของสมองในกลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่ง ชังกึ่งปล่อยน้อยกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ($P<0.05$) ในขณะที่ค่าปริมาตรสมองของไก่ที่ในการเลี้ยงแบบ อินทรีย์ต่ำกว่าแบบทั่วไปแต่ไม่แตกต่างกับการเลี้ยงแบบกึ่งชังกึ่งปล่อย ($P<0.05$) การศึกษาสามารถ สรุปได้ว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่โคราชต่ำกว่าเมื่อเทียบ กับไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งชังกึ่งปล่อยและแบบทั่วไป แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งชังกึ่งปล่อยส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ซากและไขมันในช่อง ท้องต่ำ แต่ส่งผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เพิ่มขึ้น และค่าสีเหลืองบริเวณผิวหนังและบริเวณเนื้อสูงกว่า การเลี้ยงแบบทั่วไป แม้ว่าระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อดัชนีความเครียดและการแสดงออก ของพฤติกรรม แต่ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งชังกึ่งปล่อยมีแนวโน้มการแสดงพฤติกรรม ก้าวร้าวน้อยกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป และระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งชังกึ่งปล่อยส่งผลต่อ การฟ่อของเซลล์ประสาททำให้มีค่ารพุนของสมองน้อยกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงไก่ในระบบอินทรีย์และระบบกึ่งชังกึ่งปล่อย เป็นแนวทางที่ควรสนับสนุนในฐานะ การเลี้ยงแบบทางเลือกที่สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ สำหรับการผลิตไก่โคราชอย่างยั่งยืน

SIRIROT KHOTSALEE : EFFECT OF DIFFERENT REARING SYSTEMS ON BEHAVIOR,
STRESS INDEX, AND BRAIN STRUCTURE IN KORAT CHICKEN. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. WITTAWAT MOLEE, Ph. D., 89 PP.

Keyword: KORAT CHICKEN/REARING SYSTEM/BEHAVIORAL EXPRESSION/STRESS
INDEX/BRAIN STRUCTURE

The concept of animal welfare has been increasingly applied to farm animals to improve their quality of life. However, Korat chicken in Thailand are still predominantly raised in open-house environments, which may induce stress due to suboptimal housing conditions. Therefore, this study aimed to investigate the effects of different rearing systems on behavioural expression, stress indicators, and brain structure in Korat chicken. The ultimate goal is to develop an appropriate management approach for slow-growing chicken that ensures both meat quality and alignment with animal welfare standards. A total of 375 day-old mixed-sex Korat chicks were randomly allocated into three rearing groups: conventional, free-range, and organic. At 91 days of age, video recordings were conducted to analyse behavioural patterns. Feather pecking damage was assessed to evaluate welfare concerns associated with social interactions. Samples of breast and thigh meat were collected for meat quality analysis, blood samples were taken for haematological evaluation, and brain tissues were collected for structural analysis using synchrotron-based X-ray tomographic microscopy (XTM). The results revealed that feed intake (FI) in the organic group did not differ from the free-range group but was significantly lower than in the conventional group. Consequently, body weight (BW), body weight gain (BWG), and average daily gain (ADG) were significantly lower in the organic group compared to both the free-range and conventional groups ($P < 0.05$). However, no significant difference was observed in the feed conversion ratio (FCR) among the groups ($P > 0.05$). Korat chicken in the organic and free-range groups had significantly lower eviscerated carcass and abdominal fat deposition than those in the conventional group ($P < 0.05$). There were no significant differences in meat pH or cooking loss across the groups ($P > 0.05$), but shear force values were higher in the organic and free-range groups compared to the conventional group ($P < 0.05$). Drip loss was higher in the free-range

group than in the organic and conventional groups. Moreover, Korat chicken in the organic and free-range groups showed higher shear force and greater yellowness in skin and meat than those in the conventional group ($P < 0.05$). Feather pecking damage, particularly in the tail area, was most pronounced in the conventional group, indicating a higher tendency for aggressive feather pecking behaviour in this group ($P < 0.05$). No significant differences were found in the heterophil-to-lymphocyte ratio across groups ($P > 0.05$). However, corticosterone concentrations in the free-range group were significantly lower than in the conventional group, with no difference observed between the free-range and organic groups ($P < 0.05$). Although behavioural expression was not significantly affected by rearing group ($P > 0.05$), Korat chicken in the conventional group tended to exhibit more aggressive behaviours such as fighting and pecking, along with increased wing flapping, which may reflect attempts to relieve stress. Additionally, Korat chicken in the organic and free-range groups had lower brain porosity than those in the conventional group ($P < 0.05$). Brain volume in the organic group was also significantly lower than in the conventional group but did not differ from the free-range group ($P < 0.05$). In conclusion, the organic rearing group resulted in lower growth performance compared to the free-range and conventional groups, though feed efficiency (FCR) remained unaffected. Both organic and free-range groups yielded lower carcass percentages and abdominal fat but showed higher meat toughness and yellowness. While stress indices and behavioural expression did not significantly differ among groups, aggressive behaviours were less prevalent in the organic and free-range groups. Furthermore, these two groups exhibited lower brain porosity, suggesting reduced neuronal degeneration. These findings support the use of organic and free-range rearing as welfare-aligned alternatives for sustainable Korat chicken production.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอกจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2563 โครงการวิจัยระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์เพื่อการพัฒนาคุณภาพของเนื้อไก่โคราช (The organic production system for developing Korat chicken meat quality)

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.วิฑูรย์ โมฬี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสำเร็จขึ้นมาได้ และ รศ. ดร.อมรรัตน์ โมฬี หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาธุรกิจไก่โคราช ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันทรงคุณค่า เพื่อพัฒนางานวิจัยของข้าพเจ้าให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพิน ผาสุข สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฐานะประธานกรรมการสอบ ที่ให้เกียรติ แนะนำ และสนับสนุนข้าพเจ้าด้วยความเมตตาตลอดกระบวนการสอบ

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ดำเนินงานวิจัยคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนบุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัยที่ช่วยเหลือการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณบุคลากรอาคารเครื่องมือ 10 และ 14 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.แคทลียา โรจน์วิริยะ หัวหน้าส่วนระบบลำเลียงแสงที่ 1.2W: X-ray Imaging and X-ray Tomographic Microscopy (XTM) และบุคลากร จากสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำปรึกษาในการเข้าไปใช้เครื่องมือ และวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ นักศึกษาบัณฑิตศึกษาทุกคน ตลอดจนน้อง ๆ ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ทั้งกำลังใจและกำลังกายอย่างดีเสมอมา และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และคอยสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สิริโรจน์ โคตรสาลี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชณนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคที่ตระหนักถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ในปัจจุบัน.....	4
2.2 ระบบการเลี้ยงไก่แบบทางเลือก.....	6
2.3 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต.....	7
2.4 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบซาก.....	8
2.5 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อ.....	8
2.6 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล และลิมโฟไซต์.....	9
2.7 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์.....	10
2.8 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมและ สวัสดิภาพสัตว์.....	11
2.9 โครงสร้างและกระบวนการทำงานของสมองเมื่อถูกกระตุ้นจากความเครียด.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10	ผลกระทบของความเครียดต่อสมองในสัตว์ปีก	24
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1	สัตว์ทดลองและการจัดการสัตว์ทดลอง	27
3.1.1	คำชี้แจงจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลอง	27
3.1.2	สัตว์ทดลอง	27
3.1.3	การเก็บข้อมูลการกินหญ้า	30
3.2	การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต	30
3.3	การวิเคราะห์องค์ประกอบซาก การวัดคุณภาพเนื้อ และการเก็บตัวอย่าง	31
3.3.1	การเก็บข้อมูลองค์ประกอบซาก	31
3.3.2	การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบซาก	31
3.3.3	การวัดค่าสีเนื้อและผิวหนัง	32
3.3.4	การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	32
3.3.5	การวัดค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ (drip loss)	32
3.3.6	การวัดค่าการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุก (cooking loss)	32
3.3.7	การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear forces)	33
3.4	การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา	33
3.4.1	ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์	33
3.4.2	การตรวจนับอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโมโกลินและลิมโฟไซต์	33
3.5	การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมการจิกชนและพฤติกรรม การแสดงออก	33
3.5.1	ความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมการจิกชน	33
3.5.2	พฤติกรรมการแสดงออก	34
3.6	การวิเคราะห์โครงสร้างสมอง	36
3.7	การวิเคราะห์ทางสถิติ	38
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล	40
4.1	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช	40
4.2	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบซากในไก่โคราช	43
4.3	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเนื้อเลือดขาวชนิด เฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซด์และฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในไก่โคราช	50
4.5	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรม จิกขนในไก่โคราช.....	54
4.6	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมใน ไก่โคราช.....	56
4.7	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมองในไก่โคราช	60
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1	บทสรุป.....	64
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	64
	รายการอ้างอิง.....	66
	ภาคผนวก.....	79
	ภาคผนวก ก. วิธีการดำเนินการทางห้องปฏิบัติการ	80
	ภาคผนวก ข. ภาพประกอบการดำเนินการทดลอง	82
	ภาคผนวก ค. เอกสารใบรับรองวัตถุอันตราย	88
	ประวัติผู้เขียน.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต.....	13
2.2 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบซาก	14
2.3 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อ	15
2.4 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิด เฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์.....	16
2.5 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์	17
2.6 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการแสดงอาการพฤติกรรม	18
2.7 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อความเสียหายจากการจิกชน.....	19
2.8 ผลของความเครียดต่อสมองในสัตว์ปีก	26
3.1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ทดลองและองค์ประกอบของโภชนะ	28
3.2 โปรแกรมการให้วัคซีนไก่โคราช	29
3.3 การแสดงลักษณะพฤติกรรมในไก่.....	35
4.1 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช อายุ 91 วัน.....	42
4.2 การวิเคราะห์ต้นทุนอาหารไก่โคราชในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน (ตลอดการเลี้ยง 91 วัน).....	43
4.3 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช อายุ 91 วัน.....	46
4.4 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช อายุ 91 วัน.....	48
4.5 ผลของการเลี้ยงไก่ในระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและแบบอินทรีย์ต่อปริมาณการกินหญ้า และค่าทางโภชนะของหญ้ารูซี่ในแปลง.....	50
4.6 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล และลิมโฟไซต์ในไก่โคราช อายุ 91 วัน.....	51
4.7 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมจิกชนใน ไก่โคราช อายุ 91 วัน.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมในไก่โคราช อายุ 91 วัน	59
4.9 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมองในไก่โคราช อายุ 91 วัน	62



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการฟ่อของเซลล์ประสาทและการสูญเสียแชนส์จากอิทธิพลความเครียด เรื้อรังพร้อมภาพเปรียบเทียบลักษณะเส้นประสาทของหนูที่ได้รับความเครียดและ ไม่ได้รับความเครียด..... 21
2.2	ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลผลของหนูที่อยู่ในสภาวะปกติ หนูที่ได้รับความ เครียดต่อเนื่อง 21 วัน และหนูที่ได้รับความเครียดต่อเนื่อง 21 วัน แต่ได้รับการรักษา ด้วย Ketamine ระยะเวลา 1 วัน..... 22
2.3	ภาพอินฟราเรดแสดงความหนาแน่นของเส้นประสาทส่วนเดนไดรต์เปรียบเทียบระหว่าง หนูเพศผู้และเพศเมียที่ไม่ได้รับความเครียด และที่ได้รับความเครียดเรื้อรังเป็นระยะเวลา 14 วัน..... 23
2.4	ภาพเปรียบเทียบเส้นประสาทส่วนเดนไดรต์ในหนูที่ไม่ได้รับความเครียด (สีเทา), หนูที่ ไม่ได้รับความเครียดและได้รับยาเซอรีทริน (สีน้ำเงิน), หนูที่ได้รับความเครียดเรื้อรัง (สีแดง) และหนูที่ได้รับความเครียดเรื้อรังรักษาด้วยยาเลอริทริน (สีเขียว)..... 23
3.1	แผนผังโรงเรือนเลี้ยงไก่โคราชกลุ่มเลี้ยงแบบทั่วไป กลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และ กลุ่มเลี้ยงแบบอินทรีย์..... 27
3.2	ลักษณะกล่องสุมที่ใช้ในการวัดปริมาณหญ้าในแปลงหญ้าเลี้ยงไก่ในกลุ่มเลี้ยงแบบ อินทรีย์และกลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย 30
3.3	ภาพประกอบการประเมินคะแนนความเสียหายที่เกิดจากการจิกชนที่ก่อให้เกิดการ บาดเจ็บในไก่โคราช 35
3.4	แผนผังการติดตั้งกล่องบันทึกวิดีโอพฤติกรรมไก่โคราชภายในโรงเรือนและภายนอก โรงเรือนการทดลอง 36
3.5	โครงสร้างภายนอกสมองไก่โคราช รูปแบบสามมิติกำลังขยาย 5,000 ไมครอน 38
3.6	โครงสร้างภายในสมองไก่โคราชแสดงให้เห็นเนื้อเยื่อและโพรงอากาศกำลังขยาย 5,000 ไมครอนCartridge Heater แบบ High Density..... 38
4.1	ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อฮอโมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในไก่โคราช อายุ 91 วัน (mean±SE)..... 54

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	Percentage
°C	=	Degree celsius
μg	=	Microgram
a*	=	Redness
ADG	=	Average daily gain
AMPARs receptors	=	α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazole propionic acid
AS	=	Artificial shelter
ATCH	=	Adrenocorticotrophic hormone
ATP	=	Adenosine triphosphate
AV	=	Aviary
b*	=	Yellowness
B1	=	Thiamine
B12	=	Cobalamin
B2	=	Riboflavin
B6	=	Pyridoxine
BDNF	=	Brain derived neurotrophic factor
BW	=	Body weight
BWG	=	Body weight gain
CaCO ₃	=	Calcium carbonate
CC	=	Conventional cage
CFG	=	Commercial fast-growing
CFGC	=	Commercial fast-growing cobb 500
CP	=	Crude protein
CRD	=	Completely randomized design
CRF	=	Corticotropin releasing factor
CRH	=	Corticotropin-releasing hormone

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

CSG	=	Commercial slow-growing
CSGC	=	Commercial slow-growing cobb Sasso
Cu	=	Copper
DI water	=	Deionized water
DL-methionine	=	2-amino-4-(methylsulfanyl)butanoic acid
EBC	=	Extended battery cage
DLS	=	Deep litter system
EDTA	=	Ethylenediaminetetraacetic acid
EI	=	Extensive indoor
EU	=	The European Union
FBW	=	Final body weight
FCR	=	Feed conversion ratio
Fe	=	Iron
FG	=	Fast growing
FGF	=	Fibroblast growth factor
FI	=	Feed intake
FR	=	Free-range
g	=	Gram
g/L	=	Gram per liter
GluA1	=	Glutamate receptor, ionotropic
GR	=	Glucocorticoid receptor
H	=	Heterophils
H ⁺	=	Hight density
H/L ratio	=	The ratio of heterophils and lymphocytes
HPA	=	Hypothalamic-pituitary-adrenal axis
IBD	=	Inflammatory bowel disease
IGFs	=	Insulin-like growth factors
Inc	=	Incorporated
K3	=	Menadione; 2-methyl-1,4-naphthoquinone

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

kcal/kg	=	Kilocalories per kilogram
KCl	=	Potassium chloride
KH_2PO_4	=	Potassium dihydrogen phosphate
L	=	Lymphocyte
I^*	=	Lightness
L.	=	Liter
L^*	=	Low density
LOHAS	=	Lifestyles of health and sustainability
LPL	=	lipoprotein lipase
Met + Cys	=	L-Methionyl-L-Cysteine;
mg	=	Milligram
ml	=	Milliliter
$\text{ml}/10^3$	=	Milliliter per kilogram
ml/L	=	Milliliter per liter
Mn	=	Manganese
mTORC1	=	Mammalian target of rapamycin complex 1
Na_2HPO_4	=	Disodium hydrogen phosphate dihydrate
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	=	Di-Sodium hydrogen phosphate dihydrate
NaCl	=	Sodium chloride
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	=	Sodium dihydrogen phosphate dihydrate
ng/ml	=	Nanograms per milliliter
OR	=	Organic system
CG	=	Control group
P	=	Phosphorus
PBC	=	Partitioned battery cage
PBS	=	Phosphate buffered saline
PCC	=	plasma corticosterone concentration
pH	=	Potential of hydrogen
PSD95	=	Postsynaptic density protein 95

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PSE	=	Pale soft exudative
REDD1	=	Regulated in DNA damage and repair
RSG	=	Rural slow-growing
RSGR	=	Rural slow-growing red island red
SBL	=	Super black strain
SBR	=	Super brown strain
SD	=	Standard deviation
Se	=	Selenium
SG	=	Slow-growing
SR-B1	=	Scavenger receptor class B, type 1
SRC	=	Short-rotation coppice
TFR	=	Radiational free-range
USA	=	United States of America
w/v	=	Weight per volume of solution
WBS	=	Warner-Bratzler shear force
WHC	=	Water-holding capacity
xg	=	Units of times gravity
XTM	=	X-ray imaging and X-ray tomographic microscopy
Zn	=	Zinc
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
น.	=	นาฬิกา
ม.ม.	=	มิลลิเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากไก่ที่เลี้ยงตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ได้รับความนิยมอย่างมากในตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) เนื่องจากเนื้อไก่มีคุณภาพสูงและสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอย่างชัดเจน (Escobedo del Bosque et al., 2021) ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic system) และระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range system) ถือเป็นแนวทางการเลี้ยงที่เปิดโอกาสให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติอย่างเต็มที่ เหมาะสมกับสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เช่น ไก่โคราช ซึ่งเป็นไก่พื้นเมืองลูกผสมในกลุ่มไก่โตช้า (slow-growing chicken) ที่มีความทนทานต่อโรคและมีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ดี (คณะผู้วิจัยโครงการสายพันธุ์ไก่เนื้อโคราช เพื่อการผลิตเป็นอาชีพวิสาหกิจชุมชน, 2557) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการเลี้ยงไก่โคราชส่วนใหญ่ยังคงใช้การเลี้ยงแบบขังรวมในระบบโรงเรือนเปิด ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเครียดต่อสัตว์ เพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าวเคยมีการศึกษาใช้สารเสริมต่าง ๆ เช่น แร่ธาตุ วิตามิน แคลโรทีนอยด์ ฟีนอลิก และกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ (Attia et al., 2017; Mir et al., 2018; Hu et al., 2019; Pertiwi et al., 2022; Teyssier et al., 2022) แต่การแก้ไขด้วยวิธีนี้อาจไม่ยั่งยืนเนื่องจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในระบบการเลี้ยงยังคงเป็นต้นเหตุสำคัญของความเครียดในสัตว์ ด้วยเหตุนี้ผลกระทบของระบบการเลี้ยงต่อดัชนีชี้วัดความเครียดในไก่จึงเป็นประเด็นที่ควรได้รับการศึกษาอย่างละเอียด จากการทบทวนเอกสารพบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่โคราช แต่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้มีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่ดีขึ้น (Molee et al., 2022) การมีพื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือนจึงไม่เพียงแต่ช่วยให้ไก่แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติเท่านั้น แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการลดความเครียดส่งผลต่อสุขภาพและส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีแก่ไก่ ความเครียดในไก่ส่งผลให้ร่างกายผลิตฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ (corticosterone) ในปริมาณสูง ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (H/L ratio) ทั้งสองพารามิเตอร์นี้ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเครียดในสัตว์ปีกอย่างแพร่หลาย (de Kloet et al., 2008) โดยภาวะความเครียดส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลงและคุณภาพเนื้อลดลง อย่างไรก็ตามจากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนในระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ ค่า H/L ratio สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อของไก่ที่เลี้ยงในระบบต่าง ๆ (Cotter, 2015; Li et al., 2017; Sanchez-Casanova et al., 2019; Davoodi and Ehsani, 2020; Çürek et al., 2022; Molee et al., 2022) ซึ่งอาจสะท้อนให้เห็นว่าพารามิเตอร์เหล่านี้ยังไม่

ครอบคลุมเพียงพอที่จะชี้วัดความเครียดจากระบบการเลี้ยงได้อย่างเต็มที่ ความเครียดมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงและรบกวนกระบวนการทำงานของสมองในระดับเชิงลึก โดยระบบประสาททำหน้าที่เป็นตัวกลางสำคัญที่เชื่อมโยงการตอบสนองทั้งทางร่างกายและพฤติกรรมของสัตว์กับสิ่งเร้าจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ มีงานศึกษาจากสัตว์ทดลอง เช่น หนู พบว่าการถูกเลี้ยงในสภาวะเครียดเรื้อรัง (chronic stress) นำไปสู่การลดลงของพฤติกรรมตามธรรมชาติ และเพิ่มพฤติกรรมก้าวร้าว ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้ถูกควบคุมโดยระบบประสาทสมองที่มีการตอบสนองแตกต่างกันตามลักษณะของสิ่งเร้า (Godoy et al., 2018; Chenani et al., 2022) เมื่อหนูเผชิญความเครียดสมองส่วนไฮโปทาลามัสจะกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์มากขึ้น ส่งผลให้สารสื่อประสาทบางชนิดถูกยับยั้งการสังเคราะห์เซลล์ประสาทโดยเฉพาะ mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) ลดลง ซึ่ง mTORC1 มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกลไกการเจริญเติบโตของเซลล์ผ่านการดึงกลูโคสและกรดอะมิโนมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน หาก mTORC1 ถูกยับยั้ง การเจริญเติบโตของเซลล์และการสร้างเนื้อเยื่อโดยรวมจะลดลง ส่งผลให้โครงสร้างสมองฝ่อและประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทลดลงตามไปด้วย (Godoy et al., 2018; Chenani et al., 2022) ด้วยเหตุนี้สมองจึงไม่เพียงแต่เป็นศูนย์ควบคุมการทำงานระดับเซลล์ในร่างกายเท่านั้น แต่ยังเป็นตัวชี้วัดที่ชัดเจนและครอบคลุมถึงผลกระทบของความเครียดในสัตว์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิค X-ray imaging และ X-ray tomographic microscopy (XTM) (Betz et al., 2007) มาใช้เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างสมองของไก่โคราชที่ถูกเลี้ยงในระบบที่แตกต่างกัน โดยวิธีการนี้จะช่วยให้สามารถเชื่อมโยงการทำงานของสมองกับพฤติกรรมและดัชนีความเครียดของไก่ได้อย่างลึกซึ้งขึ้น ซึ่งจะเป็นแนวทางใหม่ในการประเมินและพัฒนาระบบการเลี้ยงที่ลดความเครียดและส่งเสริมสวัสดิภาพสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมในไก่โคราช

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อดัชนีความเครียดในไก่โคราช

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมองของไก่โคราช

1.3 สมมุติฐาน

1.3.1 ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการแสดงออกของพฤติกรรมในไก่โคราชที่แตกต่างกัน

1.3.2 ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อดัชนีความเครียดในไก่โคราชที่แตกต่างกัน

1.3.3 ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อโครงสร้างสมองของไก่โคราชที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ไก่โคราชเป็นตัวแทนของไก่กลุ่มที่มีการเจริญเติบโตช้า (slow-growing chicken) โดยดำเนินการทดลองภายใต้พื้นที่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งการดำเนินงานทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานการทำปศุสัตว์ตามแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่พื้นเมืองแบบเลี้ยงปล่อย พ.ศ. 2560 สำหรับระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ในการทดลองนี้ ได้ใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มาจากเกษตรกรผู้ผลิตถั่วเหลืองและปลายข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์อย่างถูกต้องตลอดระยะเวลาการศึกษา การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อระดับความเครียดของไก่โคราช โดยพิจารณาจากโครงสร้างของสมองเป็นสำคัญ ซึ่งดำเนินการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray tomographic microscopy (XTM) ณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้เก็บข้อมูลพฤติกรรมและดัชนีชี้วัดความเครียดเพื่อใช้ในการสนับสนุนและยืนยันผลการศึกษาถึงอิทธิพลของระบบการเลี้ยงที่มีต่อภาวะความเครียดของไก่โคราชอย่างรอบด้าน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเลี้ยงแบบอินทรีย์ แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และแบบทั่วไป ต่อการแสดงพฤติกรรม ดัชนีชี้วัดความเครียด และโครงสร้างสมองของไก่โคราช ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจทางชีววิทยาของสัตว์ปีก และสามารถนำไปใช้พัฒนาระบบการเลี้ยงที่เหมาะสมและสอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ โดยเฉพาะระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ และกึ่งขังกึ่งปล่อยที่เปิดโอกาสให้ไก่แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ ช่วยลดความเครียดจากสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของสัตว์และสอดคล้องกับแนวทางการผลิตที่ให้ความสำคัญกับสวัสดิภาพสัตว์และความปลอดภัยของอาหาร นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงสร้างสมองด้วยเทคนิค X-ray tomographic microscopy (XTM) ยังช่วยให้เห็นภาพชัดเจนขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของระบบการเลี้ยงต่อสมองไก่ ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ประเมินสุขภาพสัตว์และพัฒนาแนวทางลดความเครียดในสัตว์ปีก โดยเน้นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการจัดการที่เป็นธรรมชาติแทนการพึ่งพาสารเสริมหรือสารเคมีในอาหารสัตว์ และระดับมาตรฐานการเลี้ยงไก่โคราชให้สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ ส่งเสริมคุณภาพเนื้อผลิตภัณฑ์ พร้อมสร้างทางเลือกใหม่ในการเลี้ยงและการจัดการฟาร์มที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปเพื่อสนับสนุนการพัฒนาฟาร์มอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสำหรับเกษตรกร

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคที่ตระหนักถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ในปัจจุบัน

การบริโภคเนื้อไก่ทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณการบริโภคเนื้อไก่เฉลี่ย 32.4 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 35.3 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในปี ค.ศ. 2025 ทั้งนี้ อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ได้มีการขยายและเติบโตอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับต่อความต้องการของผู้บริโภค (Debbarma et al., 2024) อย่างไรก็ตามไก่ในฟาร์มที่เลี้ยงกันอยู่ในปัจจุบัน เป็นสัตว์ที่ได้มาจากการคัดเลือกพันธุ์ให้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง และถูกเลี้ยงในพื้นที่จำกัด ส่งผลให้สัตว์เหล่านี้มีสรีรวิทยาและพฤติกรรมแตกต่างไปจากบรรพบุรุษเดิม ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักรู้และผลักดันให้มีการคำนึงถึงในเรื่องของสวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) มากขึ้น เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของสัตว์ในฟาร์มให้ดีขึ้น นำไปสู่การสร้างมาตรฐานการทำปศุสัตว์ภายใต้หลักสวัสดิภาพสัตว์ โดยสหภาพยุโรป (EU) นับเป็นภูมิภาคแรกๆ ที่ริเริ่มการผลักดันมาตรฐานสวัสดิภาพสัตว์ให้กลายเป็นหลักเกณฑ์ในระดับนานาชาติ ด้วยมองว่าสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความรู้สึก โดยได้หยิบยกหลักอิสระภาพ 5 ประการ ในการปฏิบัติต่อสัตว์ ประกอบด้วย ความเป็นอิสระจากความหิวกระหาย (freedom from hunger and thirst), อิสระจากความไม่สบายกาย (freedom from discomfort), อิสระจากความเจ็บปวดและโรค (freedom from pain injury and disease), อิสระจากความกลัวและความทุกข์ทรมาน (freedom from fear and distress) และอิสระในการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ (freedom to express normal behavior) ซึ่งฟาร์มปศุสัตว์ในทั่วโลกยอมรับข้อกำหนดการเลี้ยงตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ นำไปสู่การพยายามพัฒนาระบบการจัดการฟาร์มที่สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ จึงเกิดระบบการเลี้ยงแบบทางเลือก (alternative rearing system) ขึ้น (Webster, 2016) โดยมีรูปแบบการเลี้ยงอย่างน้อยในปัจจุบัน 5 รูปแบบ ได้แก่ 1. การเลี้ยงไก่แบบดั้งเดิม (yarding) คือการเลี้ยงเพื่อบริโภคภายในครัวเรือนหรือเลี้ยงในสวนหลังบ้านที่ให้อิสระกับไก่แต่อยู่จำกัดพื้นที่การเลี้ยงภายใต้อาณาเขตครัวเรือน 2. การเลี้ยงไก่แบบมีพื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือน (outdoor) คือการจัดสรรพื้นที่ขนาดเล็กในคอกให้มีส่วนที่ยื่นออกไปข้างนอกเพียงเล็กน้อยโดยไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่แปลงหญ้านอกโรงเรือน 3. การเลี้ยงไก่แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range) คือการเลี้ยงที่มีโรงเรือนเป็นที่พักให้ไก่และมีอาหารและน้ำให้กิน โดยมีพื้นที่ปล่อยภายนอกโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบ outdoor ไก่สามารถเข้าถึงพื้นที่แปลงหญ้ากลางแจ้งในธรรมชาติได้ 4. การเลี้ยงไก่แบบปล่อยทุ่ง (pasture-raised) คือการเลี้ยงไก่แบบอิสระตลอดเวลาบนพื้นที่กว้างกว่าแบบ free-range โดยไก่จะหาอาหาร

กินเองตามธรรมชาติ หาทักพิงตามธรรมชาติ และกินน้ำจากแหล่งธรรมชาติ และ 5. การเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์ (organic) คือการเลี้ยงด้วยระบบอินทรีย์ที่ควบคุมพื้นที่การเลี้ยง ปราศจากสารเคมี ยาปฏิชีวนะ ฮอร์โมน และอาหารที่ใช้เลี้ยงต้องเป็นวัตถุดิบที่มาจากพืชปลอดสารเคมีและยาฆ่าแมลงทั้งหมด และมีพื้นที่อิสระให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติทั้งภายในและนอกโรงเรือน

ในปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงที่ได้ความนิยมและมีการผลิตมากที่สุดคือ ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปในเชิงพาณิชย์ (conventional) ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่สามารถเข้าถึงเนื้อไก่ที่ได้จากระบบนี้เพราะมีราคาถูกเหมาะสมสำหรับผู้มีรายได้ทุกระดับ อย่างไรก็ตามมีกลุ่มผู้บริโภคในตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) อาทิเช่น ผู้บริโภคกลุ่มคนรักสุขภาพ (healthy) กลุ่มผู้สูงอายุรุ่นใหม่ (silver gen) กลุ่มผู้บริโภคระดับบน (luxury) และกลุ่มผู้บริโภค LOHAS (lifestyle on health and sustainability) เป็นต้น มีความต้องการบริโภคเนื้อไก่ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทางเลือก ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคเหล่านี้มีความพึงพอใจและต้องการสินค้าที่สะอาด ปลอดภัย และมีคุณค่าทางอารมณ์หรือจิตใจ (Grzybowska-Brzezińska et al., 2023) ซึ่งระบบการเลี้ยงแบบทางเลือกสามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภค และสามารถสร้างอาชีพให้กับเกษตรกรที่เลี้ยงไก่ในระบบการเลี้ยงแบบทางเลือก แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในระบบการเลี้ยงแบบทางเลือกคือการใช้สายพันธุ์ไก่ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของภูมิประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีภูมิศาสตร์เป็นเขตร้อนชื้น มีธรรมชาติที่สมบูรณ์ และคนในประเทศนิยมบริโภคเนื้อไก่พื้นเมือง จึงมีฟาร์มไก่พื้นเมืองหรือลูกผสมพื้นเมืองอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งฟาร์มไก่พื้นเมืองส่วนใหญ่มีการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย สายพันธุ์ไก่พื้นเมืองมีความสามารถทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ดีจึงเหมาะกับระบบการเลี้ยงดังกล่าว ซึ่งไก่โคราช (Korat chicken) เป็นไก่พื้นเมืองลูกผสม (Thai native crossbred chicken) ที่เกิดจากพ่อพันธุ์เหลืองหางขาว และแม่พันธุ์ มทส. ซึ่งได้จากการพัฒนาพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นไก่กลุ่มโตช้า (slow-growing chicken) ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีรสชาติของเนื้อ และรสสัมผัสที่ดี ได้รับความนิยมในการเลี้ยงกระจายทั่วประเทศ ดังนั้นไก่โคราชจึงเหมาะกับการเลี้ยงแบบทางเลือก ถึงแม้ประเทศไทยจะรับซื้อปฏิบัติหลักสวัสดิภาพสัตว์ 5 ประการ จากสหภาพยุโรปตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบดัชนีชี้วัดที่บ่งชี้ถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ และดัชนีความเครียดที่ใช้ในการประเมินการเลี้ยงไก่แบบทางเลือก ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและยกระดับคุณภาพชีวิตสัตว์ การพัฒนารูปแบบการเลี้ยงที่คำนึงถึงทั้งผลผลิตและหลักสวัสดิภาพสัตว์จึงกลายเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในระดับสากล โดยเฉพาะระบบการเลี้ยงไก่แบบทางเลือก ซึ่งเปิดโอกาสให้สัตว์สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

2.2 ระบบการเลี้ยงไก่แบบทางเลือก

ระบบการเลี้ยงไก่ในปัจจุบันมีรูปแบบการเลี้ยงที่หลากหลายขึ้นอยู่กับต้นทุนในการผลิตของเกษตรกร โดยในปัจจุบันการเลี้ยงแบบทั่วไปหรือการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ (conventional) เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการผลิตไก่ทั้งรายใหญ่และรายย่อย เนื่องจากสามารถเลี้ยงและผลิตเนื้อไก่ได้จำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามยังมีการเลี้ยงรูปแบบอื่นที่สามารถผลิตเนื้อไก่และได้รับความนิยมนอกเหนือจากการเลี้ยงแบบทั่วไป อีกทั้งยังเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่อยู่ภายใต้หลักสวัสดิภาพสัตว์ ได้แก่ ระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range) หมายถึง ระบบการจัดการเลี้ยงไก่ที่ปล่อยให้ไก่ได้ออกมานอกโรงเรือนได้อย่างอิสระ ซึ่งพื้นที่ปล่อยจะเป็นพื้นที่ที่มีหญ้าปกคลุม ทำให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การคุ้ยเขี่ย การไถ่ดิน และการจิกกินอาหารตามธรรมชาติ เช่น พืช และแมลง โดยมีข้อกำหนดว่าต้องมีพื้นที่ภายในโรงเรือน 5 ตัว/ตร.ม. และพื้นที่นอกโรงเรือน 1 ตัว/ตร.ม. (เจนรงค์ และคณะ, 2559) ในขณะที่สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่สามารถใช้อาหารทางการค้าทั่วไปตามท้องตลาดได้ และระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic system) หมายถึง การเลี้ยงไก่แบบปล่อยตามธรรมชาติ โดยเน้นไปที่การให้ความสำคัญกับสุขภาพและสวัสดิภาพของสัตว์ มีพื้นที่ให้สัตว์ออกกำลังกาย และแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ โดยสหภาพยุโรปมีข้อกำหนดว่าต้องมีพื้นที่ในโรงเรือน 5 ตัว/ตร.ม. และพื้นที่นอกโรงเรือน 1 ตัว/4 ตร.ม. ไม่มีการใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโตที่อาจตกค้างในเนื้อ และอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ต้องคำนึงถึงคุณภาพอาหารสัตว์ ควรใช้วัตถุดิบที่ผลิตจากฟาร์มตนเองให้ได้มากที่สุด หรืออาจใช้วัตถุดิบจากพื้นที่ที่ได้รับรองเป็นพื้นที่อินทรีย์ โดยพื้นที่ปลูกจะต้องไม่เคยใช้ทำการเกษตร หรือไม่เคยใช้สารเคมีต้องห้ามอย่างน้อย 3 ปี หรือเป็นวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติ วัตถุดิบต้องเป็นไปตามหลักการเกษตรอินทรีย์ ไม่ขัดกับกฎหมายว่าด้วยการควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ และต้องมีส่วนประกอบของวัตถุดิบอินทรีย์ไม่ต่ำกว่า 70% ในกรณีที่ไม่สามารถจัดหาวัตถุดิบอินทรีย์ได้ 100% อาหารสัตว์ที่ใช้ต้องมีวัตถุดิบที่ผลิตในระบบอินทรีย์ในปริมาณไม่ต่ำกว่า 90% ของวัตถุดิบ และต้องได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2561) ในขณะเดียวกันการจัดการด้านสุขภาพสัตว์ต้องคำนึงถึงการป้องกันโรค และการลดความเครียด เพื่อให้สัตว์แข็งแรง มีภูมิคุ้มกันโรคโดยธรรมชาติ ในกรณีที่สัตว์เจ็บป่วย หรือได้รับบาดเจ็บควรเลือกใช้สมุนไพรธรรมชาติ หรือการรักษาด้วยแพทย์ทางเลือกก่อนการให้ยาแผนปัจจุบันหรือยาปฏิชีวนะ โดยพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพของสัตว์ โดยให้แยกสัตว์ป่วยออกจากฝูง และจัดให้อยู่ในโรงเรือนที่เหมาะสม หากมีการใช้ยาแผนปัจจุบันสัตว์ต้องพ้นสภาพจากการเป็นระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ และต้องมีการจดบันทึกการรักษาอย่างละเอียดถึงชนิดของยา การให้ยา และระยะหยุดยา (เจนรงค์ และคณะ, 2559) จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยงไก่มีความหลากหลายและมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านการจัดการพื้นที่เลี้ยง สูตรอาหาร และข้อกำหนดตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ โดยระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปเน้น

ประสิทธิภาพการผลิตเชิงปริมาณ ส่วนระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและแบบอินทรีย์มุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมพฤติกรรมตามธรรมชาติของสัตว์ ความเป็นอยู่ที่เหมาะสม และการผลิตที่ยั่งยืนมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาระบบการเลี้ยงที่เหมาะสมกับสัตว์ พื้นที่ และเป้าหมายของเกษตรกรในแต่ละบริบท ตลอดจนสนับสนุนแนวทางการผลิตที่ให้ความสำคัญกับทั้งคุณภาพผลิตผลและความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์อย่างแท้จริง

2.3 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

จากการทบทวนวรรณกรรมในตารางที่ 2.1 การเลี้ยงที่เปิดโอกาสให้ไก่สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้ เช่น การเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic system) แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range) และแบบมีพื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือน (outdoor) มีแนวโน้มให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่าระบบแบบทั่วไปและแบบกรงขัง อย่างไรก็ตามระบบการเลี้ยงแบบทางเลือกส่งเสริมให้ไก่ได้เคลื่อนไหวและได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติอย่างเต็มที่ จากการศึกษารายงานของ Wang et al. (2009) รายงานว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไปมีค่าน้ำหนักตัวสุดท้าย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการที่ว่าไก่ที่ถูกจำกัดพื้นที่เคลื่อนไหวจะสะสมพลังงานในร่างกายมากกว่าเนื่องจากใช้พลังงานในการเคลื่อนไหวน้อยกว่า ทำให้มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักที่รวดเร็วกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ซึ่งต้องออกแรงเดินหาอาหารมากขึ้นและมีระดับกิจกรรมสูงกว่าบนพื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือน ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Li et al. (2015) รายงานว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบขังกรงและเลี้ยงแบบปล่อยพื้นที่ภายในโรงเรือนมีน้ำหนักตัวสุดท้ายสูงกว่ากลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่สอดคล้องกับรายงานของ Wang et al. (2009) นอกจากนี้การศึกษารายงานของ İpek and Sözcü (2017) ได้เปรียบเทียบการเลี้ยงแบบทั่วไปกับการเลี้ยงแบบมีพื้นที่ปล่อยภายนอกโรงเรือนพบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีน้ำหนักตัวสุดท้ายต่ำกว่า แต่มีปริมาณอาหารที่กินและ FCR สูงกว่ากลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป ขณะที่งานของ Li et al. (2017) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีน้ำหนักตัวสุดท้ายต่ำกว่าแบบที่เลี้ยงปล่อยพื้นที่ในโรงเรือน แต่มีปริมาณอาหารที่กินและ FCR ไม่แตกต่างจากไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นที่ในโรงเรือน นอกจากนี้งานศึกษาของ Molee et al. (2022) ที่เปรียบเทียบการเลี้ยงแบบทั่วไปกับการเลี้ยงแบบอินทรีย์พบว่า แม้ไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์จะมีปริมาณอาหารที่กินและ FCR ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักตัวสุดท้ายและอัตราการเพิ่มของน้ำหนักตัว ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตไม่ใช่เพียงแค่อาหาร ยังมีปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อมในระบบการเลี้ยง โดยรวมแล้วตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากไก่ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดีและมีการดำรงชีวิตอย่างสะดวก

และมีอิสระ จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีหลายปัจจัยเข้ามามีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ถึงแม้ว่าจะมีบางรายงานที่ให้ผลแตกต่างกัน แต่จากรายงานส่วนใหญ่มีผลไปในทางเดียวกันคือการเลี้ยงไก่ในระบบการเลี้ยงแบบทางเลือกมีผลต่อการเจริญเติบโตในไก่ที่ต่ำลง

2.4 ระบบการเลี้ยงไก่ที่ต่างกันต่อองค์ประกอบซาก

การเลี้ยงสัตว์ปีกในปัจจุบันมีแนวโน้มให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลผลิตและสวัสดิภาพสัตว์มากขึ้น ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปหรือแบบทางการค้า (conventional) อาจส่งผลให้สัตว์มีข้อจำกัดในการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลต่อความเครียด พฤติกรรม และคุณภาพของผลผลิตในระยะยาว งานศึกษาหลายชิ้นผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ระบบการเลี้ยงที่เปิดโอกาสให้สัตว์เคลื่อนไหวหรือมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น เช่น การเลี้ยงแบบอินทรีย์ และการเลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยมีแนวโน้มส่งผลดีต่อโครงสร้างร่างกายและลดการสะสมของไขมันในช่องท้อง จากการทบทวนงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า ระบบการเลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อย (Free-range) มักส่งผลให้มีปริมาณการสะสมไขมันในช่องท้องลดลงเมื่อเทียบกับระบบการเลี้ยงแบบปล่อยพื้นในโรงเรือนและแบบขังกรง จากการศึกษาของ Wang et al. (2009) พบว่า ไก่สายพันธุ์ Gushi ที่เลี้ยงแบบทั่วไปมีสัดส่วนไขมันในช่องท้องสูงกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยแต่สัดส่วนเนื้ออกไม่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกันการศึกษาของ Li et al. (2017) เปรียบเทียบไก่สายพันธุ์ Lingnan-hung พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบขังกรงและเลี้ยงแบบปล่อยพื้นในโรงเรือนมีไขมันช่องท้องสูงกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อย และการศึกษาของ Molee et al. (2022) รายงานว่า การเลี้ยงแบบอินทรีย์ทำให้สัดส่วนไขมันในช่องท้องต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่สัดส่วนกล้ามเนื้ออกส่วนนอก (Pectoralis major) และเนื้ออกส่วนใน (Pectoralis minor) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Poktowicz and Doktor (2011) รายงานว่า ไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้าที่เลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยมีไขมันในช่องท้องไม่แตกต่างจากการเลี้ยงแบบทั่วไป จากการทบทวนเอกสารพบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อการลดระดับการสะสมของไขมันในช่องท้อง ดังตารางที่ 2.2

2.5 ระบบการเลี้ยงไก่ที่ต่างกันต่อคุณภาพเนื้อ

ไก่ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยไม่ส่งผลต่อค่า pH ในเนื้อไก่เมื่อเทียบกับกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป (Ying et al., 2017, Davoodi and Ehsani, 2020) และการเลี้ยงแบบอินทรีย์ไม่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อไก่เมื่อเทียบกับกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป (Molee et al., 2022) แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ส่งผลต่อค่า pH ในเนื้อไก่สูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป (Alvarado et al., 2005) ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า pH ที่ต่ำหรือสูงเป็นผลอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างการเลี้ยง และความเครียดที่เกิดขึ้นแบบฉับพลันก่อนการฆ่า ซึ่งการเกิด

ความเครียดในระหว่างการเลี้ยงจะกระตุ้นการสลายไกลโคเจน ทำให้การสะสมไกลโคเจนลดลง ซึ่งโดยปกติในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่จะเกิดกระบวนการสลายไกลโคเจนเป็นกรดแลคติกที่ทำให้เนื้อมีความเป็นกรดมากขึ้น ส่งผลให้ค่า pH ลดลง โดยค่า pH มีความสัมพันธ์กับค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (cooking loss) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ซึ่งจากการศึกษาของ Li et al. (2017) พบว่าการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยทำให้มีค่า shear force เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป และการศึกษาของ Molee et al., 2022 พบว่า การเลี้ยงแบบอินทรีย์ส่งผลให้ค่า shear force เพิ่มขึ้นสูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งค่า shear force แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์และขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เมื่อไก่มีจำนวนเซลล์และขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่า shear force ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า shear force บ่งบอกถึงความเหนียวของเส้นใยกล้ามเนื้อและเป็นดัชนีที่สามารถตรวจวัดคุณภาพเนื้อได้ จากรายงานที่กล่าวมาการที่ไก่ได้มีการแสดงพฤติกรรมที่ส่งเสริมการทำกิจกรรมในการดำรงชีวิตจะช่วยเพิ่มการขยายตัวของเซลล์กล้ามเนื้อแบบ hypertrophy ที่มีการซ่อมแซมกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายหรือบาดเจ็บ ดังนั้นระบบการเลี้ยงที่สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยหรือแบบอินทรีย์จะส่งผลต่อความสามารถในการเพิ่มขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งมีผลต่อปริมาณเนื้อมากและเนื้อสะโพกที่เพิ่มขึ้นจากการมีกิจกรรมที่เคลื่อนไหวและออกกำลังกายนอกโรงเรือน (Chargé and Rudnicki, 2004) ดังตารางที่ 2.3 และจากการทบทวนเอกสารพบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและระบบอินทรีย์มีค่า yellowness สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือน โดยศึกษาของ Stadig et al. (2016) พบว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าความเหลืองของเนื้อสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป ในทำนองเดียวกัน Gálvez et al. (2020) รายงานว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์มีระดับความเหลืองของเนื้อสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป ขณะที่งานของ Molee et al. (2022) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์มีค่าความเหลืองของเนื้อสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาที่พบว่าระบบการเลี้ยงไม่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ (Davoodi and Ehsani, 2020) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีของเนื้อคืออาหาร ซึ่งการใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารจะมีปริมาณสารสี lutein- zeaxanthin มาก อีกทั้งมาจากการที่ไก่สามารถเข้าถึงพื้นที่ภายนอกได้มากขึ้น จึงได้รับสารสีจากธรรมชาติมากขึ้น เช่น สารสีกลุ่ม xanthophyll, tocopherols และ tocotrienols ที่พบได้ทั้งในหญ้า แมลง หนอน และไส้เดือน เป็นต้น ซึ่งมีส่วนในการปรับปรุงคุณภาพสีของเนื้อไก่

2.6 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์

จากการทบทวนเอกสาร (ตารางที่ 2.4) ในการศึกษาของ Alabi et al. (2015) พบว่า การเลี้ยงไก่ในกรงเดี่ยวแบบปกติมีอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์ (H/L ratio) ที่

สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงในกรงเดี่ยวแบบกว้าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sanchez-Casanova et al. (2019) พบว่า ค่าอัตราส่วน H/L ratio ในระบบโรงเรือนแบบทั่วไปสูงกว่าการเลี้ยงแบบกลางแจ้ง (outdoor) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดทางสรีรวิทยาว่า สัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูในสภาพแวดล้อมที่สามารถคาดการณ์ได้ (predictable) และมีสิ่งกระตุ้นที่ควบคุมได้ (controllable stimuli) มักมีแนวโน้มหลังฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์น้อยกว่า ซึ่งสามารถสะท้อนภาวะความเป็นอยู่ที่ดีกว่าในแง่ของสวัสดิภาพสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ Cotter. (2015) และ Çürek et al. (2022) พบว่า ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันของค่า H/L ratio ในขณะที่การศึกษาของ Alabi et al. (2015) พบว่า การเลี้ยงแบบ Deep Litter System (DLS) หรือการเลี้ยงแบบปล่อยบนพื้นกว้าง มีค่า H/L ratio ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบ Extended Battery Cage (EBC) หรือการเลี้ยงแบบกรงดับที่ขยายพื้นที่ และ Partitioned Battery Cage (PBC) หรือการเลี้ยงแบบกรงดับ จากการทบทวนเอกสารดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนถึงผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโทโรฟิลและลิมโฟไซต์ ทั้งนี้เนื่องจากสายพันธุ์ที่นำมาทดลอง อายุ หรือสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจวัดความเครียดโดยใช้ค่าอัตราส่วน H/L ratio ยังไม่เพียงพอที่จะบ่งชี้ถึงผลกระทบที่เกิดจากความเครียดในไก่ เนื่องจากระบบการเลี้ยงที่ไม่สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ก่อให้เกิดความเครียด เมื่อไก่เกิดความเครียดจะนำไปสู่การเกิดสารอนุมูลอิสระ (free radicals) และเกิดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ในร่างกายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถทำให้เซลล์เกิดความเสียหาย จนนำไปสู่การอักเสบ โดยกลไกการทำงานของสมองจะกระตุ้นการผลิตฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์และส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายผ่านกระแสเลือด โดยปริมาณของฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโทโรฟิลและลิมโฟไซต์ ซึ่งยับยั้งการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้สัตว์ป่วยและติดเชื้อโรคได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโทโรฟิลในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ลดลง ค่าอัตราส่วน H/L ratio จึงสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสัตว์ที่มีสภาวะร่างกายปกติ (Maxwell and Roberson, 1998)

2.7 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์

ระบบการเลี้ยงไก่ภายใต้ระบบการเลี้ยงที่ไม่สอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ก่อให้เกิดความเครียดภายในตัวสัตว์ โดยสมองมีกลไกการทำงานเพื่อตอบสนองต่อความเครียดโดย hypothalamus ผลิต corticotropin releasing hormone (CRH) ไปกระตุ้น corticotropic cell ใน pituitary gland ผลิต adrenocorticotrophic hormone (ATCH) ไปกระตุ้นการทำงานของต่อมหมวกไตส่วนนอกให้สังเคราะห์ฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ ซึ่งเป็นฮอร์โมนสเตียรอยด์ (steroid hormone) มีบทบาทในการตอบสนองต่อความเครียด โดยควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

การอักเสบ การเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การสลายของโปรตีน ควบคุมระดับอิเล็กโทรไลต์ในเลือด และการแสดงออกของพฤติกรรม (de Kloet et al., 2008) ในการศึกษาของ Sanchez-Casanova et al. (2019) พบว่า ระบบการเลี้ยงไม่มีผลต่อปริมาณฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Çürek et al. (2022) ที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน แต่ Sanchez-Casanova et al. (2019) กลับพบว่า สายพันธุ์ไก่กลุ่มโตเร็วมีปริมาณฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์สูงกว่าไก่กลุ่มโตช้า อย่างไรก็ตามกลับไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Wan et al. (2021) พบว่า ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในแม่ไก่ไข่ โดยกลุ่มแม่ไก่ที่เลี้ยงในระบบพื้นปฐพี (LRS: floor-litter housing system) มีระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงในระบบตาข่ายพลาสติก (NRS: plastic-net housing system) ในงานของ Wan et al. (2021) อธิบายถึงความซับซ้อนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงกับกลไกการตอบสนองต่อความเครียดของสัตว์ที่อาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีพื้นฐาน ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Pia Franciosi et al. (2005) พบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์สูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่ไม่พบความแตกต่างในการเลี้ยงแบบกรงขัง ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ เนื่องจากคอร์ติโคสเตอรอยด์เป็นฮอร์โมนที่มีช่วงเวลาการคงอยู่ในกระแสเลือดค่อนข้างสั้น โดยเฉลี่ยประมาณ 24 ชั่วโมง จึงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนระหว่างช่วงเวลาการเลี้ยงหรือกระบวนการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างเลือดจำเป็นต้องมีการจับและควบคุมตัวสัตว์ ซึ่งอาจกระตุ้นให้ไก่เกิดการตอบสนองต่อความเครียดจากสิ่งเร้าภายนอก ส่งผลให้ระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ในเลือดเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ อันเนื่องมาจากการตื่นตัวของระบบประสาทอัตโนมัติ ดังนั้นค่าที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาดังกล่าวจึงอาจไม่สะท้อนระดับความเครียดเรื้อรังที่แท้จริงของสัตว์ และอาจไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดสถานะความเครียดในไก่ได้อย่างแม่นยำและครอบคลุม

2.8 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมและสวัสดิภาพสัตว์

แนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพชีวิตของสัตว์เลี้ยงโดยการเพิ่มโอกาสให้สัตว์ได้รับประสบการณ์เชิงบวก เช่น การเล่น การสำรวจ และพฤติกรรมเพื่อสร้างความผ่อนคลาย ซึ่งเป็นตัวชี้วัดของความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ การเพิ่มความหลากหลายของสิ่งแวดล้อม (environmental enrichment) สามารถช่วยกระตุ้นพฤติกรรมเหล่านี้ได้ ในกรณีของไก่เนื้อ จากการศึกษาพบว่า การให้สิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้นสามารถส่งเสริมพฤติกรรมเชิงบวก เช่น การเล่น (running, play-fighting, wing flapping, jumping, running) การสำรวจ และพฤติกรรมเพื่อสร้างความผ่อนคลายโดยเฉพาะเมื่อมีพื้นที่เพียงพอ (Vas et al., 2023) ไก่ที่ได้รับสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่หลากหลายและมีพื้นที่กว้างขึ้นมีแนวโน้มจะแสดงพฤติกรรม

เหล่านี้มากขึ้น ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะทางอารมณ์ที่ดีขึ้น การเพิ่มสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในฟาร์มเชิงพาณิชย์อาจช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตของไก่ได้ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดด้านต้นทุน ความปลอดภัยทางชีวภาพ และความหนาแน่นของไก่ภายในโรงเรือน (BenSassi et al., 2019) จากการทบทวนข้อมูลผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงพฤติกรรม ดังตารางที่ 2.6 จากการศึกษาของ Sanchez-Casanova et al. (2019) พบว่า การเลี้ยงแบบมีพื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือน (outdoor) ไก่แสดงพฤติกรรมออกมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงแบบในโรงเรือน (indoor) ได้แก่ การนอน การหาอาหาร และการยืน รองลงมาคือ การเดิน และการวิ่ง นอกจากนี้การแสดงพฤติกรรมยังเปลี่ยนแปลงไปตามอายุของไก่ในแต่ละช่วง โดยพบว่า พฤติกรรมการนอนจะลดลงหลังไก่มีอายุ 7 สัปดาห์ ในขณะที่พฤติกรรมการเดินจะเพิ่มขึ้นหลังอายุ 9 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังมีการแสดงออกของพฤติกรรมการวิ่งมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5, 10 และ 11 ในขณะเดียวกันไก่ในช่วงอายุ 11 สัปดาห์ ก็แสดงพฤติกรรมการสำรวจพื้นที่มากกว่าทุกช่วงอายุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ghayas et al. (2021) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีการแสดงออกของพฤติกรรมการกินอาหาร การกินน้ำ การกระพือปีก การเดิน การอาบฝุ่น และการจิกกินอาหารบนพื้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป การแสดงออกของพฤติกรรมเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการประเมินสวัสดิภาพสัตว์ในไก่ พฤติกรรมธรรมชาติ เช่น การเกาะคอน การอาบฝุ่น และการแสดงพฤติกรรมตื่นกลัว สามารถบ่งบอกถึงระดับความเป็นอยู่ที่ดีของไก่ได้ ทั้งนี้ พฤติกรรมบ่งชี้ถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์จะเชื่อมโยงถึงการประเมินสุขภาพไก่ทางกายภาพที่เป็นอีกตัวบ่งชี้ถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ จากการทบทวนข้อมูล (ตารางที่ 2.7) การศึกษาของ van Staaveren et al. (2021) พบว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบไม่ขังกรงที่มีสิ่งเร้าในคอกมีคะแนนการประเมินสวัสดิภาพสัตว์ต่ำกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบขังกรง และการศึกษาของ Ghayas et al., (2021) พบว่า ไก่สายพันธุ์ทางการค้าที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีความเสียหายจากการจิกขน บาดแผลบริเวณอุ้งเท้า และบาดแผลบริเวณข้อเข่าต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป และจากการศึกษาของ Phillips and Hannah et al. (2021) พบว่า ไก่เนื้อทางการค้าในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่มีความหนาแน่นของฝูงต่ำมีอัตราความเสียหายที่เกิดจากการจิกขนบริเวณหางต่ำกว่ากลุ่มเดียวกันที่มีความหนาแน่นของฝูงสูง อย่างไรก็ตามไม่พบการแสดงพฤติกรรมก้าวร้าวประเภทต่อสู้ที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงในกลุ่มการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยทั้งแบบความหนาแน่นฝูงต่ำและความหนาแน่นฝูงสูง พฤติกรรมที่นำไปสู่การทำร้ายหรือก่อให้เกิดความเสียหายแก่ไก่ตัวอื่นผ่านการจิกตีมักสัมพันธ์กับปัจจัยความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมในระบบการเลี้ยง อาทิเช่น พื้นที่แออัด สภาพอากาศร้อน ไม่ได้รับอาหารและน้ำที่เพียงพอ หรือถูกรบกวนจากสิ่งเร้าในบริเวณโรงเรือน เมื่อสัตว์เกิดความเครียดสะสมเป็นระยะเวลานาน ส่งผลต่อกระบวนการทำงานของสารสื่อประสาทในสมองพยายามสร้างสถานการณ์ให้เกิดความผ่อนคลาย จึงเป็นเหตุให้ไก่เกิดการแสดงพฤติกรรมก้าวร้าวออกมา ดังนั้นพฤติกรรมก้าวร้าวที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บสัมพันธ์กับสมองที่เป็นตัวกระตุ้นให้การทำงานของร่างกาย จึงมีควรที่ควรการศึกษาอย่างลึกซึ้งถึงกลไกทางประสาทที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกทางพฤติกรรมภายใต้ภาวะความเครียด เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างปัจจัยแวดล้อม สมอง และพฤติกรรมได้อย่างรอบด้าน

ตารางที่ 2.1 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

Raising system	Final body weight (g)	Daily weight gain (g)	Feed intake (g)	Body weight gain (g)	FCR	References
Indoor	1,610.50 ^a	-	-	1,256.80 ^a	-	Wang et al.
Free-range	1,419.40 ^b	-	-	1,065.70 ^b	-	(2009)
Cage	2,984.70 ^a	-	-	-	-	Li et al.
Indoor- floor	2,853.20 ^a	-	-	-	-	(2015)
Free-range	2,460.40 ^b	-	-	-	-	
Indoor	2,986.80 ^b	-	2,701.50 ^b	646.10	2.60 ^b	İpek and
Outdoor	2,780.40 ^a	-	3,116.00 ^a	657.50	2.86 ^a	Sözcü (2017)
Cage	2,142.00 ^b	-	3,232.05 ^a	1,052.70 ^a	3.07 ^b	Li et al.
Indoor- floor	2,434.87 ^a	-	3,042.39 ^b	962.80 ^{ab}	3.16 ^a	(2017)
Free-range	2,089.47 ^b	-	2,861.43 ^b	884.50 ^b	3.24 ^a	
Control	1,480.31	-	3,634.74 ^a	1,434.60	2.54 ^a	Molee et al.
Organic	1,445.56	-	3,074.69 ^b	1,399.68	2.20 ^b	(2022)

ตารางที่ 2.2 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบซาก

Raising system	Types	Eviscerated carcass yield ² (%)	Breast yield ³ (%)	Pectoralis major yield ³ (%)	Pectoralis minor yield ³ (%)	Thigh yield ³ (%)	Drumstick meat yield ³ (%)	Leg muscle ³ (%)	Wing yield ³ (%)	Abdominal fat yield ³ (%)	References
Indoor	Gushi	69.90	17.44	-	-	26.68	-	-	11.49	6.50 ^a	Wang et al., (2009)
Free-range	(Female)	69.88	20.17	-	-	27.65	-	-	11.85	3.01 ^b	
Indoor	broiler			-	-	-	-	-	-		Pottowicz and Doktor (2011)
	(males)	73.09*	19.32*	-	-	-	-	18.28*	-	0.91*	
	Female	73.00*	20.63*	-	-	-	-	17.95*	-	0.56*	
Free-range	broiler			-	-	-	-	-	-		
	(males)	73.51*	18.06*	-	-	-	-	16.92*	-	1.66*	
	Female	73.87*	19.03*	-	-	-	-	17.92*	-	1.38*	
	SASSO	61.43 ^a	13.23 ^a	-	-	-	-	25.12	-	0.11 ^a	Hoan and Khoa., (2016)
Free-range	(Mixed sex)			-	-	-	-	-	-		
	ROSS 308	68.90 ^b	19.94 ^b	-	-	-	-	25.44	-	2.02 ^b	Li et al., (2017)
	(Mixed sex)			-	-	-	-	-	-		
Cage	Lingnan-	67.78 ^b	17.05 ^b	-	-	-	-	20.32 ^a	-	7.18 ^a	Li et al., (2017)
Indoor-floor	huang	69.08 ^a	18.89 ^a	-	-	-	-	19.17 ^b	-	7.56 ^a	
Free-range	(Female)	68.47 ^{ab}	17.98 ^{ab}	-	-	-	-	19.76 ^b	-	5.26 ^b	
Control	Korat	63.90	-	8.64	3.27	10.06	10.02	-	-	1.47 ^a	Molee et al., (2022)
Organic	(Mixed sex)	63.67	-	8.49	3.05	10.38	9.68	-	-	1.05 ^b	

หมายเหตุ: ^{a,b} values within a column with no common superscript differ significantly ($P < 0.05$). ²Calculated as a percentage of live BW. ³Calculated as a percentage of eviscerated carcass weight.* Non- significant

ตารางที่ 2.3 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อ

Raising system	Sex	Ultimate pH	Drip loss (%)	Cooking loss (%)	Shear force (WBS)	Water holding capacity (w/w)	Lightness (L*)	Redness (a*)	Yellowness (b*)	References
Control	-	5.72 ^b	-	23.10 ^a	4.42	-	-	-	-	Alvarado et al. (2005)
Organic		5.96 ^a	-	24.26 ^b	4.98	-	-	-	-	
Intensive		5.73 ^b	1.29 ^a	16.60	22.50	-	55.30 ^a	5.70	13.40 ^b	Stadig et al. (2016)
Free-range AS	Mixed	5.79 ^a	1.09 ^b	16.70	22.70	-	54.00 ^b	6.10	14.90 ^a	
Free-range SRC		5.76 ^{ab}	1.21 ^{ab}	16.60	23.10	-	53.90 ^b	6.30	14.70 ^a	
Cage		0.28 ^a	2.31 ^a	-	1.88 ^b	-	-	-	-	
Indoor	Male	0.25 ^b	2.07 ^b	-	2.13 ^{ab}	-	-	-	-	
Free-range		0.26 ^b	0.89 ^c	-	2.29 ^a	-	-	-	-	Li et al. (2017)
Cage		0.29	2.88 ^a	-	2.13 ^b	-	-	-	-	
Indoor	Female	0.27	2.13 ^b	-	2.19 ^b	-	-	-	-	
Free-range		0.26	2.29 ^b	-	2.41 ^a	-	-	-	-	
Control	Mixed	5.90 ^a	-	-	2.52 ^b	-	53.59	3.05 ^a	4.97 ^b	Da Silva et al. (2017)
Free-range		5.75 ^b	-	-	2.95 ^a	-	53.89	1.65 ^b	11.5 ^a	
Intensive	Mixed	5.77	29.33	3.24	-	53.03	59.92	7.29	11.01	Davoodi and Ehsani (2020)
Free-range		5.83	28.10	3.70	-	55.26	52.00	3.40	13.20	
Intensive										
Breast	Mixed	6.05 ^a	-	-	-	-	54.70	-1.31 ^b	7.90 ^c	
Drumstick		6.31	-	-			54.10 ^a	7.22 ^b	14.10 ^b	
Free-range										Galvez et al. (2020)
Breast	Mixed	5.68 ^b	-	-	-	-	54.00	3.76 ^a	20.80 ^a	
Drumstick		6.22	-	-	-	-	54.10 ^a	10.51 ^a	21.10 ^a	
Organic										
Breast	Mixed	5.74 ^b	-	-	-	-	56.50	0.30 ^b	10.00 ^b	
Drumstick		6.31	-	-	-	-	47.20 ^b	9.59 ^a	13.10 ^b	
Control	Mixed	5.40	11.93	22.84	2.17 ^b	-	52.21	-0.29 ^b	3.49 ^b	Molee et al. (2022)
Organic		5.35	12.27	23.09	2.63 ^a	-	51.37	0.35 ^a	7.27 ^a	

ตารางที่ 2.4 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์

System	Types	Density	Week	H/L ratio	Heterophils(%)	Lymphocytes(%)	References
PBC	SBL	-	17	0.55 ^a	33.02 ^a	60.05 ^c	Alabi et al. (2015)
	SBR			0.55 ^a	33.05 ^a	60.00 ^c	
EBC	SBL	-	17	0.43 ^b	28.10 ^b	65.00 ^b	
	SBR			0.42 ^b	28.00 ^b	65.90 ^b	
DLS	SBL	-	17	0.37 ^c	25.80 ^c	68.20 ^a	
	SBR			0.37 ^c	25.50 ^c	68.00 ^a	
AV	Hen	-	18	0.25	-	-	Cotter. (2015)
CC		-	18	0.16	-	-	
Outdoor	Broiler	Low	4	2.05 ^{ab}	56.60 ^{ab}	31.20 ^{ab}	Sanchez-Casanova et al. (2019)
			6	1.44 ^b	48.90 ^{bc}	40.40 ^a	
		High	4	1.46 ^b	46.40 ^{bc}	35.60 ^{ab}	
			6	2.07 ^{ab}	58.70 ^{ab}	29.70 ^{ab}	
Indoor	Broiler	Low	4	1.54 ^b	48.60 ^{bc}	35.90 ^{ab}	
			6	3.21 ^a	69.70 ^a	22.80 ^b	
		High	4	1.48 ^b	38.20 ^c	27.00 ^b	
			6	2.54 ^{ab}	64.60 ^a	27.60 ^{ab}	
EI	SG	-	-	1.40	-	-	Çürek et al., (2022)
FR		-	-	1.71	-	-	
TFR		-	-	1.67	-	-	
EI	FG	-	-	1.82	-	-	
FR		-	-	1.42	-	-	

หมายเหตุ: ^{a,b,c} means within a column with different superscript letters differ significantly (P<0.05). PBC: partitioned battery cage; EBC: = extended battery cage; DLS: deep litter system; SBL: super black strain; SBR: super brown strain; AV: aviary; CC: conventional cage; EI: extensive indoor; FR: free-range; TFR: traditional free-range; FG: fast growing; SG: slow-growing.

ตารางที่ 2.5 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์

System	Type	Corticosterone (ng/ml)	P-value	References
Cage (A)	ISA Brown hens	26.40	A-B = P<0.01	Pia Franciosini et al. (2005)
Conventional (B)		21.50	B-C = P<0.01	
Organic (C)		25.30	A-C = NS	
Outdoor	Broiler	1.31	0.60	Sanchez-Casanova et al. (2019)
Indoor		1.38		
NRS	Hen	106.73	0.05	Wan et al. (2021)
LRS		113.45		
Extensive indoor	Slow-growing	7.56 ^c	0.02	Çürek et al. (2022)
Free-range		7.13 ^c		
Traditional free-range		7.90 ^{bc}		
Extensive indoor	Fast-growing	12.05 ^a		
Free-range		9.98 ^{ab}		

หมายเหตุ : ^{a,b,c} means within a column with different superscript letters differ significantly (P<0.05); NRS, plastic-net housing system; LRS, floor-litter housing system; NS: not significant

ตารางที่ 2.6 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกทางพฤติกรรม

Rearing system	Types	Age (days)	Sitting (%)	Standing (%)	Feeding (%)	Drinking (%)	Resting (%)	Walking (%)	Preening (%)	Foraging (%)	Dust bath (%)	Wing flapping (%)	Scratching (%)	Pecking (%)	References
Outdoor (H)			-	4.49 ^a	14.70	6.22	64.80 ^{ab}	1.01 ^{ab}	5.28 ^{ab}	2.04 ^a	0.75	-	-	-	Sanchez-
(L)	FG	42d	-	2.46 ^b	16.40	6.27	64.20 ^{ab}	1.35 ^{ab}	5.56 ^{ab}	2.06 ^a	0.95	-	-	-	Casanova
Indoor (H)			-	2.78 ^{ab}	12.70	5.37	71.40 ^a	0.36 ^a	4.60 ^b	1.80 ^{ab}	0.84	-	-	-	et al. (2019)
(L)			-	2.72 ^{ab}	18.10	6.31	61.30 ^b	1.23 ^b	6.98 ^a	1.19 ^b	1.11	-	-	-	
Intensive	CFG		82.90 ^a	-	19.10 ^{bc}	7.30 ^b	-	1.83 ^d	-	-	1.03 ^f	1.17 ^d	0.63 ^f	3.20 ^a	
	CSG		54.67 ^c	-	16.63 ^{de}	5.70 ^{cd}	-	8.17 ^c	-	-	2.70 ^e	2.17 ^c	1.57 ^e	1.63 ^{bc}	
	CRG	22d	42.43 ^d	-	14.77 ^e	4.83 ^d	-	21.68 ^b	-	-	4.37 ^d	2.13 ^c	2.07 ^d	1.80 ^b	Ghayas et al.
Free-range	CFG		69.90 ^b	-	27.03 ^a	9.50 ^a	-	12.57 ^c	-	-	3.37 ^c	2.90 ^{b,c}	2.63 ^c	2.03 ^b	(2021)
	CSG		36.03 ^e	-	20.83 ^b	6.47 ^{bc}	-	22.10 ^b	-	-	5.23 ^b	3.47 ^b	3.40 ^b	2.97 ^a	
	CRG		28.93 ^f	-	17.53 ^{c,d}	5.50 ^{cd}	-	42.13 ^a	-	-	7.60 ^a	6.37 ^a	5.80 ^a	1.23 ^c	

หมายเหตุ : ^{a,b,c,d,e} means within a column with different superscript letters differ significantly (P<0.05). H: high density; L: low density; CFG: commercial fast-growing; CSG: commercial slow-growing; RSG: rural slow-growing.

ตารางที่ 2.7 ระบบการเลี้ยงไก่ที่แตกต่างกันต่อความเสียหายจากการจิกชน

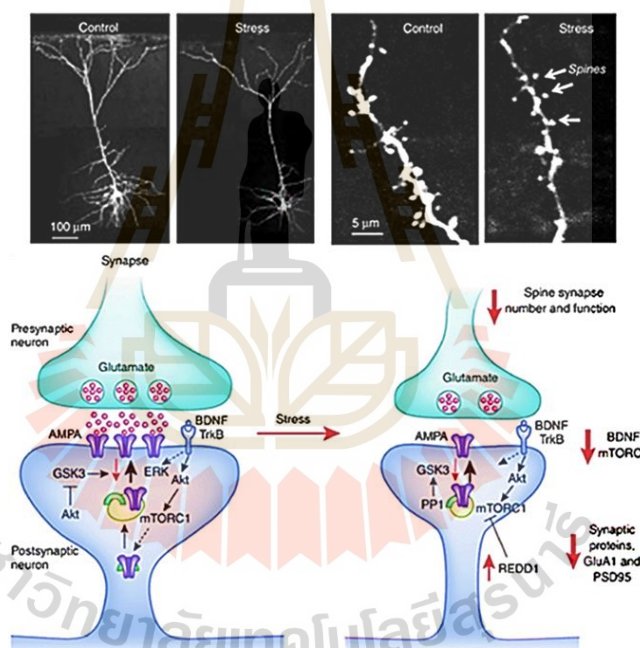
Rearing system	Types	Tail feather damage score	Feather score	Foot pad	Hock burns	Aggressive attack	References
Intensive	Commercial chicken	-	1.06 ^a	1.84 ^a	1.81 ^a	-	Ghayas et al. (2021)
Free-range		-	0.70 ^b	0.71 ^b	0.72 ^b	-	
Free-range high density	Gallus gallus domesticus L.	23.10 ^a	-	-	-	0.50	Phillips and Hannah (2021)
Free-range low density		11.90 ^b	-	-	-	0.10	
Cage	Laying hens	-	0.14 ^a	-	-	-	van Staaveren et al. (2021)
Non-cage		-	0.02 ^b	-	-	-	

หมายเหตุ : ^{a,b} means within a column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).

2.9 โครงสร้างและกระบวนการทำงานของสมองเมื่อถูกกระตุ้นจากความเครียด

ความเครียดคือ ปฏิกริยาตามธรรมชาติของร่างกายเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือความท้าทายต่าง ๆ ความเครียดมีผลให้เกิดการตอบสนองทางร่างกาย อารมณ์ และพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป ทุกสิ่งมีชีวิตต่างประสบกับความเครียดไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยความเครียดแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความเครียดเฉียบพลัน (acute stress) คือความเครียดระยะสั้นที่เกิดขึ้นและหายไปอย่างรวดเร็ว ความเครียดเฉียบพลันเป็นกลไกของร่างกายเพื่อกระตุ้นให้สัตว์ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสัญชาตญาณตามธรรมชาติของสัตว์เพื่อการดำรงชีวิต และความเครียดเรื้อรัง (chronic stress) คือความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานทำให้การผลิตสารสื่อประสาทและฮอร์โมนเกิดความผิดปกติ ส่งผลต่อการทำงานของร่างกายที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความเครียดได้ ซึ่งความเครียดจากความร้อนหรือการถูกรบกวนจากสิ่งเร้าในพื้นที่การเลี้ยงที่ไก่ต้องพบเจอในช่วงกลางวันและกลางคืนตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงส่งผลให้ไก่กำลังเผชิญกับความเครียดแบบเรื้อรัง โดยความเครียดที่เกิดขึ้นจะไปกระตุ้น hypothalamus หลั่ง corticotropin releasing hormone ไปกระตุ้นการทำงานของ corticotrophic cell ใน pituitary gland สร้าง adrenocorticotrophic hormone ไปยังอวัยวะเป้าหมายที่ adrenal และสร้าง corticosteroids กระจายไปทั่วร่างกายผ่านกระแสเลือด ภายใต้ความเครียดจากความร้อนไก่จะมีการหายใจแบบอ้าปาก และกระสับกระส่าย หากมีอาการรุนแรงมากจะมีการชัก และตายในที่สุด เนื่องจากไก่ไม่มีต่อมเหงื่อจึงไม่สามารถระบายความร้อนได้เหมือนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมไปถึงยังส่งผลต่อพฤติกรรมการจิกกัน และการต่อสู้อีกด้วย ฤดูร้อนไก่อจึงมักประสบกับความเครียดจากความร้อนมากที่สุด ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน การสืบพันธุ์ และคุณภาพเนื้อ ความเครียดที่เกิดขึ้นส่งผลต่อเซลล์ประสาทเชื่อมต่อการสื่อสารกับเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าผ่าน (electrical synapse) หรือสัญญาณสารเคมีผ่าน (chemical synapse) ภายใต้สภาวะปกติเมื่อกระแสประสาทจากส่วน presynaptic neuron เคลื่อนที่มาถึงบริเวณปลาย axon ของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ไปที่ส่วน postsynaptic neuron จะเกิดการชักนำให้เนื้อเยื่อบริเวณปลาย axon เกิดการดีโพลาไรเซชัน (depolarization) ที่ส่งผลให้สารสื่อประสาท (neurotransmitter) ชนิดกลูตาเมต (glutamate) ที่ถูกห่อหุ้มไว้เคลื่อนไปเชื่อมกับเนื้อเยื่อหุ้มส่วนปลายของ axon ทำให้กลูตาเมตถูกปล่อยออกมาในช่องไซแนปส์ สารสื่อประสาทจะไปจับกับโปรตีนตัวรับ α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid receptors (AMPA) ของเซลล์ประสาททำให้มีการลำเลียงโซเดียมไอออน (Na^+) เข้าสู่เซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ซึ่งในระหว่างนั้น เซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายประจุไฟฟ้า ส่งผลให้ประจุลบภายในเซลล์มีน้อยลง (depolarization) เกิดกระแสประจุไอออนที่ประสาทส่วน postsynaptic neuron จึงเกิดการกระตุ้นกลไกการทำงานของ brain-derived neurotrophic factor Tropomyosin receptor kinase B (BDNF-TrkB) และ mammalian target of rapamycin

complex 1 (mTORC1) โดยกลไกทั้งหมดเหล่านี้ ส่งผลต่อการปรับตัวของ Synapses ทำให้เกิดกระบวนการ Synapses Plasticity จากการส่งสัญญาณกระตุ้น mTORC1 เกิดการสังเคราะห์โปรตีน เช่น glutamate ionotropic receptor AMPA type subunit 1 (GluA1) และ postsynaptic density protein-95 (PSD95) ส่งผลให้ spine-head มีการขยายใหญ่ขึ้น และการเพิ่มจำนวนของไซแนปส์ แต่เมื่อเกิดความเครียดสมองจะกระตุ้นฮอร์โมนความเครียดกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) ที่มี glucocorticoid receptor (GR) เป็นตัวรับส่งสัญญาณไปกระตุ้น regulated in DNA damage and repair (REDD1) ให้เพิ่มขึ้น และยับยั้งการส่งสัญญาณไปที่ BDNF และ mTORC1 ส่งผลให้การเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงาน adenosine Triphosphate (ATP) และการนำกรดอะมิโนที่จำเป็นไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนลดลง และส่งผลต่อ spine synapse ลดจำนวนลง และประสิทธิภาพการทำงานของ synapse ลดลง (Duman et al., 2016) ดังภาพที่ 2.1

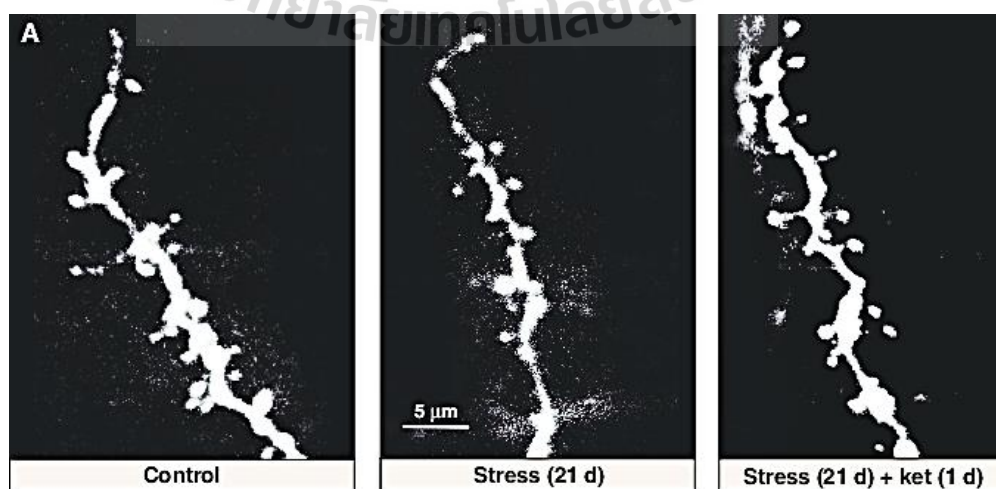


ภาพที่ 2.1 กระบวนการฝ่อของเซลล์ประสาทและการสูญเสียไซแนปส์จากอิทธิพลความเครียดเรื้อรังพร้อมภาพเปรียบเทียบลักษณะเส้นประสาทของหนูที่ได้รับความเครียดและไม่ได้รับความเครียด

ที่มา : Krystal et al. (2017)

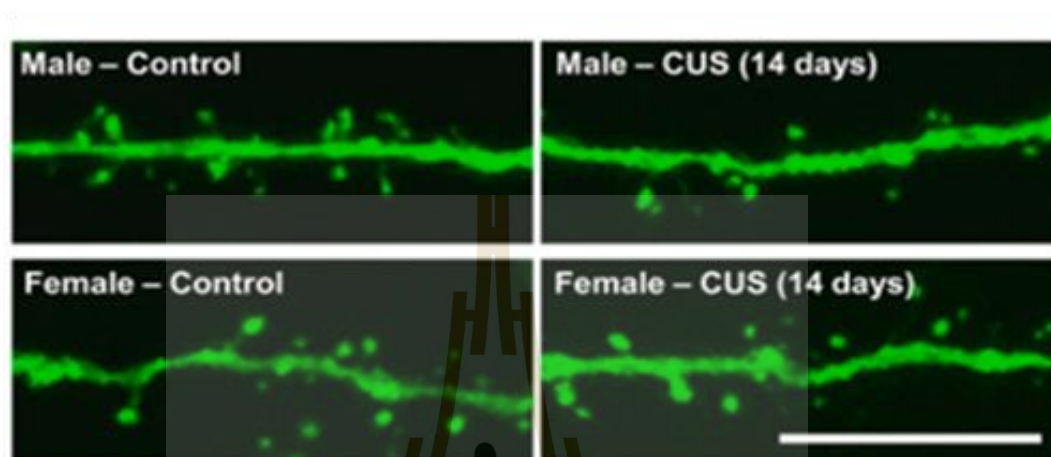
การตอบสนองความเครียดในสัตว์มีกระดูกสันหลังโดยธรรมชาติสามารถปรับสมดุลภายในตัวเองได้ ซึ่งความเครียดจำเป็นต่อการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดในธรรมชาติ แต่ความเครียดเรื้อรังที่เกิดขึ้นเนิ่นนานำให้การสังเคราะห์โปรตีน และประสิทธิภาพการทำงานของ synapse ภายในสมองลดลง

การส่งสัญญาณกระแสประสาทที่ควบคุมอารมณ์ การตัดสินใจ และระบบการทำงานของร่างกายที่ไม่สมดุล ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพจิตใจและร่างกายของสัตว์ในการดำรงชีวิต จากการทบทวนเอกสารพบว่า ความเครียดเรื้อรังมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อโครงสร้างของเซลล์ประสาทในสัตว์ทดลอง โดยเฉพาะความหนาแน่นและรูปร่างของเดนไดรติกสไปน์ (dendritic spines) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการถ่ายทอดสัญญาณประสาท โดยการศึกษาของ Duman and Aghajanian (2012) รายงานว่า หนูที่อยู่ในสภาวะเครียดเรื้อรังมีความหนาแน่นของสไปน์ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยเคตามีน (ketamine) อีกทั้งการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลยังพบว่า ขนาดของสไปน์ในกลุ่มที่เครียดมีขนาดเล็กลง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Woodburn et al. (2021) ซึ่งศึกษาผลของความเครียดเรื้อรังในหนูทั้งเพศผู้และเพศเมียพบว่า ทั้งสองเพศมีความหนาแน่นของสไปน์ลดลง แต่หนูเพศเมียสามารถรักษาความหนาแน่นของสไปน์ไว้ได้มากกว่า อาจเนื่องมาจากความสามารถในการปรับสมดุลของสารสื่อประสาทในสมองที่แตกต่างกันระหว่างเพศ นอกจากนี้ Woo et al. (2021) ยังรายงานว่า ความเครียดเรื้อรังส่งผลให้ความหนาแน่นของโครงสร้างประสาทส่วนปลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยยา ยิ่งไปกว่านั้น งานของ Godoy et al. (2018) และ Chenani et al. (2022) ได้ชี้ให้เห็นกลไกสำคัญที่เชื่อมโยงระหว่างความเครียดเรื้อรังกับการเปลี่ยนแปลงในสมอง โดยพบว่าเมื่อสัตว์มีกระดูกสันหลังเผชิญกับความเครียด สมองจะกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์และคอร์ติซอล ซึ่งไปยับยั้งการทำงานของสารสื่อประสาทหลายชนิด นำไปสู่ความไม่สมดุลของระบบประสาทบริเวณไซแนปส์ (synapse) การกระตุ้นของกลูตาเมต (glutamate) จะส่งผลให้มีการแสดงออกของยีน REDD1 สูงขึ้น ซึ่งมีบทบาทในการยับยั้งการส่งสัญญาณของ BDNF และ mTORC1 อันเป็นเส้นทางสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนและการซ่อมแซมไซแนปส์ เมื่อกระบวนการดังกล่าวถูกรบกวนจะทำให้สมรรถภาพในการสื่อสารของเซลล์ประสาทลดลง และนำไปสู่ความเสียหายและการฝ่อของโครงสร้างสมองในที่สุด



ภาพที่ 2.2 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลผลของหนูที่อยู่ในสภาวะปกติ หนูที่ได้รับความเครียดต่อเนื่อง 21 วัน และหนูที่ได้รับความเครียดต่อเนื่อง 21 วัน แต่ได้รับการรักษาด้วย Ketamine ระยะเวลา 1 วัน

ที่มา : Duman and Aghajanian. (2012)



ภาพที่ 2.3 ภาพอินฟราเรดแสดงความหนาแน่นของเส้นประสาทส่วนเดนไดรต์เปรียบเทียบระหว่างหนูเพศผู้ และเพศเมียที่ไม่ได้รับความเครียด และที่ได้รับความเครียดเรื้อรังเป็นระยะเวลา 14 วัน

ที่มา : Woodburn et al. (2021)



ภาพที่ 2.4 ภาพเปรียบเทียบเส้นประสาทส่วนเดนไดรต์ในหนูที่ไม่ได้รับความเครียด (สีเทา), หนูที่ไม่ได้รับความเครียดและได้รับยาเซอริทริน (สีน้ำเงิน), หนูที่ได้รับความเครียดเรื้อรัง (สีแดง) และหนูที่ได้รับความเครียดเรื้อรังรักษาด้วยยาเลอริทริน (สีเขียว)

ที่มา : Woo et al. (2021)

2.10 ผลกระทบของความเครียดต่อสมองในสัตว์ปีก

จากการทบทวนเอกสาร ดังตารางที่ 2.8 พบว่า โครงสร้างสมองในสัตว์ปีกโดยเฉพาะไก่มีศักยภาพในการเป็นดัชนีบ่งชี้ความเครียดทางชีวภาพ (biomarker of stress) ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากสมองของไก่มีการจัดโครงสร้างที่ซับซ้อนและตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีแบบแผน เช่นเดียวกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Jarvis et al., 2005) โดยเฉพาะบริเวณที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรม การเรียนรู้ และการจดจำ เช่น hippocampus และ telencephalon ที่มีบทบาทสำคัญในการประมวลผลสิ่งเร้าและปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันในทางปฏิบัติทางปศุสัตว์สามารถสร้างปัจจัยกระตุ้นหรือป้องกันความเครียดเหล่านี้ได้ จากงานวิจัยของ Jarvis et al. (2005) พบว่า วงจรประสาทในสมองของนก เช่น basal ganglia และ cortical homologs มีลักษณะโครงสร้างและหน้าที่คล้ายคลึงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทำให้สามารถใช้ไก่เป็นโมเดลในการศึกษากระบวนการตอบสนองต่อความเครียดและพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม ขณะที่การศึกษาของ Janczak et al. (2006) ได้แสดงให้เห็นว่าการจำกัดสิ่งแวดล้อม เช่น การเลี้ยงในกรงแบบไม่มีวัสดุกระตุ้นพฤติกรรม ส่งผลให้ไก่มีการพัฒนาโครงสร้างสมองส่วน telencephalon ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเครียดต่อการเจริญของระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ งานวิจัยของ Tahamtani et al. (2016) ได้รายงานไว้ว่า ไก่ที่ถูกเลี้ยงในกรงแบบจำกัดมีขนาดของสมองส่วน hippocampus ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเข้าถึงพื้นที่มากกว่า ซึ่ง hippocampus เป็นสมองส่วนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเรียนรู้และความจำ ผลดังกล่าวสะท้อนถึงผลกระทบเชิงลบของความเครียดจากสิ่งแวดล้อมต่อประสิทธิภาพของสมอง ข้อมูลนี้จึงชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบของระบบการเลี้ยง เช่น พื้นที่อยู่อาศัยและโอกาสในการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญที่อาจมีผลต่อความเป็นอยู่ที่ดี (welfare) ของสัตว์ผ่านกลไกทางประสาทชีววิทยา ในทำนองเดียวกันการศึกษาของ Jia et al. (2018) พบว่าเสียงรบกวนในสิ่งแวดล้อม เช่น เสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยกระตุ้นความเครียดที่พบได้บ่อยในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ มีผลทำให้เกิดพฤติกรรมความเครียดเพิ่มขึ้น และส่งผลให้สมองส่วน telencephalon มีการพัฒนาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบของสิ่งเร้าทางกายภาพต่อโครงสร้างสมองและสวัสดิภาพของสัตว์ ดังนั้นขนาดและความหนาแน่นของบางบริเวณ เช่น hippocampus และ telencephalon สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดชีวภาพที่มีประโยชน์ในการสะท้อนระดับความเครียดของไก่ภายใต้เงื่อนไขการเลี้ยงที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังเป็นหลักฐานสนับสนุนความจำเป็นของการคำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ในระบบการผลิตสัตว์ปีก ทำให้ไก่สามารถใช้เป็นโมเดลที่เหมาะสมในการศึกษาผลกระทบของความเครียดต่อสมองในระดับกายภาพ งานวิจัยเหล่านี้จึงชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้การวัดทางกายภาพของโครงสร้างสมองเป็นตัวชี้วัดชีวภาพที่เสถียรและแม่นยำในการสะท้อนผลกระทบของความเครียดในสัตว์ ซึ่งความเครียดเป็นประเด็นสำคัญที่สะท้อนถึงคุณภาพของการจัดการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ปีก

อย่างไ้ ซึ่งความเครียดเรื้อรังไม่เพียงส่งผลต่อพฤติกรรมเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่องานของระบบประสาทและโครงสร้างของสมอง งานวิจัยที่ผ่านมาได้เน้นศึกษาความเครียดในไ้ผ่านพฤติกรรมและฮอร์โมน เช่น คอร์ติโคสเตอรอน และ ค่า H/L ratio อย่างไรก็ตามตัวชี้วัดดังกล่าวมักมีความผันแปรสูงจากปัจจัยภายนอก รวมถึงการจับและการเก็บตัวอย่าง ซึ่งอาจกระตุ้นความเครียดเพิ่มเติม ส่งผลให้ผลการประเมินอาจไม่สะท้อนสภาพความเครียดเรื้อรังอย่างแท้จริง นำไปสู่การเลือกศึกษาโครงสร้างสมองของไ้โคราภายใต้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน โดยมุ่งหวังที่จะเข้าใจผลกระทบของสิ่งแวดล้อมการเลี้ยงต่อโครงสร้างสมองในเชิงกายภาพ อันเป็นแนวทางใหม่ในการประเมินสวัสดิภาพสัตว์ที่ครอบคลุมทั้งด้านพฤติกรรม และสรีรวิทยา



ตารางที่ 2.8 ผลของความเครียดต่อสมองในสัตว์ปีก

Objective	Method of study	Results	Conclusions	References
ศึกษา brain pathways ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และพฤติกรรมในนก	ใช้การทำแผนที่การแสดงออกของ immediate early genes (IEGs) ในสมองของนกหลายชนิด	พบว่าสมองของนกมีวงจรการเรียนรู้ที่คล้ายกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น basal ganglia และ cortical homologs	สมองของนกมีโครงสร้างและหน้าที่เฉพาะที่สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าและความเครียดได้ คล้ายคลึงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สามารถใช้เป็นโมเดลในการศึกษาความเครียด	Jarvis et al. (2005)
ศึกษาผลของสภาพแวดล้อมต่อพัฒนาการของสมองในไก่เนื้อ	เปรียบเทียบกลุ่มไก่แบบกรงขังกับกลุ่มที่เลี้ยงแบบมีฟางในกรงขัง	พบว่าสมองส่วน telencephalon มีความแตกต่างด้านปริมาตรระหว่างกลุ่ม	สิ่งแวดล้อมที่จำกัดเพิ่มความเครียดและอาจลดการพัฒนาโครงสร้างสมองบางส่วน	Janczak et al. (2006)
ศึกษาผลของการขังในกรงต่อพฤติกรรมและสมองในไก่	เปรียบเทียบไก่ที่เลี้ยงในกรงแบบเตอรักับเลี้ยงแบบ outdoor	ไก่ในกรงมีขนาดสมองส่วน hippocampus ลดลง	ความเครียดจากการจำกัดพื้นที่มีผลต่อสมองส่วนเกี่ยวกับความจำและการเรียนรู้	Tahamtani et al. (2016)
วิเคราะห์ผลของเสียงรบกวนต่อระดับความเครียดและโครงสร้างสมองในไก่	ให้เสียงรบกวนความถี่สูงในกลุ่มทดลอง เพื่อวัดพฤติกรรมและทำ histology สมอง	เสียงรบกวนเพิ่มพฤติกรรมกระวนกระวายและลดการเจริญของสมองส่วน telencephalon	ความเครียดจากเสียงทำลายการพัฒนาเซลล์ประสาทในบางบริเวณของสมอง	Jia et al. (2018)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สัตว์ทดลองและการจัดการสัตว์ทดลอง

3.1.1 คำชี้แจงจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลอง

การทดลองนี้ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่อ
งานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตามใบอนุญาตให้ใช้สัตว์ เลขที่
SUT-IACUC-010/2021

3.1.2 สัตว์ทดลอง

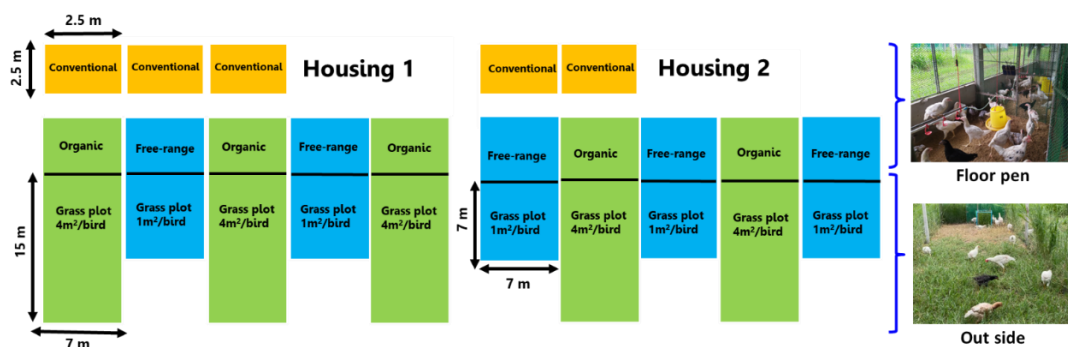
ใช้ไก่โคราช คณะแพศ อายุ 1 วัน จำนวน 375 ตัว โดยสุ่มไก่เข้าการทดลองตามแผนการทดลองแบบ
completely randomized design (CRD) แบ่งไก่ออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 25 ตัว สุ่มไก่
ทดลองเข้ากลุ่มการทดลองดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มเลี้ยงแบบทั่วไป (conventional system)

กลุ่มที่ 2 กลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (free-range system)

กลุ่มที่ 3 กลุ่มเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic system)

การทดลองนี้ดำเนินการภายใต้สภาพโรงเรือนระบบเปิดภายในสถานที่ทดลองของ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการจัดการภายในโรงเรือนสำหรับจำนวนไก่ทั้งสามกลุ่มมีความ
หนาแน่นเดียวกัน 5 ตัวต่อตารางเมตร แต่สำหรับการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยได้จัดให้มีพื้นที่แปลงหญ้า
นอกโรงเรือนเพิ่มเติม โดยมีความหนาแน่น 1 ตัวต่อตารางเมตร ในขณะที่การเลี้ยงแบบอินทรีย์ได้จัดสรร
พื้นที่แปลงหญ้าได้จัดให้มีพื้นที่แปลงหญ้านอกมีความหนาแน่น 4 ตารางเมตรต่อตัว ซึ่งเป็นไปตามแนว
ทางการเลี้ยงตามมาตรฐานระบบเกษตรอินทรีย์ การเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยได้รับ
อนุญาตให้เข้าถึงแปลงหญ้าตั้งแต่อายุ 21 วันจนถึง 91 วัน โดยปล่อยไก่ออกสู่แปลงหญ้าทุกวันในช่วงเวลา
09.00-16.00 น. และนำกลับเข้าโรงเรือนในช่วงเวลาเย็น การจัดโรงเรือนการทดลองดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังโรงเรือนเลี้ยงไก่โคราชกลุ่มเลี้ยงแบบทั่วไป กลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และกลุ่มเลี้ยงแบบอินทรีย์

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ทดลองและองค์ประกอบของโภชนะ

Item	Starter (0-21 d)	Grower (22-42 d)	Finisher (43-91 d)
Full fat Soybean meal (37% CP)	47.70	41.00	34.50
Broken rice (7.5% CP)	48.50	55.65	62.35
DL-methionine	0.25	0.10	0.10
Salt	0.35	0.35	0.35
CaCO ₃	1.40	1.30	1.20
Monocalcium phosphate (21% P)	1.30	1.10	1.00
Premix ¹	0.50	0.50	0.50
Calculated nutrients (%)			
ME (kcal/kg)	3,175	3,190	3,195
Crude protein	21.26	19.64	17.14
Crude fat	9.60	8.60	8.00
Crude fiber	2.73	2.37	2.05
Digestible lysine	1.21	1.08	0.95
Digestible methionine	0.59	0.43	0.41
Digestible Met + Cys	0.93	0.73	0.69
Digestible threonine	0.85	0.79	0.69
Calcium	1.01	0.91	0.84
Available phosphorus	0.45	0.38	0.35
Analyzed nutrients (%)			
Dry matter	89.33	88.19	90.75
Ash	5.71	5.84	5.29
Crude protein	21.30	19.77	17.91
Crude fat	9.71	8.65	8.10

หมายเหตุ : ¹ Premix (0.5%) provided the following per kilogram of diet: 15,000 IU of vitamin A; 3,000 IU of vitamin D3; 25 IU of vitamin E; 5 mg of vitamin K3; 2 mg of vitamin B1; 7 mg of vitamin B2; 4 mg of vitamin B6; 25 µg of vitamin B12; 11.04 mg of pantothenic acid; 35 mg of nicotinic acid; 1 mg of folic acid; 15 µg of biotin; 250 mg of choline chloride; 1.6 mg of Cu; 60 mg of Mn; 45 mg of Zn; 80 mg of Fe; 0.4 mg of I; 0.15 mg of Se.

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดลองบริเวณที่ไม่เคยผ่านการใช้สารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือยากำจัดศัตรูพืชมาก่อน และเป็นพื้นที่ที่ยกสูงเป็นแนวกันชน ส่วนพื้นที่ใช้แปลงเป็นวัสดุรองพื้นในโรงเรือน ให้อาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (ad libitum) โดยอาหารที่ใช้ให้มีโภชนาตามความต้องการของไก่โคราชในแต่ละระยะ (ตารางที่ 3.1) ในการกำหนดสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง ได้อ้างอิงจากมาตรฐานของสภาวิจัยแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Research Council: NRC) ซึ่งจัดทำโดยคณะกรรมการด้านโภชนาการสัตว์ปีก (Subcommittee on Poultry Nutrition) เอกสารฉบับนี้ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงหลักในการกำหนดความต้องการสารอาหารของสัตว์ปีก โดยครอบคลุมสารอาหารที่จำเป็น เช่น โปรตีน พลังงาน กรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ อย่างครบถ้วน จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการให้อาหารในงานวิจัยด้านโภชนาการสัตว์ปีก ไก่ทั้งสามกลุ่มจะได้รับอาหารสูตรเดียวกันโดยอ้างอิงจาก National Research Council, and Subcommittee on Poultry Nutrition: NRC (1994) แต่มีความแตกต่างกันในกลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์จะใช้วัตถุดิบอาหารที่ได้รับการรับรองมาตรฐานอินทรีย์ การจัดการทางด้านอาหาร โรงเรือน และสุขภาพสัตว์ รวมไปถึงการทำวัคซีนเป็นไปตามคำแนะนำและอยู่ภายใต้การควบคุมของฟาร์มมหาวิทยาลัย (ตารางที่ 3.2) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 91 วัน และการทดลองดำเนินการในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน พ.ศ. 2564 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในช่วงกลางวัน (09:00–16:00 น.) เท่ากับ 31.4°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 75% (Climate-Data.org, n.d.)

ตารางที่ 3.2 โปรแกรมการให้วัคซีนไก่โคราช

อายุ (วัน)	วัคซีน	วิธีการ
7	นิวคาสเซิลเชื้อเป็น สเตรน Lasota	หยอดตา/หยอดจมูก
	หลอดลมอักเสบติดต่อ สเตรน H120	
14	กัมโบโร (Gumboro: IBD)	หยอดปาก
28	นิวคาสเซิลเชื้อเป็น สเตรน Lasota	หยอดตา
35	อหิวาต์/ฝีดาษ	ฉีดกล้ามเนื้อขา/แทงปีก
56	นิวคาสเซิลเชื้อเป็น สเตรน Lasota	หยอดตา/หยอดจมูก
	หลอดลมอักเสบติดต่อ สเตรน H120	

ที่มา : งานสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.3 การเก็บข้อมูลการกินหญ้า

การเก็บตัวอย่างและบันทึกปริมาณผลผลิตหญ้าทำตามวิธีการของ Lantinga et al. (2004) เนื่องจากจำนวนหญ้าในแปลงอาจจะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน ในการวัดปริมาณหญ้าจึงทำการเปรียบเทียบหญ้าที่มีการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ และแปลงหญ้าที่มีการปล่อยไก่ลงเลี้ยง โดยปริมาณหญ้าที่มีการเจริญเติบโตตามธรรมชาติจะใช้กล่องที่มีขนาด 50 x 50 เซนติเมตร จำนวน 1 กล่อง ต่อ 1 คอก ดังภาพที่ 3.2 เมื่อไก่อายุ 91 วัน (หลังการปล่อยไก่ลงสู่แปลงหญ้าที่อายุไก่ 21 วัน) สุ่มวัดปริมาณหญ้าในกล่องที่จัดเตรียมไว้โดยตัดที่ความสูง 15 เซนติเมตรจากพื้นดิน จากนั้นสุ่มตัวอย่างหญ้านำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณปริมาณหญ้าที่ไก่กิน



ภาพที่ 3.2 ลักษณะกล่องสุ่มที่ใช้ในการวัดปริมาณหญ้าในแปลงหญ้าเลี้ยงไก่ในกลุ่มเลี้ยงแบบอินทรีย์ และกลุ่มเลี้ยงแบบกึ่งเชิงปล่อย

3.2 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

ทำการชั่งน้ำหนักตัวไก่และบันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ เพื่อนำไปคำนวณน้ำหนักตัว (BW) น้ำหนักตัวที่เพิ่ม (BWG) อัตราการกินได้ (FI) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ของไก่แต่ละกลุ่มทดลองทุกสัปดาห์

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบซาก การวัดคุณภาพเนื้อ และการเก็บตัวอย่าง

3.3.1 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบซาก

เมื่อไก่มีอายุครบ 91 วัน ได้ทำการสุ่มไก่จากแต่ละกลุ่มการทดลอง ซ้ำละ 4 ตัว โดยประกอบด้วยเพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลองค์ประกอบซาก ทั้งนี้ช่วงอายุ 91 วัน ได้รับการเลือกให้เป็นช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากเป็นช่วงที่ไก่โคราชมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 1.2 กิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำหนักที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์ ก่อนการเก็บตัวอย่าง ได้ทำการให้อาหารเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงในช่วงเย็นของวันก่อนหน้า โดยยังคงให้น้ำตามปกติ จากนั้นในช่วงเช้าของวันถัดมา จึงเริ่มกระบวนการเก็บตัวอย่างโดยทำให้ไก่อยู่ในภาวะสลบด้วยกระแสไฟฟ้า จากนั้นดำเนินการเชือดคอ ตัดแต่งซาก และแยกชิ้นส่วนของซากออกเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อทำการชั่งน้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วน และคำนวณเป็นข้อมูลองค์ประกอบซาก พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเนื้ออกและเนื้อสะโพกแยกออกมาต่างหาก และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อต่อไป

3.3.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบซาก

หลังจากไก่โคราชถูกชำแหละตามกระบวนการมาตรฐานโดยการทำให้สลบด้วยเครื่องช็อตไฟฟ้า จากนั้นเชือดและถอนขน จากนั้นชั่งน้ำหนักซากหลังเชือดและการควักอวัยวะภายในออก ซึ่งซากไก่ที่ได้จะถูกนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกค่าซากหลังนำอวัยวะออกแล้ว (eviscerated carcass weight) จากนั้นนำไปแช่ที่ตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมกระบวนการภาวะแข็งตัวของกล้ามเนื้อหลังการตาย (rigor mortis) ให้เกิดขึ้นสมบูรณ์ ช่วยรักษาคุณภาพเนื้อ ลดการสูญเสียน้ำ และป้องกันการเสื่อมสลายของกล้ามเนื้อ จากนั้นนำกลับมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทั้งนี้ซากจะไม่รวมหัว คอ ข้าง เครื่องใน และไขมันในช่องท้อง จากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1. กล้ามเนื้ออกด้านใน (pectoralis minor) และ กล้ามเนื้ออกด้านนอก (pectoralis major) จะถูกแยกออกจากอกโดยการเลาะตามแนวกล้ามเนื้ออย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนหรือการสูญเสียเนื้อเยื่อ 2. เนื้อน่องไก่ (drumstick meat) และเนื้อสะโพก (thigh meat) จะถูกตัดออกจากโครงขา โดยแยกชิ้นเนื้อจากกระดูกสะโพกและกระดูกหน้าแข้ง 3. ปีกไก่ (wing) จะถูกตัดออกบริเวณข้อไหล่ 4. หัวใจ (heart), ตับ (liver) และ กึ๋น (gizzard) จะถูกแยกออกจากกลุ่มอวัยวะภายใน หลังการควักเครื่องในออกและล้างให้สะอาดด้วย saline solution เพื่อขจัดสิ่งสกปรก ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก และ 5. ไขมันในช่องท้อง (abdominal fat) จะถูกรวบรวมจากเนื้อเยื่อไขมันบริเวณรอบ ๆ กึ๋น ลำไส้ และผนังช่องท้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ตามสูตรสมการดังนี้

$$\text{Eviscerated carcass (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักซาก (ไม่รวมอวัยวะภายใน)}}{\text{น้ำหนักตัวก่อนเชือด (body weight)}} \right) \times 100$$

$$\text{ชิ้นส่วนต่าง ๆ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของชิ้นส่วนที่วัด}}{\text{น้ำหนักซาก (chilled carcass)}} \right) \times 100$$

$$\text{อวัยวะภายใน (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของอวัยวะภายใน}}{\text{น้ำหนักซาก (hot carcass)}} \right) \times 100$$

$$\text{Abdominal fat (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักไขมันช่องท้อง}}{\text{น้ำหนักตัวก่อนเชือด (body weight)}} \right) \times 100$$

3.3.3 การวัดค่าสีเนื้อและผิวหนัง

ทำการวัดสีของเนื้อด้วยเครื่อง Minolta colorimeter หลังจากเชือดไก่โดยในแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดซ้ำ 3 จุด บริเวณผิวหนังทั้งบริเวณอกและสะโพก เนื้ออก และเนื้อสะโพก โดยค่าที่วัดจะจำแนกออกมาเป็นค่า L* (lightness) ค่า a* (redness) และค่า b* (yellowness)

3.3.4 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการวัดค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter วัดที่บริเวณเนื้ออกและเนื้อสะโพก ทั้งหมด 3 จุด โดยทำการวัดหลังเชือด 45 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไป chilling ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และวัดค่า pH ซ้ำอีกครั้ง

3.3.5 การวัดค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ (drip loss)

ทำการตัดชิ้นเนื้อส่วนอกและเนื้อสะโพกให้มีขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 1.0 x 2.5 x 0.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก ห่อด้วยผ้าก๊อซ และห่ออีกครั้งด้วยถุงพลาสติกโดยไม่ให้ตัวอย่างที่ห่อผ้าก๊อซสัมผัสกับถุงพลาสติก นำไปแขวนในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการเก็บ} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บ})}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บ}} \times 100$$

3.3.6 การวัดค่าการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุก (cooking loss)

นำเนื้อไก่ส่วนอกและสะโพกฝั่งขวาทั้งชิ้น ต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จนเนื้อีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิในเนื้อ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซับเนื้อให้แห้งแล้วบันทึกน้ำหนัก และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ cooking loss ตามสมการ และเนื้อส่วนอกและสะโพกที่เหลือทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์การค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่อไป

$$\text{ค่าการสูญเสียจากการปรุงสุก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการปรุงสุก} - \text{น้ำหนักหลังการปรุงสุก})}{\text{น้ำหนักก่อนการปรุงสุก}} \times 100$$

3.3.7 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear forces)

ทำการตัดชิ้นเนื้ออกและสะโพกที่สุกให้มีขนาด $2.0 \times 1.0 \times 0.5$ เซนติเมตร นำไปวัดค่าแรงตัดผ่านด้วยเครื่อง texture analysis รุ่น TA-XT2i โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด 2 มิลลิเมตร/วินาที ทำการวัด 3 ซ้ำในทุกกลุ่มการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณวิเคราะห์ผลค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

3.4 การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา

3.4.1 การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์

เมื่อไก่อายุครบ 91 วัน ทำการสุ่มเจาะเลือดไก่ปริมาณ 3 มิลลิตร ในหลอดเลือดที่เคลือบสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA) ซ้ำละ 4 ตัว (เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว) ทั้งหมดสามกลุ่มการทดลอง นำตัวอย่างเลือดมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว $3,000 \times g$ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำพลาสมาที่ได้มาทดสอบด้วยชุด detect corticosterone EIA kit ร่วมกับเครื่อง microplate reader วัดปริมาณความเข้มข้นของ corticosterone ตามคำแนะนำของบริษัท Abcam PLC.

3.4.2 การตรวจนับอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดไก่ในหลอดเก็บเลือด โดยการเจาะเลือดไก่ปริมาณ 3 มิลลิตร ในหลอดเลือดที่เคลือบสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA) ซ้ำละ 4 ตัว (เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว) ทั้งหมดสามกลุ่มการทดลอง จากนั้นทำการเสมียร์เลือดบนกระจกสไลด์ ที่จุ่มไว้ให้แห้ง แล้วย้อมด้วยสีย้อมชนิด Giemsa-wright's stain แช่ใน Wright-Giemsa stain 30 วินาที และแช่ใน buffer 30 วินาที จากนั้นนำไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ การนับจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยใช้ cell-dyn 3700 automated hemocytometer และนับแยกจำนวนเม็ดเลือดขาวต่อ 100 เซลล์ (Weimer et al., 2018)

3.5 การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมการจิกชนและพฤติกรรมการแสดงออก

3.5.1 ความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมการจิกชน

การศึกษานี้ประเมินระดับความเสียหายจากการจิกชนของไก่ในระบบการเลี้ยง 3 กลุ่ม ได้แก่ ระบบทั่วไป (conventional), ระบบปล่อยอิสระ (free-range) และระบบอินทรีย์ (organic) โดยในแต่ละกลุ่มมีจำนวนหน่วยทดลอง (unit) กลุ่มละ 5 หน่วย การประเมินระดับความเสียหายจากการจิกชนใช้ระบบคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 6 โดยคะแนน 1 แสดงถึงความเสียหายน้อยที่สุด และคะแนน 6 แสดงถึงความเสียหายมากที่สุด ระดับความเสียหายไล่ตามลำดับ (ภาพที่ 3.3) ดังนี้

คะแนนที่ 1 ขนเต็มตัว (fully feathered) คะแนนที่ 2 ขนเสียหายน้อยกว่า 5% (rough) คะแนนที่ 3 ขนเสียหายมากกว่า 5% (some broken feathers) คะแนนที่ 4 ขนเสียหายน้อยกว่า 50% (heavily broken feathers) คะแนนที่ 5 ขนเสียหายมากกว่า 50% (almost bald) และคะแนนที่ 6 ขนเสียหายมากกว่า 80% (bald) ซึ่งข้อมูลลักษณะนี้จัดอยู่ในกลุ่มข้อมูลเชิงลำดับ (ordinal scale) การประเมินระดับความเสียหายจากการจิกชนดำเนินการในช่วงวันสุดท้ายของการทดลองสัปดาห์ที่ 13 ของการเลี้ยง โดยทำการประเมินไก่ทุกตัวในแต่ละกลุ่มการทดลองอย่างครอบคลุมและเป็นระบบ ข้อมูลที่ได้จากการประเมินพบว่าไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ จากการตรวจสอบเบื้องต้น จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA ในการเปรียบเทียบ ดังนั้นจึงเลือกใช้การทดสอบทางสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (non-parametric test) ด้วยวิธี Kruskal-Wallis H test เพื่อเปรียบเทียบระดับความเสียหายจากการจิกชนระหว่าง 3 กลุ่มการเลี้ยง

3.5.2 พฤติกรรมการแสดงออก

การศึกษานี้ประเมินระดับความเสียหายจากการจิกชนของไก่ในระบบการเลี้ยง 3 กลุ่ม ได้แก่ ระบบทั่วไป (conventional), ระบบปล่อยอิสระ (free-range) และระบบอินทรีย์ (organic) โดยในแต่ละกลุ่มมีจำนวนหน่วยทดลอง (unit) กลุ่มละ 5 หน่วย ข้อมูลพฤติกรรมของไก่โคราชที่เก็บรวบรวมจากแต่ละระบบการเลี้ยง ได้แก่ ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และแบบอินทรีย์ ประกอบด้วยพฤติกรรมจำนวน 12 ประเภท (ตารางที่ 3.3) โดยเก็บในรูปของจำนวนครั้งที่พฤติกรรมแต่ละประเภทยกขึ้นระหว่างช่วงเวลาการสังเกต ข้อมูลพฤติกรรมถูกเก็บรวบรวมในช่วงวันสุดท้ายของการทดลองสัปดาห์ที่ 13 ของการเลี้ยง ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณชนิดไม่ต่อเนื่อง (discrete frequency data) ซึ่งไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ (non-normal distribution) และมีลักษณะการกระจายไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการวิเคราะห์ความแตกต่างของพฤติกรรมแต่ละประเภทยกขึ้นระหว่างกลุ่มการเลี้ยงจึงใช้การทดสอบ Kruskal-Wallis ซึ่งเป็นสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (non-parametric) ที่เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของกลุ่มอิสระตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมบางประเภทยกขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบการเลี้ยง และสามารถสะท้อนถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมการใช้ชีวิตของไก่โคราช

$$\text{สูตรคำนวณค่าสถิติ: } H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

N คือ จำนวนทั้งหมดของข้อมูลในทุกกลุ่ม

K คือ จำนวนกลุ่ม

R_i คือ ผลรวมของอันดับของข้อมูลในกลุ่มที่ i

N_i คือ จำนวนข้อมูลในกลุ่มที่ i

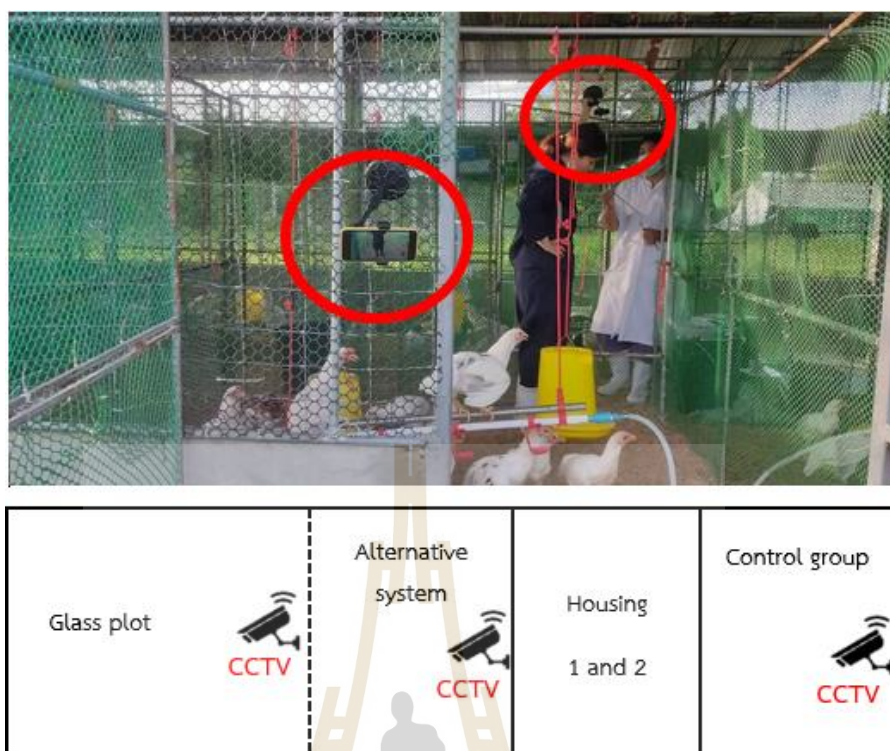


ภาพที่ 3.3 ภาพประกอบการประเมินคะแนนความเสียหายที่เกิดจากการจิกชนที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บในไก่โคราช

ตารางที่ 3.3 การแสดงลักษณะพฤติกรรมในไก่

Behavior	Description
Pecking	Bird raises its head and strikes another bird with its beak
Fighting	Two standing birds raise heads to face each other, one or both deliver >2 kicks to opponent
Drinking	Bird submerges beak into the water of the drinker
Feeding	Chickens peck at their food and use their tongues and gravity to help them swallow it
Preening	Bird uses its beak to peck, stroke or comb plumage
Dust bath	Lying bird tosses dirt onto its back and wings by ruffling and shaking its body
Foraging	Bird pecks or scratches at the ground
Sitting	Bird has its breast in contact with the ground. Eyes are open
Flapping wings	Bird is in an upright position and extends its wings repeatedly
Scratching	The act of rub the skin or feather with chicken nails to remove parasites and dirt
Shaking	Chicken thoroughly shakes out. It removes any remaining dirt particles
Stretch	A bird extends both one wing and one leg or only one leg when stretching

ที่มา: Phillips and Hannah (2021)



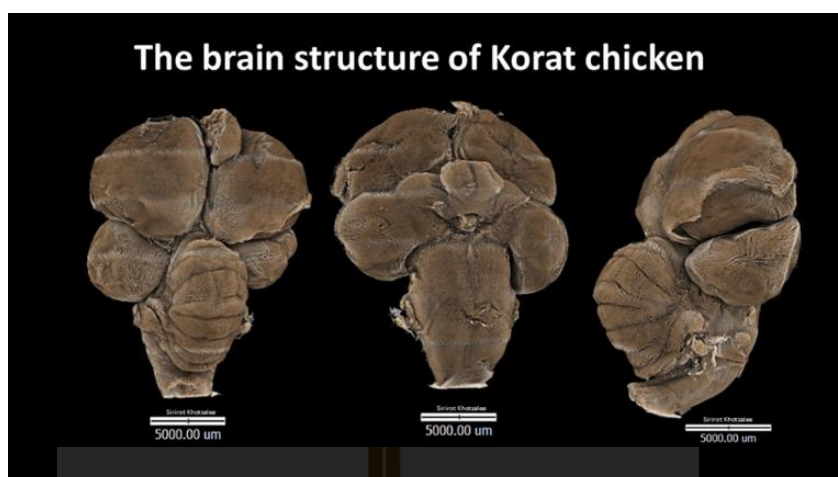
ภาพที่ 3.4 แผนผังการติดตั้งกล้องบันทึกวิดีโอพฤติกรรมโกโครภายในและภายนอกโรงเรือนการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างสมอง

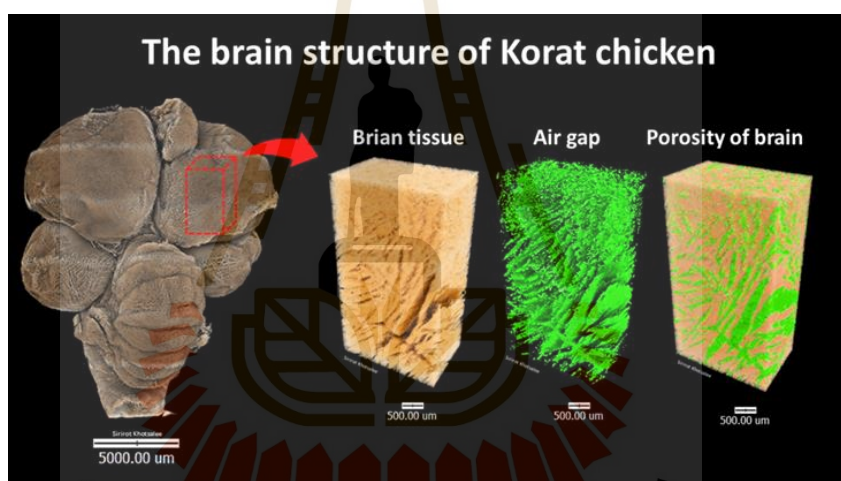
การเก็บตัวอย่างสมองของไก่ในการศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการภายใต้หลักการที่คำนึงถึงความเหมาะสมทั้งด้านจริยธรรมและความถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรักษาสภาพเนื้อเยื่อสมองให้คงอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์มากที่สุดเพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ ก่อนการเก็บตัวอย่าง สมองถือเป็นอวัยวะที่มีความเปราะบางและไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเป็นอย่างมาก ซึ่งการเชือดไก่ด้วยวิธีทั่วไป เช่น การเชือดคอ (neck cut) หรือการทำให้หมดสติด้วยไฟฟ้า อาจก่อให้เกิดการสันสะเทือนหรือการกระตุกอย่างรุนแรงของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อเยื่อสมองได้ ทั้งในระดับโครงสร้างและการหลังสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสมองและเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณภาพ เมื่อไก่อายุ 91 วัน ทำการสุมไก่เข้าละ 4 ตัว (เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว) ทั้งสามกลุ่มการทดลอง ก่อนการเก็บตัวอย่างให้ไก่อดอาหาร 12 ชั่วโมงในช่วงเย็น ก่อนเก็บตัวอย่างมีการใช้วิธีการดมยาสลบ (inhalation anesthesia) ก่อนการเชือด โดยใช้ยาสลบกลุ่ม volatile anesthetics คือ isoflurane ในพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกหลังจากที่ไก่อยู่ในภาวะหมดสติอย่างสมบูรณ์แล้ว (deep anesthesia stage) จึงดำเนินการเก็บตัวอย่างสมองทันที ด้วยวิธีการตัดหัวและเปิดกะโหลกศีรษะ (craniotomy) ใช้อุปกรณ์ผ่าตัดเก็บแยกเนื้อเยื่อสมองออกมาชั่งน้ำหนัก ล้างทำความสะอาดคราบเลือดด้วยสารละลาย PBS และเก็บตัวอย่างสมองในสาร

cryoprotectant ตามวิธีของ McIntyre and Fahy (2015) เก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างออกมาทำการแช่ตัวอย่างใน methyl alcohol ไล่ระดับความเข้มข้นจาก 10% ไปถึง 100% ก่อนทำให้ตัวอย่างแห้งด้วยเครื่อง critical point dryer และนำตัวอย่างสมองไก่เข้าเครื่องรังสีเอ็กซ์เรย์แสงซินโครตรอนด้วยเทคนิค X-ray imaging and X-ray tomographic microscopy (XTM) (Betz et al., 2007)

การวัด XTM นำตัวอย่างสมองติดกับแท่นหมุนใช้แว็กซ์ (wax) ยึดตัวอย่างกับฐานในแนวตั้ง ปรับตั้งค่าเครื่องเอ็กซ์เรย์ให้มีระยะที่เหมาะสมกับตัวอย่างทั้งในแนว horizontal และ vertical โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์จะสแกนตัวอย่างทุก ๆ 2 องศา จากข้างล่างขึ้นไปข้างบนพร้อมทั้งหมุนตัวอย่างครบรอบ 180 องศา ทั้งหมดนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมจากระยะไกล เนื่องจากรังสีเอ็กซ์เรย์มีพลังงานสูงซึ่งเป็นอันตรายไม่สามารถเข้าใกล้ได้ในระยะประชิด ซึ่งในการเอ็กซ์เรย์ 1 ครั้งต่อตัวอย่างจะทำการสแกนภาพ 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สมองส่วนบนฝั่งซ้าย ส่วนที่ 2 สมองส่วนบนฝั่งขวา ส่วนที่ 3 สมองส่วนล่างฝั่งซ้าย และส่วนที่ 4 สมองส่วนล่างฝั่งขวา ภาพสแกนที่ได้จะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อใช้โปรแกรมประมวลผลต่อไป ดังภาพที่ 3.5 นำรูปภาพที่สแกนได้ทั้งหมดมากกว่า 2,000 รูป ประกอบรวมกัน (stich) ด้วยโปรแกรม OCTOPUS reconstruction software ประกอบภาพต่ออวัยวะส่วนบน-ล่าง และซ้าย-ขวา ให้เป็นภาพสมองที่สมบูรณ์ จากนั้นทำการคัดกรองสิ่งแปลกปลอม (noise) ที่ปะปนในพื้นที่หลังตัวอย่างออกให้เหลือเพียงตัวอย่างและอากาศที่บริสุทธิ์ หากพื้นหลังของภาพไม่สะอาดจะมีผลต่อการวิเคราะห์ค่าความพรุน จากนั้นให้ปรับการหักเหของแสงที่ตกกระทบจากสิ่งแปลกปลอมในอากาศ (noise ring) ให้เหมาะสมกับตัวอย่างเพื่อปรับทัศนวิสัยของภาพให้ชัดเจนมากขึ้น และเชื่อมภาพถ่ายทั้ง 4 ส่วนที่ผ่านการปรับแต่งเป็นภาพเดียวกัน (reconstruction) จากนั้นสร้าง binary marker กำหนดให้อากาศเป็นสีดำและตัวอย่างสมองเป็นสีขาวเป็นการสร้างกรอบภาพเพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์โดยไม่ไปคำนวณอากาศภายนอกตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Octopus analysis software ดึงไฟล์ภาพที่ผ่านการทำ binary marker มาปรับ threshold เพื่อแบ่งส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าปริมาตรของตัวอย่างสมองและพื้นที่ของอากาศในตัวอย่างสมองที่คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์หรือค่าความพรุน โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นตัวเลขที่โปรแกรมบันทึกเป็นไฟล์ excel ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างภายนอกสมองไก่โคราช รูปแบบสามมิติกำลังขยาย 5,000 ไมครอน



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างภายในสมองไก่โคราชแสดงให้เห็นเนื้อเยื่อและโพรงอากาศกำลังขยาย 5,000 ไมครอน

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ดำเนินการโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive Statistics) ซึ่งประกอบด้วย การพิจารณาค่าเฉลี่ย (mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD), สมการโครงสร้าง (structural equation modeling; SEM), สัมประสิทธิ์ความผันแปร (coefficient of variation; CV), ค่าต่ำสุด (minimum; min) และค่าสูงสุด (maximum; max) เพื่อใช้ในการประเมินความแปรปรวนของข้อมูลและตรวจสอบค่าผิดปกติ (outlier) ที่อาจเกิดขึ้นในชุดข้อมูล จากนั้นจึงทำการตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธี Normality Plot พร้อมการทดสอบสมมติฐาน (normality plot with test) โดยพิจารณาค่า P-value จากตาราง test of normality หากพบว่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 จะถือว่าข้อมูลมีการแจกแจง

แบบปกติ ทั้งนี้ จะพิจารณาร่วมกับค่าเบ้ (Skewness) ซึ่งควรอยู่ในช่วงระหว่าง -0.8 ถึง 0.8 และค่าความโด่ง (Kurtosis) ควรอยู่ในช่วงระหว่าง -3 ถึง 3 หากค่าดังกล่าวอยู่นอกช่วงที่กำหนดจะดำเนินการแปลงข้อมูล (data transformation) เพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติก่อนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นต่อไป นำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบได้แก่ ค่าสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าองค์ประกอบซาก ค่าคุณภาพเนื้อ ค่าอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโมโกลินและลิมโฟไซต์ ค่าฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ และค่าโครงสร้างสมอง การวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variances, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Tukey's multiple tests และหาความสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 25.0 (SPSS Inc.; Chicago, IL, USA)

ในการศึกษาครั้งนี้หากข้อมูลบางชุดไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ ได้แก่ ค่าความเสียหายที่เกิดจากการจิกชน และค่าการแสดงพฤติกรรม แม้จะได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการทดสอบความปกติของการแจกแจง (normality test) แล้วก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์แบบไม่อิงพารามิเตอร์ (non-parametric method) เพื่อให้สามารถตีความผลได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยเลือกใช้ Kruskal-Wallis Test ซึ่งเป็นสถิติที่เหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานระหว่างกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ที่เป็นอิสระจากกัน และไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ โดยตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test ได้แก่ ค่าคะแนนความเสียหายจากการจิกชน และค่าการแสดงออกของพฤติกรรม ในการวิเคราะห์จะพิจารณาค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบ Kruskal-Wallis โดยหากพบว่า $P < 0.05$ จะสรุปได้ว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการเลี้ยงอย่างน้อยหนึ่งคู่ จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่เพิ่มเติม (post hoc analysis) ด้วย Dunn's multiple comparisons test เพื่อระบุให้ชัดเจนว่าความแตกต่างนั้นเกิดขึ้นระหว่างคู่ใดบ้าง ทั้งนี้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดได้ดำเนินการด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช

จากผลการศึกษา พบว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์มีสมรรถนะการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงในระบบกึ่งเชิงปล่อยและระบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งในด้านน้ำหนักตัว (BW) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ขณะที่ปริมาณการกินอาหาร (FI) สูงที่สุดในกลุ่มไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป รองลงมาคือการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงปล่อย และต่ำที่สุดในการเลี้ยงแบบอินทรีย์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม ($P > 0.05$) จากลักษณะของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการเลี้ยงแบบอินทรีย์ที่ไก่มีพื้นที่ในการเคลื่อนไหวอย่างอิสระมากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ปล่อยสู่แปลงหญ้า ซึ่งมีพื้นที่ 4 ตารางเมตรต่อตัว เมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงปล่อยที่มีพื้นที่ปล่อยเพียง 1 ตารางเมตรต่อตัว และระบบทั่วไปที่ไม่มีพื้นที่ปล่อยสู่ภายนอก การมีพื้นที่มากขึ้นส่งผลให้ไก่ในระบบอินทรีย์สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การเดิน การสำรวจ และการคุ้ยเขี่ยได้มากขึ้น ซึ่งต้องใช้พลังงานในการเผาผลาญสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้พลังงานจากอาหารที่ได้รับไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสะสมกล้ามเนื้อและไขมันได้อย่างเต็มที่ จึงอธิบายได้ว่าเหตุใดไก่กลุ่มนี้จึงมีน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มอื่น (Chen et al., 2013; Castellini et al., 2002; Fanatico et al., 2007; Mugnai et al., 2009) นอกจากนี้กิจกรรมทางกายภาพ อาทิ การเดิน การคุ้ยเขี่ย การอาบฝุ่น เป็นต้น ไก่ในระบบอินทรีย์ยังต้องเผชิญกับความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และระยะเวลาได้รับแสง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้อย่างสม่ำเสมอเหมือนในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป สภาวะเหล่านี้ส่งผลให้ไก่ต้องใช้พลังงานเพิ่มเติมในการรักษาสมดุลของร่างกายและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง (Cheung et al., 2021; Dawkins et al., 2003) ในขณะที่เลี้ยงแบบทั่วไปได้รับการจัดการอย่างเป็นระบบ ทั้งด้านการให้อาหาร การควบคุมอุณหภูมิ และแสงสว่าง ส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า อีกทั้งยังมีอัตราการกินอาหารสูงกว่า ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงปล่อยพบว่า แม้ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งเชิงปล่อยจะมีการเคลื่อนไหวมากกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่ระดับกิจกรรมยังอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม ทำให้ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักตัวของไก่ในระบบกึ่งเชิงปล่อยจึงไม่แตกต่างจากระบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ (Gongruttananun et al., 2013; Sirri et al., 2007) เมื่อพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไปมีน้ำหนักตัว

สูงสุด รองลงมาคือการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และต่ำสุดคือการเลี้ยงแบบอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่า ไก่เลี้ยงแบบทั่วไปมีน้ำหนักตัวสูงกว่าแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ขณะที่ Li et al. (2015) รายงานว่าระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีน้ำหนักตัวและ FCR ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปกลับไม่สอดคล้องกับการทดลองที่พบว่า ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า FCR ส่วนการศึกษาของ Li et al. (2017) พบว่า การเลี้ยงไก่แบบปล่อยพื้นส่งผลต่อค่าน้ำหนักสูงกว่าการเลี้ยงแบบขังกรงและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย แต่มีปริมาณอาหารที่กินได้และค่า FCR ในการเลี้ยงแบบขังกรงสูงกว่าการเลี้ยงแบบปล่อยพื้นและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย นอกจากนี้ งานวิจัยของ Molee et al. (2022) พบว่า ไม่มีความแตกต่างด้านน้ำหนักตัวระหว่างระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่การเลี้ยงแบบทั่วไปมีค่า FI และ FCR สูงกว่าแบบอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในด้านค่าปริมาณอาหารที่กินได้ แต่ขัดแย้งในค่าน้ำหนักตัวที่ผลการศึกษาพบว่า การเลี้ยงแบบทั่วไปให้ค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และไม่สอดคล้องในงานทดลองส่วนของค่า FCR ไม่มีผลต่อระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และแบบทั่วไป ซึ่งระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยแม้จะสอดคล้องกับหลักสวัสดิภาพสัตว์ ที่ส่งเสริมให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างเต็มที่และการมีกิจกรรมนอกโรงเรือนส่งผลให้ไก่ใช้พลังงานไปกับการใช้ชีวิตส่งผลให้การสะสมพลังงานที่เปลี่ยนไปเป็นไขมันสะสมตามร่างกายลดลง ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ในระบบอินทรีย์ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป (Ponte et al., 2008; Castellini et al., 2006) การที่ไก่ในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีปริมาณอาหารที่กินได้และน้ำหนักตัวต่ำกว่าไก่แบบทั่วไปนั้น สามารถอธิบายได้ว่าความหนาแน่นพลังงานต่ำลงจากปริมาณเยื่อใยในหัวอาหารในธรรมชาติในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่อนุญาตให้ไก่เข้าถึงการกินหญ้าโดยหญ้ามีเยื่อใยสูงและให้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักที่ต่ำ ทำให้ไก่ต้องกินอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานเท่าเดิม แต่ด้วยขีดจำกัดการกิน (gut fill) ไก่จึงกินได้ไม่มากพอ แม้จะสามารถย่อยเยื่อใยได้ระดับหนึ่ง แต่ค่า crude fiber ในหญ้าที่สูงจะชะลอการเคลื่อนที่ของลำไส้ และลดอัตราการดูดซึมไขมันและน้ำตาลทำให้สารอาหารหลักถูกดูดซึมน้อยลง จึงใช้พลังงานได้ไม่เต็มที่และเจริญเติบโตช้ากว่าไก่ในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป (Mateos et al, 2012) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงการเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยสามารถส่งเสริมสวัสดิภาพสัตว์และการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติของไก่ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องพลังงานที่ได้รับจากอาหารธรรมชาติที่มีเยื่อใยสูงและพลังงานต่ำ ซึ่งทำให้ไก่ต้องกินมากขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานที่เพียงพอ แต่ยังไม่สามารถกินได้เต็มที่เนื่องจากข้อจำกัดของระบบทางเดินอาหาร จึงทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตในกลุ่มนี้ต่ำกว่าระบบทั่วไป อย่างไรก็ตามการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าการกินได้ (feed intake) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (FCR) ก็อยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าไก่ในสองรูปแบบดังกล่าวมีความต้องการสารอาหารในปริมาณที่สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสูตรอาหารโดยเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานและปรับสัดส่วนสารอาหารให้สอดคล้องกับความต้องการเฉพาะของไก่ในระบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อย เพื่อรองรับ

การใช้พลังงานจากกิจกรรมกลางแจ้งและรักษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตให้สอดคล้องกับมาตรฐานการผลิตเชิงพาณิชย์ได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช อายุ 91 วัน

Parameter	Treatment			SEM	P-value
	Conventional	Free-range	Organic		
Body weight (g)	1,502.60 ^a	1,445.00 ^a	1,173.80 ^b	48.33	<0.01
Body weight gain (g)	1,460.80 ^a	1,403.00 ^a	1,132.20 ^b	27.06	<0.01
Average daily gain (g)	16.20 ^a	15.40 ^a	12.40 ^b	0.50	<0.01
Feed intake (g)	4,413.80 ^a	3,861.00 ^{ab}	3,307.60 ^b	155.00	<0.01
Feed conversion ratio (FCR)	3.06	2.76	2.91	0.06	0.16

หมายเหตุ : ^{a, b} means within a row with different superscript letters differ significantly at P<0.05.

จากการเปรียบเทียบต้นทุนอาหารตลอดช่วงการเลี้ยงไก่โคราชระยะเวลา 91 วัน ในตารางที่ 4.2 พบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีต้นทุนวัตถุดิบอาหารสูงกว่าระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย โดยเฉพาะในวัตถุดิบหลัก เช่น ถั่วเหลือง (full-fat soybean meal) และปลายข้าว (broken rice) ซึ่งมีราคาสูงกว่าวัตถุดิบในเชิงพาณิชย์เกือบสองเท่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านแหล่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานอินทรีย์ ทำให้ต้นทุนอาหารเฉลี่ยในการเลี้ยงแบบอินทรีย์สูงถึง 28.99 บาทต่อกิโลกรัมอาหาร ขณะที่การเลี้ยงแบบทั่วไปและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีต้นทุนอาหารเฉลี่ยเพียง 13.79 บาทต่อกิโลกรัมอาหารเท่านั้น เมื่อคำนวณต้นทุนอาหารต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวโดยใช้ข้อมูลค่า FCR ประกอบ พบว่า ไก่โคราชในระบบอินทรีย์มีต้นทุนการผลิตจากอาหารสูงสุดอยู่ที่ 84.38 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ซึ่งมากกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่มีต้นทุนอยู่ที่ 42.18 และ 38.04 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แม้ต้นทุนจะสูงขึ้นในระบบอินทรีย์ แต่ราคาจำหน่ายในตลาดก็มีแนวโน้มสูงขึ้นตามเช่นกัน โดยการเลี้ยงแบบทั่วไปมีราคาจำหน่ายอยู่ระหว่าง 70-80 บาทต่อกิโลกรัม การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยอยู่ระหว่าง 90-120 บาทต่อกิโลกรัม และการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีช่วงราคาจำหน่ายสูงที่สุดคือ 120-160 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ แม้จะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า เนื่องจากต้องใช้วัตถุดิบคุณภาพสูงและปฏิบัติตามมาตรฐานที่เข้มงวด แต่ก็สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่าระบบอื่น ๆ อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายในตลาดอินทรีย์ให้ความสำคัญกับคุณภาพ ความปลอดภัยของอาหาร รวมถึงสวัสดิภาพสัตว์ และยอมรับราคาที่สูงขึ้นเพื่อแลกกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางสุขภาพและความยั่งยืน ในขณะเดียวกันระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกร เนื่องจากให้ความสำคัญกับสวัสดิภาพสัตว์เช่นเดียวกับระบบอินทรีย์ แต่มีต้นทุนอาหารต่ำกว่า นอกจากนี้ยังสามารถ

จำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้ในราคาสูงกว่าระบบเลี้ยงแบบทั่วไป จึงส่งผลให้มีความคุ้มค่าในแง่ของการผลิตมากขึ้น สำหรับระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปเหมาะสมกับตลาดที่เน้นต้นทุนการผลิตต่ำและปริมาณการผลิตสูง โดยเน้นการจัดการที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำเพื่อแข่งขันในตลาดทั่วไป อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ระบบการเลี้ยงที่เหมาะสมควรพิจารณาจากบริบทและข้อจำกัดของเกษตรกรแต่ละราย เช่น เงินทุนที่มีอยู่ พื้นที่เลี้ยง ความพร้อมในการจัดหาแหล่งวัตถุดิบ ช่องทางการตลาด รวมถึงความสามารถในการบริหารจัดการฟาร์มและจุดมุ่งหมายทางการตลาด โดยความต้องการของเกษตรกรจะเป็นตัวกำหนดแนวทางการผลิตไว้ในรูปแบบการเลี้ยงที่เหมาะสมกับบริบทของตลาด

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ต้นทุนอาหารไก่โคราชในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน (ตลอดการเลี้ยง 91 วัน)

รายการ	Conventional	Free-range	Organic system
Feed Conversion Ratio (FCR)	3.06	2.76	2.91
Full fat Soybean meal (baht/kg)	16.65 ¹	16.65 ¹	35.00 ²
Broken rice (baht/kg)	10.30 ¹	10.30 ¹	24.00 ²
Feed costs (baht/kg diet)	13.79	13.79	28.99
Feed cost (baht/kg BW)	42.18	38.04	84.38
Breed cost (baht/chicken)	20	20	20
Other cost (baht/kg)	5	5	5
Total cost (baht/kg BW)	67.18	63.04	109.38
Market price (baht/kg)	70-80 ³	90-120 ⁴	120-160 ⁵

หมายเหตุ: ¹ข้อมูลราคาวัตถุดิบจากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ²ข้อมูลราคาวัตถุดิบวิสาหกิจชุมชนบ้านผักไหมศรีสะเกษ ³ข้อมูลตลาดไก่โคราชนครชัยบุรินทร์ ⁴ข้อมูลตลาดไก่โคราชแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยกลุ่มเกษตรกรโคราช ⁵ข้อมูลตลาดไก่โคราชอินทรีย์เกษตรกรศรีสะเกษ

4.2 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบซากในไก่โคราช

จากผลการทดลองเกี่ยวกับองค์ประกอบซากของไก่ที่เลี้ยงในระบบต่าง ๆ พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์มีเปอร์เซ็นต์ซากรวม (eviscerated carcass) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป (conventional) และการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อย (free-range) สามารถอธิบายได้ว่าในระบบอินทรีย์ที่ให้ไก่ได้มีพื้นที่การเคลื่อนไหวมากขึ้น ทำให้พลังงานที่ได้รับจากอาหารถูกใช้ไปในการเคลื่อนไหวและกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้การสะสมไขมันในซากลดลง (Molee et al., 2022; Castellini et al., 2002) ในส่วนของไขมันในช่องท้อง (abdominal fat) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในช่องท้องต่ำ ซึ่งแตกต่างจากการเลี้ยงแบบทั่วไปที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในช่องท้องสูง เนื่องจากการลดลงของไขมันในช่องท้องในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์

สามารถอธิบายได้จากการเคลื่อนไหวและพฤติกรรมตามธรรมชาติที่ไ้ได้รับการเลี้ยงในพื้นที่กว้าง (Fanatico et al., 2005) แต่ในทางกลับกันการเลี้ยงแบบทั่วไปแสดงถึงการสะสมไขมันในซากที่มากขึ้นเนื่องจากพลังงานที่ได้รับจากอาหารไม่ได้ถูกใช้ในการเคลื่อนไหวตามธรรมชาติ แต่ถูกเก็บสะสมในรูปของไขมัน (Sirri et al., 2007) การเลี้ยงแบบทั่วไปที่จำกัดการเคลื่อนไหวจึงส่งผลให้ไ้มีการสะสมไขมันในช่องท้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงแบบทางเลือก ทั้งนี้ภาวะความเครียดในไ้ไม่เพียงแต่กระตุ้นแก๊สโปทาลามัส-ต่อมใต้สมอง-ต่อมหมวกไต (HPA) ให้เพิ่มการหลั่งคอร์ติโคสเตอรอยด์เท่านั้น แต่ยังนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงร่วมกันในหลายระบบเมตาบอลิซึมที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมไขมันในช่องท้อง เมื่อระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์สูงขึ้นในระยะยาวจะทำให้เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance) ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อและตับ ส่งผลให้กลูโคสในเลือดคงที่สูงขึ้น (hyperglycemia) และกระตุ้นให้เอนไซม์ lipoprotein lipase (LPL) ในเนื้อเยื่อไขมันช่องท้องทำงานมากขึ้น เพื่อปลดปล่อยกรดไขมันเข้าสู่ adipocyte (Zhou et al., 2022) เมื่อกลูโคสถูกเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triacylglycerol) ในเซลล์ไขมันช่องท้อง กระบวนการ de novo lipogenesis จะถูกเร่งให้ผลิตกรดไขมันใหม่มากขึ้น ซึ่งยิ่งทำให้เนื้อเยื่อไขมันในช่องท้องขยายตัวมากขึ้น (Sugawara et al., 2013) นอกเหนือจากกระบวนการเมตาบอลิซึมพื้นฐานแล้ว ความเครียดยังเชื่อมโยงกับภาวะอักเสบเฉียบพลัน (acute inflammation) และอักเสบเรื้อรัง (chronic inflammation) ในร่างกายไ้โดยตรง เมื่อคอร์ติโคสเตอรอยด์เพิ่มสูงการหลั่งไซโตไคน์อักเสบบางชนิด เช่น interleukin-6 (IL-6) และ tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) จะถูกกระตุ้นขึ้นในเนื้อเยื่อไขมันช่องท้อง (Pérez et al., 2023) ไซโตไคน์เหล่านี้ไม่เพียงแต่ส่งเสริมให้เกิด oxidative stress ภายในเซลล์ไขมัน แต่ยังรบกวนสัญญาณการทำงานของอินซูลิน ทำให้เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลินมากขึ้น ส่งผลให้การนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อชะลอลง ขณะที่ไขมันในช่องท้องสะสมมากขึ้นในเวลาเดียวกัน (Spencer et al., 2017) การสะสมไขมันช่องท้องที่เพิ่มขึ้นนี้จึงเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของ HPA axis, กลไกอักเสบ และการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึม ในบริบทของระบบการเลี้ยงพบว่า การจำกัดพื้นที่และสภาวะความหนาแน่นสูง ทำให้ไ้เกิด stress response สูงกว่าการเลี้ยงในพื้นที่กว้าง (Hoan and Khoa 2016) ซึ่งสะท้อนผ่านระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ที่สูงขึ้น และสภาวะ oxidative stress ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (Vinoth et al., 2015) ขณะที่การเลี้ยงแบบอินทรีย์และการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีการออกกำลังกายและพฤติกรรมแสดงตามธรรมชาติมากขึ้น ทำให้ลดภาวะ oxidative stress และการหลั่งคอร์ติโคสเตอรอยด์ได้ (Mujahid 2014) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบซากจะพบว่า ไ้ในการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องต่ำกว่าแบบทั่วไป เนื่องจากการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีการใช้พลังงานไปกับการเคลื่อนไหวและกิจกรรมตามธรรมชาติมากกว่าการได้รับพื้นที่แปลงหญ้าที่กว้าง เมื่อคอร์ติโคสเตอรอยด์ลดต่ำและ oxidative stress ลดลง จึงไม่กระตุ้นให้เกิด lipogenesis จึงมีไขมันในช่องท้องน้อยกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป นอกจากนี้การเลี้ยงแบบทั่วไปทำให้เปอร์เซ็นต์ซากเฉลี่ยสูงกว่าแต่มี

อัตราการสะสมไขมันในช่องท้องสูงกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจากภาวะ stress-induced visceral adipogenesis ทำงานเต็มประสิทธิภาพในสภาวะที่มีการเคลื่อนไหวไม่เพียงพอ (Sirri et al., 2007) ในทางกลับกันถึงแม้การเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยจะให้เปอร์เซ็นต์ซากรวมต่ำกว่า แต่คุณภาพซากดีกว่าในแง่ของความแน่นของกล้ามเนื้อ (muscle firmness) เนื่องจากไก่ได้ใช้กล้ามเนื้อมากขึ้นในการเคลื่อนไหวในแปลงหญ้า (Hoan and Khoa 2016) ซึ่งบ่งชี้ว่าแม้ปริมาณซากอาจลดลงเล็กน้อย แต่โครงสร้างกล้ามเนื้อและองค์ประกอบไขมันในซากกลับเอื้อต่อคุณภาพเนื้อที่ดีขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Li et al. (2017) ที่พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีไขมันในช่องท้องน้อยกว่าการเลี้ยงในกรงขัง นอกจากนี้การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยยังส่งผลให้การเคลื่อนไหวและการใช้พลังงานของไก่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาเนื้อและลดการสะสมไขมันในช่องท้องได้ในระดับหนึ่ง (Hoan and Khoa 2016) ส่งผลให้เนื้อของไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีคุณภาพที่แตกต่าง เช่น ความแน่นของเนื้อสูงขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า shear force ที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไป ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยส่งเสริมการเคลื่อนไหวของไก่และให้พื้นที่ในการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ สามารถลดการสะสมไขมันในช่องท้องและส่งผลต่อคุณภาพของซากได้ดีกว่าระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป แม้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ซากรวมในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์จะต่ำ แต่อย่างไรก็ตามกลับส่งเสริมให้เกิดคุณลักษณะทางกายภาพของซากที่เหมาะสมในด้านคุณภาพ โดยเฉพาะในแง่ของการลดไขมันส่วนเกินและการพัฒนาเนื้อที่มีคุณภาพสูง ในขณะที่การเลี้ยงแบบทั่วไปแม้จะส่งเสริมการสะสมของเนื้อได้ดีในเชิงปริมาณ แต่มีแนวโน้มเกิดการสะสมไขมันสูงกว่า จากผลการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบซากของไก่โคราชภายใต้ระบบการเลี้ยงที่ต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างลักษณะกายภาพของซากกับพฤติกรรมเคลื่อนไหวของสัตว์ในแต่ละระบบการเลี้ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ ซึ่งเปิดโอกาสให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติและมีกิจกรรมทางกายภาพมากขึ้น ส่งผลให้มีการสะสมไขมันในช่องท้องน้อยลง และแม้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ซากรวมจะต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่กลับมีคุณภาพซากที่ดีในแง่ของความแน่นของกล้ามเนื้อที่ดีขึ้น ในขณะที่ระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยแสดงผลในทิศทางเดียวกันกับการเลี้ยงแบบอินทรีย์ แม้จะมีพื้นที่ให้เคลื่อนไหวน้อยกว่าแต่ยังคงสามารถลดการสะสมไขมันในช่องท้องและส่งเสริมพัฒนาการของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่างจากระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปที่จำกัดการเคลื่อนไหวของไก่ส่งผลให้มีการสะสมไขมันมากกว่า ผลการศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่าคุณภาพของซากสัตว์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเพียงอย่างเดียว หากแต่ควรพิจารณาองค์ประกอบรวม เช่น ความหนาแน่นของกล้ามเนื้อ ปริมาณไขมันในช่องท้อง และความสามารถของสัตว์ในการเคลื่อนไหว ซึ่งสะท้อนถึงสภาวะสุขภาพโดยรวมและสวัสดิภาพสัตว์ การพัฒนาแนวทางการเลี้ยงที่เอื้อต่อพฤติกรรมธรรมชาติของสัตว์และลดความเครียดจึงมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านจริยธรรมและคุณภาพผลิตภัณฑ์

โดยเฉพาะในระบบปศุสัตว์ยุคใหม่ที่ให้ความสำคัญต่อความยั่งยืนและความรับผิดชอบต่อผู้บริโภคในระยะยาว

ตารางที่ 4.3 ผลของระบบการเลี้ยงที่ต่างกันต่อองค์ประกอบซากในไก่โคราช อายุ 91 วัน

Yield (%)	Conventional	Free-range	Organic	SEM	P-value
Eviscerated carcass ¹	66.30 ^a	64.45 ^b	64.12 ^b	0.23	<0.01
Pectoralis minor	5.08	5.12	5.28	1.54	0.72
Pectoralis major	17.50	17.13	17.52	0.66	0.76
Thigh meat	17.67	18.03	18.26	0.16	0.38
Drumstick meat	15.89	16.37	16.76	0.23	0.26
Wing	13.59	13.83	14.00	0.09	0.20
Heart	0.41	0.44	0.41	0.81	0.33
Liver	1.74	1.94	1.93	0.69	0.08
Gizzard	2.68	2.74	2.77	0.42	0.78
Abdominal fat	0.73 ^a	0.32 ^b	0.46 ^b	0.01	<0.01

หมายเหตุ : ^{a, b} means within a row with different superscript letters differ significantly at $P < 0.05$. ¹ Carcass weights without viscera, head, neck, feet, and shank.

4.3 ผลของระบบการเลี้ยงที่ต่างกันต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช

จากผลการศึกษาที่แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า pH ที่วัดหลังจากการฆ่าไก่ 45 นาที (pH 45 min) และค่า pH สุดท้าย (ultimate pH) ของเนื้ออกไก่โคราชที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และแบบอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Davoodi and Ehsani (2020) และ Ying et al. (2017) พบว่า ค่า pH สุดท้ายของเนื้อไก่ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยไม่พบความแตกต่างกัน อีกทั้งการศึกษาของ Molee et al. (2022) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบทั่วไปไม่พบความแตกต่างของค่า Ultimate pH ทั้งนี้เนื่องจาก ค่า pH ของเนื้อสัตว์หลังการฆ่าเป็นผลมาจากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกรดแลคติกส่งผลให้ค่า pH ลดลงจากประมาณ 7.2 ในสัตว์มีชีวิตไปสู่ระดับต่ำสุดที่ประมาณ 5.4–5.7 ภายใน 18–24 ชั่วโมงหลังการฆ่า โดยการที่ค่า pH 45 นาที และค่า Ultimate pH ไม่มีความแตกต่างกันในระบบการเลี้ยงที่ต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อมก่อนการเชือด การจัดการขนส่ง และการพักสัตว์ก่อนการฆ่า ซึ่งมีผลต่อระดับไกลโค

เจนในกล้ามเนื้อและกระบวนการไกลโคไลซิสหลังการฆ่า ซึ่งกระบวนการเชือดที่เหมาะสมส่งผลให้ค่า pH ของเนื้อไม่แตกต่างกัน (Ristic and Damme, 2012)

จากการศึกษาพบว่า ค่า cooking loss ทั้งในเนื้ออกและเนื้อสะโพก แม้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่แนวโน้มค่า cooking loss เนื้อสะโพกในกลุ่มการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยสูงกว่ากลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกล้ามเนื้ออาจมีผลต่อการสูญเสียของเหลวในระหว่างการให้ความร้อน ในส่วนของค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) พบว่า เนื้อไก่ที่เลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย มีค่า shear force สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป ($P<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Molee et al. (2022) พบว่าไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์มีค่า shear force สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป และการศึกษาของ Li et al. (2017) และ Da Silva et al. (2017) พบว่าไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย มีค่า shear force สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีพื้นที่ปล่อยไก่ออกสู่แปลงหญ้าขนาดใหญ่จึงส่งผลทำให้ไก่มีการเคลื่อนไหวสูง จากการทำกิจกรรมในแปลงหญ้าส่งผลให้เกิดกลไกการสร้างกล้ามเนื้อจากการยืดหดกล้ามเนื้ออยู่เป็นประจำ เมื่อเกิดการออกกำลังกายยืดหดกล้ามเนื้อจะเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (muscle injury) ความเสียหายนี้จะกระตุ้น satellite cells ซึ่งอยู่ด้านนอกของเส้นใยกล้ามเนื้อระหว่างเยื่อหุ้มฐาน (basal lamina) และเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ (sarcolemma) ให้เคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บ จากนั้นสมองปลดปล่อย growth hormone จากต่อมใต้สมองทำงานร่วมกับ testosterone ช่วยกระตุ้นการเผาผลาญไขมันเพื่อใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ และกระตุ้นการดูดซึมกรดอะมิโนไปสู่เซลล์ในกล้ามเนื้อ ในขณะเดียวกันเกิดกระบวนการสร้างเส้นเลือดฝอยใหม่ (revascularization) จากการกระตุ้น fibroblast growth factor (FGF) และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนจากการกระตุ้น insulin-like growth factors (IGFs) ร่วมกับอินซูลิน (Insulin) ช่วยให้กลูโคสเข้าสู่เซลล์ ซึ่ง satellite cells ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) เซลล์เหล่านี้จะรวมตัวกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีอยู่ เพื่อสร้างเส้นใยใหม่ส่งผลให้มีการเพิ่มและเติบโตของเซลล์กล้ามเนื้อมากขึ้น (muscle hypertrophy) (Chargé and Rudnicki, 2004) ส่งผลทำให้ค่า shear force สูงขึ้น

จากผลการศึกษาการเลี้ยงที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพค่า drip loss พบว่า กลุ่มไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียน้ำสูงกว่ากลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการคาดการณ์จากการทบทวนวรรณกรรมจากการศึกษาของ Stadig et al. (2016) และ Li et al. (2017) พบว่า การเลี้ยงแบบทั่วไปมีค่า drip loss สูงกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย อาจมีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ว่าในระบบการเลี้ยงแบบ Free-range แม้จะมีข้อดีในด้านการส่งเสริมพฤติกรรมตามธรรมชาติของสัตว์และเพิ่มความเป็นอยู่ที่ดีของไก่ แต่การเปิดโอกาสให้ไก่ได้เคลื่อนไหวอย่างอิสระ ไม่ว่าจะเป็นการเดิน วิ่ง หรือกระพือปีกอย่างสม่ำเสมอ อาจส่งผลกระทบทางสรีรวิทยาต่อกล้ามเนื้อออกโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการใช้งาน

กล้ามเนื้อเป็นไปอย่างต่อเนื่องและเกินระดับที่เหมาะสม อาจทำให้เกิดภาวะเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อในระดับเซลล์ ซึ่งภาวะดังกล่าวมีแนวโน้มทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก (lactic acid) ภายในกล้ามเนื้อหลังการเชือดส่งผลให้น้ำออกสู่ภายนอกในรูปของ drip loss (Sirri et al., 2010; Lopez et al., 2011; Zhang et al., 2021)

ตารางที่ 4.4 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช อายุ 91 วัน

Parameter		Conventional	Free-range	Organic	SEM	p-value
pH 45 min	Breast	5.93	5.84	5.85	0.01	0.07
Ultimate pH	Breast	5.93	5.87	5.84	0.02	0.18
Shear force (WBS)	Breast	2.70 ^b	3.19 ^a	3.18 ^a	0.01	0.03
Drip loss (%)	Breast	7.25 ^b	8.56 ^a	7.14 ^b	0.17	<0.01
Cooking loss (%)	Breast	9.78	10.87	11.17	3.13	0.43
	Thigh	16.36	19.51	17.50	4.12	0.74
Skin color	Lightness	65.34	66.39	65.89	0.14	0.59
	Redness	-0.34	-0.81	-0.39	0.52	0.39
	Yellowness	5.28 ^b	6.66 ^{ab}	8.87 ^a	1.62	0.03
Meat color	Lightness	60.34	60.46	60.61	0.58	0.98
	Redness	-2.27	-2.18	-1.92	0.08	0.22
	Yellowness	2.17 ^b	3.36 ^a	4.36 ^a	0.34	0.02

หมายเหตุ : ^{a, b} means within a row with different superscript letters differ significantly at $P < 0.05$.

จากผลการศึกษาการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า lightness ในเนื้ออกและเนื้อสะโพกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กลับส่งผลต่อค่า Yellowness ในเนื้อของกลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์และกลุ่มการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยสูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Molee et al. (2022) รายงานว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ส่งผลให้เนื้อและผิวหนังมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบทั่วไป อีกทั้งการศึกษาของ Stadig et al. (2016) และ Da Silva et al. (2017) การเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยส่งผลให้ค่าสีเหลืองในเนื้อสูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.5 พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์มีปริมาณการกินหญ้าหูลูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*) เฉลี่ยสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อย โดยระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยการกินหญ้าแห้งต่อวันอยู่ที่ 7.91 กรัม/ตัว/วัน เทียบกับ 6.79 กรัม/ตัว/วัน ในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อย การกินหญ้าที่มากขึ้นในระบบอินทรีย์สามารถอธิบายได้จากการที่ไก่มีโอกาสเคลื่อนไหวและแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้มากขึ้นส่งผลให้มีการจิกกินและ

ค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะพฤติกรรมที่พบได้ทั่วไปในไก่ อีกทั้งระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีพื้นที่กว้างกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อย ดังนั้นการเข้าถึงแปลงหญ้าที่กว้างได้มากกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อย ในด้านคุณค่าทางโภชนาของหญ้าที่พบว่า มีพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy) อยู่ที่ 1.64 Mcal/kg และมีโปรตีน (crude protein) 3.8% อย่างไรก็ตามหญ้าซึ่งยังมีเส้นใยที่ไม่ละลายในกรด (ADF) และเส้นใยที่ไม่ละลายในสารละลายกลาง (NDF) สูงถึง 37.3% และ 65.2% ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของระบบทางเดินอาหารของไก่ โดยเฉพาะในด้านการกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้และการย่อยอาหาร นอกจากนี้หญ้าซึ่งยังเป็นแหล่งของสารแคโรทีนอยด์ที่สำคัญ โดยมีปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) และลูทีน (lutein) อยู่ที่ 14.9 มิลลิกรัม และ 18.5 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2545) สารแคโรทีนอยด์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพสีของเนื้อไก่ และการเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีแนวโน้มที่จะได้รับสารแคโรทีนอยด์ในปริมาณที่สูงจากการเข้าถึงสารอาหารในธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อความเข้มของสีเหลืองในอวัยวะและเนื้อเยื่อตามร่างกายที่สูงขึ้น สามารถอธิบายการสะสมสีเหลืองบริเวณเนื้อและผิวหนังของไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยที่ส่งผลต่อค่า Yellowness ที่สูงขึ้นได้ว่า สีที่ปรากฏในเนื้อสัตว์เกิดจากการสะสมของสารสีรงควัตถุ (pigments) โดยไก่ได้รับแคโรทีนอยด์ผ่านการกินอาหาร ส่วนประกอบหลักของอาหารไก่ประกอบด้วยถั่วเหลืองและข้าวโพดที่การสะสมของสารสีในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีโอกาสได้รับสารสีจากธรรมชาติมากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป อาทิ หญ้ามีสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดเบต้าแคโรทีน (beta carotene) และไลโคปีนมีสารสีชนิดฟิโอมะลาโนน (pheomelanin) จัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดง สามารถพบได้ในพืชหลายชนิดรวมถึงหญ้าและสัตว์ เช่น แมลง หนอน และไส้เดือน ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติในพื้นที่การเลี้ยง เม็ดสีเหล่านี้สามารถดูดซึมและสะสมผ่านการกินในปริมาณมากและเกิดการสะสมตามอวัยวะและผิวหนัง (Nabi et al., 2023) หลังจากแคโรทีนอยด์ถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะถูกขนส่งไปยังเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ซึ่งเซลล์เหล่านี้มีหน้าที่ในการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่กระแสเลือด เซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กส่วนต้นมีโปรตีนที่เรียกว่า Scavenger Receptor Class B, Type 1 (SR-B1) ซึ่งทำหน้าที่จับกับแคโรทีนอยด์ที่รวมตัวกับเซลล์ไขมัน การจับกับ SR-B1 ช่วยให้แคโรทีนอยด์ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากแคโรทีนอยด์ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผิวแล้ว จะถูกขนส่งผ่านระบบน้ำเหลืองเข้าสู่กระแสเลือดโดยการจับกับไลโปโปรตีน (lipoproteins) จากนั้นจะถูกส่งไปยังตับและไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ เกิดการสะสมสารสีที่อวัยวะต่าง ๆ เช่น เนื้อ ผิวหนัง หงอน และแข้ง เป็นต้น (Toomey et al., 2017) จากผลการศึกษาผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราชชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงในระบบเกษตรอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยสามารถปรับปรุงคุณลักษณะบางประการของคุณภาพเนื้อได้ โดยเฉพาะค่าแรงตัดผ่าน (shear force) ที่สูงขึ้น ซึ่งอาจสัมพันธ์กับระดับกิจกรรมทางกายภาพ

ที่มากกว่าการเลี้ยงในระบบทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในด้านการสูญเสียจากเนื้อ (drip loss) พบว่าอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมหรือภาวะความเครียดเรื้อรังที่แฝงอยู่ในระบบการเลี้ยง ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อ นอกจากนี้สีของเนื้อไก่โดยเฉพาะค่าความเหลือง (Yellowness) มีค่าสูงกว่าชัดเจนในกลุ่มที่ได้รับโอกาสเข้าถึงแหล่งอาหารธรรมชาติ เช่น หญ้ารู่ชี ซึ่งเป็นแหล่งของสารแคโรทีนอยด์ที่สำคัญ ส่งผลให้เกิดการสะสมของรงควัตถุในเนื้อและผิวหนังอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในเชิงพาณิชย์และการพัฒนาระบบการเลี้ยงที่เหมาะสมต่อคุณภาพเนื้อของไก่พื้นเมืองไทยอย่างไก่อโคราชต่อไป ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อแยกอิทธิพลของปัจจัยร่วมอื่น ๆ เพื่อให้เข้าใจกลไกที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อภายใต้แต่ละระบบการเลี้ยงอย่างรอบด้านยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลของการเลี้ยงไก่ในระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและแบบอินทรีย์ต่อปริมาณการกินหญ้าและค่าทางโภชนาของหญ้ารู่ชีในแปลง

Grass intake ¹ (dry matter) g/day/bird	Amount
Free-range	6.79
Organic	7.91
Chemical composition ²	Total
Digestible energy (Mcal/kg)	1.64
Crude protein (%)	10.70
Fat (%)	1.80
Neutral detergent fiber (NDF) (%)	65.20
Acid detergent fiber (ADF) (%)	37.30
β -carotene (ml/100 g of dry weight)	14.90
Lutein (ml/100 g of dry weight)	18.50

หมายเหตุ: ¹ ปริมาณหญ้าที่กินได้ที่เกิดจากพฤติกรรมในการจิกกินและการคุ้ยเขี่ย ² กานดา และคณะ (2548)

4.4 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์และฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในไก่อโคราช

เมื่อสัตว์เกิดความเครียด ระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์จะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล (heterophils) ในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นพร้อมกับการลดลงของเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (lymphocytes) ส่งผลให้อัตราส่วน H/L มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ที่มีสภาวะ

ร่างกายปกติ จากการศึกษาพบว่า ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อเปอร์เซ็นต์ของ heterophils (H) และ lymphocytes (L) รวมถึงอัตราส่วน H/L ratio ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ซึ่งผลลัพธ์นี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Sanchez-Casanova et al. (2019) ที่พบว่า ไก่เนื้อทางการค้าในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่า H/L ratio ต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบขังคอก สาเหตุที่เป็นไปได้ว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบทั่วไปมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งมีพื้นที่พักผ่อนและเลือกสถานที่อยู่อาศัยที่จำกัด ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียดในสัตว์ (Mashaly et al., 2004; Wei et al., 2014) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cotter (2015) และ Çüreker et al. (2022) ที่ระบุว่าระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่า H/L ratio ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและอินทรีย์สามารถเข้าถึงพื้นที่นอกโรงเรือนได้อย่างอิสระ แต่พื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาแสงแดด ความเข้มของแสง และฤดูกาล รวมถึงการเผชิญหน้ากับ

สัตว์นักล่าในธรรมชาติ เช่น งู เหี้ยยว อีกา หรือสุนัข ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียดและความกลัวในสัตว์ ดังนั้น จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ไม่พบความแตกต่างของอัตราส่วน heterophils ต่อ lymphocytes (H/L ratio) ในไก่ที่เลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงทั้งสามแบบ นอกจากนี้ สายพันธุ์ไก่ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในระบบการเลี้ยง โดยเฉพาะกลุ่มไก่โตช้าหรือไก่พื้นเมืองสามารถปรับตัวและทนทานต่อสภาพแวดล้อมนอกโรงเรือนได้ดีกว่าไก่สายพันธุ์ทางการค้า เนื่องจากการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบการเผาผลาญพลังงาน ระบบภูมิคุ้มกัน และความทนทานต่อความเครียด ทำให้ไก่กลุ่มโตช้าหรือไก่พื้นเมืองมีความสามารถสูงกว่า จึงเหมาะสมที่จะนำมาเลี้ยงในระบบอินทรีย์ แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย หรือระบบทางเลือกอื่น ๆ (Sanchez-Casanova et al., 2019)

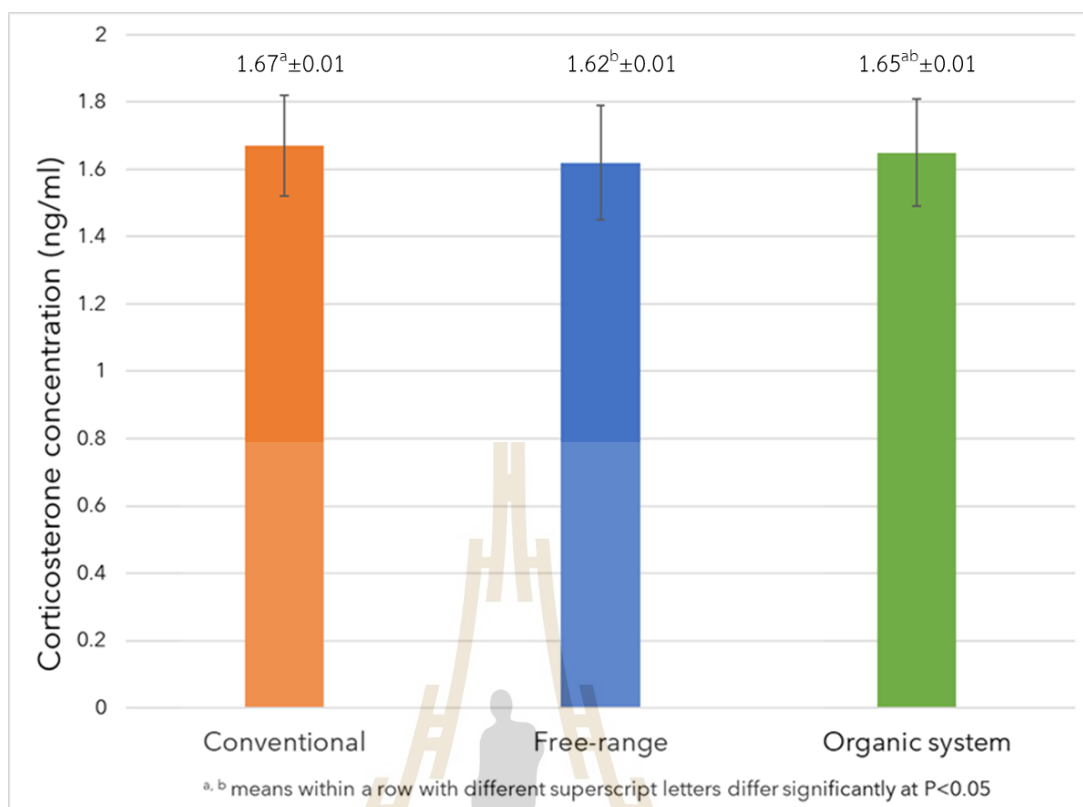
ตารางที่ 4.6 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลและลิมโฟไซต์ในไก่โคราชอายุ 91 วัน

Parameter	Treatment			SEM	P-value
	Conventional	Free-range	Organic		
Lymphocyte (%)	5.23	6.90	5.72	0.67	0.59
Heterophils (%)	5.23	4.30	5.54	0.83	0.84
H/L ratio	1.16	0.79	0.67	0.16	0.46

หมายเหตุ : ^{a,b} means within a row with different superscript letters differ significantly at $P < 0.05$.

คอร์ติโคสเตอรอยด์ (corticosterone) เป็นกลุ่มของฮอร์โมนสเตียรอยด์ที่หลั่งออกมาจากต่อมหมวกไต ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการตอบสนองต่อความเครียด การเผาผลาญพลังงาน ภูมิคุ้มกัน และการรักษาสภาวะสมดุลของร่างกาย (homeostasis) การหลั่งของคอร์ติโคสเตอรอยด์มีรูปแบบจังหวะตามเวลาชีวิตประจำวัน (circadian rhythm) ซึ่งหมายความว่าระดับของฮอร์โมนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน โดยรอบหนึ่งใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง โดยระดับฮอร์โมนมักจะสูงที่สุดในช่วงเวลาที่สัตว์มีความกระฉับกระเฉง (active phase) และต่ำสุดในช่วงพัก (rest phase) เมื่อสัตว์เกิดความเครียดจะเกิดการปลดปล่อย corticotropin releasing factor (CRF) จากไฮโปทาลามัสกระตุ้นให้ปลดปล่อย adrenocorticoid trephine hormone (ACTH) เข้าสู่กระแสเลือด กระตุ้นต่อมหมวกไตให้สังเคราะห์ และปล่อยคอร์ติโคสเตอรอยด์ออกมา ส่งผลให้สัตว์เกิดปฏิกิริยาการตอบสนองต่อความเครียด (Webster et al., 2002; John and Buckingham, 2003; Miller and Auchus, 2011) แม้ทฤษฎีทั่วไปจะชี้ว่าการเลี้ยงสัตว์ในระบบเปิด เช่น organic หรือ free-range ควรส่งผลให้สัตว์มีความเครียดต่ำกว่าเนื่องจากสามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างอิสระ แต่ผลการศึกษานี้กลับพบว่า ระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ต่ำกว่าระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์กลับไม่แตกต่างจากการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและการเลี้ยงแบบทั่วไป ($P > 0.05$) ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Çüreğ et al. (2022) ที่รายงานว่าไก่ที่อยู่ในระบบทางเลื้อมมีระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ต่ำกว่าไก่ในการเลี้ยงแบบทั่วไปอย่างชัดเจน แต่กลับมีผลไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Pia Franciosi et al. (2005) พบว่า กลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีค่าฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์สูงกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป แต่ไม่พบความแตกต่างกันในระบบการเลี้ยงแบบกรงขัง และจากการศึกษาของ Wan et al. (2021) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงในระบบ plastic-net ที่มีการควบคุมสิ่งแวดล้อมแบบปิดมีระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ต่ำกว่าไก่ในระบบ floor-litter ที่มีสิ่งแวดล้อมแบบเปิด ความขัดแย้งนี้อาจสะท้อนลักษณะเฉพาะของไก่โคราชซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่มีภูมิคุ้มกันแข็งแรงและสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามไก่ยังมีความไวต่อสิ่งกระตุ้น เช่น เสียงหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คุ้นเคย และแสดงพฤติกรรมจิกตีในระดับสูงภายในฝูง ซึ่งกลไกทางพฤติกรรมเหล่านี้อาจส่งผลให้ระบบการหลั่งฮอร์โมนความเครียดถูกกระตุ้นได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมในระบบเลี้ยงแบบที่เปิดโล่ง เช่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เสียงรบกวน แสงแดด หรือความไม่เสถียรของโครงสร้างสังคมภายในฝูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงที่อนุญาตให้สัตว์เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระมากขึ้นอาจไม่ได้หมายความว่าสัตว์จะมีความเครียดน้อยลงเสมอไปในทางกลับกันตัวกระตุ้นภายนอกโรงเรือนที่ควบคุมไม่ได้เป็นเหตุที่สร้างความเครียดในไก่กลุ่มที่ออกไปทำกิจกรรมนอกโรงเรือน นอกจากนี้ความซับซ้อนของโครงสร้างสังคมภายในฝูงโดยเฉพาะในไก่พื้นเมืองซึ่งมีการจัดลำดับชั้น (social hierarchy) อย่างชัดเจนก็อาจส่งผลให้เกิดพฤติกรรมรุนแรง เช่น การจิกตี ส่งผลให้ไก่เผชิญกับความเครียดเรื้อรังและมีระดับ

ฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์สูงอย่างต่อเนื่อง (Sherwin et al., 2010) อีกหนึ่งประเด็นที่ไม่อาจมองข้ามคือภัยคุกคามจากสัตว์นักล่าในพื้นที่เปิด ซึ่งมักปรากฏในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งชังกึ่งปล่อย เช่น อีเกา เหยี่ยว สัตว์เลื้อยคลาน หรือสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมบางชนิด เช่น สุนัข และแมว เป็นต้น ซึ่งสามารถสร้างความหวาดกลัวและเพิ่มระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ได้ (Bestman and Wagenaar 2014) การสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติอย่างใกล้ชิดแม้จะเอื้อต่อพฤติกรรมตามธรรมชาติ แต่ก็แฝงมาด้วยปัจจัยเสี่ยงที่ไม่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อระดับฮอร์โมนและค่า H/L ratio ดังนั้นแม้ไก่โคราชจะมีคุณลักษณะทางพันธุกรรมที่ทนต่อความเครียดและสามารถรักษาระดับฮอร์โมนให้คงที่ได้ดีแต่ปัจจัยภายนอกโรงเรือนที่ไม่สามารถควบคุมได้ ล้วนเป็นปัจจัยร่วมที่อาจอธิบายได้ว่าเหตุใดระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ของไก่ในระบบทางเลือกจึงไม่แตกต่างจากระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ระดับความเข้มข้นของคอร์ติโคสเตอรอยด์ในพลาสมา (plasma corticosterone concentration; PCC) เป็นตัวชี้วัดภาวะความเครียดในสัตว์อย่างแพร่หลาย ในสภาวะปราศจากสิ่งกระตุ้น ระบบ HPA axis จะทำงานตามจังหวะ circadian rhythm ส่งผลให้ค่าพื้นฐานของ PCC เมื่อไก่ได้รับสิ่งเร้าหรือพบสภาวะแวดล้อมที่ก่อให้เกิดความเครียด ค่า PCC จะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความรุนแรงของสิ่งกระตุ้น โดยสามารถจำแนกระดับการตอบสนองได้เป็นสามช่วง คือ ต่ำกว่า 0.5-5 ng/mL (สภาวะปกติ), ระหว่าง 5-8 ng/mL (ภาวะเครียดระดับเล็กน้อย; mild stress) ระหว่าง 10-20 ng/mL (ภาวะเครียดระดับปานกลาง; moderate stress) และเมื่อ PCC สูงกว่า 20-25 ng/mL นับเป็นสัญญาณชัดเจนของภาวะเครียดรุนแรง (severe stress) ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบทางสรีรวิทยาที่อาจส่งผลต่อการทำงานเมตาบอลิซึมและสุขภาพของไก่ (Davis et al., 2008) ในการทดลองนี้ไก่ที่เลี้ยงในทั้งสามรูปแบบ ได้แก่ แบบทั่วไป (conventional) แบบกึ่งชังกึ่งปล่อย (free-range) และแบบอินทรีย์ (organic) มีระดับ PCC อยู่ในช่วง 0.5-5 ng/mL ซึ่งจัดว่าเป็นค่าพื้นฐานและบ่งชี้ว่าไก่อยู่ในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามการประเมินความเครียดโดยอาศัยเพียงดัชนีทางสรีรวิทยา เช่น ระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ หรืออัตราส่วน heterophil/lymphocyte (H/L ratio) อาจไม่ครอบคลุมพฤติกรรมต่างๆ ได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลพฤติกรรม เช่น การจิกกันหรือพฤติกรรมทางสังคมควบคู่กันไป รวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพื่อให้การประเมินสวัสดิภาพและภาวะความเครียดของสัตว์มีความถูกต้องและครบถ้วนยิ่งขึ้น



ภาพที่ 4.1 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในไก่โคราช อายุ 91 วัน (mean±SE)

4.5 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมการจิกชนในไก่โคราช

จากการศึกษาพบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยส่งผลให้ไก่โคราชมีคะแนนการประเมินสวัสดิภาพสัตว์จากความเสียหายที่เกิดจากการจิกชนบริเวณหางดีกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้ แม้การเลี้ยงแบบอินทรีย์ (mean rank = 21.00) จะมีแนวโน้มให้ผลการประเมินความเสียหายจากการจิกชนบริเวณปีกดีกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป (mean rank = 28.32) แต่ก็ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมและการจัดการภายใต้ระบบการเลี้ยงที่เอื้อต่อการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติของไก่ ซึ่งอาจช่วยลดพฤติกรรมก้าวร้าวหรือพฤติกรรมการจิกชนได้ในระดับหนึ่ง (ดูตารางที่ 4.7) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ van Staaveren et al. (2021) ที่พบว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีคะแนนการประเมินสวัสดิภาพสัตว์ต่ำกว่าไก่ที่เลี้ยงในคอกขังรวมทั้งไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่ไม่มีสิ่งรบกวนในคอก และจากการศึกษาของ Ghyas et al. (2021) ที่พบว่า ไก่สายพันธุ์ทางการค้าที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีความเสียหายจาก

การจิกชน บาดแผลบริเวณอุ้งเท้า และบาดแผลบริเวณข้อขาต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากไก่กลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไปมีโอกาสแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติน้อยกว่าจากการถูกจำกัดให้อยู่ในพื้นที่แคบ ส่งผลให้เกิดความเครียดซึ่งนำไปสู่พฤติกรรมจิกชนและการบาดเจ็บ ในทางตรงกันข้าม ไก่กลุ่มอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยสามารถเข้าถึงพื้นที่กลางแจ้งและแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การคุ้ยเขี่ยหาอาหาร การเดินสำรวจ และการอาบฝุ่น ได้มากกว่า ส่งผลให้ความเสียหายจากพฤติกรรมจิกชนน้อยกว่า นอกจากนี้ความหนาแน่นของฝูงที่สูงเกินไปส่งผลต่อขนาดพื้นที่ที่อยู่อาศัยของไก่ลดลง ซึ่งนำไปสู่พฤติกรรมเชิงลบที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพไก่ได้ จากการศึกษาของ Phillips and Hannah et al. (2021) พบว่า ไก่เนื้อทางการค้าในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่มีความหนาแน่นต่ำ มีอัตราความเสียหายจากการจิกชนบริเวณหางต่ำกว่ากลุ่มที่มีความหนาแน่นสูง พฤติกรรมจิกตามพันธุกรรมของไก่มีความหลากหลาย เช่น การจิกเพื่อเตือนภัย การจิกเมื่อสนใจสิ่งใดสิ่งหนึ่ง การจิกเพื่อสำรวจ การจิกหาอาหาร หรือการจิกเพื่อก่อให้เกิดบาดแผลแก่ไก่ตัวอื่น ซึ่งในธรรมชาติ พฤติกรรมจิกเพื่อก่อบาดแผลนี้เป็นวิธีสร้างระเบียบสังคมในฝูง ในระบบการเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม พฤติกรรมนี้มักไม่ใช่อุปสรรคใหญ่เท่าใดนัก โดยเฉพาะในระบบการเลี้ยงแบบทางเลือกที่มีสิ่งเร้ามากมายช่วยหักเหความสนใจของไก่ เมื่อมีพื้นที่กว้าง ไก่จะออกสำรวจและหากินข้างนอกมากขึ้น ซึ่งช่วยลดปัญหาการจิกที่ก่อให้เกิดบาดแผล (Bonnefous et al., 2022) ในการประเมินสวัสดิภาพสัตว์ ได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนจากระดับ 1–6 เพื่อสะท้อนความสมบูรณ์ของชน ได้แก่ คะแนนที่ 1 ชนเต็มตัว คะแนนที่ 2 ชนเสียหายน้อยกว่า 5% คะแนนที่ 3 ชนเสียหายมากกว่า 5% คะแนนที่ 4 ชนเสียหายน้อยกว่า 50% คะแนนที่ 5 ชนเสียหายมากกว่า 50% และคะแนนที่ 6 ชนเสียหายมากกว่า 80% ไก่ที่ได้รับคะแนนต่ำ หมายถึงไม่มีพฤติกรรมจิกชนที่ก่อให้เกิดบาดเจ็บ ซึ่งสะท้อนถึงสภาพแวดล้อมในการจัดการระบบการเลี้ยงที่สอดคล้องกับหลัก 5 freedoms นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า ไก่ในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปได้รับคะแนนการประเมินสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อย บ่งชี้ว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปไม่ได้ส่งเสริมสวัสดิภาพสัตว์ที่ดี ทำให้เกิดการสูญเสียชนและพฤติกรรมส่อเค้าความเครียด สำหรับพฤติกรรมจิกชนบริเวณหางมากกว่าส่วนอื่น ๆ อธิบายได้จากโครงสร้างกายภาพของบริเวณหางซึ่งมีชั้นกล้ามเนื้อและไขมันปกคลุมน้อย ผิวหนังบริเวณนี้มักบางและเปราะกว่าส่วนอื่น อีกทั้งอยู่ใกล้ช่องทวารและเป็นศูนย์รวมของปลายกระดูกสันหลังที่มีเส้นประสาทจำนวนมากจึงบอบบางและตอบสนองต่อความเจ็บปวดได้รวดเร็ว ในเชิงพฤติกรรม บริเวณหางมักถูกไก่ตัวอื่นจิกเพราะเป็นจุดที่จับยึดง่ายและแสดงถึงสถานะความอ่อนแอในฝูง ซึ่งสัมพันธ์กับพฤติกรรมก้าวร้าว เช่น การจิกกันและการต่อสู้ อย่างไรก็ตามระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยที่มีพื้นที่นอกโรงเรือนให้ไก่ได้เคลื่อนไหวและแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติมากขึ้น ช่วยให้ไก่จิกกินหญ้าหรือหากิจกรรมทำในพื้นที่เปิด ส่งผลให้ความสนใจลดลงและลดพฤติกรรมก้าวร้าวต่อไก่ตัวอื่น (Lambton et al., 2010) สรุปได้ว่า ระบบการเลี้ยงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเสียหายจากการจิกชนในไก่โคราช โดยระบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยส่งเสริมให้ไก่

แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ ลดความเครียด และลดความถี่ของพฤติกรรมจิกชนที่ก่อให้เกิดบาดแผล เมื่อเทียบกับระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปที่จำกัดพื้นที่และสิ่งเร้า ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมก้าวร้าว และการจิกชนที่รุนแรงกว่า การปรับเปลี่ยนระบบการเลี้ยงไปสู่รูปแบบที่เปิดโอกาสให้ไก่ได้ใช้พฤติกรรมตามธรรมชาติ ไม่เพียงแต่ช่วยลดความเสียหายจากการจิกชน แต่ยังส่งเสริมสุขภาพจิตและความเป็นอยู่ที่ดีของไก่ได้

ตารางที่ 4.7 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมจิกชนในไก่โคราชอายุ 91 วัน

Area pecking damage 1-6 score	Treatment (Mean Rank)			Kruskal-Wallis H value	P-value
	Conventional	Free-range	Organic		
Back area	27.26	23.00	24.70	2.07	0.35
Wings	28.38	25.15	21.00	5.16	0.07
Thigh area	24.41	24.21	26.57	0.70	0.70
Tail	35.35 ^a	19.50 ^b	19.50 ^b	25.65	<0.01

หมายเหตุ :differ significantly at $P < 0.05$, degree of freedom=2, n=20

4.6 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมในไก่โคราช

จากผลการศึกษาที่แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า ไก่โคราชที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่พบความแตกต่างในการแสดงพฤติกรรมอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเช้า ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในช่วงเช้าพบแนวโน้มการแสดงพฤติกรรมจิก (pecking) ในกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปค่า mean rank สูงถึง 8.00 ขณะที่การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและแบบอินทรีย์มีค่า mean rank อยู่ที่ 4.00 และ 3.00 ตามลำดับ และในช่วงบ่ายพบแนวโน้มการแสดงพฤติกรรมต่อสู้ (fighting) ในกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปมีค่า mean rank สูงถึง 7.67 ขณะที่กลุ่มการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีค่า mean rank อยู่ที่ 4.33 และ 3.00 ตามลำดับ และการกระพือปีก (flapping wings) ในกลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไปมี mean rank สูงถึง 8.00 เทียบกับ 4.00 ในการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและ 3.00 ในการเลี้ยงแบบอินทรีย์ แม้ความแตกต่างที่พบจะยังไม่ปรากฏอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นทิศทางที่น่าสนใจ ซึ่งพฤติกรรมต่อสู้ที่จัดเป็นพฤติกรรมในเชิงลบเหล่านี้สะท้อนถึงระดับความเครียดและความก้าวร้าวที่สูงขึ้นในไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไป สาเหตุหลักของพฤติกรรมดังกล่าวมาจากสภาพแวดล้อมที่จำกัดในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งมักมีความหนาแน่นของไก่สูง มีพื้นที่เคลื่อนไหวจำกัด และขาดสิ่งกระตุ้นทางธรรมชาติ สภาพแวดล้อมที่จำกัดนี้ทำให้ไก่ไม่สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การคุ้ยเขี่ย การอาบฝุ่น หรือการยืดปีกได้อย่าง

เต็มที่ ส่งผลให้เกิดความเครียดสะสมและนำไปสู่พฤติกรรมก้าวร้าว เช่น การต่อสู้และการกระพือปีก ในทางตรงกันข้ามระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยมอบโอกาสให้ไก่ได้เคลื่อนไหว อย่างอิสระและแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้มากขึ้น การมีพื้นที่กว้างขวาง และสิ่งแวดล้อมที่ หลากหลายช่วยลดระดับความเครียดและความก้าวร้าวในไก่ และเบี่ยงเบนความสนใจจากการแสดง พฤติกรรมก้าวร้าวให้ไปสนใจสิ่งแวดล้อมในแปลงหญ้ามากขึ้น ส่งผลให้พฤติกรรมการต่อสู้และการ กระพือปีกลดลง นอกจากนี้การเลี้ยงแบบทั่วไปที่มีความหนาแน่นสูงยังส่งผลให้ไก่มีการจิกหาง มากกว่าส่วนอื่นๆ ของร่างกาย เนื่องจากหางเป็นส่วนที่เข้าถึงได้ง่ายและมีต่อมไขมัน (uropygial gland) ซึ่งอาจดึงดูดความสนใจของไก่ตัวอื่น เมื่อไก่ไม่สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่าง เต็มที่ ไก่อาจหันไปจิกหางกันเองเป็นการระบายความเครียด (Dixon et al., 2010) ทั้งนี้ไก่ไม่สามารถ หลีกเลี่ยงสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงในช่วงบ่ายได้จึงมีการแสดงพฤติกรรมการกระพือปีกเพื่อ พยายามบรรเทาความร้อนในตัวไก่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงเช้าไก่ในการเลี้ยงทั้งสามแบบมีการแสดง พฤติกรรมตามธรรมชาติตามสัญชาตญาณ ได้แก่ การกินอาหาร การกินน้ำ การยืดตัว การไชร่ขน การเกา การสลัดขน การคุ้ยเขี่ย การหมอบพัก และการอาบฝุ่น เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงเช้ามืดเย็น และสบาย ไก่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพยายามปรับตัวเพื่อการบรรเทาความร้อนใน ร่างกาย โดยเฉพาะในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปที่ไก่ต้องเผชิญกับความเครียดสะสมในการเลี้ยงในพื้นที่ จจำกัดและการแข่งขันแย่งชิงพื้นที่เพื่อพักผ่อนหรือแข่งขันแย่งชิงบริเวณที่เย็นสบายในการพักผ่อน คลายความร้อน รวมไปถึงการจิกหรือต่อสู้เพื่อการจัดระเบียบของสังคมในฝูง ในช่วงบ่ายไก่ที่ถูกเลี้ยง แบบทั่วไปมีแนวโน้มการแสดงพฤติกรรมการกระพือปีกมากกว่ากลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่ง ซึ่งกึ่งปล่อย ซึ่งเป็นผลมาจากความพยายามในการระบายความร้อนจากร่างกายเนื่องจากอุณหภูมิที่ สูงขึ้นของวัน โดยการแสดงพฤติกรรมการกระพือปีกเป็นหนึ่งในกลไกการเคลื่อนไหวตัวเพื่อยืดตัว โดยปกติ ไก่มักจะมียกิจกรรมที่เคลื่อนไหวร่างกายตลอดทำให้รู้สึกตึงกล้ามเนื้อ ในระบบการเลี้ยงที่แออัดพื้นที่ จจำกัดและสิ่งเร้าในระบบการเลี้ยงที่น้อยส่งผลโดยตรงต่อกิจกรรมของไก่ สามารถตีความได้ว่าการ กระพือปีกเป็นพฤติกรรมที่พยายามเคลื่อนไหวและอาจตีความได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นความพยายามที่จะ บรรเทาความเครียดหรือแสดงถึงความไม่สบายตัวที่ไกกำลังเผชิญอยู่ (Albentosa and Cooper, 2004; Engel et al., 2019) ในขณะที่ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งซึ่งกึ่งปล่อยและแบบอินทรีย์สามารถเข้าถึง แปลงหญ้าและพื้นที่นอกโรงเรือนที่มีอุณหภูมิต่ำสามารถพักผ่อนและบรรเทาความร้อนได้มากกว่า แต่ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมตามธรรมชาติ ได้แก่ การกินอาหาร การกินน้ำ การยืดตัว การไชร่ขน การเกา การสลัดขน การคุ้ยเขี่ย การหมอบพัก การกระพือปีก และการอาบฝุ่น ซึ่งผลการศึกษายังพบความ แตกต่างของการแสดงพฤติกรรมในระบบการเลี้ยงทั้งสามแบบ ($P>0.05$) กลับไม่สอดคล้องการศึกษา ของ Sanchez-Casanova et al. (2019) ที่พบว่า พฤติกรรมการนอน การคุ้ยเขี่ย และการยืน รองลงมาคือ การเดิน และการวิ่ง ในการเลี้ยงแบบกลางแจ้ง (outdoor) มีการแสดงออกมากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป (indoor) นอกจากนี้ยังพบว่า การแสดงพฤติกรรมยังเปลี่ยนแปลง

ไปตามอายุของไก่ในแต่ละช่วง โดยพบว่าพฤติกรรมการนอนจะลดลงหลังไก่มีอายุ 7 สัปดาห์ ในขณะที่พฤติกรรมการเดินจะเพิ่มขึ้นหลังอายุ 9 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังมีการแสดงออกของพฤติกรรมการวิ่งมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 5, 10 และ 11 ในขณะเดียวกันไก่ในช่วงอายุ 11 สัปดาห์ มีการแสดงพฤติกรรมสำรวจพื้นที่มากกว่าทุกช่วงอายุ และการศึกษาของ Ghayas et al. (2021) พบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งชังกึ่งปล่อยมีการแสดงออกของพฤติกรรมการกินอาหาร การกินน้ำ การกระพือปีก การเดิน การอาบฝุ่น และการจิกกินอาหารบนพื้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป จากผลการศึกษาพบว่า ระบบการเลี้ยงมีอิทธิพลต่อการแสดงพฤติกรรมบางประเภทของไก่โคราช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงบ่ายที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้นไก่ที่เลี้ยงแบบทั่วไปมีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรมเชิงลบและการกระพือปีก ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับระดับความเครียด ความไม่สบายตัว หรือความพยายามในการระบายความร้อน สาเหตุสำคัญของพฤติกรรมเหล่านี้มาจากข้อจำกัดในสภาพแวดล้อมการเลี้ยงที่แออัดที่ไม่เอื้อต่อการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติของไก่ส่งผลให้เกิดความเครียดสะสม ในทางกลับกันไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และกึ่งชังกึ่งปล่อยมีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมก้าวร้าวน้อยกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสภาพแวดล้อมที่เปิดกว้างทำให้ไก่มีโอกาสเคลื่อนไหวและเลือกสถานที่พักผ่อนที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาความเครียดจากความร้อน แม้ว่าพฤติกรรมส่วนใหญ่ในช่วงเช้าจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระบบการเลี้ยงทั้งสามแบบ แต่แนวโน้มที่พบในช่วงบ่ายชี้ให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงที่เอื้อต่อการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติของไก่สามารถช่วยลดพฤติกรรมเชิงลบที่เกี่ยวข้องกับความเครียดได้ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความแตกต่างของการแสดงออกตามช่วงอายุของไก่ ซึ่งอาจมีผลต่อความถี่ของพฤติกรรมที่ปรากฏ จึงแนะนำว่าการศึกษาในอนาคตควรขยายช่วงเวลาในการสังเกตพฤติกรรมให้ครอบคลุมมากขึ้น และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในแต่ละช่วงอายุอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและแม่นยำมากยิ่งขึ้นในการประเมินผลกระทบของระบบการเลี้ยงต่อสวัสดิภาพสัตว์อย่างแท้จริง

ตารางที่ 4.8 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของพฤติกรรมในไก่โคราช อายุ 91 วัน

Behaviors	Treatment (Mean Rank)			Kruskal-Wallis	
	Conventional	Free-range	Organic	H value	P-value
In Morning					
Pecking	8.00	4.00	3.00	5.60	0.06
Fighting	5.67	5.33	4.00	1.16	0.55
Drinking	4.83	5.00	5.17	0.22	0.98
Feeding	5.83	6.33	2.83	2.89	0.23
Preening	6.17	5.33	3.50	1.50	0.47
Dust bath	7.17	3.67	4.17	2.89	0.23
Foraging	5.50	5.67	3.38	0.82	0.66
Sitting	6.50	4.00	4.50	1.41	0.49
Flapping wings	5.83	5.17	4.00	0.70	0.70
Scratching	4.83	5.33	4.83	0.06	0.96
Shaking	5.83	5.67	3.50	1.41	0.49
Stretch	4.67	4.00	6.33	1.19	0.55
In Afternoon					
Pecking	7.67	4.00	3.33	4.35	0.11
Fighting	7.67	4.33	3.00	5.77	0.06
Drinking	3.00	5.00	7.00	3.20	0.20
Feeding	5.67	5.67	3.67	1.06	0.58
Preening	5.33	5.33	4.33	0.26	0.87
Dust bath	2.82	5.17	7.00	3.64	0.16
Foraging	2.67	6.33	6.00	3.28	0.19
Sitting	3.67	5.33	6.00	1.15	0.56
Flapping wings	8.00	4.00	3.00	5.69	0.06
Scratching	3.33	5.83	5.83	1.68	0.43
Shaking	5.33	5.33	4.33	0.26	0.87
Stretch	5.83	3.00	6.17	2.44	0.29

หมายเหตุ : differ significantly at $P < 0.05$, degree of freedom = 2, $n = 5$

4.7 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมองในไก่โคราช

จากการศึกษาพบว่า ไก่ที่เลี้ยงในระบบที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อน้ำหนักของสมอง อย่างไรก็ตามพบว่าไก่ในกลุ่มการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยมีค่าความพรุนในสมอง (porosity) ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีปริมาตรสมองน้อยกว่ากลุ่มการเลี้ยงแบบทั่วไป ($P < 0.05$) แต่ในขณะเดียวกันการเลี้ยงแบบกึ่งเชิงกึ่งปล่อยไม่พบความแตกต่างเมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับกลไกทางชีวภาพที่เชื่อมโยงระหว่างความเครียดเรื้อรังกับการฝ่อของเซลล์ประสาทในสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยความเครียดคือปฏิกิริยาตามธรรมชาติของร่างกายเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือความท้าทายต่าง ๆ ความเครียดอาจส่งผลให้เกิดการตอบสนองทางร่างกาย อารมณ์ และพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป ทุกสิ่งมีชีวิตต่างประสบกับความเครียดเป็นครั้งคราวไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ อธิบายได้ว่าเมื่อเกิดความเครียดสมองจะกระตุ้นฮอร์โมนความเครียดกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) ที่มี glucocorticoid receptor (GR) เป็นตัวรับส่งสัญญาณไปกระตุ้น regulated in DNA damage and repair (REDD1) ให้เพิ่มขึ้น และยับยั้งการส่งสัญญาณไปที่ Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) และ Mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) ส่งผลให้การเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงาน Adenosine triphosphate (ATP) และการนำกรดอะมิโนที่จำเป็นไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนลดลง และส่งผลต่อ spine synapse ลดจำนวนลง และประสิทธิภาพการทำงานของ synapse ลดลง (Duman et al., 2016) เมื่อเลี้ยงไก่เป็นเวลา 91 วัน ภายใต้ความเครียดเรื้อรังที่เกิดจากระบบการเลี้ยงการสร้างเซลล์ประสาทใหม่ไม่ทันทดแทนเซลล์ที่เสื่อมสภาพ ส่งผลให้มีการแทนที่พื้นที่ว่างในสมองที่ขาดการเจริญของเซลล์ประสาทด้วยอากาศและน้ำ นำไปสู่การฝ่อ (Atrophy) ของเซลล์ประสาทที่มีขนาดลดลงหรือหดตัวของเนื้อเยื่อ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการประมวลผลของสมองมีประสิทธิภาพลดลง กระบวนการทำงานของเซลล์ในร่างกาย และการแสดงออกทางพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป การฝ่อของสมองมีการศึกษาที่อธิบายผลกระทบของความเครียดในสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยรายงานผลการศึกษาของ Duman and Aghajanian (2012) รายงานว่าผลของความเครียดเรื้อรังส่งผลต่อความหนาแน่นของ spines ที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่รับยารักษา ซึ่งการศึกษาของ Woodburn et al. (2021) รายงานว่าผลของความเครียดเรื้อรังในหนูเพศผู้และเพศเมียส่งผลต่อความหนาแน่นของ spines แต่ในหนูเพศเมียมีความหนาแน่นของ spines ที่ลดลงน้อยกว่าหนูเพศผู้ อธิบายได้ว่าในสภาวะความเครียดเรื้อรังหนูเพศเมียสามารถปรับสมดุลของสารเคมีในสมองได้มากกว่าหนูเพศผู้ส่งผลต่อรูปร่างลักษณะของเซลล์ประสาท อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Woo et al. (2021) พบว่าหนูที่ได้รับความเครียดอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นภาวะเครียดเรื้อรังมีความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับความเครียดและกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยยา เมื่อพิจารณาพร้อมกับหลักฐานจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาโครงสร้างสมองและพฤติกรรมของสัตว์ปีก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ในไก่ ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีความอ่อนไหวต่อบริบทของการจัดการระบบการเลี้ยงและสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทั้งนี้งานของ Janczak et al. (2006), Tahamtani et al. (2016) และ Jia et al. (2018) ล้วนสะท้อนแนวโน้มที่สอดคล้องกันว่า สภาพแวดล้อมที่จำกัด หรือสภาพแวดล้อมที่แฝงด้วยปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียดเรื้อรัง อาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสมอง เช่น การลดขนาดของสมองส่วน telencephalon หรือ hippocampus ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ ความจำ และการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนส่งผลต่อรูปแบบพฤติกรรมและภาวะทางอารมณ์ของไก่ ซึ่งสื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างสมองที่อาจสัมพันธ์กับภาวะเครียดเรื้อรังจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองและสุขภาพทางจิตของไก่ในระยะยาวตลอดการเลี้ยง

สมองเป็นอวัยวะสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมและการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อสิ่งแวดล้อม โดยปริมาตรสมองและโครงสร้างทางกายภาพของสมองสะท้อนถึงการปรับตัวและการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทต่อสภาวะแวดล้อมที่สัตว์เผชิญ (Kolb and Gibb. 2011) จากตารางที่ 4.9 พบว่า ปริมาตรสมองในไก่โคราชที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีค่ามากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีความพรุนของสมองต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมอง อาจจะเป็นเพราะสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงส่งผลต่อระดับความเครียดของสัตว์อย่างชัดเจน ระบบการเลี้ยงแบบทั่วไปมีความหนาแน่นสูงและจำกัดการเคลื่อนไหว ส่งผลให้ไก่ได้รับความเครียดเรื้อรังมากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงในระบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และแบบอินทรีย์ ซึ่งมีพื้นที่และสิ่งแวดล้อมที่ส่งเสริมการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ การได้รับความเครียดเรื้อรังนี้ทำให้ระบบประสาทส่วนกลางตอบสนองโดยเพิ่มการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของ mTORC1 โปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมเซลล์ประสาท รวมถึงการไหลเวียนของเลือดและออกซิเจนไปยังสมองทำให้ระบบไหลเวียนเลือดมีประสิทธิภาพลดลงที่ลดการจัดส่งสารอาหารและออกซิเจนไปยังเนื้อสมอง ทำให้การฟื้นฟูสภาพของเซลล์ประสาทที่เสียหายลดลง (Saxton and Sabatini 2017; Malik et al., 2024) ผลจากการยับยั้งนี้คือการฝ่อของเซลล์ประสาทและการลดลงของความหนาแน่นในเนื้อสมองส่งผลให้ปริมาตรสมองโดยรวมลดลงซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของสมองลดลง ขณะที่ปริมาตรสมองเพิ่มขึ้นเนื่องจากความพรุนที่สูงขึ้นนี้เอง ซึ่งสะท้อนถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสมองมากกว่าการพัฒนา การที่ไก่ในระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยได้รับโอกาสในการเคลื่อนไหวและมีสิ่งเร้าทางกายภาพและสังคมที่หลากหลาย ช่วยส่งเสริมกระบวนการสร้างและซ่อมแซมเซลล์ประสาท (neurogenesis) รวมถึงการเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนแปลงของสมอง (neural plasticity) ซึ่งทำให้มีการพัฒนาและฟื้นฟูจำนวนเซลล์ประสาทส่งผลให้มีความหนาแน่นของเซลล์ประสาทเพิ่มขึ้น (Buwalda et al., 2011; van Praag et al., 2014) การศึกษาโครงสร้างของสมองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงลบจากความเครียดเรื้อรังที่เกิดขึ้นในการทำปศุสัตว์ที่ต้องคำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ให้มากขึ้น เนื่องจากการจัดการระบบการเลี้ยงและสิ่งแวดล้อม

ในการเลี้ยงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการแสดงพฤติกรรมเชิงบวกในสัตว์บ่งชี้ถึงสวัสดิภาพสัตว์ที่ดี และ ยังสนับสนุนคุณภาพทางประสาทและพฤติกรรมที่ดี ส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพผลิตภัณฑ์ในระยะยาว จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยแตกต่างกับการเลี้ยงแบบทั่วไปในด้านโครงสร้างจุลภาคโดยเฉพาะค่าความพรุน (porosity) และปริมาตร (volume) ของสมอง ซึ่งไก่ที่เลี้ยงในระบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าความพรุนในสมองต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงในระบบทั่วไป สะท้อนให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงที่เอื้อต่อพฤติกรรมตามธรรมชาติ และมีการกระตุ้นสิ่งแวดล้อม (environmental enrichment) อาจมีส่วนช่วยลดผลกระทบจากความเครียดเรื้อรัง และชะลอการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสมองที่เกิดจากการเสื่อมของเซลล์ประสาท กลไกทางชีวภาพที่สนับสนุนผลการทดลองนี้สัมพันธ์กับบทบาทของฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ที่หลั่งออกมาในภาวะเครียด ซึ่งหากร่างกายเผชิญความเครียดต่อเนื่องเป็นเวลานานจะส่งผลให้การสังเคราะห์โปรตีน การสร้างพลังงาน และการเชื่อมต่อของไซแนปส์ในสมองลดลง นำไปสู่การฝ่อของเซลล์ประสาทและลดประสิทธิภาพการทำงานสมอง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ได้รับการยืนยันในสัตว์มีกระดูกสันหลังและเกิดขึ้นในสัตว์ปีกเช่นเดียวกันจากการทบทวนเอกสาร ผลการศึกษานี้จึงสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการระบบการเลี้ยงที่คำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์

ตารางที่ 4.9 ผลของระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันต่อโครงสร้างสมองในไก่โคราช อายุ 91 วัน

Parameter	Treatment			SEM	P-value
	Conventional	Free-range	Organic		
Brain weight (g)	3.65	3.64	3.59	0.48	0.75
Porosity (%)	27.09 ^a	13.35 ^b	8.71 ^b	1.68	<0.01
Volume (mm ³)	35.11 ^a	31.83 ^{ab}	19.50 ^b	2.72	0.04

หมายเหตุ : ^{a, b} means within a row with different superscript letters differ significantly at P<0.05.

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของสมองในไก่นับเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำความเข้าใจกับกลไกพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและการตอบสนองต่อความเครียด โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในสภาวะเครียดเรื้อรัง ซึ่งแตกต่างจากดัชนีทางสรีรวิทยาอื่นที่มักสะท้อนสภาวะความเครียดเฉียบพลันและจำกัดอยู่ในช่วงเวลาเพียงสั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างของสมองจึงสามารถบ่งชี้ถึงผลกระทบเชิงลึกที่เกิดขึ้นกับระบบประสาทจากการเผชิญกับสิ่งเร้าหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมตลอดจนความเครียดที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการจัดการในระบบการเลี้ยง ทั้งนี้ลักษณะทางโครงสร้างสมองยังมีศักยภาพในการใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อศึกษากลไกการตอบสนองแบบปรับตัว (adaptive responses) และการเปลี่ยนแปลงของวงจรประสาท (neural circuitry) ซึ่งสัมพันธ์กับพฤติกรรมผิดปกติ

เช่น พฤติกรรมการจิกชน ที่ส่งผลกระทบต่อสวัสดิภาพของสัตว์ ด้วยเหตุนี้การศึกษาโครงสร้างสมองจึงไม่เพียงให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบของความเครียดต่อระบบประสาท แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการพัฒนาเกณฑ์ประเมินสวัสดิภาพสัตว์ที่มีความแม่นยำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการเลี้ยงที่เกื้อหนุนสุขภาพทั้งทางกายและจิตใจของสัตว์ได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตามการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างสมองยังมีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งในแง่ของความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการหลังการฆ่าและสัตว์ และข้อเท็จจริงที่ว่าข้อมูลที่ได้อาจสะท้อนผลในเชิงย้อนหลัง จึงอาจไม่เหมาะสมกับการประเมินสภาพความเครียดในทันทีทันใด นอกจากนี้ความซับซ้อนของเทคนิคและการเข้าถึงเครื่องมือวิเคราะห์ทางจุลกายวิภาคยังเป็นอุปสรรคสำคัญในการประยุกต์ใช้ ด้วยข้อจำกัดข้างต้นจึงยังจำเป็นต้องพึ่งพาดัชนีทางสรีรวิทยาอื่นที่สามารถเก็บตัวอย่างได้สะดวก เช่น การวัดระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ในเลือด และอัตราส่วนของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด heterophil ต่อ lymphocyte (H/L ratio) ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่า แม้อัตราส่วนเหล่านี้จะสามารถสะท้อนสภาพความเครียดได้ในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการตีความผลลัพธ์กล่าวคือ ระดับคอร์ติโคสเตอรอยด์ในเลือดเป็นตัวชี้วัดที่สะท้อนสถานะของร่างกายในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (point-in-time measure) ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเฉพาะหน้าที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น ทำให้ไม่สามารถสะท้อนภาวะความเครียดสะสมได้อย่างครอบคลุมในระยะยาว แม้ว่าค่า H/L ratio สามารถสะท้อนระดับความเครียดในระบบได้ แต่อาจแปรผันจากปัจจัยอื่น เช่น การติดเชื้อ การอักเสบ หรือกิจกรรมของสัตว์ในขณะนั้น ดังนั้นการเลือกใช้ดัชนีในการประเมินสถานะความเครียดจึงควรพิจารณาอย่างรอบด้าน ทั้งในด้านความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ความเป็นไปได้ในการดำเนินการ และข้อจำกัดเฉพาะของแต่ละวิธีการ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ และสามารถสะท้อนสวัสดิภาพสัตว์ได้อย่างแท้จริง แม้งานวิจัยฉบับนี้จะสามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างสมองภายใต้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ในระดับโครงสร้างเพียงอย่างเดียวอาจยังไม่สามารถอธิบายกลไกที่ซับซ้อนของระบบประสาทที่ควบคุมพฤติกรรมและการตอบสนองต่อความเครียดได้อย่างครอบคลุมเพียงพอ ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อยอดในระดับที่ลึกยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับของระบบสารสื่อประสาท (neurotransmitter systems) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสมองในมิติที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ การรับรู้ และพฤติกรรม การตรวจวัดระดับหรือรูปแบบการแสดงออกของสารสื่อประสาท เช่น เซโรโทนิน (serotonin), โดปามีน (dopamine) และคอร์ติโคโทรปิน-รีลีสซิงแฟคเตอร์ (CRF) จะมีบทบาทสำคัญในการอธิบายกลไกทางประสาทวิทยา (neurobiological mechanisms) ที่อยู่เบื้องหลังการตอบสนองต่อความเครียดและสิ่งแวดล้อมได้อย่างลึกซึ้งและแม่นยำยิ่งขึ้น ความเข้าใจดังกล่าวจะเป็นรากฐานสำคัญต่อการพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์ที่ยั่งยืน และให้ความสำคัญกับสวัสดิภาพในทุกมิติ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบการเลี้ยงมีอิทธิพลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่โคราช โดยพบว่าไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยและระบบการเลี้ยงแบบทั่วไป อย่างไรก็ตามค่า FCR ไม่มีความแตกต่างกันทั้งสามระบบการเลี้ยง ในด้านองค์ประกอบซากพบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยมีเปอร์เซ็นต์ซากต่ำกว่าแบบทั่วไป แต่กลับมีระดับการสะสมไขมันในช่องท้องต่ำกว่าอย่างชัดเจน ทั้งนี้การเลี้ยงในระบบอินทรีย์ยังส่งผลให้ไก่มีค่าความเหลืองของผิวหนังและเนื้อสูงกว่า ขณะที่ระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยส่งผลให้เนื้อมีความเหลืองเพิ่มขึ้น และการเลี้ยงแบบทางเลือกระบบมีค่าแรงตัดผ่าน (shear force) สูงกว่าระบบการเลี้ยงทั่วไป นอกจากนี้ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยยังมีการสูญเสียน้ำจากเนื้อ (drip loss) สูงกว่าทั้งระบบอินทรีย์และระบบทั่วไป เมื่อพิจารณาดัชนีด้านความเครียด พบว่า H/L ratio ไม่แตกต่างกันระหว่างระบบการเลี้ยง แต่กลุ่มไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์มีระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตียรอยด์ในเลือดต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป ขณะที่ระบบกึ่งขังกึ่งปล่อยไม่แตกต่างจากทั้งสองระบบ ในผลการประเมินสวัสดิภาพสัตว์พบว่า ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และกึ่งขังกึ่งปล่อยให้ผลคะแนนความเสียหายจากการจิกชนบริเวณหางต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป อย่างไรก็ตามการเลี้ยงแบบอินทรีย์มีแนวโน้มคะแนนความเสียหายจากการจิกชนบริเวณปีกต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ทั้งนี้คะแนนการประเมินความเสียหายจากการจิกชนที่ต่ำแสดงถึงสภาพความเป็นอยู่ที่ดีต่อสวัสดิภาพสัตว์ที่ดี แม้ระบบการเลี้ยงทั้งสามแบบไม่พบความแตกต่างในการแสดงพฤติกรรม แต่ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมการจิกกันในช่วงเช้า และแสดงพฤติกรรมการต่อสู้และการกระพือปีกในช่วงบ่ายน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบทั่วไป และในส่วนผลการศึกษาโครงสร้างสมองพบว่า ไก่ที่เลี้ยงแบบอินทรีย์และแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมีค่าความพรุนของสมองต่ำกว่าการเลี้ยงแบบทั่วไป ขณะที่ปริมาตรสมองในกลุ่มเลี้ยงแบบทั่วไปสูงกว่ากลุ่มอินทรีย์ แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ทั้งนี้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของสมองไก่

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบและข้อจำกัดของงานวิจัยในครั้งนี้สามารถเสนอแนะแนวทางในการวิจัยในอนาคตได้ดังต่อไปนี้

1. ศึกษากลไกระดับโมเลกุลของสมองภายใต้ภาวะความเครียด ควรดำเนินการวิเคราะห์สารชีวภาพที่เกี่ยวข้องอย่างครอบคลุม โดยเฉพาะกลุ่มสารสื่อประสาทที่มีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของสมอง รวมทั้งการตรวจวัดระดับฮอร์โมนความเครียด อาทิ อะดรีโนคอร์ติโคโทรปิกฮอโมน (ACTH) และคาเทโคลามีน (catecholamines) ตลอดจนการประเมินระดับสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น reactive oxygen species (ROS), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) และ glutathione peroxidase (GPx) นอกจากนี้ ยังควรตรวจวัดระดับไซโตไคน์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อความเครียด ได้แก่ interleukin-6 (IL-6), tumor necrosis factor- α (TNF- α) และ interleukin-10 (IL-10) เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลทางชีวโมเลกุลกับพฤติกรรม การตอบสนองต่อความเครียด ทั้งนี้สามารถใช้เทคนิคทางชีวภาพขั้นสูง เช่น ELISA, HPLC, qRT-PCR หรือ Western blot ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและครอบคลุม

2. การศึกษาผลกระทบในช่วงอายุต่าง ๆ ควรดำเนินการศึกษาระยะยาว โดยครอบคลุมหลายช่วงอายุของสัตว์ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสมองและระบบประสาทตลอดช่วงชีวิต การใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น MRI, histology หรือ immunohistochemistry จะช่วยให้สามารถตรวจสอบพัฒนาการทางสมองและผลกระทบจากความเครียดได้อย่างละเอียด

3. การวิเคราะห์พฤติกรรมและสวัสดิภาพเชิงลึก ควรประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์พฤติกรรมด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลพฤติกรรมเฉพาะ เช่น การจิกกัน การต่อสู้ หรือการเคลื่อนไหวระหว่างพื้นที่ภายในโรงเรือน ซึ่งจะช่วยให้สามารถวัดระดับความเครียดและรูปแบบการใช้สภาพแวดล้อมได้อย่างชัดเจน

4. การเชื่อมโยงปัจจัยแวดล้อมกับโครงสร้างสมองและพฤติกรรม ควรมีการประเมินคุณภาพของสภาพแวดล้อมในระดับจุลภาค (microclimate) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ระดับแสง และเสียงรบกวน ตลอดจนการเสริมสภาพแวดล้อม (environmental enrichment) ด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น คอนไม้ ก้อนฟาง หรือแหล่งหลบซ่อน เพื่อส่งเสริมสุขภาวะและลดความเครียดในสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กานดา นาคมนี, เกียรติศักดิ์ กรอแอม, ศศิธร ถิ่นนคร, และฉายแสง ไผ่แก้ว. (2548). การศึกษาพืชสกุล *Brachiaria* เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ผลผลิตพืชอาหารสัตว์ และเมล็ดพันธุ์หญ้า ในสกุล *Brachiaria* 21 สายพันธุ์. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2548 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-16.
- คณะผู้วิจัยโครงการสายพันธุ์ไก่เนื้อโคราช เพื่อการผลิตเป็นอาชีพวิสาหกิจชุมชน. (2557). **คู่มือการเลี้ยงไก่เนื้อโคราช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. (น. 13). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- เจนรงค์ คำมุงคุณ, สุนีย์ ตริมนิ, ไชยวัฒน์ ภิญโญเทพประทาน, ภูรี วีระสมิทธิ, ฐาปนี สมเวช, ตรุณี โสภา, อีระชัย ช่อไม้, บุญศักดิ์ เกลียวกมลทัต, สหทัยา ทรัพย์รอด, จิรวรรณ จั้ววัดเลา และอำนาจ เลี้ยวธารากุล. (2559). **คู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองระบบปล่อยอิสระและอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. นนทบุรี.
- ฟาร์มสัตว์ปีก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2024). **รายงานการจัดการระบบการเลี้ยงไก่โคราช [รายงานภายใน]**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2561). **มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9000 เล่ม 2-2561: เกษตรอินทรีย์ เล่ม 2 : ปศุสัตว์อินทรีย์ (Thai Agricultural Standard TAS 9000 Part 2-2018)**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22-45.
- Alabi, O. M., Aderemi, F. A., and Adeniji, O. B. (2015). Effect of alternative housing systems on blood profile of egg-type chickens in humid tropics. **American Journal of Experimental Agriculture**. 7(3), 197–204. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/16957>.
- Albentosa, M. J., and Cooper, J. J. (2004). Effects of cage height and stocking density on the frequency of comfort behaviours performed by laying hens housed in furnished cages. **Animal Welfare**. 13(4), 419–424.
- Alvarado, C. Z., Wenger, E., and O'Keefe, S. F. (2005). Consumer perception of meat quality and shelf-life in commercially raised broilers compared to organic free ranged broilers. **Poultry Science**. 84(1), 129. <https://doi.org/10.1093/ps/84.1.129>
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., El-Shafey, A. S., Rehab, Y. A., and Kim, W. K. (2017). Enhancing tolerance of broiler chickens to heat stress by supplementation with vitamin E,

- vitamin C, and/or probiotics. **Journal of Animal Science**. 95(3), 1145–1155. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1172>.
- BenSassi, N., Vas, J., Vasdal, G., Averós, X., Estévez, I., and Newberry, R. C. (2019). On-farm broiler chicken welfare assessment using transect sampling reflects environmental inputs and production outcomes. **PLOS ONE**. 14(4), e0214070. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214070>.
- Bestman, M., and Wagenaar, J. P. (2014). Health and welfare in Dutch organic laying hens. **Animals**. 4(3), 374–390. <https://doi.org/10.3390/ani4030374>.
- Betz, O., Wegst, U., Weide, D., Heethoff, M., Helfen, L., Lee, W. K., and Cloetens, P. (2007). Imaging applications of synchrotron X-ray phase-contrast microtomography in biological morphology and biomaterials science. I. General aspects of the technique and its advantages in the analysis of millimetre-sized arthropod structure. **Journal of Microscopy**. 227(1), 51–71. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2007.01785.x>.
- Bilčík, B., and Keeling, L. J. (1999). Changes in feather condition in relation to feather pecking and aggressive behaviour in laying hens. **British Poultry Science**. 40(4), 444–451. <https://doi.org/10.1080/00071669987273>.
- Bonnefous, C., Collin, A., Guilloteau, L. A., Guesdon, V., Filliat, C., Réhault-Godbert, S., Rodenburg, T. B., Tuytens, A. M., Warin, L., Steinfeldt, S., Baldinger, L., Re, M., Ponzio, R., Zuliani, A., Venezia, P., Väre, M., Parrott, P., Walley, K., Niemi, J. K., and Leterrier, C. (2022). Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: A review based on literature and interviews. **Frontiers in Veterinary Science**. 9, 952922. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.952922>.
- Buwalda, B., Stubbendorff, C., Zickert, N., and Koolhaas, J.M. (2011). Social Defeat during Adolescence and Adulthood Differentially Induce BDNF-Regulated Immediate Early Genes. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**. 5, Article 72. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2011.00072>.
- Castellini, C., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., and Martino, G. (2006). Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. **World's Poultry Science Journal**. 62(3), 282–295. <https://doi.org/10.1079/WPS200598>.

- Castellini, C., Mugnai, C., and Dal Bosco, A. 2002. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. **Meat Science**. 60(3), 219–225. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00124-3).
- Chargé, S. B., and Rudnicki, M. A. (2004). Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. **Physiological Reviews**. 84(1), 209–238. <https://doi.org/10.1152/physrev.00019.2003>.
- Chen, X., Jiang, W., Tan, H. Z., Xu, G. F., Zhang, X. B., Wei, S., and Wang, X. Q. (2013). Effects of outdoor access on growth performance, carcass composition, and meat characteristics of broiler chickens. **Poultry Science**. 92(2), 435–443. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02613>.
- Chenani, A., Weston, G., Ulivi, A. F., Castello-Waldow, T. P., Huettl, R. E., Chen, A., and Attardo, A. (2022). Repeated stress exposure leads to structural synaptic instability prior to disorganization of hippocampal coding and impairments in learning. **Translational Psychiatry**. 12, 381. <https://doi.org/10.1038/s41398-022-02100-3>.
- Cheung, C. L., Lee, G. K. Y., Au, P. C. M., Li, G. H. Y., Chan, M., Li, H. L., Cheung, B. M. Y., Wong, I. C. K., Lee, V. H. F., Mok, J., Yip, B. H. K., Cheng, K. K. Y., and Wu, C. H. (2021). Systematic review and meta-analysis of lean mass and mortality: Rationale and study description. **Osteoporosis and Sarcopenia**. 7, S3–S12. <https://doi.org/10.1016/j.afos.2021.02.003>.
- Cheung, K., Evans, A., and McGreevy, P. (2021). Environmental enrichment and outdoor access influence the behaviour and welfare of broiler chickens. **Animals**. 11(8), 2416. <https://doi.org/10.3390/ani11082416>.
- Climate-Data.org. (n.d.). Weather Nakhon Ratchasima and temperature by month. (2025). Retrieved May 8. from <https://en.climate-data.org/asia/thailand/nakhon-ratchasima-province/nakhon-ratchasima-5993/>.
- Cotter, P. F. (2015). An examination of the utility of heterophil-lymphocyte ratios in assessing stress of caged hens. **Poultry Science**. 94(3), 512–517. <https://doi.org/10.3382/ps/peu021>.
- Çürek, D. İ., Aksoy, T., Özdem, S., and Narinç, D. (2022). How effective are the seasons and different applications in semi-intensive broiler rearing in terms of welfare? **Research Square Preprint**. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1992905/v1>.

- Da Silva, D. C. F., de Arruda, A. M. V., and Gonçalves, A. A. (2017). Quality characteristics of broiler chicken meat from free-range and industrial poultry system for the consumers. **Journal of Food Science and Technology**. 54(7), 1818–1826. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2632-z>.
- Davis, A. K., Maney, D. L., and Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. **PeerJ**. 6, e997. <https://doi.org/10.7717/peerj.997>.
- Davoodi, P., and Ehsani, A. (2020). Characteristics of carcass traits and meat quality of broiler chickens reared under conventional and free-range systems. **Journal of World's Poultry Research**. 10(4), 623–630. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2020.71>.
- Dawkins, M. S., Donnelly, C. A., and Jones, T. A. (2003). Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. **Nature**. 427(6972), 342–344. <https://doi.org/10.1038/nature02226>.
- de Kloet, E. R., Karst, H., and Joëls, M. (2008). Corticosteroid hormones in the central stress response: quick-and-slow. **Frontiers in Neuroendocrinology**. 29(2), 268–272. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2007.10.002>.
- Debbarma, S., Baruah, M. S., Debbarma, A., and Sneha, E. N. P. (2024). Chicken meat: A nutritious choice for a healthier future. **Vet Farm Frontier E-Magazine**. Special Issue, 10–13.
- Dixon, L. M., Duncan, I. J. H., and Mason, G. J. (2010). The effects of four types of enrichment on feather-pecking behaviour in laying hens housed in barren environments. **Animal Welfare**. 19, 429–435. <https://doi.org/10.1017/S0962728600001913>.
- Duman, R. S., Aghajanian, G. K., Sanacora, G., and Krystal, J. H. (2016). Synaptic plasticity and depression: New insights from stress and rapid-acting antidepressants. **Nature Medicine**. 22(3), 238–249. <https://doi.org/10.1038/nm.4050>.
- Duman, R. S., and Aghajanian, G. K. (2012). Synaptic dysfunction in depression: Potential. therapeutic targets. **Science**. 338(6103), 68–72. <https://doi.org/10.1126/science.1222939>.
- Engel, J. M., Widowski, T. M., Tilbrook, A. J., Butler, K. L., and Hemsworth, P. H. (2019). The effects of floor space and nest box access on the physiology and behavior of caged laying hens. **Poultry Science**. 98(2), 533–547. <https://doi.org/10.3382/ps/pey402>.

- Escobedo del Bosque, C. I., Risius, A., Spiller, A., and Busch, G. (2021). Consumers' opinions and expectations of an “ideal chicken farm” and their willingness to purchase a whole chicken from this farm. **Frontiers in Animal Science**. 2, Article 661421. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.661421>.
- Fanatico, A. C., Pillai, P. B., Emmert, J. L., and Owens, C. M. (2007). Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. **Poultry Science**. 86(10), 2245–2255. <https://doi.org/10.1093/ps/86.10>.
- Fanatico, A. C., Pillai, P. B., Emmert, J. L., and Owens, C. M. (2005). Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. **Poultry Science**. 84(8), 1326–1331. <https://doi.org/10.1093/ps/84.8.1326>.
- Gálvez, F., Domínguez Valencia, R., Maggolino, A., Pateiro, M., Carballo, F. J., De Palo, P., Francisco, J. B., and Lorenzo, J. M. (2020). Meat quality of commercial chickens reared in different production systems: Industrial, range and organic. **Animals**. 10(10), 1940. <https://doi.org/10.3390/ani10101940>.
- Ghayas, A., Hussain, J., Mahmud, A., Jaspal, M. H., Ishaq, H. M., and Hussain, A. (2021). Behaviour, welfare, and tibia traits of fast- and slow-growing chickens reared in intensive and free-range systems. *South African Journal of Animal Science*. 51(1), 22–32. <https://doi.org/10.4314/sajas.v51i1.3>.
- Godoy, L. D., Rossignoli, M. T., Delfino-Pereira, P., Garcia-Cairasco, N., and de Lima Umeoka, E. H. (2018). A comprehensive overview on stress neurobiology: Basic concepts and clinical implications. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**. 12, Article 127. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00127>.
- Gongruttananun, N., Ketelaere, B. D., and Tuytens, F. A. M. (2013). Welfare assessment of broilers raised in semi-confinement systems. **Journal of Applied Poultry Research**. 22(4), 749–757. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00772>.
- Grzybowska-Brzezińska, M., Banach, J. K., and Grzywińska-Rąpca, M. (2023). Shaping poultry meat quality attributes in the context of consumer expectations and preferences: A case study of Poland. **Foods**. 12(14), 2694. <https://doi.org/10.3390/foods12142694>.

- Hoan, N. D., and Khoa, M. A. (2016). So sánh chất lượng thịt của gà thịt Ross 308 và gà trống hướng trứng Sasso nuôi thả vườn. **Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam**. 14(1), 101–108.
- Hu, R., He, Y., Arowolo, M. A., Wu, S., and He, J. (2019). Polyphenols as potential attenuators of heat stress in poultry production. **Antioxidants**. 8(3), 67. <https://doi.org/10.3390/antiox8030067>.
- Husak, R. L., Sebranek, J. G., and Bregendahl, K. A. (2008). Survey of commercially available broilers marketed as organic, free-range, and conventional broilers for cooked meat yields, meat composition, and relative value. **Poultry Science**. 87(11), 2367–2376. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00067>.
- İpek, A., and Sözcü, A. (2017). The effects of access to pasture on growth performance, behavioural patterns, some blood parameters and carcass yield of a slow-growing broiler genotype. **Journal of Applied Animal Research**. 45(1), 464–469. <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1214136>.
- Janczak, A. M., Braastad, B. O., Bakken, M., and Salte, R. (2006). Behavioural effects of early environmental enrichment in broilers: short- and long-term effects. **Applied Animal Behaviour Science**. 98(1-2), 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.012>.
- Jarvis, E. D., Güntürkün, O., Bruce, L., Csillag, A., Karten, H., Kuenzel, W., Medina, L., Paxinos, G., Perkel, D. J., Shimizu, T., Striedter, G., Wild, J. M., Ball, G. F., Dugas-Ford, J., Durand, S. E., Hough, G. E., Husband, S., Kubikova, L., Lee, D. W., and Mello, C. V. (2005). Avian brains and a new understanding of vertebrate brain evolution. **Nature Reviews Neuroscience**. 6(2), 151–159. <https://doi.org/10.1038/nrn1606>.
- Jia, R., Li, Y., Gao, Y., Zhai, Q., and Zhang, J. (2018). Chronic noise exposure causes dendritic spine loss in rat hippocampus and alters hippocampal synaptic plasticity and learning. **Brain Research**. 1696, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.06.004>.
- John, C. D., and Buckingham, J. C. (2003). Cytokines: Regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis. **Current Opinion in Pharmacology**. 3(1), 78–84. [https://doi.org/10.1016/S1471-4892\(02\)00229-4](https://doi.org/10.1016/S1471-4892(02)00229-4).

- Kolb, B., and Gibb, R. (2011). Brain plasticity and behaviour in the developing brain. **Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry.** 20(4), 265–276. PMID: PMC3222570.
- Krystal, J.H., Abdallah, C.G., Sanacora, G., Charney, D.S., and Duman, R.S. (2017). Synaptic Loss and the Pathophysiology of PTSD: Implications for Ketamine as a Prototype Novel Therapeutic. **Biological Psychiatry.** 81(10), 756–765. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2016.02.021>.
- Lambton, S. L., Knowles, T. G., Yorke, C., and Nicol, C. J. (2010). The risk factors affecting the development of gentle and severe feather pecking in loose housed laying hens. **Applied Animal Behaviour Science.** 123(1-2), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.12.001>.
- Lantinga, E. A., Neuteboom, J. H., and Meijs, J. A. C. (2004). Sward methods. In P. D. Penning (Ed.), *Herbage intake handbook*. (2nd ed., pp. 23–52). **British Grassland Society.** <https://www.britishgrassland.com/publications/herbage-intake-handbook-2nd-edition/>.
- Li, D., Tong, Q., Shi, Z., Li, H., Wang, Y., Li, B., Yan, G., Chen, H., and Zheng, W. (2020). Effects of chronic heat stress and ammonia concentration on blood parameters of laying hens. **Poultry Science.** 99, 3784–3792. <https://doi.org/10.3382/ps/pez599>.
- Li, J., Zhang, H. J., Wu, S. G., and Qi, G. H. (2015). Effects of rearing systems on performance, carcass yield, meat quality, and tibia characteristics in broilers. **Poultry Science.** 94(7), 1451–1457. <https://doi.org/10.3382/ps/pev114>.
- Li, Q., Zhao, X. L., Gilbert, E. R., Liu, Y. P., Wang, Y., Qiu, M. H., and Zhu, Q. (2015). Confined housing system increased abdominal and subcutaneous fat deposition and gene expressions of carbohydrate response element-binding protein and sterol regulatory element-binding protein 1 in chicken. **Genetics and Molecular Research.** 14(3), 1220–1228. <https://doi.org/10.4238/2015.May.7.9>.
- Li, Y., Luo, C., Wang, J., and Guo, F. (2017). Effects of different raising systems on growth performance, carcass, and meat quality of medium-growing chickens. **Journal of Applied Animal Research.** 45(1), 326–330. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1329445>.

- Lopez, K. P., Schilling, M. W., and Corzo, A. (2011). Broiler genetic strain and sex effects on meat quality traits. **Poultry Science**. 90(5), 1105–1111. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01109>.
- Malik, A., Mussawar, B., Fatima, H., and Mufti, A. A. (2024). Stress management techniques for students: Exploring mindfulness, cognitive-behavioral strategies, and resilience. **Review of Applied Management and Social Sciences**. 7(4), 449–466. <https://doi.org/10.22034/rams.2024.130380>.
- Martin, P., and Bateson, P. P. G. (1993). Measuring behaviour: An introductory guide (2nd ed.). **Cambridge University Press**. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139168342>.
- Mashaly, M. M., Hendricks, G. L., Kalama, M. A., Gehad, A. E., Abbas, A. O., and Patterson, P. H. (2004). Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. **Poultry Science**. 83, 889–894. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.889>.
- Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., and Lázaro, R. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **Poultry Science**. 91(12), 3039–3052. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02326>.
- Mateos, G.G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M.P., and Lázaro, R.P. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **Journal of Applied Poultry Research**. 21(1), 156–174. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477>.
- Maxwell, M. H., and Roberson, G. W. (1998). The avian heterophil leukocyte. **World's Poultry Science Journal**. 54, 155–178. <https://doi.org/10.1079/WPS19980014>.
- McIntyre, R. L., and Fahy, G. M. (2015). Aldehyde-stabilized cryopreservation. **Cryobiology**. 71(3), 448–458. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2015.09.008>.
- Miller, W. L., and Auchus, R. J. (2011). The molecular biology, biochemistry, and physiology of human steroidogenesis and its disorders. **Endocrine Reviews**. 32, 81–151. <https://doi.org/10.1210/er.2010-0013>.
- Mir, S. H., Pal, R. P., Mani, V., Malik, T. A., Ojha, L., and Yadav, S. (2018). Role of dietary minerals in heat-stressed poultry: A review. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. 6, 820–826. <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue5/PartW/6-5-56-496.pdf>.

- Molee, W., Khosinklang, W., Tongduang, P., Thumanu, K., Yongsawatdikul, J., and Molee, A. (2022). Biomolecules, fatty acids, meat quality, and growth performance of slow-growing chickens in an organic raising system. **Animals**. 12, 570. <https://doi.org/10.3390/ani12030570>.
- Mugnai, C., Dal Bosco, A., and Castellini, C. (2009). Performances and meat quality of slow-growing chicken breeds as affected by outdoor rearing system. **Italian Journal of Animal Science**. 8(sup1), 593–595. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.593>.
- Mujahid, A. (2014). Mechanisms underlying the compromised performance of poultry exposed to heat stress. **Animal Feed Science and Technology**. 197, 1–8.
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Ranjha, M. M. A. N., Kieliszek, M., Bhat, Z. F., and Aadil, R. M. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. **Food Bioscience**. 52, 102403. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102403>.
- National Research Council, and Subcommittee on Poultry Nutrition. (1994). Nutrient requirements of poultry: 1994. **National Academies Press**. <https://doi.org/10.17226/2114>.
- Pérez, L. J., Gómez, P., and Molina, V. Y. (2023). Cytokine-mediated inflammation in heat-stressed broilers: Implications for visceral fat deposition. **Journal of Avian Biology**. 54(1), e03109.
- Pertiwi, H., Nur Mahendra, M. Y., and Kamaludeen, J. (2022). Astaxanthin as a potential antioxidant to improve the health and production performance of broiler chicken. **Veterinary Medicine International**. 2022, 4919442. <https://doi.org/10.1155/2022/4919442>.
- Phillips, H. N., and Heins, B. J. (2021). Effects of outdoor stocking density on growth, feather damage and behavior of slow-growing free-range broilers. **Animals**. 11(3), 688. <https://doi.org/10.3390/ani11030688>.
- Pia Franciosini, M., Canali, C., Casagrande Proietti, P., Tarhuni, O., Fringuelli, E., and Asdrubali, G. (2005). Plasma corticosterone levels in laying hens from three different housing systems: preliminary results. **Italian Journal of Animal Science**. 4(3), 276-278. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.276>.

- Połtowicz, K., and Doktor, J. (2011). Effect of free-range raising on performance, carcass attributes, and meat quality of broiler chicken. **Animal Science Papers and Reports**. 29(2), 121–128.
- Ponte, P. I. P., Rosado, C. M. C., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Chaveiro-Soares, M. A., Brás, J. L. A., Mendes, I., Gama, L. T., Prates, J. A. M., Ferreira, L. M. A., and Fontes, C. M. G. A. 2008. Pasture intake improves the performance and meat sensory attributes of free-range broilers. **Poultry Science**. 87(1), 71–79. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00147>.
- Ristic, M., and Damme, K. (2012). Significance of pH-value for meat quality of broilers – Influence of breed lines. **Veterinarski Glasnik**. 66(2), 67–75. <https://doi.org/10.2298/VETGL1302067R>.
- Sanchez-Casanova, R., Sarmiento-Franco, L., Segura-Correa, J., and Phillips, C. J. (2019). Effects of outdoor access and indoor stocking density on behaviour and stress in broilers in the subhumid tropics. **Animals**. 9, 1016. <https://doi.org/10.3390/ani9121016>.
- Saneyasu, T., Sugawara, T., and Tani, Y. (2013). Age-related response to fasting in lipid metabolism of broiler chicks. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**. 165(4), 461–466.
- Saxton, R. A., and Sabatini, D. M. (2017). mTOR signaling in growth, metabolism, and disease. **Cell**. 168(6), 960–976. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004>.
- Sherwin, C. M., Richards, G. J., and Nicol, C. J. (2010). Comparison of the welfare of layer hens in four housing systems in the UK. **British Poultry Science**. 51(4), 488–499. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.502518>.
- Sirri, F., Castellini, C., Bianchi, M., and Petracci, M. (2007). Effect of fast-, medium- and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. **Animal**. 1(3), 418–429. <https://doi.org/10.1017/S1751731107691873>.
- Sirri, F., Castellini, C., Bianchi, M., Petracci, M., Meluzzi, A., and Franchini, A. (2010). Effect of fast-, medium- and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. **Animal**. 4(10), 1470–1476. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000217>.

- Sirri, F., Meluzzi, A., Saloncini, E., and Cavani, C. (2007). Effect of genotype and farming system on yield performance and meat quality of laying hens. **Poultry Science**. 86(7), 1605–1611. <https://doi.org/10.1093/ps/86.7.1605>.
- Spencer, S. J., Tilbrook, A. J., and Williams, M. J. (2017). Glucocorticoids and visceral adiposity: Stress and fat distribution in mice. *Endocrinology*. 158(10), 3523–3532.
- Stadig, L. M., Rodenburg, T. B., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B., and Tuytens, F. A. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. **Poultry Science**. 95(12), 2971–2978. <https://doi.org/10.3382/ps/pew266>.
- Tahamtani, F. M., Nordgreen, J., Nordquist, R. E., and Janczak, A. M. (2016). Early life in a barren environment adversely affects spatial cognition in laying hens (*Gallus gallus domesticus*). **Frontiers in Veterinary Science**. 3, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00008>.
- Teyssier, J. R., Brugaletta, G., Sirri, F., Dridi, S., and Rochell, S. J. (2022). A review of heat stress in chickens. Part II: Insights into protein and energy utilization and feeding. **Frontiers in Physiology**. 1521. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1044125>.
- Toomey, M. B., Lopes, R. J., Araújo, P. M., Johnson, J. D., Gazda, M. A., Afonso, S., Mota, P. G., Koch, R. E., Hill, G., Corbo, J. C., and Carneiro, M. (2017). High-density lipoprotein receptor SCARB1 is required for carotenoid coloration in birds. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 114(20), 5219–5224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1619222114>.
- van Praag, H., Kempermann, G., and Gage, F. H. (2000). Neural consequences of environmental enrichment. **Nature Reviews Neuroscience**. 1(3), 191–198. <https://doi.org/10.1038/35044558>.
- van Staaveren, N., Ellis, J., Baes, C. F., and Harlander-Matauschek, A. (2021). A meta-analysis on the effect of environmental enrichment on feather pecking and feather damage in laying hens. **Poultry Science**. 100(2), 397–411. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.019>.
- Vas, J., BenSassi, N., Vasdal, G., and Newberry, R. C. (2023). Better welfare for broiler chickens given more types of environmental enrichments and more space to

- enjoy them. **Applied Animal Behaviour Science**. 261, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105901>.
- Vinoth, A., Babar, M., and Rao, S. V. R. (2015). Heat stress-induced alterations in antioxidant status and lipid metabolism in broilers. **Poultry Science**. 94(2), 282–288.
- Wan, Y., Yang, H., Zhang, H., Ma, R., Qi, R., Li, J., Liu, W., Li, Y., and Zhan, K. (2021). Effects of different non-cage housing systems on the production performance, serum parameters and intestinal morphology of laying hens. **Animals**. 11(6), 1673. <https://doi.org/10.3390/ani11061673>.
- Wang, K. H., Shi, S. R., Dou, T. C., and Sun, H. J. (2009). Effect of a free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. **Poultry Science**. 88(10), 2219–2223. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00379>.
- Wang, X., Li, H., Zhang, L., and Li, Y. (2021). Effects of different non-cage housing systems on the production performance, welfare, and intestinal microbiota of laying hens. **Animal Feed Science and Technology**. 276, 114907. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114907>.
- Webster, J. (2016). Animal welfare: Freedoms, dominions and “a life worth living.” **Animals**. 6(6), 35. <https://doi.org/10.3390/ani6060035>.
- Webster, J. I., Tonelli, L., and Sternberg, E. M. (2002). Neuroendocrine regulation of immunity. **Annual Review of Immunology**. 20, 125–163. <https://doi.org/10.1146/annurev.immunol.20.100301.064741>.
- Wei, F. X., Hu, X. F., Sa, R. N., Liu, F. Z., Li, S. Y., and Sun, Q. Y. (2014). Antioxidant capacity and meat quality of broilers exposed to different ambient humidity and ammonia concentrations. **Genetics and Molecular Research**. 13, 3117–3127. <https://doi.org/10.4238/2014.April.25.13>.
- Weimer, S. L., Wideman, R. F., Scanes, C. G., Mauromoustakos, A., Christensen, K. D., and Vizzier-Thaxton, Y. (2018). An evaluation of methods for measuring stress in broiler chickens. **Poultry Science**. 97, 3381–3389. <https://doi.org/10.3382/ps/pey268>.

- Woo, E., Sansing, L. H., Arnsten, A. F., and Datta, D. (2021). Chronic stress weakens connectivity in the prefrontal cortex: Architectural and molecular changes. **Chronic Stress**. 5, 24705470211029254. <https://doi.org/10.1177/24705470211029254>.
- Woodburn, S. C., Bollinger, J. L., and Wohleb, E. S. (2021). The semantics of microglia activation: Neuroinflammation, homeostasis, and stress. **Journal of Neuroinflammation**. 18, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12974-021-02101-z>.
- Yang, X., Guo, Y., and Zhang, H. (2015). Effects of different rearing systems on growth performance, meat quality and immune response of yellow-feathered broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. 28(9), 1320–1326. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0939>.
- Yang, Y., Wen, J., Fang, G. Y., Li, Z. R., Dong, Z. Y., and Liu, J. (2015). The effects of raising system on the lipid metabolism and meat quality traits of slow-growing chickens. **Journal of Applied Animal Research**. 43, 147–152. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021319>.
- Ying, Y., Verma, S. K., Kwok, O. C., Alibana, F., McLeod, R., Su, C., Dubey, J. P., and Pradhan, A. K. (2017). Prevalence and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* in free-range chickens from grocery stores and farms. **Parasitology Research**. 116, 1591–1595. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5531-2>.
- Zhang, L., Yue, H. Y., Zhang, H. J., Xu, L., Wu, S. G., Yan, H. J., and Qi, G. H. (2021). Effects of pre-slaughter stress on meat quality and proteome of breast muscle in broilers. **Poultry Science**. 100(5), 101041. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101041>.
- Zhou, Z., Zhang, A., Liu, X., Yang, Y., Zhao, R., and Jia, Y. (2022). m⁶A-mediated PPARA translational suppression contributes to corticosterone-induced visceral fat deposition in chickens. **International Journal of Molecular Sciences**. 23(24), 15761. <https://doi.org/10.3390/ijms232415761>

ภาคผนวก ก
วิธีดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ



การเตรียมสารเคมีและตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างสมองด้วยแสง ซินโครตรอน

เทคนิค X-ray imaging and X-ray tomographic microscopy (XTM)

การเตรียมสาร PBS 10x concentrate

สารเคมี

NaCl	80 g
KCl	2 g
Na ₂ HPO ₄	11.5 g
KH ₂ PO ₄	2 g
DI water	1 L.

การเตรียมสาร Cryoprotectant solution

สารเคมี

PBS 10x concentrate	100 mL/L.
Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O	14.65 g/L.
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	2.76 g/L.
Glutaraldehyde	3% w/v
Ethylene glycol	65% w/v

การเตรียมสาร Methanol Alcohol solution

สารเคมี

Methyl alcohol 100%
DI water

วิธีการ

1. ทำการเจือจาง PBS10x ปริมาณ 100 ml ต่อน้ำ DI 1 L. เพื่อใช้ล้างทำความสะอาดตัวอย่างสมองโกโคราช

2. แช่ตัวอย่างสมองในสาร cryoprotectant ปริมาณ 200 ml ต่อ 1 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างสมองไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส
3. นำตัวอย่างสมองออกมาและแช่ตัวอย่างใน methyl alcohol ไล่ระดับความเข้มข้นจาก 10% ไปถึง 90% อย่างละ 2 ชั่วโมง และแช่ตัวอย่างใน methyl alcohol 100% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำเข้าเครื่อง critical point dryer (CPD)
4. ทำให้ตัวอย่างสมองแห้งโดยเครื่อง critical point dryer (CPD) ตั้งค่าโปรแกรมสำหรับเนื้อเยื่อตามคู่มือของบริษัท จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องและเปิดการใช้งาน หลังจากผ่านกระบวนการทำให้ตัวอย่างแห้งด้วยเครื่อง critical point dryer (CPD) ให้เก็บตัวอย่างไว้ในตู้ดูดความชื้น
5. นำตัวอย่างสมองติดเข้ากับแท่งหมุนใช้ติดตัวอย่างกับฐานด้วยแว็กซ์ (wax) จากนั้นนำเข้าเครื่องเอ็กซ์เรย์ และปรับการตั้งค่าการ x-ray ให้เหมาะสมกับขนาดตัวอย่างทุกครั้งก่อนการยิงแสง x-ray โดยมีเจ้าหน้าที่สถาบันแสงซินโครตรอนจะพิจารณาการตั้งค่าโปรแกรม และออกแบบเครื่องมือในการวัดให้เหมาะสมกับขนาดของตัวอย่างแต่ละชิ้นในการวัดแต่ละรอบ
6. นำภาพ x-ray ของตัวอย่างสมองที่ผ่านการสแกนมาประกอบกันด้วยโปรแกรม Image J และ OCTOPUS reconstruction software จากนั้นตรวจสอบผลการ x-ray และภาพสามมิติด้วยโปรแกรม Fiji และวิเคราะห์หาปริมาตรและค่าความพรุนด้วยโปรแกรม Octopus analysis software โดยมีเจ้าหน้าที่สถาบันแสงซินโครตรอนจะพิจารณารูปแบบการใช้โปรแกรมเพื่อให้เหมาะสมกับตัวอย่างและได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง



ภาคผนวก ข

ภาพประกอบการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 1 การเลี้ยงไก่โคราชภายนอกโรงเรือนบนแปลงหญ้า



ภาพที่ 2 การเลี้ยงไก่โคราชภายในโรงเรือน



ภาพที่ 3 โรงเรือน, ภายในโรงเรือน และแปลงหญ้าที่ใช้ในงานทดลอง



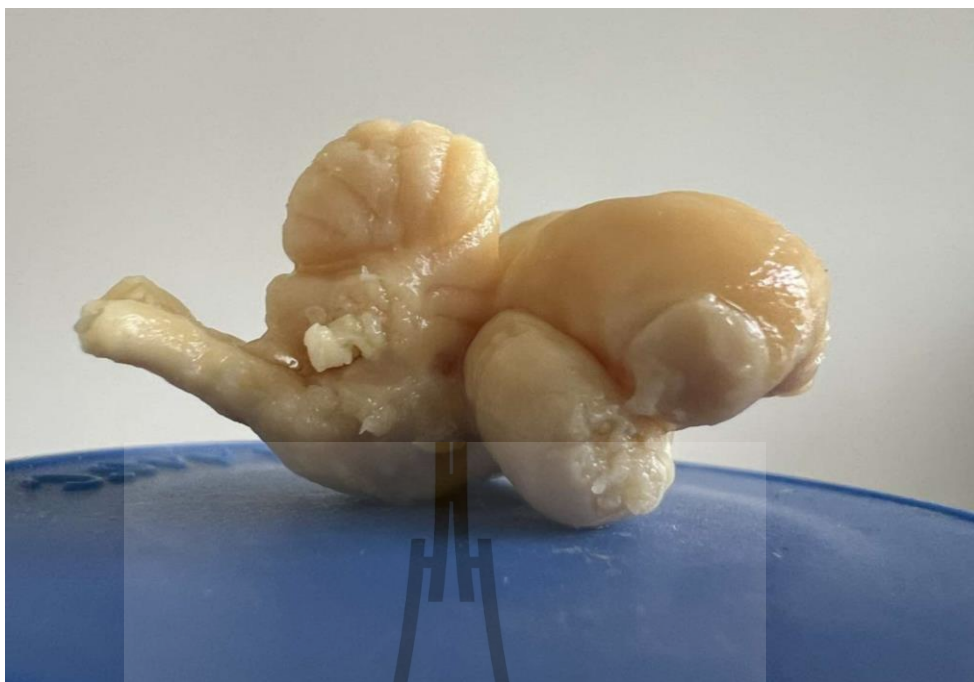
ภาพที่ 4 การเตรียมอาหารทดลอง และการชั่งน้ำหนักโคโคราชทุกสัปดาห์



ภาพที่ 5 การเปิดกะโหลกหัวไก่โคราชเพื่อเก็บตัวอย่างสมองในงานทดลอง



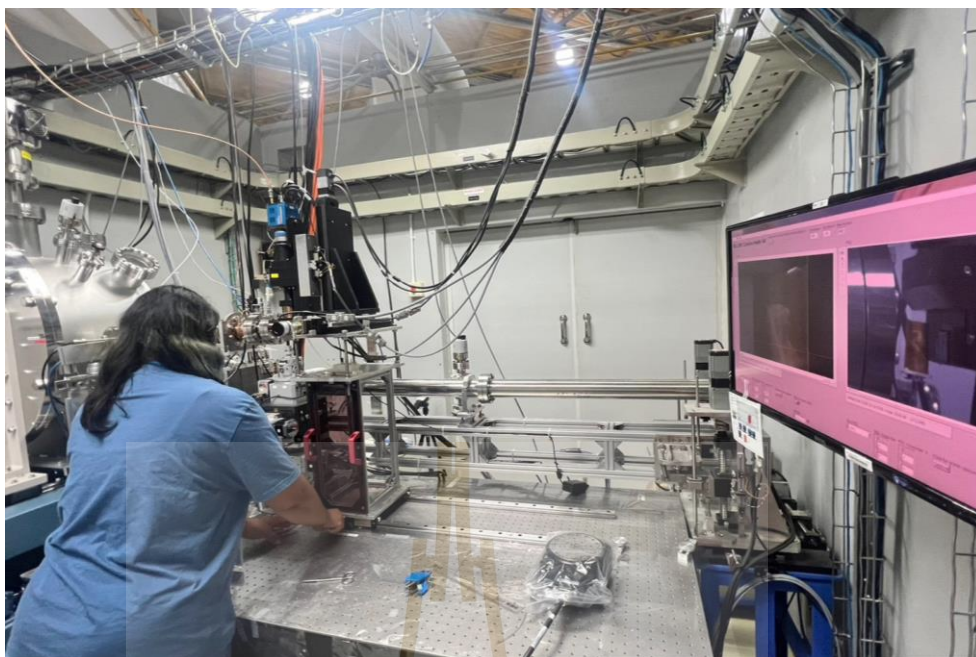
ภาพที่ 6 การเก็บตัวอย่างสมองไก่โคราชในงานทดลอง



ภาพที่ 7 ตัวอย่างสมองไก่โคราชที่ผ่านการแช่ในสาร cryoprotectant



ภาพที่ 8 แช่ตัวอย่างสมองไก่โคราชใน Methyl alcohol 100% ก่อนนำเข้าเครื่อง critical point dryer (CPD)



ภาพที่ 9 นำตัวอย่างสมองไก่โคราชติดเข้ากับแท่งฐานหมุนและปรับการตั้งค่าให้เหมาะสมก่อนการยิงแสง x-ray



ภาพที่ 10 เครื่องเอ็กซ์เรย์สแกนตัวอย่างสมองไก่โคราชโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมจากระยะไกล

ภาคผนวก ค
เอกสารใบรับรองวัตถุดิบอินทรีย์





กรมการข้าว
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ใบรับรองฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า
กลุ่มเครือข่ายเกษตรกรอินทรีย์ตำบลผักไหม
ที่ตั้งกลุ่ม เลขที่ 80 หมู่ที่ 1 ตำบลผักไหม อำเภอห้วยทับทัน จังหวัดศรีสะเกษ
ได้รับการรับรอง

มาตรฐานการรับรอง มาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ (มกษ. 9000 เล่ม 1-2552 และ เล่ม 4-2553)
ขอบข่ายที่ให้การรับรอง แหล่งผลิตข้าวอินทรีย์
จำนวนสมาชิก 59 ราย (รายชื่อปรากฏตามเอกสารแนบ) พื้นที่รวมจำนวน 629 ไร่

รหัสรับรอง กษ 09-9000-33-008-900004 ORGANIC

วันที่ให้การรับรอง 27 สิงหาคม 2564 วันหมดอายุ 26 สิงหาคม 2567

(นายอาววัชชาญ เลี้ยงประยูร)
อธิบดีกรมการข้าว

กษ 09-9000-33-008-900004 ORGANIC

ภาพที่ 1 ใบรับรองการปลูกข้าวแบบอินทรีย์



กรมการข้าว
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ใบรับรองฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า
กลุ่มเครือข่ายเกษตรกรอินทรีย์ตำบลผักไหม
สถานที่ประกอบการ เลขที่ 80 หมู่ที่ 1 ตำบลผักไหม อำเภอห้วยทับทัน จังหวัดศรีสะเกษ
ได้รับการรับรอง

มาตรฐานการรับรอง มาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ (มกษ. 9000 เล่ม 1-2552 และ เล่ม 4-2553)
ขอบข่ายที่ให้การรับรอง การแปรรูปและการคั่วบรรจุ

รหัสรับรอง กษ 09-9000-33-934-000001

วันที่ให้การรับรอง 27 สิงหาคม 2564 วันหมดอายุ 26 สิงหาคม 2567

(นายอาววัชชาญ เลี้ยงประยูร)
อธิบดีกรมการข้าว

กษ 09-9000-33-934-000001

ภาพที่ 2 ใบรับรองการแปรรูปข้าวแบบอินทรีย์



กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ใบรับรองฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

นายโพธิ์ ฝางคำ
ที่อยู่ หมู่ 7 ตำบลลำไทร อำเภอยี่งอ จังหวัดศรีสะเกษ
ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มกษ.9000 แห่ง 1-2552
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

แหล่งผลิตพืชอินทรีย์
รหัสรับรอง TAS : 54452

ที่แปลง 20 หมู่ 7 ตำบลลำไทร อำเภอยี่งอ จังหวัดศรีสะเกษ
พื้นที่รวม 19.25 ไร่ จำนวน 11 ชนิดพืช

1. มะม่วงน้ำดอกไม้	พื้นที่ 1.00 ไร่	2. ถั่วลิสง	พื้นที่ 5.00 ไร่
3. ฝรั่ง	พื้นที่ 0.50 ไร่	4. มะเขือ	พื้นที่ 1.00 ไร่
5. มะม่วง	พื้นที่ 0.06 ไร่	6. ถั่วเขียว	พื้นที่ 3.00 ไร่
7. มะเขือเทศ	พื้นที่ 0.13 ไร่	8. ถั่วลิสง	พื้นที่ 3.00 ไร่
9. ไข่หวาน	พื้นที่ 2.00 ไร่	10. ขอนแดง	พื้นที่ 0.25 ไร่
11. ตะไคร้	พื้นที่ 0.25 ไร่		

วันที่รับรอง 7 เดือนเมษายน 2563 วันที่หมดอายุ 6 เดือนเมษายน 2565



ผู้ว่าราชการจังหวัด (นายจักรพรรดิ วุฒิสัย)

ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4
ปฏิบัติราชการแทนอธิบดีกรมวิชาการเกษตร



ผู้อำนวยการเขต



สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 ตู้ ปณ. 79 อ. เมือง จ. สุรินทร์ 33000 โทร 045-355669 E-mail : cord4@daa.in.th

ภาพที่ 3 ใบรับรองการปลูกถั่วเหลืองแบบอินทรีย์



ภาพที่ 4 แหล่งผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์อินทรีย์ ต.ผักไหม อ.ห้วยทับทัน จ.ศรีสะเกษ



ภาพที่ 5 ถั่วเหลืองบดอินทรีย์ และปลายข้าวอินทรีย์

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิริโรจน์ โคตรสาลี เกิดเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2541 ณ อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2564 ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยระหว่างการศึกษาได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภายใต้โครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ในหัวข้อ “ระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์เพื่อการพัฒนาคุณภาพของเนื้อไก่โคราช (The organic production system for developing Korat chicken meat quality)” นอกจากนี้ยังได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการนานาชาติ The 9 th International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC 2023) ซึ่งจัดขึ้น ณ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว อันเป็นเวทีสำคัญในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติ และเป็นการเพิ่มพูนประสบการณ์ด้านการวิจัยในระดับสากล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี