ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในไก่โคราช

นางสาววิชชุตา ขอสินกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

EFFECTS OF DIETARY TUNA OIL LEVELS AND FEEDING PERIODS ON MEAT QUALITY, N-3 PUFA COMPOSITION AND EXPRESSION OF GENES INVOLVED IN FATTY ACID ACCUMULATION IN KORAT CHICKENS

Wichuta Khosinklang

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in Animal Production Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

ผลของระดับ และระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในไก่โคราช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วิทธวัช โมฬี)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุทิศา เข็มผะกา)
กรรมการ

(รศ. ดร.อมรรัตน์ โมฬี)
กรรมการ

(ผศ. นสพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิชชุตา ขอสินกลาง : ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในไก่โคราช (EFFECTS OF DIETARY TUNA OIL LEVELS AND FEEDING PERIODS ON MEAT QUALITY, N-3 PUFA COMPOSITION AND EXPRESSION OF GENES INVOLVED IN FATTY ACID ACCUMULATION IN KORAT CHICKENS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี, 82 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันในไก่โคราช โดยใช้ไก่โคราช คละเพศ อายุ 21 วัน จำนวน 700 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ Augmented Factorial in Completely Randomized Design แบ่งไก่ออกเป็น 7 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว อาหารกลุ่มควบคุมใช้ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าว 4.5% เป็นอาหารพื้นฐาน ในอาหารกลุ่มทดลองใช้การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 1.5% 3.0% และ 4.5% เสริมเข้าไปแทนน้ำมันรำข้าวในอาหารกลุ่มควบคุม โดยแบ่งช่วงระยะเวลาในการเสริมเป็น 2 ช่วง คือ 3 หรือ 6 สัปดาห์ก่อนเชือดที่อายุ 9 สัปดาห์ โดยตลอดการทดลองไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า การเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารที่ระดับและระยะเวลาในการเสริมที่แตกต่างกัน ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีน peroxisome proliferator-activated receptor alpha (PPARA) และ liver fatty acid binding protein (L-FABP) ที่บริเวณตับ ($p>0.05$) แต่ในทางตรงข้ามพบอิทธิพลร่วมต่อการแสดงออกของยีน lipoprotein lipase gene (LPL) ที่บริเวณเนื้ออก ($p<0.05$) และพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือด ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมัน n-3 PUFA, EPA และ DHA ในเนื้อไก่ รวมถึงการแสดงออกของยีน L-FABP และยีน PPARA ที่บริเวณตับ ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันมีการแสดงออกเพิ่มสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามหากคำนึงถึงต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ก็สามารถสร้างให้เนื้อไก่โคราชเป็นเนื้อไก่ที่มี n-3 PUFA สูงได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา วิชชุตา ขอสินกลาง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

WICHUTA KHOSINKLANG : EFFECTS OF DIETARY TUNA OIL LEVELS AND FEEDING PERIODS ON MEAT QUALITY, N-3 PUFA COMPOSITION AND EXPRESSION OF GENES INVOLVED IN FATTY ACID ACCUMALATION IN KORAT CHICKENS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WITTAWAT MOLEE, Ph.D., 82 PP.

KORAT CHICKEN/TUNA OIL/FEEDING PERIOD/n-3 PUFA/L- FABP/ PPARA/LPL

The objective of this study was to determine the effect of dietary tuna oil levels and feeding periods on meat quality, n-3 PUFA composition and expression of genes involved in fatty acid accumulation in Korat chickens. Seven hundred 21-day-old mixed-sex Korat chickens were randomly allocated to an Augmented Factorial in Completely Randomized Design with 7 treatments of 4 replicate pens each, with 25 chickens per pen. The basal diet based on corn-soybean and 4.5% rice bran oil was used as the control. In the experimental diets, part of the rice bran oil content was substituted with 1.5%, 3.0% or 4.5% tuna oil and fed to chickens for 3 or 6 weeks before slaughtering at 9 weeks of age. Chickens were fed ad libitum during the experimental period. The results showed that there was no interaction between levels and feeding periods of tuna oil supplementation on growth performance, meat quality, n-3 PUFA composition, expression of peroxisome proliferator-activated receptor alpha (PPARA) and liver fatty acid binding protein (L-FABP) genes in liver ($p>0.05$). On the other hand, the lipoprotein lipase (LPL) gene in breast meat was affected by interaction between levels and feeding periods of tuna oil supplementation ($p<0.05$).

The supplementation of 4.5% tuna oil in the diet at six weeks before slaughter could increase the highest n-3 PUFA, EPA and DHA in chicken meat and expression of L-FABP and PPARA genes in liver involved in fatty acid metabolism. However, in consideration of feed production cost, the supplementation of 4.5% at three weeks before slaughter was enough to produce n-3 PUFA-enriched Korat chicken meat.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Animal Technology and Innovation
Academic Year 2018

Student's Signature Wichuta Khasinklang
Advisor's Signature W. Molee
Co-advisor's Signature Sutisa Khumpaka
Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ โมพี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยาพนธ์ ที่กรุณาให้การสนับสนุน รวมถึงให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านการดำเนินงานวิจัย ด้านวิชาการ ด้านทุนการศึกษา ด้านทุนการทำวิจัย และที่สำคัญยิ่งขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.Satoshi Kubota อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา รวมถึงคอยให้กำลังใจผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์นายสัตวแพทย์ ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สละเวลาเป็นประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ดำเนินงานวิจัย ตลอดจนบุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัยที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ระหว่างการดำเนินงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคลากรที่อาคารเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาไก่เนื้อโคราช และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณทุนเรียนดีจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาจนทำให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณเพื่อน พี่ และน้องนักศึกษาบัณฑิตศึกษา และนักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา คุณยาย ตลอดจนญาติพี่น้องทุกท่านซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง รวมถึงครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิตการเรียนระดับบัณฑิตศึกษา

วิชชุตา ขอสินกลาง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานงานวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ประโยนช์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3 PUFA) 4

2.2 ผลของการเสริมน้ำมันปลาในอาหารต่อคุณภาพของเนื้อไก่ 5

2.3 ผลของการเสริมน้ำมันปลาในอาหารต่อคุณภาพซากเนื้อไก่ 8

2.4 ผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ 9

2.5 กลไกการขนส่งกรดไขมันที่จำเป็น n-3 PUFA เข้าสู่ร่างกายไก่ และนำไปสะสมภายในเซลล์ 13

2.6 ยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่งกรดไขมัน และการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ 15

2.6.1 FABPs (fatty acid binding protein) 15

2.6.2 Lipoprotein lipase (LPL) 17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.3 PPARA gene 19

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สัตว์ทดลอง แผนการทดลอง และอาหาร 24

3.2 การวิเคราะห์ทางเคมี 25

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร 25

3.3 การศึกษาด้านสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อ 25

3.3.1 การศึกษาด้านสมรรถนะการเจริญเติบโต 25

3.3.2 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบซาก และการเก็บตัวอย่าง 25

3.3.3 การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 25

3.3.4 ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) 31

3.3.5 ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างทำให้สุก (cooking loss) 31

3.3.6 การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) 31

3.4 การศึกษาระดับการแสดงออกของยีน PPARA, ยีน L-FABP และยีน LPL 31

3.4.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อสกัด Total RNA 31

3.4.2 การสกัด Total RNA 32

3.4.3 การสังเคราะห์ First stand cDNA 33

3.4.4 ระดับปริมาณการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และยีน LPL 33

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 34

4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช 35

4.2 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อส่วนประกอบซากในไก่ 36

4.3 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช 36

4.4 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่ 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 47
4.6 ค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อไก่ 48
4.7 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อ ระดับการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และยีน LPL ที่บริเวณตับ และเนื้ออกในไก่โคราช 50
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 57
ภาคผนวก 65
ประวัติผู้เขียน 82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลา น้ำมันปลาทูน่า น้ำมันลินซีด และน้ำมันรำข้าว 5

2.2 ผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ 6

2.3 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อคุณภาพเนื้อในไก่เนื้อ 8

2.4 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อคุณภาพซากในไก่เนื้อ 10

2.5 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ 11

2.6 สรุปผลของช่วงเวลาในการเสริมกรดไขมันต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ 12

2.7 สรุปผลของช่วงเวลาในการเสริมกรดไขมันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในเนื้อไก่ 12

2.8 ผลของการเสริมสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวต่อการแสดงออกของยีน L-FABP ที่ตับ 16

2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์ LPL ต่อการสะสมไขมันที่เนื้ออกและเนื้อสะโพกในไก่ Guangxi san-huang และไก่ Arbor acres (AA) 17

2.10 แสดงผลการทำงานของ lipoprotein lipase mU/100 g ต่อน้ำหนักตัว ที่บริเวณตับ หัวใจ และไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อทางการค้าที่อายุ 36 วัน 19

2.11 บทบาทการทำงานของ PPARA ต่อการเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของไขมัน 21

2.12 ผลของการเสริม n-3 PUFA ในเนื้อไก่โคราชต่อการแสดงออกของยีน PPARA ซึ่งมีบทบาทในการสร้าง $PPAR_{\alpha}$ mRNA 23

3.1 ส่วนประกอบ วัตถุดิบอาหาร และสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง 26

3.2 องค์ประกอบกรดไขมัน (%) ของน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) และน้ำมันปลาทูน่า (Tuna oil) ในอาหาร 28

3.3 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองและองค์ประกอบทางโภชนะของไก่ช่วงอายุ 22 ถึง 42 วัน 29

3.4 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองและองค์ประกอบทางโภชนะของไก่ช่วงอายุ 43 ถึง 63 วัน 30

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.5 ไพรเมอร์ ที่ใช้สำหรับเทคนิค Real time-PCRของยีน L-FABP, PPARA, LPL และยีน GADPH 33

4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคร 35

4.2 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อส่วนประกอบซากในไก่โคราชที่อายุ 9 สัปดาห์ 37

4.3 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช 38

4.4 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้ออกไก่ (g/100g total FA) 42

4.5 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสะโพก (g/100g total FA) 44

4.6 ปริมาณของ n-3 PUFA ที่สำคัญในเนื้ออก 46

4.7 ปริมาณของ n-3 PUFA ที่สำคัญในเนื้อสะโพก 46

4.8 ราคาอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง ต้นทุนการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 48

4.9 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อการแสดงออกของยีนL-FABP, PPARA ที่บริเวณตับ และ LPL ที่บริเวณเนื้ออก 53

4.10 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้ออกไก่โคราชเพศผู้ (g/100 g total FA) 54

ก.1 ชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography (Supelco 37 Component FAME Mix) 68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 กระบวนการขนส่ง และสะสมกรดไขมัน 14

2.2 การทำงานของยีน L-FABP และ PPARA และ LPL ต่อการสะสมกรดไขมัน 15

2.3 การแสดงออกของยีน L-FABP ที่บริเวณตับในไก่เนื้อ (B) และ Baier layers (L) 16

2.4 ระดับการแสดงออกของยีน LPL ในเนื้อเยื่อ อายุ และสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน 18

2.5 บทบาทของ PPARA ในกระบวนการเกิด β-oxidation 20

2.6 บทบาทของ $PPAR_{\alpha}$ ในการเหนี่ยวนำการเกิด peroxisome β-oxidation ซึ่งมีบทบาทหลักในการในการเกิดเมแทบอลิซึมของ DHA 20

4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อค่า TBAR ในเนื้ออกและเนื้อสะโพก 49

ก.1 Primer efficiency ของยีน GADPH ในเนื้ออก 71

ก.2 Primer efficiency ของยีน GADPH ในตับ 72

ก.3 Primer efficiency ของยีน L-FABP ในเนื้ออก 72

ก.4 Primer efficiency ของยีน PPARA ในตับ 73

ก.5 Primer efficiency ของยีน LPL ในเนื้ออก 73

ก.6 Melting Curve ของยีน gapdh (A) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (B) 74

ก.7 Melting Curve ของยีน gapdh (C) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (D) 75

ก.8 Melting Curve ของยีน $PPAR_{\alpha}$ (E) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (F) 76

ก.9 Melting Curve ของยีน L-FABP (G) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (H) 77

ก.10 Melting Curve ของยีน LPL (I) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (J) 78

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ก.11 Amplification of breast GADPH gene expression threshold of real-time PCR reaction 79
ก.12 Amplification of liver GADPH gene expression threshold of real-time PCR reaction 79
ก.13 Amplification of L-FABP gene expression threshold of real-time PCR reaction..... 80
ก.14 Amplification of PPARA gene expression threshold of real-time PCR reaction 80
ก.15 Amplification of LPL gene expression threshold of real-time PCR reaction 81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

L-FABP gene	=	Liver fatty acid binding protein
PPARA gene	=	Peroxisome proliferator-activated receptor alpha
LPL gene	=	Lipoprotein lipase gene
n-3 PUFA	=	n-3 Polyunsaturated fatty acids
n-6 PUFA	=	n-6 Polyunsaturated fatty acids
ALA	=	Alpha linolenic acid
EPA	=	Eicosapentaenoic acid
DHA	=	Docosahexaenoic acid
LA	=	Linoleic acid
VLDL	=	Very low-density lipoprotein
TBAR	=	Thio barbituric acid reactive suvstance

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับการรักษาสุขภาพและต้องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ ในการบริโภคเนื้อสัตว์จะเห็นได้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมบริโภคเนื้อไก่และให้ความสำคัญกับคุณค่าทางด้านโภชนาการในเนื้อไก่เพิ่มสูงขึ้น เช่น ต้องการบริโภคเนื้อไก่ที่มีไขมันต่ำและมีกรดไขมันที่มีประโยชน์ในปริมาณที่สูง การจัดการทางด้านอาหารเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถปรับองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่ได้ อาทิเช่น การเสริมน้ำมันปลาทะเลในอาหารส่งผลทำให้ไก่มีการสะสม n-3 PUFA โดยเฉพาะ EPA และ DHA ในเนื้อเพิ่มสูงขึ้น (Bou et al., 2004)

ในประเทศไทยนั้นพบว่าเป็นประเทศหลักในการผลิตน้ำมันปลาทูน่า อีกทั้งน้ำมันปลาทูน่ายังเป็นแหล่งของ EPA และ DHA โดยมี DHA สูงกว่าน้ำมันปลาชนิดอื่นถึงเท่าตัว (Shingfield et al., 2011) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้น้ำมันปลาทูน่าเพื่อนำมาปรับองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่โคราช โดยในการศึกษามีประเด็นที่น่าสนใจคือ ประเด็นในเรื่องของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่เหมาะสมในอาหารไก่ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับต้นทุนในการผลิตเนื้อไก่ จากรายงานของนักวิจัยหลายท่านพบว่า ระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาที่ต่างกันนั้นจะส่งผลให้มีปริมาณการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ที่ต่างกัน (Newman et al., 2002; Poureslami et al., 2010; Yang et al., 2010) อีกทั้งยังส่งผลต่อระดับการแสดงออกของยีนที่ต่างกันด้วย (Navidshad et al., 2016) โดยการศึกษาส่วนใหญ่ได้ทำการทดลองในไก่เนื้อ ซึ่งมีความสามารถในการสะสมไขมันต่างจากไก่พันธุ์พื้นเมือง แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาก่อนหน้านี้ (Hang et al., 2018) ซึ่งทำการศึกษาในไก่โคราช พบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่า 4% เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ (โดยทำการเสริมในสัปดาห์ที่ 3 ถึง 12) จะสามารถสร้างเนื้อไก่โคราชให้เป็นเนื้อไก่สุขภาพได้ แต่ในสถานการณ์จริงนั้นเกษตรกรเลี้ยงไก่โคราชส่งตลาดที่น้ำหนัก 1.2 กิโลกรัม ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 9 สัปดาห์ จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่ามีหลายประเด็นในการศึกษาที่ยังไม่เกิดความชัดเจน เช่น ระดับ ช่วงเวลาในการเสริม อีกทั้งระยะเริ่มต้นและระยะสุดท้ายในการเสริมน้ำมันปลาในแต่ละการศึกษาแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดคำถามว่า การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาใดที่เหมาะสม ที่จะส่งผลให้ไก่โคราชสามารถสะสม n-3

PUFA ในเนื้อได้สูงที่สุดและไม่ส่งผลกระทบด้านลบต่อคุณภาพเนื้อและสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช

นอกจากนี้ยังมีเรื่องการแสดงออกของยีนเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากไก่จะไม่สามารถนำกรดไขมันเข้าไปสะสมในเนื้อได้ หากไม่เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมันภายในร่างกาย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถูกควบคุมโดยการทำงานของโปรตีน เอนไซม์ และยีน ซึ่งยีนเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่สามารถควบคุมการสร้างเอนไซม์และโปรตีนได้ โดยกลไกการทำงานของร่างกายเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อไก่ได้รับอาหารที่ประกอบไปด้วยไขมันเข้าไป บริเวณแรกที่จะถูกย่อย ได้แก่ บริเวณลำไส้เล็กซึ่งเป็นบริเวณที่สัตว์จะสามารถดูดซึมกรดไขมันไปใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด และบริเวณหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันในสัตว์ปีกคือตับ กรดไขมันที่ได้รับจากลำไส้เล็กและตับ จะอยู่ในรูปของ portomicron และ VLDL ตามลำดับ จากนั้นจะถูกสลายโดยเอนไซม์ lipoprotein lipase (LPL) (Huang et al., 2016) ได้เป็นกรดไขมันอิสระและจะเกิดกระบวนการดูดซึมกรดไขมันสายยาวเข้าสู่ร่างกายเพื่อเอาไปใช้ประโยชน์ โดยจะทำการขนส่งกรดไขมันสายยาวเข้าสู่เซลล์ผ่านโปรตีนตัวพาที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์และโปรตีนที่อยู่บริเวณไซโทพลาสซึม ได้แก่ L-FABP ซึ่งเป็นโปรตีนที่สำคัญในการขนส่งกรดไขมันสายยาว จากนั้นกรดไขมันสายยาวที่ถูกขนส่งเข้ามาจะไปกระตุ้นวิถีการส่งสัญญาณของ $PPAR_{\alpha}$ mRNA ที่ตับซึ่งจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเกิดเมแทบอลิซึม ของไขมัน รวมถึงมีบทบาทในการควบคุมการทำงานของ lipogenic enzymes อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่ จะเห็นได้ว่าการทำงานของอาหารและยีนมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นหากทำการศึกษาในเรื่องการแสดงออกของยีนร่วมด้วย จะสามารถอธิบายถึงการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่ได้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อเป็นการออกแบบสูตรอาหารให้เหมาะสมกับพันธุกรรมของไก่โคราช และเพื่อให้ไก่โคราชมีความสามารถในการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสร้างจุดต่าง และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเนื้อไก่ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารที่ระดับและระยะเวลาในการเสริมที่แตกต่างกัน ต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีน L-FABP, LPL และ PPARA ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในไก่โคราช เพื่อหาระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่เหมาะสมในการสร้างให้ไก่โคราชมีเนื้อที่อุดมไปด้วย n-3 PUFA อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการอธิบายถึงผลของการเสริมน้ำมันปลาทูน่าต่อการสะสมไขมันในเนื้อไก่โคราชและใช้เป็นแนวทางในการนำผลการทดลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่โคราช รวมถึงใช้ข้อดีดังกล่าวเป็นจุดแข็งในการนำเนื้อไก่ของเกษตรกรไปใช้ในการแข่งขันในตลาดระดับบนมุ่งสู่ตลาดจำเพาะ (niche market) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มรายได้ เพื่อนำไปสู่เป้าหมายสูงสุดคือ สร้างไก่โคราชให้เป็นเครื่องมือในการสร้างอาชีพให้แก่เกษตรกร

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่เหมาะสม ที่จะส่งผลให้เนื้อไก่โคราชมีปริมาณการสะสม n-3 PUFA สูงที่สุด โดยไม่ส่งผลกระทบด้านลบต่อคุณภาพเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตในไก่โคราช

2. เพื่อศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่โคราช เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการอธิบายถึงเหตุแห่งผลในการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาในการเสริมที่ต่างกัน จะส่งผลต่อองค์ประกอบของ n-3 PUFA ในเนื้อไก่โคราช

2. การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาในการเสริมที่ต่างกัน จะส่งผลต่อการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA ที่บริเวณตับและ LPL ที่บริเวณเนื้ออกของไก่โคราช

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงระดับและระยะเวลาการเสริมน้ำมันปลาทูน่าร่วมกับการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA ที่บริเวณตับ และยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออก ต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่โคราช โดยมุ่งหวังให้เนื้อไก่โคราชอุดมไปด้วย n-3 PUFA และไม่ส่งผลทางด้านลบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพเนื้อของไก่โคราช

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงระดับและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร เพื่อสร้างเนื้อไก่โคราชให้เป็นเนื้อไก่สุขภาพ ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์สำหรับผู้เลี้ยงไก่โคราช

2. สามารถนำข้อมูลในเรื่องการแสดงออกของยีน มาใช้ในการอธิบายถึงผลของการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่โคราชได้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3 PUFA)

กรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3 PUFA) เป็นกลุ่มของกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวสูง เป็นหนึ่งในกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acids) ที่ร่างกายมนุษย์ขาดไม่ได้ ที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ α-Linolenic acid (ALA), eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ซึ่ง n-3 PUFA มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ เนื่องจากช่วยลดการสะสมไขมันอุดตันในเส้นเลือด รักษาโรคหลอดเลือดแดงแข็งตัวและรักษาโรคหลอดเลือดตีบ (Whelan and Rust, 2006) อีกทั้งอนุพันธ์ของกรดไขมันกลุ่มนี้ยังเป็นส่วนประกอบในเซลล์สมอง ช่วยให้เซลล์สมองพัฒนาได้อย่างเป็นปกติในเด็ก และช่วยชะลอการเกิดโรคความจำเสื่อม รวมถึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการอักเสบ (Marszalek and Lodish, 2005) จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า n-3 PUFA มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามกรดไขมันดังกล่าวมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง ต้องได้รับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น โดยแหล่งที่พบ n-3 PUFA ได้แก่ น้ำมันปลาทะเล (fish oil) และน้ำมันลินซีด (linseed oil) เป็นต้น ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมัน ดังตารางที่ 2.1

จะเห็นได้ว่าน้ำมันปลาเป็นแหล่งของ EPA และ DHA โดยพบว่าน้ำมันปลาทูน่ามีปริมาณของ DHA สูงกว่าน้ำมันปลาชนิดอื่นถึงเท่าตัว ซึ่งนักโภชนาการอาหารนิยมนำไปใช้ในการเสริมในอาหารไก่เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเนื้อไก่ จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่าการเสริมกรดไขมันในอาหารนั้นสามารถที่จะไปปรับชนิดของกรดไขมันที่สะสมในเนื้อไก่ได้ จะเห็นได้ว่าการเสริมน้ำมันปลาจะส่งผลให้มีปริมาณการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่สูงกว่าการเสริมน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันทานตะวัน อีกทั้งเมื่อเสริมในระดับที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณของ n-3 PUFA (EPA และ DHA) ในเนื้อไก่สูงขึ้นตามไปด้วย (Lopez-Ferrer et al., 2001; Bou et al., 2004; Farhoomand and Checaniazer, 2009; Saleh et al., 2009; Morales-Barrera et al., 2013) นอกจากกรดไขมันในอาหารจะส่งผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่แล้ว ยังพบว่ากรดไขมันในอาหารยังส่งผลต่อคุณภาพเนื้อและสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทะเล น้ำมันปลาทูน่า น้ำมันลินซีด และน้ำมันรำข้าว

Fatty acid (%)	Fish oil[a]	Tuna oil[b]	Linseed oil[c]	Rice bran oil[d]
C16:0 (palmitic)	15.00	20.00	6.58	15.60
C18:0 (stearic)	2.60	6.00	4.43	2.00
C18:1 (oleic)	15.19	15.00	18.51	42.20
C18:2n-6 (linoleic)	1.17	1.50	17.25	36.20
C18:3n-3 (α- linolenic)	0.91	1.00	53.21	1.30
C18:3n-6 (γ - linolenic)	0.25	-	-	1.30
C18:4n-3 (stearidonic)	2.95	-	-	-
C20:4n-6 (arachidonic)	0.79	-	-	-
C20:5n-3 (EPA)	16.50	6.00	-	-
C22:5n-3 (DPA)	1.76	1.57	-	-
C22:6n-3 (DHA)	10.50	26.50	-	-

Adapted from: [a]Koriyama et al. (2002); [b]Zambiazi et al. (2007); [c]Shingfield et al. (2011); [d]Popa et al. (2012)

2.2 ผลของการเสริมน้ำมันปลาในอาหารต่อคุณภาพของเนื้อไก่

ในการซื้อผลิตภัณฑ์จำพวกเนื้อสัตว์ หลักเกณฑ์แรกที่ผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อหรือไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับคุณภาพเนื้อ ดังนั้นนอกจากจะให้ความสำคัญกับองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่แล้ว ประเด็นในเรื่องของคุณภาพเนื้อก็เป็นอีกประเด็นที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพเนื้อในเรื่องของความแข็ง (hardness) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) สี (color) รสชาติ (flavor) และส่งผลมาถึงเรื่องของอายุการเก็บรักษาเนื้อไก่หลังเชือด หากเนื้อไก่มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) ของไขมันในเนื้อไก่อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้สีของเนื้อไก่คล้ำขึ้น เนื้อไก่มีกลิ่นหืน มีการเสียสภาพของโปรตีนในกล้ามเนื้อและส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของเนื้อไก่ (Wood et al., 2004) จากการทดลองของ Yang et al. (2010) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่เนื้อส่งผลให้สีความสว่าง (L^*) ของเนื้อไก่ลดลง เมื่อเทียบกับการเสริมน้ำมันถั่วเหลือง แต่ค่า cooking loss, drip loss, shear force และค่า pH ไม่แตกต่างกัน จากการทดลองเสริมน้ำมันปลาในระดับที่แตกต่างกันนั้นผลการทดลองพบว่าไม่ส่งผลต่อความชุ่มช่ำของเนื้อไก่ (Lopez-Ferrer et al., 2001; Huang et al., 2006; Koreleski and Swiatkiewicz, 2006; Yan and Chao, 2011) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ (g/100g total FA)

Age	Breed	Organ	Treatment	EPA	DHA	n-3 PUFA	n-6/n-3	References
1-38 d	Cobb 500	Thigh	T 8%	0.20[c]	0.10[c]	2.09[c]	6.11[a]	
			FO 2% + T 8%	0.77[b]	1.03[b]	5.10[b]	2.50[b]	Lopez-Ferrer et al. (2001)
			FO 4% + T 8%	1.33[a]	2.42[a]	8.14[a]	1.73[c]	
1-42 d	Arbor	Breast	SO 5 $g.kg^{-1}$ diet	0.011[b]	0.006[b]	0.076[b]	0.013[a]	Yang et al. (2010)
	Acres		FO 5 $g.kg^{-1}$ diet	0.059[a]	0.008[a]	0.120[a]	0.006[b]	
1-42 d	Ross	Meat	FO 1.25%	0.48[a]	0.76[a]	2.91[a]	-	Bou et al. (2004)
			FO 2.5%	0.94[b]	1.43[b]	4.54[b]	-	
1-49 d	Cobb 500	Meat	Control	0.09[c]	0.06[c]	0.73[c]	16.6[a]	
			FO 1.5%	0.59[ab]	1.10[ab]	2.30[b]	4.97[b]	Saleh et al. (2009)
			FO 3%	1.57[ab]	2.95[ab]	5.90[b]	2.22[b]	
			FO 6%	1.80[ab]	3.64[ab]	6.83[a]	1.87[b]	

[a, b, c] Means with in the same column with different superscripts are significantly different at p>0.05

T = tallow, FO = fish oil, SO = soybean oil, SFO = sunflower oil, TO = tuna oil

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

Age	Breed	Organ	Treatment	EPA	DHA	n-3 PUFA	n-6/n-3	References
3-6 wk	Broiler	Breast	PF 3%	1.04^{d}	0.15^{d}	3.79^{d}	1.14^{a}	
			PF 2% + FO 1%	5.84^{c}	0.66^{c}	12.41^{c}	0.53^{c}	Farhoomand and
			PF 1% + FO 2%	8.53^{b}	2.39^{b}	16.27^{b}	0.53^{c}	Checaniazer (2009)
			FO 3%	10.54^{a}	3.80^{a}	20.04^{a}	0.66^{b}	
1-49 d	Ross	Breast	TO 0%	0.0024^{f}	0.0056^{d}	0.0269^{d}	-	
			TO 0.75%	0.0042^{e}	0.0083^{d}	0.0195^{e}	-	Morales-Barrera et al. (2013)
			TO 1.00%	0.0093^{d}	0.0180^{c}	0.0339^{f}	-	
			TO 1.25%	0.0085^{d}	0.0176^{bc}	0.0363^{f}	-	
		Leg	TO 0%	0.0038^{e}	0.0062^{d}	0.0738^{c}	-	
		and	TO 0.75%	0.0170^{c}	0.0176^{c}	0.0722^{c}	-	
		thigh	TO 1.00%	0.0300^{b}	0.0275^{ab}	0.1014^{b}	-	
			TO 1.25%	0.0360^{a}	0.0032^{a}	0.1158^{a}	-	

$^{a, b, c, d, e, f}$ Means with in the same column with different superscripts are significantly different at $p>0.05$

T = tallow, FO = fish oil, SO = soybean oil, SFO = sunflower oil, TO = tuna oil

ตารางที่ 2.3 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อคุณภาพเนื้อในไก่เนื้อ

PUFA source: Level in diet	**Period**	**Type of meat**	**Key finding**	**References**
SO 5 g.kg^{-1} diet FO 5 g.kg^{-1} diet	1-42 d	Breast	- Cooking loss, drip loss, shear force and pH were not significant difference - FO diet reduced L* value of meat color	Yang et al. (2010)
FO 2% + T 8% FO 4% + T 8%	1-38 d	Meat	- Juiciness, shear force and tenderness were not significant difference	Lopez-Ferrer et al. (2001)
Control FO 3 g.kg^{-1} diet FO 5 g.kg^{-1} diet FO 8 g.kg^{-1} diet	21-42 d	Breast	- Juiciness was not significant difference	Koreleski and Swiatkiewicz (2006)

T = tallow, FO = fish oil, SO = soybean oil, TO = tuna oil

2.3 ผลของการเสริมน้ำมันปลาในอาหารต่อคุณภาพซากเนื้อไก่

ชนิดของกรดไขมันจะส่งผลต่อองค์ประกอบซากและไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อได้ จากตารางที่ 2.4 สามารถสรุปได้ว่าการเสริมน้ำมันปลาในอาหารมีแนวโน้มไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบซากของไก่เนื้อ (Lopez-Ferrer et al., 1999; Mirghelenj et al., 2009) แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองของ Navidshad (2009) พบว่าการเสริม 4% FO ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้ออกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ แต่ในทางตรงข้ามจากการทดลองของ Chashnidel et al. (2010) พบว่าการเสริม 4.5% FO ส่งผลให้เปอร์เซ็นซากเพิ่มสูงขึ้น เปอร์เซนต์เนื้ออกและไขมันในช่องท้องลดลง เนื่องจากน้ำมันปลาประกอบด้วย n-3 PUFA ซึ่งมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการกดการแสดงออกของ lipogenic gene ที่บริเวณตับ (Kaur and Sinclair, 2010) อีกทั้งยังมีบทบาทในการกระตุ้นกระบวนการเกิด β-oxidation ซึ่งท้ายสุดแล้วจะส่งผลให้ไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อลดลงและช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้ดีขึ้น

2.4 ผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ

เกษตรกรเลี้ยงสัตว์มีจุดมุ่งหมายคือ ต้องการให้สัตว์โตดี ขายได้ในราคาที่สูงและมีต้นทุนในการผลิตสัตว์ที่ต่ำ เพื่อที่จะได้รับผลกำไรที่สูงขึ้น ดังนั้นเรื่องของสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์จึงเป็นประเด็นที่สำคัญไม่สามารถมองข้ามได้ จะเห็นได้ว่าการเสริมน้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ในอาหารจะส่งผลดีต่อการผลิตสัตว์ปีก โดยจะช่วยเพิ่ม metabolizable energy ซึ่งปกตินั้นจะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในสัตว์ปีกดีขึ้น จากการรายงานของ Lopez-Ferrer et al. (2001); Morales-Barrera et al. (2013) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่อย่างไรก็ตามจากการรายงานของ Elzobier et al. (2016) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาในปริมาณที่น้อยจะส่งผลให้กระตุ้นการเจริญเติบโตในสัตว์ปีก แต่ถ้าหากเสริมน้ำมันปลาในปริมาณที่สูงประมาณ 6-8% จะส่งผลให้อาหารมีกลิ่นคาว (fishy smell) ส่งผลให้ความน่ากินของอาหารลดลง ไก่กินอาหารได้ลดลง นำมาซึ่งน้ำหนักตัวที่ลดลง อีกทั้งยังส่งผลรบกวนต่อระบบทางเดินอาหารและอาจทำให้สัตว์ท้องเสียได้ (Latshaw, 2008; Saleh et al., 2009) ซึ่งผลของการเสริมน้ำมันปลาที่ระดับและช่วงระยะเวลาในการเสริมที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าระดับการเสริมน้ำมันปลาที่แตกต่างกันส่งผลให้ไก่เนื้อมีปริมาณการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อ คุณภาพเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน นอกจากประเด็นในเรื่องของระดับการเสริมกรดไขมัน อีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจคือ ประเด็นในเรื่องของระยะเวลาในการเสริมกรดไขมัน เนื่องจากระยะเวลาในการเสริมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการกำหนดต้นทุนการผลิตทางด้านปศุสัตว์ หากใช้ระยะเวลาในการเสริมกรดไขมันนานก็จะส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่เพิ่มสูงขึ้น จากการรายงานของ Zuidhof et al. (2009) พบว่าเมื่อเสริมเมล็ด flax ที่ระดับและระยะเวลาที่นานขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณของ n-3 PUFA โดยเฉพาะ EPA ที่บริเวณอกเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mirshekar et al. (2015) แต่ในทางตรงกันข้ามจากการทดลองของ Sadeghi et al. (2012) พบว่า ระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณของ n-3 PUFA ในเนื้อไก่ เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลาส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนปริมาณ n-3 PUFA ในเนื้อโดยตรง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเสริมน้ำมันปลาทูน่าตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเสริมเพียง 2 สัปดาห์สุดท้ายก็สามารถสร้างให้เนื้อไก่เป็นเนื้อ n-3 PUFA ได้ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 2.6 และในส่วนของสมรรถนะการเจริญเติบโตนั้นพบว่าการเสริมน้ำมันปลาที่ช่วงเวลาที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.4 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อส่วนประกอบซากในไก่เนื้อ

Level in diet	Period	Key finding	References
FO 0% FO 1% FO 2% FO 3%	1-42 d	- Percentage of carcass yield, breasts, thigh and abdominal fat were not significant difference (p>0.05)	Mirghelenj et al. (2009)
FO 2% FO 4% T 8 %	1-38 d	- Percentage of carcass yield, breast, thigh and abdominal fat were not significant difference (p>0.05)	Lopez-Ferrer et al. (2001)
FO 0% FO 2% FO 4% FO 0% + 10% CP FO 2% + 10% CP FO 4% + 10% CP	11-42 d	- Percentage of carcass yield, breasts and abdominal fat were not difference (p>0.05) - 4% FO, 10% CP show high percentage of thigh meat	Navidshad (2009)
FO 0% FO 1.5% FO 3.0% FO 4.5%	1-42 d	- Percentage of breast meat was not significant difference (p>0.05) - 4.5% FO show higher percentage of carcass yield and abdominal fat but lower percentage of thigh meat	Chashnidel et al. (2010)

T = tallow, FO = fish oil, SO = soybean oil, TO = tuna oil, CP = crude protein

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.5 สรุปผลของการเสริมน้ำมันปลาต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ

Level in diet	Period	Key finding	References
FO 1.5% FO 3% FO 6%	42 d	- 1.5% FO had the best value for FI, BW and FCR (p>0.05) - 6% FO reduced FI and BW	Saleh et al. (2009)
FO 2% FO 4 %	1-38 d	- Increase weigh gain and final weigh (p>0.05) FI and feed efficiency were no effect	Lopez-Ferrer et al. (2001)
TO 0% TO 0.75% TO 1% TO 1.25%	0-21 d 22-49 d	- No effect on FI and feed efficiency	Morales-Barrera et al. (2013)
FO 1% FO 2%	21-42 d	- FO supplementation in the diets signif- icantly affected (p<0.01) FCR and BWG but no effect on FI - 2% FO show higher BW, BWG and the best FCR	Farhoomand and Checaniazer (2009)
FO 3%	28-49d	- 3% FO improved FI, BW, BWG, efficiency energy utilization water intake and FCR were significantly affect (p>0.05)	Elzobier et al. (2016)

PF = poultry fat, FO = fish oil, SO = soybean oil, TO = tuna oil, FI = feed intake

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.6 สรุปผลของช่วงเวลาในการเสริมกรดไขมันต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่

Type of meat	Treatment	Key finding	Reference
Breast and thigh	Control = CO 5% x 7 wk Experimental diet (5% FO) Feeding duration (2, 3, 4, 5, 6 wk)	- Duration of consumption diet contain FO on concentration of all fatty acid was significant - Addition of FO to broiler chicken diet at four and two weeks of age could increase EPA, DHA and n-3 PUFA in thigh and breast meat respectively	Sadeghi et al. (2012)
Breast and thigh	Control diet (lard) Experimental diet (FFO, LFO, RFO) Feeding duration (2, 3, 4, 5, 6 wk)	- One week and three week of feeding experiment diet was sufficient to enrich breast meat and thigh meat with LC – PUFA respectively	Konieczka et al. (2017)

FO = fish oil, SO = soybean oil, TO = tuna oil, FFO = flaxseed + fish oil, LFO = linseed + fish oil, RFO = rapeseed + fish oil, CO = corn oil

ตารางที่ 2.7 สรุปผลของช่วงเวลาในการเสริมกรดไขมันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ

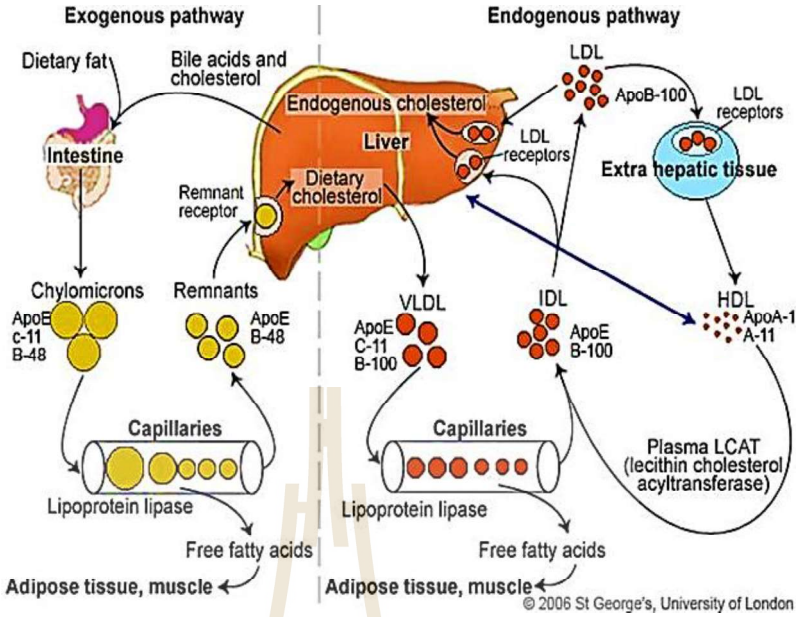
Treatment	Key finding	References
Control = CO 5% x 7 wk FO 7% Feeding duration (2, 3, 4, 5, 6 wk)	- Feeding broilers with diets containing fish oil at different duration periods had no effect ($p>0.05$) on BW, FI and FCR	Sadeghi et al. (2012)
Control diet (lard) Experimental diet (FFO, LFO, RFO) Feeding duration (2, 3, 4, 5, 6 wk)	- Feeding broilers with experimental diet at different duration periods had no effect ($p>0.05$) on BW, FI and FCR	Konieczka et al. (2017)

FO = fish oil, SO = soybean oil, TO = tuna oil, FFO = flaxseed + fish oil, LFO = linseed + fish oil, RFO = rapeseed + fish oil, CO = corn oil

การเสริมแหล่งของ n-3 PUFA ในอาหารสัตว์ปีกนั้น นอกจากจะพบว่าส่งผลต่อปริมาณ n-3 PUFAในเนื้อไก่ คุณภาพเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ ยิ่งไปกว่านั้นในการทดลองของ Wang et al. (2006) พบว่า การเสริมกรดไขมันในอาหารไก่เนื้อยังส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนกรดไขมันผ่านการแสดงออกของยีน โดยพบว่าการเสริมกรดไขมันในอาหารจะส่งผลต่อกระบวนการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันภายในร่างกาย ซึ่งมีโปรตีน เอนไซม์และยีนต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในการทำการทดลองในครั้งนี้จะให้ความสนใจกับโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งกรดไขมันสายยาว ซึ่งอยู่ที่บริเวณไซโทพลาสซึม ได้แก่ L-FAPB ซึ่งพบการแสดงออกมากที่สุดที่บริเวณลำไส้เล็กและตับ ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีการดูดซึมกรดไขมันไปใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุดและเป็นบริเวณหลักในการเกิดเมแทบอลิซึมของไขมันและ LPL ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสลายไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล รวมถึงโปรตีนในกลุ่ม PPARs ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ในไก่พบเพียง 3 ชนิด ได้แก่ PPAR (α, β, γ) (Takada and Kobayashi, 2013) แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้สนใจศึกษาเฉพาะ $PPAR_{\alpha}$ mRNA ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการแสดงออกของยีนที่สร้างโปรตีน L-FABP และ LPL อีกทั้งยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเกิด β-oxidation ที่บริเวณ mitochondria และ peroxisome ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมกรดไขมันในไก่

2.5 กลไกการขนส่งกรดไขมันที่จำเป็น n-3 PUFA เข้าสู่ร่างกายไก่ และนำไปสะสมภายในเซลล์

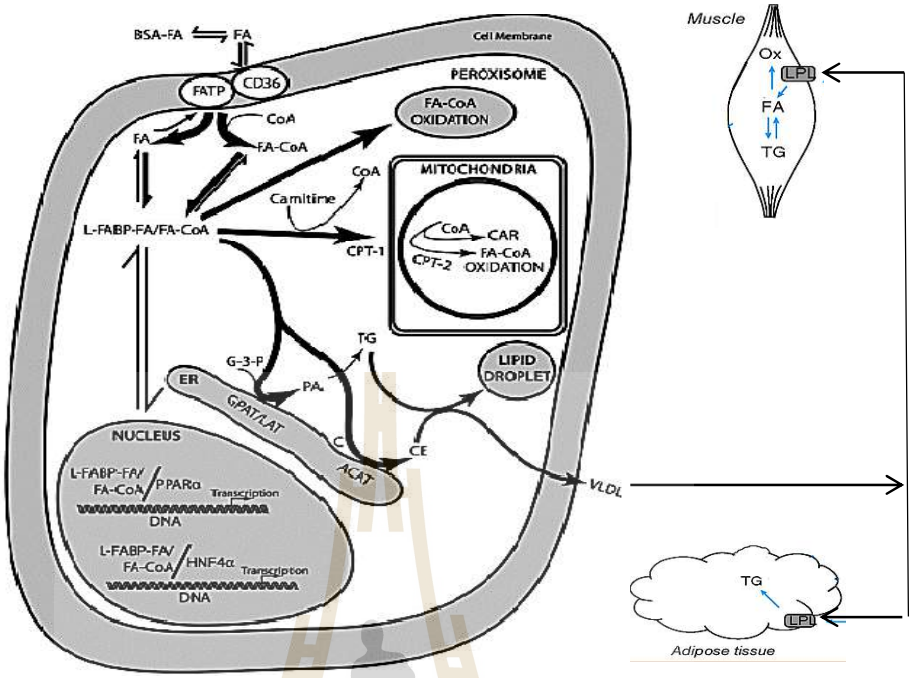
บริเวณลำไส้เล็กเป็นบริเวณที่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมกรดไขมันไปใช้ประโยชน์ได้ถึง 95% เมื่อไก่ได้รับอาหาร n-3 PUFA จะเข้าสู่ลำไส้เล็กและเกิดกระบวนการ emulsification โดยน้ำดีส่งผลให้ไขมันมีขนาดเล็กลงและเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้เอนไซม์ lipase มาช่วยในการย่อย เมื่อไตรกลีเซอไรด์ถูกย่อยจะเกิดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล หลังจากนั้นกรดไขมันทั้งสายสั้นและสายกลางจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตาม n-3 PUFA จัดเป็นกรดไขมันสายยาวจึงต้องมีการฟอร์มตัวให้อยู่ในรูป micelle ก่อน จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ผนังลำไส้ (enterocyte) และจะเกิดการรวมตัวให้อยู่ในรูปของ portomicron จากนั้นจะถูกขนส่งเข้าสู่ระบบน้ำเหลืองและถูกขนส่งเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อไปเกิดการเมแทบอลิซึมที่ตับ ขั้นตอนต่อไปกรดไขมันจากตับจะถูกลำเลียงผ่าน VLDL เพื่อไปสะสมที่กล้ามเนื้อและบริเวณเนื้อเยื่อไขมัน โดยการสะสมไขมันในเนื้อสัตว์สามารถสะสมได้ 4 บริเวณหลัก ได้แก่ บริเวณช่องท้อง บริเวณใต้ผิวหนัง ระหว่างมัดกล้ามเนื้อ และแทรกในกล้ามเนื้อ ซึ่งไตรกลีเซอร์ไรด์จะถูกสลายโดยเอนไซม์ lipoprotein lipase เพื่อนำกรดไขมันเข้าไปสะสม ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการขนส่งและสะสมกรดไขมัน

ที่มา: McLaughlin (2014)

แต่อย่างไรก็ตามในไก่พบว่าบริเวณหลักที่เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดไขมันคือตับ ซึ่งกรดไขมันที่ขนส่งมาจากลำไส้ในรูป portomicron จะถูกส่งผ่าน transporter protein หลายตัวที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ จากนั้น FABPs ที่อยู่บริเวณไซโทพลาสซึมของตับ ได้แก่ L-FABP จะทำหน้าที่ขนส่งกรดไขมันเข้าสู่นิวเคลียส เพื่อไปจับกับ transcription factor โดยส่วนใหญ่จะไปจับกับ $PPAR_{\alpha}$ mRNA โดย L-FABP จะทำงานร่วมกับ $PPAR_{\alpha}$ mRNA และจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดการแสดงออกของยีนเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมัน โดยเฉพาะยีนที่สร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมัน อีกทั้งที่บริเวณ promoter ของ L-FABP ยังมีบริเวณที่เรียกว่า peroxisome proliferator receptor element (PPRE) ซึ่งเป็นบริเวณที่ $PPAR_{\alpha}$ mRNA สามารถไปเกาะและควบคุมการทำงานของ L-FABP ได้เช่นกัน และ L-FABP ยังมีบทบาทสำคัญในการขนส่งกรดไขมันเข้าสู่ endoplasmic เพื่อสร้างไตรกลีเซอไรด์ และ cholesteryl esters เพื่อขนส่งออกนอกเซลล์ในรูปแบบ VLDL เพื่อไปสะสมที่บริเวณเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น เนื้อเยื่อไขมันและกล้ามเนื้อ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์จะต้องถูกสลายด้วยเอนไซม์ lipoprotein lipase ให้เป็นกรดไขมันอิสระเสียก่อนถึงจะผ่านเนื้อเยื่อเพื่อไปสะสมไขมันได้ ซึ่งกลไกการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.2

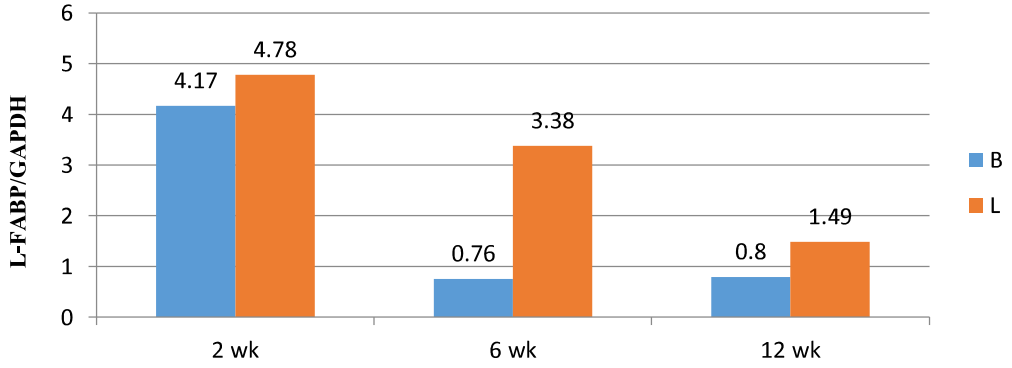


ภาพที่ 2.2 การทำงานของยีน L-FABP, PPARA และ LPL ต่อการสะสมกรดไขมัน

ที่มา: Atshaves et al. (2010)

2.6 ยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่งกรดไขมันและการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่

2.6.1 FABPs (fatty acid binding protein) เป็นโปรตีนที่มีขนาดเล็ก (ประมาณ 15 kDa) โดย FABPs จะมีบทบาทในการดูดซึมกรดไขมันเข้าสู่เซลล์ FABPs มีหลายรูปแบบ เช่น liver (L-FABP), heart (H-FABP), intestinal (I-FABP) และ brain (B- FABP) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ให้ความสนใจกับ L-FABP เนื่องจาก L-FABP มีความสามารถในการจับกับกรดไขมันสายยาวและมีบทบาทในการเกิดเมแทบอลิซึม รวมถึงการขนส่งของไขมันภายในเซลล์ (Wang et al., 2006) พบการแสดงออกมากที่บริเวณไซโทพลาสซึมของตับ และลำไส้เล็กส่วน duodenum และส่วน jejunum ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่บริเวณลำไส้เล็กนั้นเป็นบริเวณที่มีการดูดซึมกรดไขมันไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและที่บริเวณตับก็เป็นบริเวณหลักในการเกิดเมแทบอลิซึมของไขมัน อีกทั้ง L-FABP ยังมีความพิเศษกว่า FABPs ตัวอื่นๆ เนื่องจากมีบริเวณที่กรดไขมันสามารถเข้าไปจับได้ (fatty acid-binding site) 2 บริเวณ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการจับกรดไขมันเข้าสู่เซลล์ได้ดีที่สุด โดยจากการค้นคว้าเอกสารพบว่าในสัตว์ปีกนั้นการทำงานของ L-FABP ขึ้นอยู่กับช่วงอายุของไก่ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3: การแสดงออกของยีน L-FABP ที่บริเวณตับในไก่เนื้อ (B) และ Baier layers (L)
ที่มา: Wang et al. (2006)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า กับไก่ Baier layers ซึ่งเป็นไก่พันธุ์พื้นเมืองของประเทศจีน พบว่าที่อายุ 6 สัปดาห์ ไก่ Baier layers มีระดับการแสดงออกของยีน L-FABP ที่บริเวณตับ สูงกว่าไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า โดยพบการแสดงออกของยีนสูงที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 แต่ในทางตรงกันข้าม จากการทดลองของ Katongole and March (1980) พบว่าไก่จะมีความเข้มข้นของ FABP สูงที่อายุ 3 สัปดาห์ และสูงที่สุดในช่วงอายุระหว่าง 4 ถึง 6 สัปดาห์ แต่ในช่วง 1 ถึง 2 สัปดาห์แรกนั้น Atshaves et al. (2010) กลับพบว่าความเข้มข้นของ FABP ลดลง จะเห็นได้ว่าอายุนั้นมีความสัมพันธ์กับการแสดงออกของยีน

นอกจากอายุของไก่จะส่งผลต่อการแสดงออกของยีน L-FABP แล้วยังพบว่าปัจจัยทางด้านอาหารก็ส่งผลเช่นกัน จากการทดลองของ Navidshad et al. (2016) พบว่าสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวส่งผลต่อการแสดงออกของยีน L-FABP ที่ไก่อายุ 4 และ 6 สัปดาห์ โดยพบว่าสัดส่วน 6.5:1 จะมีความสามารถในการกระตุ้นการแสดงออกของ L-FABP ในไก่ได้สูงที่สุด

ตารางที่ 2.8 ผลของการเสริมสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวต่อการแสดงออกของยีน L-FABP ที่ตับ

Age of chicken	**Feed**	
(expression of L-FABP gene)	**U/S**	**U/S * FR**
4 wk	*	NS
6 wk	*	NS

* = p>0.05 **ที่มา**: Navidshad et al. (2016)

จากข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าระดับและระยะเวลาในการเสริมกรดไขมันที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้การแสดงออกของยีน L-FABP มีการแสดงออกที่แตกต่างกัน และการเสริมกรดไขมัน n-3 PUFA โดยเสริมในรูปน้ำมันปลาทูน่าร่วมกับการแสดงออกของยีน L-FABP นั้นจะสามารถส่งเสริมให้เซลล์มีการดูดซึมเพื่อนำ n-3 PUFAไปใช้ประโยชน์ และสะสมในเนื้อได้เพิ่มสูงขึ้น

2.6.2 Lipoprotein lipase (LPL) เป็นเอนไซม์ที่ผลิตมาจากยีน LPL โดย lipoprotein lipase นั้นจะทำหน้าที่ในการกระตุ้นการสลายไตรกลีเซอไรด์ จาก VLDL และ portomicrons ที่บริเวณเนื้อเยื่อส่วนปลาย (peripheral tissue) ให้ได้เป็นกรดไขมันอิสระ และเป็น rate limiting step ในการเกิดเมแทบอลิซึม ของไขมัน (Ferrini et al., 2005) อีกทั้ง LPL ยังมีบทบาทในการสะสมไขมัน และส่งผลต่อลักษณะของไขมันในมัดกล้ามเนื้อ (intramuscular fat:IMF) ในไก่ ซึ่ง IMF เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญสำหรับคุณภาพเนื้อ ซึ่งจะส่งผลต่อสี รสชาติ และความนุ่มของเนื้อ (Huang et al., 2016) โดย LPL มีการทำงานที่เนื้อเยื่อไขมัน และกล้ามเนื้อ แต่ไม่มีการแสดงออกที่บริเวณตับในไก่โต (Xu et al., 2010) โดยจากการทดลองของ Huang et al. (2016) พบว่า การทำงานของเอนไซม์ LPL ส่งผลทางด้านบวกต่อปริมาณไขมันที่อกและเนื้อสะโพก ของไก่พื้นเมืองและไก่เนื้อทางการค้า ดังแสดงในตารางที่ 2.9

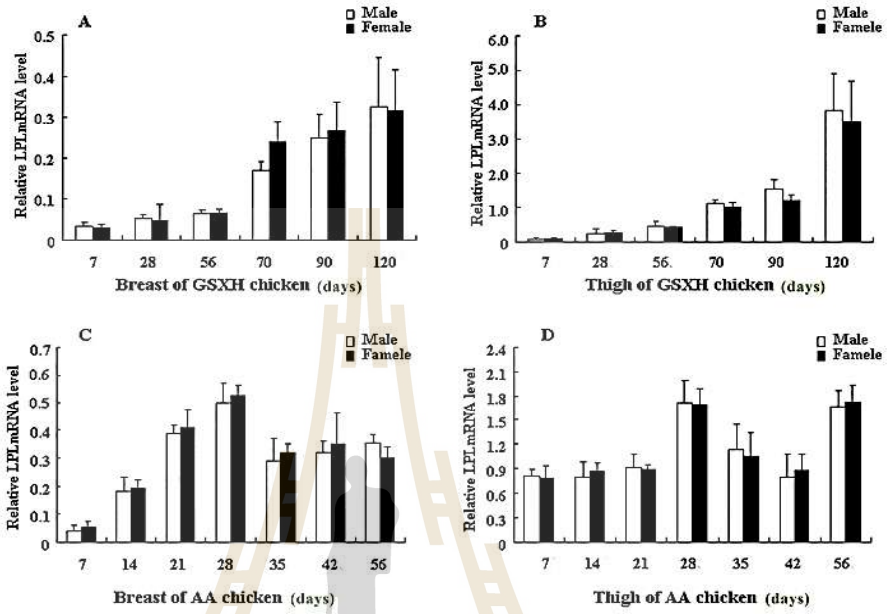
ตารางที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์ LPL ต่อการสะสมไขมันที่เนื้ออกและเนื้อสะโพกในไก่ Guangxi san-huang และไก่ Arbor Acres (AA)

	Correlation coefficient between LPL enzyme activity and IMF content			
	Breast of GXSH chicken	**Thigh of GXSH chicken**	**Breast of AA chicken**	**Thigh of AA chicken**
R value	0.615	0.685	0.600	0.528
P value	0.001	<0.001	0.001	0.003

ที่มา: Huang et al. (2016)

และในการทดลองก็ยังพบอีกว่า อายุและสายพันธุ์ ก็ส่งผลต่อการแสดงออก รวมถึงการทำงานของยีน LPL ที่บริเวณอกและสะโพกเช่นกัน โดยจากการทดลองพบว่าไก่พันธุ์ AA นั้นที่บริเวณเนื้ออก LPL mRNA มีระดับการแสดงออกเพิ่มขึ้นตั้งแต่ไก่อายุ 7-28 วัน และมีการแสดงออกมากที่สุดในวันที่ 28 และหลังจากวันที่ 28-56 นั้น LPL mRNA ก็จะมีการแสดงออกที่ลดลง อีกทั้งในส่วนของกล้ามเนื้อต้นขาพบว่า LPL mRNA จะมีการแสดงออกเพิ่มขึ้นจากวันที่ 7-28 และจะลดลงในวันที่ 28-42 และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 42-56 แต่ในไก่พันธุ์พื้นเมืองซึ่งใช้ระยะเวลาในการ

เลี้ยงนานกว่ากลับพบว่า LPL mRNA มีระดับการแสดงออกของ LPL mRNA เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามช่วงอายุ และมีการแสดงออกสูงที่สุดในวันที่ 120 ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระดับการแสดงออกของยีน LPL ในเนื้อเยื่อ อายุ และสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน
ที่มา: Huang et al. (2016)

จะเห็นได้ว่าอายุที่ต่างกัน และสายพันธุ์ที่ต่างกันนั้นก็ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการแสดงออกของ LPL mRNA และอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการแสดงออกของ LPL mRNA ก็คือโภชนาการอาหาร จากการทดลองของ Ferrini et al. (2005) พบว่าการเสริมกรดไขมันทั้งกรดไขมันที่มีประโยชน์ซึ่งเป็นแหล่งของ n-3 PUFA หรือ saturated fatty acid ก็ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการเพิ่มการแสดงออกของ LPL mRNA เมื่อเทียบกับอาหารกลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ไม่ได้เสริมไขมัน) แต่พบว่าการเสริม linseed oil นั้นน้ำหนักของไขมันในช่องท้องต่ำกว่าการเสริมไขวัว (tallow) เนื่องจากน้ำมันลินซีด (linseed oil) มีบทบาทในการเพิ่มอัตราการเกิดเมแทบอลิซึมและไปกระตุ้นให้มีการเกิดปฏิกิริยา β-oxidation เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ไขมันในช่องท้องมีน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งผลแสดงดังตารางที่ 2.10

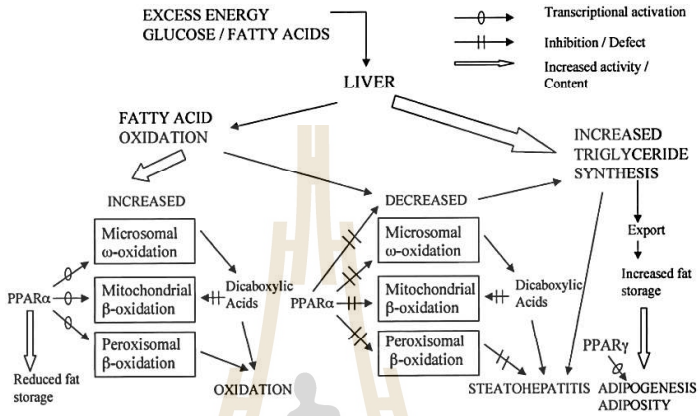
ตารางที่ 2.10 แสดงผลการทำงานของ lipoprotein lipase (mU/100 gBW) ต่อน้ำหนักตัว ที่บริเวณตับ หัวใจ และไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อทางการค้าที่อายุ 36 วัน

LPL activity (mU/100g BW)					**Weight of abdominal fat (u/100g BW)**			
Dietary type	**Control**	**Tallow**	**Linseed**	***P*-value**	**Control**	**Tallow**	**Linseed**	***P*-value**
Liver	30.1	74.4	81.6	NS	2.42	2.42	2.57	NS
Heart	320.9	267.3	301.6	NS	0.52	0.51	0.58	NS
AB	578.5^{b}	1073.5^{a}	941.6^{a}	0.0012	0.84^{c}	1.51^{a}	1.22^{b}	0.007
LPL total	929.5^{b}	1415.2^{a}	1324.8^{a}	0.0008	-	-	-	-

จะเห็นได้ว่าหากทำการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารร่วมกับดูการแสดงออกของยีน LPL นั้นมีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ได้ เนื่องจากน้ำมันปลาทูน่าจัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่นเดียวกับน้ำมันลินซีด (linseed oil)

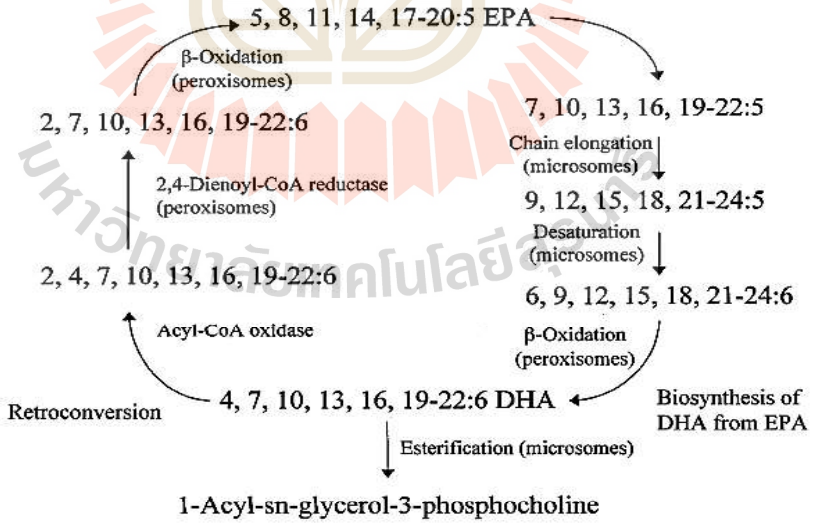
2.6.3. PPARA gene เป็นยีนที่สร้าง $PPAR_{\alpha}$ mRNA จัดเป็นnuclear hormone receptor หรือ transcription factor ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการแสดงออก หรือไม่แสดงออกของยีน (Goodfellow and Zomerdijk, 2013) โดยมีบทบาทในการควบคุมการเกิดเมแทบอลิซึมของไขมันทั้งภายนอกและภายในเซลล์ โดยบทบาทการทำงานหลักๆ นั้นพบว่า $PPAR_{\alpha}$ mRNA มีบทบาทในการไปกระตุ้นการเกิด β-oxidation ของกรดไขมันที่บริเวณ microsomal, mitochondria และ peroxisome ซึ่งส่งผลให้ไปลด long-chain PUFA ส่วนเกินที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด oxidation stress และส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย ดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยจะเห็นได้ว่าที่บริเวณ mitochondria นั้น $PPAR_{\alpha}$ mRNA จะไปเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนกลุ่มที่สร้างเอนไซม์ carnitine palmitoyltransferase (CPT) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิด β-oxidation ของกรดไขมัน โดยส่วนใหญ่จะเป็นการเกิด β-oxidation ของกรดไขมันสายสั้น (C8-C12) และสายยาว (C12 -C20) ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จะอยู่ในรูปของ ATP ซึ่งจะช่วยในการเผาผลาญพลังงานส่วนเกินส่งผลให้การสะสมไขมันในสัตว์ลดลงและที่บริเวณ peroxisome นั้น จะเป็นบริเวณที่เกิด β-oxidation ของกรดไขมันที่มีสายคาร์บอนยาวมากกว่า 20 คาร์บอน (C > 20) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้ไม่สามารถนำไปสลายที่บริเวณ mitochondria ได้ เนื่องจากใน mitochondria ไม่มีเอนไซม์ very-long-chain acyl-CoA synthetase (Reddy and Hashimoto, 2001) อย่างเช่น การเสริมน้ำมันปลาจะกระตุ้นการเกิด peroxisome β-oxidation และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ acyl coA oxidase ที่บริเวณตับ และจะลดไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ซึ่งบทบาทหลักของ peroxisome β-oxidation คือ การสังเคราะห์และเกิดเมแทบอลิซึมของ DHA ซึ่ง DHA สามารถเกิด retroconversion เปลี่ยนไปเป็น EPA ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 อีกทั้ง $PPAR_{\alpha}$ mRNA ยังมีบทบาทต่อการเหนี่ยวนำการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนดังแสดงในตารางที่ 2.11 ซึ่งสร้าง

เอนไซม์หลากหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง fatty acyl coA และ hydrolysis เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการเกิด elongation, desaturation และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิด fatty acid oxidation จึงส่งผลให้ PPAR$_\alpha$ mRNA เป็นโปรตีนหลักที่ควบคุมกระบวนการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมัน



ภาพที่ 2.5 บทบาทของ PPAR$_\alpha$ ในกระบวนการเกิด β-oxidation

ที่มา: Reddy and Hashimoto (2001)



ภาพที่ 2.6 บทบาทของ PPAR$_\alpha$ mRNA ในการเหนี่ยวนำการเกิด peroxisome $\beta_{\text{-oxidation}}$ ซึ่งมีบทบาทหลักในการในการเกิด metabolism ของ DHA

ที่มา : Reddy and Hashimoto (2001)

ตารางที่ 2.11 บทบาทการทำงานของ PPARA ต่อการเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของไขมัน

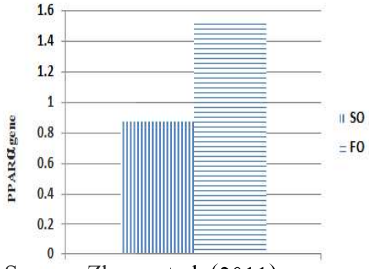
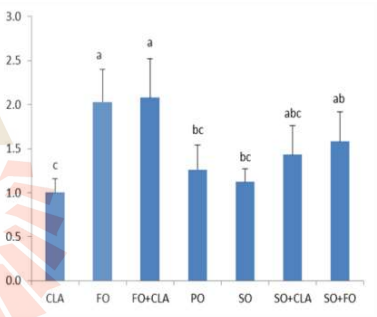
Gene	Full name gene	Function	References
FADS1	fatty acid desaturase-1	- Produced delta 5 desaturase enzyme - Catalyzing the final step in the formation of eicosapentaenoic acid EPA and ALA	
FADS2	Fatty acid desaturase-2	- Produced delta 6 desaturase enzyme	Jump et al. (2005)
ELOVE2 ELOVE6	Fatty acid elongase-2 Fatty acid elongase-6	- Elongation step	
mtHMGCoASyn	Mitochondrial HMG-coenzyme A synthase		
AOX	Peroxisomal acyl coenzyme A oxidase	- Produced enzyme relate to fatty acid oxidation	
Cyp4A	Microsomal cytochrome P450 - 4A		
APOA1	Apolipoprotein A1	- Major protein component of HDL particles in plasma	
APOA2	Apolipoprotein A1	- Encodes apolipoprotein (apo-) A-II, which is the second most abundant protein of the high-density lipoprotein particles.	Schoonjan set al. (1996)
LPL	Lipoprotein lipase	- Hydrolyzes triglycerides in lipoproteins	
SLC27A	SLC27 fatty acid transport proteins	- Have role to control FABP and long chain - fatty acid uptake in adipose tissue and muscle	Grygielgor nik (2014)

และจากการทดลองของ Zhang et al. (2011) และ Royan et al. (2011) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.12 พบว่าการเสริม n-3 PUFA ในอาหารไก่เนื้อส่งผลต่อการแสดงออกของยีน PPARA ที่บริเวณตับ โดยเฉพาะการเสริมน้ำมันปลา (fish oil) เมื่อเทียบกับการเสริมน้ำมันถั่วเหลืองในอาหารไก่ ซึ่งพบว่าการเสริมน้ำมันปลามีแนวโน้มเพิ่มการแสดงออกของยีน PPARA สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากน้ำมันปลาเป็นแหล่งของ n-3 PUFA ซึ่งประกอบไปด้วย EPA และ DHA ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jon Meadus et al. (2011) พบว่าการเสริม DHA ส่งผลต่อการเพิ่มการแสดงออกของ $PPAR_{\alpha}$ mRNA ซึ่งการแสดงออกของ $PPAR_{\alpha}$ mRNA นั้นส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา β-oxidation ของกรดไขมันที่ตับ ส่งผลให้ความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ที่บริเวณตับลดลง และเมื่อปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ลดลงก็จะส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันที่มีประโยชน์ (n-3 PUFA) ที่เติมลงไปมีปริมาณการสะสมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยีน PPARA ยังกระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่บริเวณ peroxisome ซึ่งการเกิดปฏิกิริยา β-oxidation ในบริเวณนี้กระตุ้นให้ n-3 PUFA ที่กินเข้าไปเปลี่ยนไปเป็น DHA ได้ และหากปริมาณของ DHA มีปริมาณที่มากพอก็จะส่งผลให้ DHA สามารถเปลี่ยนไปเป็น EPA และสามารถสะสมอยู่ในเนื้อไก่ได้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยทางด้านอาหาร ระยะเวลาในการเสริมอาหาร รวมถึงปัจจัยทางด้านพันธุกรรม ล้วนแต่มีผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่ เนื่องจากการสะสมกรดไขมันนั้นเป็นผลมาจากความสมดุลระหว่างไขมันในอาหารที่ถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายสัตว์ การสังเคราะห์กรดไขมันภายในร่างกายสัตว์ และการสลายไขมันผ่านวิถีการเกิด β-oxidation (Sanz et al., 2000) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะศึกษาถึงระดับและช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าต่อ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ การสะสม n-3 PUFA รวมถึงการแสดงออกของยีน PPARA, ยีน L-FABP ที่บริเวณตับ และยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.12 ผลของการเสริม n-3 PUFA ในเนื้อไก่ต่อการแสดงออกของยีน PPARA ซึ่งมีบทบาทในการสร้าง $PPAR_{\alpha}$ mRNA

Type of fat	Duration (day)	Species	Gender	Organ	PPARA gene expression
SO FO	42	Arber Acres	Male	Liver	 Source: Zhang et al. (2011)
PO FO 7% SO 7% CLA 4.2% CLA 2.1% + SO 3.5% CLA 2.1% + FO 3.5% FO 3.5% + SO 3.5%	42	Ross 308	Male	Liver	 Source: Royan et al. (2011)

FO = fish oil, SO = soybean oil, PO = palm oil, CLA = Conjugated Linoleic acid

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สัตว์ทดลอง แผนการทดลอง และอาหาร

ไก่โคราช (พ่อเหลืองหางขาว x แม่ มทส.) คละเพศ อายุ 1 วัน ถูกนำมาเลี้ยงรวมกันเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยใช้อาหารสูตรเดียวกัน (โปรตีน 21% และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 3,100 kcal/kg) ใช้น้ำมันรำข้าว (มีส่วนประกอบของ n-3 PUFA ต่ำมาก) เป็นแหล่งพลังงานในอาหาร การจัดการเลี้ยงไก่ โปรแกรมการให้วัคซีน เป็นไปตามคำแนะนำและอยู่ภายใต้การควบคุมของฟาร์มมหาวิทยาลัย เมื่ออายุครบ 3 สัปดาห์ ทำการสุ่มไก่จำนวน 700 ตัว เข้าการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบ Augmented Factorial in Completely Randomized Design (Augmented Factorial in CRD) และใช้วิธีการจัด treatment แบบ 2 x 3 factorial ร่วมกับกลุ่มควบคุม โดยมีปัจจัยหลัก 3 ระดับ ดังนี้คือ

ปัจจัยหลักที่ 1 อาหารที่มีการเสริมน้ำมันปลาทูน่า 1.5%

ปัจจัยหลักที่ 2 อาหารที่มีการเสริมน้ำมันปลาทูน่า 3.0%

ปัจจัยหลักที่ 3 อาหารที่มีการเสริมน้ำมันปลาทูน่า 4.5%

โดยมีการปรับสูตรอาหารให้มีโภชนะเท่ากัน มีระดับโปรตีนเท่ากับ 19% และ 17% ในช่วงอายุ 3-6 และ 6-9 สัปดาห์ ตามลำดับ และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 3,100 kcal/kg และมีปัจจัยรอง 2 ระดับ ดังนี้คือ

ปัจจัยรองที่ 1 ช่วงระยะเวลาที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ที่อายุ 3-9 สัปดาห์ (6 สัปดาห์ก่อนเชือด)

ปัจจัยรองที่ 2 ช่วงระยะเวลาที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ที่อายุ 6-9 สัปดาห์ (3 สัปดาห์ก่อนเชือด)

รวมเป็น 6 treatment combinations และสูตรควบคุม (control) ซึ่งใช้น้ำมันรำข้าวเป็นแหล่งพลังงานในอาหาร โดยการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารทดลองที่ระดับต่างๆ นั้น เป็นการเสริมเข้าไปทดแทนน้ำมันรำข้าวในสูตรอาหารควบคุม โดยในแต่ละ treatment combination แบ่งออกเป็น 4 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว รวมใช้ไก่ทั้งหมด 700 ตัว ในแต่ละคอกใช้ความหนาแน่นในการเลี้ยง 8 ตัวต่อตารางเมตร และใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้น ไก่กินอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 9 สัปดาห์

3.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลองได้แก่ ความชื้น โปรตีน เยื่อใย ไขมัน รวมถึงองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้วิธี gas chromatography ดังแสดงในตารางที่ 3.1 3.2 3.3 และ 3.4

3.3 การศึกษาด้านสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อ

3.3.1 การศึกษาด้านสมรรถนะการเจริญเติบโต

ทำการชั่งน้ำหนักตัวไก่ และบันทึกปริมาณอาหารที่กิน เพื่อคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (ADG) และอัตราการแลกน้ำหนักตัว (FCR) ของแต่ละกลุ่มทดลอง ทุกสัปดาห์ รวมทั้งจำนวนการตายของไก่ทุกครั้งที่พบ

3.3.2 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบซาก และการเก็บตัวอย่าง

เมื่อไก่อายุครบ 9 สัปดาห์ ทำการสุ่มไก่ออกมา treatment ละ 8 ตัว (เพศผู้และเพศเมียอย่างละ 4 ตัว) เพื่อวัดส่วนประกอบของซาก เก็บไขมันในช่องท้อง โดยขั้นตอนในการดำเนินงานคืออดอาหารแต่ให้ไก่กินน้ำสะอาดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักมีชีวิต จากนั้นใช้วิธี exsanguination โดยใช้มีดเชือดคอตรง jugular vein ปล่อยให้เลือดไหลออก ทำการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 58˚C และทำการถอนขน เอาอวัยวะเครื่องในออก และนำซากไปแช่ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 4˚C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการตัดแต่งและแยกชิ้นส่วนของซากไก่ ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนไก่เพื่อนำมาคำนวณข้อมูลองค์ประกอบซาก และทำการเก็บตัวอย่างของเนื้ออกและเนื้อสะโพก โดยเนื้ออกและเนื้อสะโพกด้านซ้ายใช้สำหรับการทำ drip loss, cooking loss และ shear force ส่วนด้านขวาจะนำมาใช้ในการวัด pH และวัดปริมาณ n-3 PUFA ในเนื้อไก่

3.3.3 การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ในการวัดค่า pH จะใช้เนื้ออก และเนื้อสะโพกด้านซ้าย โดยจะทำการวัดหลังเชือด 45 นาที หลังจากนั้นเก็บเนื้อแต่ละส่วนไว้ในถุงพลาสติกและนำไป chilling ที่อุณหภูมิ 4˚C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัด pH ซ้ำอีกครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัด pH meters ซึ่งต้องวัดตัวอย่างที่จุดเดียวกัน และในแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย (UltraBasic pH meter, Model UB10A, Denver Instrument, Bohemia, NY, USA)

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบ วัตถุดิบอาหาร และสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

Ingredient	3-6 wk				6-9 wk			
	Control	**TO1.5%**	**TO3.0%**	**TO4.5%**	**Control**	**TO1.5%**	**TO3.0%**	**TO4.5%**
Soybean meal (44% CP)	33.00	33.00	33.00	33.00	26.84	26.84	26.84	26.84
Corn (7.8% CP)	58.80	58.80	58.80	58.80	65.00	65.00	65.00	65.00
Rice bran oil	4.50	3.00	1.50	0.00	4.50	3.00	1.50	0.00
Tuna oil	0.00	1.50	3.00	4.50	0.00	1.50	3.00	4.50
DL-Methionine	0.21	0.21	0.21	0.21	0.14	0.14	0.14	0.14
L-Lysine	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19
L-Threonine	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-
Salt	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Calcium carbonate	1.42	1.42	1.42	1.42	1.20	1.20	1.20	1.20
Monocalcium phosphate (21% P)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.28	1.28	1.28	1.28
Premix[1]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

[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.

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Ingredient	3-6 wk				6-9 wk			
	Control	**TO1.5%**	**TO3.0%**	**TO4.5%**	**Control**	**TO1.5%**	**TO3.0%**	**TO4.5%**
Calculated nutrients (%)								
ME (kcal/kg)	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
Lysine	0.96	0.96	0.96	0.96	0.85	0.85	0.85	0.85
Methionine	0.44	0.44	0.44	0.44	0.35	0.35	0.35	0.35
methionine + cysteine	0.66	0.66	0.66	0.66	0.55	0.55	0.55	0.55
Threonine	0.74	0.74	0.74	0.74	0.68	0.68	0.68	0.68
Calcium	0.90	0.90	0.90	0.90	0.86	0.86	0.86	0.86
Available phosphorus	0.35	0.35	0.35	0.35	0.39	0.39	0.39	0.39
Sodium	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Analyzed nutrients (%)								
Crude protein	19.26	19.05	19.35	19.15	17.25	17.12	17.54	17.39
Crude fat	7.05	7.20	7.12	7.17	7.10	7.05	7.08	7.19
Crude fiber	3.25	3.60	3.01	3.24	3.12	3.25	3.39	3.19

[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.

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบกรดไขมัน (%) ของน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) และน้ำมันปลาทูน่า (Tuna oil) ในอาหาร

Item	Rice bran oil	Tuna oil
C14:0	0.32	4.82
C15:0	-	0.82
C16:0	21.68	19.32
C16:1	-	5.62
C18:0	2.34	5.11
C18:1n-9	41.81	14.63
C20	0.76	-
C22	0.17	-
C18:2n-6	31.58	4.7
C18:3n-6	-	1.35
C20:1	-	1.23
C20:2n-6	-	1.96
C20:3n-6	-	2.73
C20:4n-6	-	-
C18:3n-3	1.17	1.29
C20:3n-3	-	-
C20:5n-3	-	11.76
C22:0	0.17	-
C22:2	-	0.77
C22:6n-3	-	23.89
SFA	25.44	30.07
MUFA	41.81	21.48
PUFA	32.75	48.45
n-6	31.58	11.51
n-3	1.17	36.94
n-6/n-3	26.99	0.30

"-" not detectable

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองและองค์ประกอบทางโภชนะของไก่ช่วงอายุ 22 ถึง 42 วัน

Item	Growing diet (d 22 to 42)			
	Control	TO1.5%	TO3.0%	TO4.5%
C14:0	0.29	1.03	1.96	2.63
C16:0	20.10	18.29	20.27	21.7
C16:1	0.26	1.09	2.14	2.82
C18:0	3.27	4.20	4.96	4.45
C18:1n-9	35.62	32.18	28.97	29.33
C18:2n-6	36.14	32.13	27.22	22.58
C20:0	0.89	1.03	0.66	0.66
C18:3n-6	0.17	0.42	0.83	1.11
C20:1	1.11	1.15	1.44	1.33
C18:3n-3	0.70	1.27	0.45	1.23
C22:0	0.30	0.74	0.26	0.28
C20:3n-6	0.00	0.58	1.24	1.55
C20:3n-3	0.18	0.64	0.25	0.00
C20:4n-6	0.17	0.46	0.78	0.49
C20:5n-3	0.63	1.76	3.27	3.57
C22:6n-3	0.17	3.03	5.32	6.27
SFA	24.85	25.29	28.11	29.72
MUFA	36.99	34.42	32.55	33.48
PUFA	38.16	40.29	39.36	36.8
n-6	36.48	33.59	30.07	25.73
n-3	1.68	6.70	9.29	11.07
n-6/n-3	21.71	5.01	3.24	2.32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองและองค์ประกอบทางโภชนะของไก่ช่วงอายุ 43 ถึง 63 วัน

Item	Finishing diet (d 43 to 63)			
	Control	**TO1.5%**	**TO3.0%**	**TO4.5%**
C14:0	0.28	1.07	1.83	3.42
C16:0	18.94	20.50	19.92	23.07
C16:1	0.23	1.13	2.11	3.59
C18:0	2.77	3.33	4.14	5.61
C18:1n-9	38.66	34.55	31.81	28.84
C18:2n-6	35.26	31.58	26.14	18.58
C20:0	0.80	0.36	0.62	0.60
C18:3n-6	0.20	0.42	0.85	1.49
C20:1	0.80	0.36	1.22	0.77
C18:3n-3	0.70	1.07	1.02	1.45
C22:0	0.29	0.00	0.26	0.00
C20:3n-6	0.21	0.46	1.28	1.94
C20:3n-3	0.12	0.00	0.00	0.00
C20:4n-6	0.00	0.29	0.00	0.46
C20:5n-3	0.00	1.78	3.11	3.66
C22:6n-3	0.74	3.10	5.69	6.52
SFA	23.08	25.26	26.77	32.70
MUFA	39.69	36.04	35.14	33.20
PUFA	37.23	38.70	38.09	34.10
n-6	35.67	32.75	28.27	22.47
n-3	1.56	5.95	9.82	11.63
n-6/n-3	22.71	5.49	2.88	1.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.4 ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บ (drip loss)

เนื้อส่วนอก และส่วนสะโพกซับให้แห้ง ทำการตัดให้มีขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 1 x 2.5 x 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักของเนื้อ ห่อด้วยผ้าก๊อซ 2 ชั้น พันอีกครั้งด้วยถุงพลาสติก นำไปแขวนในห้องเย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาคำนวนตามสูตร

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น} - \text{น้ำหนักหลังแช่เย็น}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น}} \times 100$$

3.3.5 ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างทำให้สุก (cooking loss)

นำเนื้อส่วนอกและส่วนสะโพก ตัดเนื้อให้มีขนาด 40-50 กรัม จากส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นเนื้อซับด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ชั่งน้ำหนัก บรรจุลงในถุงพลาสติกที่แห้งสนิท ทนความร้อน โดยไม่ต้องปิดปากถุง ใช้เทอร์โมมิเตอร์แทงลงเนื้อในส่วนที่หนาที่สุด นำไปต้มให้สุกในอ่างน้ำร้อน โดยเปิดฝาไว้ ตั้งค่าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 85ºC รอให้อุณหภูมิภายในส่วนที่หนาที่สุดของเนื้ออุณหภูมิ 78-80ºC ค่อยจับเวลา เป็นเวลา 10 นาที นำเนื้อออกจากถุง ซับด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 4 นำเนื้อไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณ

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำในระหว่างการทำให้สุก} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนต้ม} - \text{น้ำหนักหลังต้ม}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}} \times 100$$

3.3.6 การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force)

เนื้ออกและเนื้อสะโพกตัดให้มีขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 1.5 x 3 x 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักบรรจุลงในถุงพลาสติกปิดสนิททนความร้อน นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน 80°C นาน 10 นาที ทำให้อุณหภูมิลดลงให้เท่ากับอุณหภูมิห้องโดยการนำไปแช่น้ำเย็น นำเนื้อมาตัดแต่งให้มีขนาด 1.0 x 2.0 x 0.5 เซนติเมตร นำไปวัดค่าแรงตัดผ่านด้วยเครื่อง Texture analysis รุ่น TA-XT2i โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด 2 มม./วินาที (Froning et al., 1978)

3.4 การศึกษาระดับการแสดงออกของยีน PPARA, ยีน L-FABP และยีน LPL

3.4.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อสกัด Total RNA

การศึกษาระดับการแสดงออกของยีน (Gene expression)

เมื่อไก่อายุครบ 9 สัปดาห์ ทำการเก็บตัวอย่างโดยสุ่มไก่ออกมา treatment ละ 4 ตัว (คอกละ 1 ตัว เพศผู้) เพื่อใช้ในการวัดการแสดงออกของยีน จากนั้นใช้วิธี exsanguination โดยใช้มีด

เชือดคอตรง jugular vein ปล่อยให้เลือดไหลออก ในส่วนของการวัดการแสดงออกของยีนนั้นเก็บตัวอย่างบริเวณตับ เพื่อนำไปวิเคราะห์การแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และ LPL โดยปริมาณตัวอย่างที่ใช้คือ 0.05 กรัมต่อ 1 ตัวอย่าง และรีบเก็บอวัยวะต่างๆ ไว้ในถังไนโตรเจนเหลวทันทีเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของ RNA ในเนื้อเยื่อ จากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80°C

3.4.2 การสกัด Total RNA

การสกัด Total RNA จากเนื้อตับเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน PPARA และยีน L-FABP จากเนื้อออกเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน LPL อธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

- ชั่งตัวอย่างชิ้นเนื้อตับและเนื้อออก ประมาณ 0.05 g ใส่ในหลอดทดลอง (screw cap tube)ขนาด 1.5 ml จากนั้นใส่เม็ดบีท และทำการเติมไตรซอล (trizol) ปริมาณ 1,000 µl และนำไปใส่ในเครื่อง bead-beating ปั่น 3 นาที ทิ้งไว้บนน้ำแข็ง 5 นาที และปั่นต่ออีก 2 นาที บดตัวอย่างให้ละเอียดจนเห็นเป็นลักษณะใสไม่มีตะกอน จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 5 นาที
- ใส่คลอโรฟอร์ม 200 µl นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอน ที่ 4°C ความเร็ว 12,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที
- จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสที่อยู่บริเวณด้านบนในหลอดตัวอย่างมา 500 µl (โดยใช้ tip ขนาดเล็ก จะทำให้ได้ RNA ที่บริสุทธิ์ แบ่งดูดสารประมาณ 3 ครั้ง (อย่าดูดให้ติดตะกอนขาวมาเด็ดขาด) ใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 ml หลอดใหม่ และเติมไอโซโพรพานอล 500 µl จากนั้น convert tube mix ประมาณ 15 ครั้ง เพื่อทำตัวอย่างให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอน นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอน ที่ 4°C ความเร็ว 12,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที
- ดูดสารละลายในหลอดทั้งหมดออก ยกเว้นตะกอนสีขาวขุ่นที่ติดข้างหลอด เติมเอทานอล 1,000 µl convert tube mix ตัวอย่างให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอน ที่ 4°C ความเร็ว 12,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที
- จากนั้นดูดเอทานอลในหลอดออก ยกเว้นตะกอนสีขาวขุ่นที่ติดข้างหลอด และ air dry เป็นเวลา 2-5 นาที เพื่อผึ่งตะกอนให้แห้ง
- เติม diethyl pyrocarbonate (DEPC) 30 µl หรือตามปริมาณตะกอนที่ได้เทียบกับความเข้มข้นของ RNA ที่ต้องการ

จะได้ Total RNA ของเนื้อออกและตับไก่ จากนั้นดูด total RNA ออกมา 2 µl เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นของ RNA ที่ค่าการดูดกลืนแสง 260 นาโนเมตร (nm) ด้วยเครื่องมือ spectrophotometer รุ่น Nanodrop 2000 (Thermo Scientific, U.S.A)

3.4.3 การสังเคราะห์ First stand cDNA

หลังจากนั้นทำการสังเคราะห์ first strand cDNA จาก total RNA มีวิธีการดังนี้ การเตรียม RNA จะใช้ total RNA จากนั้นสังเคราะห์ first strand cDNA ด้วยชุดสังเคราะห์ first strand cDNA สำเร็จรูป (tran scriptor first strad cDNA synthesis kit; Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) โดยมีการเตรียมสารละลายสำหรับสังเคราะห์ first strand cDNA ดังนี้ transcriptor RT reaction buffer (10x) 2 µl, 25x dNTP mix 0.8 µl, 10x RT random primers 2 µl, Multiscribe^{Tm} reverse transcriptase 1 µl และ nuclease-free water 4.2 µl กับ total RNA ที่เตรียม 10 µl โดยบ่มที่อุณหภูมิ 25˚C 10 นาที จากนั้นบ่มต่อที่อุณหภูมิ 37˚C 120 นาที และทำลายเอนไซม์โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 85˚C 5 นาที เก็บตัวอย่าง first strand cDNA ไว้ที่ -20˚C

3.4.4 ระดับปริมาณการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และยีน LPL

จากนั้นนำ first strand cDNA 2 µl ที่ได้ ผสมเข้ากับน้ำ deionized 6 µl, SYBR Green I master 10 µl (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) รวมถึง primer forward และ primer reverse ของยีนดังแสดงในตารางที่ 3.5 อย่างละ 1 µl จากนั้นนำมาเข้าเครื่อง real time PCR รุ่น Roche 480 เพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน โดยคำนวณค่าการแสดงออกของยีนตามสมการของ Livak and Schmittgen (2001).

ตารางที่ 3.5 ไพรเมอร์ ที่ใช้สำหรับเทคนิค real time-PCR ของยีน L-FABP, PPARA, LPL และยีน GADPH

Genes	5' sequence 3' forward primer 5' sequence 3' reverse primer	Accession no.	Annealing temperatures	PCR size (bp)	Amplification efficiency (%)
L-FABP	5′- GAGCTCCAGTCCCATGAAAA -3′ 5′- TCAGCAGCTCCATCTCACAC ′	AF380999	59˚C	202	98.1
PPARA	5′-CAAACCAACCATCCTGACGAT -3′ 5′- GGAGGTCAGCCATTTTTTGGA -3	NM 001001464.1	58˚C	64	94.7
LPL	5′- TTGGTGACCTGCTTATGCTA -3′ 5′- ATTGCTGCCTCTTCTCCTTT -3	X14670	58˚C	187	99.8
GADPH (Br)	5′-GGTGGCCATCAATGATCCCT-3′ 5′-CCGTTCTCAGCCTTGACAGT-3	NM204305.1	58˚C	105	95.9
GADPH (Li)	5′-GGTGGCCATCAATGATCCCT-3′ 5′-CCGTTCTCAGCCTTGACAGT-3	NM204305.1	58˚C	105	97.9

หมายเหตุ : L-FABP= Liver fatty acid binding protein;

PPARA= Peroxisome Proliferator-Activated Nuclear Receptor Alpha

LPL= Lipoprotein lipase; GADPH= glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การตรวจสอบข้อมูลที่ทำการศึกษา ตรวจสอบด้วยด้วยวิธี Descriptive statistics โดยพิจารณาค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation; CV) ค่าต่ำสุด (minimum; min) ค่าสูงสุด (maximum; max) เพื่อตรวจสอบค่า outlier และใช้วิธี Normality plot with test เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ทำการศึกษาว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยพิจารณาจากค่า *P*-Value ในตาราง Test of Normality ถ้า p>0.05 ข้อมูลจะมีการแจกแจงแบบปกติ และจะพิจารณาร่วมกับค่าความเบ้ (skewness) อยู่ในช่วง -0.8 ถึง 0.8 และความโด่ง (kurtosis) อยู่ในช่วง -3 ถึง 3 (Joanes and Gill, 1998) ถ้าค่าดังกล่าวเกินจากช่วงดังกล่าวจะทำการแปลงข้อมูล (Data transformation) เพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, I11., USA)

ทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลอันเนื่องมาจากระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของกรดไขมัน n-3 PUFA และการแสดงออกของยีน L-FABP, ยีน PPARA ที่บริเวณตับ และยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออก รวมถึงการวิเคราะห์ค่า TBAR ในเนื้อไก่โคราช ด้วยวิธี General Linear Models (GLM) สำหรับแผนการทดลองแบบ Augmented Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ในการทดสอบสมมติฐานวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยวิธี TUKEY และ Orthogonal contrast กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $\alpha \leq 0.05$ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อระดับของ n-3 PUFA และ TBAR ในเนื้อ รวมถึงระดับการแสดงออกของยีน L-FABP, ยีน PPARA ที่บริเวณตับ และยีน LPL ในเนื้ออกของไก่โคราชเมื่อไก่ได้รับอาหารที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 กลุ่มทดลอง และ 1 กลุ่มควบคุมด้วยโปรแกรม SAS® University Edition

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช

ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราช (ตารางที่ 4.1) จากตารางสามารถสรุปได้ว่าระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p>0.05$) ต่อน้ำหนักตัว (BW) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) ปริมาณอาหารที่กิน (FI) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lopez-Ferrer et al. (2001) และ Morales-Barrera et al. (2013) ซึ่งพบว่าการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่ไม่ส่งผลต่ออัตราการกินได้ และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ตารางที่ 4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่โคราชที่อายุ 9 สัปดาห์

Tuna oil (%)	Period (wk)	Final BW (g)	BWG (g)	FI (g)	FCR
0 (Control)	-	1,134.29	889.27	2,835.78	3.19
1.5	3-9	1,127.05	881.68	2,792.76	3.19
	6-9	1,098.58	853.34	2,799.49	3.29
3.0	3-9	1,112.40	866.66	2,941.27	3.40
	6-9	1,145.07	898.02	2,849.71	3.18
4.5	3-9	1,098.00	852.56	2,784.24	3.34
	6-9	1,150.00	903.43	2,851.98	3.09
Pooled SEM		39.703	56.149	148.342	0.204
P-value		NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

ของไก่ เนื่องจากระดับน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไม่สูงจนทำให้เกิดกลิ่นจำเพาะที่ทำให้ไก่ไม่ชอบ ซึ่งจะส่งผลให้ความน่ากินของอาหารลดลง อีกทั้งไก่ยังมีอัตราการกินได้ที่ไม่แตกต่างกัน และได้รับโภชนะในอาหารเช่น พลังงาน และโปรตีนที่ใกล้เคียงกัน (isonitrogenous and isocaloric diets) ดังนั้นการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารจึงไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตในไก่โคราช

4.2 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อส่วนประกอบซากในไก่โคราช

ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อส่วนประกอบซากในไก่โคราช (ตารางที่ 4.2) จากตารางสามารถสรุปได้ว่าระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่โคราชไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p>0.05$) ต่อเปอร์เซ็นซาก (carcass) ไขมันในช่องท้อง (abdominal fat) เนื้ออกสันใน (inner breast) เนื้ออกสันนอก (outer breast) เนื้อสะโพก (thigh) และเนื้อน่อง (drumstick) จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Lopez-Ferrer et al. (2001) และ Mirghelenj et al. (2009) แต่ผลการทดลองในครั้งนี้ให้ผลตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Chashnidel et al. (2010) พบว่าการเสริมน้ำมันปลา 4.5% ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์เนื้ออก และไขมันในช่องท้องลดลง เนื่องจากน้ำมันปลาประกอบด้วย n-3 PUFA ซึ่งมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการกดการแสดงออกของ lipogenic gene ที่บริเวณตับ (Kaur and Sinclair, 2010) นอกจากนั้นยังพบว่า n-3 PUFA ยังมีบทบาทในการกระตุ้นกระบวนการเกิด β-oxidation ซึ่งท้ายสุดแล้วจะส่งผลให้ไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อลดลง และช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมต่อลักษณะส่วนประกอบซากดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากในการศึกษาครั้งนี้ใช้สูตรอาหารพื้นฐานเหมือนกันในทุกกลุ่มการทดลอง และมีการใช้น้ำมันในสัดส่วนที่เท่ากันเพื่อนำมาใช้ในการปรับพลังงานในสูตรอาหาร ดังนั้นการทดแทนน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำมันปลาทูน่า จึงไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบซากในไก่โคราช

4.3 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช

ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช แสดงดังตารางที่ 4.3 จากตารางสามารถสรุปได้ว่าระดับน้ำมันปลาทูน่าในอาหารและระยะเวลาในการเสริมไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p>0.05$) ต่อค่า pH และ drip loss ในเนื้ออก รวมถึง cooking loss และ shear force ในเนื้ออกและเนื้อสะโพก แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่าระดับน้ำมันปลาทูน่าในอาหารและ

ตารางที่ 4.2 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อส่วนประกอบซากในไก่โคราชที่อายุ 9 สัปดาห์

Tuna oil (%)	Period (wk)	Dressing (%)[1]	% of carcass weight				
			Abdominal fat	Outer Breast	Inner Breast	Thigh	Drumstick
0 (Control)	-	68.12	1.23	10.03	3.10	10.65	10.75
1.5	3-9	68.33	0.91	10.05	3.14	10.32	11.16
	6-9	68.36	0.95	10.16	3.13	11.05	10.91
3.0	3-9	68.07	0.83	10.19	3.46	10.61	11.21
	6-9	68.11	0.88	9.98	3.26	10.41	10.97
4.5	3-9	67.82	1.16	10.04	3.36	10.74	11.40
	6-9	67.92	0.89	10.02	3.10	10.62	10.93
Pooled SEM	-	1.157	0.482	0.720	0.486	0.994	1.133
P-value	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

[1]without viscera, head, neck, feet and shank.

ตารางที่ 4.3 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อในไก่โคราช

Tuna oil (%)	Period (wk)	pH 45 min	pH 24 hr.	Breast meat (% of total)		Thigh meat (% of total)		WBS	
				Drip loss	Cooking loss	Drip loss	Cooking loss	Breast	Thigh
0 (Control)	-	5.47	5.68	10.09	26.24	7.11[a]	30.40	3.25	2.37
1.5	3-9	5.51	5.56	9.10	27.53	6.24[ab]	28.39	3.10	2.09
	6-9	5.55	5.62	8.03	24.73	4.95[ab]	28.14	3.08	2.08
3.0	3-9	5.40	5.61	8.58	26.68	4.24[b]	29.07	3.15	2.19
	6-9	5.47	5.56	9.01	25.79	5.04[ab]	27.10	3.10	2.13
4.5	3-9	5.52	5.65	9.36	25.70	6.71[ab]	27.80	3.13	2.14
	6-9	5.59	5.69	7.84	26.56	5.44[ab]	28.47	3.09	2.11
Pooled SEM		0.159	0.134	0.134	3.151	1.751	3.130	0.781	0.316
Source of variance		----------				*P*-value			
Control vs Other treatment		NS	NS	NS	NS	0.016	NS	NS	NS
Period		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Level x Period		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[a,b] Means with in the same row with different superscripts are significantly different at $p<0.05$.

NS = Non significant different

WBS^2: Warner-Bratzler shear force expressed as kgf/0.5 cm^2

ระยะเวลาในการเสริมส่งผลต่อค่า drip loss ในเนื้อสะโพก โดยพบว่าการเสริมอาหารในกลุ่มควบคุม (4.5% RBO) ส่งผลให้เนื้อสะโพกมีเปอร์เซนต์ drip loss สูงที่สุด แต่ในทางตรงกันข้ามการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 3% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือด ส่งผลให้ค่า drip loss ในเนื้อสะโพกต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yang et al. (2010) ซึ่งพบว่าการเสริมน้ำมันปลาส่งผลต่อค่า drip loss ของเนื้อสะโพกในไก่เนื้อ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลทำให้ค่า drip loss ในเนื้อแตกต่างกัน

4.4 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่

ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่โคราช ปริมาณไขมันทั้งหมด (total lipid) ในเนื้ออกไก่ มีค่าประมาณ 3.25-4.35 g/100 g fresh meat และในเนื้อสะโพก ปริมาณไขมันทั้งหมดมีค่าประมาณ 3.52-4.79 g/100 g fresh meat

จากการศึกษาพบว่า ระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไม่มีอิทธิพลร่วมต่อ องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่โคราช ($p>0.05$) แต่เมื่อพิจารณากลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่ากับกลุ่มควบคุม พบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าส่งผลให้สัดส่วนของ n-3 PUFA, EPA และ DHA ทั้งในเนื้ออก และเนื้อสะโพกสูงกว่า ($p<0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อสัดส่วนของ α-linolenic acid (ALA; C18:3n-3) ($p>0.05$) อีกนัยหนึ่งพบว่าสัดส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-6 (n-6 PUFA), linoleic acid (LA; C18:2n-6) และ arachidonic acid (AA; C20:4n-6) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) เนื่องจากอาหารในกลุ่มควบคุมใช้นำมันรำข้าว (rice bran oil) เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งมีสัดส่วนของ LA ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของกรดไขมันกลุ่ม n-6 PUFA สูง จึงส่งผลให้อาหารในกลุ่มควบคุมมีสัดส่วนของ LA สูงเช่นกันเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

หากพิจารณาปัจจัยหลัก (main factor) ในส่วนของระดับในการเสริมน้ำมันปลาทูน่า พบว่าระดับในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าส่งผลต่อสัดส่วน n-3 PUFA และ n-6 PUFA โดยพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในระดับที่สูงขึ้นจะส่งผลให้สัดส่วนของ n-3 PUFA ในเนื้ออก และเนื้อสะโพกสูงขึ้นตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lopez-Ferrer et al. (2001); Morales-Barrera et al. (2013); Bou et al. (2004); Farhoomand and Checaniazer (2009) เนื่องจากน้ำมันปลาทูน่าเป็นแหล่งของ EPA และ DHA ซึ่งในการทดลองครั้งนี้น้ำมันปลาทูน่าที่นำมาใช้มีสัดส่วนของ DHA สูงถึง 23.89 g/100 g fat ซึ่งการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% จะส่งผลทำให้ EPA และ DHA ในเนื้อไก่โคราชสูงที่สุด แต่ในทางตรงข้ามพบว่าจะส่งผลทำให้สัดส่วนของ n-6 PUFA, LA, AA และ สัดส่วนของ n-6/n-3 ทั้งในเนื้ออกและเนื้อสะโพกของไก่

โคราชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yang et al. (2010) พบว่าสัดส่วนของ n-6 PUFA ลดลง เมื่อสัดส่วนของ n-3 PUFA เพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดไขมันตั้งต้น (LA, LNA) มีการแข่งขันเพื่อใช้เอนไซม์ในกลุ่มเดียวกัน (desaturase, elongase) ในกระบวนการ biosynthesis ของกรดไขมันซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสัดส่วนของ PUFA ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Betti et al., 2009) ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ n-6/n-3 ลดลงเนื่องจากในเนื้อไก่มีสัดส่วนของ n-3 PUFA สูงกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนของ n-6 PUFA (Saleh et al., 2009) จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าเมื่อผู้บริโภคได้รับประทานอาหารที่มีสัดส่วนของ n-6/n-3 ในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมา เช่น โรคมะเร็ง (cancer) และโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าถ้าลดสัดส่วนของ n-6/n-3 ในอาหารลงเหลือประมาณ 4/1 จะส่งผลให้ความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจลดลงได้ถึง 70% (Simopoulos, 2004) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีเพียงสัตว์ที่ได้รับอาหารในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่า 1.5% (เสริม 3 สัปดาห์ก่อนเชือด) และได้รับอาหารในกลุ่มควบคุม ที่ส่งผลให้อัตราส่วนของ n-6/n-3 ในเนื้ออกและเนื้อสะโพกมีสัดส่วนสูงกว่า 4/1 อีกทั้งการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในระดับที่สูงยังส่งผลทำให้สัดส่วนของ MUFA ในเนื้ออกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lopez-Ferrer et al. (2001) พบว่าสัดส่วนของ PUFA ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการกดการสังเคราะห์ MUFA ผ่านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ delta 9-desaturase complex ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการเปลี่ยน SFA ไปเป็น MUFA (Bostami et al., 2017) จากผลการทดลองสอดคล้องกับหลักการที่ว่าชนิดและปริมาณของกรดไขมันในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อชนิดและปริมาณของกรดไขมันในเนื้อสัตว์ (Bou et al., 2004) ดังนั้น n-3 PUFA ในอาหารมีปริมาณที่สูงจึงส่งผลให้การสะสมกรดไขมันในกล้ามเนื้อของไก่สูงเช่นกัน (Lopez-Ferrer et al., 1999)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่โคราช พบว่าระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าไม่ส่งผลต่อสัดส่วนของ n-3 PUFA ในเนื้ออก ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sadeghi et al. (2012) พบว่า ระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณของ n-3 PUFA ในเนื้อไก่ เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลาจะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนปริมาณ n-3 PUFA ในเนื้อโดยตรง แต่ในทางตรงข้ามพบว่าระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าส่งผลต่อสัดส่วนของ n-3 PUFA, EPA และ DHA ในเนื้อสะโพก ($p<0.05$) โดยพบว่าเสริมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือด จะส่งผลให้สัดส่วนของ n-3 PUFA, EPA และ DHA ในเนื้อสะโพกสูงกว่าเมื่อเทียบกับเสริมในระยะสั้นเพียง 3 สัปดาห์ก่อนเชือด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Konieczka et al. (2017) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาร่วมกับน้ำมัน flaxseed เป็นระยะเวลานานส่งผลให้สัดส่วนของ n-3 PUFA และ DHA ในเนื้อสะโพกสูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อเนื้ออกในไก่เนื้อ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากที่บริเวณเนื้ออกและเนื้อสะโพกของไก่มีลักษณะการเกิดเมแทบอลิซึมของ

ไขมันที่แตกต่างกัน (Cui et al., 2018) จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการสะสมไขมันแตกต่างกัน อีกทั้งสัดส่วนของ phospholipid และ triglycerids มีความแปรปรวนระหว่างเนื้ออก และเนื้อสะโพก เนื่องจาก EPA และ DHA จะชอบจับอยู่กับ phospholipid ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเนื้ออกมีสัดส่วนของ phospholipid สูงกว่า อีกทั้งยังอาจเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันจึงทำให้ความสามารถในการสะสมไขมันแตกต่างกันในเนื้อเยื่อแต่ละชนิด (Betti et al., 2009)

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 และ 6 สัปดาห์ก่อนเชือด สามารถสร้างให้เนื้อไก่โคราชเป็นเนื้อไก่ที่อุดมไปด้วย n-3 PUFA สูงได้ แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านต้นทุนค่าอาหารนั้น การเสริมน้ำมันปลาทูน่าในระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือดจึงเพียงพอสำหรับการสร้างเนื้อไก่โคราชสุขภาพ เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือดนั้นสามารถสร้างให้เนื้ออกและเนื้อสะโพกไก่มีปริมาณ DHA, DHA + EPA และ n-3 PUFA มีค่าเท่ากับ 381.79, 478.68 และ 389.35 mg/100 g fresh breast meat และ 277.11, 344.44 และ 371.65 mg/100 g fresh thigh meat ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6 และ 4.7) จากการรายงานของ The European Food Safety Authority (EFSA, 2010) พบว่าการที่ผู้บริโภคได้รับ DHA และ DHA + EPA ปริมาณ 250 mg ต่อวันนั้นก็เพียงพอสำหรับการทำงานของสมองและการมองเห็น อีกทั้งยังได้มีการระบุไว้ว่า เนื้อไก่ต้องมีปริมาณ total n-3 PUFA อย่างน้อย 300 mg/100 g meat ถึงจะเรียกได้ว่าเป็นเนื้อไก่ที่มี n-3 PUFA สูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.4 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อออกไก่ (g/100g total FA)

Tuna oil	Period	Fatty acid											
(%)	(wk)	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C22:0	C16:1	C18:1n-9	C20:1	C18:2n-6	C18:3n-6	C20:3n-6	C20:4n-6
0 (Control)		0.70	22.56	12.06^{ab}	1.85	0.89	0.81	24.74	0.12	21.54^{a}	0.12	0.46	10.46^{a}
1.5	3-9	0.60	24.12	10.99^{b}	0.20	0.10	0.85	23.93	0.00	19.14^{abc}	0.00	0.71	7.35^{bcd}
	6-9	0.59	23.43	11.66^{a}	0.60	0.47	0.84	25.14	0.12	19.80^{ab}	0.00	0.58	7.72^{ab}
3.0	3-9	1.12	24.74	12.26^{b}	1.07	0.61	0.98	23.50	0.00	18.96^{abc}	0.44	0.39	4.45^{cd}
	6-9	0.73	23.38	11.14^{ab}	1.00	0.34	1.11	22.39	0.11	17.41^{bc}	0.00	0.53	6.65^{bc}
4.5	3-9	0.90	25.52	11.64^{ab}	0.35	0.2	1.39	23.02	0.06	15.82^{c}	0.10	0.28	3.47^{d}
	6-9	0.90	24.98	13.30^{a}	0.37	0.44	1.07	21.75	0.07	15.54^{c}	0.04	0.57	5.53^{bcd}
Pooled SEM		0.123	1.341	0.790	0.593	0.472	0.337	1.2225	0.101	1.238	0.101	0.201	1.072
Source of variance		----------						*P*-value					
Control vs Other treatment		NS	NS	NS	0.0097	NS	NS	NS	NS	0.0002	NS	NS	0.0001
Period		NS	NS	0.0033	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0012
Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0004	NS	NS	0.0015
Period x Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

ตารางที่ 4.4 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อออกไก่ (g/100g total FA) (ต่อ)

Tuna oil	Period	Fatty acid									
(%)	(wk)	C18:3n3	C20:3n3	EPA	DHA	SFA	MUFA	PUFA	n-6	n-3	n-6/n-3
0 (Control)	-	0.99	-	0.62^{d}	1.63^{d}	38.72^{ab}	25.80	35.38	31.89^{a}	3.49^{d}	14.50^{a}
1.5	3-9	0.30	0.09	1.65^{cd}	8.52^{bc}	37.25^{ab}	24.78	38.60	28.27^{ab}	10.33^{bc}	2.16^{bc}
	6-9	0.40	0.08	1.50^{cd}	7.72^{c}	36.17^{b}	26.14	36.23	26.79^{bc}	9.43^{c}	2.81^{b}
3.0	3-9	0.85	0.12	1.97^{bc}	9.96^{bc}	37.18^{ab}	25.67	37.02	23.69^{bcd}	13.33^{abc}	1.56^{bc}
	6-9	1.06	0.35	1.66^{cd}	9.40^{bc}	36.74^{b}	24.66	37.47	24.72^{bc}	12.76^{bc}	1.69^{bc}
4.5	3-9	0.25	-	3.24^{a}	14.73^{a}	38.02^{ab}	24.39	37.89	19.67^{d}	18.22^{a}	1.05^{c}
	6-9	0.58	-	2.80^{ab}	11.96^{ab}	39.59^{a}	22.90	37.05	22.22^{cd}	14.83^{ab}	1.29^{c}
Pooled SEM		0.465	0.250	0.343	1.238	1.173	1.684	1.559	1.537	1.609	0.629
Source of variance		----------*P*-value----------									
Control vs Other treatment		NS	NS	0.0001	0.0001	NS	NS	NS	0.0001	0.0001	0.0001
Period		NS	NS	NS	0.0606	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Level		NS	NS	0.0001	0.0001	0.0354	NS	NS	0.0001	0.0001	0.0006**
Period x Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[a-d] Means within column carrying no common superscripts are significantly different at p<0.05.
NS = Non significant different **quadratic

ตารางที่ 4.5 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสะโพก (g/100g total FA)

Tuna oil (%)	Period	Fatty acid [1]											
		C14:0	**C16:0**	**C18:0**	**C20:0**	**C22:0**	**C16:1**	**C18:1n-9**	**C20:1**	**C18:2n-6**	**C18:3n-6**	**C20:3n-6**	**C20:4n-6**
Control		0.35^{b}	20.93	10.40	1.05	0.04	1.41	29.27^{a}	0.46	27.31^{a}	0.12	0.50	5.52^{a}
1.5	3-9 wk	0.88^{ab}	22.04	11.83	1.34	0.10	2.08	25.97^{abc}	0.44	24.14^{bc}	0.10	0.52	3.89^{bc}
	6-9 wk	0.51^{b}	22.48	11.00	1.07	0.06	2.20	28.07^{ab}	0.46	24.99^{b}	0.04	0.44	4.72^{ab}
3.0	3-9 wk	0.88^{ab}	22.38	10.75	0.50	0.11	2.25	26.21^{abc}	0.51	23.95^{bc}	0.14	0.50	3.58^{c}
	6-9 wk	0.77^{ab}	20.61	11.64	2.07	0.18	1.92	25.86^{abc}	0.44	23.27^{bc}	0.15	0.42	3.46^{c}
4.5	3-9 wk	1.26^{a}	22.05	12.81	0.75	0.14	2.39	23.51^{c}	0.60	20.92^{d}	0.13	0.45	2.98^{c}
	6-9 wk	0.90^{ab}	21.73	12.19	1.99	0.09	1.96	24.15^{bc}	0.53	22.3^{cd}	0.15	0.43	3.33^{c}
Pooled SEM		0.152	0.677	0.937	1.114	0.121	0.326	1.352	0.139	0.783	0.066	0.055	0.353
Source of variance		----------*P*-value----------											
Control vs Other treatments		0.0013	NS	0.0297	NS	NS	0.0069	0.0011	NS	0.0001	NS	NS	0.0001
Period		0.0187	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0775
Level		0.0252	NS	NS	NS	NS	NS	0.0087	NS	0.0001	NS	NS	0.0001
Period x Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

ตารางที่ 4.5 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสะโพก (g/100g total FA) (ต่อ)

Tuna oil (%)	Duration	Fatty acid [1]									
		C18:3n3	C20:3n3	EPA	DHA	SFA	MUFA	PUFA	n-6	n-3	n-6/n-3
Control		0.68	0.00	0.00^{d}	1.02^{d}	32.08	30.96^{a}	36.68	34.66^{a}	1.54^{d}	24.02^{a}
1.5	3-9 wk	0.72	0.57	1.57^{ab}	5.70^{c}	34.38	28.34^{ab}	36.74	28.36^{bc}	8.50^{bc}	3.07^{c}
	6-9 wk	0.68	0.00	0.92^{c}	4.58^{c}	33.94	29.99^{ab}	36.47	29.92^{b}	5.73^{c}	5.34^{b}
3.0	3-9 wk	0.75	0.02	1.65^{bc}	6.76^{bc}	34.20	28.04^{ab}	36.98	28.35^{bc}	9.12^{ab}	2.93^{c}
	6-9 wk	0.70	0.04	1.32^{bc}	6.58^{bc}	35.27	24.71^{b}	36.30	27.75^{bcd}	9.03^{ab}	3.08^{c}
4.5	3-9 wk	0.79	0.08	2.77^{a}	10.12^{a}	35.32	26.65^{b}	37.84	25.10^{d}	13.70^{a}	1.77^{d}
	6-9 wk	0.77	0.66	1.91^{ab}	7.66^{ab}	34.94	26.51^{b}	38.47	26.69^{cd}	11.77^{ab}	2.24^{cd}
Pooled SEM		0.067	0.310	0.285	0.700	1.101	1.325	1.081	0.892	1.185	0.068
Source of variance		----------*P*-value----------									
Control vs Other treatments		NS	NS	0.0001	0.0001	0.0030	0.0018	NS	0.0001	0.0001	0.0001
Period		NS	NS	0.0002	0.0086	NS	NS	NS	NS	0.0431	0.0609
Level		NS	NS	0.0001*	0.0001*	NS	0.0285	0.0794	0.0001	0.0001	0.0001
Period x Level		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของ n-3 PUFA ที่สำคัญในเนื้ออก

Tuna oil	Period	Breast (mg/100g fresh meat)				
(%)	(wk)	ALA	EPA	DHA	EPA+DHA	Total n-3
0 (Control)		29.79	3.80	89.80	93.60	119.59
1.5	3-9	11.59	60.63	305.08	365.71	316.67
	6-9	23.14	54.11	273.74	327.85	296.88
3.0	3-9	13.74	71.41	338.26	409.67	352.00
	6-9	7.22	68.09	341.24	409.33	348.46
4.5	3-9	5.85	68.77	448.42	517.19	454.27
	6-9	7.56	96.89	381.79	478.68	389.35

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของ n-3 PUFA ที่สำคัญในเนื้อสะโพก

Tuna oil	Period	Thight (mg/100g fresh meat)				
(%)	(wk)	ALA	EPA	DHA	EPA+DHA	Total n-3
0 (Control)		25.98	0	24.89	24.89	50.87
1.5	3-9	21.72	42.27	163.64	205.91	227.63
	6-9	22.73	30.05	164.76	194.81	217.54
3.0	3-9	31.40	46.04	223.75	269.79	301.19
	6-9	31.37	41.56	214.92	256.48	287.85
4.5	3-9	26.56	71.75	340.56	412.31	438.87
	6-9	27.21	67.33	277.11	344.44	371.65

4.5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ซึ่งคำนวณบนพื้นฐานของสถานการณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงไก่จริงในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าเมื่อเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระยะเวลาที่แตกต่างกันลงในอาหารไก่โคราช จะส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารกลุ่มควบคุม เนื่องจากน้ำมันปลาทูน่ามีราคาค่อนข้างสูง (97 baht/kg หรือ 3.15 USD/kg) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาค่าอาหารของกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลานาน เมื่อพิจารณาจะเห็นว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือด (เสริมน้ำมันปลาทูน่าตั้งแต่ 6 ถึง 9 สัปดาห์) ต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัม (feed price; USD/kg) จะถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลา 6

สัปดาห์ก่อนเชือด (เสริมน้ำมันปลาทูน่าตั้งแต่ 3 ถึง 9 สัปดาห์) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือด มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับไก่ที่ได้รับอาหารในกลุ่มอื่นๆ (ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจพิจารณาจาก SBR, NPR และ ROI) เนื่องจากมีผลตอบแทนกำไรสุทธิ (net profits return per bird; NPR) เท่ากับ 0.22 USD/bird และผลตอบแทนจากการลงทุน (return of investment; ROI) เพียง 11.13% ซึ่งต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับไก่ที่ได้รับอาหารในกลุ่มอื่น ๆ แต่ในทางตรงข้ามพบว่าไก่ที่ได้รับอาหารในกลุ่มควบคุมมีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงที่สุด และในส่วนของค่าผลตอบแทนการขายต่อตัว (salable bird return; SBR) พบว่ามีช่วงอยู่ระหว่าง 2.50 ถึง 2.62 USD ถ้าหากขายในราคาเท่ากับราคาขายไก่พื้นเมืองในตลาดปัจจุบัน หากมองในมุมเศรษฐกิจจะเห็นได้ว่า การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือดถือว่าเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการใช้น้ำมันปลาทูน่าในการปรับองค์ประกอบของกรดไขมันเพื่อสร้างเนื้อไก่โคราชให้เป็นเนื้อไก่สุขภาพ จะเห็นได้ว่าผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ปรากฏสอดคล้องกับปริมาณ n-3 PUFA ในเนื้อไก่ดังได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 และ 6 สัปดาห์ก่อนเชือด สามารถสร้างให้เนื้อไก่โคราชเป็นเนื้อไก่ที่มี n-3 PUFA สูงได้ แต่หากคำนึงถึงต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ จึงเป็นระดับและช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตเนื้อไก่นั้นไม่ได้มีเพียงค่าอาหารแต่ยังหมายรวมถึงต้นทุนค่าลูกไก่ ค่าวัคซีน ค่าจ้างแรงงาน ค่าวัสดุรองพื้น ค่าน้ำ ค่าไฟ เป็นต้น อีกทั้งไก่ที่ถูกผลิตเป็นเนื้อไก่สุขภาพนั้นราคาที่ขายควรจะสูงกว่าราคาขายไก่พื้นเมืองโดยทั่วไป ดังนั้นในการคำนวนผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในครั้งนี้จึงเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยประมาณ ยังไม่ได้รวมต้นทุนการผลิตทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 ราคาอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง ต้นทุนการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

Tuna oil (%)	Period (wk)	Item				
		Feed price[1] (USD/kg)	FCG[2] (USD/bird)	SBR[3] (USD/bird)	NPR[4] (USD/bird)	ROI[5] (%)
0 (Control)		0.46	1.77	2.59	0.82	46.07
1.5	3-9	0.50	1.90	2.57	0.67	35.30
	6-9	0.48	1.87	2.50	0.64	33.98
3.0	3-9	0.53	2.10	2.54	0.44	20.75
	6-9	0.51	1.91	2.61	0.70	36.69
4.5	3-9	0.58	2.29	2.50	0.22	9.48
	6-9	0.54	1.91	2.62	0.71	37.49

[1]Price of starter diet: 0.48 USD/kg, [2]FCG (Feed cost per gain) = (FCR * feed cost)/(Survival/100)

[2]Including feed cost of d 1-21 days where feed intake was 0.25 kg/bird, then feed cost was 0.12 USD/bird for all treatments.

[3]SBR (Salable bird return) = Selling price of native chicken was 2.28 USD/kg live weight x BW

[4] NPR (Net profits return per bird) = SBR-FCG, [5]ROI = (NPR / FCG) x 100

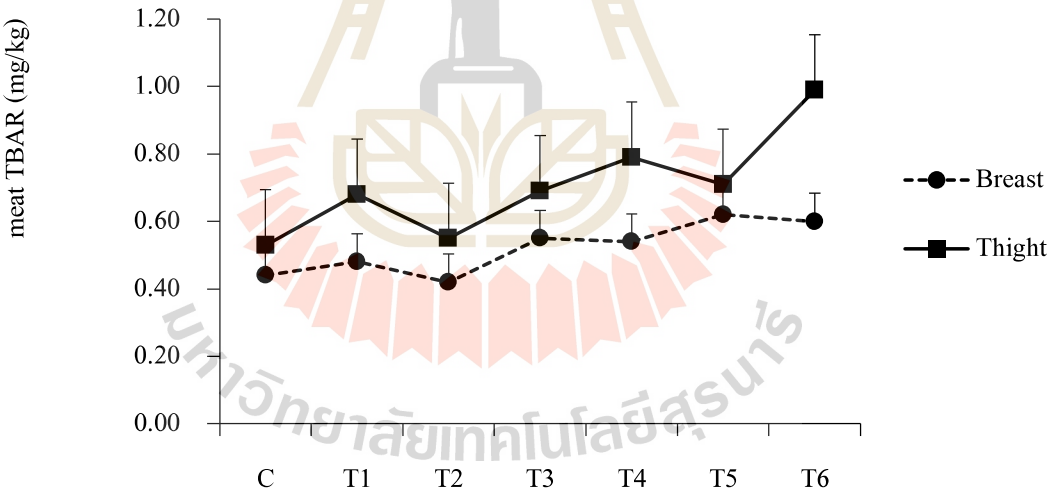
[*] Exchange rate 1 USD is equal to 30.76 baht. (22-july-2019)

4.6 ค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อไก่

เนื่องจากไขมันนั้นสามารถถูกออกซิเดชั่น (oxidation) ได้ง่าย เมื่อไขมันเกิดการออกซิเดชั่นจะส่งผลให้มีสารชื่อ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA) เกิดขึ้นซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการบ่งชี้การเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อสัตว์ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวัดปริมาณของ MDA คือ เทคนิค thiobarbituric reactive substance (TBAR)

จากการศึกษาพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาในการเสริมที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า TBAR ในเนื้ออกและเนื้อสะโพกของไก่โคราช ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.1) โดยพบว่าความเข้มข้นของค่า TBAR มีค่าเท่ากับ 0.42- 0.62 mg/kg และ 0.53-0.99 mg/kg ทั้งในเนื้ออกและเนื้อสะโพกตามลำดับ ซึ่งค่า TBAR ที่ได้จากผลการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Saleh et al. (2010) ซึ่งพบว่าการเสริมน้ำมันปลาที่ระดับ 1.5% และ 3.0% มีค่า TBAR เท่ากับ 0.41 และ 0.68 mg/kg ตามลำดับในเนื้ออก และเท่ากับ 0.51 และ 0.85 mg/kg ตามลำดับในเนื้อสะโพก เมื่อเทียบกับค่า TBAR ในไก่ที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 1.5% และ 3.0% ในการศึกษา

ครั้งนี้ (0.42-0.48 mg/kg และ 0.54- 0.55 mg/kg ตามลำดับในเนื้ออก 0.55-0.68 mg/kg และ 0.69-0.79 mg/kg ในเนื้อสะโพก) อีกทั้งผลการศึกษาในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Hang (2016) ที่พบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในระดับที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า TBAR ในเนื้อไก่โคราช ทั้งนี้น่าจะเป็นผลอันเนื่องมาจากในการทดลองครั้งนี้อาหารทดลองทุกกลุ่มการทดลองได้มีการเสริมวิตามินอี (vitamin E) ปริมาณ 200 mg/kg ซึ่งวิตามินอีจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่มีบทบาทสำคัญในการหยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Burtan, 1994) ซึ่งมีความสามารถในการช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อสัตว์ได้ จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับการทดลองของ O'Neill et al. (1998) ซึ่งพบว่าการเสริม α-tocopherol ปริมาณ 200 mg/kg ร่วมกับไขมันวัว หรือน้ำมันมะกอกที่ระดับ 6% ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่ อีกทั้งจะสังเกตได้ว่าสัดส่วนของ PUFA ในเนื้ออกและเนื้อสะโพก (ตารางที่ 4.4 และ 4.5) ในแต่ละกลุ่มการทดลองมีสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่า TBAR ในเนื้ออกและเนื้อสะโพกไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ebrahimi et al. (2018) ซึ่งพบว่าปริมาณของ total PUFA ในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่า TBAR ในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างเช่นกัน



ภาพที่ 4.1 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อค่า TBAR ในเนื้ออกและเนื้อสะโพก

C = control of Korat chicken fed 4.5% RBO from 3-9 wk; T1 = Korat chickens fed 1.5% of TO from 3-9 wk; T2 = Korat chickens fed 1.5% of TO from 6-9 wk; T3 = Korat chickens fed 3.0% of TO from 3-9 wk; T4 = Korat chickens fed 3.0% of TO from 6-9 wk; T5 = Korat chickens fed 4.5% of TO from 3-9 wk; T6 = Korat chickens fed 4.5% of TO from 6-9 wk

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 200 mg/kg feed นั้นสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อไก่ได้ ซึ่งการสะสมไขมันในร่างกายไก่จนกระทั่งส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อไก่นั้น เป็นผลมาจากความสมดุลของไขมันในอาหารที่ถูกดูดซึมภายในร่างกาย การสังเคราะห์ไขมันภายในร่างกาย (lipogenesis) และการสลายไขมันในวิถี β-oxidation (lipolysis) (Tumova and Teimouri, 2010)

4.7 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อระดับการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และยีน LPL ที่บริเวณตับ และเนื้ออกในไก่โคราชเพศผู้

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารสามารถปรับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึม (metabolism) ของไขมันในร่างกายไก่ได้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีความสนใจที่จะศึกษาถึงการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA และ LPL ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันในไก่โคราช

จากการศึกษาพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาที่แตกต่างกันมีอิทธิพลร่วมต่อการแสดงออกของยีน LPL ($p<0.05$) ที่บริเวณเนื้ออก ในทางตรงกันข้ามกลับไม่พบอิทธิพลร่วมต่อการแสดงออกของยีน L-FABP และยีน PPARA ($p>0.05$) ที่บริเวณตับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำมันปลาทูน่าในอาหารส่งผลต่อการแสดงออกของยีน L-FABP และยีน PPARA ($p<0.05$) รวมถึงระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าก็มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของยีน PPARA ($p<0.05$) เช่นกัน

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารมีอิทธิพลต่อการปรับการแสดงออกของยีนที่อวัยวะต่างๆ ในร่างกายสัตว์ ยีน L-FABP เป็นยีนที่มีการแสดงออกมากที่บริเวณตับ มีบทบาทในการขนส่งกรดไขมันสายยาวเข้าสู่เซลล์เพื่อเข้าสู่กระบวนการ esterification เปลี่ยนจากกรดไขมันสายยาวไปเป็น complex lipid เพื่อสังเคราะห์เยื่อหุ้มเซลล์ (phospholipid) และสะสมในรูปไตรกลีเซอไรด์ อีกทั้งยังทำหน้าที่ในการขนส่งกรดไขมันสายยาวเข้าสู่บริเวณ mitochondria และ peroxisome เพื่อเข้าสู่กระบวนการเกิด β-oxidation (Wang et al., 2006) จากการศึกษาพบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% ส่งผลให้มีการแสดงออกของยีน L-FABP ที่บริเวณตับสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากอาหารในกลุ่มที่มีการเสริมน้ำมันปลาทูน่าถึง 4.5% มีสัดส่วนของ DHA สูง ซึ่ง DHA มีความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของยีน L-FABP ที่บริเวณตับ (Norris and Spector, 2002; Zhang et al., 2011) และจากการศึกษาของ Atshaves et al. (2010) พบว่า L-FABP จะทำหน้าที่ขนส่งกรดไขมันสายยาวเข้าสู่นิวเคลียส (nucleuse) เพื่อไปควบคุมการ

ทำงานของ nuclear receptor เช่น PPARA ซึ่งมีความสำคัญมากในกระบวนการถอดรหัสของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันสายยาว

ซึ่งในส่วนของ PPARA นั้นจากผลการศึกษาพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารที่ระดับความเข้มข้น 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือดมีแนวโน้มส่งผลให้การแสดงออกของยีน PPARA สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่น ๆ ทั้งนี้น่าจะเป็นผลอันเนื่องมาจากการเสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลานาน รวมถึงสัดส่วนของ n-6/n-3 และสัดส่วนของ DHA ในสูตรอาหาร จากการทดลองก่อนหน้าพบว่าการเสริมอาหารที่มีสัดส่วนของ n-6/n-3 ในสัดส่วนที่ต่ำ รวมถึงเสริม DHA ในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้การแสดงออกของยีน PPARA ที่บริเวณตับเพิ่มสูงขึ้น (Berge et al., 1999; Jon Meadus et al., 2011; Royan et al., 2011; Yan and Chao, 2011; Zhang et al., 2011; Ebrahimi et al., 2018) จากตารางองค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง (ตารางที่ 3.3 และ 3.4) จะเห็นได้ว่าอาหารในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% จะมีสัดส่วนของ n6/n3 ต่ำ และมีสัดส่วนของ DHA ในสัดส่วนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ และเมื่อพิจารณาที่ช่วงระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่า พบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือดจะส่งผลให้การแสดงออกของยีน PPARA สูงกว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือด ซึ่งยีน PPARA จะทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ elongase และ desaturase ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการ biosynthesis ของกรดไขมัน (Yan and Chao, 2011) อีกทั้งยังเหนี่ยวนำการทำงานของ β-oxidation enzyme ใน peroxisome (กระตุ้นการเกิด β-oxidation ที่ peroxisome) และในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ที่บริเวณตับ ซึ่งการเหนี่ยวนำนี้จะส่งผลให้เพิ่มการสังเคราะห์ DHA เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากขั้นตอนสุดท้ายในการสังเคราะห์ DHA คือ กระบวนการในการเกิด β-oxidation ที่ peroxisome (Li et al., 2005) และในทางตรงกันข้ามจะส่งผลให้การสะสมไขมันในร่างกายไก่ลดลงเนื่องจาก $PPAR_{\alpha}$ mRNA จะไปยับยั้งการทำงานของยีนในกลุ่ม lipogenesis (FAS, SREBP-1C) (Zhang et al., 2011) แต่ในทางตรงกันข้ามจะไปเหนี่ยวนำการแสดงออกของยีนในกลุ่ม lipolysis (CPT, ACO) (Li et al., 2005; Yan and Chao, 2011) ท้ายที่สุดจึงทำให้การสะสมไขมันในร่างกายไก่ลดลง แต่มีปริมาณกรดไขมันดีเพิ่มสูงขึ้น

แต่ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือดส่งผลให้ระดับการแสดงออกของยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออกไก่โคราชไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และมีระดับการแสดงออกที่ต่ำกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 1.5% และ 3% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Li et al. (2005) ซึ่งพบว่า DHA ส่งผลให้การแสดงออกของยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออก และไขมันในช่องท้องลดลงแต่ในทางตรงกันข้ามกลับมีการแสดงออกเพิ่มสูงขึ้นที่บริเวณตับ ทั้งนี้เนื่องจากมีการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าการแสดงออกของยีนในสัตว์ประชากรเดียวกันแต่ต่างเนื้อเยื่อ (tissue) จะมีการ

แสดงออกของยีนที่แตกต่างกันเพราะ แต่ละอวัยวะบทบาทการทำงานของยีนก็จะแตกต่างกันไปด้วย (Whitehead and Crawford, 2005) และเนื่องจากยีน LPL มีบทบาทในการสลายไตรกลีเซอไรด์ที่บริเวณ chylomicron และ VLDL ให้เปลี่ยนไปเป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอล เพื่อสะสมใน fatty acid organ (Goldberg, 1996; Yan and Chao, 2011) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอาหารที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% นั้นจะมีสัดส่วนของ EPA และ DHA ในสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับอาหารสูตรที่เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 3% และ 1.5% โดย EPA และ DHA ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ phospholipids มากกว่าการรวมตัวกันเป็น triglyceride เพื่อเข้าไปสะสมภายในเซลล์ (Li et al., 2005; Echeverría et al., 2016) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า EPA และ DHA ส่วนใหญ่จะเข้าสู่กระบวนการ esterification ที่บริเวณ endoplasmic reticulum เพื่อสังเคราะห์เยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อโดยตรง และมีเพียงบางส่วนที่รวมตัวกันเป็นไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งไปกระตุ้นการทำงานของยีน LPL ที่ผลิตเอนไซม์ lipoprotein lipase เพื่อสลายไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอลเพื่อสะสมภายในเซลล์ อีกทั้งไตรกลีเซอไรด์นั้นประกอบไปด้วยสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวเป็นหลัก ซึ่งจากการทดลองของ Cui et al. (2018) พบว่าเนื้ออกมีสัดส่วนของ EPA และ DHA สูง แต่มีสัดส่วนของ SFA ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับเนื้อสะโพก ในทางเดียวกันนั้นยังพบว่าที่บริเวณเนื้ออกมีการแสดงออกของยีน LPL ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อสะโพก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า การแสดงออกของยีน LPL จะมีการแสดงออกต่ำในเนื้ออก ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น พันธุกรรม ลักษณะของเนื้อเยื่อ และปัจจัยภายนอกได้แก่ อาหารที่มีสัดส่วนของ DHA ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้การแสดงออกของยีน LPL ลดลง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าต่อการแสดงออกของยีน L-FABP และ PPARA ที่บริเวณตับของไก่โคราช แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำมันปลาทูน่าส่งผลต่อการแสดงออกของยีน L-FABP และ PPARA ที่ตับ รวมถึง ยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออก ซึ่งการแสดงออกของยีน L-FABP บ่งบอกได้ถึงกรดไขมันสายยาวมีการถูกขนส่งเข้าสู่เซลล์เพื่อดูดซึมไปใช้ประโยชน์ และรวมตัวกันในรูป phospholipid หรือไตรกลีเซอไรด์ และถูกขนส่งในรูป VLDL เพื่อเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ อีกทั้งยังไปกระตุ้นการทำงานของยีน PPARA ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ elongase และ desaturase ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ biosynthesis ของกรดไขมัน และมีบทบาทในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา β-oxidaytion ใน peroxisome ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการสังเคราะห์ DHA ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มส่งผลให้การแสดงออกของยีน L-FABP และ PPARA ที่บริเวณตับสูงที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณการสะสม EPA และ DHA รวมถึง total n-3 PUFA ในเนื้ออกไก่ตัวผู้ซึ่งมีสัดส่วนที่สูงเช่นกัน (ตารางที่ 4.10) แต่ในทางกลับกันกลับพบว่ายีน LPL ที่บริเวณเนื้ออกมีการ

แสดงออกที่ลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้อาจจะเป็นผลอันเนื่องมาจากที่บริเวณตับมีการแสดงออกของยีน PPARA สูง ซึ่ง $PPAR_{\alpha}$ mRNA จะไปเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชั่นของกรดไขมัน และไปยับยั้งกระบวนการ lipogenesis จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง อีกทั้งอาจจะเป็นผลมาจาก EPA และ DHA ส่วนใหญ่จะเข้าสู่กระบวนการ esterification ที่บริเวณ endoplasmic reticulum เพื่อสังเคราะห์เป็น phospholipid และมีการรวมตัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ในสัดส่วนที่ต่ำ จึงส่งผลให้การแสดงออกของยีน LPL ต่ำเมื่อความเข้มข้นของ EPA และDHA เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.9 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อการแสดงออกของยีน L-FABP, PPARA ที่บริเวณตับ และ LPL ที่บริเวณเนื้ออก

Tuna oil (%)	**Period (wk)**	**Relative gene expression**		
		L-FABP	**PPARA**	**LPL**
0 (Control)	-	1.01^{c}	1.29^{ab}	1.01^{bc}
1.5	3-9	0.77^{c}	1.49^{ab}	0.80^{bc}
	6-9	1.30^{bc}	0.97^{ab}	1.75^{a}
3.0	3-9	0.81^{c}	1.01^{ab}	0.61^{c}
	6-9	1.54^{bc}	0.87^{b}	1.29^{ab}
4.5	3-9	3.69^{a}	1.88^{a}	0.83^{bc}
	6-9	2.90^{ab}	1.15^{ab}	0.80^{bc}
Pooled SEM		0.546	0.290	0.176
Source of variance		----------*P*-value----------		
Control vs Other treatment		NS	NS	NS
Period (A)		NS	0.0108	0.0001
Level (B)		0.0001	0.0202	0.0118
PeriodxLevel		NS	NS	0.0028^{*}

- Relative mRNA abundance of fatty acid metabolism-related genes in the liver and breast of Korat chicken in different treatments. C= controf of Korat chicken fed 4.5% RBO from 3-9wk; T1= Korat chickens fed 1.5% of TO from 3-9 wk; T2= Korat chickens fed 3.0% of TO from 3-9 wk;T3= Korat chickens fed 4.5% of TO from 3-9 wk; T4= Korat chickens fed 1.5% of TO from 6-9 wk; T5= Korat chickens fed 3.0% of TO from 6-9 wk; T6= Korat chickens fed 1.5% of TO from 3-9 wk. Data reported as least-squares means ± SEM (n = 4). Relative quantification of mRNA abundance for each gene was analyzed by the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method with the C treatment as the reference expression point. L-FABP = Liver fatty acid binding protein; PPAR-α = Peroxisome Proliferator-Activated Nuclear Receptor Alpha; LPL = Lipoprotein lipase. TO= Tuna oil; RBO = Rice bran oil.

$^{a-c}$ Different letters are significantly different ($p<0.05$). ** quadratic, *linear

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.10 ผลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้ออกไก่โคราชเพศผู้ (g/100 g total FA)

Tuna oil (%)	Period (wk)	Fatty acid				
		EPA	**DHA**	**n-3 PUFA**	**n-6 PUFA**	**n-6/n-3**
0 (Control)	-	1.23^{b}	1.41^{c}	5.18^{d}	30.44^{a}	17.89^{a}
1.5	3-9	1.77^{ab}	10.42^{ab}	12.19^{bc}	26.23^{ab}c	2.19^{b}
	6-9	1.33^{b}	6.52^{bc}	8.19^{dc}	27.11^{ab}	3.14^{b}
3.0	3-9	1.88^{ab}	10.32^{ab}	14.69^{ab}	23.52^{bc}	1.89^{b}
	6-9	1.69^{ab}	10.72^{ab}	15.23^{ab}	24.61^{abc}	1.65^{b}
4.5	3-9	2.81^{a}	14.72^{a}	17.86^{a}	19.87^{c}	1.02^{b}
	6-9	2.90^{a}	12.28^{a}	16.44^{ab}	22.08^{bc}	1.13^{b}
Pooled SEM		0.550	1.676	1.837	2.145	2.237
Source of variance		----------*P*-value----------				
Control vs Other treatments		NS	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001
Period		NS	0.0377	NS	NS	NS
Level		0.0109	0.0002	0.0001	0.0045	NS
Period x Level		NS	NS	NS	NS	NS

NS = Non significant different

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต องค์ประกอบซาก คุณภาพเนื้อ และการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่โคราช แต่พบว่าปัจจัยหลักคือระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าส่งผลต่อการสะสม n-3 PUFA ในเนื้อไก่

5.1.2 เสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนเชือด ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมัน n-3 PUFA, EPA และ DHA ในเนื้อไก่ รวมถึงการแสดงออกของยีน L-FABP และยีน PPARA ที่บริเวณตับ ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันมีการแสดงออกเพิ่มสูงที่สุด แต่ในทางตรงข้ามส่งผลให้การแสดงออกของยีน LPL ที่บริเวณเนื้ออกลดลง

5.1.3 หากคำนึงถึงเรื่องต้นทุนการผลิต การเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเชือด ก็เพียงพอสำหรับการสร้างเนื้อไก่โคราชสุขภาพ

5.1.4 การเสริมวิตามินอีในปริมาณ 200 mg/kg feed สามารถช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของกรดไขมันในเนื้อไก่ได้ ซึ่งจะช่วยให้ระดับของคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อไก่โดยเฉพาะ n-3 PUFA ในเนื้อไก่คงอยู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้และผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Hang et al. (2018) ทำให้มั่นใจได้ว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4-4.5% สามารถปรับองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อไก่ และสร้างให้เนื้อไก่โคราชเป็นเนื้อไก่ที่มี n-3 PUFA สูงได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าการเสริมน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับ 4.5% ถึงน้ำหนักส่งตลาด (ไก่อายุ 9 สัปดาห์ น้ำหนักประมาณ 1.1 ถึง 1.2 กิโลกรัม) ก็เพียงพอในการสร้างเนื้อไก่ n-3 PUFA สูง ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์กับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเนื้อไก่สุขภาพ เริ่มตั้งแต่ต้นน้ำคือ ผู้ผลิตอาหารสัตว์ เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่โคราช ร้านอาหารที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปปรุงอาหารเพื่อจำหน่าย รวมถึงผู้บริโภคที่จะได้รับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพ และยังมีข้อมูลที่น่าสนใจที่เป็นประโยชน์กับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นักวิจัยที่สนใจจะศึกษาในเรื่องการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่า จะผันแปรตามฤดูกาลในการจับปลา ดังนั้นจึงควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันทุกครั้งก่อนนำน้ำมันปลาทูน่ามาประกอบสูตรอาหาร
- ในการประกอบสูตรอาหารเพื่อสร้างเนื้อไก่ n-3 PUFA สูง ควรมีการเสริมวิตามินอีลงในอาหาร เพื่อช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของกรดไขมัน
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory test) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (storage time) เนื้อไก่ เพื่อให้ผลในเรื่องของคุณภาพเนื้อเกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค
- ในเรื่องการแสดงออกของยีน จากบทสรุปจะเห็นได้ว่าระดับการแสดงออกของยีนมีความสัมพันธ์กับการสะสมกรดไขมันในไก่โคราช แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากกระบวนการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และการสะสมกรดไขมันนั้นเป็นผลมาจากความสมดุลระหว่างการดูดซึมกรดไขมันในอาหาร การสังเคราะห์กรดไขมันภายในร่างกายสัตว์ และการสลายไขมันผ่านวิถีการเกิด β-oxidation ภายในเซลล์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการอธิบายถึงเหตุผลของการสะสมกรดไขมันในเนื้อไก่โคราช จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการแสดงออกของยีนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมัน เช่น กลุ่มของ lipogenic gene ซึ่งเป็นกลุ่มของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน และกลุ่มของ lipolysis gene ซึ่งเป็นกลุ่มของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสลายไขมัน และควรมีการศึกษาตั้งแต่บริเวณลำไส้เล็ก ตับ และบริเวณเนื้อ เนื่องจากเป็นบริเวณหลักในการเกิดเมแทบอลิซึมและการสะสมกรดไขมันในสัตว์ปีก อีกทั้งควรมีการศึกษาทั้งในไก่เพศผู้และเพศเมีย เนื่องจากปัจจัยในเรื่องเพศก็ส่งผลต่อการแสดงออกของยีนเช่นกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Atshaves, B. P., G. G. Martin, H. A. Hostetler, A. L. McIntosh, A. B. Kier, and F. Schroeder. 2010. Liver fatty acid-binding protein and obesity. **The Journal of nutritional biochemistry**. 21: 1015-1032.

Betti, M., T. Perez, M. Zuidhof, and R. Renema. 2009a. Omega-3-enriched broiler meat: 3. Fatty acid distribution between triacylglycerol and phospholipid classes. **Poultry Science**. 88(8):1740-1754.

Betti, M., B. L. Schneider, W. V. Wismer, V. L. Carney, M. J. Zuidhof, and R. A. Renema. 2009b. Omega-3-enriched broiler meat: 2. Functional properties, oxidative stability, and consumer acceptance. **Poultry Science.** 88:1085-1095.

Berge, R. K., L. Madsen, H. Vaagenes, K. J. Tronstad, M. Gottlicher, and A. Rustan. 1999. In contrast with docosahexaenoic acid, eicosapentaenoic acid and hypolipidaemic derivatives decrease hepatic synthesis and secretion of triacylglycerol by decreased diacylglycerol acyltransferase activity and stimulation of fatty acid oxidation. **Biochemical Journal**. 343: 191-197.

Burtan, G.W. 1994. Vitamin E: molecular and biology function. **Proceedings of the Nutrition Society**. 53: 251-262.

Bostami, A., H. Mun, and C. Yang. 2017. Breast and thigh meat chemical composition and fatty acid profile in broilers fed diet with dietary fat sources. **Journal of Food Processing & Technology**. 8: 1-7.

Bou, R., F. Guardiola, A. Tres, A. Barroeta, and R. Codony. 2004. Effect of dietary fish oil, α-tocopheryl acetate, and zinc supplementation on the composition and consumer acceptability of chicken meat. **Poultry science**. 83: 282-292.

Chashnidel, Y., H. Moravej, A. Towhidi, F. Asadi, and S. Zeinodini. 2010. Influence of different levels of n-3 supplemented (fish oil) diet on performance, carcass quality and fat status in broilers. **African Journal of Biotechnology**. 9: 687-691.

Cui, H., M. Zheng, G. Zhao, R. Liu, and J. Wen. 2018. Identification of differentially expressed genes and pathways for intramuscular fat metabolism between breast and thigh tissues of chickens. **Biomed Central genomics**. 19: 55: 1-9.

Ebrahimi, M., M. A. Rajion, S. Jafari, M. F. Jahromi, E. Oskoueian, A. Q. Sazili, Y. M. Goh, and M. H. Ghaffari. 2018. Effects of dietary n-6: n-3 polyunsaturated fatty acid ratios on meat quality, carcass characteristics, tissue fatty acid profiles, and expression of lipogenic genes in growing goats. **PLOS ONE**. 13: e0188369.

Echeverria, F., M. Ortiz, R. Valenzuela, L. A. J. P. Videla, Leukotrienes, and E. F. Acids. 2016. Long-chain polyunsaturated fatty acids regulation of PPARs, signaling: relationship to tissue development and aging. **Leukotrienes and Essential Fatty Acids**.114: 28-34.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies, 2010. Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. **European Food Safety Authority**. 8: 1461.

Elzobier, M., M. T. E. Ibrahim, and O. M. Elbashier. 2016. Effects of dietary inclusion of fish oil on broiler performance and feed utilization. **International Journal of Scientific & Technology Research**. 5: 1-5.

Farhoomand, P., and S. Checaniazer. 2009. Effects of graded levels of dietary fish oil on the yield and fatty acid composition of breast meat in broiler chickens. **The Journal of Applied Poultry Research**. 18: 508-513.

Ferrini, G., D. Menoyo, E. Esteve-Garcia, and A.C. Barroeta. 2005. Effect of ω3 or saturated dietary fatty acids on lipid metabolism parameters in broiler chickens. In Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition, Balatonfüred, Hungary, 25-29 September, 2005. **World's Poultry Science Association**. p 563-565.

Folch, J., M. Lees, and G. H. Sloane Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**. 226: 497-509.

Froning, G., A. Babji, and F. Mather. 1978. The effect of preslaughter temperature, stress, struggle and anesthetization on color and textural characteristics of turkey muscle. **Poultry Science**. 57: 630-633.

Goldberg, I. J. 1996. Lipoprotein lipase and lipolysis: central roles in lipoprotein metabolism and atherogenesis. **Journal of lipid research**. 37: 693-707.

Goodfellow, S. J., and J. C. Zomerdijk. 2013. Basic mechanisms in rna polymerase i transcription of the ribosomal rna genes, Epigenetics: Development and Disease. **Springer**. 61: 36-211.

Grygiel-Gorniak, B. 2014. Peroxisome proliferator-activated receptors and their ligands: nutritional and clinical implications-a review. **Nutrition journal**. 13:17: 1-10.

Hang, T. 2016. Production of functional chicken meat by dietary supplementation of oil rich in n-3 fatty acid and tumeric oleoresin (Unpublished docter's dissertation). Suranaree University of Technology , Nakhon Ratchasima, Thailand.

Hang, T., W. Molee, and S. Khempaka. 2018. Linseed oil or tuna oil supplementation in slow-growing chicken diets: can their meat reach the threshold of a "high in n-3 polyunsaturated fatty acids" product?. **Journal of Applied Poultry Research** . 27: 389-400.

Huang, J., C. C. Huang, M. Lai, J. Lin, C. Lee, and T. Wang. 2006. Effects of dietary fish oil on the contents of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid and sensory evaluation of the breast meat in mule ducks. **Asian Australasian Journal of Animal Science.** 19: 231-235.

Huang, Y., J. Wang, B. Chen, Q. Jiang, Y. Guo, G. Lan, and H. Jiang. 2016. Gene expression and enzyme activity of lipoprotein lipase correlate with intramuscular fat content in guangxi san-huang and arbor acres chickens. **Genetics and molecular research**. 15: 1-13.

Joanes, D., and Gill, C. (1998). Comparing measures of sample skewness and kurtosis. **Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)**. 47: 183-189.

Jon Meadus, W., P. Duff, D. Rolland, J. Lynn Aalhus, B. Uttaro, and M. E. Russell Dugan. 2011. Feeding docosahexaenoic acid to pigs reduces blood triglycerides and induces gene expression for fat oxidation. **Canadian Journal of Animal Science**.
91: 601-612.

Jump, D. B., D. Botolin, Y. Wang, J. Xu, B. Christian, and O. Demeure. 2005. Fatty acid regulation of hepatic gene transcription. **The Journal of nutrition**. 135: 2503-2506.

Katongole, J., and B. March. 1980. Fat utilization in relation to intestinal fatty acid binding protein and bile salts in chicks of different ages and different genetic sources. **Poultry science**. 59: 819-827.

Kaur, G., and A. J. Sinclair. 2010. Regulation of gene expression in brain and liver by marine n-3 polyunsaturated fatty acids. **Progress in Nutrition**. 12: 24-28.

Konieczka, P., M. Czauderna, and S. Smulikowska. 2017. The enrichment of chicken meat with omega-3 fatty acids by dietary fish oil or its mixture with rapeseed or flaxseed effect of feeding duration: dietary fish oil, flaxseed, and rapeseed and n-3 enriched broiler meat. **Animal Feed Science and Technology**. 223: 42-52.

Koreleski, J., and S. Swiatkiewicz. 2006. The influence of dietary fish oil and vitamin e on the fatty acid profile and oxidative stability of frozen stored chicken breast meat. **Journal of Animal and Feed Sciences**. 15: 631-640.

Koriyama, T., S. Wongso, K. Watanabe, and H. Abe. 2002. Fatty acid compositions of oil species affect the 5 basic taste perceptions. **Journal of Food Science**. 67: 868-873.

Leick, C. M., Puls, C. L., Ellis, M., Killefer, J., Carr, T. R., Scramlin, S. M., England, M. B., Gaines, A. M., Wolter, B. F., Carr, S. N., and McKeith, F. K. (2010). Effect of distillers dried grains with solubles and ractopamine (paylean) on quality and shelf-life of fresh pork and bacon. **Journal of Animal Science**. 88: 2751-2766.

Li, Y., T. Y. Nara, and M. T. Nakamura. 2005. Peroxisome proliferator-activated receptor α is required for feedback regulation of highly unsaturated fatty acid synthesis. **Journal of lipid research**. 46: 2432-2440.

Livak, K. J., and T. D. Schmittgen. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)). **Methods**. 25: 402–408.

Lopez-Ferrer, S., M. Baucells, A. Barroeta, and M. Grashorn. 1999. n-3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. **Poultry Science**. 78: 356.

Lopez-Ferrer, S., M. Baucells, A. Barroeta, and M. Grashorn. 2001. n-3 enrichment of chicken meat. 1. use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. **Poultry Science**. 80: 741-752.

Latshaw, J. 2008. Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet. **Poultry science**. 87: 89-95.

Marszalek, J. R., and H. F. Lodish. 2005. Docosahexaenoic acid, fatty acid–interacting proteins, and neuronal function: breastmilk and fish are good for you. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**. 21: 633-657.

McLaughlin, C. L. 2014. Development of novel therapeutic approaches for the reduction of apolipoprotein B expression, Department of Cardiovascular Sciences. University of Leicester, England.

Mirghelenj, S. A., A. Golian, and V. Taghizadeh. 2009. Enrichment of chicken meat with long chain omega-3 fatty acids through dietary fish oil. **Research Journal of Biological Sciences**. 4: 604-608.

Mirshekar, R., F. Boldaji, B. Dastar, A. Yamchi, and S. Pashaei. 2015. Longer consumption of flaxseed oil enhances n-3 fatty acid content of chicken meat and expression of fads2 gene. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 117: 810-819.

Morales-Barrera, J. E., M. J. Gonzalez-Alcorta, R. M. Castillo-Dominguez, O. F. Prado-Rebolledo, X. Hernandez-Velasco, A. Menconi, G. Tellez, B. M. Hargis, and S. Carrillo-Dominguez. 2013. Fatty acid deposition on broiler meat in chickens supplemented with tuna oil. **Food and Nutrition Sciences**. 4: 16-20.

Newman, R. E. et al. 2002. Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. **The British journal of nutrition**. 88: 8-11.

Navidshad, B. 2009. Effects of fish oil on growth performance and carcass characteristics of broiler chicks fed a low-protein diet. **International Journal of Agriculture and Biology**. 11: 635-638.

Navidshad, B., G. Hosseini Salekdeh, M. Royan, and M. Malecky. 2016. Effects of feed restriction and dietary fat type on mRNA expression of liver fatty acid-binding protein (L-FABP) in broilers. **Iranian Journal of Veterinary Medicine**. 9: 279-286.

Newman, R. E., W. L. Bryden, E. Fleck, J. R. Ashes, W. A. Buttemer, L. H. Storlien, and J. A. Downing. 2002. Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. **The British journal of nutrition**. 88: 8-11.

Norris, A. W., and A. A. Spector. 2002. Very long chain n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids bind strongly to liver fatty acid-binding protein. **Journal of lipid research**. 43: 646-653.

O'neill, L., K. Galvin, P. Morrissey, and D. J. Buckley. 1998. Comparison of effects of dietary olive oil, tallow and vitamin E on the quality of broiler meat and meat products. **British Poultry Science**. 39: 365-371.

Popa, V.M., A. Gruia, D. Raba, D. Dumbrava, C. Moldovan, D. Bordean, and C. Mateescu. 2012. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (Linum Usitatissimum L.) from romania. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**. 18: 136-140.

Poureslami, R., K. Raes, G. Huyghebaert, and S. De Smet. 2010. Effects of diet, age and gender on the polyunsaturated fatty acid composition of broiler anatomical compartments. **British poultry science**. 51: 81-91.

Premanand, R., Kumar, P. H. S., and Mohan, A. (2007). Study of thiobarbituric reactive substances and total reduced glutathione as indices of oxidative stress in chronic smokers with and without chronic obstructive pulmonary disease. **Indian Journal of Chest Diseases and Allied Sciences**. Allied Sci. 49: 9-12.

Reddy, J. K., and T. Hashimoto. 2001. Peroxisomal β-oxidation and peroxisome proliferator-activated receptor α: an adaptive metabolic system. **Annual review of nutrition.** 21: 193-230.

Royan, M., G. Y. Meng, F. Othman, A. Q. Sazili, and B. Navidshad. 2011. Effects of conjugated linoleic acid, fish oil and soybean oil on PPARs (α & γ) mRNA expression in broiler chickens and their relation to body fat deposits. **International journal of molecular sciences**. 12: 8581-8595.

Sadeghi, A. A., H. Iravani, M. Karimi-Torshizi, and M. Chamani. 2012. Fatty acids profiles in meat of broiler chicks fed diet containing corn oil switched to fish oil at different weeks of age. **World Applied Science Journal**. 18: 159-165.

Saleh, H., S. Rahimi, and M. Karimi Torshizi. 2009. The effect of diet that contained fish oil on performance, serum parameters, the immune system and the fatty acid composition of meat in broilers. **Iranian Journal of Veterinary Research**. 3: 69-75.

Sanz, M., C. J. Lopez-Bote, D. Menoyo, and J. M. Bautista. 2000. Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and β-oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat. **The Journal of nutrition**. 130: 3034-3037.

Schoonjans, K., B. Staels, and J. Auwerx. 1996. Role of the peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) in mediating the effects of fibrates and fatty acids on gene expression. **Journal of lipid research**. 37: 907-925.

Shingfield, K., M. Lee, D. Humphries, N. Scollan, V. Toivonen, D. Beever, and C. Reynolds. 2011. Effect of linseed oil and fish oil alone or as an equal mixture on ruminal fatty acid metabolism in growing steers fed maize silage-based diets. **Journal of animal science**. 89: 3728-3741.

Simopoulos, A. P. 2004. Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. **Food reviews internationa**l. 20: 77-90.

Takada, I., and M. Kobayashi. 2013. Structural features and transcriptional activity of chicken PPARs. **PPAR research**. 2013: 1-7.

Tumova, E., and A. Teimouri. 2010. Fat deposition in the broiler chicken: a review. **Scientia Agriculturae Bohemica**. 41: 121-128.

UltraBasic pH meter, Model UB10A, Denver Instrument, Bohemia, NY, USA

Wang, Q., H. Li, N. Li, L. Leng, and Y. Wang. 2006. Tissue expression and association with fatness traits of liver fatty acid-binding protein gene in chicken. **Poultry science**. 85: 1890-1895.

Whelan, J., and C. Rust. 2006. Innovative dietary sources of n-3 fatty acids. **Annual Review of Nutrition**. 26: 75-103.

Whitehead, A., and D. L. Crawford. 2005. Variation in tissue-specific gene expression among naturnal populations. **Genome Biology**. 6:R13.

Wood, J. et al. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. **Meat science**. 66: 21-32.

Xu, H., Y. Wang, C. Han, L. Jiang, W. Zhuo, J. Ye, and J. Wang. 2010. Estimation of lipoprotein-lipase activity (LPL) and other biochemical changes in two breeds of overfeeding geese. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. 23: 1221-1228.

Yan, L., and S. Chao. 2011. The later effects of DHA in diet on regulating transcription of lipid genes of broiler. **Agricultural sciences in china**. 10: 611-618.

Yang, X., B. Zhang, Y. Guo, P. Jiao, and F. Long. 2010. Effects of dietary lipids and clostridium butyricum on fat deposition and meat quality of broiler chickens. **Poultry science**. 89: 254-260.

Zambiazi, R. C., R. Przybylski, M. W. Zambiazi, and C. B. Mendonca. 2007. Fatty acid composition of vegetable oils and fats. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. 25: 111-120.

Zhang, B., X. Yang, Y. Guo, and F. Long. 2011. Effects of dietary lipids and clostridium butyricum on serum lipids and lipid-related gene expression in broiler chickens. **Animal**. 5: 1909-1915.

Zuidhof, M. J., M. Betti, D.R. Korver, F.I.L. Hernandez, B.L. Schneider, V.L. Carney, and R.A. Renema. 2009. Omega-3-enriched broiler meat: 1.optimization of a production system **Poultry science**. 88: 1108-1120.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

วิธีการดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์กรดไขมันตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Folch et al. (1957)

การเตรียมสาร internal standard fatty acid

ใช้ C17 : 0 (Heptadecanoic) เป็น internal standard ความเข้มข้น 2.0 มก/มล โดยทำการชั่งสารละลาย C17 : 0 (Heptadecanoic) 1 กรัม ลงใน volumetric flask ขนาด 500 มล. และใช้สาร isooctane ปรับปริมาตรจนครบ

สารเคมี (ต่อ 1 ตัวอย่าง)

1. chloroform: methanol (2:1) 90 มล.
2. chloroform 30 มล.
3. DI 30 มล.
4. 0.58% NaCl 50 มล.

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
2. เครื่องปั่น Homogenizer
3. กรวยแยกพร้อมขาตั้ง
4. กรวยกรอง
5. กระดาษกรอง
6. กระบอกตวงขนาด 50 มล. และ 100 มล.
7. micropipette ขนาด 1 มล 8. ขวดฝาเกลียว

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม
2. เติม chloroform: methanol (2:1) ปริมาณ 90 ml.
3. นำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenize นาน 2 นาที
4. กรองด้วยกระดาษกรอง
5. เติม deionize water ปริมาณ 30 ml.
6. เติม 0.58% NaCl ปริมาณ 50 ml.
7. เติม chloroform 30 ml.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 1 คืนให้แยกชั้น (ต้องใช้ฟอยด์ห่อไม่ให้แสงเข้า)
9. ชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่และหลอดทดลองและบันทึก
7. เก็บชั้นของไขมันใส (ชั้นล่างสุดอย่าให้ชั้นคงสีขาวปนลงไปด้วย) ใส่ลงในขวดลูกชมพู่
8. ชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลายที่มีไขมันอยู่
9. ใส่ Na_2SO_4 เพื่อกำจัดน้ำออกจากตัวยังจะสังเกตได้ว่าตัวอย่างจะใส่ขึ้นจากนั้นทำการกรองใส ขวดรูปชมพู่
10. ปิเปตสารในขวดรูปชมพู่มา 2 ml.ใส่ในหลอดทดลอง ชั่งน้ำหนัก
11. นำไปทำแห้งด้วย N_2 gas จนตัวสารละลายแห้ง เหลือเฉพาะกดไขมันอยู่ นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อ ใช้ในการคำนวณปริมาณไขมัน

<u>ขั้นตอนการทำ Methylation</u>

1. เติม 0.5 M NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 มล.
2. เป่า N2 gas เป็นเวลา 30 วินาที ปิดฝาทันที (เพื่อทำการไล่อากาศ)
3. ให้นำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 2 นาที เขย่าเพื่อให้ไขมันแตกตัว แล้วตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. เติม C17: 0 ปริมาตร 1 มล.
5. เติม 14% BF3 in methanol ปริมาตร 2 มล.
6. เป่า N2 gas เป็นเวลา 30 วินาที ปิดฝาทันที (เพื่อทำการไล่อากาศ)
7. ให้นำไปต้มในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที เขย่าเพื่อให้ไขมันแตกตัว แล้วตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
8. เติม iso-octane 5 มล. เขย่าเพื่อให้เกิดชั้นชัดเจนขึ้น
9. เติม Studented NaCl 5 มล. เขย่าเพื่อให้เกิดชั้นชัดเจนขึ้น
10. ปิเปตส่วนบนสุด 1 มล. ใส่ขวด vial สีชาพร้อมปิดฝาทันที
11. นำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography ปริมาตร 1 ไมโครลิตร (Hewlett Packard, HP 6890 series GC system)

ตารางที่ ก.1 ชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography (Supelco 37 Component FAME Mix)

No.	Component	Weight (%)
1	C4:0 (Butryic)	4
2	C6:0 (Caproic)	4
3	C8:0 (Caprylic)	4
4	C10:0 (Capric)	4
5	C11:0 (Undecanoic)	2
6	C12:0 (Lauric)	4
7	C13:0 (Tridecanoic)	2
8	C14:0 (Myristic)	4
9	C14:1 (Myristoleic)	2
10	C15:0 (Pentadecanoic)	2
11	C15:1 (cis-10-Pentadecenoic)	2
12	C16:0 (Palmitic)	6
13	C16:1 (Palmitoleic)	2
14	C17:0 (Heptadecanoic)	2
15	C17:1 (cis-10- Heptadecanoic)	2
16	C18:0 (Stearic)	4
17	C18:1n9c (Oleic)	4
18	C18:1n9t (Elaidic)	2
19	C18:2n9c (Linoleic)	2
20	C18:2n6c (Linoledic)	2
21	C18:3n6 (g-Linolenic)	2
22	C18:3n3 (a-Linolenic)	2
23	C20:0 (Arachidic)	4
24	C20:1n9 (cis-11-Eicosenoic)	2
25	C20:2 (cis-11,14-Eicosadienoic)	2
26	C21:1 (Henicosanoic)	2
27	C22:0 (Behenic)	4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography (Supelco 37 Component FAME Mix) (ต่อ)

No.	Component	Weight (%)
28	C20:3n-6 (Cis-8, 11, 14-Eicosatrienoic)	2
29	C22:1n-9 (Erucic)	2
30	C20:3n-3 (Cis-11, 14, 17-Eicosatrienoic)	2
31	C20:4n-6 (Arachidonic)	2
32	C23:0 (Tricosanoic)	2
33	C22:2 (Cis-13, 16-Docosadienoic)	2
34	C24:0 (Lignoceric)	4
35	C20:5n-3 (Cis-5, 8 11 14, 17-Eicosapentaenoic)	2
36	C24:1n-9 (Nervonic)	2
37	C22:6n-3 (cis-4,7, 10, 13, 16, 19-Docosahexaenoic)	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวัดค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs)

1. การตรวจวัดมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive

1.1 การวัดค่า TBARs (Thiobarbituric acid reactive substances) โดยประยุกต์วิธีการทดลองจาก Leick et al. (2010) และ Premanand et al. (2007)

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. Eppendorf tube
3. หลอดทดลองพลาสติกฝาเกลียวขนาด
4. Eppendorf tubec
5. Vortex mixer
6. 96 well plate
7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
8. Homogenizer
9. Microplate spectrophotometer
10. Water bath
11. Volumetric flask

สารเคมี

1. Thiobarbuturic acid (TCA)
2. Trichloroacetic acid (TCA)
3. Butylhydroxytuluene (BHT)
4. น้ำกลั่นดีไอโอไนซ์ (Deionized water)
5. Malondialdehyde bis (dimethyl acetate) (MDA)

วิธีการทดสอบค่า TBARS

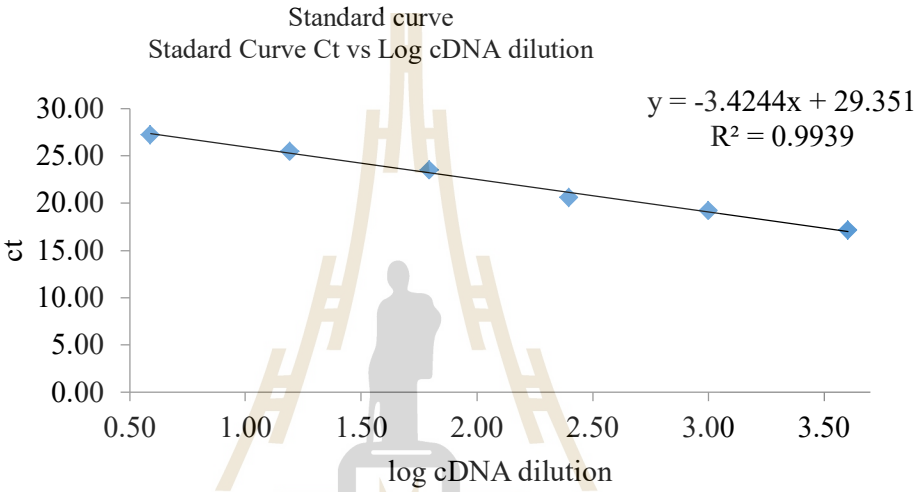
1. นำเนื้อไก่ออกจากตู้ -20ºC ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนละลายแล้วชั่งตัวอย่างไข่แดง 2 กรัม ใส่หลอดทดลองฝาเกลียวแล้วเติมสารละลาย BHT 7.2% จำนวน 34 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นดีไอโอไนซ์จำนวน 6 มิลลิลิตร นำไปบดให้เข้ากันโดยเครื่อง homogenizer ประมาณ 40 วินาที

2. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1 : 2 ตัวอย่าง : สารละลาย TBA-TCA (ปริมาตร:ปริมาตร) เตรียมโดยการปิเปตตัวอย่างที่บดเข้ากันแล้ว 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เกลียวอันใหม่แล้วเติมสารละลาย TBA-TCA (เตรียม 20 mM TBA ใส่สารละลาย TCA 15%) จำนวน 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex ปิดฝาให้เรียบร้อยแล้วนำไปใส่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ 90ºC เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำทิ้งไว้ในเย็นในกล่องน้ำแข็ง

3. จากนั้นเมื่อนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตส่วนใสด้านบน 200 ไมโครลิตรใส่ 96 well plate นำไปวัดค่าการดูดกลื่นแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร



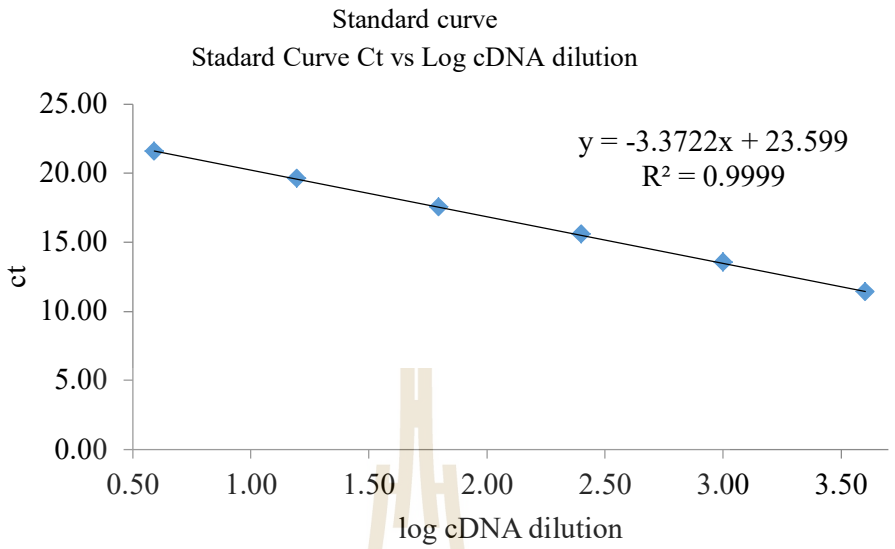
Efficiency of primer (E) = $(10^{-1/\text{slope}-1}) \times 100$

Slope = -3.4244

Efficiency of primer (E) = 95.9

ภาพที่ ก.1 Primer efficiency ของยีน GADPH ในเนื้อออก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

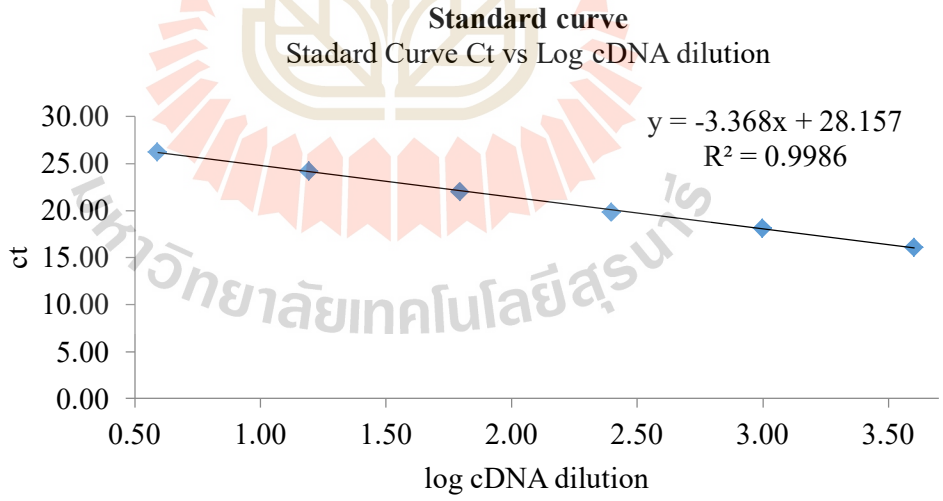


Efficiency of primer (E) = $(10^{-1/\text{slope}-1})$ x100

Slope = -3.3722

Efficiency of primer (E) = 97.94

ภาพที่ ก.2 Primer efficiency ของยีน GADPH ในตับ

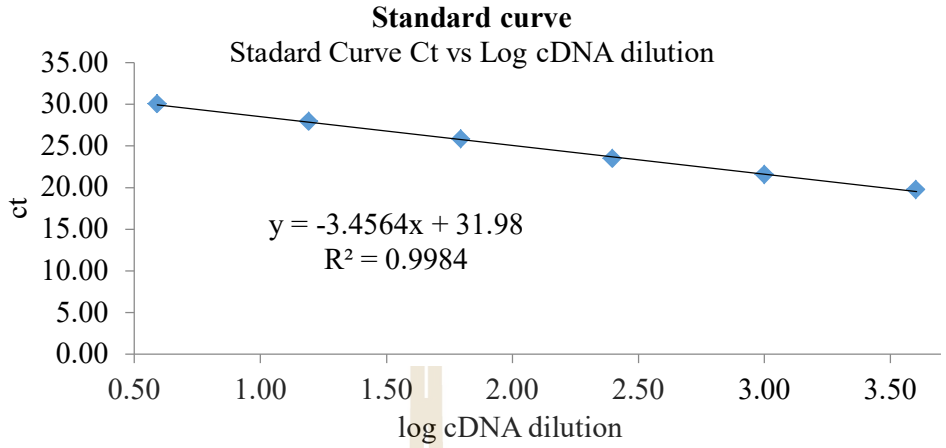


Efficiency of primer (E) = $(10^{-1/\text{slope}-1})$ x100

Slope = -3.3722

Efficiency of primer (E) = 97.94

ภาพที่ ก.3 Primer efficiency ของยีน L-FABP ในเนื้ออก

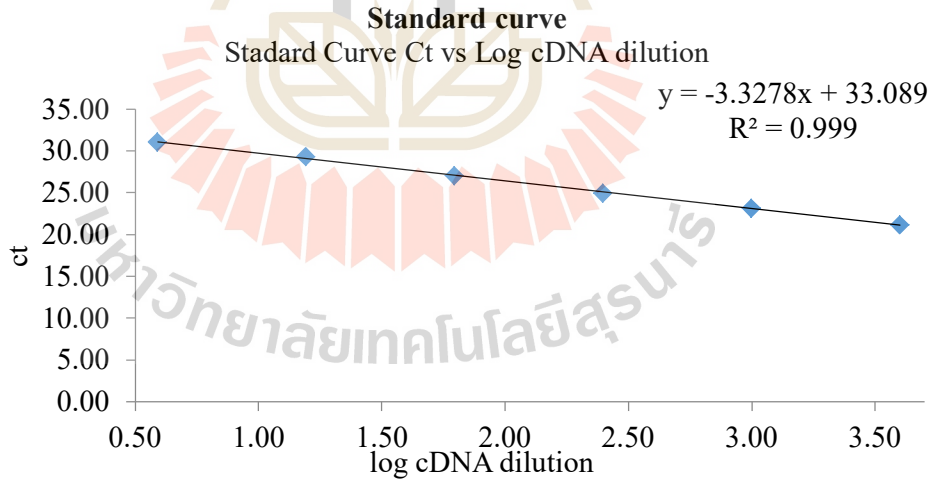


Efficiency of primer (E) = $(10^{-1/slope-1})$ x100

Slope = -3.4564

Efficiency of primer (E) = 94.70

ภาพที่ ก.4 Primer efficiency ของยีน PPARA ในตับ



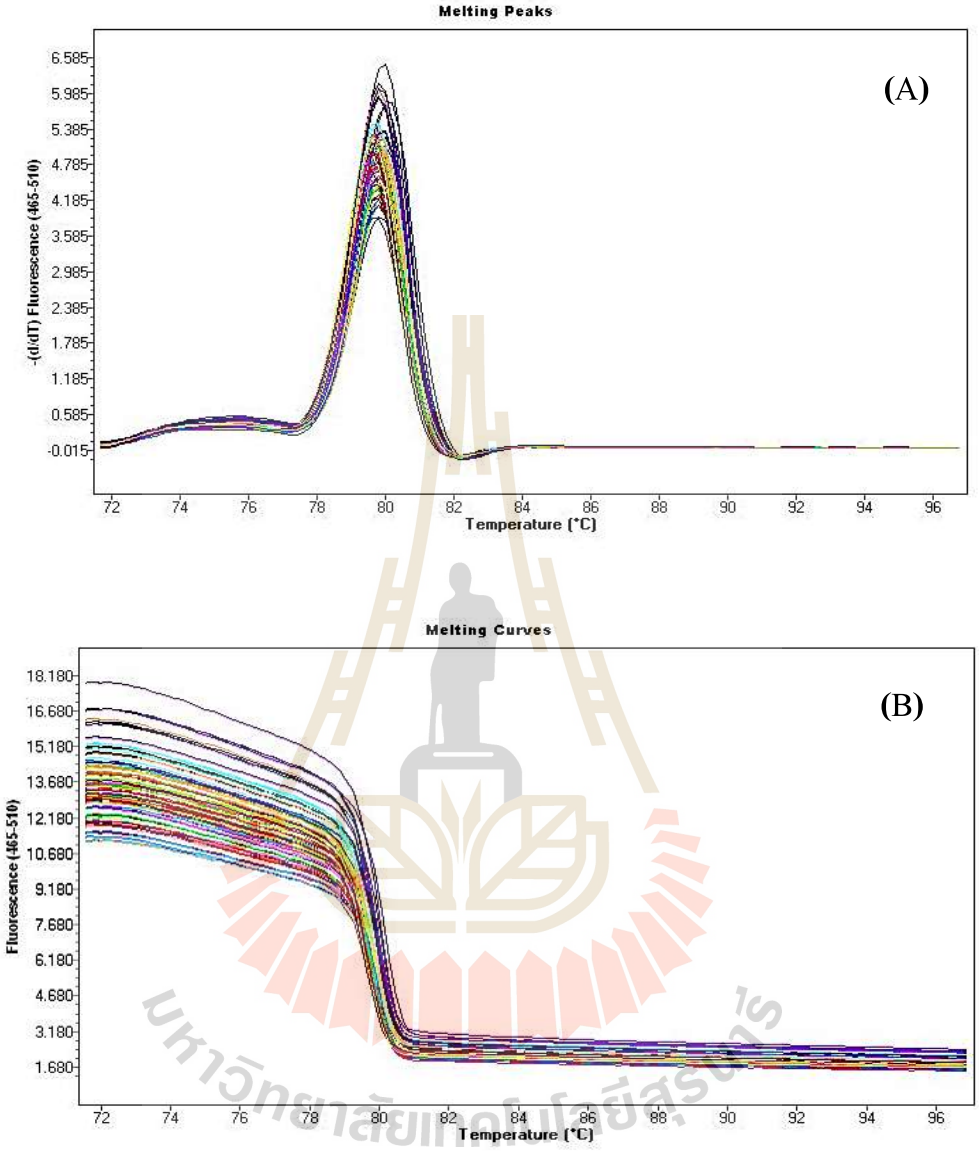
Efficiency of primer (E) = $(10^{-1/slope-1})$ x100

Slope = -3.3278

Efficiency of primer (E) = 99.80

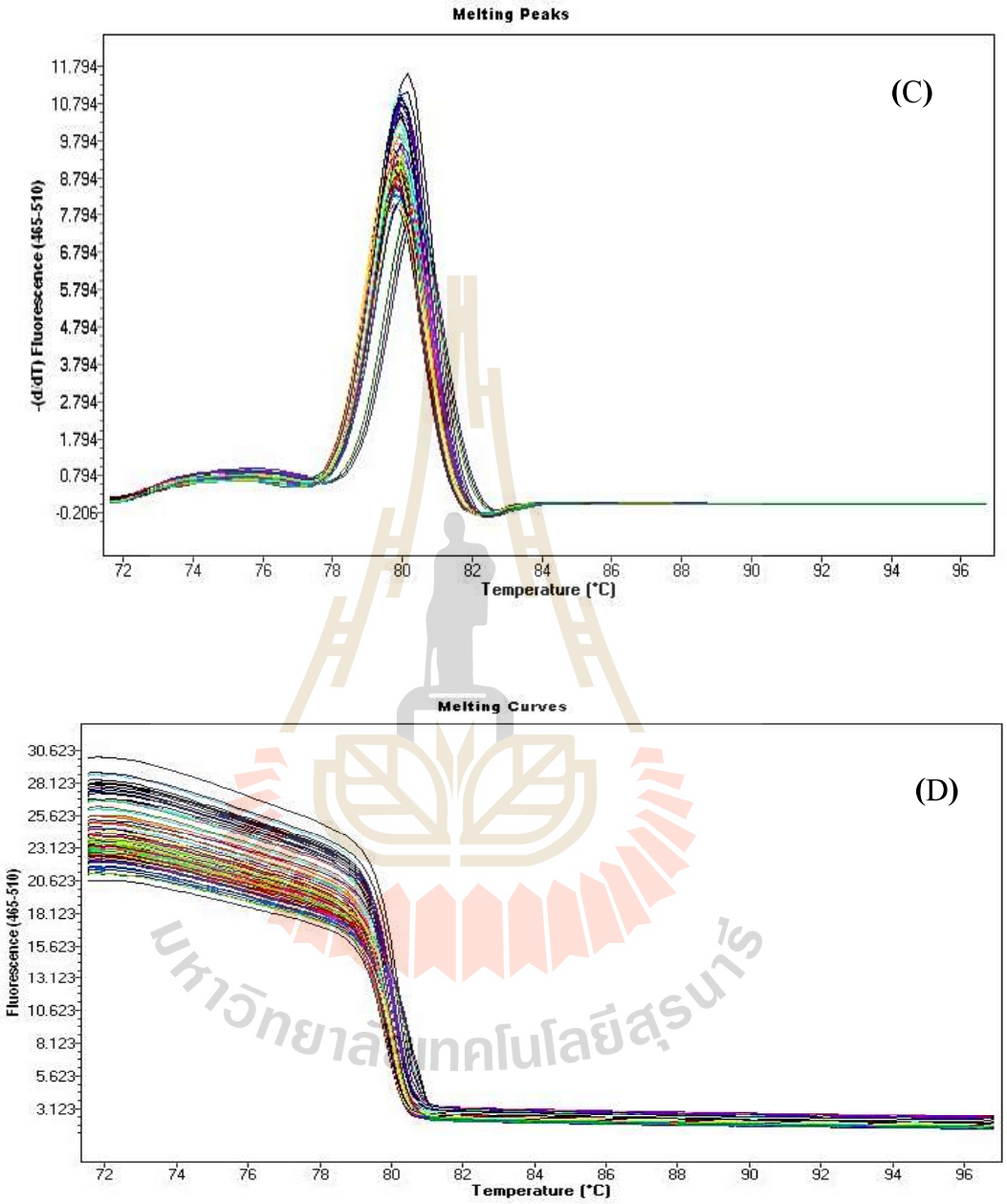
ภาพที่ ก.5 Primer efficiency ของยีน LPL ในเนื้ออก

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **GADPH** ในเนื้อออก



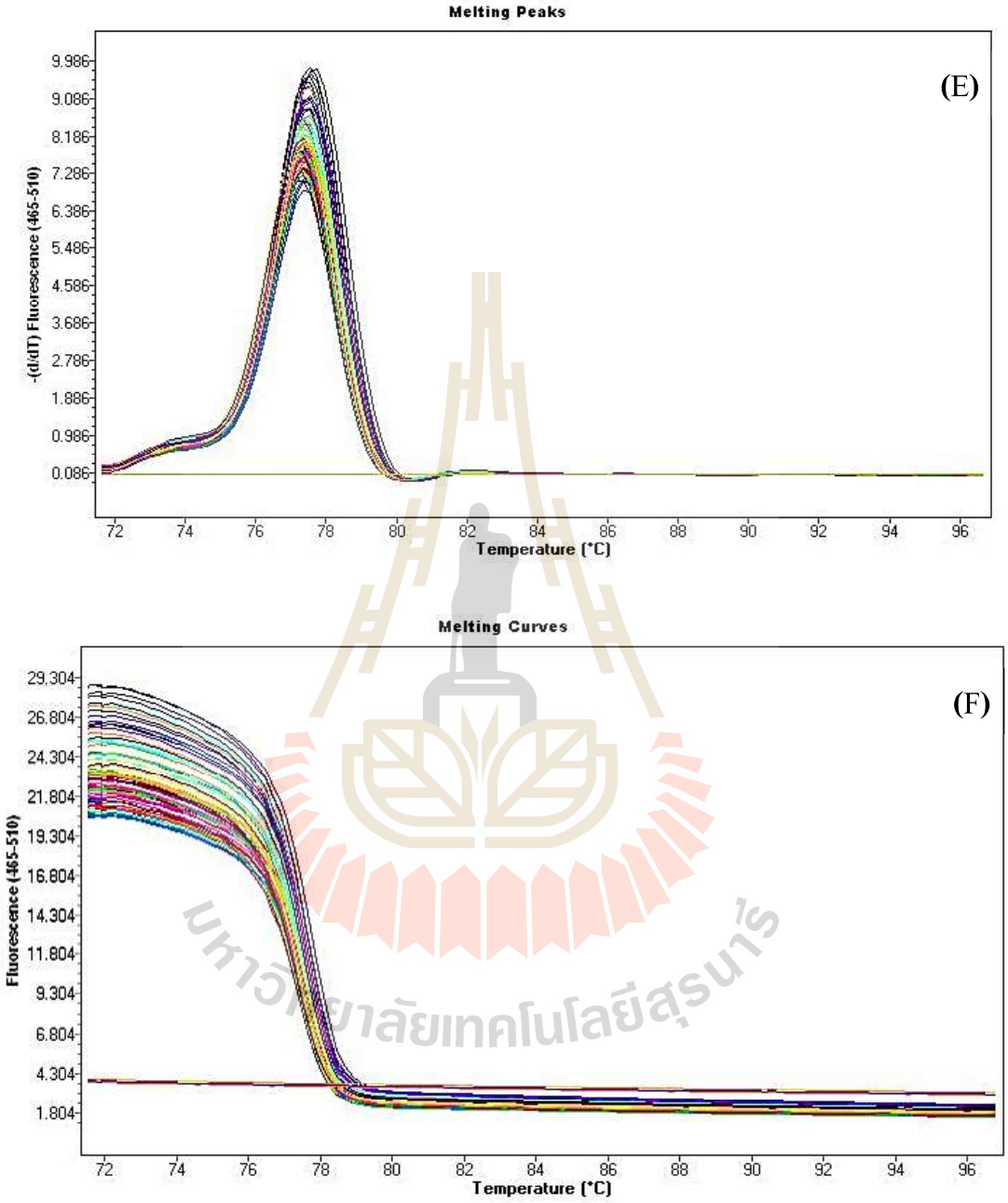
ภาพที่ ก.6 Melting Curve ของยีน **GADPH** (A) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (B) โดยใช้ SYBR green (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) ด้วยเครื่อง Real-time PCR

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **GADPH** ในตับ



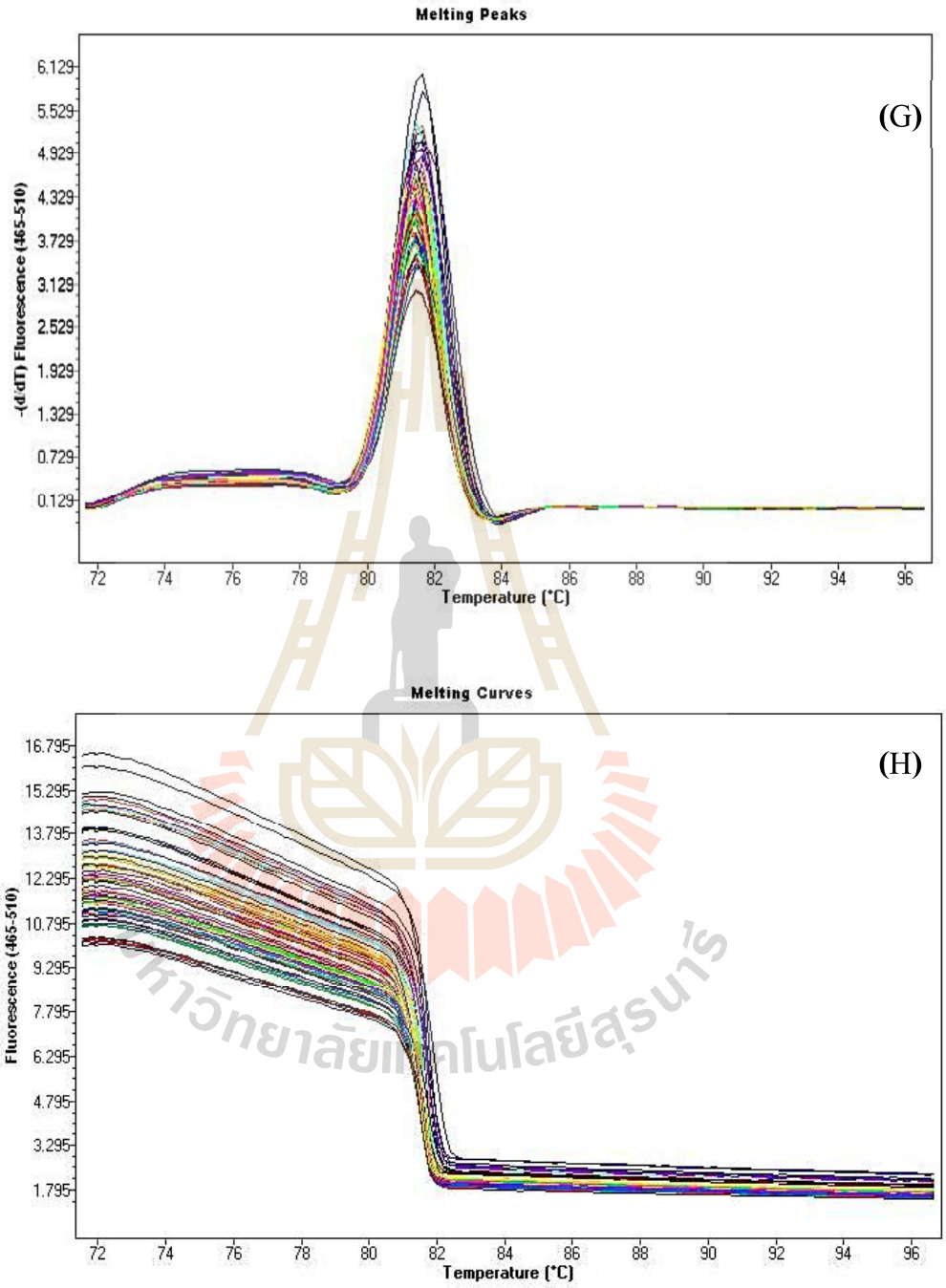
ภาพที่ ก.7 Melting Curve ของยีน **GADPH** (C) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (D) โดยใช้ SYBR green (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) ด้วยเครื่อง Real-time PCR

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **PPAR$_\alpha$** ที่บริเวณตับ



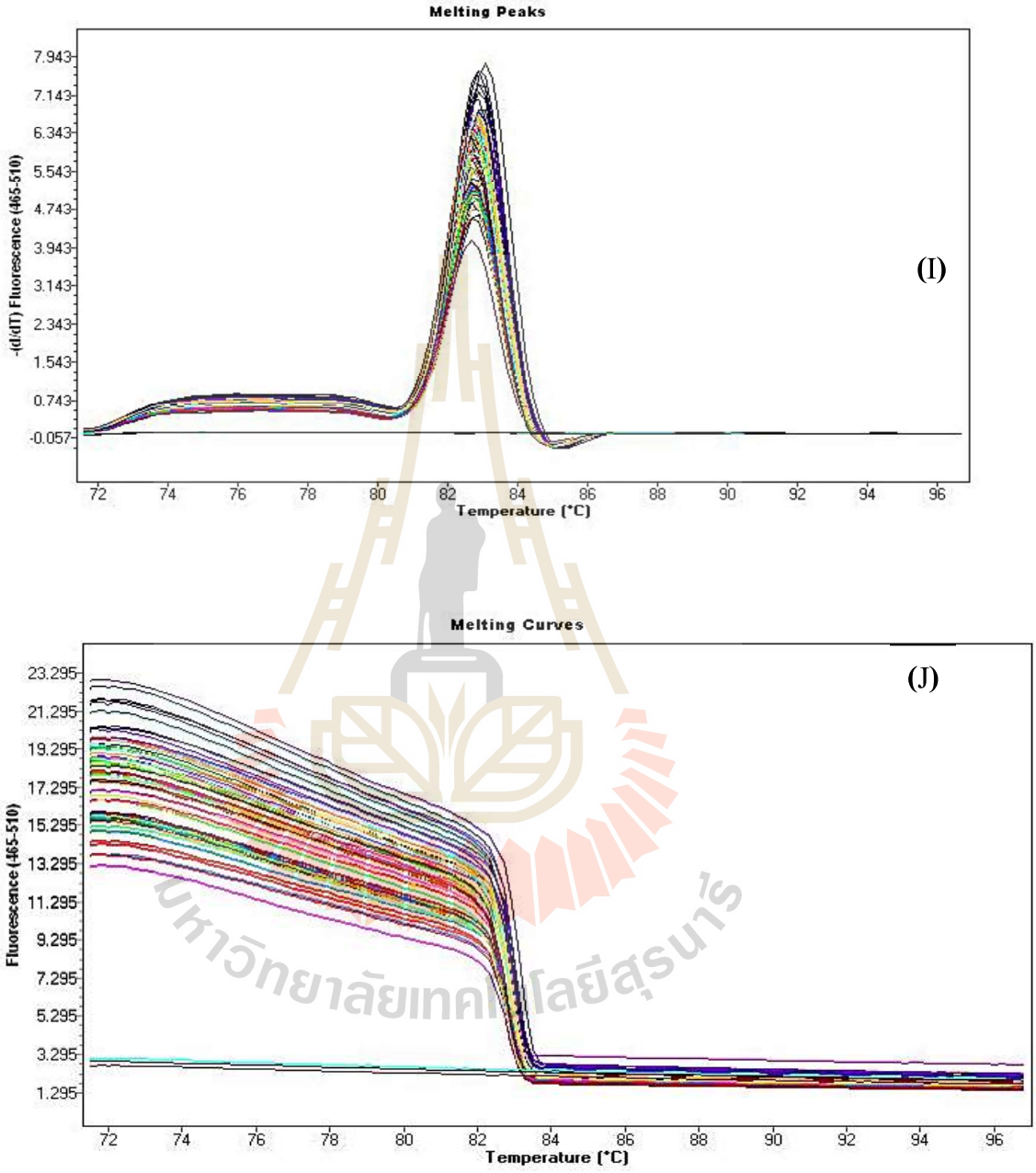
ภาพที่ ก.8 Melting Curve ของยีน **PPARA** (E) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (F) โดยใช้ SYBR green (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) ด้วยเครื่อง Real-time PCR

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **L-FABP** ที่บริเวณตับ



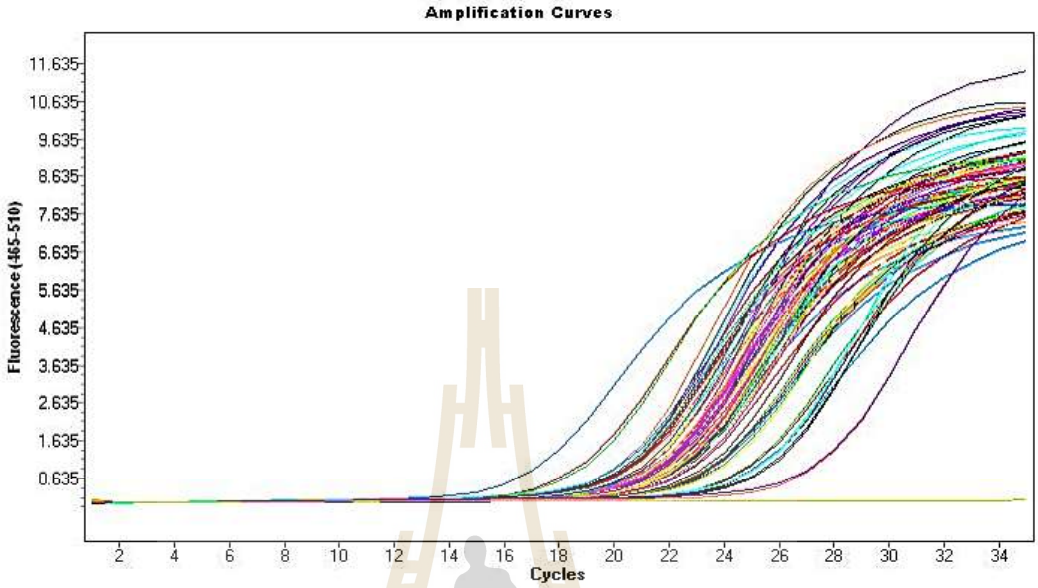
ภาพที่ ก.9 Melting Curve ของยีน **L-FABP** (G) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (H) โดยใช้ SYBR green (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) ด้วยเครื่อง Real-time PCR

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **LPL** ที่บริเวณเนื้อออก



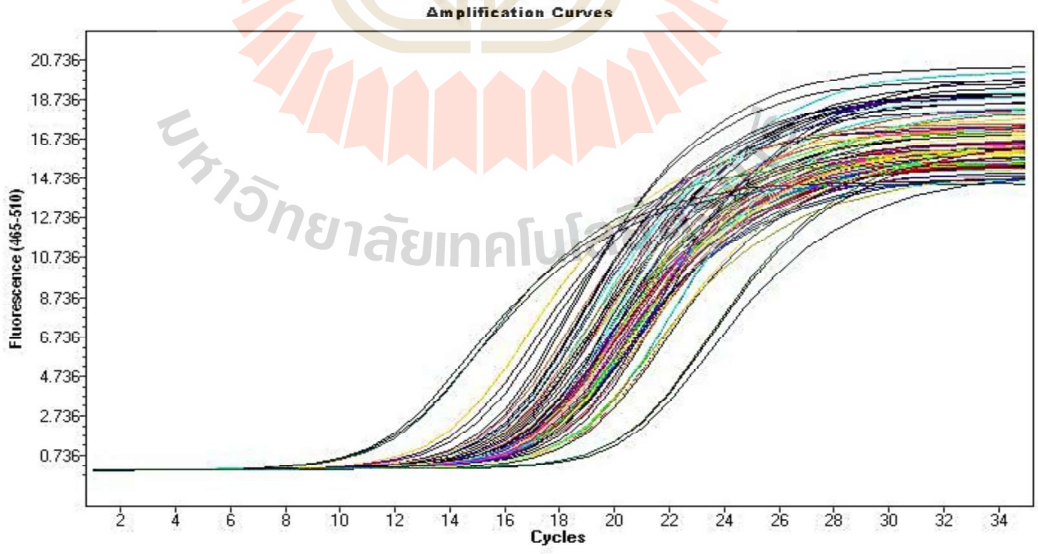
ภาพที่ ก.10 Melting Curve ของยีน **LPL** (I) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescence กับอุณหภูมิ (J) โดยใช้ SYBR green (Applied Biosystems, Foster City, U.S.A) ด้วยเครื่อง Real-time PCR

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **GADPH** ในเนื้ออก



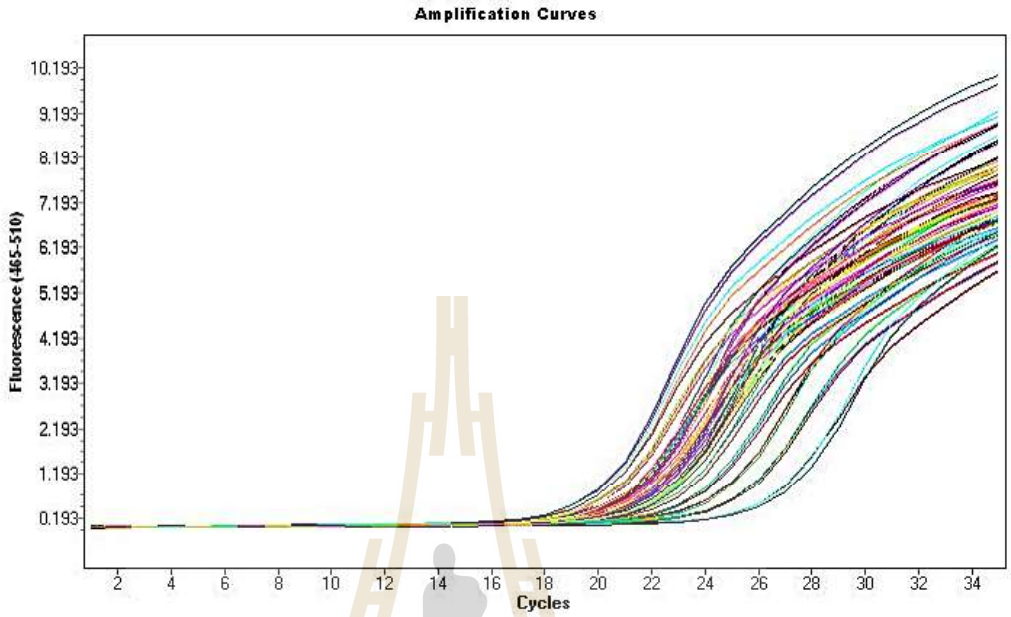
ภาพที่ ก.11 Amplification of breast **GADPH** gene expression threshold of real-time PCR reaction

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **GADPH** ในตับ



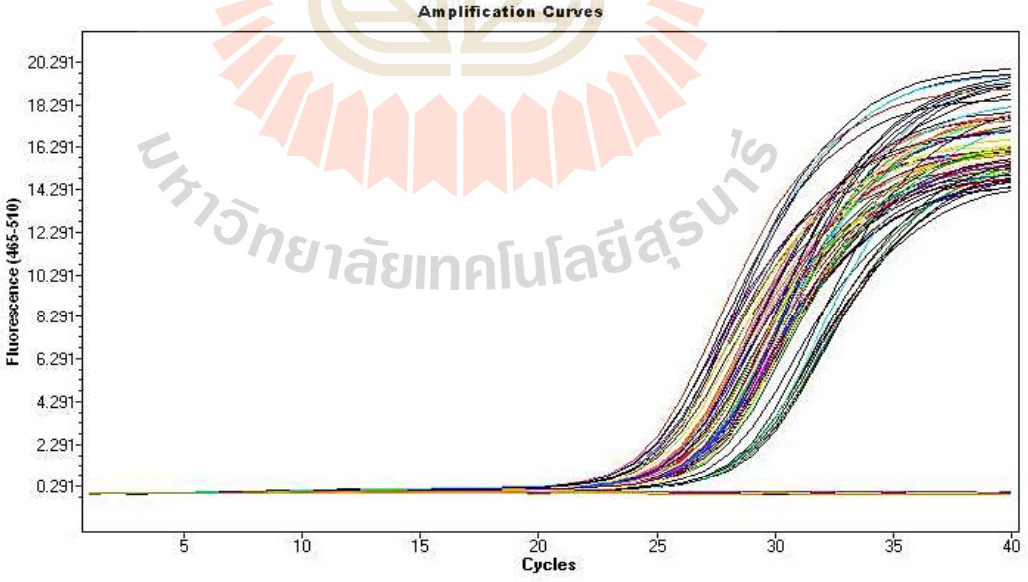
ภาพที่ ก.12 Amplification of liver **GADPH** gene expression threshold of real-time PCR reaction

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **L-FABP** ในตับ



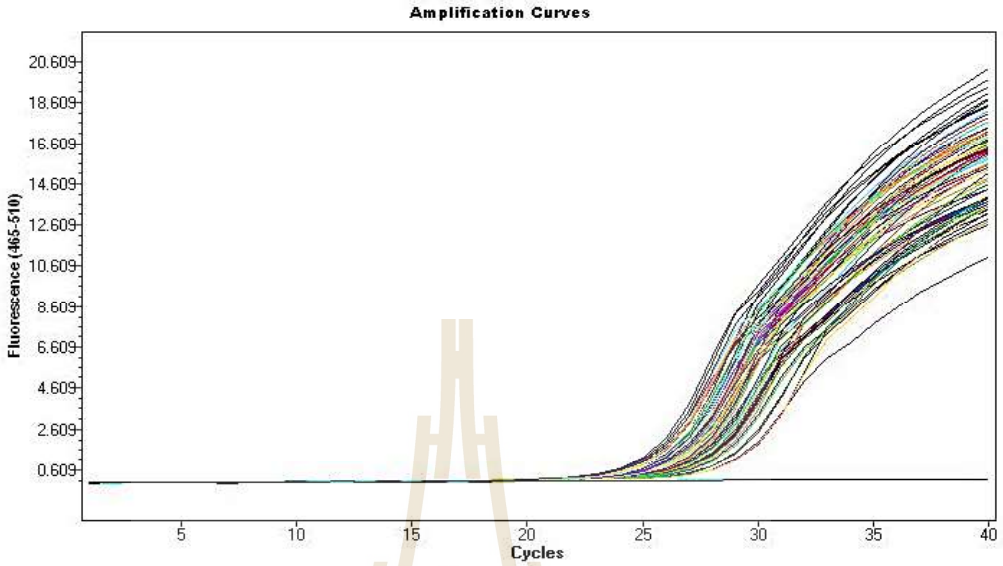
ภาพที่ ก.13 Amplification of *L-FABP* gene expression threshold of real-time PCR reaction

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **PPAR$_{\alpha}$** ในตับ



ภาพที่ ก.14 Amplification of **PPARA** gene expression threshold of real-time PCR reaction

ภาพประกอบเพื่อดูระดับการแสดงออกของยีน **LPL** ในเนื้อออก



ภาพที่ ก.15 Amplification of **LPL** gene expression threshold of real-time PCR reaction

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาววิชชุตา ขอสินกลาง เกิดวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมที่โรงเรียนบุญวัฒนา อ.เมือง จ.นครราชสีมา และเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษา (เกียรตินิยมอันดับ 2) เมื่อ พ.ศ. 2558 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ด้วยทุนเรียนดี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ในปีการศึกษา 2559 และในปีการศึกษา 2561 มีโอกาสได้รับทุนจาก The university of Tours ประเทศฝรั่งเศส เพื่อไปแลกเปลี่ยนเรียนรู้เทคนิคในการทำแลปประมาณ 2 เดือนครึ่ง และมีโอกาสได้ไปนำเสนอผลงานบางส่วนในหัวข้อเรื่อง อิทธิพลของระดับและระยะเวลาในการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบของ n-3 PUFA และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมแทบอลิซึมของกรดไขมันในไก่โคราช ในงานวิทยาศาสตร์สัตว์ปีกโลก สาขาประเทศไทย ประจำปี 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี