ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่ออัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่

นางสาวสุวิมล พิทักษ์วงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

EFFECT OF DIETARY RATIO OF SOYBEAN OIL TO TUNA OIL ON OMEGA-6 TO OMEGA-3 FATTY ACID RATIO, CHOLESTEROL CONTENT IN EGG YOLK, AND IMMUNE SYSTEM IN LAYERS

Suwimol Pitagwong

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 2014

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่ออัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.สุรินทร บุญอนันธนสาร)
ประธานกรรมการ

_____

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.สุทิศา เข็มผะกา)
กรรมการ

_____

(ผศ. น.สพ. ดร.บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)
กรรมการ

_____

(ผศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุวิมล พิทักษ์วงษ์ : ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่ออัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่ (EFFECT OF DIETARY RATIO OF SOYBEAN OIL TO TUNA OIL ON OMEGA-6 TO OMEGA-3 FATTY ACID RATIO, CHOLESTEROL CONTENT IN EGG YOLK AND IMMUNE SYSTEM IN LAYERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี, 89 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก ต่อสมรรถนะการผลิต ส่วนประกอบของกรดไขมัน อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกัน โดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ทางการค้า (Isa Brown) อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว สุ่มไก่เข้ากลุ่มการทดลองที่มีการเสริมน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสัดส่วน 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ตามลำดับ โดยในแต่ละกลุ่มทดลองแบ่งไก่ออกเป็น 4 ซ้ำ ๆ 15 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการกินได้ของไก่ไข่เมื่อพิจารณาตลอดการทดลองลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) โดยปริมาณการกินได้ต่ำสุดในอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า 0 : 100 ส่งผลให้ผลิตไข่และน้ำหนักไข่มีค่าลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่ต่ำสุดในอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า 0 : 100 เช่นกัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ตลอดการทดลองด้อยลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่สัดส่วน 50 : 50 ขึ้นไปในสูตรอาหาร ในด้านคุณภาพไข่พบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไข่ ($P>0.05$)

ในด้านองค์ประกอบของกรดไขมัน และอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดง พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารจะส่งผลให้มีการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงสูงขึ้น ($P<0.05$) และในขณะเดียวกันก็ยังส่งผลในการลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดงให้ต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ในด้านสุขภาพไก่ไข่ พบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าส่งผลให้ปริมาณอิมโนโกลบูลิน มีทิศทางเพิ่มสูงขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการให้อาหารที่มีสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปลาทูน่าที่สัดส่วน 25 : 75 มีผลช่วยในการเพิ่มสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 และช่วยลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้ไข่ และคุณภาพไข่ นอกจากนี้ยังทำให้ไก่ไข่มีภูมิคุ้มกันสูงขึ้นด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SUWIMOL PITAGWONG : EFFECTS OF DIETARY RATIO OF SOYBEAN OIL TO TUNA OIL ON OMEGA-6 TO OMEGA-3 FATTY ACID RATIO, CHOLESTEROL CONTENT IN EGG YOLK AND IMMUNE SYSTEM IN LAYERS. THESIS ADVISOR : WITTAWAT MOLEE, Ph.D., 89 PP.

SOYBEAN OIL/TUNA OIL/OMEGA-3 FATTY ACID/OMEGA-6 FATTY ACID/ CHOLESTEROL/LAYERS

This study was carried out to investigate the effects of the ratio of soybean oil to tuna oil in corn-soy-based diets on productive performance, fatty acid composition, omega-6 to omega-3 fatty acid ratio, cholesterol content in egg yolk, and the immune system in laying hens. Three hundred 30-wk-old Isa Brown laying hens were randomly assigned to 1 of 5 dietary ratios of soybean oil to tuna oil as follows : 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, or 0 : 100, respectively. Each treatment was represented by 4 replications containing 15 birds each. The experiment was conducted for 12 weeks. The results showed that feed intake was cubically decreased ($P<0.05$) by increasing the proportion of tuna oil in the diet. The lowest feed intake was observed at the ratio of 0 : 100. Consequently, egg production and egg weight were cubically decreased ($P<0.05$) by increasing the proportion of tuna oil in the diet. The lowest egg production and egg weight were also observed at the ratio of 0 : 100. The feed conversion ratio was linearly increased ($P<0.05$) from a ratio of 50 : 50 to 0 : 100. The dietary ratio of soybean oil to tuna oil did not affect egg quality ($P>0.05$).

The proportion of omega-3 fatty acids in egg yolk was increased (P<0.05) by increasing the proportion of tuna oil in diets resulting in a decrease of omega 6 to omega-3 ratio (P<0.05) in egg yolk. Additionally, cholesterol content in egg yolk was decreased (P<0.05) by increasing the proportion of tuna oil in the diet. Meanwhile, a linear increase of immunoglobulin was positively related to the proportion of tuna oil in the diets (P<0.05).

This study indicates that the feeding ratio of dietary soybean oil to tuna oil at the rate of 25 : 75 increased the proportion of omega-3 fatty acids and decreased the ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids without negative effects on productive performance and egg quality. Moreover, it also increased the immunity in laying hens.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Animal Production Technology Student's Signature_____

Academic Year 2014 Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วิทธวัช โมฬี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ การดำเนินการวิจัย การเขียนและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ตลอดจนสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการทำวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสำเร็จขึ้นมาได้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ดำเนินงานวิจัย ตลอดจนบุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัยที่ช่วยเหลือระหว่างการทำวิจัย และให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดมา

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตลอดจนบุคลากรอาคารเครื่องมือ 1 3 และ 10 ที่ได้อำนวยความสะดวกให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในระหว่างการทำวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาบัณฑิตศึกษาทุกคน ตลอดจนน้อง ๆ ที่เรียนระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออุดร และคุณแม่สุมาลี พิทักษ์วงษ์ ตลอดจนญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สุวิมล พิทักษ์วงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 4

2.2 บทบาทของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 โอเมก้า-3 และอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันทั้งสองชนิดต่อสุขภาพของบริโภค 5

2.3 แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ 6

2.4 น้ำมันปลาทูน่า 8

2.5 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตในไก่ไข่ 9

2.6 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อคุณภาพ และองค์ประกอบในไข่ไก่ 13

2.7 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ไก่ 13

2.8 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ 19

2.9 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดไก่ไข่ 20

2.10 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อระบบภูมิคุ้มกัน 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีการดำเนินการวิจัย 24
3.1 สัตว์และการจัดกลุ่มทดลอง 24
3.2 การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ทางเคมี 26
3.2.1 การศึกษาสมรรถนะการผลิตไข่ (egg performance) 26
3.2.2 การศึกษาคุณภาพไข่ไก่ (egg quality) 26
3.2.3 การศึกษาหาปริมาณกรดไขมันในไข่แดง 27
3.2.4 การศึกษาหาปริมาณคอเลสเตอรอลไข่แดง 28
3.2.5 การศึกษาด้านสุขภาพไก่ไข่ 28
3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ 29
3.4 ระยะเวลาและสถานที่ในการทำวิจัย 29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 30
4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่า และน้ำมันถั่วเหลือง 30
4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง 31
4.3 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ 33
4.4 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อคุณภาพ และองค์ประกอบในไข่ไก่ 38
4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อกรดไขมันในไข่แดง 42
4.6 การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในไข่แดง ตลอดการทดลอง 50
4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง 54
4.8 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และไขมันในไข่แดง 58
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ตลอดการทดลอง 60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.10 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อค่าทางชีวเคมีในเลือดไก่ไข่ 61
4.11 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 64
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 66
5.1 บทสรุป 66
5.2 ข้อเสนอแนะ 67
เอกสารอ้างอิง 68
ภาคผนวก 75
ประวัติผู้เขียน 89

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันจากแหล่งน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (% of total fatty acid) 7
2.2 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตในไก่ไข่ 10
2.3 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อคุณภาพไข่และองค์ประกอบในไข่ไก่ 14
2.4 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบกรดไขมันในไข่ไก่ (% of total fatty acid) 16
2.5 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ 20
2.6 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์ คอเลสเตอรอล และ HDL ในเลือดไก่ไข่ 22
3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในอาหารทดลอง 25
4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่า และน้ำมันถั่วเหลือง (% of total fatty acid) 31
4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง (% of total fatty acid) 32
4.3 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ 35
4.4 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพ และองค์ประกอบในไข่ไก่ 40
4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) 44
4.6 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) 46
4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) 48
4.8 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง (mg/100 g yolk) 56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.9 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และไขมันในไข่ไก่ 59
4.10 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อค่าทางชีวเคมีในเลือดไก่ไข่ 63
4.11 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร
ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 65
ก. 1 วิธีการเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน 81
ก. 2 ชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography
(Supelco 37 Componant FAME Mix) 86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในตระกูลโอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 4
2.2 การเปลี่ยนแปลงการบริโภคอาหาร 6
2.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปลาทูน่าดิบ 8
2.4 กระบวนการเมทาบอลิซึมของคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ 21
2.5 กระบวนการเมทาบอลิซึมของ Archidonic acid และ Eicosapentaenoic acid ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน 23
4.1 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน LA ในไข่แดงตลอดการทดลอง 51
4.2 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน ALA ในไข่แดงตลอดการทดลอง 51
4.3 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน EPA ในไข่แดงตลอดการทดลอง 52
4.4 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน DHA ในไข่แดงตลอดการทดลอง 53
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงตลอดการทดลอง 60
ก.1 พื้นที่การนับเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ในช่อง R ที่แผ่นแก้วนับเม็ดเลือด 78
ก.2 พื้นที่การนับเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ในช่อง W ที่แผ่นแก้วนับเม็ดเลือด 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความห่วงใยต่อสุขภาพมากขึ้น จึงเลือกที่จะบริโภคอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพของตนเอง จึงเกิดผลิตภัณฑ์สินค้าตลาดบนหรือที่เรียกว่าตลาดจำเพาะ (niche market) ป้อนสินค้าให้กับผู้บริโภคที่มีความสามารถในการจับจ่ายซื้อหาสินค้าดังกล่าว เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดและโรคหัวใจ จากข้อมูลพบว่าคนไทยป่วยด้วยโรคหลอดเลือดและโรคหัวใจเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สาเหตุหนึ่งของปัญหาดังกล่าวมาจากการบริโภคอาหารที่มีไขมันและคอเลสเตอรอลสูง โดยเฉพาะอาหารจานด่วน (fast food) รวมทั้งการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันที่ไม่สมดุลต่อร่างกาย เนื่องจากอาหารที่บริโภคกันทั่วไปนั้นมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ประมาณ 20-25 : 1 (Coetzee and Hoffman, 2002) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูง และส่งผลเสียต่อสุขภาพ โดยสัดส่วนที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 5 : 1 (Wijendran and Hayes, 2004; Haz, Arringa, Cambero, and Ordonez, 2004) ดังนั้นการเพิ่มการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มากขึ้น จึงเป็นทางเลือกในการปรับสมดุลของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ให้เหมาะสม ซึ่งจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นองค์ประกอบถูกผลิตออกมาสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำมันปลาทะเลเป็นอาหารเสริมอีกตัวหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นองค์ประกอบหลัก และมีผลการศึกษาพบว่ากรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากและมะเร็งเต้านม (Pandalai, Pilat, Yamazaki, Naik, and Pienta, 1996) ช่วยลดการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด และลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ (Kris-Etherton, Harris, and Appel, 2002; Harper and Jacobson, 2005) ได้ และยังเป็นการปรับสมดุลกรดไขมันที่ได้รับให้มีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ที่เหมาะสมขึ้น แต่เนื่องจากกรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ในร่างกาย เพราะขาดเอนไซม์ delta-12 และ delta-15 desaturases ในการเพิ่มพันธะคู่ จึงทำให้กรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็น ต้องได้รับโดยตรงจากการบริโภคอาหาร โดยกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จะพบได้ในอาหารประเภทปลาทะเลน้ำลึกที่มีราคาแพง เช่น ปลาทูน่า และปลาแซลมอล เป็นต้น และจากประโยชน์ของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จึงเริ่มมีการปรับปรุงให้อาหารที่บริโภคกันโดยทั่วไปมีการสะสมกรดไขมันในกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น เช่น การผลิตไข่โอเมก้า-3 เนื่องจากไข่เป็นอาหารโปรตีนที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีราคาถูก และนิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย จึงนิยมนำไข่มาพัฒนา เพื่อปรับให้เป็นอาหาร

สุขภาพ มีรายงานว่าการเสริมน้ำมันปลาทะเล (fish oil) ในอาหารไก่ไข่ สามารถส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ในไข่เพิ่มสูงขึ้นได้ (Garcia-Rebollar, Cachaldora, Alvarez, De Blas, and Mendez, 2008; Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000) จึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพของไข่ไก่ให้ดียิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในกลุ่มที่รักสุขภาพ และเป็นการเพิ่มช่องทางให้กับเกษตรกรในการผลิตสินค้าที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ใช้เสริมในอาหารไก่ไข่ ส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่ง คือ พืชน้ำมัน (ได้แก่ linseed และ canola เป็นต้น) ซึ่งเป็นแหล่งของ α-linolenic acid (ALA) และน้ำมันจากปลาทะเลน้ำลึก (fish oil) ซึ่งเป็นแหล่งของ eicosapentaenic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ดังนั้นการเสริมน้ำมันพืชจำพวก linseed oil และ canola oil ในอาหารไก่ไข่ จึงไม่ได้ให้ผลผลิตไข่ไก่ที่มี EPA และ DHA เพิ่มขึ้น การที่ไข่มี EPA และ DHA สูงนั้นได้มาจากการเสริมน้ำมันจากปลาทะเลในอาหารไก่ไข่ (Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000; Alvarez, Cachaldora, Mendez, Garca-Rebollar, and De Blas, 2004; Cachaldora, Garca-Rebollar, Alvarez, De Blas, and Mndez, 2006) ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 พบมากในอาหารที่บริโภคทั่วไป เช่น น้ำมันถั่วเหลือง แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาให้ความสนใจเสริมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มากกว่าสมดุลของกรดไขมันทั้งสองชนิด ดังนั้นในการปรับสูตรอาหารเพื่อใช้ผลิตไข่ไก่ จึงควรคำนึงถึงสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ด้วย เนื่องจากกลไกการสังเคราะห์และการสะสมกรดไขมันในสัตว์ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของกรดไขมันชนิดนั้น ๆ ที่สัตว์ได้รับจากอาหาร นอกจากนี้สัดส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ยังมีบทบาทและความสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกัน โดยกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โดยจะกระตุ้นการสร้าง eicosanoids prostaglandins leukotrienes และ thromboxanes แต่เนื่องจากกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ทำงานต้านกัน (Calder, 2006) จึงทำให้มีผลต่อการสร้างระบบภูมิคุ้มกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลในการศึกษาผลของสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ที่เหมาะสมในสูตรอาหารไก่ไข่ ต่อการปรับปรุงคุณภาพไข่ไก่ สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า- 6 และโอเมก้า-3 รวมทั้งผลต่อสุขภาพของไก่ไข่ ยังมีงานที่ศึกษาวิจัยไม่เพียงพอ และนักวิจัยให้ความสำคัญกับบทบาทของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มากกว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในสูตรอาหาร

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อหาสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ที่เหมาะสมในสูตรอาหารไก่ไข่ ต่อการปรับปรุงคุณภาพไข่ และสุขภาพของไก่ไข่ในด้านระบบภูมิคุ้มกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก ต่อสมรรถนะการผลิต ส่วนประกอบของกรดไขมัน อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การปรับสัดส่วนของน้ำมันทั้งสองชนิดนี้ในสูตรอาหาร จะมีผลต่อสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในสูตรอาหาร ทำให้ทราบสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันถั่ว-เหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลักที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต แต่เพิ่มปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และส่งผลดีต่อสุขภาพไก่ไข่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะคัดเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีส่วนประกอบของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นหลัก โดยทำการศึกษาในไก่ไข่สายพันธุ์ Isa Brown อายุ 30-41 สัปดาห์ รวมระยะเวลาในการทดลอง 12 สัปดาห์ เพื่อดูแนวโน้มของผลผลิตการให้ไข่ไก่ในระยะยาวด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

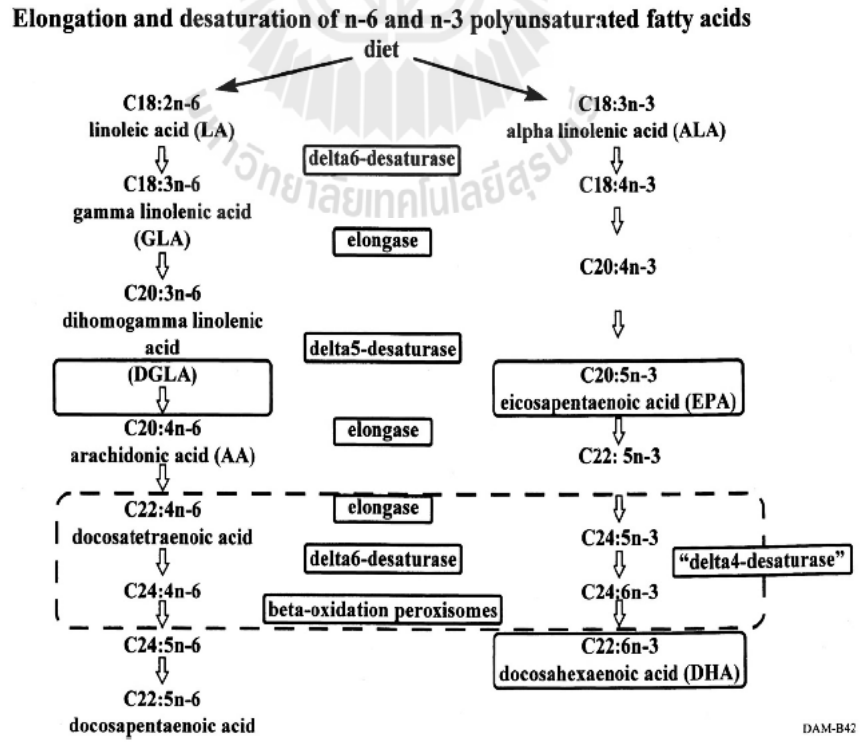
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

องค์ความรู้ที่เกิดขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับผู้ผลิตไข่ไก่คุณภาพดีป้อนตลาดจำเพาะ ซึ่งเป็นสินค้าที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3

กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated fatty acids, PUFA) โดยมี linoleic acid (LA, C18 : 2n-6) และ α-linolenic acid (ALA, C18 : 3n-3) เป็นกรดไขมันต้นกำเนิดของทั้งสองกลุ่มตามลำดับ แต่เนื่องจากกรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ในร่างกาย เพราะขาดเอนไซม์ delta-12 และ delta-15 desaturases ในการเพิ่มพันธะคู่ จึงทำให้กรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids) ต้องได้รับโดยตรงจากการบริโภคอาหารเท่านั้น กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้สามารถสังเคราะห์เป็นกรดไขมันชนิดอื่นได้ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ที่สำคัญ ได้แก่ eicosapentaenoic acid (EPA, C20 : 5n-3) และ docosahexaenoic acid (DHA, C22 : 6n-3)



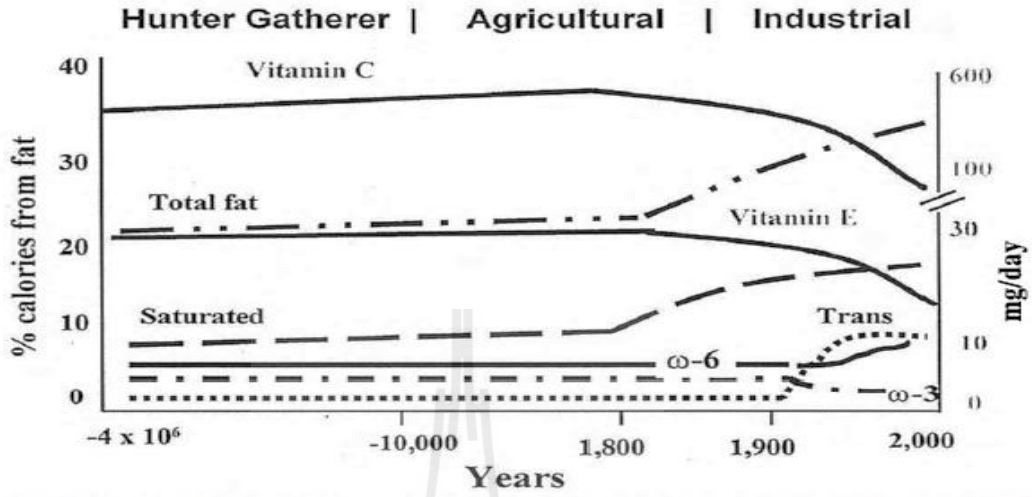
ภาพที่ 2.1 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในตระกูลโอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 (Simopoulos, 2008)

กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 พบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันทานตะวัน เป็นต้น ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 พบมากในน้ำมันลินซีด ซึ่งมี ALA สูง และน้ำมันจากปลาทะเลน้ำลึก ซึ่งมี EPA และDHA สูง กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มีประโยชน์ต่อการพัฒนาของเอ็มบริโอ ช่วยบำรุงระบบสมองและดวงตาโดยตรง (Budowski and Crawford, 1986; Anderson, Connor, Corliss, and Lin, 1989) ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 มีประโยชน์ต่อการทำงานของเอนไซม์ และการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (Murphy, 1990)

2.2 บทบาทของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 โอเมก้า-3 และอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันทั้งสองชนิดต่อสุขภาพของผู้บริโภค

อาหาร สิ่งแวดล้อม และพันธุกรรม เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (Simopoulos, 2002) โดยอาหารเป็นอีกปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา โดยในช่วงยุคก่อนการเกษตร (Hunter Gatherer) อาหารที่มนุษย์บริโภคเป็นอาหารที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งมีความสมดุลทั้งพลังงาน ไขมัน และวิตามิน อาหารในธรรมชาติมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 เกือบเท่า ๆ กัน แต่เมื่อเทคโนโลยีทางด้านการเกษตรสูงขึ้น เริ่มเข้าสู่ช่วงยุคเกษตร (Agricultural) มนุษย์เริ่มมีการเพาะปลูกอาหารเองโดยเฉพาะพวกธัญพืช ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 แต่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 และวิตามินที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ต่ำ และในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคอุตสาหกรรม (Industrial) ด้วยวิถีชีวิต และอาหารที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ผู้บริโภคได้รับอาหารที่มีสัดส่วนไม่สมดุล ทั้งกรดไขมัน และพลังงาน โดยมีการบริโภคไขมันเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2.2 ส่งผลให้เพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 มีความจำเป็นต่อร่างกายโดยช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต ช่วยในการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ และระบบประสาท จึงทำให้เกิดกระแสการบริโภคกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 เป็นที่ยอมรับกันว่ากรดไขมันกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากและมะเร็งเต้านม (Pandalai et al., 1996) ช่วยลดการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด และลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ (Temple, 1996) ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานได้ผลการศึกษาที่ตรงกันเกี่ยวกับความสัมพันธ์จากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 และการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ นอกจากนี้กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นสารตั้งต้นในการผลิต eicosanoids ที่มีผลยับยั้งการอักเสบ การแข็งตัวของเลือด หัวใจเต้นผิดปกติ และลดความดัน แต่หากปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ไม่สมดุลก็จะไม่ได้ประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างเต็มที่ ปัจจุบันมีงานวิจัยรายงานการบริโภคกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 สูงเกินไปเมื่อเทียบกับกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง รวมทั้งโรคหัวใจและมะเร็ง ดังนั้นควรเลือกรับประทานไขมันที่เป็นไขมันดี และมีความสมดุล จะเป็นผลดีต่อสุขภาพ โดยสัดส่วนที่เหมาะสม

ของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 คือ ไม่เกิน 5 : 1 (Wijendran and Hayes, 2004; Haz et al., 2004)



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงการบริโภคอาหาร (Simopoulos, 2002)

2.3 แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์

จากตารางที่ 2.1 แสดงแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ แหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่เสริมในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่ง คือ จากน้ำมันพืช ได้แก่ linseed oil และ rapeseed oil ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมัน 50% เป็นกรดไขมันชนิด ALA และจากปลาทะเลน้ำลึก (fish oil) ซึ่งเป็นแหล่งของ DHA และ EPA น้ำมันจากปลาทะเล น้ำลึกที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์มีหลายชนิด เช่น herring oil salmon oil sardine oil และ tuna oil เป็นต้น ซึ่งปลาแต่ละชนิดจะมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 แตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่อาศัย และอาหารที่ได้รับ ดังนั้นการนำแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จากพืชน้ำมันมาใช้ในอาหารสัตว์ จะได้ผลผลิตที่มี ALA สูง ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์มีความสามารถเปลี่ยนรูป ALA เป็น EPA และ DHA ได้น้อยมาก โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยน ALA เป็น EPA ได้ 0.2% และเปลี่ยนจาก EPA เป็น DHA ได้เพียงแค่ 0.05% (Burdge and Calder, 2005) ซึ่ง EPA มีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการ อุดตันของเส้นเลือด ดังนั้นการเสริมน้ำมันปลาทะเลจะมีผลเพิ่ม DHA และ EPA ในผลิตภัณฑ์สัตว์ได้สูงกว่าการใช้พืชน้ำมันในสูตรอาหารเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันจากแหล่งน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (% of total fatty acid)

	C18 : 2n-6	C18 : 3n-3	C20 : 5n-3	C22 : 6n-3	n-6	n-3	References
Tuna crude oil	1.90	0.55	1.69	23.63	-	-	พรทิพย์ (2537)
Sardine oil	1.36	-	12.64	14.45	-	-	ยุวเรศ (2537)
Menhaden oil	0.7-2.8	0.8-2.3	1.5-2.7	4.6-13.8	-	-	Stansby (1990)
Fish oil	23.4	1.27	10.8	6.13	-	-	Baucells et al. (2000)
Marine fish oil	3.47	1.77	8.28	8.21	5.72	24.60	Cachaldora et al. (2006)
Marine fish oil[1]	0.96	0.53	21.20	7.04	4.10	35.10	
Marine fish oil[2]	1.42	0.51	8.03	20.90	4.58	32.30	
Marine fish oil	1.58	0.57	7.50	21.30	4.60	31.00	Garcia-Rebollar et al. (2008)
Linseed oil	15.70	56.10	nd[3]	nd	15.80	56.10	
Fish oil	1.58	0.56	7.51	21.00	4.92	30.80	Cachaldora et al. (2008a)
Soybean oil	54.80	8.32	0.09	-	54.80	8.40	
Linseed oil	16.80	47.70	0.02	0.02	16.80	47.80	
Marine fish oil[1]	1.10	1.30	17.10	8.00	2.31	28.50	Cachaldora et al. (2008b)
Marine fish oil[2]	2.20	1.00	6.70	17.30	4.03	26.30	
Fish oil	2.60	1.87	10.30	19.93	8.25	33.60	Kralik et al.(2008)
Linseed oil	16.09	56.97	-	-	16.32	57.10	

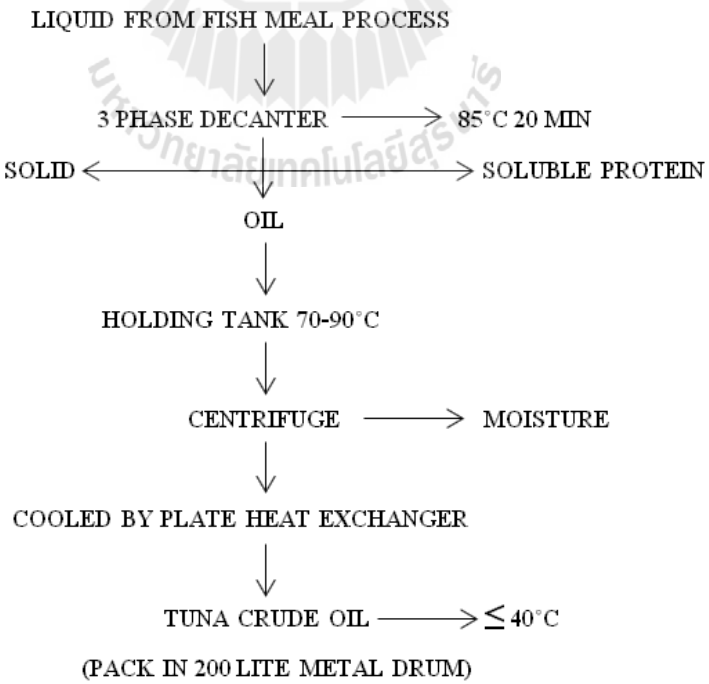
หมายเหตุ : [1]High-EPA marine fish oil; [2]High-DHA Marine fish oil; [3]Not detected

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 น้ำมันปลาทูน่า

น้ำมันปลามีส่วนประกอบเช่นเดียวกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ คือประกอบด้วยกลุ่มของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่น้ำมันปลาทูน่ามีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวในกลุ่มโอเมก้า-3 จำพวก EPA และ DHA ในปริมาณที่สูง ส่วนน้ำมันพืชจำพวก linseed oil rapeseed oil และ canola oil จะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวในกลุ่มโอเมก้า-3 จำพวก ALA ที่สูง ส่วนพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ จะมีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-6 เป็นส่วนใหญ่ ในน้ำมันปลาประกอบไปด้วยกรดไขมันมากกว่า 50 ชนิด โดย 23-25% ของกรดไขมันทั้งหมดเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 20-25% เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายสั้น และส่วนที่เหลือประมาณ 50% เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาว (Kinsella, 1990)

น้ำมันปลาทูน่าดิบเป็นน้ำมันปลาที่ได้จากเศษเหลือของโรงงานผลิตทูน่ากระป๋อง ประเทศไทยมีโรงงานที่ผลิตทูน่ากระป๋องจำนวนมาก และมีการขยายตัวของธุรกิจอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำมันปลาทูน่าจะได้มาจากการนำเศษเหลือไปบีบน้ำมันด้วยวิธี wet reduction process (ภาพที่ 2.3) ซึ่งจะได้ส่วนของมันปลา ปลาป่น และ fish soluble น้ำมันปลาทูน่ามีราคาค่อนข้างถูกกว่าแหล่งโอเมก้า-3 ชนิดอื่น เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปลาที่นำเข้าหรือน้ำมันจากพืชที่เป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่นำเข้าจากต่างประเทศน้ำมันปลาทูน่าจะมีราคาที่ถูกกว่าประมาณสองเท่า



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปลาทูน่าดิบ

2.5 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตในไก่ไข่

ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต แสดงในตารางที่ 2.2 โดย Baucells, Crespo, Barroeta, Lopez-Ferrer, and Grashorn, (2000); Basmacioglu, Cabuk, Unal, Ozkan, Akkan, and Yalcin, (2003); Cherian, (2008) และ Lawlor, Gaudette, Dickson, and House, (2010) รายงานว่าการเสริมน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ (feed intake) ผลผลิตไข่ (egg production) น้ำหนักไข่ (egg weight) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (FCR) ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรอาหารที่มีการเสริมน้ำมันปลาและสูตรอาหารควบคุม มีการปรับระดับพลังงานและโปรตีนในสูตรอาหารให้ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณการกินได้ และผลผลิตไข่ไม่แตกต่างกัน แต่ผลการศึกษาของ Gonzalez-Esquerra and Leeson (2000) พบว่าการกินได้ของไก่ไข่ในกลุ่มที่ได้รับ 4% Deodorized Menhaden Oil (DMO) ลดลง ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปลาในรูป DMO มีค่า ME สูงกว่าน้ำมันปลาในรูป Regular Menhaden Oil (RMO) และน้ำมันจากพืชที่ใช้ในงานทดลองเล็กน้อย จึงส่งผลให้การกินได้ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) นอกจากนี้ Cachaldora et al. (2006) รายงานผลของการใช้น้ำมันปลาทะเลที่มีองค์- ประกอบของกรดไขมันต่างกัน 3 ชนิด (MFO1 MFO2_EPA และ MFO3_DHA) ในไก่ไข่ พบว่ารูปแบบของน้ำมันปลาทะเลทั้ง 3 ชนิดมีผลในการเพิ่มผลผลิตไข่แบบ linear และ quadratic ขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันปลาที่ใช้

ปัจจุบันการใช้น้ำมันปลาเสริมในอาหารไก่ไข่นั้นมีหลายรูปแบบ ซึ่งทำเพื่อลดข้อจำกัดเรื่องกลิ่นไม่พึงประสงค์จากน้ำมัน หรือช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยา oxidation โดยสามารถเสริมน้ำมันปลาในสูตรอาหารได้สูงถึง 5% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณสูตรอาหารให้มีโภชนะใกล้เคียงกัน ตรงตามความต้องการของไก่ไข่ และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทะเลด้วย นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการคือ การกินได้ของไก่ไข่เนื่องจากในน้ำมันปลาทะเลมีกลิ่นจำเพาะตัวที่ไก่ไม่ชอบ (Zolisch, Knaus, Aichinger, and Lettner, 1996) เมื่อไก่กินอาหารได้น้อยลงจึงส่งผลต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และค่า FCR ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตในไก่ไข่

Treatment	Age (weeks)/Breed	Feed intake (g/b/d)	Egg production (%)	Egg weight (g)	FCR	References
Control	20-34/LSL-White Leghorn hens	96.09	-	59.36	1.98	Baucells et al.
1% FO		96.77	-	57.93	2.05	(2000)
2% FO		97.25	-	57.61	2.05	
3% FO		95.33	-	57.98	2.01	
4% FO		97.73	-	59.15	1.94	
0 %	19-55/Single Comb White	109.00^{ab}	92.00	63.50^{ab}	-	Gonzalez-
2 % RMO	Leghorn	107.00^{abc}	90.00	63.90^{a}	-	Esquerra and
4 % RMO		100.00^{bc}	86.00	62.00^{bc}	-	Leeson (2000)
6 % RMO		105.00^{abc}	89.00	62.10^{bc}	-	
2 % DMO		110.00^{a}	90.00	62.80^{ab}	-	
4 % DMO		99.00^{c}	88.00	62.80^{ab}	-	
6 % DMO		101.00^{abc}	87.00	62.40^{ab}	-	
Control	34-42/Isa-White laying hens	110.11	84.75^{bc}	-	2.06	Basmacıoglu
1.5% FO		110.49	87.35^{ab}	-	2.00	et al. (2003)
4.32% FS		110.50	89.28^{a}	-	1.95	
2.5% FO + 4.32% FS		114.95	84.21^{bc}	-	2.04	

ตารางที่ 2.2 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตในไก่ไข่ (ต่อ)

Treatment	Age (weeks)/Breed	Feed intake (g/b/d)	Egg production (%)	Egg weight (g)	FCR	References
8.64% FS	34-42/Isa-White laying hens	111.23	82.44[c]	-	2.13	Basmacıoglu et al. (2003)
1.5% MFO1	44-52/Warren laying hens	118.00	86.80	62.70	-	Cachaldora et al. (2006)
3.0% MFO1		112.00	84.90	65.00	-	
4.5% MFO1		118.00	78.80	61.10	-	
6.0% MFO1		120.00	82.40	62.40	-	
1.5% MFO2_EPA		122.00	84.10	64.90	-	
3.0% MFO2_EPA		121.00	85.50	62.50	-	
4.5% MFO2_EPA		118.00	90.40	63.80	-	
6.0% MFO2_EPA		119.00	74.80	61.80	-	
1.5% MFO3_DHA		116.00	81.70	61.30	-	
3.0% MFO3_DHA		119.00	88.20	62.10	-	
4.5% MFO3_DHA		119.00	85.50	65.20	-	
6.0% MFO3_DHA		119.00	79.20	61.30	-	
			Linear and quadratic effect of level of MFO (P = 0.05)			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตในไก่ไข่ (ต่อ)

Treatment	Age (weeks)/Breed	Feed intake (g/b/d)	Egg production (%)	Egg weight (g)	FCR	References
3% YG	27-31/Single-Comb	120.90	93.36	55.42	2.34	Cherian (2008)
2.75% YG + 0.25% CLA	White Leghorn	120.30	93.35	55.76	2.31	
2.75% YG + 0.25% CLA + 0.25% FO		116.50	93.97	55.45	2.24	
2.75% YG + 0.25% FO		119.10	91.63	55.34	2.35	
Control	36-39/Single-Comb	98.00	93.80	60.00	-	Lawlor et al. (2010)
2% MCFO	White Leghorn	97.00	93.10	57.90	-	
4% MCFO		101.00	98.60	57.60	-	
6% MCFO		99.00	96.90	58.90	-	

หมายเหตุ : [a,b,c]Values the same column with no common superscript are significantly different ($P<0.05$).

RMO = Regular Menhaden Oil; DMO = Deodorized Menhaden Oil; FS = Flaxseed; FO = Fish oil; MFO = Marine Fish Oil; MCFO = Microencapsulated Fish Oil; YG = Yellow Grease; CLA = Conjugated Linoleic Acid; EPA = Eicosapentaenoic acid (C20 : 5n-3); DHA= Docosahexaenoic acid (C22 : 6n-3)

2.6 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อคุณภาพและองค์ประกอบในไข่ไก่

ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่ไข่ ต่อคุณภาพทั่วไป และองค์ประกอบของไข่ไก่ แสดงในตารางที่ 2.3 Basmacioglu et al. (2003) และ Cachaldora et al. (2006) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาและ flaxseed ไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่ขาว (albumen weight) และน้ำหนักไข่แดง (yolk weight) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Lawlor et al. (2010) ที่พบว่าการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่ไข่ทำให้ไข่แดงมีขนาดเล็กลง ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลาในระดับที่สูงจะทำให้มีการลดการสร้างไขมันในตับของไก่โดยเฉพาะการสร้างและสลายกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (Van Elswyk, Hargis, Williams, and Hargis, 1994) ซึ่งทำให้ไขมันรวมลดลง เป็นผลให้มีไขมันไปสะสมในไข่แดงลดน้อยลง และทำให้น้ำหนักไข่แดงลดลงตามไปด้วย (Farrell, 1993) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Lawlor et al. (2010) ได้ทำการชั่งน้ำหนักไข่แดง ไม่ได้คำนวณเป็นสัดส่วน ซึ่งการใช้น้ำหนักไข่แดงจากการชั่งน้ำหนักนั้นจะมีอิทธิพลของขนาดฟองไข่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ผลต่อ shell thickness นั้น Cachaldora et al. (2006) พบว่าชนิดและปริมาณการเสริมน้ำมันปลามีผลต่อความหนาเปลือกไข่ (shell thickness) แต่อย่างไรก็ตามความหนาของเปลือกไข่ยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งขนาดฟองไข่ที่มีขนาดใหญ่ และอายุไก่ด้วย ในด้านสีไข่แดงจากการศึกษาของ Cachaldora et al. (2006) และ Cherian (2008) พบว่าการเสริมแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารไก่ไข่มีผลต่อสีไข่แดง (yolk color) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้มีผลเพิ่มการดูดซึมและสะสม oxicarotenoids ซึ่งทำให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้น (Grobas, Mendez, Lazaros, Blas, Mateos, and De, 2001)

อย่างไรก็ตามการเสริมน้ำมันปลาต่อคุณภาพไข่ไก่ยังคงมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งสุขภาพ พันธุกรรม ช่วงการให้ผลผลิตของไก่ไข่ การกินได้ ขนาดฟองไข่ และชนิดของน้ำมันปลาทะเลที่ใช้ในแต่ละงานทดลอง

2.7 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ไก่

ผลการเสริมน้ำมันปลาทะเลในอาหาร ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ไก่ แสดงในตารางที่ 2.4 พบว่าการเสริมน้ำมันปลาทะเลสามารถเพิ่มการสะสมกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 (EPA และ DHA) ให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่ว่ากลไกการสังเคราะห์และการสะสมกรดไขมันในสัตว์ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของกรดไขมันชนิดนั้น ๆ ที่สัตว์ได้รับจากอาหาร ซึ่งถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของไข่จากเดิมให้มีการสะสมของกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ให้เพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้อัตราส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ลดลงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่เกิน 5 : 1 (Haz et al., 2004; Wijendran, and Hayes, 2004) โดยสัดส่วนดังกล่าวสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ รวมทั้งโรคหัวใจ และโรคมะเร็ง

ตารางที่ 2.3 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อคุณภาพไข่และองค์ประกอบในไข่ไก่

Treatment	Age (weeks)/Breed	Yolk weight		Albumen weight		Shell weight		Yolk Color	Haugh Unit	Shell thickness (mm)	References
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)				
Control	34-42/Isa-White	15.71	24.85	41.18	65.18	6.32	10.00	-	-	0.41	Basmacioglu
1.5% FO	laying hens	15.76	25.23	40.38	64.65	6.32	10.12	-	-	0.42	et al. (2003)
4.32% FS		15.88	25.33	40.74	64.99	6.07	9.68	-	-	0.40	
2.5% FO + 4.32% FS		16.04	24.92	41.93	65.14	6.40	9.94	-	-	0.41	
8.64% FS		15.98	25.20	41.34	65.19	6.09	9.60	-	-	0.41	
1.5% MFO1	44-52/Warren	-	-	-	-	-	-	12.90	78.80	0.34	Cachaldora
3.0% MFO1	laying hen	-	-	-	-	-	-	13.10	78.20	0.36	et al. (2006)
4.5% MFO1		-	-	-	-	-	-	13.10	79.00	0.34	
6.0% MFO1		-	-	-	-	-	-	13.20	78.10	0.33	
1.5% MFO2_EPA		-	-	-	-	-	-	13.00	78.70	0.36	
3.0% MFO2_EPA		-	-	-	-	-	-	12.80	77.40	0.34	
4.5% MFO2_EPA		-	-	-	-	-	-	12.90	79.30	0.34	
6.0% MFO2_EPA		-	-	-	-	-	-	12.20	78.40	0.32	
1.5% MFO3_DHA		-	-	-	-	-	-	13.20	74.30	0.35	
3.0% MFO3_DHA		-	-	-	-	-	-	12.90	74.10	0.36	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อคุณภาพไข่และองค์ประกอบในไข่ไก่ (ต่อ)

Treatment	Age (weeks)/Breed	Yolk weight		Albumen weight		Shell weight		Yolk Color	Haugh Unit	Shell thickness (mm)	References
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)				
4.5% MFO3_DHA	44-52/Warren laying hen	-	-	-	-	-	-	12.60	82.60	0.37	Cachaldora et al. (2006)
		Yolk color = Interaction effect between type and level of MFO (P<0.001)									
		Shell thickness = Linear (P<0.003) and quadratic (P = 0.02) effects of level of MFO									
3% YG	27-31/Single-Comb White Leghorn	15.75[b]	27.49	35.20	-	6.10[b]	10.73	5.34[b]	94.93	-	Cherian (2008)
2.75% YG + 0.25% CLA		16.48[a]	28.15	35.87	-	6.31[a]	10.78	5.87[a]	93.41	-	
2.75% YG + 0.25% CLA + 0.25% FO		15.94[b]	27.80	35.14	-	6.11[b]	10.74	5.68[a]	94.49	-	
2.75% YG + 0.25% FO		16.16[ab]	28.06	35.01	-	6.12[b]	10.70	5.90[a]	94.55	-	
Control	36-39/Single-Comb White Leghorn	17.00[b]	-	-	-	-	-	-	-	-	Lawlor et al. (2010)
2% MCFO		16.10[a]	-	-	-	-	-	-	-	-	
4% MCFO		16.20[a]	-	-	-	-	-	-	-	-	
6% MCFO		15.70[a]	-	-	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ : [a,b]Values the same column with no common superscript are significantly different (P<0.05). FS = Flaxseed; FO = Fish oil; MFO = Marine Fish Oil; MCFO = Microencapsulated Fish Oil; YG = Yellow Grease; LA = Conjugated Linoleic Acid; EPA = Eicosapentaenoic acid (C20 : 5n-3); DHA= Docosahexaenoic acid (C22 : 6n-3)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบกรดไขมันในไข่ไก่ (% of total fatty acid)

Treatment	Age (weeks)/Breed	ALA	EPA	DHA	n-3	n-6	n-6/n-3	References
0% FO	20-34/LSL-White Leghorn	1.54	0.10^{e}	0.89^{e}	2.72^{b}	17.00^{a}	14.11^{a}	Baucells et al.
1% FO	hens	1.22	0.23^{d}	1.81^{d}	3.54^{ab}	15.93^{ab}	5.60^{b}	(2000)
2% FO		0.87	0.48^{c}	2.41^{c}	4.12^{a}	14.53^{bc}	3.80^{b}	
3% FO		0.67	0.64^{b}	2.75^{b}	4.49^{a}	13.36^{c}	3.05^{b}	
4% FO		0.44	0.92^{a}	3.18^{a}	5.06^{a}	12.17^{c}	2.43^{b}	
0 %	19-55/Single Comb White	0.52^{c}	Nd	0.52^{d}	1.04^{d}	-	-	Gonzalez-Esquerra
2 % RMO	Leghorn	0.52^{c}	0.26^{c}	1.71^{c}	2.64^{c}	-	-	and Leeson (2000)
4 % RMO		0.76^{b}	0.62^{b}	2.46^{b}	4.13^{b}	-	-	
6% RMO		1.16^{a}	1.21^{a}	3.90^{a}	6.83^{a}	-	-	
2% DMO		0.45^{c}	0.30^{d}	1.74^{c}	2.65^{e}	-	-	
4% DMO		0.59^{c}	0.60^{c}	2.27^{bc}	3.74^{b}	-	-	
6% DMO		0.74^{b}	0.89^{b}	2.87^{b}	4.91^{a}	-	-	
Control	38/Isa-White laying hens	0.62^{d}	-	0.65^{d}	1.54^{e}	19.47	12.64^{a}	Basmacioglu et al.
1.5% FO		0.71^{d}	0.18^{b}	3.29^{a}	4.53^{d}	17.37	3.83^{b}	(2003)
4.32% FS		3.49^{c}	0.06^{d}	1.70^{c}	5.58^{c}	19.54	3.50^{b}	
2.5% FO + 4.32% FS		4.00^{b}	0.26^{a}	2.90^{b}	7.50^{b}	18.65	2.49^{c}	
8.64% FS		5.89^{a}	0.12^{c}	1.98^{c}	8.36^{d}	19.01	2.27^{c}	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบกรดไขมันในไข่ไก่ (% of total fatty acid) (ต่อ)

Treatment	Age (weeks)/Breed	ALA	EPA	DHA	n-3	n-6	n-6/n-3	References
Control	42/Isa-White laying hens	0.56^{c}	-	0.63^{c}	1.47^{e}	21.41^{a}	14.56^{a}	Basmacioglu et al.
1.5% FO		0.71^{c}	0.19^{a}	3.42^{a}	4.66^{d}	17.58^{b}	3.77^{b}	(2003)
4.32% FS		3.23^{b}	0.07^{c}	1.90^{b}	5.56^{c}	18.68^{b}	3.36^{b}	
2.5% FO + 4.32% FS		3.60^{b}	0.22^{a}	3.24^{a}	7.43^{b}	18.08^{b}	2.43^{c}	
8.64% FS		6.66^{a}	0.13^{b}	1.95^{b}	9.16^{a}	20.84^{a}	2.28^{c}	
Control	20-36/Red Lohman	0.22^{c}	nd	0.64^{a}	1.02^{c}	16.5^{ab}	16.1^{c}	Milinsk et al.
3.2% CO		0.55^{a}	nd	0.65^{a}	1.64^{a}	18.4^{a}	11.2^{a}	(2003)
3%FO		3.40^{b}	0.18	1.55^{b}	5.44^{b}	15.5^{b}	2.86^{b}	
3% SO		0.63^{a}	nd	0.65^{a}	2.30^{a}	21.5^{c}	9.94^{a}	
2.89% SUO		0.30^{c}	nd	0.33^{c}	1.58^{ac}	26.9^{d}	17.7^{c}	
1.5% LO + 3.5% FO	50-54/Isa Brown	3.25^{c}	0.25^{a}	2.99	6.80^{b}	-	2.96^{a}	Kralik et al.
2.5% LO + 2.5% FO		4.33^{b}	0.20^{b}	2.32	7.22^{b}	-	2.93^{a}	(2008)
3.5% LO + 1.5% FO		5.18^{a}	0.18^{b}	2.90	8.56^{a}	-	2.49^{b}	
0% FO	36-39/Single-Comb White	0.7	0.1^{d}	0.62^{d}	1.41^{d}	-	-	Lawlor et al.
2% FO	Leghorn	0.65	0.12^{c}	0.92^{c}	1.82^{c}	-	-	(2010)
4% FO		0.73	0.24^{b}	1.29^{b}	2.45^{b}	-	-	
6% FO		0.70	0.40^{a}	1.62^{a}	2.99^{a}	-	-	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อองค์ประกอบกรดไขมันในไข่ไก่ (% of total fatty acid) (ต่อ)

Treatment	Age (weeks)/Breed	ALA	EPA	DHA	n-3	n-6	n-6/n-3	References
3% Fish oil	20-30/Hy Line Silver-	0.22[b]	0.95[a]	8.33[a]	-	-	1.16[d]	King et al. (2012)
3% Sunflower oil	Brown hens	0.14[b]	nd	0.66[c]	-	-	24.60[a]	
3% HO sunflower oil		0.12[b]	nd	0.65[c]	-	-	17.22[b]	
3% Tallow		0.16[b]	nd	0.88[c]	-	-	11.90[c]	

หมายเหตุ : [a,b,c,d]Values the same column with no common superscript are significantly different (P<0.05).

ALA = α-linolenic acid (C18 : 3n-3); EPA = Eicosapentaenoic acid (C20 : 5n-3); DHA = Docosahexaenoic acid (C22 : 6n-3); FO = Fish oil; FS = Flaxseed; YG = 3.0% yellow grease; YG-CLA = 2.75% yellow grease + 0.25 conjugated linoleic acid; YG-CLAFO = 2.5% yellow grease + 0.25% CLA + 0.25% fish oil (FO); YG-FO = 2.75% yellow grease + 0.25% FO; HO = High oleic acid; nd = not detected

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.8 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่

ไข่ไก่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญ เนื่องจากมีราคาถูก มีโภชนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอย่างครบถ้วน รสชาติอร่อย และสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด แต่พบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่มีปริมาณสูงถึง 200-250 mg (Weggemans, Zock, and Katan, 2001) ทำให้มีข้อจำกัดในการบริโภคไข่ไก่เพียงแค่วันละ 1 ฟอง โดยผลการเสริมน้ำมันปลาทะเลในอาหารต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ แสดงในตารางที่ 2.5 พบว่าผลที่ได้ยังมีความขัดแย้งกัน โดยการศึกษาของ Basmacioglu et al. (2003) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาทะเล 1.5% ในอาหารไก่ไข่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงในหน่วย mg/g yolk ได้ แต่พบว่าเมื่อพิจารณาในหน่วย mg/yolk นั้นไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่เสริมแหล่งของโอเมก้า-3 และกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากขนาดไข่แดงมีอิทธิพลต่อปริมาณคอเลสเตอรอลด้วย แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Milinsk, Murakami, Gomes, Matsushita, and de Souza (2003) พบว่าน้ำมันปลาทะเลไม่ส่งผลต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

ถึงแม้กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มีคุณสมบัติไปยับยั้งการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ และลดปริมาณ mRNA ของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ที่ตับ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง และเพิ่มการสลายไขมันมากขึ้น มีผลให้ VLDL และ LDL ในเลือดลดลง รวมทั้งการขนย้ายคอเลส-เตอรอลในกระแสเลือดลดลงตามไปด้วย (Newman, Bryden, Fleck, Ashes, Buttemer, Storlien, and Downing, 2002) แต่จากการรวบรวมเอกสารยังให้ผลขัดแย้งกันอยู่ เนื่องจากคอเลสเตอรอลในไข่แดงมีความจำเป็นต่อการรอดของเอ็มบริโอ (Marks and Washburn, 1977) ดังนั้นเมื่อร่างกายได้รับคอเลสเตอรอลจากอาหารลดลง ร่างกายจะสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้งานทดลองให้ผลต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงมีหลายปัจจัย ทั้งชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ใช้ในงานทดลองรวมถึงปริมาณที่ใช้น้ำมันจากปลาทะเลด้วย

ตารางที่ 2.5 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่

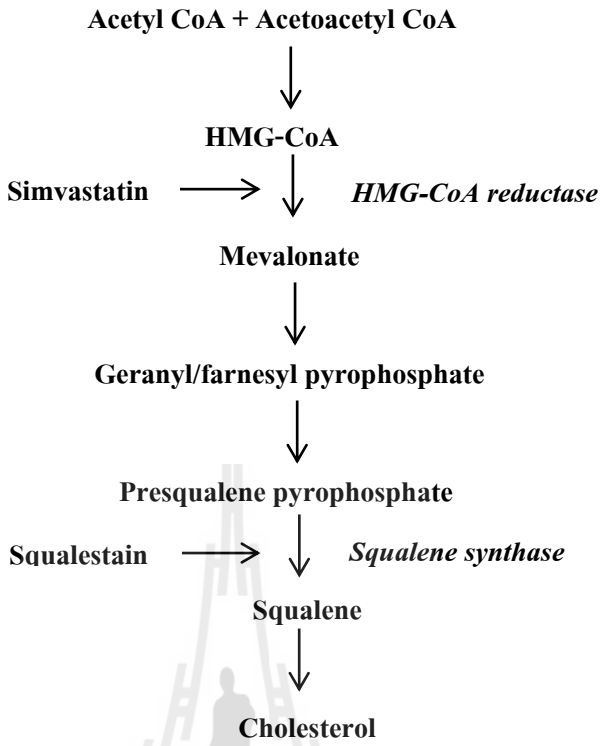
Treatment	Cholesterol		References
	mg/g yolk	mg/yolk	
Control	13.71[ab]	205.42	Basmacioglu et al. (2003)
1.5% Fish oil	12.56[c]	198.75	
4.32% Flaxseed	13.93[a]	219.20	
2.5% FO + 4.32% FS	13.51[abc]	211.07	
8.64% FS	12.79[c]	202.00	
Control	10.9	-	Milinsk et al. (2003)
3.2% CO	10.7	-	
3% FO	10.9	-	
3% SO	10.3	-	
2.89% SUO	10.7	-	

หมายเหตุ : [a,b]Values the same column with no common superscript are significantly different ($P<0.05$).

FO = Fish oil; FS = Flaxseed; CO = Canola oil; SO = Soybean oil; SUO = Sunflower oil

2.9 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดไก่ไข่

มีการศึกษาผลของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ต่อความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูง โดย Newman et al. (2002) รายงานว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว (PUFA) สามารถลดไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อได้ เมื่อเทียบกับไก่ที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFAs) โดยกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 จะระงับการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ และ apolipoprotein B เพิ่มการเคลื่อนย้าย VLDL ที่ตับและเพิ่มการหลั่งน้ำดี กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มีคุณสมบัติไปยับยั้งการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ และลดปริมาณ mRNA ของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ที่ตับ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง และเพิ่มการสลายไขมันมากขึ้น มีผลให้ VLDL และ LDL ในเลือดลดลง รวมทั้งการขนย้ายคอเลส-เตอรอลในกระแสเลือดลดลงตามไปด้วย (Leaf and Weber, 1988) จึงสามารถลดความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยขั้นตอนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กระบวนการเมทาบอลิซึมของคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ (Bate, Rumbold, and Williams, 2007)

ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเตอรอล และ HDL ในพลาสมาของไก่ไข่แสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งผลการศึกษาของ Basmacioglu et al. (2003) รายงานผลการเสริม fish oil และ flaxseed ในอาหารไก่ไข่ ที่ระดับ 2.5% FO + 4.32% FS และ 8.64% FS สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมาของไก่ไข่ให้ลดต่ำลงกว่ากลุ่มควบคุมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อไตรกลีเซอไรด์ และ HDL

ตารางที่ 2.6 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเตอรอล และ HDL ในเลือดไก่ไข่

Treatment	Triglyceride (mg/dl)	Cholesterol (mg/dl)	HDL (mg/dl)	Reference
Control	1,467.67	127.33[a]	38.00	Basmacioglu et al.
1.5% Fish oil	1,401.17	119.67[ab]	35.17	(2003)
4.32% Flaxseed	1,337.00	117.83[ab]	37.50	
2.5% FO + 4.32% FS	1,417.83	105.50[b]	39.00	
8.64% FS	1,348.00	99.67[b]	40.83	

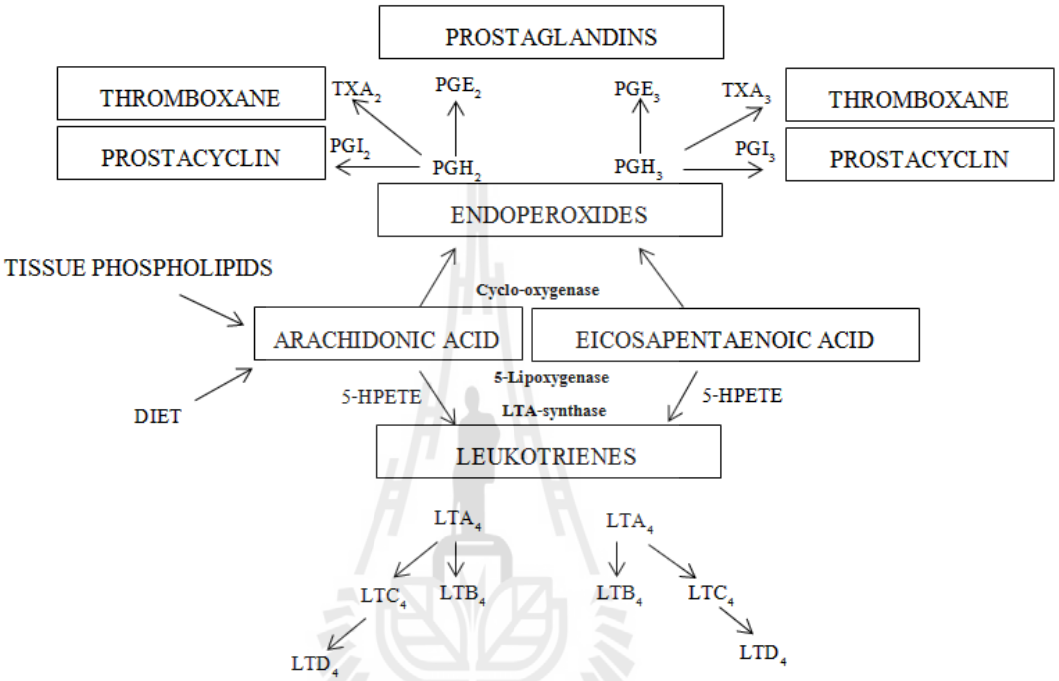
หมายเหตุ : [a,b] Values the same column with no common superscript are significantly different ($P<0.05$).

FO = Fish oil; FS = Flaxseed

2.10 ผลการเสริมน้ำมันปลาในอาหาร ต่อระบบภูมิคุ้มกัน

โรคต่าง ๆ ที่เกิดในสัตว์ปีกถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลเสียหายทางด้านเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก ดังนั้นระบบภูมิคุ้มกันที่ดีจึงเป็นพื้นฐานในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ โดยมีงานวิจัยต่าง ๆ รายงานปัจจัยที่มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันว่าขึ้นอยู่กับสารอาหารและวิตามิน (Tengerdy and Brown, 1997) แร่ธาตุที่จำเป็น (Kidd, Qureshi, Ferket, and Thomas, 1994) กรดอะมิโน (Tsiagbe, Cook, Harper, and Sunde, 1987) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว (Friedman and Sklan, 1997; Fristsche and Johnston, 1990; Fristsche, Cassity, and Huang, 1991; Fristsche and Cassity, 1992) โดย Fristsche et al. (1991) รายงานว่าสัตว์ปีกที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูง (70 g fish oil/kg of diet) จะกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และเพิ่มการสร้าง lymphocyte สามารถลดอาการป่วยของสัตว์ได้โดยการทำงานของ lipopolysaccharide และลด interleukin-1 (Korver and Klasing, 1997) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่แสดงบทบาทของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ต่อการต้านการอักเสบ ลดการติดเชื้อ และลดการสร้างเซลล์มะเร็ง (Fernandes and Venkatraman, 1993; Calder, 1996) โดยน้ำมันปลาสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานของสัตว์ได้ดีเท่ากับแหล่งจากพืชน้ำมัน จะต่างกันตรงที่องค์ประกอบของกรดไขมัน เนื่องจากน้ำมันปลามีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูง ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โดยจะกระตุ้นการสร้าง eicosanoids prostaglandins leukotrienes และ thromboxanes แสดงในภาพที่ 2.5 ในขณะเดียวกันพืชน้ำมันพวกน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหาร จะมี

ปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 สูง กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้จะทำงานต้านกัน (Calder, 2006) จึงทำให้มีผลต่อการสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจะให้ความสำคัญกับบทบาทกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 มากกว่าสมดุลของกรดไขมันทั้งสองชนิด ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ต่อการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันยังมีการศึกษาน้อย



ภาพที่ 2.5 กระบวนการเมทาบอลิซึมของ Arachidonic acid และ Eicosapentaenoic acid ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน (Simopoulos, 2002)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สัตว์และการจัดกลุ่มทดลอง

ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ทางการค้า (Isa Brown) อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว สุ่มเข้างานทดลอง ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งไก่ออกเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ 15 ตัว โดยเลี้ยงไก่ในกรงตับซึ่งในแต่ละกรงมีไก่จำนวน 3 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 12 สัปดาห์ โดยให้อาหารและน้ำแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

อาหารที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 5 สูตร โดยอาหารทดลองทุกสูตรคำนวณให้มีระดับของโปรตีน (Crude Protein, CP) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy, ME) และโภชนะที่เพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) และมาตรฐานของสายพันธุ์ ใช้น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็นแหล่งของไขมันในสัดส่วนต่าง ๆ ในสูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100%
กลุ่มที่ 2 ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 75% ร่วมกับน้ำมันปลาทูน่า 25%
กลุ่มที่ 3 ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 50% ร่วมกับน้ำมันปลาทูน่า 50%
กลุ่มที่ 4 ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 25% ร่วมกับน้ำมันปลาทูน่า 75%
กลุ่มที่ 5 ใช้น้ำมันปลาทูน่า 100%

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในอาหารทดลอง

Ingredients (%)	**Soybean oil : Tuna oil**				
	100 : 0	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**
Corn	46.76	46.76	46.76	46.76	46.76
Rice bran	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean meal	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75
Fish meal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Soybean oil	**5.00**	**3.75**	**2.50**	**1.25**	**0.00**
Tuna oil	**0.00**	**1.25**	**2.50**	**3.75**	**5.00**
Calcium carbonate	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97
Dicalcium phosphate	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
DL-methionine	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Salt	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Mineral-vitamin premix[1/]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Calculated chemical composition					
ME (kcal/kg)	2,919.00	2,915.00	2,911.00	2,908.00	2,904.00
Available phosphorus (%)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Lysine (%)	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Methionine + cystine (%)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Methionine (%)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Tryptophan (%)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Threonine (%)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Analyzed chemical composition					
Dry matter (%)	89.84	89.75	90.57	90.25	90.17
Crude protein (%)	17.84	17.39	17.04	17.70	17.12
Crude fiber (%)	4.02	3.90	3.92	3.90	4.00
Calcium (%)	3.90	3.89	3.89	3.88	3.85
Crude fat (%)	7.01	7.20	7.43	7.61	7.19

[1/]Provided (per kilogram of diet) : Vitamin A, 4,800,000 IU; Vitamin D3, 960,000 IU; Vitamin E, 3,200 IU; Vitamin K3, 0.80 g; Vitamin B1, 0.40 g; Vitamin B2, 1.20 g; Vitamin B6, 1.20 g; Vitamin B12, 0.008 g; Pantothenic acid, 3.8 g; Niacin, 6.00 g; Folic acid, 0.20 g; Biotin, 0.036 g; Nicotinic acid, 35 mg; Choline chloride, 250 mg; Mn, 24 g; Zn, 16 g; Fe, 24 g; Cu, 2.40 g; I, 0.14 g; Se, 0.04 g.

3.2 การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 การศึกษาสมรรถนะการผลิตไข่ (egg performance)

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวไก่ไข่ก่อนและสิ้นสุดงานทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ เพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ และทำการบันทึกทุกครั้งที่มีไก่ตาย

1) ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (feed intake, FI)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

2) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไข่ที่ผลิตได้ (กรัม)}}$$

บันทึกผลผลิตไข่ไก่ในแต่ละวัน เพื่อใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์ไข่ ชั่งน้ำหนักไข่ไก่ทุกวัน เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง

1) ผลผลิตไข่ (hen day egg production, %) $= \frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่}}$

2) น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง (egg weight, g) $= \frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมด}}{\text{จำนวนไข่}}$

3.2.2 การศึกษาคุณภาพไข่ไก่ (egg quality)

ทำการวัดคุณภาพไข่ ในสัปดาห์ที่ 4 8 และ 12 ของการทดลอง โดยการสุ่มไข่จำนวน 3 ฟองต่อซ้ำ เพื่อวัดคุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักเปลือกไข่ (egg shell weight) ความหนาของเปลือกไข่ (egg shell thickness) ความสูงของไข่ขาวนำมาคำนวณคุณภาพของไข่ขาว (haugh unit) น้ำหนักไข่ขาว (albumen weight) น้ำหนักไข่แดง (yolk weight) และความเข้มสีไข่แดง (yolk color) โดยเทียบกับพัดสีโรช (roche color fan)

คุณภาพไข่ขาวคำนวณจากค่า haugh unit

$= 100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$

เมื่อ H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด ที่จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวกับขอบไข่แดง

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

3.2.3 การศึกษาหาปริมาณกรดไขมันในไข่แดง

ทำการเก็บตัวอย่างไข่แดง ในสัปดาห์ที่ 4 8 และ 12 ของการทดลอง โดยทำการสุ่มไข่จำนวน 8 ฟองต่อซ้ำ แล้วแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (4 ฟอง/กลุ่ม) ทำการเก็บไข่แดงของแต่ละกลุ่มแล้วผสมไข่แดงเข้าด้วยกันเพื่อนำไปวิเคราะห์กรดไขมันในไข่แดงและเก็บที่อุณหภูมิ -20°C

วิเคราะห์กรดไขมันดัดแปลงตามวิธีของ Folch, Lees, and Sloane-Stanley (1957) และ Metcalfe, Schmitz, and Pelka (1966) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย อาหารสัตว์ ไข่แดง ตัวอย่างจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ methyl ester โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม เติม chloroform-methanol (2 : 1) ปริมาตร 90 มล. ปั่นด้วยเครื่อง homogenize นาน 2 นาที เติม chloroform 30 มล. และปั่นอีก 2 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง เติม deionize water ปริมาตร 30 มล. เติม 0.58% NaCl ปริมาตร 5 มล. เขย่าให้เข้ากันแล้ววางทิ้งไว้ 1 คืนให้แยกชั้น เก็บชั้นของไขมันใส่ขวดฝาเกลียว (ห่อฟอยด์) เก็บที่ -20°C ขั้นตอนการทำ methylation ทำการชั่งตัวอย่างไขมันประมาณ 25 มก. ใส่ลงในหลอดทดลอง โดยการดูดตัวอย่างใส่หลอดทดลองและนำไปทำให้แห้งด้วย N_2 gas จนตัวสารละลายแห้ง เหลือเฉพาะกรดไขมันอยู่ นำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อใช้ในการคำนวณตัวอย่างไขมัน เติม 0.5 N NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 มล. ทำการไล่อากาศด้วย N_2 gas ให้ความร้อน 100°C 5 นาที เขย่า แล้วตั้งไว้ให้เย็น เติม 14% BF_3 in methanol ปริมาตร 2 มล. ไล่อากาศด้วย N_2 gas แล้วปิดฝา เติม C17 : O (2.0 มก./มล. ใน Hexane) ปริมาตร 1 มล. ไล่อากาศด้วย N_2 gas แล้วปิดฝา ให้ความร้อน 100°C 5 นาที เขย่า แล้วตั้งไว้ให้เย็น เปิดฝาเติม deionize water ปริมาตร 10 มล. และ hexane ปริมาตร 5 มล. ปิดฝาเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ให้แยกชั้น ตัก Na_2SO_4 ประมาณปลายช้อนตักสาร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็กหลอดใหม่ เมื่อสารละลายแยกชั้น ดูดชั้น hexane ใส่ลงในขวด vial สีชาปริมาณ 1 มล. เพื่อนำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography ปริมาตร 1 ไมโครลิตร (Hewlett Packard, HP 6890 series GC system)

3.2.4 การศึกษาหาปริมาณคอเลสเตอรอลไข่แดง

วิเคราะห์ทำตามวิธีของ Rowe, Macedo, Visentainer, Souza, and Matsushita (1999) นำไข่แดงมาสกัดปริมาณไขมันด้วยสาร chloroform-methanol และสกัดปริมาณคอเลสเตอรอลออกจากไลโปโปรตีน โดยทำการชั่งตัวอย่างไข่แดง 5 กรัม ใส่ลงใน round bottom flask เติม chloroform-methanol-isopropanal (90 : 5 : 5 v/v/v) ปริมาตร 20 มล. เติม 60% KOH ปริมาตร 5 มล. (1 มล./ตัวอย่าง 1 กรัม) เขย่าให้เข้ากัน ทำการ reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาวางให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และทำการถ่ายตัวอย่างใส่ลงใน separating funnel เติม hexane ปริมาตร 100 มล. และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มล. และเขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้นของ hexane อย่างชัดเจนซึ่งจะอยู่ชั้นบน แยกสารละลาย hexane ใส่ขวดรูปชมพู่ และทำการปิเปตสารมา 12.5 มล. ทำให้แห้งด้วยการ dry ด้วย N_2 gas แล้วนำสารส่วนที่แห้งมาละลายด้วย internal standard ปริมาตร 1 มล. ดูดสารใส่ vial นำไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วย gas chromatography (Hewlett Packard, HP 6890 series GC system)

3.2.5 การศึกษาด้านสุขภาพไก่ไข่

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มไก่ซ้ำละ 1 ตัว เพื่อเจาะเลือดบริเวณเส้นเลือด wing vein ใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 23 ความยาว ½ นิ้ว กระบอกฉีดยาขนาด 3 มล. โดยแบ่งเลือดออกเป็น 2 ส่วน ใส่สารป้องกันการแข็งตัว ชนิด ethylene diaminetetra acetic acid (EDTA) ส่วนที่ 1 นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อเก็บซีรั่มสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) และส่วนที่ 2 เก็บเลือดเพื่อวิเคราะห์หาค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง จำนวนเม็ดเลือดขาว และจำแนกชนิดเม็ดเลือดขาว

1. ปริมาณอิมมูโนโกลบูลิน

ใช้ชุดทดสอบ total protein kit (Micro Lowry, Peterson's Modification)

วิเคราะห์หาค่าทางโลหิตวิทยา (hematology)

ตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดแดงทั้งหมด (total red blood cell count)

โดยใช้วิธี Manual method (Unopette system) สารละลายที่ใช้คือ 0.85% NaCl อาศัยการเจือจางเลือดด้วยปิเปตนับเม็ดเลือด แล้วทำการนับบนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด (hemacytometer) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณตามวิธีของ Terry (1995)

2. ตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมด (total white blood cell count)

โดยใช้วิธี Manual method (Unopette system) สารละลายที่ใช้คือ 0.85% NaCl อาศัยการเจือจางเลือดด้วยปิเปตนับเม็ดเลือด แล้วทำการนับบนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด (hemacytometer) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณตามวิธีของ Terry (1995)

3. การจำแนกชนิดของเม็ดเลือดขาว

โดยนำแผ่นฟิล์มเลือดที่แห้งแล้วมาย้อมสี Giemsa-Wright's buffer โดยหยดสีย้อมให้ท่วมแผ่นฟิล์มเลือด หยดบัฟเฟอร์ จากนั้นหยดสีย้อมให้ท่วมแผ่นฟิล์มเลือดอีกครั้งวางทิ้งไว้ ล้างด้วยน้ำสะอาด ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง นำแผ่นสไลด์มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งชนิดของเม็ดเลือดขาวที่ตรวจนับประกอบด้วย ลิมโฟซัยต์ (lymphocyte) เฮทเทอโรฟิลส์ (heterophil) โมโนซัยต์ (monocyte) อีโอซิโนฟิล (eosinophil) และบาโซฟิล (basophil)

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variances, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาแนวโน้มของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS (2004)

แบบจำลองทางสถิติ $y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$

โดยกำหนดให้ y_{ij} = ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ที่ i, ซ้ำที่ j เมื่อ j = 1,…,r

μ = overall mean

T_i = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ที่ i เมื่อ i = 1,…,t

ε_{ij} = Error

3.4 ระยะเวลาและสถานที่ในทำการวิจัย

ใช้ระยะเวลาในการวิจัย 1 ปี โดยเริ่มจากเดือนตุลาคม 2553-กันยายน 2554 ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่า และน้ำมันถั่วเหลือง

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่าและน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ในงานทดลอง แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันปลาทูน่ามีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นองค์ประกอบสูงถึง 61.74% โดยมีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ที่เป็นองค์ประกอบดังนี้ คือ α-linolenic acid (ALA, C18 : 3n-3) 0.56% ecosapentaenoic acid (EPA, C20 : 5n-3) 6.02% และ docosahexaenoic acid (DHA, C22 : 6n-3) 55.16% ซึ่งจะเห็นได้ว่าในน้ำมันปลาทูน่ามี DHA เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีสัดส่วนที่สูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่นในกลุ่มโอเมก้า-3 สอดคล้องกับการศึกษาของพรทิพย์ (2537) ส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ในน้ำมันปลาทูน่ามีเพียง 3.84% โดยมีส่วนประกอบดังนี้ คือ linoleic acid (LA, C18 : 2n-6) 1.49% arachidonic acid (ARA, C20 : 4n-6) 2.35% ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลาทูน่ามีค่าต่ำเพียง 0.06

น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ในงานทดลองมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 เป็นองค์ประกอบสูงถึง 57.78% โดยมี LA เป็นองค์ประกอบหลัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Cachaldora, Garca-Rebollar, Alvarez, De Blas, and Mndez (2008a) ส่วนกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 มีดังนี้คือ ALA 5.84% และ EPA 0.21% น้ำมันจากพืชที่เราใช้โดยทั่วไปนั้นมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 เป็นส่วนประกอบหลัก ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ในน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าสูงถึง 9.55 ซึ่งจากชนิดของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้นี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 โดยเฉพาะ LA

น้ำมันทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปลาทูน่าเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 โดยเฉพาะ DHA ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของผู้บริโภคในด้านการพัฒนาของเอ็มบริโอ ช่วยบำรุงระบบสมองและดวงตาโดยตรง (Budowski and Crawford, 1986; Anderson et al., 1989) ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 โดยเฉพาะ LA ซึ่งมีประโยชน์ต่อการทำงานของเอนไซม์ และการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (Murphy, 1990)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาทูน่า และน้ำมันถั่วเหลือง (% of total fatty acid)

Fatty acid composition	Tuna oil	Soybean oil
C14 : 0	2.66	0.08
C16 : 0	14.59	9.43
C16 : 1	3.44	0.07
C18 : 0	4.52	2.67
C18 : 1n-9	8.06	22.64
C18 : 2n-6	1.49	57.78
C20 : 0	0.29	0.37
C20 : 1	0.86	0.91
C18 : 3n-3	0.56	5.84
C20 : 4n-6	2.35	nd[1]
C20 : 5n-3	6.02	0.21
C22 : 6n-3	55.16	nd
Total n-6	3.84	57.78
Total n-3	61.74	6.05
n-6/n-3	0.06	9.55

หมายเหตุ : [1] Not detected

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง

องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 โดยผลจากการนำแหล่งน้ำมัน 2 แหล่งคือ น้ำมันปลาทูน่าซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 และน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-6 มาใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ ทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารมีความแตกต่างกันดังนี้คือ สูตรอาหารควบคุม (100 : 0) (สูตรอาหารที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว) มีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-6 เป็นองค์ประกอบ 49.66% และมีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 เป็นองค์ประกอบ 4.83% มีอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 คือ 10.29 สูตรอาหารที่ 2 ถึง 5 เป็นสูตรอาหารที่มีการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าลงไปในสูตรอาหารโดยมีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าดังนี้คือ 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ซึ่งการปรับเปลี่ยนแหล่งของน้ำมันในสูตรอาหารมีผล

ทำให้กรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 42.26 37.00 27.12 และ 21.00% ตามลำดับ กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เปลี่ยนแปลงเป็น 12.45 20.98 27.78 และ 33.80% ตามลำดับ สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ในสูตรอาหารเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารเป็น 3.42 1.76 0.98 และ 0.62 ตามลำดับ ซึ่งจากการปรับเปลี่ยนแหล่งของน้ำมันที่ใช้ในสูตรอาหารนี้มีผลชัดเจนต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในแต่ละสูตรอาหาร โดยเมื่อเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมากขึ้นจะส่งผลให้มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในสูตรอาหารสูงขึ้น และในขณะเดียวกันก็สามารถลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ลงได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 หลักในสูตรอาหารได้มาจากแหล่งของน้ำมันที่ใช้ในสูตรอาหารนั่นเอง ดังนั้นการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของน้ำมันในสูตรอาหารเพื่อให้ได้องค์ประกอบของกรดไขมันตามที่ต้องการ เนื่องจากการสะสมกรดไขมันในร่างกายสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดกรดไขมันที่ได้รับจากอาหาร การปรับสูตรอาหารให้มีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 สูงขึ้น จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 และลดสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ในไข่แดงลงได้ เพื่อให้ได้สัดส่วนของกรดไขมันที่สมดุล และเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง (% of total fatty acid)

Fatty acid	**Soybean oil : Tuna oil**				
composition	**100 : 0**	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**
C14 : 0	0.22	0.56	1.00	1.40	1.69
C16 : 0	12.13	12.60	14.67	14.95	15.75
C16 : 1	0.19	0.64	1.21	1.72	2.14
C18 : 0	3.03	3.31	3.62	3.18	3.26
C18 : 1n-9	28.86	26.68	20.27	22.62	21.06
C18 : 2n-6	49.66	42.17	36.25	26.09	19.75
C20 : 0	0.53	0.47	0.51	0.46	0.47
C20 : 1	0.56	0.65	0.74	0.78	0.83
C18 : 3n-3	3.50	2.90	2.43	1.66	1.09
C20 : 4n-6	nd[1]	0.47	0.75	1.03	1.25
C20 : 5n-3	0.45	0.93	1.79	2.47	3.07
C22 : 6n-3	0.87	8.62	16.76	23.64	29.64

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารทดลอง (% of total fatty acid) (ต่อ)

Fatty acid	**Soybean oil : Tuna oil**				
composition	**100 : 0**	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**
Total n-6	49.66	42.64	37.00	27.12	21.00
Total n-3	4.83	12.45	20.98	27.78	33.80
n-6/n-3	10.29	3.42	1.76	0.98	0.62

หมายเหตุ : [1]Not detected

4.3 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตของ ไก่ไข่

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ ที่สัดส่วน 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ต่อปริมาณอาหารที่กิน (feed intake) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (feed conversion ratio, FCR) ผลผลิตไข่ (egg production) และน้ำหนักไข่ (egg weight) แสดงในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ มีผลต่อปริมาณการกินได้ในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 30 ถึง 33 สัปดาห์) ในช่วง 5 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 34 ถึง 37 สัปดาห์) และในช่วง 9 ถึง 12 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 38 ถึง 41 สัปดาห์) จากผลการทดลองนี้พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารสูงขึ้นนั้น มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินได้ของไก่ไข่ โดยในสูตรอาหารที่ใช้น้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหารนั้นส่งผลให้การกินได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำมันปลาทูน่ามีกลิ่นจำเพาะตัวที่ส่งผลให้ไก่กินอาหารได้น้อยลง (Zolisch et al., 1996) และส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินสะสมตลอดการทดลอง 12 สัปดาห์ (ช่วงอายุไก่ 30 ถึง 41 สัปดาห์) ของกลุ่มที่กินสูตรอาหารที่มีน้ำมันปลาทูน่า 100% มีการกินได้ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยทุกช่วงการทดลองพบว่าปริมาณการกินได้ลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) เมื่อใช้น้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหาร

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไม่มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างกันในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์แรกของการทดลอง (อายุไก่ 30 ถึง 33 สัปดาห์) แต่การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ในช่วง 5 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 34 ถึง 37 สัปดาห์) โดยพบว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่าเป็น 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 มีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ด้อยกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมัน

ปลาทูน่าเป็น 100 : 0 และ 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และพบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่มีค่าเพิ่มขึ้นแบบ linear (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และในช่วง 9 ถึง 12 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 38 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่า 100% มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ด้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นแบบ linear (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และเมื่อพิจารณาตลอด 12 สัปดาห์ของการทดลอง (ช่วงอายุไก่ 30 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่กินสูตรอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ด้อยกว่ากลุ่มที่กินสูตรอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า 100 : 0 และ 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และเพิ่มขึ้นแบบ linear (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์แรกของการทดลอง (อายุไก่ 30 ถึง 33 สัปดาห์) แต่การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลต่อผลผลิตไข่ในช่วง 5 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 34 ถึง 37 สัปดาห์) โดยเมื่อมีการเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลให้ผลผลิตไข่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำมันถั่วเหลือง 100% ในสูตรอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหารมีผลผลิตไข่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่า 50 : 50 ส่วนไก่ที่ได้รับสูตรอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็น 75 : 25 50 : 50 และ 25 : 75 ให้ผลผลิตไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% ในสูตรอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งพบว่าผลผลิตไข่ลดลงแบบ quadratic (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และในช่วง 9 ถึง 12 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 38 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% ส่งผลให้ไก่มีผลผลิตต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งการลดลงของผลผลิตไข่เป็นแบบ cubic (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ส่วนกลุ่มการทดลองอื่นให้ผลผลิตไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และเมื่อพิจารณาตลอด 12 สัปดาห์ของการทดลอง (ช่วงอายุไก่ 30 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่กินสูตรอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า 100 : 0 75 : 25 และ 50 : 50 ให้ผลผลิตไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และเมื่อเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารเป็น 25 : 75 และ 0 : 100 ส่งผลให้ผลผลิตไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% ส่งผลให้ผลผลิตไข่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น (P<0.05) ซึ่งผลผลิตไข่มีการลดลงแบบ cubic (P<0.05) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ตารางที่ 4.3 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

	Age	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
	(weeks)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Feed intake (g/b/d)	30 to 33	111.48[a]	109.74[a]	111.11[a]	111.36[a]	105.51[b]	1.349	CUB = 0.0342[6]
	34 to 37	110.06[a]	108.34[a]	109.47[a]	110.06[a]	101.99[b]	1.639	CUB = 0.0294
	38 to 41	111.05[a]	104.24[ab]	106.84[a]	110.04[a]	99.76[b]	1.907	CUB = 0.0003
	30 to 41	**110.86[a]**	**107.44[ab]**	**109.14[ab]**	**110.49[ab]**	**102.42[c]**	**1.087**	**CUB = 0.0001**
Feed Conversion Ratio	30 to 33	1.91	1.95	2.00	1.96	1.96	0.026	NS[3]
	34 to 37	1.86[b]	1.90[ab]	1.99[a]	1.97[a]	1.96[a]	0.031	L = 0.0056[4]
	38 to 41	1.89[b]	1.85[b]	1.92[b]	1.98[b]	2.10[a]	0.043	L = 0.0001
	30 to 41	**1.89[b]**	**1.90[b]**	**1.97[a]**	**1.97[a]**	**2.01[a]**	**0.023**	**L = 0.0001**
Egg Production (%)	30 to 33	96.31	95.98	96.63	95.89	93.87	0.842	NS
	34 to 37	96.61[a]	96.23[b]	96.66[bc]	93.39[b]	89.23[c]	1.012	QUAD = 0.0039[5]
	38 to 41	94.85[a]	93.47[a]	95.23[a]	92.59[a]	81.25[b]	1.275	CUB = 0.0044
	30 to 41	**95.92[ab]**	**95.23[ab]**	**96.17[a]**	**93.96[b]**	**88.12[c]**	**0.685**	**CUB = 0.0175**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.3 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ (ต่อ)

	Age	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
	(weeks)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Egg weight (g)	30 to 33	60.60^{a}	59.21^{b}	58.54^{bc}	59.26^{b}	57.59^{c}	0.391	CUB = 0.0142
	34 to 37	61.43^{a}	60.21^{b}	59.08^{cd}	59.81^{bc}	58.44^{d}	0.367	L = 0.0001
	38 to 41	62.11^{a}	61.21^{ab}	59.93^{cd}	60.20^{bc}	58.93^{d}	0.379	L = 0.0001
	30 to 41	**61.38^{a}**	**60.21^{b}**	**59.19^{cd}**	**59.76^{bc}**	**58.32^{d}**	**0.330**	**CUB = 0.0430**

หมายเหตุ : [a-d]Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Not significant

[4]Linear trend

[5]Quadratic trend

[6]Cubic trend

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลต่อน้ำหนักไข่ โดยในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์แรกของการทดลอง (อายุไก่ 30 ถึง 33 สัปดาห์) และช่วง 5 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 34 ถึง 37 สัปดาห์) พบว่าเมื่อมีการใช้น้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลให้น้ำหนักไข่ลดลงในทุกกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในสูตรที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่าเป็น 75 : 25 50 : 50 และ 25 : 75 มีน้ำหนักไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่า 100% มีน้ำหนักไข่ต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่า 50 : 50 ($P>0.05$) ซึ่งน้ำหนักไข่ในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์แรกของการทดลองมีการลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) และในช่วง 5 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลองมีการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และในช่วง 9 ถึง 12 สัปดาห์ของการทดลอง (อายุไก่ 38 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารเป็น 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ส่งผลให้น้ำหนักไข่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่าเป็น 100 : 0 และ 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% มีน้ำหนักไข่ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่าเป็น 50 : 50 ($P>0.05$) โดยน้ำหนักไข่มีค่าลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และเมื่อพิจารณาตลอด 12 สัปดาห์ของการทดลอง (ช่วงอายุไก่ 30 ถึง 41 สัปดาห์) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลให้น้ำหนักไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% มีน้ำหนักไข่ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่ต่างจากกลุ่มที่มีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็น 50 : 50 ($P>0.05$) โดยน้ำหนักไข่มีค่าลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าไก่ในกลุ่มที่กินอาหารที่มีสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่า 100% ของน้ำมันที่ใช้ในงานทดลอง มีการกินได้ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ ด้อยกว่ากลุ่มอื่น สอดคล้องกับงานทดลองของ Gonzalez-Esquerra and Leeson (2000) ซึ่งพบว่าการกินได้ของไก่ไข่ลดลงเมื่อเสริมน้ำมันจากปลาทะเลที่ระดับ 4% ในสูตรอาหาร ซึ่งการกินได้ที่ลดลง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ที่ด้อยลงในไก่ที่ได้รับแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 ในสูตรอาหารนั้นมีผลมาจากกลิ่นของน้ำมันจากปลาทะเลที่มีกลิ่นจำเพาะตัวที่ไก่ไม่ชอบ (Zolisch et al., 1996) และปฏิกิริยา oxidation ของไขมันสายยาวที่มีผลต่อความน่ากิน และจากงานทดลองนี้ไก่มีการกินได้น้อยลง ในสูตรอาหารที่มีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่า ซึ่งเป็นผลมาจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำมันปลาทูน่า และในน้ำมันปลาทูน่ามีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองจึงทำให้

เมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ระดับพลังงานในอาหารลดต่ำลง จึงทำให้ไก่ได้รับโภชนะไม่เพียงพอต่อการให้ผลผลิต ส่งผลให้ผลผลิตไข่ลดลง และเมื่อพิจารณาถึงระดับโปรตีนในอาหารพบว่าโปรตีนในสูตรอาหารทดลองมีค่าต่างกันเล็กน้อย ซึ่งโปรตีนในอาหารมีผลต่อขนาดและน้ำหนักของไข่ ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ จึงส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Cachaldora et al. (2006) ที่รายงานผลของการใช้น้ำมันปลาทะเลมีผลต่อผลผลิตไข่ เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันต่างกัน โดย Leaf and Weber (1988) รายงานว่ากรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในอาหาร จะไประงับการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง มีผลทำให้ไข่แดงมีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักไข่ทั้งฟองลดลงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้ขัดแย้งกับงานทดลองของ Lawlor et al. (2010) Cherian (2008) Basmacioglu et al. (2003) และ Baucells et al. (2000) ที่รายงานว่าการเสริมน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรอาหารที่ใช้ในงานทดลองทุกสูตรมีการปรับระดับพลังงานในสูตรอาหารให้ใกล้เคียงกัน แต่น้ำมันจากปลาทะเลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันไปตามองค์ประกอบ และสัดส่วนของกรดไขมันที่มีในน้ำมันปลาทะเลชนิดนั้น ๆ จึงส่งผลให้งานทดลองที่ออกมายังไม่สอดคล้องกัน แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่น้ำมันจากปลาทะเลมีเหมือนกันนั้นคือเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3

จากผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่ แต่อย่างไรก็ตามสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ ได้สูงสุดในอัตราส่วน 25 : 75 ในอาหารไก่ไข่ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่

4.4 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพและองค์ประกอบในไข่ไก่

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ ที่สัดส่วน 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ต่อสัดส่วนไข่แดง (%) ไข่ขาว (%) ความหนาของเปลือกไข่ (มม.) สีไข่แดง และค่าฮอร์ยูนิต แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

เมื่อไก่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% มีผลทำให้สัดส่วนของไข่แดงลดลงต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 4 ของงานทดลอง (อายุไก่ 33 สัปดาห์) ซึ่งสัดส่วนของไข่แดงนั้นลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วน

ของน้ำหนักไข่แดงเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 และ 12 ของการทดลอง (อายุไก่ 37 และ 41 สัปดาห์ ตามลำดับ)

เมื่อไก่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% มีผลทำให้สัดส่วนของไข่ขาว มีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 4 ของงานทดลอง (อายุไก่ 33 สัปดาห์) ซึ่งสัดส่วนของไข่ขาวนั้นมีทิศทางการเพิ่มขึ้นแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของน้ำหนักไข่ขาวเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 และ 12 ของการทดลอง (อายุไก่ 37 และ 41 สัปดาห์ ตามลำดับ)

นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความหนาเปลือกไข่ สีไข่แดง และค่าฮอร์ยูนิต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกช่วงของงานทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อความหนาเปลือกไข่ สีไข่แดง และค่าฮอร์ยูนิต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Basmacioglu et al. (2003) และ Cherian (2008) ทั้งนี้เนื่องจากไก่ไข่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงแค่ระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ซึ่งอาหารทุกสูตรที่ใช้ในการทดลองมีการปรับสมดุลระดับโภชนะในสูตรอาหารให้ตรงตามความต้องการของไก่ไข่ จึงส่งผลให้คุณภาพไข่ข้างต้นไม่แตกต่างกัน ส่วนในกรณีของไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลา 100% ในสูตรอาหารส่งผลต่อสัดส่วนของไข่แดงที่ลดลง และส่งผลต่อสัดส่วนไข่ขาวที่เพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของงานทดลองนั้นเนื่องจากกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลาทูน่าจะระงับการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง (Leaf and Weber, 1988) ซึ่งองค์ประกอบของไข่แดงส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ปริมาณไขมันรวมในไข่แดงลดลง ไข่แดงจึงมีขนาดลดลง นอกจากนี้ในสูตรอาหารทดลองมีระดับพลังงาน และระดับโปรตีนในสูตรอาหารที่ต่างกันเล็กน้อย จึงส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ซึ่งข้อมูลที่มีความขัดแย้งกันนี้ เนื่องมาจากน้ำมันปลาทะเลมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นองค์ประกอบหลัก แต่อาจมีปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกันไปตามชนิดและแหล่งที่มาของปลาทะเลชนิดนั้น ๆ จึงส่งผลให้งานทดลองที่ออกมาไม่สอดคล้องกัน

จากผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ ได้สูงสุดในอัตราส่วน 25 : 75 ในอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนน้ำหนักไข่แดง สัดส่วนน้ำหนักไข่ขาว ความหนาของเปลือกไข่ สีไข่แดง และค่าฮอร์ยูนิต

ตารางที่ 4.4 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพและองค์ประกอบในไข่ไก่

	Age	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
	(weeks)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Yolk (%)	33	24.69[b]	24.97[ab]	25.75[a]	25.03[ab]	23.45[c]	0.276	QUAD = 0.0001[4]
	37	24.62	24.90	24.93	25.47	24.95	0.347	NS[3]
	41	25.43	25.76	24.44	26.01	25.32	0.390	NS
Albumen (%)	33	62.12[bc]	62.06[cb]	61.24[c]	62.47[b]	63.64[a]	0.378	QUAD = 0.0024
	37	62.36	62.55	62.10	61.83	62.18	0.449	NS
	41	61.99	61.64	62.72	61.31	61.82	0.433	NS
Shell Thickness (mm)	33	0.44	0.46	0.44	0.45	0.44	0.011	NS
	37	0.42	0.41	0.42	0.40	0.40	0.005	NS
	41	0.40	0.39	0.37	0.39	0.36	0.011	NS
Yolk color[5] (1-15)	33	5.29	5.29	4.92	5.33	4.83	0.166	NS
	37	4.79	5.00	4.54	5.00	5.00	0.151	NS
	41	4.79	4.83	4.79	4.88	4.79	0.095	NS

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.4 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อคุณภาพและองค์ประกอบในไข่ไก่ (ต่อ)

	Age	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
	(weeks)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Haugh unit	33	87.50	87.29	86.88	85.75	87.88	0.996	NS
	37	92.46	89.25	90.38	89.83	89.79	0.716	NS
	41	88.92	90.04	91.92	88.75	90.25	0.850	NS

หมายเหตุ : [a–c]Means within a row with different superscript letters significantly different ($P<0.05$).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Not significant

[4]Quadratic trend

[5]Roche color fan

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง

ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีการสะสมในไข่แดง แสดงในตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ช่วง คือเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 4 8 และ 12 ของงานทดลอง (อายุไก่ 33 37 และ 41 สัปดาห์ ตามลำดับ)

จากตารางที่ 4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 4 ของงานทดลอง (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้น ส่งผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (total n-6) สัดส่วนของกรดไขมันชนิด C18 : 2n-6 (LA) ลดลงแบบ quartic ($P<0.05$) และสัดส่วนของกรดไขมันชนิด C20 : 4n-6 (ARA) ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ในส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (total n-3) พบว่ามีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีทิศทางการเพิ่มขึ้นแบบ cubic ($P<0.05$) สัดส่วนของกรดไขมันชนิด C18 : 3n-3 (ALA) ลดลงแบบ linear ($P<0.05$) สัดส่วนกรดไขมันชนิด C20 : 5n-3 (EPA) เพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) และกรดไขมันชนิด C22 : 6n-3 (DHA) เพิ่มขึ้นแบบ cubic ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดงนี้ ส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันทั้งสองมีค่าลดลงตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยทิศทางการลดลงเป็นแบบ quartic ($P<0.05$) ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าไม่ส่งผลกระทบต่อผลรวมของสัดส่วนของกรดไขมันชนิด Saturated fatty acids (SFA) ($P>0.05$) แต่เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าให้สูงขึ้นในสูตรอาหาร ส่งผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันชนิด Monounsaturated fatty acids (MUFA) เพิ่มขึ้นแบบ cubic ($P<0.05$) และสัดส่วนของกรดไขมันชนิด Polyunsaturated fatty acids (PUFA) ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร

จากตารางที่ 4.6 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 ของงานทดลอง (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้น ส่งผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (total n-6) และ LA ลดลงแบบ quartic ($P<0.05$) และสัดส่วนของกรดไขมันชนิด ARA ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ในส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 พบว่าสัดส่วนของ total n-3 เพิ่มขึ้นแบบ quartic ($P<0.05$) สัดส่วนของกรดไขมันชนิด ALA ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) และสัดส่วนกรดไขมันชนิด EPA และ DHA เพิ่มขึ้นแบบ quartic ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดงนี้ ส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันทั้งสอง มีค่าลดลงตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยมีทิศทางการลดลงเป็นแบบ quartic ($P<0.05$) ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าส่งผลในการเพิ่มสัดส่วนของกรดไขมันชนิด SFA และ MUFA โดยมีทิศทางการเพิ่มขึ้นแบบ

quartic ($P<0.05$) และส่งผลทำให้สัดส่วนรวมของกรดไขมันชนิด PUFA มีทิศทางการลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร

จากตารางที่ 4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของงานทดลอง (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้น ส่งผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (total n-6) ลดลงแบบ linear ($P<0.05$) สัดส่วนของกรดไขมันชนิด LA ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) และสัดส่วนกรดไขมันชนิด ARA ลดลงแบบ quartic ($P<0.05$) ในส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (total n-3) เพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) สัดส่วนของกรดไขมันชนิด ALA ลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) สัดส่วนกรดไขมันชนิด EPA เพิ่มขึ้นแบบ quadratic ($P<0.05$) และสัดส่วนของกรดไขมันชนิด DHA เพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ในไข่แดงนี้ ส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันทั้งสอง มีค่าลดลงตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยมีทิศทางการลดลงเป็นแบบ cubic ($P<0.05$) ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของกรดไขมัน MUFA ($P>0.05$) แต่ส่งผลในการเพิ่มสัดส่วนของกรดไขมันชนิด SFA แบบ linear ($P<0.05$) และส่งผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมัน PUFA ลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์)

Fatty acid	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
(% of total fatty acid)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
C14 : 0	0.30^{c}	0.28^{c}	0.37^{b}	0.42^{b}	0.46^{a}	0.015	CUB = 0.0350[11]
C16 : 0	21.03^{bc}	20.60^{c}	21.50^{b}	22.16^{a}	22.58^{a}	0.191	CUB = 0.0129
C16 : 1	1.47^{d}	1.48^{d}	1.92^{c}	2.22^{b}	2.49^{a}	0.087	L = 0.0001[9]
C18 : 0	7.96^{a}	8.16^{a}	7.53^{b}	6.82^{b}	6.99^{b}	0.246	CUB = 0.0375
C18 : 1n-9	34.11^{b}	34.62^{a}	32.91^{c}	33.32^{c}	34.29^{a}	0.334	QUAR = 0.0420[12]
C18 : 2n-6	27.42^{a}	22.71^{b}	22.00^{b}	18.90^{c}	14.90^{d}	0.366	QUAR = 0.0160
C20 : 0	0.04^{b}	0.04^{b}	0.05^{b}	0.06^{a}	0.06^{a}	0.008	L = 0.0035
C20 : 1	0.17	0.13	0.14	0.15	0.15	0.011	NS
C18 : 3n-3	0.85^{ab}	0.92^{a}	0.94^{a}	0.63^{bc}	0.51^{c}	0.086	L = 0.0011
C20 : 4n-6	2.87^{a}	2.07^{b}	1.70^{c}	1.42^{d}	1.16^{e}	0.061	QUAD = 0.0001[10]
C20 : 5n-3	nd[8]	0.19^{d}	0.33^{c}	0.55^{b}	0.71^{a}	0.025	L = 0.0001
C22 : 6n-3	3.78^{e}	8.78^{d}	10.59^{c}	13.36^{b}	15.61^{a}	0.337	CUB = 0.0018
SFA[3]	29.33	29.08	29.45	29.45	30.08	0.251	NS
MUFA[4]	35.75^{cb}	36.23^{b}	34.97^{c}	35.69^{cb}	37.03^{a}	0.327	CUB = 0.0296
PUFA[5]	34.92^{a}	34.68^{a}	35.57^{a}	34.83^{a}	33.88^{b}	0.511	QUAD = 0.0156

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) (ต่อ)

Fatty acid	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
(% of total fatty acid)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Total n-6[6]	30.29[a]	24.79[b]	23.70[c]	20.32[d]	16.06[e]	0.390	QUAR = 0.0168
Total n-3[7]	4.63[e]	9.89[d]	11.87[c]	14.53[b]	16.83[a]	0.353	CUB = 0.0149
n-6/n-3	6.55[a]	2.51[b]	2.00[c]	1.40[d]	0.95[e]	0.111	QUAR = 0.0001

หมายเหตุ : [a-c]Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Sum of saturated fatty acids from C14 : 0 to C20 : 0

[4]Sum of monounsaturated fatty acids from C14 : 1 to C22 : 1

[5]Sum of polyunsaturated fatty acids from C18 : 2 to C22 : 6

[6]Sum of n-6 fatty acids from C18 : 2n-6 to C22 : 6n-3

[7]Sum of n-3 fatty acids from C18 : 3n-3 to C22 : 6n-3

[8]Not detected

[9]Linear trend

[10]Quadratic trend

[11]Cubic trend

[12]Quartic trend

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์)

Fatty acid	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
(% of total fatty acid)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
C14 : 0	0.27[d]	0.30[c]	0.37[b]	0.39[b]	0.47[a]	0.010	L = 0.0001[9]
C16 : 0	20.57[c]	20.66[c]	21.69[c]	22.08[b]	22.76[a]	0.132	QUAR = 0.035[11]
C16 : 1	1.21[e]	1.45[d]	1.74[c]	2.14[b]	2.45[a]	0.048	L = 0.0001
C18 : 0	8.35[a]	7.74[b]	7.24[c]	6.97[c]	7.08[c]	0.137	QUAD = 0.0032[10]
C18 : 1n-9	34.31[a]	33.73[ab]	32.96[b]	34.56[a]	34.51[a]	0.361	QUAD = 0.0193
C18 : 2n-6	26.98[a]	24.17[b]	22.56[c]	18.21[d]	15.07[e]	0.299	QUAR = 0.0038
C20 : 0	0.03	nd[8]	0.04	0.02	0.03	0.010	NS[12]
C20 : 1	0.15[c]	0.15[c]	0.17[b]	0.19[ab]	0.20[a]	0.006	L = 0.0001
C18 : 3n-3	0.93[a]	0.87[b]	0.83[b]	0.64[c]	0.50[d]	0.017	QUAD = 0.0001
C20 : 4n-6	2.91[a]	2.03[b]	1.62[c]	1.28[d]	1.22[d]	0.050	QUAD = 0.0001
C20 : 5n-3	nd[e]	0.12[d]	0.39[c]	0.56[b]	0.81[a]	0.016	QUAR = 0.0041
C22 : 6n-3	4.29[e]	8.78[d]	10.39[c]	12.96[b]	14.90[a]	0.299	QUAR = 0.039
SFA[3]	29.22[b]	28.70[c]	29.34[b]	29.46[b]	30.33[a]	0.124	QUAR = 0.0083
MUFA[4]	35.67[b]	35.33[b]	34.87[b]	36.89[a]	37.16[a]	0.365	QUAR = 0.0323
PUFA[5]	35.11[a]	35.97[a]	35.79[ab]	33.65[b]	32.50[c]	0.410	QUAD = 0.0005

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) (ต่อ)

Fatty acid	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
(% of total fatty acid)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Total n-6[6]	29.89[a]	26.20[b]	24.18[c]	19.49[d]	16.29[e]	0.323	QUAR = 0.0036
Total n-3[7]	5.22[e]	9.77[d]	11.61[c]	14.16[b]	16.21[a]	0.302	QUAR = 0.0777
n-6/n-3	5.73[a]	2.68[b]	2.08[c]	1.38[d]	1.01[e]	0.069	QUAR = 0.0001

หมายเหตุ : [a-c]Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Sum of saturated fatty acids from C14 : 0 to C20 : 0

[4]Sum of monounsaturated fatty acids from C14 : 1 to C22 : 1

[5]Sum of polyunsaturated fatty acids from C18 : 2 to C22 : 6

[6]Sum of n-6 fatty acids from C18 : 2n-6 to C22 : 6n-3

[7]Sum of n-3 fatty acids from C18 : 3n-3 to C22 : 6n-3

[8]Not detected

[9]Linear trend

[10]Quadratic trend

[11]Quartic trend

[12]Not significant

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์)

Fatty acid	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
(% of total fatty acid)	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
C14 : 0	0.28^{d}	0.30^{d}	0.35^{c}	0.43^{b}	0.48^{a}	0.010	QUAD = 0.0139[10]
C16 : 0	20.52^{c}	21.05^{cb}	21.41^{bc}	21.91^{b}	23.45^{a}	0.397	L = 0.0001[9]
C16 : 1	1.33^{e}	1.50^{d}	1.84^{c}	2.05^{b}	2.63^{a}	0.054	QUAD = 0.0032
C18 : 0	7.32	7.35	6.79	6.24	6.94	0.349	NS[13]
C18 : 1n-9	33.45	32.44	33.18	34.24	32.08	1.126	NS
C18 : 2n-6	26.82^{a}	24.95^{b}	22.33^{c}	19.84^{d}	15.88^{e}	0.464	QUAD = 0.0262
C20 : 0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.012	NS
C20 : 1	0.27	0.26	0.26	0.28	0.28	0.019	NS
C18 : 3n-3	0.98^{a}	0.88^{b}	0.80^{c}	0.67^{d}	0.50^{e}	0.020	QUAD = 0.0144
C20 : 4n-6	2.68^{a}	2.20^{b}	1.65^{c}	1.51^{c}	1.31^{d}	0.050	QUAR = 0.0357[12]
C20 : 5n-3	nd^{e}	0.12^{d}	0.32^{c}	0.48^{b}	0.75^{a}	0.020	QUAR = 0.0017
C22 : 6n-3	6.32^{e}	8.92^{d}	11.03^{c}	12.34^{b}	15.70^{a}	0.403	L = 0.0001
SFA[3]	28.14^{b}	28.72^{b}	28.58^{b}	28.60^{b}	30.88^{a}	0.564	L = 0.0032
MUFA[4]	35.06	34.21	35.29	36.58	34.99	1.092	NS
PUFA[5]	36.81^{a}	37.07^{a}	36.13^{ab}	34.82^{b}	34.13^{c}	0.707	L = 0.0005

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อกรดไขมันในไข่แดง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) (ต่อ)

Fatty acid	**Soybean oil : Tuna oil**					**SEM**[1]	**Trend**[2]
(% of total fatty acid)	**100 : 0**	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**		
Total n-6[6]	29.50[a]	27.15[b]	23.98[c]	21.34[d]	17.18[e]	0.505	L = 0.0001
Total n-3[7]	7.30[e]	9.92[d]	12.15[c]	13.48[b]	16.95[a]	0.407	L = 0.0001
n-6/n-3	4.04[a]	2.74[b]	1.97[c]	1.58[d]	1.01[e]	0.103	CUB = 0.0244[11]

หมายเหตุ : [a-c]Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Sum of saturated fatty acids from C14 : 0 to C20 : 0

[4]Sum of monounsaturated fatty acids from C14 : 1 to C22 : 1

[5]Sum of polyunsaturated fatty acids from C18 : 2 to C22 : 6

[6]Sum of n-6 fatty acids from C18 : 2n-6 to C22 : 6n3

[7]Sum of n-3 fatty acids from C18 : 3n3 to C22 : 6n3

[8]Not detected

[9]Linear trend

[10]Quadratic trend

[11]Cubic trend

[12]Quartic trend

[13]Not significant

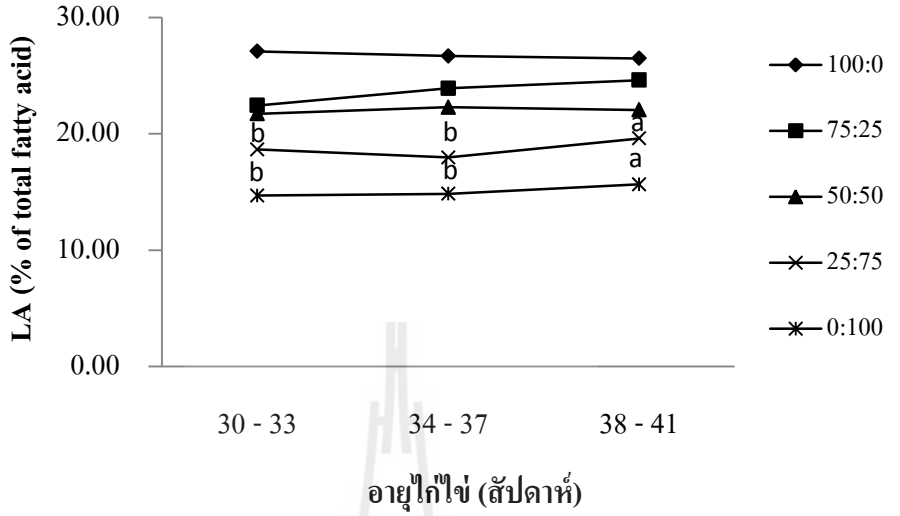
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชนิดและองค์ประกอบของไขมันในไข่แดงขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์ไขมันที่ตับ และชนิดของกรดไขมันที่ได้รับจากอาหาร (Sim and Qi, 1995) ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนแหล่งของไขมันในสูตรอาหารจะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง (Caston and Leeson,1990; Jiang, Ahn, Lander, and Sim, 1992; Scheideler and Froning, 1996) การสะสมกรดไขมันในร่างกายสัตว์เป็นผลเนื่องมาจากชนิดของกรดไขมันที่สัตว์ได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป (Du, Ahn, and Sell, 2000) โดยในการทดลองครั้งนี้ ไก่ไข่ทุกกลุ่มการทดลองได้รับอาหารที่มีโภชนะต่าง ๆ เท่ากันตลอดการทดลอง ดังนั้นความแตกต่างของการสะสมไขมันที่เกิดขึ้นจึงสามารถอธิบายได้จากการที่ไก่ได้รับสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่แตกต่างกันในแต่ละสูตรอาหาร โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้นจะทำให้มีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงสะสมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lawlor et al. (2010) Basmacioglu et al. (2003) Baucells et al. (2000) และ Gonzalez-Esquerra and Leeson (2000) นอกจากนี้ยังพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันจากปลาทะเลในสูตรอาหารจะส่งผลให้มีการเพิ่มการสะสมกรด DHA ในไข่แดงสูงขึ้นด้วย (Husveth, Rozsal, Magyar, Bali, and Papcsi, 2003; Sari, Aksit, Ozdogan, and Basmacioglu, 2002; Rizzi, Simioli, Bochicchio, and Parazza, 2009) ทั้งนี้เนื่องจาก DHA สามารถสะสมที่เยื่อหุ้มเซลของไข่แดงได้ดีกว่า EPA (Huang, Leibovitz, Lee, and Millar, 1990; Herber-McNeill and Van Elswyk, 1996; Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000) และเป็นที่ทราบกันดีว่ากรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์ ในขณะเดียวกันการเพิ่มกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในอาหารไก่ไข่ จะส่งผลให้มีการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ในไข่แดงลดลง (Rizzi et al., 2003) และสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ก็มีความสำคัญต่อสุขภาพเช่นกัน โดยสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 ที่เหมาะสม คือ ไม่เกิน 5 : 1 (Wijendran and Hayes, 2004; Haz et al., 2004) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ และโรคต่าง ๆ การศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้สัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าตั้งแต่ 75 : 25 ในสูตรอาหารมีผลลดอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3ให้อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมได้

4.6 การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในไข่แดงตลอดการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของ LA ในแต่ละช่วงของการทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 4.1 ซึ่งพบว่า ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่สัดส่วน 25 : 75 ในสูตรอาหารส่งผลในการเพิ่ม LA ในไข่แดงให้สูงขึ้น เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลอง ($P<0.05$) และสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่สัดส่วน 0 : 100 มีผลในการเพิ่ม LA ในไข่แดง เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลอง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลอง ($P<0.05$)

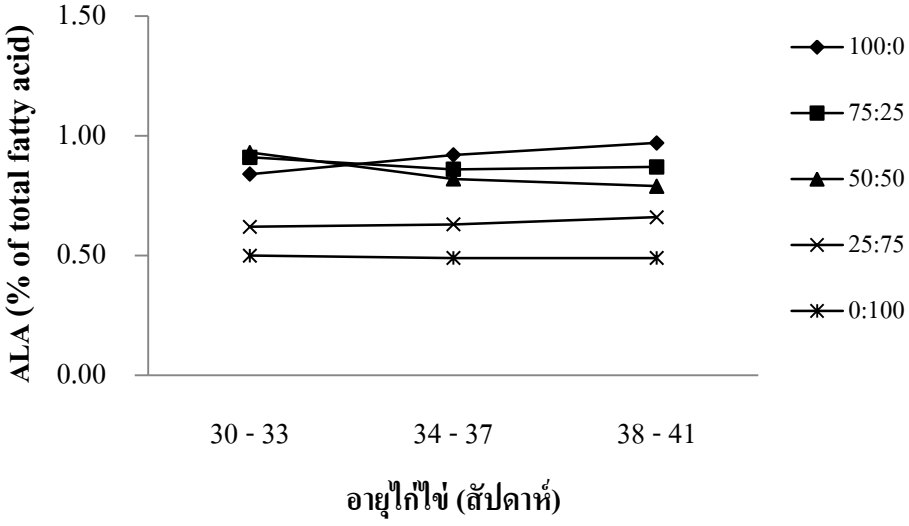
โดยสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่สัดส่วน 100 : 0 75 : 25 และ 50 : 50 ในสูตรอาหารไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง LA ในไข่แดง (P>0.05)



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน LA ในไข่แดงตลอดการทดลอง

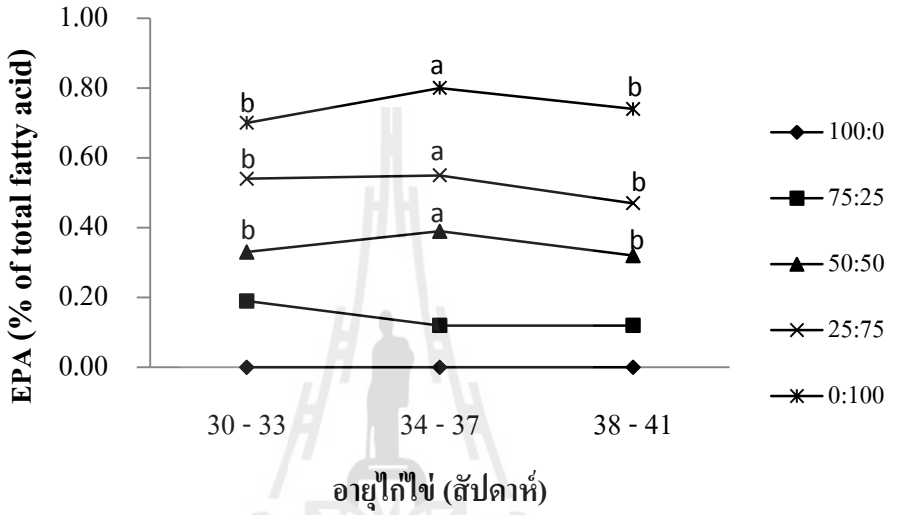
หมายเหตุ : [a-b]Indicate significantly different (P<0.05)

การเปลี่ยนแปลงของ ALA ในแต่ละช่วงของการทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 4.2 ซึ่งพบว่าผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อกรดไขมันในไข่แดง ที่สัดส่วน 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันชนิด ALA ในไข่แดง ตลอดการทดลอง (P>0.05)



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน ALA ในไข่แดงตลอดการทดลอง

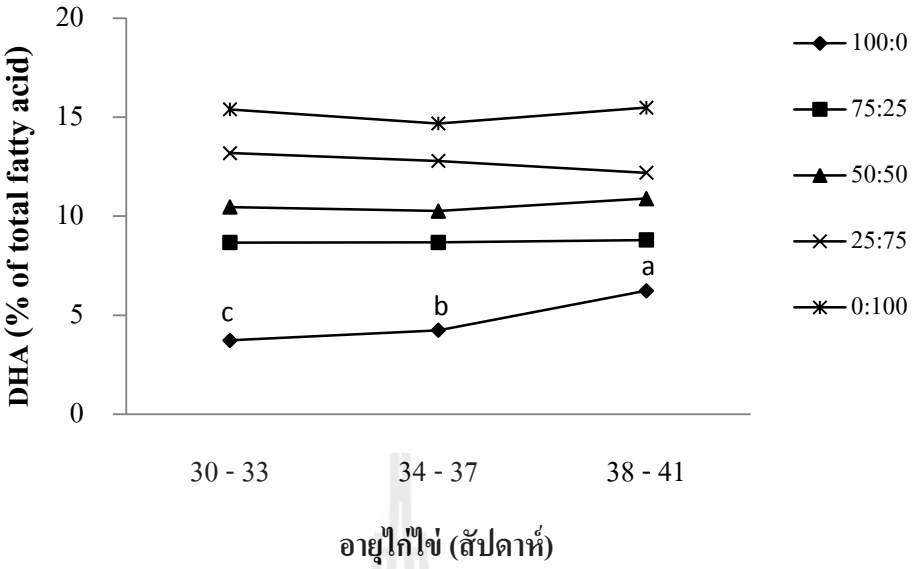
การเปลี่ยนแปลงของ EPA ในแต่ละช่วงของการทดลอง แสดงไว้ในภาพที่ 4.3 ซึ่งพบว่าผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่สัดส่วน 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ในสูตรอาหารส่งผลในการเพิ่ม EPA ในไข่แดงให้สูงขึ้น เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 และลดลงเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลอง ($P<0.05$) และสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่สัดส่วน 100 : 0 และ 75 : 25 ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง EPA ในไข่แดงตลอดการทดลอง ($P>0.05$)



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน EPA ในไข่แดงตลอดการทดลอง

หมายเหตุ : $^{a-b}$Indicate significantly different ($P<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของ DHA ในแต่ละช่วงของการทดลอง แสดงไว้ในภาพที่ 4.4 ซึ่งพบว่าผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่สัดส่วน 100 : 0 ในสูตรอาหาร ส่งผลในการเพิ่ม DHA ในไข่แดงให้สูงขึ้น เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 และเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลอง ($P<0.05$) และสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่สัดส่วน 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง DHA ในไข่แดงตลอดการทดลอง ($P>0.05$)



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน DHA ในไข่แดงตลอดการทดลอง

หมายเหตุ : $^{a-b}$Indicate significantly different ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในแต่ละช่วงของการทดลอง พบว่าสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสม ALA ในไข่แดงตลอดการทดลอง แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ LA EPA และ DHA ทั้งนี้การสะสมกรดไขมันในไข่แดงจะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของกรดไขมันในอาหารที่ได้รับ (Hargis, Van Elswyk, and Hargis, 1991) โดยเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้นจะส่งผลให้มีการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงสูงขึ้นตามลำดับ โดยการศึกษาของ Cachaldora et al. (2006) พบว่าไก่ไข่มีประสิทธิภาพในการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดง 26% ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอื่นด้วย ทั้งอายุ พันธุกรรม ขนาดไข่แดง มวลไข่ และแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ใช้ในสูตรอาหาร ซึ่งประสิทธิภาพการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงจะเพิ่มขึ้นแบบถดถอย เมื่อระดับกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ได้รับจากอาหารสูงขึ้น (Huang et al., 1990; Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000) แต่เมื่อมีการใช้น้ำมันปลาในสูตรอาหารอย่างต่อเนื่อง พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมของกรดไขมันเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันในไข่แดง คือปริมาณกรดไขมันที่ได้รับจากอาหาร ดังนั้นการกินได้ของไก่จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมของกรดไขมันในไข่แดงด้วย ซึ่งกรดไขมันที่ได้รับจากอาหารจะสะสมในไข่แดงได้ในช่วงที่มีการสร้างไข่แดงเท่านั้น การเสริมกรดไขมันใน

อาหารติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จึงมีผลทำให้มีการสะสมกรดไขมันในไข่แดงอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่ได้ทำให้การสะสมกรดไขมันในไข่แดงเพิ่มขึ้น

4.7 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง แสดงในตารางที่ 4.8 โดยผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร มีผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิด LA ในไข่แดง ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิด LA ในไข่แดงลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) ที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มลดลงแบบ linear ($P<0.05$) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ quartic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิด ALA ในไข่แดง ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิด ALA ในไข่แดงลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิด EPA ในไข่แดง ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิด EPA ในไข่แดงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) และที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ quartic ($P<0.05$) ที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิด DHA ในไข่แดง ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิด DHA ในไข่แดงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ quartic ($P<0.05$) และที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ cubic ($P<0.05$) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (total n-6) ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (total n-6) ในไข่แดงลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ cubic ($P<0.05$) และที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

ผลต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (total n-3) ในทุกช่วงของการทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้การสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (total n-3) ในไข่แดงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ quartic ($P<0.05$) และที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ cubic ($P<0.05$) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากผลการศึกษาพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหาร มีการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูงกว่ากลุ่มควบคุม 3.5 เท่า ทั้งนี้การสะสมกรดไขมันในไข่แดงจะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของกรดไขมันในอาหารที่ได้รับ (Hargis et al., 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารให้สูงขึ้น ก็ส่งผลให้มีการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงสูงขึ้นตามลำดับ โดยจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไก่ไข่มีประสิทธิภาพการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดง 16.85% แต่ผลการศึกษาของ Cachaldora et al., (2006) พบว่าไก่ไข่มีประสิทธิภาพการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดง 26% ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอื่นด้วย ทั้งอายุ พันธุกรรม ขนาดไข่แดง มวลไข่ และแหล่งของโอเมก้า-3 ที่ใช้ในสูตรอาหาร ซึ่งไข่ไก่มีประสิทธิภาพการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงจะเพิ่มขึ้นแบบถดถอย เมื่อระดับกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ได้รับจากอาหารสูงขึ้น (Huang et al., 1990; Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000)

ตารางที่ 4.8 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง (mg/100 g yolk)

Parameter	Age (weeks)	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
		100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
C18 : 2n-6	33	277.51^{a}	207.83^{b}	185.81^{bc}	171.34^{c}	111.65^{d}	8.767	CUB = 0.0019[5]
	37	242.26^{a}	228.83^{ab}	205.00^{bc}	153.5^{c}	131.86^{c}	9.155	L = 0.0001[3]
	41	256.55^{a}	253.58^{a}	193.78^{b}	198.46^{b}	146.28^{c}	11.095	QUAD = 0.0131[4]
C18 : 3n-3	33	8.46^{a}	8.36^{a}	7.92^{ab}	5.74^{b}	3.73^{c}	0.832	L = 0.0001
	37	8.41^{a}	8.27^{a}	7.54^{ab}	5.39^{b}	4.30^{b}	0.383	QUAD = 0.0274
	41	9.37^{a}	8.90^{a}	6.93^{b}	6.63^{b}	4.53^{c}	0.387	QUAD = 0.0468
C20 : 5n-3	33	0.00^{d}	1.80^{c}	2.80^{b}	4.96^{a}	5.34^{a}	0.259	QUAR = 0.0294[6]
	37	0.00^{e}	1.18^{d}	3.56^{c}	4.67^{b}	7.10^{a}	0.222	QUAR = 0.0102
	41	0.00^{e}	1.27^{d}	2.81^{c}	4.79^{b}	6.91^{a}	0.284	L = 0.0001
C22 : 6n-3	33	38.20^{c}	80.34^{b}	89.87^{b}	121.58^{a}	117.29^{a}	5.851	QUAR = 0.0271
	37	38.59^{d}	83.59^{c}	94.54^{bc}	109.44^{b}	130.82^{a}	5.317	CUB = 0.0213
	41	59.86^{d}	90.58^{c}	95.75^{c}	124.06^{b}	143.91^{a}	5.763	L = 0.0001
Total n-6	33	312.82^{a}	231.66^{b}	204.23^{bc}	187.81^{c}	123.35^{d}	9.871	CUB = 0.0025
	37	273.66^{a}	252.72^{ab}	223.85^{b}	167.83^{c}	146.10^{c}	10.273	L = 0.0001
	41	287.08^{a}	281.56^{a}	211.69^{b}	216.81^{b}	160.98^{c}	12.250	QUAD = 0.0110

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณการสะสมกรดไขมันในไข่แดง (mg/100 g yolk) (ต่อ)

Parameter	Age (weeks)	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
		100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Total n-3	33	46.66^{c}	90.5^{b}	100.59^{b}	126.36^{a}	132.29^{a}	6.185	QUAR = 0.0334
	37	47.01^{d}	93.03^{c}	105.64^{bc}	119.51^{b}	142.23^{a}	5.712	CUB = 0.0251
	41	69.23^{d}	100.75^{c}	105.48^{c}	135.48^{b}	155.34^{a}	6.159	L = 0.0001

หมายเหตุ : $^{a–d}$Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[4]Linear trend

[5]Quadratic trend

[6]Cubic trend

[7]Quartic trend

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.8 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และไขมันในไข่แดง

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และไขมันในไข่แดง แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ในทุกช่วงของงานทดลอง โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ quadratic ($P<0.05$) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ส่งผลกระทบต่อปริมาณไขมันในไข่แดง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4 สัปดาห์ (อายุไก่ 33 สัปดาห์) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงสัปดาห์แรกของงานทดลองสัดส่วนของไข่แดงมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสะสมไขมันในไข่แดงลดลงด้วย เนื่องจากความสามารถในการสะสมไขมันในไข่แดงขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันในอาหาร และขนาดของไข่แดง แต่ไม่ส่งผลกระทบที่ 8 สัปดาห์ (อายุไก่ 37 สัปดาห์) และที่ 12 สัปดาห์ (อายุไก่ 41 สัปดาห์) ($P>0.05$)

การเสริมแหล่งไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในอาหารไก่ไข่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ได้ เนื่องจากโอเมก้า-3 มีคุณสมบัติไปยับยั้งการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ และลดปริมาณ mRNA ของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ที่ตับ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง และเพิ่มการสลายไขมันมากขึ้น มีผลให้ VLDL และ LDL ในเลือดลดลง รวมทั้งการขนย้ายคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดลดลงตามไปด้วย (Newman et al., 2002)

ตารางที่ 4.9 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และไขมันในไข่ไก่

Parameters	Age (weeks)	Soybean oil : Tuna oil					SEM[1]	Trend[2]
		100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100		
Cholesterol	33	151.28[a]	142.54[ab]	137.23[b]	138.17[b]	136.10[b]	2.977	L = 0.0011[3]
(mg/g yolk)	37	149.64[a]	138.28[b]	135.84[b]	135.46[b]	134.27[b]	2.271	QUAD = 0.0189[4]
	41	141.13[a]	138.84[a]	135.74[ab]	130.13[b]	130.38[b]	2.371	L = 0.0010
Fat	33	12.35[a]	11.19[ab]	10.33[bc]	11.08[b]	9.17[c]	0.513	L = 0.0003
(g/100 g egg)	37	10.98	11.56	11.07	10.29	10.72	0.509	NS[5]
	41	11.66	12.45	10.60	12.23	11.22	0.542	NS

หมายเหตุ : [a-c]Means within a row with different superscript letters significantly different (P<0.05).

[1]Standard error of mean

[2]Refer to polynomials trend analysis

[3]Linear trend

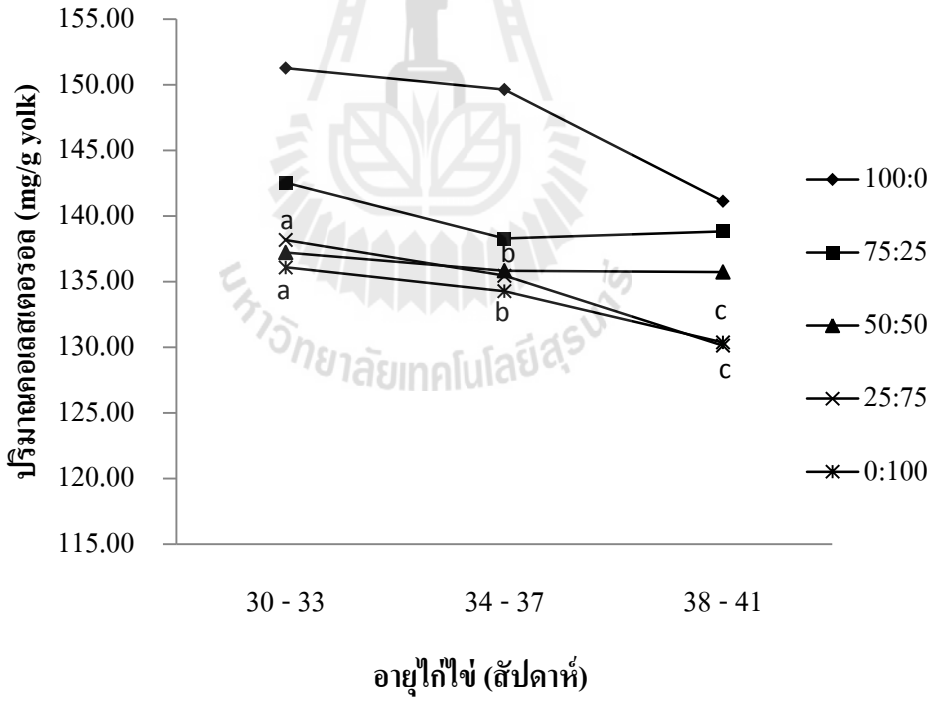
[4]Quadratic trend

[5]Not significant

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงตลอดการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ในแต่ละช่วงของการทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 ซึ่งพบว่าผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า มีผลลดระดับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 (อายุไก่ 37 สัปดาห์) และสิ้นสัปดาห์ที่ 12 (อายุไก่ 41 สัปดาห์) ของงานทดลอง โดยเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 12 (อายุไก่ 41 สัปดาห์) ของงานทดลองกลุ่มที่ได้รับสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็น 25 : 75 และ 0 : 100 มีระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และมีปริมาณคอเลสเตอรอลต่ำกว่าไข่ไก่ปกติที่มีปริมาณคอเลสเตอรอล 200-220 มก.ต่อฟอง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ขึ้นอยู่กับปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร หรือการนำคอเลสเตอรอลในร่างกายกลับมาใช้ใหม่ซึ่งส่วนใหญ่ไก่ไข่จะตอบสนองต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาใหม่วันละ 300 มก. ในตับและรังไข่ (Valenzuela, Sanhueza, and Nieto, 2003; Kim, Hong, Lee, and Kim, 2004; Liu Zhao, Thiessen, House, and Jones, 2010)



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงตลอดการทดลอง

หมายเหตุ : $^{a-b}$Indicate significantly different ($P<0.05$)

4.10 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อค่าทางชีวเคมี ในเลือดไก่ไข่

ผลของสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อค่าทางชีวเคมีในเลือดไก่ไข่แสดงในตารางที่ 4.10 โดยพบว่าสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอร์ไรด์ HDL และ LDL ในเลือดไก่ ($P>0.05$) โดยปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่นั้น นอกจากได้รับโดยตรงจากอาหารแล้ว ร่างกายของไก่ไข่จะผลิตคอเลสเตอรอลเองได้ เนื่องจากคอเลสเตอรอลเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน และฮอร์โมน ถึงแม้ว่ากรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ไก่ไข่ได้รับจากอาหารจะไปยับยั้งการขนส่งไขมันและคอเลสเตอรอลได้ แต่อย่างไรก็ตามร่างกายของไก่ไข่ก็จะผลิตคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นมาเพื่อให้เพียงพอกับที่ร่างกายต้องการ

ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ต่อค่าทางโลหิตวิทยา และต่ออิมมูโนโกลบูลินในไก่ไข่แสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าไม่ส่งผลกระทบต่อค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่ในด้านจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาวชนิด eosinophill lymphocyte monocyte และอัตราส่วน H/L ($P>0.05$) แต่สัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า มีผลต่อจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยพบว่ากลุ่มการทดลองที่ใช้สัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่อัตราส่วน 50 : 50 มีจำนวนเม็ดเลือดขาวสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า ที่อัตราส่วน 100 : 0 25 : 75 และ 0 : 100 ($P>0.05$) โดยค่าจำนวนเม็ดเลือดขาวของไก่ไข่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงแบบ quartic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร มีผลต่อค่าเม็ดเลือดขาวชนิด heterophill โดยพบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่อัตราส่วน 75 : 25 และ 50 : 50 ในสูตรอาหารมีเปอร์เซ็นต์ heterophill สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่อัตราส่วน 100 : 0 และ 0 : 100 ($P>0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ของ heterophill ของไก่ไข่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงแบบ quartic ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร มีผลต่อค่าเม็ดเลือดขาวชนิด basophill โดยพบว่าสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่อัตราส่วน 100 : 0 ในสูตรอาหาร มีเปอร์เซ็นต์ basophill สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ของ basophill ของไก่ไข่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

แต่พบว่าสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่า มีผลต่ออิมมูโนโกลบูลิน โดยการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารส่งผลให้ไก่มีอิมมูโนโกลบูลินสูงขึ้น ซึ่งกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร 100% มีค่าอิมมูโนโกลบูลินสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าที่อัตราส่วน 75 : 25 50 : 50 และ 25 : 75 โดยค่าอิมมูโนโกลบูลินมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงแบบ linear ($P<0.05$) ตามสัดส่วนของน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ Fristsche et al. (1991) ที่รายงานว่าสัตว์ปีกที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูง (70g fish oil/kg of diet) จะกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ยังเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โดยจะกระตุ้นการสร้าง eicosanoids prostaglangins leukotrienes และ thromboxanes ดังนั้นระบบภูมิคุ้มกันที่ดีจึงเป็นพื้นฐานในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.10 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อค่าทางชีวเคมีในเลือดไก่ไข่

	Soybean oil : Tuna oil					SEM	Trend
	100 : 0	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**		
Cholesterol (mg/l)	50.00	54.86	52.25	52.38	51.88	1.670	NS
Triglyceride (mg/l)	1,322.00	1,313.50	1,249.38	1,324.14	1,305.86	57.580	NS
HDL (mg/l)	22.25	24.13	25.00	24.50	25.00	2.191	NS
LDL (mg/l)	8.57	9.13	8.43	9.33	8.71	0.570	NS
RBC ($\times 10^6/mm^3$)	1.81	1.90	2.08	2.09	1.82	0.101	NS
WBC ($\times 10^4/mm^3$)	1.02^{ab}	0.75^{b}	1.12^{a}	0.94^{ab}	0.89^{ab}	0.077	QUAR = 0.0151
Heterophil (%)	55.38^{ab}	58.13^{a}	60.43^{a}	49.88^{b}	59.38^{ab}	2.558	QUAR = 0.0487
Eosinophil (%)	3.60	4.50	3.00	2.43	5.00	0.636	NS
Basophil (%)	2.50^{a}	0.88^{b}	0.50^{b}	1.13^{b}	0.00^{b}	0.477	L = 0.0034
Lymphocyte (%)	28.00	31.75	30.29	28.50	26.75	1.903	NS
Monocyte (%)	6.00	5.63	4.38	4.00	3.25	0.705	NS
H/L	2.07	1.89	2.05	1.81	2.39	0.195	NS
Total Ig (mg/dl)	1.33^{b}	1.77^{ab}	1.78^{ab}	2.01^{ab}	2.43^{a}	0.204	L = 0.0017

หมายเหตุ : $^{a-b}$Means within a row with different superscript letters significantly different ($P<0.05$).

RBC = Red blood cell; WBC = White blood cell; Total Ig = Total Immunoglobulin; NS = Not significant

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.11 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลการศึกษาสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 โดยสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็น 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 ในสูตรอาหารไก่ไข่ส่งผลให้จำนวนไข่ตลอดการทดลองลดลงตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร ดังนี้ 4,825 4,734 4,713 4,730 และ 4,441 ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตไข่ที่ลดลงนี้สอดคล้องกับการกินอาหารตลอดการทดลองโดยกลุ่มที่มีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่สูงขึ้นในสูตรอาหารมีปริมาณการกินได้ที่ลดลงเป็นดังนี้คือ 557.22 533.42 534.4 556.15 และ 516.20 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อไก่มีการกินได้ที่ลดลงส่งผลให้ได้รับโภชนะไม่เพียงพอต่อการสร้างผลผลิตไข่ จึงทำให้ผลผลิตไข่ลดลง และนอกจากนี้ยังพบว่าราคาต้นทุนอาหารไก่ไข่ต่อกิโลกรัม เมื่อใช้สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าเป็น 100 : 0 75 : 25 50 : 50 25 : 75 และ 0 : 100 มีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 15.75 16.29 16.84 17.30 และ 17.93 บาท ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไข่ไก่หนึ่งฟองเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในอาหารไก่ไข่เป็น 1.82 1.84 1.91 2.03 และ 2.08 บาท ตามลำดับ

แม้การศึกษาในครั้งนี้จะพบว่าการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปลาทูน่ามีผลกระทบต่อการลดผลผลิตไข่ ลดการกินได้ ส่งผลต่อราคาต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัมและต้นทุนในการผลิตไข่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากราคาน้ำมันปลาทูน่าที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานทั่วไปที่ใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ ประกอบกับกลิ่นจำเพาะที่มีอยู่ในน้ำมันปลาทูน่าส่งผลกระทบต่อความน่ากินของอาหารทำให้ไก่กินอาหารได้น้อยลง แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าสามารถใช้สัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ได้สูงถึง 25 : 75 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการกินได้ ผลผลิตไข่ นอกจากนี้การใช้น้ำมันปลาทูน่ามาเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารยังสามารถเพิ่มการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ซึ่งไข่ไก่ที่ผลิตได้นี้จึงถือว่าเป็นไข่ไก่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค สามารถขายเป็นสินค้าสำหรับกลุ่มลูกค้าที่สนใจ และผู้ที่รักษาสุขภาพได้ โดยราคาของไข่ไก่ในกลุ่มนี้จะมีราคาสูงกว่าไข่ไก่ที่ผลิตโดยทั่วไปประมาณสองเท่า ซึ่งจะเป็นผลดีต่อเกษตรกรที่จะได้รับผลตอบแทนที่สูงขึ้น และผู้บริโภคก็ได้บริโภคไข่ไก่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอีกด้วย ดังนั้นการใช้สัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ที่เหมาะสมจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ผู้ผลิตสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตไข่ไก่ให้ได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้นได้

ตารางที่ 4.11 ผลของสัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในอาหาร ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

Parameters	Soybean oil : Tuna oil				
	100 : 0	**75 : 25**	**50 : 50**	**25 : 75**	**0 : 100**
จำนวนไก่ไข่เข้าการทดลอง (ตัว)	60	60	60	60	60
อัตราการมีชีวิตรอด (%)	98.33	96.67	96.67	98.33	100.00
จำนวนไข่ตลอดการทดลอง (ฟอง)	4,825	4,734	4,713	4,730	4,441
จำนวนอาหารที่กินตลอดการทดลอง (กิโลกรัม)	557.22	533.42	534.41	556.15	516.20
ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	15.75	16.29	16.84	17.30	17.93
ต้นทุนค่าอาหาร/ไข่ 1 ฟอง (บาท)	1.82	1.84	1.91	2.03	2.08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก โดยศึกษาผลต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ค่าทางชีวเคมีของโลหิต โดยภาพรวมสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สามารถใช้สัดส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลักได้สูงสุด คือสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลือง 25% ต่อน้ำมันปลาทูน่า 75% ในสูตรอาหารไก่ไข่ โดยสัดส่วนนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ทั้งทางด้านปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน) ผลผลิตไข่ (%) และคุณภาพของไข่ไก่

5.1.2 สัดส่วนน้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหาร สามารถเพิ่มปริมาณของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงได้สูงสุด ส่งผลทำให้ไข่แดงมีอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ต่ำกว่า 5 : 1 และยังสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

5.1.3 ในด้านสุขภาพแม่ไก่พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารเป็น 100% ส่งผลให้แม่ไก่ไข่มีปริมาณอิมโมโนโกลบูลินในซีรั่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของแม่ไก่

5.1.4 การใช้น้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารมีผลต่อการเพิ่มต้นทุนค่าอาหารไก่ โดยสูตรที่ใช้น้ำมันปลาทูน่าทำให้ต้นทุนค่าอาหารไก่สูงขึ้นเล็กน้อย แต่ผลผลิตที่ได้สามารถขายได้ราคาสูงกว่าไข่ไก่ทั่วไปประมาณสองเท่า

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก คือสัดส่วน 25 : 75 ซึ่งสัดส่วนนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการการผลิต คุณภาพไข่ แต่สามารถเพิ่มกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ลดอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และส่งผลดีต่อสุขภาพของไก่ไข่

การปรับสัดส่วนน้ำมันในสูตรอาหารไข่ไก่ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก โดยการเพิ่มแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (น้ำมันปลาทูน่า) เป็นอีกหนึ่ง

ช่องทางสำหรับการผลิตอาหารที่มีคุณภาพดีสำหรับผู้บริโภค ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้สามารถที่จะนำไปพัฒนาการเลี้ยงไก่ไข่ของเกษตรกรเพื่อเป็นอีกช่องทางในการเพิ่มมูลค่าสินค้าและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 น้ำมันปลาทูน่าซึ่งเป็นแหล่งโอเมก้า-3 ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นน้ำมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ดังนั้นเมื่อมีการนำมาใช้งานควรเก็บรักษาในที่แห้งและเย็น เพื่อยืดอายุการใช้งาน การผสมอาหารไก่ด้วยน้ำมันปลาทูน่าไม่ควรเก็บอาหารไว้นาน เพื่อลดการเกิดปฏิกริยา oxidation ของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันประเภทนี้สามารถเกิดปฏิกริยา oxidation ได้ง่ายกว่าน้ำมันทั่วไป

5.2.2 ไม่ควรใช้น้ำมันปลาทูน่า 100% ในสูตรอาหารไก่ไข่ เนื่องจากมีผลกระทบต่อการกินได้ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ไก่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

พรทิพย์ แซ่เตีย. (2537). การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เศษเหลือของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องเพื่อผลิตน้ำมันปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุวเรศ สังวราภรณ์. (2537). ผลการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดงและสมรรถภาพการผลิตของไข่ไก่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alvarez, C., Cachaldora, P., Mendez, J., Garca-Rebollar, P., and De Blas, J. C. (2004). Effects of dietary conjugated linoleic acid and fish oil supplementation on performance and egg quality in laying hens. **Br. Poult. Sci.** 45: 524-529.

Anderson, G. J., Connor, W. E., Corliss, J. D., and Lin, D. S. (1989). Rapid modulation of the (n-3) docosahexaenoic acid levels in the brain and retina of the newly hatched chick. **J. Lipid Res.** 30: 443-441.

Basmacıoglu, H., Cabuk, M., Unal, K., Ozkan, K., Akkan, S., and Yalcın, H. (2003). Effects of dietary fish oil and flax seed on cholesterol and fatty acid composition of egg yolk and blood parameters of laying hens. **South Afri. J. Anim. Sci.** 33(4): 266-273.

Bate, C., Rumbold, L., and Williams, A. (2007). Cholesterol synthesis inhibitors protect against platelet-activating factor-induced neuronal damage. **Neuroinflammation.** 4-5.

Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., Lopez-Ferrer, S., and Grashorn, M. A. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. **Poult. Sci.** 79: 51-59.

Budowski, P., and Crawford, M. A. (1986). Effect of dietary linoleic acid and α-linolenic acids on the fatty acid composition of brain lipidss in the young chick. **Prog. Lipid Res.** 25: 615-618.

Burdge, G. C., and Calder, P. C. (2005). Conversion of α-linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults. **Reprod. Nutr. Dev.** 45: 581-597.

Cachaldora, P., Garca-Rebollar, P., Alvarez, C., De Blas, J. C., and Mndez, J. (2006). Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens. **Br. Poult. Sci.** 47: 43-49.

Cachaldora, P., Garca-Rebollar, P., Alvarez, C., De Blas, J. C., and Mndez, J. (2008a). Effect of type and level of basal fat and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids deposition efficiency in laying hens. **Anim. Feed Sci. Technol.** 141: 104-114.

Cachaldora, P., Garca-Rebollar, P., Alvarez, C., and De Blas. (2008b). Double enrichment of chicken eggs with conjugated linoleic acid and n-3 fatty acids through dietary fat supplementation. **Anim. Feed Sci. Technol.** 144: 315-326.

Calder, P. C. (1996). Immunomodulatory and anti-inflammatory effects of n-3 fatty acids. **Proc. Nutr. Soc.** 55: 737-774.

Calder, P. C. (2006). Polyunsaturated fatty acids and inflammation. **Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids.** 75: 197-202.

Caston, L., and Leeson, S. (1990). Dietary flax and egg composition. **Poult. Sci.** 69: 1617-1620.

Cherian, G. (2008). Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. **Poul. Sci.** 87: 1131-1137.

Coetzee, G. J. M., and Hoffman, L. C. (2002). Effects of various dietary n-3/n-6 fatty acid ratios on the performance and body composition of broiler. **South African J. Anim. Sci.** 32 (3): 175-184.

Du, M., Ahn, D. U., and Sell, J. L. (2000). Effects of dietary conjugated linoleic and linoleic : linolenicacid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens. **Poult. Sci.** 79: 1749-1756.

Farrell, D. J. (1993). UNE' designer egg. **Feed Int.** 32(5): 62-66.

Fernandes, G., and Venkatraman, J. T. (1993). Role of omega-3 fatty acids in health and disease. **Nutr. Res.** 13: 19-54.

Folch, J., Lees, M., and Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **J. Biol. Chem.** 226: 497-509.

Friedman, A. and Sklan, D. (1997). Effect of dietary fatty acids on humoral immune response of tkureys. Br. **Poult. Sci.** 38: 342-348.

Fritsche, K. L., Cassity, N. A., and Huang, S. (1991). Effect of dietary fat source on antibody production and lymphocytenproliferation in chickens. **Poult. Sci.** 70: 611-617.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Fritsche, K. L., and Cassity, N. A. (1992). Dietary n-3 fatty acids reduce antibody-dependent cell cytotoxicity and alter eicosanoid release by chicken immune cells. **Poult. Sci.** 71: 1646-1657.

Fristche, K. L., and Johnston, P. V. (1990). Effect of dietary omega-3 fatty acids on cell-mediated cytotoxicity activity in BALB/c mice. **Nutr. Res.** 10: 577-588.

Garcia-Rebollar-Rebollar, P., Cachaldora, P., Alvarez, C., De Blas, C., and Mendez, J. (2008). Effect of the combined supplementation of diets with increasing levels of fish and linseed oils on yolk fat composition and sensorial quality of eggs in laying hens. **J. Anim. Sci.** 140: 337-348.

Gonzalez-Esquerra, R., and Leeson, S. (2000). Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs. **Poult. Sci.** 79: 1597-1602.

Grobas, S., Mendez, J., Lazaros, R., Blas, C. D., Mateos, G. G., and De, B. C. (2001). Influence of source of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens. **Poult. Sci.** 80: 1171-1179.

Hargis, P. S., Van Elswyk, M. E., and Hargis, B. M. (1991). Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. **Poult. Sci.** 70: 874-883.

Harper, C. R., and Jacobson, T. A. (2005). Usefulness of omega-3 fatty acids and the prevention of coronary heart disease. **Amim. J. Cardiol.** 96: 1521-1529.

Haz, L., Arringa, M. D., Cambero, I., and Ordonez, J. A. (2004). Development of an n-3 fatty acid and α-tocopherol enriched dry fermented sausage. **Meat Sci.** 67(3): 485-495.

Herber-McNeill, S. M., and Van Elswyk, M. E. (1996). Dietary marine algae promote efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. **Poult. Sci.** 1501-1507.

Huang, S. B., Leibovitz, H., Lee, C. M., and Millar, R. (1990). Effects of dietary fish oil on omega-3 fatty acid levels in chicken eggs and thigh flesh. **J. Agric. Food Chem.** 38: 743-747.

Husveth, F., Rozsal, L., Magyar, L., Bali, G., and Papocsi, P. (2003). N-3 fatty acid enrichment of table eggs by adding a fish oil preparation to the diet of laying hens. **Arch. Geflugelkd.** 67: 198-203.

Jiang, Z., Ahn, D. U., Lander, L., and Sim, J. S. (1992). Influence of feedind full-flax and sunflower seeds on internal and sensory qualities of eggs. **Poult. Sci.** 71: 378-382.

Kidd, M. T., Qureshi, M. A., Ferket, P. R., and Thomas, L. N. (1994). Blood clearance of *Escherichia coli* and evaluation of mononuclear-phagocytic system as influenced by supplemental dietary zinc methionine in young turkeys. **Poult. Sci.** 73: 1381-1389.

Kim, J. H., Hong, S. T., Lee, H. S., and Kim, H. J. (2004). Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. **Poult. Sci.** 83: 1539-1543.

King, E. J., Hugo, A., de Witt, F. H., van der Merwe, H. J., and Fair, M. D. (2012). Effect of dietary fat source on fatty acid profile and lipid oxidation of eggs. **South African Jour. of Anim. Sci.** 42: 503-506.

Kinsella, E. J. (1990). Sources of omega-3 fatty acid in human diets. In S. R. Lee and M. Karel, (eds). **Omega-3 fatty acid in health and disease** (pp 157-200). New York: Marcel Dekker.

Korver, D. R., and Klasing, K. C. (1997). Dietary fish oil alters specific and inflammatory immune responses in chicks. **J. Nutr.** 127: 2039-2046.

Kralik, G., Skrtic, Z., Suchy, P., Strakova, E., and Gajcevic, Z. (2008). Feeding fish oil and linseed oil to laying hens to increase the n-3 PUFA of egg yolk. **Acta. Vet. Brno.** 77: 561-568.

Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., and Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. **Circulation.** 106: 2747-2757.

Lawlor, J. B., Gaudette, N., Dickson, T., and House, J. D. (2010). Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed diets containing microencapsulated fish oil. **Anim. Feed Sci. Technol.** 156: 97-103.

Leaf, A., and Weber, P. C. (1988). Cardiovascular effects of n-3 fatty acids. **N. Engl. J. Med.** 318: 549-557.

Liu, X., Zhao, H. L., Thiessen, S., House, J. D., and Jones, P. J. H. (2010). Effect of plant sterol-enriched diets on plasma and egg yolk cholesterol concentration and cholesterol metabolism in laying hens. **Poult. Sci.** 89: 270-275.

Marks, H. L., and Washburn, K. W. (1977). Divergent selection for yolk cholesterol in laying hens. **Brit. Poul. Sci.** 18: 179-188.

Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., and Pelka, J. R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Analytical Chem.** 38: 514-515.

Milinsk, M. C., Murakami, A. E., Gomes, S. T. M., Matsushita, M., and de Souza, N. E. (2003). Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. **Food Chem.** 83: 287-292.

Murphy, M. G. (1990). Dietary fatty acids and membrane protein function. **J. Nutr. Biochem.** 1: 68-73.

National Research Council. (1994). **Nutrient Requirements of Poultry**. (9th ed.). Washington, DC: National Academy Press.

Newman, R. E., Bryden, W. L., Fleck, E., Ashes, J. R., Buttemer, W. A., Storlien, L. H., and Downing, J. A. (2002). Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism : metabolism and abdominal fat deposition. **Br. J. Nutr.** 88: 11-18.

Pandalai, P. K., Pilat, M. J., Yamazaki, K., Naik, H., and Pienta, K. J. (1996). The effects of omega-3 and omega-6 fatty acid on in vitro prostate cancer growth. **Anticancer Res.** 16: 815-820.

Rizzi, L., Simioli, M., Bochicchio, D., and Parazza, P. (2003). The effect of omega-3 fatty acid, iodine and selenium supplementation of laying hen feed on the egg quality. **In Proceedings of the 10th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products 2003** (pp 296-302). France: Saint Brieuc.

Rowe, A., Macedo, F. A. F., Visentainer, J. V. S., Souza, N. E., and Matsushita, M. (1999). Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. **Meat Sci.** 51: 283-288.

Sari, M., Aksit, H., Ozdogan, M., and Basmacioglu, H. (2002). Effect of addition of flaxseed to diet of laying hens on some production characteristics, levels of yolk and serum cholesterol, and fatty acid composition of yolk. **Arch. Geflugelkd.** 66: 75-79.

Scheideler, S. E., and Froning, G. W. (1996). The combined influence of dietary flaxseed variety, level, form, and storage condition on egg production and composition among vitamin E-supplemented hen. **Poult. Sci.** 75: 1221-1226.

Sim, J. S., and Qi, G. H. (1995). Designing poultry products using linseed. In: L. U. Thompson and S. Cunnane (eds.). **Linseed in human nutrition** (pp 315-333). Washington, DC: American Oil Chemist's Society Press.

Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biom. Phar.** 56: 365-379.

Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. **Exper. Biol. Med.** 233: 674-687.

SPSS. (2004). **User's Guide, Version 13.0 SPSS Inc**. Chicago.

Stansby, M. E. (1990). **Fish oil in nutrition**. New York: Van Nos Strand Reinhold. 313 pp.

Temple, N. J. (1996). Dietary fats and coronary heart disease. **Biom. Phar.** 50: 261-268

Tengerdy, R. P., and Brown, J. C. (1997). Effect of vitamin E and A on humoral immunity and phagocytosis in *E. Coli* infected chicken. **Poult. Sci.** 56: 957-963.

Terry, W. C. (1995). **Avian Hematology and Cytology** (2nd ed.). Florida: Tech Book.

Tsiagbe, V. K., Cook, M. E., Harper, A. E., and Sunde, M. L. (1987). Enhanced immune responses in broiler chicks fed methionine-supplemented diets. **Poult. Sci.** 66: 1147-1154.

Valenzuela, A., Sanhueza, J., and Nieto, S. (2003). Cholesterol oxidation: health hazard and role of antioxidants in prevention. **Biol Res.** 36: 291-302.

Van Elswyk, M. E., Hargis, B. M., Williams, J. D., and Hargis, P. S. (1994). Dietary menhaden oil contributes to hepatic lipidosis in laying hens. **Poul. Sci.** 73: 653-662.

Weggemans, R. M., Zock, P. L., and Katan, M. B. (2001). Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in human. **Am. J. Clin. Nutr.** 73: 885-891.

Wijendran, V., and Hayes, K. C. (2004). Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. **Annu. Rev. Nutr.** 24: 597-615.

Zolisch, W., Knaus, W., Aichinger, F., and Lettner, F. (1996). Effects of different dietary fat sources on performance and carcass characteristics ofbroilers. **Anim. Feed Sci. Technol.** 66: 63-73.

ภาคผนวก

วิธีการดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิธีการดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ

1. การเก็บตัวอย่างเลือดจากสัตว์ทดลอง

- **การเจาะเลือดไก่**

ทำการเจาะเลือดไก่บริเวณใต้ปีก โดยใช้เข็มเบอร์ 23 ความยาว ½ นิ้ว แทงลงไปที่เส้นเลือดWing vein เริ่มดูดเลือดอย่างช้า ๆ จนได้ประมาณ 3 มล. เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาและทางชีวเคมีต่อไป

- **การเตรียมเลือดเพื่อวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา**

เก็บเลือดใส่หลอดบรรจุสารป้องกันเลือดแข็งตัว (Ethylene diamine tetra acetic acid, EDTA) แล้วทำการตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมด (White blood cell, WBC) และตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดแดงทั้งหมด (Red blood cell, RBC) ด้วยวิธี Manual method อาศัยการเจือจางเลือดก่อนด้วยปิเปตนับเม็ดเลือด และจำแนกชนิดของเม็ดเลือดขาว (Terry, 1995) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

2. การนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (Red blood cell) (Terry, 1995)

ทำการตรวจนับเม็ดเลือดแดง Red blood cell (RBC) ด้วยวิธี Manual method อาศัยการเจือจางเลือดก่อนด้วยปิเปตนับเม็ดเลือดแดง (Red cell pipette) แล้วทำการนับบนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด (Hemocytometer) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เจือจางเลือดด้วยน้ำยานับเม็ดเลือดแดง ซึ่งสามารถใช้น้ำยาเจือจางเม็ดเลือดชนิดเดียวกับน้ำยาเจือจางเม็ดเลือดขาว เนื่องจากเม็ดเลือดแดงของสัตว์ปีกมีนิวเคลียสเหมือนกับเม็ดเลือดขาวซึ่งจะต่างกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั่วไป เนื่องจากเม็ดเลือดแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะไม่มีนิวเคลียสจึงไม่สามารถใช้น้ำยาเจือจางเลือดด้วยกันได้ แต่เม็ดเลือดแดงของสัตว์ปีกจะมีนิวเคลียสเหมือนเม็ดเลือดขาวจึงสามารถใช้น้ำยาเจือจางเม็ดเลือดชนิดเดียวกันได้ ซึ่งน้ำยาสามารถคงสภาพเม็ดเลือดแดงไม่ให้เหี่ยว บวมหรือแตก และคงสภาพเม็ดเลือดขาวไว้ได้ในสัดส่วนที่เหมาะสม และขนาดเม็ดเลือดแดงโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดเลือดขาวประมาณสองเท่า จำนวนเม็ดเลือดแดงที่นับได้บนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด ซึ่งทำให้ทราบปริมาณที่แน่นอนจะสามารถคำนวณกลับไปเป็นจำนวนเม็ดเลือดแดงในเลือดได้ โดยที่การนับสามารถนับแยกจากเม็ดเลือดขาวได้โดยง่าย

อุปกรณ์

1. ปิเปตนับเม็ดเลือดแดง
2. ลูกยางเบอร์ 6 หรือ อุปกรณ์ดูดเลือดด้วยปิเปตขนาดเล็ก
3. แผ่นแก้วนับเม็ดเลือดและกระจกปิดทับมาตรฐาน
4. กล้องจุลทรรศน์
5. อุปกรณ์ช่วยนับ (Counter)

สารเคมี

1. น้ำยาเจือจางเม็ดเลือดแดง 0.85% NaCl

วิธีการ

1. ผสมเลือดที่มีสารป้องกันเลือดแข็งตัวให้เข้ากัน แล้วดูดเลือดจากหลอดเก็บเลือดเข้าปิเปตนับเม็ดเลือดแดง ให้ถึงขีด 0.5 พอดี ขณะดูดเลือดให้ปิเปตอยู่ในลักษณะเกือบเป็นแนวตั้ง

2. ดูดน้ำยาเจือจางเม็ดเลือดแดงถึงขีด 101 โดยยังคงให้ปิเปตอยู่ในลักษณะเกือบเป็นแนวตั้ง เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศในกระเปาะปิเปต

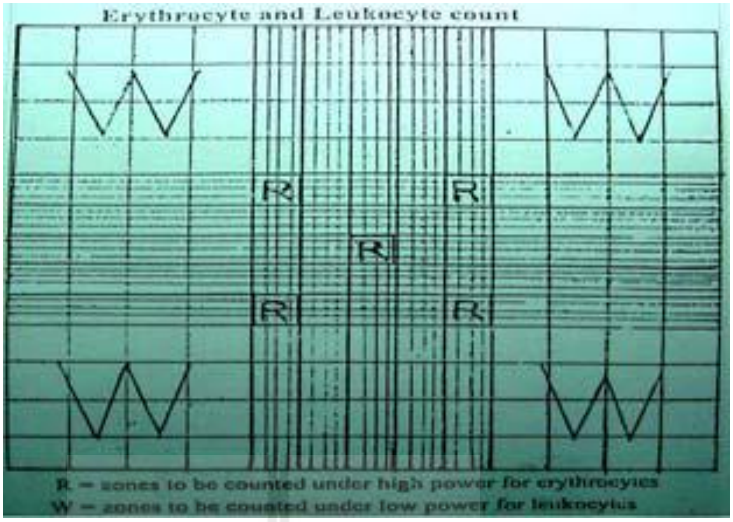
3. จับปิเปตให้อยู่ในแนวราบ และใช้นิ้วปิดปลายปิเปตไว้ แล้วถอดลูกยางเบอร์ 6 หรืออุปกรณ์ดูดเลือดด้วยปิเปตขนาดเล็กออก

4. จับปิเปตโดยปิดปลายทั้งสองข้างด้วยหัวแม่มือและนิ้วกลาง แล้วสะบัดข้อมือกลับไปกลับมาประมาณ 3-5 นาที เพื่อผสมเลือดและน้ำยาเจือจางเม็ดเลือดให้เข้ากัน

5. หยดสารละลายจากปิเปต 3-4 หยด แรกทิ้งไปบนกระดาษทิชชูที่สะอาด เพราะส่วนนี้จะอยู่ที่ก้านปิเปตไม่ได้ผสมกับเลือด

6. หยดสารละลายตรงร่องแผ่นแก้วนับเม็ดเลือดที่ปิดกระจกปิดทับมาตรฐานไว้เรียบร้อยแล้ว โดยให้ปิเปตทำมุมกับแผ่นแก้วนับเม็ดเลือดประมาณ 45°C ใช้นิ้วปิดปลายด้านบนของปิเปตไว้ เพื่อควบคุมให้สารละลายหยดลงบนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือดพอดีจากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที เพื่อให้เม็ดเลือดแดงหยุดนิ่ง

7. นับจำนวนเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำ (10x-40x) ในช่อง R ทั้ง 5 ช่อง ของแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด นับจำนวนเม็ดเลือดแดงทั้งหมดรวมกันดังแสดงในภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 พื้นที่การนับเม็ดเลือดแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์ในช่อง R ที่แผ่นแก้วนับเม็ดเลือด (Terry, 1995)

การคำนวณจำนวนเม็ดเลือดแดง

จำนวนเม็ดเลือดแดงต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร = จำนวนเม็ดเลือดแดงที่นับได้ทั้งหมดใน 5 ช่อง (R) × 10 (0.10 mm. depth) × 5 (1/5 sg sq.mm.) × 200 (1 : 200 dilution)

3. การตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดขาว (White Blood Cell) (Terry, 1995)

ทำการนับเม็ดเลือดขาวด้วยวิธี Manual method อาศัยการเจือจางเลือดก่อนด้วยปิเปตนับเม็ดเลือดขาวแล้วทำการนับบนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์และการคำนวณเมื่อเจือจางเลือดด้วยน้ำยานับเม็ดเลือดขาว ซึ่งน้ำยาจะคงสภาพเม็ดเลือดขาวและเม็ดเลือดแดงที่มีนิวเคลียสเหมือนกันไว้ได้ในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งขนาดเม็ดเลือดขาวโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดเลือดแดงประมาณสองเท่า จำนวนเม็ดเลือดขาวที่นับได้บนแผ่นแก้วนับเม็ดเลือดซึ่งทราบปริมาณที่แน่นอน จะสามารถคำนวณกลับไปเป็นจำนวนเม็ดเลือดขาวในเลือดได้

อุปกรณ์

1. ปิเปตนับเม็ดเลือดขาว
2. ลูกยางเบอร์ 6 หรืออุปกรณ์ดูดเลือดด้วยปิเปตขนาดเล็ก
3. แผ่นแก้วนับเม็ดเลือดและกระจกปิดทับมาตรฐาน
4. กล้องจุลทรรศน์
5. อุปกรณ์ช่วยนับ (Counter)

สารเคมี

1. น้ำยาเจือจางเม็ดเลือดขาว 0.85% NaCl

วิธีการ

1. ผสมเลือดที่สารป้องกันเลือดแข็งตัวให้เข้ากันแล้วดูดเลือดจากหลอดเก็บเลือดเข้าปิเปตนับเม็ดเลือดขาว ให้ถึงขีด 0.5 พอดี ขณะดูดเลือดให้ปิเปตอยู่ในลักษณะเอียงประมาณ 45°C

2. ดูดน้ำยาเจือจางเม็ดเลือดขาวถึงขีด 11 โดยให้ปิเปตอยู่ในลักษณะเอียงประมาณ 45°C

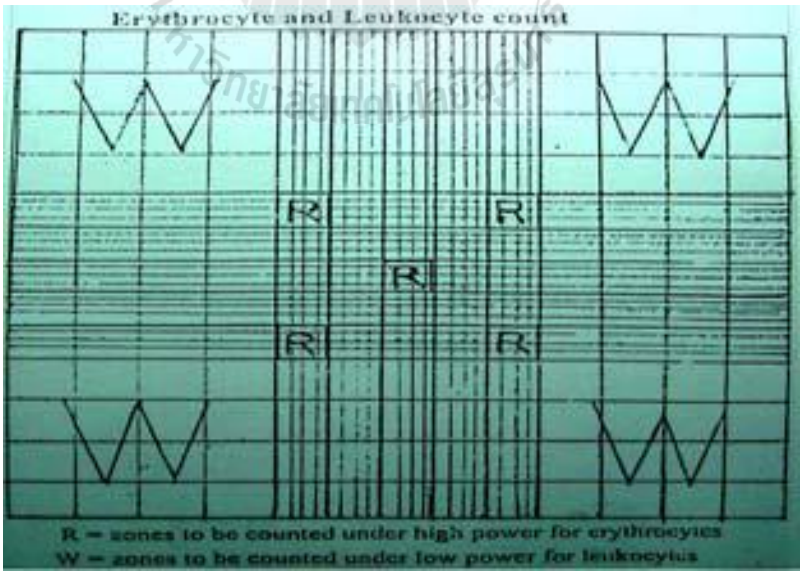
3. จับปิเปตให้อยู่ในแนวราบ และใช้นิ้วปิดปลายปิเปตไว้ แล้วถอดลูกยางเบอร์ 6 หรืออุปกรณ์ดูดเลือดด้วยปิเปตขนาดเล็กออก

4. จับปิเปตโดยปิดปลายทั้งสองข้างด้วยหัวแม่มือและนิ้วกลาง แล้วสะบัดข้อมือกลับไปกลับมาประมาณ 3-5 นาที เพื่อผสมเลือดและน้ำยาเจือจางเม็ดเลือดให้เข้ากัน ทำให้เม็ดเลือดขาวมีการกระจายตัวดีไม่เกาะเป็นกลุ่ม

5. หยดสารละลายจากปิเปต 3-4 หยด ทิ้งไปเพราะส่วนนี้อาจไม่ได้ผสมกับเลือด

6. หยดสารละลายต่อไปลงตรงร่องแผ่นแก้วนับเม็ดเลือด

7. นับจำนวนเม็ดเลือดขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำ (10x) ในช่อง W ที่มุมทั้ง 4 ที่แผ่นแก้วนับเม็ดเลือด นับจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมดมารวมกัน แล้วคำนวณเป็นเม็ดเลือดขาวทั้งหมดต่อ 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm^3) ดังแสดงในภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 พื้นที่การนับเม็ดเลือดขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์ในช่อง W ที่แผ่นแก้วนับเม็ดเลือด (Terry, 1995)

การคำนวณค่าเม็ดเลือดขาว

จำนวนเม็ดเลือดขาวต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร = จำนวนเม็ดเลือดขาวที่นับได้ทั้งหมดใน 4 ช่อง (W) × 2.5 [10/4] × 20 [1 : 20]

4. การหาสัดส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ และสัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิดเฮทเทอร์-โรฟิลต่อลิมโฟซัยต์ (H/L ratio)

อุปกรณ์

1. แผ่นสไลด์
2. กล้องจุลทรรศน์
3. นาฬิกาจับเวลา

สารเคมี

1. Giemsa-Wright's buffer
2. Buffer

วิธีการ

1. นำตัวอย่างเลือดมาทำการสเมียร์เลือดบนแผ่นสไลด์แล้วตากให้แห้งในอากาศ
2. วางแผ่นสไลด์ที่ทำการสเมียร์เลือด และแห้งมาวางบนถาดสำหรับย้อม โดยวางด้านที่มีเลือดหงายขึ้น
3. หยดสีย้อม Giemsa-Wright's buffer ให้ท่วมแผ่นฟิล์มเลือดเป็นเวลา 3 นาที หยดบัฟเฟอร์ 1-2 หยดลงบนสีย้อมบนแผ่นสไลด์
4. หยดสีย้อม Giemsa-Wright's buffer ให้ท่วมแผ่นฟิล์มเลือดอีกครั้งทิ้งไว้ 3 นาที ชะล้างสีย้อมบนแผ่นสไลด์ด้วยน้ำสะอาด
5. ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง นำแผ่นสไลด์ที่ย้อมแล้วมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์หัวน้ำมัน (Oil immersion) ที่มีกำลังขยาย 100x ซึ่งประกอบด้วยเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟซัยต์ เฮทเทอร์โรฟิล โมโนซัยต์ อีโอซิโนฟิล และแบโซฟิล

วิธีการคำนวณสัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิดเฮทเทอร์โรฟิลต่อลิมโฟซัยต์ (H/L ratio)

$$\text{H/L ratio} = \frac{\text{จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮทเทอร์โรฟิล}}{\text{จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟซัยต์}}$$

5. การวิเคราะห์ภูมิคุ้มกันรวม

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 1000 ไมโครลิตร
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
3. เครื่อง Spectrophotometer
4. Vortex
5. Microtube
6. Plat well

สารเคมี

1. Polyethylene glycol (30%) ละลาย Polyethylene glycol จำนวน 12 กรัม ใน DI water ปรับปริมาตรให้ครบ 40 มล.

2. Lowy reagent เติมน้ำ DI water จำนวน 40 มล. ลงในขวด Lowy reagent เขย่าให้เข่ากัน แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4°C

3. Folon 2 ciocalten's phenol reagent ถ่ายสาร Folon 2 ciocalten's phenol reagent ลงในขวดเปล่า เติมน้ำ DI water จำนวน 80 มล. เขย่าให้เข่ากันแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4°C

4. สารละลาย Protein standard (1,000 ไมโครลิตร/มล.) เติมน้ำ DI water ในขวดที่มี Protein standard 2 มก. เขย่าให้เข่ากันแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4°C การเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน โดยเตรียมจาก Protein standard ที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครลิตร/มล.

ตารางที่ ก.1 วิธีการเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

ความเข้มข้น (ไมโครลิตร/มล.)	ปริมาณ Protein standard (ไมโครลิตร)	DI water (ไมโครลิตร)
0	0	300
200	60	240
400	120	180
600	180	120
800	240	60
1,000	300	0

วิธีการ

1. ดูดพลาสมาจำนวน 72 ไมโครลิตร และ Polyethylene glycol (30%) จำนวน 18 ไมโครลิตร ลงในหลอดไมโครทิว

2. ผสมให้เข้ากันโดยใช้ Vortex

3. วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,500 × g เป็นระยะเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C

5. ดูดส่วนใสด้านบนมาใส่ในไมโครทิวอันใหม่ ทำการเจือจางให้ได้ 40 เท่า

6. นำพลาสมาที่ตกตะกอนด้วย Polyethylene glycol (30%) จากข้อ 1 หรือพลาสมาที่เจือจาง 80 เท่า หรือโปรตีนที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ จำนวน 60 ไมโครลิตร

7. เติมสาร Lowry reagent จำนวน 60 ไมโครลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที

8. เติม Folin 2 ciocalten's phenol reagent จำนวน 30 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45 นาที

9. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,500 × g เป็นระยะเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C

10. ดูดส่วนใสด้านบนใส่ลงใน Plat well ช่องละ 50 ไมโครลิตร ทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

11. นำไปวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร

วิธีการคำนวณ

การหาความเข้มข้นโดยการอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ ปริมาณโปรตีนในพลาสมาที่ไม่ได้ตกตะกอน (Albumin and globulin) และปริมาณโปรตีนในพลาสมาที่ตกตะกอน (Albumin)

ปริมาณโปรตีนในพลาสมาที่ไม่ได้ตกตะกอน (A)

= ความเข้มข้นของโปรตีน × จำนวนเท่าที่เจือจาง (80)

ปริมาณโปรตีนในพลาสมาที่ตกตะกอน (B)

= ความเข้มข้นของโปรตีน × 1.25 × จำนวนเท่าที่เจือจาง (40)

ดังนั้น Total immunoglobulin = A-B

6. การวิเคราะห์ Fatty acid ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Folch et al. (1957) และ Metcalfe et al. (1966)

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 hexane ปรับปริมาตรจนครบ

สารเคมี (ต่อ 1 ตัวอย่าง)

1. Chloroform-methanol (2 : 1)	90 มล.
2. Chloroform	30 มล.
3. DI water	30 มล.
4. 0.58% NaCl	5 มล.

อุปกรณ์

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

วิธีการ

1. ชั่งไข่แดง 5 กรัม
2. เติม chloroform-methanol (2 : 1) ปริมาตร 90 มล.
3. ปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer 2 นาที
4. เติม chloroform 30 มล. และปั่นอีก 2 นาที
5. กรองด้วยกระดาษกรอง
6. เติมน้ำ DI ปริมาตร 30 มล.
7. เติม 0.58% NaCl ปริมาตร 5 มล.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. เขย่าให้เท่ากันแล้ววางทิ้งไว้ 1 คืนให้แยกชั้น (ต้องใช้ฟอยด์ห่อไม่ให้แสงเข้า)

9. เก็บชั้นของไขมันใส่ขวดฝาเกลียว (ใช้ฟอยด์ห่อ)

10. เก็บที่ -20°C

การเตรียมสารละลายไขมันเพื่อฉีด Gas chromatography **(GC)**

1. N_2

2. 0.5 N NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 มล.

3. 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 มล.

4. Internal standard (C17 : 0 2 mg/มล. in Hexane) ปริมาตร 1 มล.

5. น้ำ DI ปริมาตร 10 มล.

6. Hexane ปริมาตร 5 มล.

7. Na_2SO_4

อุปกรณ์

1. Tube ฝาเกลียวที่ปิดสนิท แก๊สผ่านไม่ได้ 2 tube/sample

2. Vial สีชา พร้อมชุดฝาปิด 1 ชุด

3. Micropipette 1 มล. พร้อม tip สีฟ้า สำหรับดูดสารละลายและสารเคมี

4. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

5. เครื่องให้ความร้อน 100°C

6. Cylinder 25 มล. หรือ 10 มล. สำหรับตวงน้ำ DI 1 อัน

7. นาฬิกาจับเวลา

8. Pipette 5 มล. สำหรับดูด hexane 1 อัน

9. ช้อนตักสารสำหรับ Na_2SO_4

10. เครื่อง Mixer

11. Rack วาง tube

12. Beaker 50 มล. 2 อัน

13. Beaker 100 มล. 2 อัน

วิธีการ

1. ชั่ง tube แก้วและฝา จดบันทึกน้ำหนักไว้ (A)

2. ดูดสารละลายไขมันที่สกัดได้จากเนื้อใส่ tube ที่ชั่งแล้วปริมาตร 4 มล.

3. Dry ด้วย N_2 จนตัวสารละลายแห้งหมด เหลือเฉพาะกรดไขมันอยู่ใน tube

4. ชั่ง tube ภายหลังการ dry ด้วย N_2 จดบันทึกไว้ (B)

5. เติม 0.5 N NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 มล.

6. Dry ด้วย N_2 (เพื่อไล่ O_2 คือให้ N_2 เข้าไปแทนที่ O_2 แล้วปิดฝาให้สนิท)

7. ให้ความร้อน 100°C นาน 5 นาที

8. เขย่า 1-2 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

9. เปิดฝาเติม 14% BF_3 /MeOH ปริมาตร 2 มล.

10. Dry ด้วย N_2 แล้วปิดฝา

11. เติม internal standard (C17 : 0 2 mg/มล. in Hexane) ปริมาตร 1 มล.

12. Dry ด้วย N_2 แล้วปิดฝา

13. ให้ความร้อน 100°C นาน 5 นาที

14. เขย่า 1-2 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

15. เปิดฝาเติม น้ำ DI ปริมาตร 10 มล. และ Hexane ปริมาตร 5 มล.

16. ปิดฝาเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ให้แยกชั้น (แยกเร็ว)
    (ในกรณีไม่แยกชั้นทันทีให้นำไป centrifuge ที่ 10°C 5,000 rpm เวลา 15 นาที)

17. ตัก Na_2SO_4 ประมาณปลายช้อนตักสาร ใส่ลงใน tube ฝาเกลียว (tubeใหม่)

18. เมื่อสารละลายแยกชั้นแล้วใช้ Micropipette ดูดชั้น Hexane (ชั้นบนมาใส่ tube ฝาเกลียว มี Na_2SO_4 อยู่เพื่อ dry น้ำที่ติดมากับชั้น Hexane ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที)

19. ดูดสารละลายชั้นบนที่ dry น้ำใส่ Vial สีชา 1 มล. เพื่อนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC

Condition of gas chromatography

Column : Supelco SP 2560

Column Length : 100 m x 250 μm

Injector temperature : 260°C

Column temperature : initial 70°C final temperature 240°C

Detector : FID 260°C

Flow rate : 1.0 มล./นาที

ตารางที่ ก.2 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-Heptadecenoic)	2
16	C18 : 0 (Stearic)	4
17	C18 : 1n9c (Oleic)	4
18	C18 : 1n9t (Elaidic)	2
19	C18 : 2n6c (Linoleic)	2
20	C18 : 2n6t (Linolelaidic)	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

ตารางที่ ก.2 ชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography (Supelco 37 Component FAME Mix) (ต่อ)

No.	Component	Weight (%)
28	C20 : 3n6 (cis-8, 11, 14-Eicosatrienoic)	2
29	C22 : 1n9 (Erucic)	2
30	C20 : 3n3 (cis-11, 14, 17-Eicosatrienoic)	2
31	C20 : 4n6 (Arachidonic)	2
32	C23 : 0 (Tricosanoic)	2
33	C22 : 2 (cis-13, 16-Docosadienoic)	2
34	C24 : 0 (Lignoceric)	4
35	C20 : 5n3 (cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoic)	2
36	C24 : 1n9 (Nervonic)	2
37	C22 : 6n3 (cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-Docosahexaenoic)	2

7. การวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอล

การเตรียมสาร internal standard cholesterol

สาร internal standard cholesterol จะเตรียมให้มีความเข้มข้น 0.1 มก./มล. โดยทำการชั่งสารละลาย 5α-cholestane 25 มก. ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มล. และใช้สาร hexane ปรับปริมาตรจนครบ

การเตรียม working standard โดยการนำ stock standard cholesterol ปิเปตมาปริมาตร 0.05 0.1 0.25 0.5 1 2.5 มล. ลงใน volumetric flask ขนาด 10 มล. และปรับปริมาตรด้วยสาร hexane เพื่อให้มีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 0.1 0.25 0.5 1 และ 2.5 มก./มล. ตามลำดับ

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. ชุด Reflux
3. ปิเปต
4. Vortex
5. ขวด Vial

สารเคมี

1. Ethanol-methanol-isopropanal (90 : 5 : 5 v/v/v)
2. 60% KOH
3. Hexane
4. DI water
5. Internal standard (5–cholestane ใน hexane 0.1 มก./มก.)

ขั้นตอน

1. ชั่งไข่แดง 5 กรัม ใส่ใน Round bottom flask

2. เติม Ethanol–methanol-isopropanol (90 : 5 : 5 v/v/v) ปริมาตร 20 มก. เติม 60% KOH ปริมาตร 5 มก. (1 มก. ต่อตัวอย่าง 1 กรัม) เขย่าให้เข้ากัน

3. ทำการ reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (เริ่มนับจากตัวอย่างเดือด) นำมาวางให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

4. เติม hexane ปริมาตร 100 มล. และผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที

5. เติมน้ำ DI ปริมาตร 25 มล. และผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้นของ Hexane อย่างชัดเจนด้านบน

6. ทำการปิเปตสารละลายมาปริมาตร 12.5 มล. ใส่ในหลอดทดลอง

7. ทำให้แห้ง (dry) ด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2)

8. นำส่วนที่แห้งมาละลายด้วย internal standard ปริมาตร 1 มล.

9. ดูดใส่ vial นำไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วย Gas chromatography (Hewlett Packard, HP 6890 series GC system)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุวิมล พิทักษ์วงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2530 ที่อำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีอ่างทอง อำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร (เกียรตินิยมอันดับ 2) ในปีการศึกษา 2552 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา หลังจากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุนารี ในระหว่างการศึกษาได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี