รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพเนื้อไก่

Supplementation of crude extract from pericarp of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) in broiler diets on growth performance and meat quality

คณะนักวิจัย

ดร. อุมาพร แพทย์ศาสตร์ หัวหน้าโครงการ

รศ.ดร. โอภาส พิมพา ที่ปรึกษาโครงการ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก เงินรายได้มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2559 รหัสโครงการ SIT590708S

สมอ

เลขหมู่ SF498.7 074 2560 ฉ.1

Bib Key 439802

- 1 เม.ย. 2563

ชื่อโครงการวิจัย

การเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพเนื้อไก่

Supplementation of crude extract from pericarp of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) in broiler diets on growth performance and meat quality

คณะนักวิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด (คณะ/ภาควิชาหรือหน่วยงาน)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ดร. อุมาพร แพทย์ศาสตร์ ตำแหน่งอาจารย์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี สัดส่วนที่ทำการวิจัย 100%

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ดร. โอภาส พิมพา ตำแหน่งรองศาสตราจารย์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....1

Abstract.....2

บทนำ.....3

วัตถุประสงค์.....5

การตรวจเอกสาร.....5

วิธีการทดลอง.....22

ผลการทดลองและวิจารณ์.....28

สรุปผลการทดลอง.....38

เอกสารอ้างอิง.....39

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ.....44

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในช่วงอายุ 2 ถึง 6 สัปดาห์ 29

ตารางที่ 2 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ 32

ตารางที่ 3 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อการเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อ 35

ตารางที่ 4 จำนวนแบคทีเรียในลำไส้ส่วน Ileum และ Caecum ของไก่เนื้อที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ระดับต่าง ๆ (log10 CFU/g) 37

รายการภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 1 (A) ลักษณะต้นมังคุด (B) ลักษณะผลมังคุด และ (C) โครงสร้างทางเคมีของแซนโทน (xanthones) ที่พบได้ในเปลือกมังคุด 6

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไมโอโกลบิน 12

รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้สีของเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง 14

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและพัฒนา (Research and Development Office) มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณศูนย์ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้การสนับสนุนสถานที่เลี้ยงไก่เนื้อ ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้ได้มาซึ่งข้อมูลและในการดำเนินงานต่าง ๆ งานวิจัยนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานที่กล่าวมาข้างต้น ความดีของงานวิจัยนี้ ขอมอบแด่ครูอาจารย์ทุกท่าน ทั้งผู้ที่เป็นครูอาจารย์โดยตรง และผู้ที่มีส่วนในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้วิจัย หากผลของงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ผู้เลี้ยงไก่เนื้อ ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์ทุกขั้นตอน ให้ประสบความสำเร็จในการประกอบอาชีพ ตลอดจนความยั่งยืนของอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ของประเทศ ช่วยให้ได้อาหารที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค ลดความเสี่ยงในการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่มีสารปฏิชีวนะตกค้าง ลดการนำเข้าสารปฏิชีวนะ ส่งเสริมการบริโภคอาหารปลอดภัยและมีคุณภาพ คณะผู้วิจัยจะมีความยินดีเป็นอย่างยิ่ง สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณทุกกำลังใจ จากครอบครัวและเพื่อนร่วมงานทุกท่าน จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ การเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อ และปริมาณแบคทีเรียในลำไส้ โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า อายุ 7 วัน จำนวน 192 ตัว สุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 16 ตัว แต่ละซ้ำเลี้ยงในคอก ขนาด 1x1 เมตร แต่ละกลุ่มเลี้ยงด้วยอาหารทางการค้าที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0, 0.2, 0.4 และ 0.8% โดยไก่ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ ใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 5 สัปดาห์ มีการประเมินสมรรถภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตายทุกสัปห์ดา เมื่อไก่เนื้ออายุครบ 42 วัน ทำการสุ่มตัวที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของกลุ่ม มาซ้ำละ 4 ตัว (กลุ่มทดลองละ 12 ตัว) เพื่อชำแหละและประเมินคุณภาพซาก จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างเนื้อหน้าอกมาทำการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ และการเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อ สำหรับการหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ทำโดยสุ่มกากอาหารในลำไส้เล็กส่วนท้ายและไส้ติ่ง จากไก่ซ้ำละ 1 ตัว (กลุ่มทดลองละ 3 ตัว) มาตรวจสอบหาปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต อัตราการตาย %เนื้อหน้าอก ปริมาณแบคทีเรียในลำไส้ ค่า pH_{24} %cooking loss ค่าสี *L**, *a**, *Hue* ลิปิดออกซิเดชั่น และโปรตีนออกซิเดชั่น ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อ 0.4 และ 0.8% มีผลทำให้ค่า %drip loss และ %total water loss ลดลง ($P<0.05$) กลุ่มที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.4% ทำให้ค่าสี *b** มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ และกลุ่มที่เสริม 0 และ 0.4% มีค่า *chroma* สูงกว่ากลุ่มที่เสริม 0.2% ($P<0.05$) ในกลุ่มที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.8% มีค่าไมโอโกลบินออกซิเดชั่นในวันที่ 0 หลังการเก็บเย็น น้อยที่สุด ($P<0.05$) และมีแนวโน้มการเกิดลิปิดออกซิเดชั่นในวันที่ 4 หลังการเก็บ น้อยที่สุด ($P=0.07$) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อ 0.4 ถึง 0.8% อาจช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อ โดยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ ยิ่งไปกว่านั้นการเสริมที่ระดับ 0.8% อาจช่วยป้องกันเนื้อจากการเกิดออกซิเดชั่นในไก่เนื้อ

Abstract

This study aimed to investigate the effect of crude extract from pericarp of mangosteen (CPM) on growth performance, carcass quality, meat quality, oxidations and bacterial contents in the small intestine of broilers. The 192 birds at 7 days old were allocated to 4 treatments with 3 replicates per treatment and each replicate contains 16 chicks in the cage size 1x1 m. Birds were fed diets supplemented with 0, 0.2, 0.4 and 0.8% of CPM for a period of 5 weeks *ad libitum* and freely assessed to water. Growth performance and mortality rate were evaluated weekly. At 42 days old, 4 birds with body weight closed to group average were slaughtered (12 birds per treatment) and carcass quality was determined. The breast muscle (*Pectoralis major*) were sampled from 4 birds per replicate for determining meat quality and oxidations. For determination of bacterial contents, the residue of feed in the small intestine (ilium and caecum) were sampled from 1 bird per replicate (3 birds per treatment). The results indicated that dietary supplementations with CPM had no effect on growth performance, mortality rate, %breast, bacterial contents, pH_{24}, %cooking loss, L^*, a^*, *Hue*, lipid oxidation and protein oxidation in meat ($P>0.05$). However, dietary supplementations with 0.4 and 0.8% CPM groups had a lower in %drip loss and %total water loss ($P<0.05$). The group with 0.4% CPM had more b^* value than others and the *chroma* for group with 0 and 0.4% CPM was higher than 0.2% CPM group ($P<0.05$). The 0.8% CPM group had a lowest myoglobin oxidation at day0 of display ($P<0.05$) and tended to be lower in lipid oxidation at day4 of display ($P=0.07$). Hence, it can be concluded that 0.4 to 0.8% of CPM could improve meat quality by decreasing water loss. Moreover, 0.8% CPM might protect meat from oxidation in broilers.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีพื้นที่ปลูกและผลิตมังคุดรายใหญ่แห่งหนึ่งของโลก โดยมีผลผลิตมังคุดรวมทั้งประเทศในปี 2557 และ 2558 เท่ากับ 289,352 และ 199,876 ตัน/ปี ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จึงทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นเปลือกมังคุดปริมาณมาก โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายน ถึง กันยายน ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยวผลผลิต ในสมัยก่อนมักมีการนำเปลือกของมังคุดมาใช้เป็นยาแผนโบราณ (traditional medicine) รักษาอาการปวดท้อง ท้องเสีย โรคบิด แผลติดเชื้อ แผลหนอง และแผลเรื้อรัง มีงานวิจัยหลายงานวิจัยพบว่า เปลือกของมังคุดเป็นแหล่งของแทนนิน (tannin) แซนโทน (xanthones) และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ โดยสารประกอบต่าง ๆเหล่านี้ จะมีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ต่อต้านเนื้องอก (antitumoral) ต่อต้านภูมิแพ้ (antiallergic) ต่อต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) และต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและเชื้อไวรัส (Pedraza-Chaverri et al., 2008)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อของประเทศไทยได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความต้องการบริโภคที่สูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2556 ถึง 2558 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตไก่เนื้อเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 1,100 ล้านตัวต่อปี เป็น 1,300 ล้านตัวต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จึงทำให้อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อในปัจจุบันเป็นแบบการเลี้ยงแบบหนาแน่นและส่งผลกระทบให้เกิดภาวะเครียดในไก่ โดยความเครียดจะกระตุ้นให้ร่างกายอ่อนแอ เกิดโรคต่าง ๆ และเกิดการตายของสัตว์มากขึ้น ผู้เลี้ยงไก่จึงจำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อป้องกันและรักษาโรคในไก่ รวมถึงกระตุ้นการเจริญเติบโตของไก่ แต่หากให้ยาติดต่อกันเป็นเวลานาน จะเพิ่มความเสี่ยงต่อปัญหาการดื้อยาในคน และมีการตกค้างในเนื้อไก่ซึ่งไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทำให้มีปัญหาในการส่งออก โดยเฉพาะประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป ได้มีกฎระเบียบเข้มงวดในเรื่องของการใช้สารตกค้าง ดังนั้นผู้ประกอบการเลี้ยงไก่เนื้อเพื่อการส่งออก จึงมีความจำเป็นต้องมีการจำกัดการใช้ยาปฏิชีวนะ

ด้วยเหตุนี้วงการอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ของไทยทั้งเกษตรกรผู้เลี้ยงและโรงงานอาหารสัตว์ จึงจำเป็นต้องแสวงหาวัสดุอาหารสัตว์ทางเลือกที่จะช่วยป้องกันและควบคุมโรค สัตว์แทนการใช้ยาปฏิชีวนะ มาเติมในอาหารสัตว์ยุคใหม่ หนึ่งในหลาย ๆ ทางเลือกที่มีศักยภาพในการป้องกันและควบคุมโรคสัตว์ได้คือ สมุนไพรที่ใช้เติมลงในอาหารสัตว์แทนยาปฏิชีวนะ โดยสมุนไพรที่ใช้ควรมีบทบาทหน้าที่สำคัญหลายประการ เช่น สรรพคุณในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobials) กระตุ้นการกิน และการย่อยอาหาร (aids in ingestion and digestion) ขับพยาธิ (anthelmintics) และมีบทบาทอื่น เช่น เปลี่ยนแปลงเมทตาโบลิซึมของอาหาร ช่วยลดไขมันในเนื้อและไข่ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) เป็นต้น (เยาวมาลย์, 2556)

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เป็นการนำเปลือกมังคุดที่เป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆมากมาย อีกทั้งยังเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกผลไม้ชนิดนี้มากและเมื่อบริโภคแล้วจะเหลือเปลือกผลไม้ทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ปริมาณมาก มาทำการสกัดเป็นสารสกัดหยาบ (crude extract) เพื่อเสริมลงในอาหารไก่เนื้อเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ ทั้งนี้การผสมเปลือกมังคุดลงไปในรูปแบบของสารสกัดหยาบ ทำให้สามารถควบคุมปริมาณสารสำคัญให้คงที่และสามารถใช้ในระดับต่ำในสูตรอาหาร จึงไม่ส่งผลกระทบต่อระดับโภชนะในสูตรอาหารให้เปลี่ยนไป อีกทั้งต้นทุนการผลิตไม่สูงมากนัก จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในสัตว์ โดยจะศึกษาผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ เช่น สี ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการเกิดออกซิเดชั่นต่าง ๆในเนื้อ เพื่อให้เนื้อสัตว์ที่ได้มีคุณภาพ ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อได้นานขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ของประเทศ และส่งผลในการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศในตลาดโลกอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

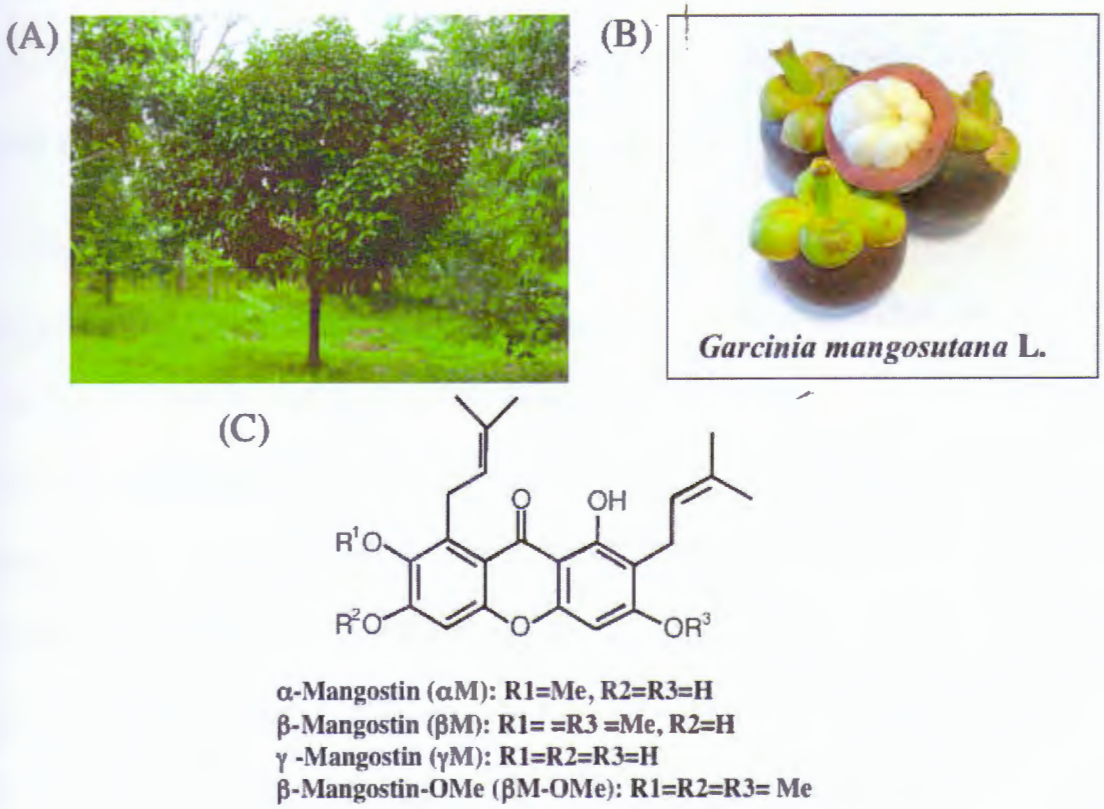
เพื่อศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ การเกิดออกซิเดชั่นต่าง ๆของเนื้อไก่ รวมถึงปริมาณจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

3. การตรวจเอกสาร

3.1 มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.)

มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ (รูปที่ 1A) ชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 75-85% ดินควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 5.5-6.5 และที่สำคัญควรเลือกพื้นที่ปลูกที่มีน้ำเพียงพอตลอดช่วงฤดูแล้ง มังคุดจะให้ผลผลิตประมาณปีที่ 7 หลังปลูก แต่ผลผลิตต่อต้นในระยะแรกจะต่ำ ช่วงที่ให้ผลผลิตดีประมาณ 13 ปีขึ้นไป โดยเฉลี่ย 60 กิโลกรัม/ต้น (น้ำหนักผลเฉลี่ย 80 กรัม/ผล) มังคุดเป็นไม้ผลที่มีระบบรากหาอาหารค่อนข้างลึก ประมาณ 90-120 เซนติเมตร จากผิวดิน ดังนั้นจึงต้องการสภาพแล้งก่อนออกดอกค่อนข้างนาน โดยต้นมังคุดที่สมบูรณ์ใบยอดมีอายุระหว่าง 9-12 สัปดาห์เมื่อผ่านช่วงแล้งติดต่อกัน 21-30 วัน และมีการกระตุ้นน้ำถูกวิธีมังคุดจะออกดอก ช่วงพัฒนาการของดอก (ผลิตาดอก – ดอกบาน) ประมาณ 30 วันช่วงพัฒนาของผล (ดอกบาน-เก็บเกี่ยว) ประมาณ 11-12 สัปดาห์ ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม คือ เริ่มมีสายเลือดได้ 1-2 วัน ผลมังคุดที่มีสีม่วงแดง เนื้อด้านในมีสีขาว (รูปที่ 1B) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% เก็บรักษาได้นานประมาณ 2-4 สัปดาห์ ฤดูกาลผลผลิตของภาคตะวันออกอยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน ภาคใต้อยู่

ในช่วงเดือน กรกฎาคม – กันยายน จังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 5 อันดับแรกของประเทศ คือ จังหวัดจันทบุรี นครศรีธรรมราช ชุมพร ตราด และระยอง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559)



รูปที่ 1 (A) ลักษณะต้นมังคุด (B) ลักษณะผลมังคุด และ (C) โครงสร้างทางเคมีของแซนโทน (xanthones) ที่พบได้ในเปลือกมังคุด (Akao et al., 2008)

มีงานวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่ามังคุดมีสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่มีสรรพคุณเป็นยาหรือเป็นสารพิษที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อปกป้องตนเองให้อยู่รอดจากการถูกทำลายโดยเชื้อโรคและศัตรูพืช เช่น เชื้อรา ไวรัส แบคทีเรียต่าง ๆ ยกตัวอย่างสารทุติยภูมิในมังคุด เช่น แซนโทน (xanthones) ที่สามารถพบได้จากเปลือกของผล (peel หรือ pericarp) ผล (fruit) ใบ (leave) และเปลือกลำต้น (bark) (Pedraza-Chaverri, 2008) แซนโทนมีลักษณะเป็น oxygenated heterocycles โดยมีโครงสร้างแกนหลัก $C_{13}H_8O_2$ น้ำหมักโมเลกุล 196.19 กรัม/โมล ดังแสดงในรูปที่ 1C

ในส่วนของเปลือกมังคุด (pericarp) จะมีรสฝาดและมีฤทธิ์ทางยาในหลายด้าน เปลือกมังคุดประกอบด้วยสารแทนนิน (tannin) ประมาณ 7-15% และสารในกลุ่มแซนโทนกว่า 75% แทนนินเป็นสารที่มีรสฝาด ซึ่งมีมากในเปลือกมังคุด ทำให้เกิดอาการท้องผูก ตำรายาไทยระบุสารรสฝาด มีฤทธิ์ฝาดสมาน จึงใช้รักษาอาการท้องเสีย และรักษาแผลพุพองต่าง ๆ โดยแทนนินมีฤทธิ์ตกตะกอนโปรตีน และส่วนใหญ่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 8, 2559) ส่วนสารในกลุ่มแซนโทนในเปลือกมังคุดพบว่ามีมากกว่า 50 ชนิด เริ่มจาก α-mangostin ที่พบครั้งแรกในปี 1855 ทั้งนี้แซนโทนที่พบในเปลือกมังคุดจะมีฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (anti-bacterial) ฤทธิ์ต้านไวรัส (antiviral) ฤทธิ์ต้านเชื้อรา (antifungal) ฤทธิ์ต้านเนื้องอก (antitumoral) ฤทธิ์ต้านภูมิแพ้ (antiallergy) และ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) (Pedraza-Chaverri, 2008)

Palakawong et al. (2010) ได้ศึกษาฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระและต่อต้านจุลินทรีย์ในมังคุด พบว่า กิจกรรมการต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity, IC_{50}) จากสารที่สกัดจากเปลือกของผล (peel) ใบ (leave) และเปลือกลำต้น (bark) เท่ากับ 5.94 9.44 และ 6.46 ug/ml ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) พบว่าค่าความเข้มข้น

น้อยสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ หรือ minimum inhibitory concentration (MIC) values จากเปลือกของผล ใบ และเปลือกลำต้น ต่อแบคทีเรีย gram-positive (*L. monocytogenes* และ *S. aureus*) จะอยู่ในช่วง 0.025-0.78 mg/ml ส่วนค่า MIC ต่อแบคทีเรีย gram-negative (*E. coli* และ *Salmonella sp.*) จะเท่ากับ 3.13 mg/ml

อุดมลักษณ์ และคณะ (2549) นำเปลือกมังคุดสดและแห้งมาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล และทำการสกัดเปลือกมังคุดสดและแห้งแบบต่อเนื่องด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน อะซิโตน และ เมทานอล โดยใช้วิธีการสกัดเย็น (maceration) และวิธีการสกัดร้อนด้วยเครื่อง Soxhlet extraction apparatus พบว่า การสกัดสารจากเปลือกมังคุดแห้งด้วยตัวทำละลายเอทานอลได้สารสกัดหยาบมากที่สุดคือ 26.59 % จากการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 5 ชนิด คือ เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. acnes* เชื้อยีสต์ *Candida albicans* และเชื้อรา *Trichophyton mentagrophytes* ด้วยวิธี disc diffusion method พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสดโดยวิธีการสกัดเย็นด้วยเอทานนอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. acnes* และ *T. mentagrophytes* ได้ดีที่สุด สารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *C. albicans* เมื่อนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดสดโดยวิธีการสกัดเย็นด้วยเอทานอลมาทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดโดยวิธี agar dilution method พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดสดโดยวิธีการสกัดเย็นด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุด 128 ug/ml รองลงมาได้แก่ *P. acnes* ค่าความเข้มข้นต่ำสุด 256 ug/ml, *S. epidermidis* ค่าความเข้มข้นต่ำสุด 4096 ug/ml และ *T. mentagrophytes* ค่าความเข้มข้นต่ำสุด 8192 ug/ml ตามลำดับ

นิรามัย และคณะ (2555) ได้ศึกษาผลของการเสริมเปลือกมังคุดและกระเทียมผงอัดเม็ดต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตก๊าซมีเทน (methane; CH_4) ในโคเนื้อเพศผู้ลูกผสมที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบหลักเสริมด้วยอาหารข้น 0.5% ของน้ำหนักตัว โดยมี 4 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ 1) กลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารข้นตามปกติ 2) การเสริมด้วยเปลือกมังคุดอัดเม็ด 3) เสริมเปลือกมังคุดและกระเทียมผงอัดเม็ด และ 4) เสริมด้วยเปลือกมังคุดกับกระเทียมผงและยูเรีย 2% ที่ระดับการเสริม 200 กรัม/ตัว/วัน ในทุก ๆกลุ่มการทดลอง พบว่า การเสริมเปลือกมังคุดกับกระเทียม และเปลือกมังคุดกับกระเทียมที่ผสมยูเรียอัดเม็ด ทำให้เพิ่มสัดส่วนของ propionate (C3) ลด acetate (C2) และลดการผลิตก๊าซมีเทนได้

3.2 การใช้สมุนไพรในการเลี้ยงไก่เนื้อ

ในปัจจุบันได้มีการนำสมุนไพรหลายชนิด มาใช้ทดลองใช้ทดแทนสารเสริมในอาหารสัตว์โดยเฉพาะ ไก่เนื้อหรือไก่กระทง เพื่อลดปัญหาสารตกค้าง ทั้งนี้เนื่องจากสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ ที่มีองค์ประกอบหลายชนิดที่ออกฤทธิ์เสริมกันและกัน ตามสรรพคุณของสมุนไพร เช่น กระตุ้นการกินอาหาร เพิ่มการย่อยได้ แก้อาการท้องเสีย แก้อาการ อักเสบ ฆ่าเชื้อต่อต้านอนุมูลอิสระ ต่อต้านแบคทีเรีย เสริมภูมิคุ้มกัน เป็นต้น

นิพนธ์ และมณีรัตน์ (2545) ได้ทำการทดลอง ใช้ใบฝรั่งทดแทนยาต้านจุลินทรีย์ (ยากันบิด) ในอาหารไก่เนื้อ ผลปรากฏว่าการเสริมยากันบิด (salinomycin) อัตรา 50 กรัม/อาหาร 100 กก. หรือเสริมใบฝรั่งแห้งบด 0.2 และ 0.4% ทำให้ไก่มีอัตราการเติบโต น้ำหนักเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกเนื้อ ไม่แตกต่างกัน อัตราการตายของไก่ทุกกลุ่มอยู่ในระดับปกติ คือ 0.6-3.4% แม้ว่าการเสริมยากันบิดในอาหาร จะมีผลทำให้ไก่มีอัตราการตายน้อยกว่าการเสริมใบฝรั่งแห้งบดก็ตาม นอกจากนี้ จากการตรวจรอยโรคของโรคบิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้นทางจุลพยาธิ

วิทยา (Histopathology) พบว่าไก่กลุ่มที่เสริมใบฝรั่งแห้งบด 0.2% ปรากฏรอยโรค ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมใบฝรั่งแห้งบด 0.4% แต่มีรอยโรคน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมใบฝรั่งแห้งบด อย่างไรก็ตามการเสริมใบฝรั่งบดไม่มีผลต่อระดับภูมิคุ้มกันโรคนิวคาสเซิลและโรคกัมโบโรในไก่ที่ใช้ทดลอง ดังนั้นผลจากการทดลองนี้มีแนวโน้มว่าใบฝรั่งอาจใช้แทนยากันบิดในอาหารไก่เนื้อได้

ขวัญใจ และคณะ (2553) ได้ศึกษาถึงผลของสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.) ต่อคุณภาพเนื้อของไก่กระทง โดยเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันผสมอยู่ที่ระดับ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8% พบว่า การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าแรงตัดผ่าน ปริมาณโภชนะ และระดับคอเลสเตอรอลของเนื้อหน้าอก แต่การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ระดับ 0.8% มีผลทำให้หนังบริเวณหน้าอกมีค่าสี b^* (สีเหลือง) สูงกว่าเนื้อหน้าอกของไก่ทดลองที่ได้รับสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ ระดับ 0, 0.2, 0.4 และ 0.6% นอกจากนี้การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ระดับ 0.6 และ 0.8% ยังมีผลทำให้ค่า TBARS ของเนื้อไก่ลดลง

เอกสิทธิ์ และคณะ (2558) ศึกษาผลของการเสริมกวาวเครือขาว ขมิ้นชัน และฟ้าทะลายโจร ในรูปเชิงเดี่ยวและผสมกันที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในไก่เนื้อ อาหารทดลองมีจำนวน 8 สูตรประกอบด้วย 1) สูตรอาหารกลุ่มไม่เสริมสมุนไพรเป็นกลุ่มควบคุม 2) กลุ่มที่เสริมกวาวเครือขาว 1% 3) ขมิ้นชัน 0.1% 4) ฟ้าทะลายโจร 0.2% 5) กวาวเครือ 1% และขมิ้นชัน 0.1% 6) กวาวเครือขาว 1% และฟ้าทะลายโจร 0.2% 7) ขมิ้นชัน 0.1% และฟ้าทะลายโจร 0.2% และ 8) กวาวเครือขาว 1%, ขมิ้นชัน 0.1% และฟ้าทะลายโจร 0.2% พบว่าไก่กระทงที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกวาวเครือขาว 1% และขมิ้นชัน 0.1% มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่เนื้อดีที่สุด

นอกจากนี้ ธีระ และสมศักดิ์ (2559) ได้ศึกษาการเสริมกะเพราร่วมกับบอระเพ็ด ต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงไก่เนื้อ โดย กลุ่มที่ 1 ให้กินอาหารสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 ให้กินอาหารสำเร็จรูปเสริมด้วยกะเพราที่ระดับ 1.0, 1.0, 0.5 และ 0.5 % ของอาหารสำเร็จรูปร่วมกับบอระเพ็ดที่ระดับ 0.4, 0.2, 0.4 และ 0.2 % ของอาหารสำเร็จรูป ตามลำดับ พบว่า การเสริมกะเพราร่วมกับบอระเพ็ด มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร โดยกลุ่มที่ 2 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีที่สุด แต่มีต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดสูงที่สุด และกลุ่มที่ 1 มีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

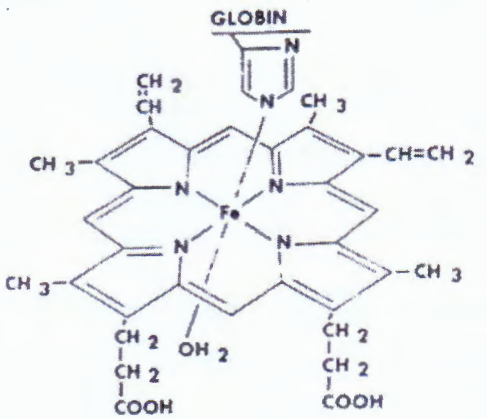
3.3 คุณภาพเนื้อ (Meat quality)

คุณภาพของเนื้อสัตว์ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ functional quality และ conformance quality โดย functional quality หมายถึง การที่เนื้อมีคุณภาพดีตรงความต้องการของผู้บริโภค ส่วน conformance quality หมายถึง คุณภาพของเนื้อที่เหมาะสมและสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ดีมีคุณภาพตรงความต้องการของผู้บริโภค ทั้งนี้การที่เนื้อสัตว์ดีมีคุณภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่น สี ความนุ่ม ความสามารถในการอุ้มน้ำ อุณหภูมิและค่า pH ของเนื้อ รวมถึงการเกิดออกซิเดชั่นต่าง ๆที่ส่งผลทำให้เนื้อมีคุณภาพลดลง และมีผลต่อการเก็บรักษาเนื้อ (Warriss, 2010)

3.3.1 สีของเนื้อ (Meat colour)

สีของเนื้อสัตว์ถือเป็นปัจจัยแรกที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อของผู้บริโภค โดยสีของเนื้อที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ปัจจัยแรกคือ ค่า pH ของเนื้อ ซึ่งหมายถึงค่า pH สุดท้ายหลังจากสัตว์ตายแล้ว ส่วนอีกปัจจัยก็คือ ปริมาณและสถานะทางเคมีของรงควัตถุ

(pigment) ที่อยู่ในเนื้อสัตว์ ที่เรียกว่าไมโอโกลบิน (myoglobin, Mb) (Mancini & Hunt, 2005) ไมโอโกลบิน เป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำและมีมากในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่รับออกซิเจนจากฮีโมโกลบินมาสู่กล้ามเนื้อต่าง ๆทั่วร่างกาย ไมโอโกลบิน ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น โกลบิน และหมู่ฮีม (heam) ที่มีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบและจะอยู่ตรงกลางโมเลกุลของไมโอโกลบิน (ดังรูปที่ 2)



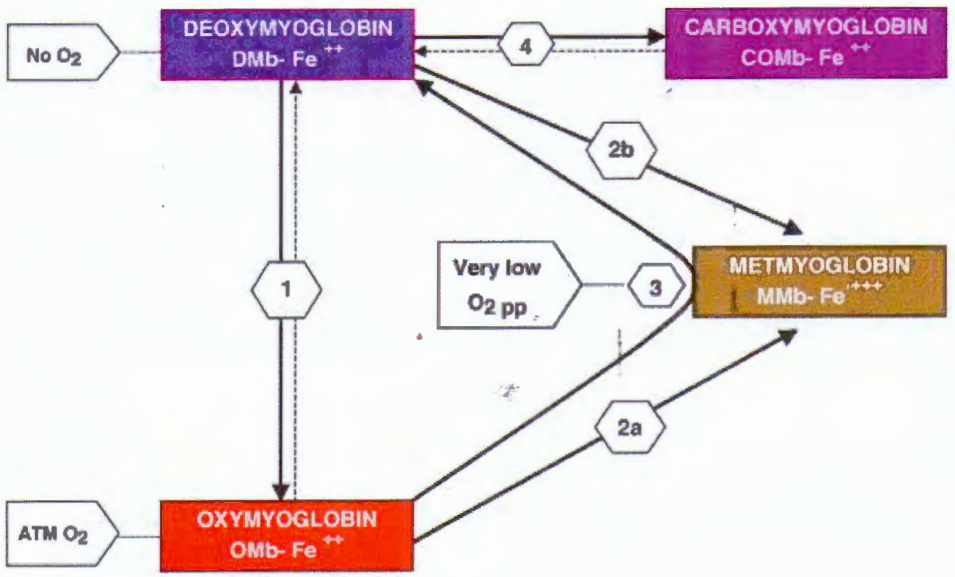
รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไมโอโกลบิน (Pearson & Young, 1989)

จากรูปที่ 2 ธาตุ Fe ที่เป็นองค์ประกอบในหมู่ฮีม จะมีแขน 6 แขนที่สามารถจับกับสารต่าง ๆ โดย 4 แขนจะจับกับไนโตรเจน (pyrrole nitrogen) แขนที่ 5 จับกับฮิสติดีนตำแหน่งที่ 93 (histidine-93) ของโกลบิน และแขนที่ 6 จับกับสารได้หลายตัว เช่น O_2, CO, H_2O หรือ NO การที่มีสารที่แตกต่างกันมาจับที่ตำแหน่งนี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุของ Fe ทำให้โมเลกุลของไมโอโกลบินเกิดการเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้เนื้อและผลิตภัณฑ์มีสีแตกต่างกันออกไป

โดยทั่วไปสีของเนื้อโดยธรรมชาติจะมีความแตกต่างกันไป ผ่านการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของไมโอโกลบิน 3 รูปแบบ คือ ดีออกซีไมโอโกลบิน (deoxymyoglobin) ออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) และเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) (รูปที่ 3)

จากรูปที่ 3 หลังจากสัตว์ถูกฆ่าใหม่ ๆ ไมโอโกบินที่อยู่ในกล้ามเนื้อของสัตว์จะอยู่ในรูปของ deoxymyoglobin โดย Fe ของหมู่ฮีมจะอยู่ในรูปของเฟอรัส (ferrous, Fe^{2+}) โดยไม่มีสารใดมาจับกับแขนที่ 6 ทำให้เนื้อสัตว์ มีสีแดงออกม่วง (purplish – red หรือ purplish - pink) เมื่อทิ้งไว้สักครู่ ออกซิเจน ในอากาศรอบชิ้นเนื้อ จะทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบิน (ปฏิกิริยาที่ 1) เกิดเป็น oxymyoglobin ที่มีสีแดงสด จึงทำให้เนื้อมีสีแดงสดใส (bright red) หรือมีสีแดงสดคล้ายผลเชอรี่ (bright cherry red) ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคส่วนใหญ่ เมื่อ oxymyoglobin เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาที่ 2a) ต่อไปจะกลาย เป็น metmyoglobin โดย Fe ของหมู่ฮีมจะอยู่ในรูปของเฟอริก (ferric, Fe^{3+}) ทำให้เนื้อมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล และไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภค (Mancini & Hunt, 2005)

ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อสีของเนื้อสัตว์ก็คือค่า pH และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อหลังการฆ่า โดยสีของเนื้อที่ซีดลงจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า pH ที่ลดต่ำลงของเนื้อหลังฆ่า ถ้าหาก pH สุดท้ายของเนื้อสัตว์มีค่าสูง โดยอาจมีสาเหตุมาจากการที่ไม่มี glycogen สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อก่อนฆ่า ก็จะทำให้เกิดกระบวนการ glycolysis ได้น้อย ทำให้มีการสะสมของ Lactic acid น้อยลง ค่า pH ของเนื้อจึงสูง ทำให้เนื้อดูมีสีเข้ม (Bendall & Swatland, 1988)



รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้สีของเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง (Mancini & Hunt, 2005)

การวัดสีของเนื้อสามารถประเมินได้โดยการใช้สายตา เปรียบเทียบสีกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน (color card) หรือใช้เครื่องมือวัดสี โดยอาศัยหลักการตกกระทบของแสง (reflectance measurements) (AMSA, 2012) โดยปัจจุบันนิยมใช้วิธีการวัดสีตามระบบของระบบ C.I.E. (L^*-a^*-b^*) ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ ใช้หลักของสีที่ตรงข้ามกัน อ่านตามแกน 3 แกนได้เป็น 3 ค่า โดยแสดงค่าเป็น L^* a^* และ b^* จะให้ค่าสี โดย L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) ค่าสี a^* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และค่าสี b^* เป็น

ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยที่ ค่าสี L^* คือ ค่าแสดงความสว่างของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 กรณีถ้า L^* มีค่าเป็น 0 หมายถึงมืด (darkness) แต่ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง (lightness) ค่าสี a^* คือ แสดงความเป็นสีแดงและเขียว (redness/greenness) กรณีถ้า a^* มีค่าเป็นบวกหมายถึง สีแดง และกรณี ถ้า a^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ค่าสี b^* คือ แสดงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness/blueness) กรณีถ้า b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง และกรณี ถ้า b^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน

3.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC)

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ แสดงถึงความสามารถของเนื้อที่สามารถจับกับน้ำได้ ไม่ว่าจะเป็นน้ำที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในเนื้อเองหรือน้ำที่ทำการเติมเข้าไป โดยทั่วไป การสูญเสียน้ำจากเนื้อสัตว์เองที่ไม่ได้เกิดจากการกระทำใด ๆจากภายนอก จะเรียกว่า drip loss หากเนื้อสัตว์มีการสูญเสียน้ำมากเกินไป ก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อ เพราะถ้าเนื้อสัตว์มีน้ำอยู่สูงจะทำให้เนื้อมีความฉ่ำน้ำ (juiciness) ทำให้เนื้อมีความนุ่มมากกว่าเนื้อที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย

น้ำถือเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อสัตว์ โดยสูงถึง 65-75% น้ำในเนื้อสัตว์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005) คือ

1. Bound water เป็นน้ำส่วนที่ยึดติดแน่นกับเนื้อสัตว์ มีปริมาณ 4-5% ของปริมาณน้ำในเนื้อทั้งหมด โดยจับกับ myofibrillar protein และไม่มีการเคลื่อนที่ไปไหน หรือไม่เกิดการสูญเสียจากการแช่แข็ง หรือการปรุงสุกธรรมดา การที่จะดึงน้ำชนิดนี้ออกจากเนื้อได้ ต้องใช้วิธีให้ความร้อนสูงโดยวิธีการพิเศษ เช่น การทำเนื้อแห้ง

2. Immobilized water เป็นน้ำที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในกล้ามเนื้อ โดยจะแทรกอยู่ระหว่าง myofibril แต่ไม่ได้สร้างพันธะจับกับ myofibrillar protein น้ำส่วนนี้แม้จะเคลื่อนไหวไม่ค่อยอิสระ แต่ก็สามารถถูกดึงออกได้จากกล้ามเนื้อโดยความร้อนจากการปรุงอาหารธรรมดา หรือสามารถตกผลึกเป็นน้ำแข็งได้ระหว่างกระบวนการแช่แข็ง (Freezer)

3. Free water เป็นน้ำส่วนที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ โดยจะแทรกอยู่ตามกล้ามเนื้อและจับกันเองโดยอาศัยแรง Capillary force

การวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสามารถกระทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การหาค่า drip loss คือการนำเนื้อมาเก็บรักษาไว้ในช่วงเวลาหนึ่งแล้วนำมาวัดปริมาตรน้ำที่สูญเสียออกไปโดยการชั่งน้ำหนักเนื้อก่อนและหลังเก็บรักษา หรือการหาค่า cooking loss คือการนำเนื้อไปทำให้สุกแล้วนำมาวัดปริมาตรน้ำที่สูญเสียออกไปโดยการชั่งน้ำหนักเนื้อก่อนและหลังทำให้สุก ส่วนการหาค่า thawing loss คือการนำเนื้อไปทำแช่แข็งแล้วนำกลับมาละลายใหม่ จากนั้นวัดปริมาตรน้ำที่สูญเสียออกไปโดยการชั่งน้ำหนักเนื้อก่อนและหลังการแช่แข็ง (Uytterhaegen et al., 1994)

3.3.3 การเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อสัตว์ (Oxidation in meat)

การเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำลายคุณภาพของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก การเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อสัตว์ มี 3 กระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ ลิปิดออกซิเดชั่น (Lipid oxidation) ไมโอโกลบินออกซิเดชั่น (Myoglobin oxidation) และโปรตีนออกซิเดชั่น (Protein oxidation) โดยทั้ง 3 กระบวนการเกิดจากการเข้าทำลายของพวกอนุมูลอิสระ มีผลทำให้เนื้อสัตว์สูญเสียทั้งรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ (Morrissey et al., 1998; Lund et al., 2011)

1. ลิปิดออกซิเดชั่น (Lipid oxidation) ในเนื้อสัตว์

ลิปิดออกซิเดชั่นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์สูญเสียคุณภาพไป ส่งผลให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค กระบวนการออกซิเดชั่นนี้เกิดจากการที่ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ โดยสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างขั้นตอนหลังการฆ่า โดยเฉพาะในระหว่างขั้นตอนการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ (Morrissey et al., 1998) ลิปิดออกซิเดชั่นทำให้เนื้อเกิดการสูญเสียน้ำ (drip loss) มีกลิ่นเหม็นหืน สีคล้ำหรือน้ำตาล สูญเสียรสชาติ รวมถึงโครงสร้างของกล้ามเนื้อและคุณค่าทางโภชนการถูกทำลาย (Kanner, 1994; Morrissey et al., 1998) ลิปิดออกซิเดชั่น เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เพราะอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นโมเลกุลกรดไขมันที่เหลือให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป การเกิดลิปิดออกซิเดชั่น มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) Initiation เป็นขั้นตอนตั้งต้น โดยมีการดึงอะตอมไฮโดรเจน (H) ออกจาก methylene carbon ของกรดไขมัน (RH) ขั้นตอน initiation จะเกิดขึ้นได้มากและเร็วถ้าหากกรดไขมันนั้นมีพันธะคู่มาก (Halliwell & Chirico, 1993) ดังสมการ

$$RH + \text{initiator} \longrightarrow R^{\bullet}$$

2) Propagation เป็นขั้นตอนลุกลาม โดย fatty acyl radical ($R^{\bullet}$) ที่ได้จากกระบวนการเริ่มต้นจะเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ O_2 กลายเป็น peroxyl radical ($ROO^{\bullet}$) ดังสมการ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$$

โดย $ROO^{\bullet}$ จะถูกออกซิไดซ์ได้รวดเร็วมาก และจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวใหม่ ได้เป็น Hydroperoxide (ROOH)

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

$$ROOH \longrightarrow RO^{\bullet} + OH^{\bullet}$$

Hydroperoxide ถือว่าเป็นผลผลิตขั้นแรก (primary product) จากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชั่น เพราะ Hydroperoxide มักจะมีการเปลี่ยนแปลงและมักแตกตัวให้เป็นผลผลิตขั้นที่สอง (secondary product) เช่น pentanal, hexanal, 4-hydroxynonenal และ malondialdehyde (MDA) (Pearson et al., 1983; Raharjo & Sofos, 1993)

3) Termination เป็นขั้นตอนสุดท้ายของ ปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชั่น โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะมารวมตัวกันเอง เกิดเป็น non-radical products (radical + radical = non-radical product)

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R$$

$$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$$

นอกจากนี้แล้วธาตุเหล็ก (Fe) ที่เป็นองค์ประกอบของไมโอโกลบินที่อยู่ในเนื้อสัตว์ ยังสามารถเป็นตัวเร่ง (catalyst) ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของลิปิดที่สำคัญ โดย Fe จะทำให้เกิด hydroxyl radical ($OH^{\bullet}$) ผ่านปฏิกิริยาเฟนตอน (Fenton reaction) จากนั้น hydroxyl radical จะไปกระตุ้นทำให้เกิดลิปิดออกซิเดชั่นต่อไปอีกเรื่อย ๆ (Min & Ahn, 2005) ดังสมการ

$$Fe(II)\text{-complex} + H_2O_2 \longrightarrow Fe(III)\text{-complex} + OH^{-} + OH^{\bullet}$$

การเกิดลิปิดออกซิเดชั่นในเนื้อ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ ชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณและชนิดของไขมันที่สัตว์ได้รับจากอาหาร การติดเชื้อหรือมีสภาวะของโรค รวมถึงกระบวนการเก็บรักษาเนื้อและการแปรรูปต่าง ๆ เช่น การบดเนื้อ การเติมเกลือ การฉายรังสี การแช่เย็น การแช่แข็ง หรือการทำให้สุก เป็นต้น (Morrissey et al., 1998)

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณการเกิดลิปิดออกซิเดชั่นในอาหาร สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ปริมาณของ primary lipid oxidation products เช่น hydroperoxide และการวิเคราะห์ปริมาณของ secondary lipid oxidation products เช่น Malondialdehyde (MDA) โดย MDA จะเกิดจากการแตกตัวของกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 3 พันธะขึ้นไป และ MDA จะสามารถทำปฏิกิริยากับ TBA (thiobarbituric acid) ทำให้เกิดสารสีแดง และสามารถวัดปริมาณวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 532 นาโนเมตร ทั้งนี้สารสีแดงที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวกันของ TBA 2 โมเลกุล และ MDA 1 โมเลกุล พร้อมกับสูญเสียน้ำไป 2 โมเลกุลในการทำปฏิกิริยา (Tarladgis et al.,1960) โดยจะเรียกสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับ TBA ว่า TBA-reactive substances (TBARS)

2.ไมโอโกลบินออกซิเดชั่น (Myoglobin oxidation) ในเนื้อสัตว์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเกิดออกซิเดชั่นของไมโอโกลบินที่อยู่ในรูปของเฟอรัส (ferrous-myoglobin, Fe^{2+}) ให้กลายเป็นเฟอริก (ferric-metmyoglobin, Fe^{3+}) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ จากสีแดงสดเป็นสีน้ำตาลคล้ำ (discolouration) ในระหว่างการเก็บรักษาเนื้อ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด กลไกการเกิดไมโอโกลบินออกซิเดชั่น จะเกิดผ่านปฏิกิริยาเฟนตอน (fenton reaction) โดยเริ่มจากออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับ ferrous iron (Fe^{2+}) ทำให้เกิด $O_2^{\bullet-}$ และ Fe จะอยู่ในรูปของ ferric iron (Fe^{3+}) จากนั้น $O_2^{\bullet-}$ จะถูกทำให้เปลี่ยนเป็น

สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

H_2O_2 และ H_2O_2 จะเข้าทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} อีกครั้ง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ $OH^{\bullet}$ (Chaijan, 2008) ดังสมการ

$$Fe^{2+} + O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + O_2^{\bullet-}$$

$$2\ O_2^{\bullet-} + 2H^{+} \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + OH^{-} + OH^{\bullet}$$

การวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชั่นของไมโอโกลบิน จะพิจารณาจาก %การเกิด metmyoglobin (%MetMb) ที่ผิวด้านบนหน้าตัดของชิ้นเนื้อ (Mancini & Hunt, 2005) โดยทำการประเมินค่าจากการคำนวณการสะท้อนกลับของแสงที่ส่องผ่านบนผิวของชิ้นเนื้อ ที่ความยาวคลื่นจำเพาะต่าง ๆ (Krzywicki, 1979) นอกจากนี้อัตราการลดลงของค่าสีแดง (a^*;redness) บนผิวหน้าตัดของเนื้อก็เป็นตัวบ่งชี้หนึ่งที่แสดงถึงการเกิดไมโอโกลบินออกซิเดชั่นขึ้น โดยอัตราการลดลงของสีแดง จะมีความสัมพันธ์กับค่า %MetMb ที่เพิ่มขึ้น

3. โปรตีนออกซิเดชั่น (Protein oxidation) ในเนื้อสัตว์

โปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อสัตว์ มีสาเหตุการเกิดจากอนุมูลอิสระพวก Reactive oxygen species (ROS) เช่น $O_2^{\bullet-}$, $HOO^{\bullet}$, $HO^{\bullet}$, H_2O_2 และ ROOH เช่นเดียวกับการเริ่มต้นการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันและไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ (Butterfield & Stadtman, 1997) องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ตามธรรมชาติ เช่น ไขมัน โดยเฉพาะไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ หรือหมู่ฮีมที่เป็นรงควัตถุ ถือว่าเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสร้าง ROS และทำให้เป็นจุดเริ่มต้นในกระบวนการโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อด้วยเช่นกัน (Xiong, 2000) การเกิดโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อ มีผลทำให้โปรตีนในเนื้อมีการเสียสภาพและการละลายได้ของโปรตีนลดลง มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนลดลง และความสามารถในการอุ้มน้ำ

(Water Holding Capacity) ของเนื้อลดลง ทำให้เนื้อเหนียวเมื่อนำไปประกอบอาหาร (Xiong, 2000; Carlin et al., 2006)

กลไกการเกิดโปรตีนออกซิเดชั่น เริ่มจากโมเลกุลของโปรตีนเป้าหมาย (target protein; PH) มีการสูญเสียอะตอมของไฮโดรเจน (hydrogen atom) เกิดเป็น a carbon-centered protein radical ($P^{\bullet}$) ดังสมการ (1) (Stadtman & Levine, 2003) จากนั้น $P^{\bullet}$ จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นเพอร็อกซี่เรดิคัล (peroxyl radical; $POO^{\bullet}$) จากนั้น $POO^{\bullet}$ จะเข้าไปรับไฮโดรเจนอะตอมจากโปรตีนโมเลกุลถัดไป ได้เป็น alkyl peroxide (POOH) และ protein radical ดังสมการ (2) และ (3)

$$PH + HO^{\bullet} \longrightarrow P^{\bullet} + H_2O \qquad \text{---- (1)}$$

$$P^{\bullet} + O_2 \longrightarrow POO^{\bullet} \qquad \text{---- (2)}$$

$$POO^{\bullet} + PH \longrightarrow POOH + P^{\bullet} \qquad \text{---- (3)}$$

การวิเคราะห์หาโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อ สามารถทำได้โดยวัดปริมาณโปรตีนคาร์โบนิล (protein carbonyls) ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการออกซิเดชั่นของโปรตีน (Ganhão et al., 2010) โดยโปรตีนคาร์โบนิล สามารถทำปฏิกิริยากับ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) ดังนั้นการวัดปริมาณโปรตีนคาร์โบนิลเป็นการติดตามการเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโปรตีนคาร์โบนิลและ DNPH ซึ่งได้ผลผลิตเป็น dinitrophenylhydrazone ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 370 นาโนเมตร ปริมาณโปรตีนที่เป็นตัวแทนของการเกิดโปรตีนออกซิเดชั่น ก็คือ ปริมาณนาโนโมลของ DNPH ที่ใช้ในการเข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์โบนิล ต่อมิลลิกรัมของโปรตีนในเนื้อ

4. วิธีการทดลอง

4.1 สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Ross 308) เพศเมีย อายุ 7 วัน จำนวน 192 ตัว เลี้ยงในคอกขังรวม ระบบเปิด ขนาด 1X1 เมตร รวม 12 คอก ๆ ละ 16 ตัว โดยสุ่มสัตว์ทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1: อาหารควบคุมเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0% (กลุ่มควบคุม) จำนวน 3 ซ้ำ ๆละ 16 ตัว

กลุ่มที่ 2: อาหารควบคุมเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.2% ในอาหารทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ๆละ 16 ตัว

กลุ่มที่ 3: อาหารควบคุมเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.4% ในอาหารทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ๆละ 16 ตัว

กลุ่มที่ 4: อาหารควบคุมเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.8% ในอาหารทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ๆละ 16 ตัว

ไก่ทดลองแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารสำเร็จรูปทางการค้า (commercial feed) สูตรเดียวกันโดยมีคุณค่าอาหารตรงตามความต้องการของไก่เนื้อในระยะต่าง ๆ คืออาหารช่วงอายุแรกเกิด ถึง 21 วัน (0-3 สัปดาห์) มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 23% และอาหารช่วงอายุ 22 – 42 วัน (3-6 สัปดาห์) มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 20% โดยให้มีระดับพลังงาน 3,200 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในทั้ง 2 ระยะ (NRC, 1994) ไก่ทุกกลุ่มจะได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลา 42 วัน มี

การจดบันทึกข้อมูลอัตราการเลี้ยงรอด ปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวัน และน้ำหนักตัวไก่แต่ละสัปดาห์

4.2 การจัดการสัตว์ทดลอง

ทำการทดลองในไก่เนื้อสายพันธุ์การค้า (Ross 308) เพศเมีย จำนวน 192 ตัว ระยะเวลาในการทดลองรวมทั้งหมด 6 สัปดาห์ (42 วัน) โดยเลี้ยงไก่ในโรงเรือนระบบเปิด หลังคายกสูง ให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรงเรือนและอุปกรณ์ที่จะใช้เลี้ยง เมื่อลูกไก่เนื้ออายุประมาณ 1 วันมาถึงฟาร์ม จะทำการชั่งน้ำหนักลูกไก่ต่อกล่อง ตรวจดูสภาพลูกไก่ นับจำนวนลูกไก่ จดบันทึกรายละเอียดต่าง ๆ จากนั้นจะทำการกกลูกไก่เนื้อรวมกัน และเลี้ยงเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของโรงเรือน และอาหาร เป็นเวลาประมาณ 7 วัน ก่อนเข้าสู่การทดลอง รวมถึงมีการทำวัคซีนรวมให้ไก่ทุกตัวก่อนเริ่มต้นทำการทดลอง จากนั้นทำการสุ่มลูกไก่เนื้อ เพื่อแบ่งเข้าแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มทดลองจะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดในทุก ๆ กลุ่มทดลอง และทำการเลี้ยงในคอกรวมขนาด 1X1 เมตร ที่มีวัสดุรองพื้นหนาประมาณ 3-4 เซนติเมตร คอกละ 16 ตัว ทั้งนี้การดูแลไก่ จะต้องดูแลอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะไก่ระยะกก (1-14 วันแรก) ถ้าหากอากาศร้อนเกินไปให้ดับไฟกก เช่น ตอนกลางวัน ส่วนกลางคืนจะต้องให้ไฟกกตลอดคืน ในระหว่างการกกไก่จะต้องมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และวางอยู่ใกล้รางอาหาร ทำความสะอาดภาชนะใส่น้ำทุกวัน การให้อาหารไก่ ควรให้อาหารบ่อยครั้งใน 1 วัน เพื่อกระตุ้นการกินอาหาร และจำนวนอาหารที่ให้แต่ละครั้งต้องไม่มากจนเหลือทิ้ง

4.3 การเตรียมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

นำเปลือกมังคุดมาล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ (จดน้ำหนักเริ่มต้น) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C จนแห้งสนิท (จดน้ำหนักแห้งที่เหลือ) แล้วนำไปบดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นนำไปแช่ด้วยเอทานอลทิ้งไว้ 3 วัน แล้วกรองเอาส่วนที่เป็นของเหลวออกมาเก็บไว้ จากนั้นเติมตัวทำละลายเอทานอลลงไปอีกแช่ซ้ำ อีก 2 ครั้ง นำสารละลายที่ได้มาระเหยจนแห้ง โดยเครื่อง rotary evaporator นำมาอบให้แห้งสนิทในตู้อบอุณหภูมิประมาณ 50 °C จากนั้นเก็บไว้ในถุงสุญญากาศและเก็บไว้ในที่แห้ง เพื่อนำไปใช้ผสมลงในอาหารไก่เนื้อตามอัตราส่วนที่กำหนด

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

หลังสิ้นสุดการทดลอง เมื่อไก่เนื้ออายุ 42 วัน จะทำการสุ่มไก่ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม มาซ้ำละ 4 ตัว (12 ตัวต่อกลุ่มการทดลอง) มาทำการชำแหละเพื่อวิเคราะห์คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

ทำการจดบันทึกข้อมูลน้ำหนักไก่มีชีวิต น้ำหนักไก่หลังเชือดหรือน้ำหนักซาก (ไม่รวมขนหัวและเครื่องใน (Faria et al., 2010) และน้ำหนักเนื้อหน้าอก จากนั้นคำนวณ หาเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก ดังนี้

%ผลผลิตซาก = [น้ำหนักซาก/น้ำหนักมีชีวิต] × 100

%เนื้อหน้าอก = [น้ำหนักหน้าอก/น้ำหนักซาก] × 100

จากนั้นนำเนื้อส่วนหน้าอก (Breast fillet) มาวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ ที่ 0 และ 24 ชั่วโมงหลังฆ่าและมีการเก็บรักษาเนื้อไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ดังนี้

วัดความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ 1 และ 24 ชั่วโมง หลังฆ่า

วัดสีของเนื้อ ทำได้โดยใช้เนื้อไก่ส่วนหน้าอกหั่นเป็นชิ้นขนาด 4x4 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น มาทำการวัดสี L^*, a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunterlab Miniscan colour meter (D65 light source, 10° standard observer, $45^\circ/0^\circ$ geometry, 1-inch light surface, white standard) วัดจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย สำหรับค่า *Hue* และ *Chroma* (ค่าความอิ่มตัวของสี หรือ Saturation index) คำนวณได้จาก Tan^{-1} (b^*/a^*) และ $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ตามลำดับ (Hunter & Harold,1987)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ (water holding capacity; WHC) วัดโดยทำการแบ่งเนื้อหน้าอกไก่แต่ละตัวเป็น 3 ชิ้น เพื่อนำไปหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีหาค่า drip loss, thawing loss และ cooking loss ตามวิธีของ Uytterhaegen et al. (1994)

การหาค่า drip loss ทำโดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเนื้อไก่ส่วนหน้าอก แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกมัดแขวนไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^\circ$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักสุดท้าย แล้วคำนวณ %drip loss จากสูตร

%drip loss = [(น้ำหนักเริ่มต้น-น้ำหนักสุดท้าย)/น้ำหนักเริ่มต้น] X 100

การหาค่า thawing loss ทำโดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเนื้อไก่ส่วนอก บรรจุลงในถุงพลาสติกเก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำละลายที่ 4 $^\circ$C ข้ามคืน แล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ คำนวณ %thawing loss จากสูตร

%thawing loss = [(น้ำหนักเริ่มต้น-น้ำหนักสุดท้าย)/น้ำหนักเริ่มต้น] X 100

การหาค่า cooking loss จะทดสอบโดยโดยชั่งน้ำหนักเนื้อไก่เริ่มต้น บรรจุลงในถุงพลาสติก ต้มใส่ water bath อุณหภูมิประมาณ 90 °C นาน 15 นาที หรือให้อุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อสูงประมาณ 70 °C แล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ คำนวณ %cooking loss จากสูตร

%cooking loss = [(น้ำหนักเริ่มต้น-น้ำหนักสุดท้าย)/น้ำหนักเริ่มต้น] X 100

4.5 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในเนื้อ

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในเนื้อ วิเคราะห์ที่ 0, 2 และ 4 วัน หลังห่อเนื้อไว้ด้วย oxygen permeable foil ที่อุณหภูมิ 4°C ภายใต้แสงหลอดไฟ fluorescent (ความเข้มแสงประมาณ 1200 lux) โดยเริ่มห่อเนื้อที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นดังนี้

ลิปิดออกซิเดชั่น (Lipid oxidation) วิเคราะห์ในรูปของ Thiobarbituric Reactive Substances (TBARS; Tarladgis et al., 1960) โดยการติดตามการเกิดสาร Malondialdehyde (MDA) จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสาร Thiobarbituric acid (TBA) และสามารถหาปริมาณปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร หน่วยที่ได้คือปริมาณ μg ของ MDA ในเนื้อ 1 กรัม

โปรตีนออกซิเดชั่น (Protein oxidation) โดยการวัด protein carbonyls ตามวิธีของ Ganhão et al. (2010) ซึ่ง Protein carbonyls ที่เป็นผลผลิตจากการเกิดโปรตีนออกซิเดชั่นจะถูกประเมินโดยพันธะโควาเลนต์ที่จับกับ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) และสามารถวัดการเกิดปฏิกิริยาโดยการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร หน่วยที่ได้จากการวิเคราะห์คือ ปริมาณ nmol ของ DNPH incorporated ต่อมิลลิกรัมโปรตีนของเนื้อ ตามสมการของ Jongberg et al. (2011)

$$\frac{C_{hydrazone}}{C_{protein}} = \frac{A_{370}}{\varepsilon_{hydrazone,370} \cdot (A_{280} - A_{370} \cdot 0.43)} \cdot 10^6$$

Where, $\varepsilon_{hydrazone,\ 370}$ is 21000 $M^{-1}cm^{-1}$, and 0.43= $\varepsilon_{hydrazone,\ 280}/\varepsilon_{hydrazone,\ 370}$.

ไมโอโกลบินออกซิเดชั่น (Myoglobin oxidation) เป็นการคำนวณหา % การเกิด Metmyoglobin (%MetMb) โดยใช้ค่าการสะท้อนกลับของแสงที่ความยาวคลื่นจำเพาะ ได้แก่ 520, 530, 570, 580 และ 700 นาโนเมตร ตามวิธีของ Krzywicki (1979), และวิธีการคำนวณที่ดัดแปลงโดย Lindahl et al. (2001)

4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ไก่

การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรียในลำไส้ไก่ เพื่อประเมินผลของการใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุไก่ 42 วัน ในขั้นตอนการชำแหละเนื้อไก่ ก่อนทำการเก็บตัวอย่างเนื้อไก่ จะมีการสุ่มเก็บตัวอย่างกากอาหารในบริเวณลำไส้ส่วนไอเลียมและซีกัม สุ่มมาซ้ำละ 3 ตัว เพื่อนำมาหาจำนวนประชากรของเชื้อแบคทีเรียตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ วิเคราะหหาปริมาณจุลินทรียทั้งหมด (total plate count) และวิเคราะหหาปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella spp.* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ (Selective media) เช่น Eosin methylene blue (EMB) agar และ Xylose lysine deoxycholate (XLD) agar ตามลำดับ

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้ทั้งในส่วนสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ และปริมาณจุลินทรีย์ จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Analysis of variance และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี

Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 6.0 for Windows

4.8 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ศูนย์ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ แสดงในตารางที่ 1 จากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อพันธุ์ Ross 308 อายุ 7 วัน จำนวน 192 ตัว โดยให้อาหารเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 0 (กลุ่มควบคุม) 0.2, 0.4 และ 0.8% ของอาหาร ตามลำดับ เป็นเวลา 7-42 วัน เพื่อตรวจสอบน้ำหนักตัว ปริมาณการกินอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ จากการทดลองพบว่า น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และอัตราการตาย (mortality rate) ตลอดการทดลอง ของแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 1 ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในช่วงอายุ 2 ถึง 6 สัปดาห์

Item	Concentration of crude extract from pericarp of mangosteen (%)				SEM	P – value
	0	0.2	0.4	0.8		
Initial body weight (g)	137.50	137.50	137.50	137.50	0.77	1.00
Final body weight (kg)	2000.00	2053.33	2000.00	2000.00	19.12	0.75
Average daily gain (g/ day)	53.21	54.74	53.21	53.21	0.56	0.77
Daily feed intake (g/hen/day)	93.79[b]	103.81[a]	105.47[a]	101.57[a]	1.58	0.01
Feed conversion ratio (g/g)	1.76	1.90	1.98	1.91	0.03	0.09
Mortality rate (%)	2.08	2.08	4.17	4.17	0.67	0.90

ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

5.2 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

5.2.1 คุณภาพซากของไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อคุณภาพซาก (ตารางที่ 2) พบว่ากลุ่มที่เสริมสารสกัด 0.2% มี %ซาก สูงกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม %เนื้อหน้าอกของไก่เนื้อแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5.2.2 คุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อ

ผลการศึกษาค่า pH ในชั่วโมงที่ 1 และชั่วโมงที่ 24 ของเนื้อไก่ ที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหาร แสดงในตารางที่ 2 จากการทดลองพบว่ากลุ่มที่เสริมสารสกัด 0.2% มีค่า pH_1 มากที่สุด ($P<0.05$) เท่ากับ 6.29 โดยค่า pH_1 ของเนื้อไก่จากการทดลองนี้อยู่ในช่วง 5.81-6.29 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.01 ซึ่งโดยปกติ ค่า pH ชั่วโมงแรกของเนื้อ มีค่าระหว่าง 6-7.02 (สัญชัย, 2543) ค่า pH ของเนื้อเป็นการวัดการเกิดกระบวนการ glycolysis ที่เกิดขึ้นหลังสัตว์ตาย จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความเครียดก่อนการฆ่า การอดอาหาร การลดอุณหภูมิซาก รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวสัตว์เอง เช่น สายพันธุ์ หรือ อายุสัตว์ เป็นต้น (McGeehin et al., 2001) ทั้งนี้ค่า pH ในเนื้อจะลดลงอย่างช้า ๆ จากจุดเริ่มต้นประมาณ 7.0 เหลือประมาณ 5.6 - 5.7 ในเวลาประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง หลังจากสัตว์ตาย แล้วจึงลดลงสู่จุดค่ากรดด่างสุดท้ายระหว่าง 5.3-5.7 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย (ชัยณรงค์, 2529) การทดลองครั้งนี้ได้มีการควบคุมปัจจัยก่อนการฆ่าที่มีผลต่อค่า pH ของเนื้อดังกล่าว ได้แก่ การอดอาหารก่อนฆ่า และป้องกันการเกิดสภาวะเครียดในไก่ช่วงการขนส่ง เพื่อให้ค่า pH ของเนื้ออยู่ในช่วงปกติและไม่ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อด้านอื่น ๆ ได้แก่ สี และความสามารถในการอุ้มน้ำ

สำหรับค่า pH ในชั่วโมงที่ 24 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.64-5.71 จากผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับค่า pH ปกติ (ชัยณรงค์, 2529) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อโดยทั่วไป %drip loss จะมีความสัมพันธ์ค่า pH สุดท้าย (ultimate pH หรือ pH_{24}) โดยถ้าเนื้อมีค่า pH สุดท้ายสูง ทำให้ %drip loss ต่ำ ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสูง (Warriss, 2010)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของเนื้อ

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการแช่เย็น (drip loss) การละลาย (thawing loss) และการทำให้สุก (cooking loss) ดังตารางที่ 2 พบว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในระดับต่าง ๆ มีผลต่อ %drip loss และ %thawing loss ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อ %cooking loss ($P>0.05$) โดยกลุ่มที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.4 และ 0.8% จะมี %drip loss น้อยกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม 0.2% ส่วน %thawing loss พบว่ากลุ่มที่มีการเสริมสารสกัดหยาบ 0.4% และ0.8% จะมีการสูญเสียน้ำจากการละลาย น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อรวมการสูญเสียน้ำทั้งหมด หรือ total water loss (%drip loss + %thawing loss + %cooking loss) พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบ 0.4 และ 0.8% ทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีกว่ากลุ่ม 0 และ 2% ($P<0.05$)

สีของเนื้อ

จากการศึกษาค่าสีของเนื้อไก่ที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า (ตารางที่ 2) พบว่าค่าสีแดง (a^*) ค่าความสว่าง (L^*) และค่า *Hue* หรือค่าเฉดสีของเนื้อไก่ทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ส่วนสีเหลือง (b^*) ของกลุ่ม 0 และ 0.4% มากกว่ากลุ่ม 0.2 และ 0.8% ($P<0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ (n = 48)

Item	Concentration of crude extract from pericarp of mangosteen (%)				SEM	P – value
	0	0.2	0.4	0.8		
Carcass (%)	81.29^{b}	83.33^{a}	81.41^{b}	80.67^{b}	0.32	0.02
Breast (%)	23.61	23.73	22.64	24.13	0.26	0.20
pH_1	5.99^{b}	6.29^{a}	5.98^{b}	5.81^{c}	0.04	0.00
pH_{24}	5.64	5.69	5.71	5.67	0.01	0.32
Drip loss (%)	7.90^{a}	8.17^{a}	6.57^{b}	6.17^{b}	0.22	0.00
Thawing loss (%)	9.50^{a}	8.20^{ab}	7.36^{b}	6.58^{b}	0.33	0.01
Cooking loss (%)	28.73	30.96	28.73	28.34	0.41	0.12
Total water loss (%)	46.12^{a}	47.43^{a}	42.37^{b}	41.80^{b}	0.68	0.00
L^*	58.65	59.43	59.62	59.81	0.33	0.64
a^*	6.84	5.85	6.78	6.71	0.16	0.08
b^*	18.75^{a}	16.99^{b}	17.98^{a}	17.02^{b}	0.19	0.00
Hue	1.22	1.24	1.21	1.20	0.01	0.26
Chroma	19.98^{a}	17.99^{c}	19.24^{ab}	18.32^{bc}	0.20	0.00

ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

5.3 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อการเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อ

5.3.1 การเกิดลิปิดออกซิเดชั่นในเนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชั่นในเนื้อ โดยใช้วิธี TBARS เพื่อหาปริมาณ MDA ที่เป็น secondary product ของลิปิดออกซิเดชั่น (ตารางที่ 3) พบว่าในวันที่ 0 และ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อ การเกิดลิปิดออกซิเดชั่นในเนื้อไก่ของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา การเกิดลิปิดออกซิเดชั่นมีแนวโน้มลดลงตามระดับการเสริมสารสกัดที่เพิ่มขึ้น ($P=0.07$) ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจัดเป็นสาเหตุที่ทำให้เนื้อเสื่อมเสียประการหนึ่ง จัดเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อ มีผลทำให้เกิดการเหม็นหืนในเนื้อและผลิตภัณฑ์ โดยอาจมีสาเหตุจากอนุมูลอิสระที่อยู่ในเนื้อ หรือเกิดจากแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถสร้างเอนไซม์ที่สามารถย่อยไขมันได้ (Morrissey et al., 1998) ซึ่งจากการทดลองนี้สารสกัดจากมังคุดมีแนวโน้มช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

5.3.2 การเกิดโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อ โดยใช้วิธีหาปริมาณ protein carbonyls ที่เป็นผลจากการเกิดโปรตีนออกซิเดชั่น (ตารางที่ 3) ในวันที่ 0 2 และ 4 ของการเก็บรักษาเนื้อไก่ พบว่าการเกิดโปรตีนออกซิเดชั่นในเนื้อไก่ของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5.3.3 การเกิดไมโอโกลบินออกซิเดชั่นในเนื้อ

การหาปริมาณการเกิดไมโอโกลบินออกซิเดชั่น เป็นการติดตามการเกิด metmyoglobin (%MetMb) จาก oxymyoglobin ที่ผิวด้านบนหน้าตัดของชิ้นเนื้อ ผ่านกระบวนการออกซิเดชั่น จากการทดลองนี้ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาจะพบว่าการเกิด metmyoglobin ต่ำที่สุดในกลุ่มที่เสริมสารสกัดจากเปลือกมังคุดสูงสุดหรือ 0.8% แต่อย่างไรก็ตามในวันที่ 2 และ 4 ของการเก็บเย็น พบว่า %MetMb ในตัวอย่างเนื้อไก่แต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3

ความคงตัวของสีเนื้อ มีตัวชี้วัดที่สำคัญคือปริมาณ %MetMb ที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของ pigment หรือ myoglobin ในเนื้อ (Mancini & Hunt, 2005) ถ้าปริมาณการเกิด MetMb มาก แสดงถึงเนื้อมีความเสื่อมคุณภาพมาก โดยสังเกตได้ชัดจากเนื้อสีแดงสด กลายเป็นสีคล้ำ ตัวบ่งชี้อีกอย่างหนึ่ง คืออัตราการลดลงของค่าสีแดง (a^*) โดยสามารถประเมินจากการลดลงของค่า oxymoglobin (สีแดงสด) ในเนื้อ อย่างไรก็ตาม การลดลงของค่าสีแดง จะมีความสัมพันธ์เชิงบวก กับการเกิด MetMb ในเนื้อสัตว์ จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ระดับ 0.8% อาจส่งผลดีต่อการช่วยรักษาความคงสภาพของสีเนื้อในระยะแรก (0-2 วัน) ของการเก็บเย็น

ตารางที่ 3 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อต่อการเกิดออกซิเดชั่นในเนื้อ (n = 48)

Item	Concentration of crude extract from pericarp of mangosteen (%)				SEM	P – value
	0	0.2	0.4	0.8		
TBARS day0 (µg MDA/g meat)	1.15	1.16	1.06	1.17	0.04	0.73
TBARS day2 (µg MDA/g meat)	1.86	1.79	1.73	1.77	0.06	0.89
TBARS day4 (µg MDA/g meat)	2.14	2.01	1.90	1.88	0.04	0.07
protein carbonyls day0 (nmol/mg protein)	3.16	3.16	3.18	3.07	0.11	0.99
protein carbonyls day2 (nmol/mg protein)	6.19	5.55	5.31	4.75	0.24	0.21
protein carbonyls day4 (nmol/mg protein)	7.64	8.04	6.70	7.54	0.53	0.93
MetMb day0 (%)	38.51^{a}	35.83^{ab}	37.11^{a}	32.72^{b}	0.69	0.02
MetMb day2 (%)	53.70	50.83	49.10	49.91	1.03	0.43
MetMb day4 (%)	59.88	58.81	62.59	59.74	1.00	0.59

ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

5.4 ผลการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อปริมานเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ของไก่ส่วนลำไส้เล็กส่วนท้าย (Ileum) และไส้ติ่ง (ceca)

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อปริมาณเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ของไก่ส่วนลำไส้เล็กส่วนท้าย (Ileum) และลำไส้ส่วนไส้ติ่ง (Caecum) แสดงในตารางที่ 4 จากการทดลองพบว่า ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria) *Escherichia coli* และ *Salmomella spp.* ของลำไส้ทั้งสองส่วนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

จากการทดลองของ Palakawong et al. (2010) ได้ศึกษาฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ในเปลือกมังคุดในหลอดทดลอง (*in vitro*) พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง gram-positive และ gram-negative อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้เป็นการศึกษาในไก่มีชีวิต (*in vivo*) ซึ่งระบบย่อยอาหารของไก่มีทั้งกากอาหาร น้ำย่อย โปรตีน และน้ำที่เป็นส่วนช่วยในการย่อยอาหารของไก่ อาจทำให้สารสกัดหยาบออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียในลำไส้มีประสิทธิภาพลดลง ส่งผลให้ทำให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในลำไส้แต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 จำนวนแบคทีเรียในลำไส้ส่วน Ileum และ Caecum ของไก่เนื้อที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ระดับต่าง ๆ (log10 CFU/g)

Item	Concentration of crude extract from pericarp of mangosteen (%)				SEM	P – value
	0	0.2	0.4	0.8		
Ileum						
total bacteria	6.43	6.70	6.44	6.47	0.27	0.99
Escherichia coli	5.61	6.96	4.20	4.67	0.96	0.81
Salmomella spp.	3.16	6.13	5.26	3.54	0.65	0.35
Caecum						
total bacteria	6.61	7.11	6.27	6.35	0.18	0.38
Escherichia coli	4.81	6.95	4.25	6.77	0.78	0.57
Salmomella spp.	3.98	7.20	1.97	5.82	0.87	0.15

5.5 ผลการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดต่อต้นทุนค่าอาหาร

ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงไก่เนื้อ พบว่าต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด เท่ากับ 63.36, 93.48, 118.80 และ 160.44 บาท/ตัว ตามลำดับ โดยกลุ่มที่มีการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 0.8% มีต้นทุนคาอาหารรวมสูงกว่าทุกกลุ่ม จะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอทานอลที่ใช้ในการสกัดมีราคาค่อนข้างแพง โดยเอทานอลที่ใช้มีความเข้มข้นสูง 95% เมื่อคิดต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่ม 1 กิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม) มีค่าเท่ากับ 31.68, 45.60, 59.40, 80.22 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากมีการนำเอทนอลกลับมาใช้ใหม่ในการสกัดแต่ละครั้ง อาจจะช่วยทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงกว่านี้

6. สรุปผลการทดลอง

1. การเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0 ถึง 0.8% ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) อัตราการตาย ค่า pH (24h) %cooking loss ค่าสี *L**, *a**, *Hue* ปริมาณแบคทีเรียในลำไส้ ลิปิดออกซิเดชั่น และโปรตีนออกซิเดชั่น อย่างไรก็ตามการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0.8% มีแนวโน้มการเกิดลิปิดออกซิเดชั่นของเนื้อในวันที่ 4 ลดลง

2. การเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในอาหารไก่เนื้อมีผลต่อค่า %drip loss %thawing loss %total water loss ค่าสี *b** ค่าสี *Chroma* และค่าไมโอโกลบินออกซิเดชั่นในวันที่ 0 (%MetMb day0) โดยกลุ่ม 0.4 และ 0.8% จะมีค่า drip loss และ total water loss น้อยกว่ากลุ่มที่เสริม 0 และ 0.2% ส่วนค่า *b** กลุ่ม 0 และ 0.4% มากกว่ากลุ่มที่เสริม 0.2 และ 0.8% ในขณะที่ค่า *chroma* ของกลุ่ม 0% จะมากกว่ากลุ่มที่เสริม 0.2 และ 0.8% นอกจากนี้กลุ่มที่เสริมสารสกัดจากเปลือกมังคุด 0.8% ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา มีการเกิด metmyoglobin ในเนื้อต่ำที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

ขวัญใจ ดำสว่าง, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, สุธา วัฒนสิทธิ์ และอรุณพร อิฐรัตน์. (2553). ผลการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน (Curcuma longa Linn.) ต่อคุณภาพเนื้อไก่กระทง. วารสาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 29, 308-315.

ชัยณรงค์ คันธพนิต. (2529). วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ รัตนผล และมณีรัตน์ รัตนผล. (2545). การใช้ใบฝรั่งป้องกันโรคบิดในไก่เนื้อ. วารสารสมุนไพร, 9 (2),15-22.

นิรามัย มานะศรี, เมธา วรรณพัฒน์ และไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. (2555). ผลของการเสริมเปลือกมังคุดและกระเทียมผงอัดเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงนิเวศวิทยารูเมน และการผลิตก๊าซเมธเทนในโคเนื้อ. แก่นเกษตร, 40 ฉบับพิเศษ 2, 154-159.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. (2556). การใช้สมุนไพรในอาหารสัตว์ไทยมุ่งสู่มาตรฐานอาเซียน. แก่นเกษตร, 41 (4), 369-376.

ธีระ จันทร์แก้ว และสมศักดิ์ เภาทอง. (2559). ผลของการเสริมกะเพราร่วมกับบอระเพ็ดต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า. สืบค้นจาก http://pvlo-phs.dld.go.th/ scriptdoc/Ocimum% 20sanctum.pdf.

สัญชัย จตุรสิทธา. (2543). เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. โรงพิมพ์ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. สืบค้นจาก http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577.

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 8. 2559. การใช้ประโยชน์และสรรพคุณทางยาของมังคุด. สืบค้นจาก http://www.oard8.go.th/information/kpi/mangosteen/58/mgPDF/6.pdf.

เอกสิทธิ์ สมคุณา, ชาญณรงค์ ทิพย์เกียรติกุล, กนกวรรณ สายกระสุน และ นฤมล สมคุณา. (2558). ผลการเสริมกวาวเครือขาว ขมิ้นชัน และฟ้าทะลายโจรในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่กระทง. แก่นเกษตร, 43 ฉบับพิเศษ 1, 478-483.

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์, ประภัสสร รักถาวร, สิริพร ศิริวรรณ และ พจมาน พิศเพียงจันทร์. (2549). การสกัดและการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44, วันที่ 30 ม.ค.-2 ก.พ. 2549, กรุงเทพฯ. หน้า 529-536.

Akao, Y., Nakagawa, Y., Iinuma, M., & Nozawa, Y. (2008). Anti-cancer effects of xanthones from pericarps of mangosteen. International Journal of Molecular Sciences, 9 (3), 355-370.

AMSA. (2012). Meat colour measurement guidelines. 201 West Springfield Avenue, Suite 1202, Champaign, Illinois, USA.

Bendall, J. R., & Swatland, H. J. (1988). A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. Meat Science, 24, 85-126.

Butterfield, D. A., & Stadtman, E. R. (1997). Protein oxidation processes in aging brain. Advances in Cell Aging and Gerontology, 2, 161-191.

Carlin, K. R. M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L. J., & Lonergan, S. M. (2006). Effect of oxidation, pH, and ionic strength on calpastatin inhibition of μ- and m-calpain. Journal of Animal Science, 84, 925-937.

Chaijan, M. (2008). Review: lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 30, 47-53.

Faria, P. B., Bressan, M. C., Souza X. R., Rossato, L. V., Botega, L. M. G.,& Gama, L. T. (2010). Carcass and parts yield of broilers reared under a semi-extensive system. Brazilian Journal of Poultry Science, 3, 153-159.

Ganhão, R., Morcuende, D., & Estévez, M. (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. Meat Science, 85, 402-409.

Halliwell, B., & Chirico, S. (1993). Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. The American Journal of Clinical Nutrition, 57, S715-S725.

Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Science, 71, 194-204.

Hunter, R. S., & Harold, R. W. (1987). The Measurement of appearance. John Wiley and Sons, New Jersey.

Jongberg, S., Skov, S. H., TØrngren, M. A., Skibsted, L. H., & Lund, M. N. (2011). Effect of white grape extract and modified atmosphere packaging on lipid and protein oxidation in chill stored beef patties. Food Chemistry, 128, 276-283.

Kanner, J. (1994). Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications. Meat Science, 36, 169-189.

Krzywicki, K. (1979). Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. Meat Science, 3, 1-10.

Lindahl, G., LundstrÖm, K., & Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. Meat Science, 59, 141-151.

Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P., & Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. Molecular Nutrition & Food Research, 55, 83-95.

Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat colour. Meat Science, 71, 100-121.

McGeehin, B., Sheridan, J. J., & Butler, F. (2001). Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. Meat Science, 58, 79–84.

Min, B., & Ahn, D. U. (2005). Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat Products - A Review. Food Science and Biotechnology, 14, 152-163.

Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., & Buckley, D. J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. Meat Science, 49, S73-S86.

NRC. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press. Washington DC.

Palakawong, C., Sophanodora, P., Pisuchpen, S., & Phongpaichit, S. (2010). Antioxidant and antimicrobial activities of crude extracts from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) parts and some essential oils. International Food Research Journal, 17, 583-589.

Pearson, A. M., Gray, J. I., Wolzak, A. M., & Horenstein, N. A. (1983). Safety implications of oxidized lipids in muscle foods. Food Technology, 37, 121-129.

Pearson, A. M., & Young, R. B. (1989). Muscle and meat biochemistry. San Diego, California: Academic Press.

Pedraza-Chaverri, J., Cárdenas-Rodríguez, N., Orozco-Ibarra, M., & Pérez-Rojas, J.M. (2008). Medicinal properties of mangosteen (Garcinia mangostana). Food and Chemical Toxicology, 46, 3227–3239.

Raharjo, S., & Sofos, J. N. (1993). Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: A review. Meat Science, 35, 145-169.

Stadtman, E. R., & Levine, R. L. (2003). Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. Amino Acids, 25, 207-218.

Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. Journal of the American Oil Chemists' Society, 37, 44-48.

Uytterhaegen, L., Claeys, E., Demeyer, D., Lippens, M., Fiems, L. O., Boucque, C. Y., Van de Voorde, G., & Bastiaens, A. (1994). Effects of double-muscling on carcass quality, beef tenderness and myofibrillar protein degradation in Belgian Blue White bulls. Meat Science, 38, 255-267.

Warriss, P. D. (2010). Meat science: An introductory text (2nd ed.). CABI Publishing, Oxford.

Xiong, Y. L. (2000). Protein oxidation and implications for muscle foods quality. In: E. A. Decker, C. Faustman, & C. J. Lopez-Bote, (Eds.), Antioxidants in muscle foods (pp. 85-111). Wiley, New York.

8. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้การออกฤทธิ์ของสารสกัดหยาบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจเพิ่มระดับในการเสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดในระดับที่มากขึ้น เช่น 1% ซึ่งอาจส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และต้านออกซิเดชั่นในเนื้อเพิ่มขึ้น

2. เนื่องจากต้นทุนค่าอาหารที่เสริมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลค่อนข้างมาก เนื่องจากสารละลายเอทานอลมีราคาสูง ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนการผลิต ควรมีการทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้สารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย หรืออาจใช้ในรูปแบบผง (crude powder) ในอาหารไก่เนื้อ นอกจากนี้การนำเอทานอลกลับมาใช้ใหม่อาจทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงกว่าเดิม