สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
The Thailand Research Fund

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหารต่อผลผลิตระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล ในเลือด เนื้อเยื่อไขมันและระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่ไข่”

โดย รศ. น.สพ. ดร. กฤษ อังคนาพร และคณะ

เมษายน 2548

สัญญาเลขที่ RDG 4720005

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหารต่อผลผลิตระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล ในเลือด เนื้อเยื่อไขมันและระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่ไข่”

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. รศ. น.สพ. ดร. กฤษ อังคนาพร	คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาฯ
2. รศ. ดร. วินัย ดะห์ลัน	คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาฯ
3. น.ส. ผกากรอง อารีย์รอบ	คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาฯ

ชุดโครงการ “ปาล์มน้ำมัน”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive summary

Concern about the relationship between dietary fat and the development of atherosclerosis has led to publication of number of reports encouraging changes in the human diet. These have included recommendations for the reduction in the total fat content, in the ratio of saturated to unsaturated fatty acids and intake of total cholesterol to less than 300 mg/day. Each egg contains about 240-280 mg cholesterol and the perception of eggs by the public as a major source of dietary cholesterol is seen as a significant factor contributing to the overall decline in their composition.

The relationship between vitamin E and antioxidant showed that both vitamin E and other antioxidants could reduce the incidence of coronary heart disease. Therefore, consumption of supplemented antioxidants increased, especially vitamin E. In nature, vitamin E is divided into 2 groups, namely tocopherol and tocotrienol. Tocotrienol was less bioavailable and can be absorbed after intake at the lower rate than tocopherol. It is demonstrated that there were a few researches on effect of supplementation of tocotrienol in a form of natural product in animal particularly laying hens. Tocotrienol had more antioxidant properties than tocopherol and had an ability to reduce cholesterol concentration. In addition, tocotrienol could be used as an antiproliferative agent of cancer cell and a neuroprotective agent of brain cell. Therefore, it is interesting to investigate more on the effect of tocotrienol in food-producing animals such as laying hens.

High concentrations of tocotrienol are found in palm oil and rice bran. Other natural sources include coconut oil, cocoa butter, soybean, barley and wheat germ. Moreover, tocotrienols can be detected in meat and eggs. Sunflower, peanut, walnut, sesame and olive oils, however, contain only tocopherols. In palm oil industries, palm oil was refined for consumption and their by-product, palm kernel, was used to rear animals. In some season, there were excess supply of palm and this oversupplied the capacity of the factory to distill and purify palm oil for human consumption. This resulted in the over production of crude palm oil in the market. Therefore it is of interest to use crude palm oil (CPO) from squeezed palm that is riches in tocotrienol to supplement in diet of laying hens. It is proposed that both tocotrienol and tocopherol could be transferred to egg. This can increase consumption of the antioxidant vitamin E in human via conventional food chain. Moreover eggs riches in tocotrienol will be beneficial in reducing yolk cholesterol apart from being an antioxidant, neuroprotective and anti cancer agents. It is also interesting to examine the distribution of tocotrienol in palm oil to various tissues of laying hens.

The objective of present study was to examine the effects of crude palm oil supplementation in laying hen diet on tocopherol and tocotrienol concentrations in blood, adipose tissue, liver and egg yolk.

Moreover the effects of tocotrienols in crude palm oil on cholesterol concentrations in egg yolk, egg performance, hen performance and egg quality were investigated. The results demonstrated that weight gain, daily feed intake, hen-day basis percentage, specific gravity, albumin quality, albumin weight and shell weight were not different among experimental groups. CPO increased egg yolk color, egg weight (approximately 2 g), yolk weight (approximately 2 g) when compared to control group. CPO significantly decreased egg yolk cholesterol in weeks 4-6 of the experiment with the lowest level in hens fed on 4% CPO (11.89 mg/g yolk). CPO enhanced ($P<0.05$) total tocopherols in CPO1 (2% CPO) and total tocotrienols, especially CPO2 (3% CPO) and CPO3 (4% CPO) groups. Hens fed on CPO 3 (4% CPO) had the lowest total tocopherols in egg yolk and adipose tissue but had the highest tocotrienol in plasma, egg yolk and adipose tissue when compared with other groups. CPO supplementation resulted in the highest deposition of tocotrienol in adipose tissue compared to egg yolk, liver and plasma.

In conclusion, the present study demonstrated that crude palm oil did not affect parameter on hen performance and egg performance. CPO supplementation at 4% is beneficial in improving FCR and increasing egg yolk color, egg weight and yolk weight compared to the control diet. Moreover, egg yolk cholesterol decreased markedly starting from week 4 to week 6 of the trial. Hens fed on 2% CPO had the highest tocopherol concentration in egg yolk and hens fed on 3% and 4% CPO had the highest α-tocotrienol concentration in egg yolk and the highest γ-tocotrienol concentrations in adipose tissue. Laying hens supplemented with CPO (4% CPO) had more vitamin E deposited in egg yolk and adipose tissue than control with the highest level of α-tocopherol, α- and γ-tocotrienol.

ผลการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในเลือด เนื้อเยื่อไขมัน ตับ ไข่แดง และระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่ไข่

กฤษ อังคนาพร *

ผกากรอง อารีย์รอบ *

วินัย ดะห์ลัน **

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในเลือด เนื้อเยื่อ ไขมัน ตับ ไข่แดง และ ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง โดยแบ่งออกเป็นสองการทดลอง การทดลองเบื้องต้น (การทดลองที่ 1) เพื่อมุ่งเน้นหาผลกระทบของน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อไก่ไข่ โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hisex อายุ 48 สัปดาห์ จำนวน 10 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม(5 ตัว/กลุ่ม) ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 0% (กลุ่มควบคุม) และ 2% ตรวจวัดผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่รวมในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 6 (สิ้นสุดการทดลอง) และระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงในสัปดาห์ที่ 4, 5 และ 6 จากผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำมันปาล์มดิบในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณการกินอาหาร น้ำหนักตัวสัตว์ ความถ่วงจำเพาะ สีไข่แดงระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ พบว่า ในกลุ่มที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีน้ำหนักไข่มากกว่าในกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 3 และ 6 ส่วนน้ำหนักไข่แดงมากกว่ากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และระดับ cholesterol ในไข่แดงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

ในการทดลองที่ 2 ใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hisex ที่อายุ 49 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบในสูตรอาหาร 0, 2, 3 และ 4% ตามลำดับ ทำการวัดสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และ ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (สัปดาห์ที่ 0, 4, 5 และ 6) เหมือนกับในการทดลองที่ 1 ทำการวัดระดับความเข้มข้นของไวตามินอีชนิดโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในไข่แดง เนื้อเยื่อไขมัน และตับเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดย HPLC ผลการทดลองที่ 2 พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวไก่ ปริมาณการกินอาหาร เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ ความถ่วงจำเพาะ คุณภาพไข่ขาว น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักเปลือก ระหว่างกลุ่มที่ให้น้ำมันปาล์มดิบกับกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกัน แต่พบว่าในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหาร 4% สามารถเพิ่มความเข้มของสีไข่แดง น้ำหนักไข่ไก่ (เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 กรัม) น้ำหนักไข่แดง (เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 กรัม) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบ 4% สามารถลดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงมากที่สุด (11.89 มิลลิกรัม/ไข่แดง 1 กรัม) และน้ำมันปาล์มดิบยังสามารถเพิ่มผลรวมของระดับโทโคฟีรอลในไข่แดงได้มากที่สุดในกลุ่มที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ 2% และผลรวมของระดับโทโคไตรอีนอลได้มากที่สุดในไข่แดงและเนื้อเยื่อไขมัน โดยเฉพาะในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบ 3 และ 4 % การเสริมน้ำมันปาล์มดิบทำให้มีการสะสมของโทโคไตรอีนอลในเนื้อเยื่อไขมันในระดับสูงที่สุด มากกว่าที่พบในไข่แดง ตับ และเลือด

สรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ต่อตัวต่อวัน น้ำหนักไก่ไข่ ความถ่วงจำเพาะ คุณภาพไข่ขาว พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มดิบ 3 และ 4% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้อาหารในไก่ไข่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง และสีของไข่แดงได้ และลดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงได้อย่างมีนัยสำคัญ และในไก่ไข่ที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบ 4% มีการสะสมของไวตามินอีในไข่แดงมากกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีระดับแอลฟ่าโทโคฟีรอล แอลฟ่าโทโคไตรอีนอล และแกมม่าโทโคไตรอีนอลได้สูงที่สุด

---

* ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

** คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

Effects of crude palm oil supplementation on tocopherol and tocotrienol concentrations in blood, adipose tissue, liver, egg yolk and cholesterol concentration in egg yolk of laying hens

Kris Angkanaporn *

Phakakrong Areerob *

Winai Dahlan **

Abstract

Effect of crude palm oil (CPO) on vitamin E (tocopherol and tocotrienol) concentrations in blood, adipose tissue, liver and egg yolk was examined. The study was divided into 2 experiments. A preliminary trial (experiment I) was designed to examine the adverse effect of CPO in layer chicken. Ten, 48 weeks old, Hisex laying hens were equally divided into two experimental groups, control (0% CPO) and 2% CPO group. Parameter on hen performance, egg performance and egg quality at weeks 0-6 and cholesterol concentration in egg yolk at weeks 4, 5 and 6 were determined. The result showed that CPO had no effect on daily feed intake, hen weight. There was no significant difference in egg specific gravity and yolk color in control group and CPO group. Egg weight and yolk weight of CPO group were significantly higher than control group at weeks 3 and 6 (egg weight) and weeks 5 and 6 (yolk weight) ($P<0.05$). Cholesterol concentration in egg yolk was slightly decreased in CPO group.

In experimental II, 144 hens, 49 weeks old, Hisex hens were equally divided into 4 groups receiving 4 different treatment diets. The treatment diets included CPO at 0 (control), 2, 3 and 4%, respectively. Egg performance, hen performance and egg yolk cholesterol (weeks 0, 4, 5 and 6) were examined as described in experiment I. Egg yolk, adipose tissue (abdominal fat), plasma and liver of laying hens were determined for tocopherol and tocotrienol concentrations using HPLC. The results demonstrated that weight gain, daily feed intake, hen-day basis percentage, specific gravity, albumin quality, albumin weight and shell weight were not different among experimental groups. CPO increased egg yolk color, egg weight (approximately 2 g), yolk weight (approximately 2 g) when compared to control group. CPO significantly decreased egg yolk cholesterol in weeks 4-6 of the experiment with the lowest level in hens fed on 4% CPO (11.89 mg/g yolk). CPO enhanced ($P<0.05$) total tocopherols in CPO1 (2% CPO) and total tocotrienols, especially CPO2 (3% CPO) and CPO3 (4% CPO) groups. Hens fed on CPO 3 (4% CPO) had the lowest total tocopherols in egg yolk and adipose tissue but had the highest tocotrienol in plasma, egg yolk and adipose tissue when compared with other groups. CPO supplementation resulted in the highest deposition of tocotrienol in adipose tissue compared to egg yolk, liver and plasma.

In conclusion, CPO had no adverse effect on performance of laying hen. Supplementation of CPO at 3 and 4% improved FCR of hen and significantly increased egg yolk color, egg weight and yolk weight. CPO significantly reduced egg yolk cholesterol. Laying hens supplemented with CPO (4% CPO) had more vitamin E deposited in egg yolk and adipose tissue than control with the highest level of α-tocopherol, α- and γ-tocotrienol.

---

* Department of Physiology, Faculty of Veterinary Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

** Faculty of Allied Health Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand.

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ไข่เริ่มมีการขยายตัวสูงขึ้น ทำให้ปริมาณของไข่ไก่ในท้องตลาดมีเกินความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากพบว่าผู้บริโภคมีความวิตกเกี่ยวกับการเกิดโรคของหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) มากขึ้น เป็นผลมาจากการบริโภคอาหารที่มีระดับของ cholesterol สูง ซึ่งไข่ไก่ (ไข่แดง) นั้นมีระดับของ cholesterol ที่ค่อนข้างสูงทำให้มีความเสี่ยงในการเกิด coronary heart disease และ atherosclerosis เพิ่มขึ้น (Riemersma et al., 1991) ปัจจุบันมีผู้วิจัยให้ความสนใจเกี่ยวกับระดับ cholesterol และคุณค่าทางโภชนาการของไข่ไก่เพิ่มขึ้น ได้มีการดัดแปลงลักษณะทางโภชนาการของไข่ไก่และให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพไข่ไก่ ในมนุษย์มีรายงานมากมายที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างไวตามินอี และ antioxidant ในการช่วยลดอุบัติการณ์ของ coronary heart disease ได้ (Riemersma et al., 1991) Jialal และ Grundy (1992) รายงานว่า การเสริมไวตามินอีชนิด α-tocopherol มีผลในการลดความไวต่อการเกิด low-density lipoprotein (LDL) oxidation เป็นการป้องกันการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว แต่ในรายงานการทดลองที่เกี่ยวกับการเสริมไวตามินอีกลุ่ม tocotrienol ยังมีไม่มากนักโดยเฉพาะในไก่ไข่ ซึ่ง tocotrienol มีคุณสมบัติในการเป็น antioxidant ได้สูงกว่า tocopherol และสามารถลดระดับ cholesterol ได้ นอกจากนี้ tocotrienol ยังมีฤทธิ์เป็น antiproliferation agent ของเซลล์มะเร็ง (Azzi et al., 1993) และ neuroprotective agent ของเซลล์สมอง (Murphy et al., 1990 ; Packer et al., 2001) tocotrienol พบมากในน้ำมันปาล์มและ น้ำมันรำข้าว (Heinomen and Piironen, 1991) tocotrienol ที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม กลุ่ม α-,γ-, และ δ-tocotrienol สามารถยับยั้ง cholesterol biosynthesis และลด total serum cholesterol และระดับของ LDL cholesterol ในไก่เนื้อได้ (Qureshi et al., 1986 ; 1988) ส่วน metabolism ของ tocotrienol นั้นไม่ทราบแน่ชัด (Ikeda et al., 2001) Ikeda และคณะ (2001) รายงานว่า α- และ γ-tocotrienol สะสมในเนื้อเยื่อไขมันและ ผิวหนัง แต่ไม่สะสมใน plasma และเนื้อเยื่ออื่นในหนู rat ที่ได้รับอาหารที่มี tocotrienol สูงร่วมกับเมล็ดงา ส่วนในไก่ไข่นั้นยังไม่เคยมีการศึกษาถึงเรื่องนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) มาใช้ในการทดแทนแหล่งพลังงานของอาหารไก่ไข่ เพื่อดูปริมาณการสะสมของ tocopherol และ tocotrienol ในไข่แดง เลือด ตับ และเนื้อเยื่อไขมัน และผลการลดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ เป็นการลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์โดยการใช้น้ำมันปาล์มดิบแทนแหล่งพลังงานอื่นที่มีราคาแพงกว่าในอาหารไก่ไข่ และ เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันปาล์มดิบได้ด้วย การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อการระดับที่เหมาะสมในการเสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหารไก่ไข่
2. เพื่อศึกษาผลการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลที่สะสมในเลือด เนื้อเยื่อไขมัน ตับและไข่แดง
3. เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบในการลดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง
4. เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบที่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตไข่

5. เพื่อหาต้นทุนการผลิตต่อไข่ 1 กก

การทดลองที่ 1

เนื่องจากไม่เคยพบว่ามีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันปาล์มดิบในอาหารไก่ไข่ จึงยากแก่การหาระดับที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันปาล์มดิบแทนแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ดังนั้นจึงได้กำหนดการทดลองเบื้องต้นขึ้นก่อนการทดลองจริง เพื่อให้ทราบถึงระดับที่เหมาะสมและที่สำคัญต้องไม่ส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์ทดลอง สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ และดูการเปลี่ยนแปลงของระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง

สัตว์ทดลองและอาหาร

ใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hisex เพศเมีย อายุ 48 สัปดาห์ จำนวน 10 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัว เลี้ยงในกรงตับจำนวน 1 ตัวต่อกรง ในโรงเรือนปิด เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยแบ่งออกเป็นช่วงระยะสัตว์ปรับตัว 2 สัปดาห์ และระยะทดลอง 6 สัปดาห์ โดยในกลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ได้รับไขมันสัตว์ 2% ในสูตรอาหาร และกลุ่มที่ 2 (กลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบ) ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 2% ในสูตรอาหารแทนไขมันสัตว์ (ตารางที่ 1)

วิธีทดลอง การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการบันทึกการกินอาหารทุกสัปดาห์ ทำการวัดน้ำหนักตัวของไก่ไข่ในแต่ละกรงตอนเริ่มต้นและสุดท้ายของการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0 และ 6) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวไก่ ทำการเก็บไข่ที่ได้ทั้งหมดชั่งและจดบันทึกทุกวัน ทำการบันทึกและคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ (Hen-day basis (HD)) ทุกวันตามวิธีของ North and Bell (1990) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์คุณภาพไข่ในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 (สิ้นสุดการทดลอง) โดยสุ่มไข่ 3 ฟอง จากแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำมาวัดค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของฟองไข่ สีของไข่แดง คุณภาพไข่ขาว (Haugh Unit) น้ำหนักไข่แดง ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยต่อฟองไข่จะชั่งไข่ทุกฟองทุกวันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละสัปดาห์จนสิ้นสุดการทดลอง สุ่มเก็บไข่ 3 ฟองจากแต่ละกลุ่มในสัปดาห์ที่ 4, 5 และ 6 เพื่อนำไปตรวจวัดระดับโคเลสเทอรอล โดยนำมาสกัดโคเลสเทอรอลตามวิธีของ Bitman และ Wood (1980) จากนั้นนำมาตรวจวัดปริมาณโคเลสเทอรอล โดยใช้ Colorimetric Method ตามวิธีของ Jung และ คณะ (1975)

การวิเคราะห์หาผลผลิตและคุณภาพไข่

Hen-day basis percentage (%HD)

มีการเก็บไข่จากแม่ไก่ในแต่ละกลุ่มทุกวัน และคำนวณ % HD ดังสมการ (North and Bell, 1990).

% HD แต่ละสัปดาห์ = [จำนวนไข่ไก่ / จำนวนแม่ไก่] x 100

ตารางที่ 1 องค์ประกอบและสารอาหารของอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 1

องค์ประกอบ	Unit	Control group (Diet I)	CPO group (Diet II)
ข้าวโพด	**%**	55.73	55.61
รำข้าวสกัด	%	6.60	6.76
น้ำมันหมู	%	2.00	0.00
น้ำมันปาล์มดิบ	%	0.00	2.00
กากถั่วเหลือง โปรตีน 44%	%	21.00	20.96
ปลาป่น โปรตีน 60%	%	5.00	5.00
DL-methionine	%	0.06	0.06
Dicalcium phosphate 18%	%	1.14	1.14
Calcium carbonate	%	7.96	7.96
Salt	%	0.26	0.26
Premix*	%	0.25	0.25
Total batch		100.00	100.00
สารอาหาร	**Unit**	**Control group (Diet I)**	**CPO group (Diet II)**
ME of Poultry	Kcal/kg	2,750	2,750
Crude Protein	%	17.50	17.50
Ash	%	3.93	3.95
Crude Fat	%	4.58	4.64
Crude Fiber	%	3.71	3.72
Calcium	%	3.80	3.80
Total phosphorus	%	0.72	0.73
Available phosphorus	%	0.40	0.40
NaCl	%	0.35	0.35
Lysine	%	0.96	0.96
Methionine	%	0.38	0.38
Methionine + Cystine	mg/kg	0.65	0.65
Choline	%	1081.40	1081.98

***** commercial premix

น้ำหนักไข่

ทำการชั่งน้ำหนักไข่ทุกฟองทุกวัน และคำนวณหาน้ำหนักไข่เฉลี่ยดังสม (North and Bell, 1990).

$$\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)} = \frac{\text{น้ำหนักไข่รวมทั้งหมด}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด}}$$

ความถ่วงจำเพาะของไข่

ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะของไข่โดยหย่อนลงในภาชนะที่มีน้ำเกลือที่ความถ่วงจำเพาะต่าง ๆ กัน 11 ระดับตั้งแต่ 1.060 ถึง 1.104 ทำการบันทึกความถ่วงจำเพาะที่ระดับน้ำเกลือซึ่งไข่ที่ทดสอบลอยอยู่ในน้ำเกลือ เป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้ โดยทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะในแต่ละกลุ่มทดลอง (Thompson and Hamilton, 1982).

สีไข่แดง

ภายหลังจากการวัดความถ่วงจำเพาะ ทำการตอกไข่และวัดสีไข่แดงโดยใช้พัดสีมาตรฐาน (Roche Color Fan) เทียบสีกับสีไข่แดง ตั้งแต่ระดับ 1 (สีเหลือง) จนถึง 158 (สีแดง) (Vuilleumier, 1969).

Haugh unit

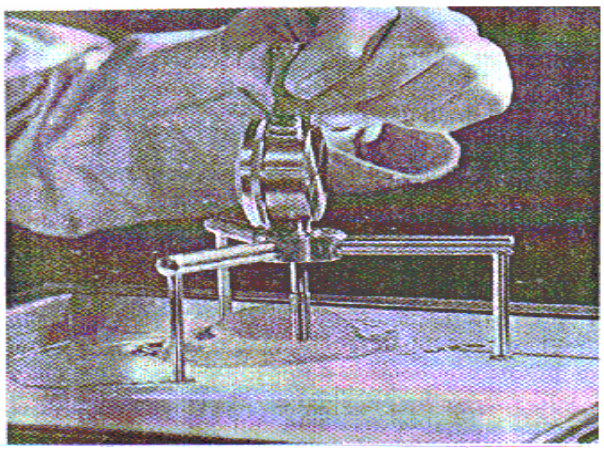
ภายหลังจากการวัดสีไข่แดง ทำการใช้ Haugh Unit Gauge (รูปที่ 1) วัดความสูงของไข่ขาวและคำนวณหาค่า Haugh unit ตามสูตร (Haugh, 1937).

$$\text{Haugh Unit} = 100 \log \left[\frac{H - \sqrt{G}\,(30\,W^{0.37} - 100) + 1.9}{100} \right]$$

H = ความสูงของไข่ขาว

G = 32.2 (ค่าคงที่)

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)



รูปที่ 1 ภาพแสดง Haugh Unit Gauge.

น้ำหนักไข่แดง

ภายหลังจากวัดค่า Haugh unit แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวโดยใช้มือและชั่งน้ำหนักไข่แดงเพื่อหาน้ำหนักไข่แดงเฉลี่ยในแต่ละซ้ำ

$$\text{น้ำหนักไข่แดงเฉลี่ย (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักไข่แดงทั้งหมด}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด}}$$

การวัดระดับความเข้มข้นของโคเลสเทอรอลในไข่แดงโดยวิธี colorimetric

Cholesterol extraction and saponification

ทำการสกัดโคเลสเทอรอลในไข่แดงโดยวิธีที่ปรับปรุงจาก Bitman และ and Wood (1980) ชั่งตัวอย่างไข่แดงที่ต้มแล้ว 0.2 กรัม (อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$ ซ นาน 10 นาที) ลงในหลอดทดลองและ homogenized ด้วย 4.5 มล petroleum ether-ethanol (2:1) แล้วปิดด้วย Teflon-lined screw cap ทำการ vortex ตัวอย่างไข่แดงนาน 3 นาทีและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 18 ชม เติมน้ำกลั่น 1.5 มล และ vortex นาน 1 นาที ใส่หลอดในเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 rpm นาน 10 นาที แยกดูดสารละลายปริมาณ 2 มลใน petroleum ether phase เพื่อระเหยด้วยก๊าซไนโตรเจน เติมสารละลาย 2.5% KOH ปริมาณ 2.5 มล บน dried residue แล้วอุ่นที่อุณหภูมิ 60° ซ ใน water bath นาน 60 นาทีเพื่อ saponify cholesteryl ester จากนั้น ทิ้งไว้ในเย็น เติม 2.5 มล petroleum ether และ 2.5 มล น้ำกลั่นในหลอดทดลองที่มีตัวอย่างอยู่ เขย่าหลอดแรง ๆ นาน 1 นาที แล้วเติม 2.0 มล petroleum ether เพิ่ม ทำการเจือจาง 0.5 มล aliquot petroleum ether ด้วย 9.5 ml petroleum ether เขย่าหลอดแรง ๆ นาน 1 นาที ทำการระเหยตัวอย่างสารละลาย 1 มลด้วยก๊าซไนโตรเจน นำไปวิเคราะห์โคเลสเทอรอลต่อไป เทียบกับ 0.75 มล ตัวอย่างโคเลสเทอรอลมาตรฐาน

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโคเลสเทอรอลในไข่แดง (Jung et al., 1975)

ภายหลังกระบวนการ saponification เติมสารละลาย ferric acetate/uranyl acetate 5 มล ลงบนตัวอย่างไข่แดงและตัวอย่างมาตรฐาน แล้ว vortex นาน 5 นาที ทำการหมุนเหวี่ยงสารลายด้วยความเร็ว 2,500 rpm นาน 5 นาที ดูดสารลายส่วนบน 3 มลลงในหลอดทดลองแล้วเติม sulfuric acid regent 2 มลช้า ๆ for 5 min สำหรับหลอด blank tube มีส่วนผสมของ 3.0 มล ferric acetate/uranyl acetate solution และ 2 มล sulfuric acid reagent ทำการวัดความเข้มข้นของโคเลสเทอรอลในไข่แดงโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (λ) 560 nm และเข้าสูตรดังแสดง

$$\text{ความเข้มข้นของโคเลสเทอรอล (มก)} = \frac{\text{AU x CS}}{\text{AS}}$$

โดยที่: AU = absorbance ของตัวอย่าง

AS = absorbance ของโคเลสเทอรอลมาตรฐาน

CS = ความเข้มข้นของโคเลสเทอรอล (200 มก/100 มล)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดของการทดลองแสดงในรูปของ Mean ± SD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกันโดยใช้ paired t-test และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ช่วงเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มโดยใช้ unpaired t-test

การทดลองที่ 2

สัตว์ทดลองและอาหาร

จากผลการทดลองเบื้องต้น กลุ่มผู้วิจัยได้เริ่มการทดลองในไก่ไข่จริง แบ่งไก่ไข่พันธุ์ Hisex อายุ 49 สัปดาห์จำนวน 144 ตัวออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ตัว โดยมีกลุ่มทดลอง 4 กลุ่มคือกลุ่มควบคุม (control) ที่ให้น้ำมันหมู (lard) กลุ่มทดลองที่มีน้ำมันปาล์มดิบในขนาด 2, 3 และ 4% คือกลุ่ม CPO1, CPO2 และ CPO3 ตามลำดับ อาหารที่ใช้ทดลอง (ตารางที่ 4) ยังคงมีสูตรอาหารเช่นเดียวกับการทดลองเบื้องต้น และใช้เวลาเลี้ยงนาน 6 สัปดาห์ โดยมีระยะปรับตัว 2 สัปดาห์ก่อนหน้าเวลาทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยสถานที่ทดลองและอาหารพื้นฐานใช้เหมือนกับการทดลองที่ 1 โดยสูตรอาหารแสดงไว้ในตารางที่ 4 ในการทดลองนี้จากการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มดิบโดย HPLC พบว่ามีระดับ α-tocopherol (398 ppm) และ γ-tocopherol (35 ppm) และระดับของ α-, γ- and δ-tocotrienol เท่ากับ 429, 738 and 94 ppm, ตามลำดับ

วิธีทดลอง

ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 8 สัปดาห์โดย 2 สัปดาห์แรกเป็นระยะปรับตัว ไก่ไข่ทุกกลุ่มกินอาหารควบคุม ต่อมาเป็นระยะทดลองโดยในแต่ละกลุ่มทดลองมีไก่ไข่ 36 ตัวแบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ ๆ ละ 9 ตัว มีไก่ไข่ 1 ตัวในแต่ละกรง แผนการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อสมรรถภาพของแม่ไก่และคุณภาพไข่ (การทดลองที่ 1)

Parameter	**สัปดาห์ที่**					
กลุ่มทดลอง	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ผลผลิตไข่ไก่ (%)						
Control	88.57 ± 2.86	88.57 ± 1.77	94.29 ± 1.60	85.71 ± 1.87	84.29 ± 3.09	81.43 ± 2.84
CPO	85.00 ± 9.48	84.29 ± 2.34	94.29 ± 1.60	85.71 ± 2.71	91.43 ± 5.71	91.43 ± 1.96
น้ำหนักไข่ (กรัม/ฟอง)						
Control	64.70 ± 0.72	64.38 ± 1.38	63.77 ± 0.27^{y}	64.05 ± 0.81	65.20 ± 0.58	64.17 ± 0.44^{y}
CPO	64.28 ± 1.53	66.78 ± 0.38	66.07 ± 1.51^{x}	65.51 ± 1.03	65.30 ± 0.86	66.97 ± 0.89^{x}
ความถ่วงจำเพาะ						
Control	1.088 ± 0.000	1.100 ± 0.000	1.089 ± 0.005	1.095 ± 0.003	1.087 ± 0.003	1.085 ± 0.001
CPO	1.088 ± 0.000	1.100 ± 0.000	1.080 ± 0.002	1.085 ± 0.004	1.081 ± 0.003	1.083 ± 0.001
Haugh Unit						
Control	76.59 ± 7.22	77.95 ± 1.38	72.72 ± 4.15	77.43 ± 5.67	76.25 ± 1.63	75.35 ± 1.56
CPO	74.70 ± 6.41	78.60 ± 1.93	76.28 ± 4.05	74.50 ± 7.49	75.26 ± 2.27	75.57 ± 1.83
สีไข่แดง						
Control	6.00 ± 0.33	5.00 ± 0.33	4.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	4.00 ± 0.33	4.00 ± 0.33
CPO	7.00 ± 0.33	6.00 ± 0.88	6.00 ± 0.00	5.00 ± 0.58	5.00 ± 0.00	5.00 ± 0.33
น้ำหนักไข่แดง (กรัม)						
Control	17.85 ± 1.14	15.40 ± 0.40	14.98 ± 0.65	15.97 ± 0.92	14.01 ± 0.14^{y}	14.06 ± 0.05^{y}
CPO	16.19 ± 1.11	15.45 ± 0.61	15.74 ± 0.35	15.58 ± 0.58	15.64 ± 0.32^{x}	15.76 ± 0.23^{x}

* Mean ± SD, n=3 (ยกเว้นการผลิตไข่ไก่, n=5)

^{x,y} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งในระหว่างกลุ่มทดลองต่างกัน มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$).

Control = lard 2% in diet, CPO = crude palm oil 2% in diet

ตารางที่ 3 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (การทดลองที่ 1)

Parameter	สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 5		สัปดาห์ที่ 6	
	Control	CPO	Control	CPO	Control	CPO
Cholesterol Conc. (mg/yolk weight)	301.75±12.81	283.11 ± 10.42	275.22 ± 20.77	283.86 ± 3.81	277.00 ± 7.05	278.54 ± 5.16
Cholesterol Conc. (mg/g yolk)	18.89 ± 0.61	18.17 ± 0.75	19.64± 1.74	18.15 ± 0.19	19.70 ± 0.28	17.67 ± 0.29

Mean ± SD, n=3

Control = lard 2% in diet, CPO = crude palm oil 2% in diet.

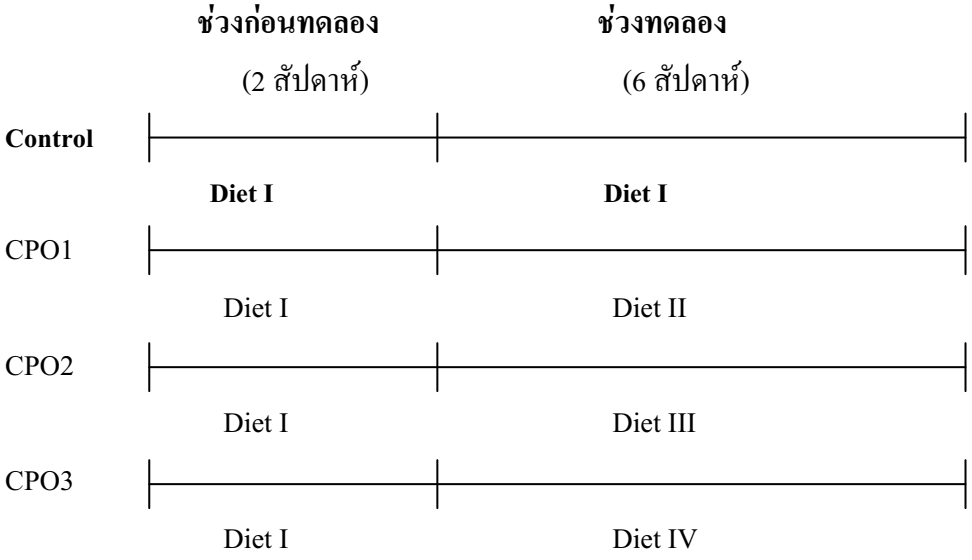
Cholesterol Conc. = cholesterol concentration

ตารางที่ 4 องค์ประกอบและสารอาหารของอาหารทดลองต่าง ๆในการทดลองที่ 2

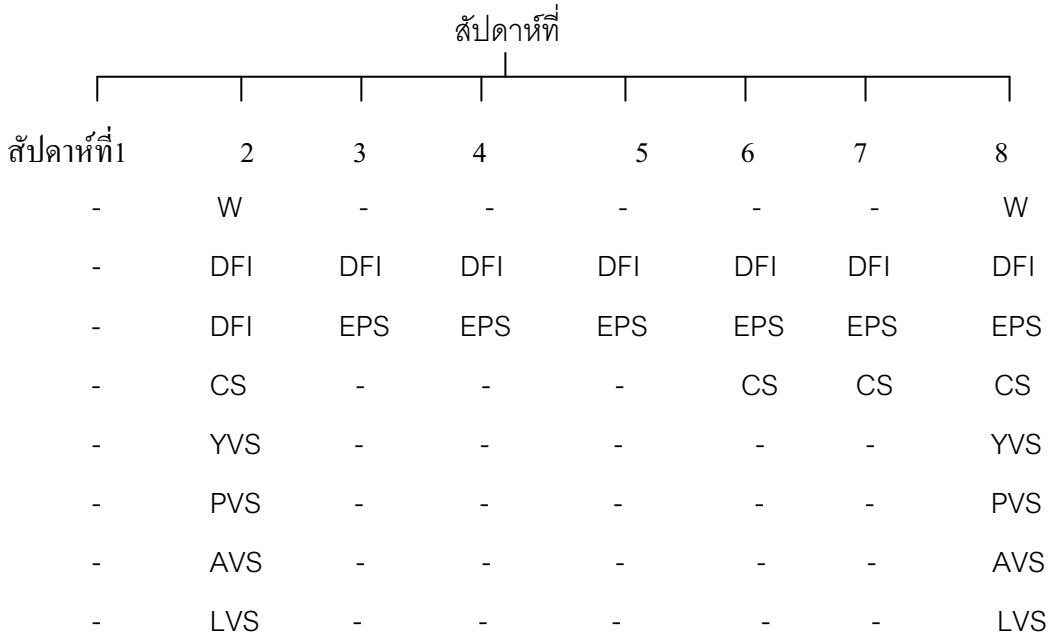
องค์ประกอบ (%)	**Control (Diet I)**	**CPO 1 (Diet II)**	**CPO 2 (Diet III)**	**CPO 3 (Diet IV)**
ข้าวโพด	55.33	55.39	51.53	49.72
รำสกัด	7.99	7.92	11.25	12.00
น้ำมันหมู	2.00	-	-	-
น้ำมันปาล์มดิบ	-	2.00	3.00	4.00
กากถั่วเหลือง โปรตีน 44%	19.24	19.25	18.76	18.84
ปลาป่น โปรตีน 60%	6.00	6.00	6.00	6.00
DL-methionine	0.05	0.05	0.05	0.06
Dicalcium phosphate (P18%)	0.93	0.93	0.91	0.90
Calcium carbonate	7.97	7.97	7.99	7.99
เกลือ	0.23	0.23	0.23	0.23
Premix*	0.25	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
สารอาหาร (การวิเคราะห์)	**Control**	**CPO 1**	**CPO2**	**CPO3**
ME for Poultry (Kcal/kg.)	2750.00	2750.00	2750.00	2781.83
Crude Protein (%)	17.50	17.50	17.50	17.50
Crude Fat (%)	4.64	4.71	5.58	6.50
Crude Fiber (%)	3.75	3.74	4.01	4.06
Ca (%)	3.80	3.80	3.80	3.80
Total phosphorus (%)	0.72	0.72	0.76	0.76
Available phosphorus (%)	0.40	0.40	0.40	0.40
NaCl (%)	0.35	0.35	0.35	0.35
Lysine (%)	0.97	0.97	0.97	0.97
Methionine (%)	0.39	0.39	0.39	0.39
Methionine + Cystine (%)	0.65	0.65	0.65	0.65

*** Commercial premix**

แผนภูมิแสดงช่วงการทดลองและกลุ่มทดลอง



การเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ในแต่ละระยะเวลาของการทดลองที่ 2

W = ชั่งน้ำหนักแม่ไก่

DFI = บันทึกปริมาณอาหารที่กิน (คิดต่อ 1 วัน)

EPS = สมรรถภาพการผลิตไข่ และการตรวจคุณภาพไข่

- Hen-Day Basis (HD; บันทึกทุกวัน)
- น้ำหนักไข่ (ชั่งน้ำหนักและบันทึกทุกวัน)

- น้ำหนักไข่
- ความถ่วงจำเพาะของไข่
- สีไข่แดง
- Haugh unit
- น้ำหนักไข่แดง
- น้ำหนักไข่ขาว
- น้ำหนักเปลือกไข่

CS = เก็บตัวอย่างเพื่อวัดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง

YVS = เก็บตัวอย่างเพื่อวัดระดับไวตามินอีในไข่แดง

PVS = เก็บตัวอย่างเพื่อวัดระดับไวตามินอีในพลาสม่า

AVS = เก็บตัวอย่างเพื่อวัดระดับไวตามินอีในเนื้อเยื่อไขมัน

LVS = เก็บตัวอย่างเพื่อวัดระดับไวตามินอีในตับ

การวิเคราะห์หาระดับ tocopherols และ tocotrienols ในไข่แดง (Ikeda et al., 2001)

ทำการชั่งไข่แดงสด 0.5 กรัมลงในหลอดทดลองแล้วเติมน้ำเกลือความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร 0.1 มล ตามด้วยสารละลาย 1 มล เอธานอลที่มี 60 กรัม/ลิตร pyrogallol และ 2 มล potassium hydroxide (600 กรัม/ลิตร) จากนั้นทำการ vortex และ saponified ที่ 70°ซ นาน 30 นาที เติมน้ำเกลือความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตรอีก 4.5 และสกัด tocopherols และ tocotrienols ด้วย 3 มล of hexane containing 10% (v/v) ethyl acetate ทำการหมุนเหวี่ยงตัวอย่างที่ 2,500 rpm นาน 10 นาที ดูดสารละลายในชั้น hexane (1 มล) ใส่หลอดทดลองแล้วระเหยด้วยก๊าซไนโตรเจน จากนั้นเติม 1 มล สารละลาย hexane ทำการฉีดสารละลายดังกล่าวปริมาณ 20 μl เข้าเครื่อง HPLC (High performance Liquid Chromatography) (Ueda and Igarashi, 1987) ในการทดลองครั้งนี้มีการคำนวณค่า Recovery ของความเข้มข้นของ tocopherol และ tocotrienol ได้เท่ากับ97% เครื่องมือวิเคราะห์ได้แก่ Shimadzu LC-10AS CLASS VP (Shimadzu, Tokyo, Japan) และ Shimadzu RF-10AXL fluorescence detector (excitation 298 nm, emission 325 nm) ใช้ analytical column คือ Develosil 60-5 (4.6 x 250 mm) และ mobile phase คือ hexane containing 1% (v/v) dioxane และ 0.2% (v/v) isopropyl alcohol โดยใช้ flow rate ที่ 1 มล/นาทีและเวลาวิเคราะห์ 50 นาทีต่อตัวอย่าง เครื่องมือทั้งหมดได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ระดับ tocopherols และ tocotrienols ในพลาสม่าและเนื้อเยื่อ

ระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล ในพลาสม่า

ทำการอดอาหารไก่ไข่ประมาณ 16 ชม ก่อนเก็บตัวอย่างเลือดปริมาณ 2 มล จาก หลอดเลือดดำที่ปีก (wing vein)หรือที่คอ (jugular vein) ในหลอดที่ใส่ 1% (w/v) EDTA sodium salt เป็นสารกันเลือดแข็ง ทำการแยกพลาสม่าโดยเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 rpm นาน 10 นาที ใส่พลาสม่า 200 μl ลงใน

หลอด Teflon coated screw-caps จากนั้นเติม 6% ehtanolic pyrogallol solution (1 มล) ทำการอุ่นสารละลายที่ 70°ซ นาน 3 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 60% KOH (0.2 มล) และ saponified ที่ 70°ซ นาน 30 นาที ตัวอย่างพลาสม่าจะถูกสกัดด้วย 10% ethyl acetate in n-hexane (3 มล) และหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 rpm นาน 10 นาที ดูดสารละลายในชั้น hexane (1 มล) ลงในหลอดทดลองและทำให้แห้งโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน และเติม 20 μl ของสารละลาย n-hexane ก่อนนำไปวิเคราะห์โดย HPLC system (Shimadzu LC-10AS CLASS VP, Tokyo, Japan) Detection wavelength was used excitation 297 nm and emission 327 nm. สำหรับ mobile phase ใช้ n-hexane/isopropyl alcohol (97:3 v/v) ด้วยอัตรา 1 มล/นาทีและใช้เวลา 15 min (Ueda and Igarashi, 1987).

ระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในเนื้อเยื่อ (เนื้อเยื่อไขมันและตับ)

ทำการทำให้ไก่ตายโดยการดึงคอ (ใช้ไก่ 1 ตัวต่อซ้ำ มี4 ตัวต่อกลุ่มทดลอง) ใช้ไก่ตัวเดียวกันกับที่เจาะเลือดข้างต้น อดอาหารไก่ 16 ชมก่อนหน้านี้ ทำการเปิดผ่าช่องท้อง เก็บตัวอย่างไขมันหน้าท้อง (abdominal fat) ทั้งหมด รวมถึงตัวอย่างตับ ทำการตัดเนื้อเยื่อทั้ง 2 ชนิดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1 มม ใส่ตัวอย่างตับ (100 มก) และเนื้อเยื่อไขมัน (30 มก) ลงในหลอด Teflon coated screw-capped centrifuge เติมสารละลาย 1% NaCl เพื่อ saponification เติม 6% Ethanolic pyrogallol (1 มล) and 60% KOH (0.2 มล) และ saponified ที่ 70°ซ นาน 60 นาที เติมสารละลาย 1% NaCl (4-5 มล) ในหลอดทดลองแล้วสกัดด้วยสารละลาย n-hexane/ethyl acetate solution (3 มล) เช่นเดียวกับวิธีวัดในพลาสม่า (Ueda and Igarashi, 1987).

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน tocopherols และ tocotrienols (AOCS, 1993)

α-Tocopherol acetate standard stock solution

ชั่งตัวอย่างมาตรฐาน α-tocopherol acetate 10 กรัมลงใน volumetric flask ขนาด 100 มลและเติม hexane จนถึงระดับ 100 มล จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐาน 10 มล ใส่ลงใน glass round-bottom flask และทำการระเหย hexane ออกโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน เติม 10 มล methanol ลงใน flask เพื่อละลาย tocopherol acetate. ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายที่ความยาวคลื่น 284 nm ทำการคำนวณความเข้มข้นของ α-tocopherol acetate หน่วย μg/ml โดยหารค่า absorbance ด้วย 0.0045 (extinction co-efficient).

γ- and δ-Tocopherol standard stock solutions

ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานของ γ- and δ-tocopherol เช่นเดียวกับ α-tocopherol ก่อนวัดด้วย UV spectrometry คำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดยใช้ความยาวคลื่นและ divisor factors ดังแสดง:

298 nm γ-tocopherol = 0.0091

298 nm δ-tocopherol = 0.0087

การคำนวณค่าความเข้มข้นของ tocopherol และ tocotrienol

ปริมาณ α-tocopherol ของตัวอย่าง (หน่วย μg/g) คำนวณได้ดังนี้:

$$\frac{C \times a \times D \times 25}{A \times m}$$

Where:

C = ความเข้มข้นของตัวอย่างมาตรฐาน α-tocopherol

A = ค่าเฉลี่ยของ peak areas ที่ได้จาก α-tocopherol ของตัวอย่างมาตรฐาน

a = ค่าเฉลี่ยของ peak areas ที่ได้จาก α-tocopherol ของตัวอย่างที่ทดสอบ

m = น้ำหนักของตัวอย่างที่ทดสอบ

D = dilution factor สำหรับการเตรียมตัวอย่าง

การคำนวณค่าความเข้มข้นของ γ- และ δ-tocopherol ในตัวอย่างทำเช่นเดียวกับ α-tocopherol ระดับโทโคไตรอีนอล (tocotrienol) ของตัวอย่างคำนวณได้โดยใช้ค่า C และ A ของตัวอย่างมาตรฐาน (C และ A value ของ α-, γ- and δ-tocopherol standard ใช้ในการวิเคราะห์ α-, γ- and δ-tocotrienol ในตัวอย่าง) เนื่องจากระดับของไวตามินอีทั้ง 2 ชนิดเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วย fluorescence detector แล้วให้ค่าเท่ากัน ค่าที่ได้แสดงออกในหน่วย μg/g ไข่แดง หรือตับ หรือเนื้อเยื่อไขมันหน้าท้อง ส่วนในรายพลาสม่าแสดงในหน่วย μg/ml

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดของการทดลองแสดงในรูปของ Mean ± SD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกันโดยใช้ Repeated Measurement in CRD และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ช่วงเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มโดยใช้ One-Way Analysis of Variance (ANOVA) ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละตัวที่ต่างกันด้วย Tukey test ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เป็นโค้งปกติหรือมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี non-parametric methods (Kruskral Wallis และ ANOVA with repeated measure on ranks test). กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $P<0.05$ (Steel and Torrie, 1960).

ผล และวิจารณ์

ในตารางที่ 2 จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบไม่มีความแตกต่างกัน และไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวไก่ (ไม่ได้แสดงในตาราง) เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ในกลุ่มควบคุมเมื่อเทียบที่เวลาต่างกัน ไม่ต่างจากกลุ่มที่ให้น้ำมันปาล์มดิบ (ตารางที่ 1) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ของกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่มากกว่ากลุ่มควบคุม ถึงแม้ว่าจะไม่มี

ความแตกต่างกันในทางสถิติ (P > 0.05) ก็ตาม ซึ่งในช่วงสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ปริมาณการกินต่อตัวต่อวันของกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบมากกว่ากลุ่มควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟองไข่พบว่า ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า ในสัปดาห์ที่ 3 และ 6 ของกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟองไข่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะของฟองไข่ พบว่า ที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกันและที่ช่วงเวลาเดียวกันแต่ต่างกลุ่มกันไม่มีความแตกต่างกัน (P > 0.05) (ตารางที่ 2)

ในตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดสีไข่แดง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกันและที่ช่วงเวลาเดียวกันแต่ต่างกลุ่มกันไม่มีความแตกต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าในกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบมีสีไข่แดงที่เข้มกว่ากลุ่มควบคุมเมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงเวลาเดียวกัน แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติก็ตาม ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมากจากใช้จำนวนสัตว์ทดลองน้อยเกินไป ส่วน Haugh Unit ผลที่ได้พบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกันทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มน้ำมันปาล์มดิบ 2 % ที่เวลาเดียวกัน ในส่วนของน้ำหนักไข่แดง พบว่าที่ช่วงเวลาต่างกันภายในกลุ่มเดียวกัน ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบมีน้ำหนักไข่แดงไม่แตกต่างกัน แต่ที่ช่วงเวลาเดียวกันแต่ต่างกลุ่มกัน พบว่า ในสัปดาห์ที่ 5 และ6 ของกลุ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบ มีน้ำหนักไข่แดงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ส่วนผลของน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อระดับโคเลสเทอรอล (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าระดับ โคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่ไข่ทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ในทุกสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง การเสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหารในระดับ 2% อาจจะต่ำเกินกว่าที่จะทำให้เกิดผลได้ ซึ่งต้องทดสอบในระดับที่สูงขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้ในการทดลองเบื้องต้นนี้ แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ระดับ 2% ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของไก่ไข่ และที่สำคัญยังพบว่า สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ดีกว่าการใช้ไขมันสัตว์เป็นแหล่งพลังงาน การใช้น้ำมันปาล์มดิบระดับ 2 % มีแนวโน้มที่จะลดระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่ไข่โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ถึงแม้ว่าในบาง parameter จะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติก็ตาม แต่ถ้าใช้จำนวนสัตว์ทดลองมากขึ้นอาจจะทำให้เห็นความแตกต่างกันในทางสถิติมากขึ้น

ดังนั้นจึงนำผลการทดลองเบื้องต้นที่ได้นี้มากำหนดวิธีการทดลองจริงเพื่อให้ได้ระดับของน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ สามารถลดระดับโคเลสเทอรอลและสามารถสะสมปริมาณ tocopherol และ tocotrienol ในไข่แดงให้ได้สูงที่สุดและอย่างเหมาะสม และเพื่อศึกษาถึงการสะสมของ tocopherol และ tocotrienol ว่าอยู่ที่บริเวณเนื้อเยื่อใดบ้างในไก่ไข่

จากตารางที่ 5 พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มดิบทุกระดับไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของไก่ไข่ที่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม การเสริมน้ำมันปาล์มดิบไม่ทำให้ค่าร้อยละของการไข่ (% Hen-Day) ต่างจาก

กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 6) แต่การเสริมน้ำมันปาล์มดิบในระดับ 4 % มีแนวโน้มที่จะทำให้ % การไข่ สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นเช่นในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง

ในตารางที่ 7 การเสริมน้ำมันปาล์มดิบในทุกระดับไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่ไก่ไข่กิน สำหรับน้ำหนักไข่นั้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบในระดับ 4 % (CPO3) มีน้ำหนักไข่ที่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบน้ำหนักไข่ในช่วงสัปดาห์ต่างๆ ในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 3 และ 4% พบว่าน้ำหนักไข่จะเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 5 และ6 อย่างมีนัยสำคัญเทียบกับเมื่อเริ่มการทดลอง จนถึงสัปดาห์ที่ 3 สำหรับค่า FCR คือประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่จะมีค่าต่ำสุด (ใช้อาหารที่กินน้อยเพื่อให้ได้ไข่จำนวนมาก) ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4% จะมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มอื่นๆ และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3-6 ค่า FCR จะต่ำกว่าเมื่อเริ่มการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ระดับ 4% มีผลเพิ่มน้ำหนักไข่รวมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ในขณะที่ปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกันในกลุ่มทดลองทั้งหมด ในการทดลองนี้ได้มีการคำนวณต้นทุนการผลิตต่อไข่ 1 กกในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือปริมาณอาหารที่ไก่กินต่อสัปดาห์ ต้นทุนค่าอาหารไก่ต่อ 1 กก น้ำหนักฟองไข่ และอัตราแลกไข่ พบว่าต้นทุนการผลิตไข่ต่อ 1 กก (คิดเฉพาะค่าอาหาร) ในกลุ่มควบคุม CPO 1, CPO 2 และ CPO 3 มีค่าเท่ากับ 20.25, 20.25, 19.95 และ 19.35 บาทต่อไขไก่ 1 กก ตามลำดับ

ในตารางที่ 8 การเสริมน้ำมันปาล์มดิบไม่มีผลต่อความถ่วงจำเพาะของไข่ และ ค่าชี้วัดคุณภาพของไข่ขาว (Haugh unit) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่พบว่าสีของไข่แดงในกลุ่มที่ให้น้ำมันปาล์มดิบในระดับ 4 % จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเริ่มการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป จนมีค่าสูงสุด (7.75 ± 0.46) ในสัปดาห์ที่ 5 ของการทดลอง และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป สีไข่แดงในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบในระดับ 4 %จะสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นอกจากนี้สีไข่แดงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลองจะมากกว่าเมื่อเริ่มการทดลองและสัปดาห์ที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ(รูปที่ 3) สีไข่แดงที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากสารสี carotene และไวตามินเอซึ่งมีระดับสูงในน้ำมันปาล์มดิบ แม้ว่าในการทดลองนี้ไม่ได้มีการเติมสารสีในอาหาร แต่ไข่แดงที่ได้จากกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบ 4% มีสีใกล้เคียงกับไข่แดงในท้องตลาดที่มีการเติมสารสี

ในตารางที่ 9 การเสริมน้ำมันปาล์มดิบขนาด 3 และ 4 % จะช่วยเพิ่มน้ำหนักไข่อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำมันหมู และกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบขนาด 2 % ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง และในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบขนาด 4 % จะเริ่มมีน้ำหนักไข่เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการทดลองเมื่อเทียบกับเมื่อเริ่มการทดลอง (รูปที่ 4) ซึ่งน้ำหนักไข่ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากน้ำหนักไข่แดงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลจะคล้ายกับค่าน้ำหนักไข่ที่เพิ่มขึ้น การเสริมน้ำมันปาล์มดิบ ไม่มีผลต่อน้ำหนักไข่ขาวและน้ำหนักเปลือกไข่ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักไข่แดงและน้ำหนักไข่เป็นผลมาจากระดับไขมันในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นในกลุ่ม CPO2 และ CPO3 ในการทดลองนี้ระดับพลังงานในอาหารไก่จะใกล้เคียงกันในกลุ่มทดลองเกือบทุกกลุ่ม ยกเว้นในกลุ่ม CPO3 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มอื่นเล็กน้อย ระดับไขมัน (crude fat) ในอาหารมีค่า 4.64

4.71 5.58 และ 6.5% ในกลุ่มควบคุม CPO1 CPO2 และ CPO3 ตามลำดับ ทำให้ปริมาณไขมันที่ไก่ในกลุ่ม CPO2 และ CPO3 มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Bohnsack และ คณะ (2002) ที่กล่าวว่าน้ำหนักไข่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Sohail et al. (2003) ที่กล่าวถึงผลของไขมันในอาหารต่อน้ำหนักไข่

จากตารางที่ 10 พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มดิบระดับ 4 %จะเพิ่มร้อยละของไข่แดงในฟองไข่อย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองเมื่อเทียบกับสัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 และจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 2% ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป ซึ่งในไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบขนาด 4 % และ 3% นี้จะมีร้อยละของไข่ขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของร้อยละของเปลือกไข่ การลดลงของร้อยละของไข่ขาวเป็นสัดส่วนสัมพัทธ์กับร้อยละของไข่แดงที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ผลการเสริมน้ำมันปาล์มดิบในอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวต่อวัน (ADG)

Parameter	**Control**	**CPO1**	**CPO2**	**CPO3**
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (g)	7.19 ± 0.77	6.25 ± 0.51	7.19 ± 0.60	6.88 ± 0.36
การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวต่อวัน (g/d)	0.17 ± 0.019	0.15 ± 0.012	0.17 ± 0.014	0.16 ± 0.008

* Mean ± SD, Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%

ตารางที่ 6 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อ hen-day basis percentage (%HD) ในการทดลองที่ 2

กลุ่มทดลอง	สัปดาห์ที่						
	0	**1**	2	3	4	5	**6**
Control	84.13 ± 2.90	82.14 ± 1.26	82.14 ± 1.26	81.25 ± 0.51	80.75 ± 0.47	83.04 ± 3.42	82.14 ± 2.25
CPO1	82.94 ± 5.24	82.14 ± 1.63	82.59 ± 1.34	83.04 ± 1.55	82.59 ± 1.98	80.81 ± 2.25	82.14 ± 5.65
CPO2	82.94 ± 2.00	80.46 ± 1.46	81.70 ± 1.98	82.15 ± 1.03	82.59 ± 1.53	80.81 ± 2.25	82.59 ± 2.68
CPO3	83.34 ± 0.92	84.38 ± 1.52	83.04 ± 1.15	83.93 ± 0.73	83.93 ± 1.26	83.03 ± 1.79	84.82 ± 1.03

* Mean ± SD, Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%

ตารางที่ 7 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ในการทดลองที่ 2

Parameter	สัปดาห์ที่						
กลุ่มทดลอง	0	1	2	3	4	5	6
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)							
Control	108.57 ± 0.60	107.02 ± 0.05	107.99 ± 0.49	108.13 ± 0.67	106.60 ± 0.64	107.65 ± 0.23	107.00 ± 0.37
CPO1	108.27 ± 0.22	106.95 ± 0.41	108.23 ± 0.25	107.86 ± 0.23	108.04 ± 0.20	107.68 ± 0.16	107.17 ± 0.31
CPO2	109.50 ± 0.72	106.63 ± 0.85	107.76 ± 0.28	107.84 ± 0.22	107.47 ± 0.10	107.84 ± 0.27	107.81 ± 0.22
CPO3	108.61 ± 0.26	107.83 ± 0.19	107.96 ± 0.10	107.83 ± 0.33	107.97 ± 0.34	107.84 ± 0.18	108.24 ± 0.37
น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)							
Control	65.27 ± 0.15	65.11 ± 0.03	65.15 ± 0.06	65.19 ± 0.08 ^{z}	65.11 ± 0.04 ^{z}	65.25 ± 0.07 ^{y}	65.30 ± 0.13 ^{y}
CPO1	64.78 ± 0.33	64.91 ± 0.70	64.97 ± 0.19	65.04 ± 0.11 ^{z}	65.27 ± 0.22 ^{z}	64.95 ± 0.23 ^{y}	64.60 ± 0.23 ^{z}
CPO2	64.97 ± 2.29 ^{b}	64.60 ± 0.38 ^{b}	65.48 ± 0.17 ^{b}	65.68 ± 0.07 ^{yb}	66.54 ± 0.22 ^{ya}	67.25 ± 0.20 ^{xa}	67.00 ± 0.28 ^{xa}
CPO3	65.40 ± 0.20 ^{b}	65.14 ± 0.12 ^{b}	65.39 ± 0.07 ^{b}	67.16 ± 0.25 ^{xa}	67.45 ± 0.13 ^{xa}	67.51 ± 0.18 ^{xa}	67.60 ± 0.05 ^{wa}
อัตราแลกไข่ (FCR) (กรัมอาหาร/กรัมไข่)							
Control	1.98 ± 0.03	2.00 ± 0.03	2.03 ± 0.04	2.04 ± 0.03 ^{x}	2.01 ± 0.18	1.99 ± 0.04	2.00 ± 0.04
CPO1	2.02 ± 0.06	2.01 ± 0.05	2.02 ± 0.04	2.00 ± 0.03 ^{x}	2.01 ± 0.05	2.05 ± 0.03	2.04 ± 0.07
CPO2	2.03 ± 0.03	2.01 ± 0.05	2.01 ± 0.05	2.00 ± 0.03 ^{xy}	1.95 ± 0.03	1.99 ± 0.03	1.95 ± 0.03
CPO3	2.03 ± 0.03 ^{a}	1.97 ± 0.04 ^{ab}	1.99 ± 0.03 ^{ab}	1.91 ± 0.14 ^{yb}	1.91 ± 0.03 ^{b}	1.92 ± 0.12 ^{b}	1.89 ± 0.02 ^{b}

* Mean ± SD , n = 8, ^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวนอนภายในกลุ่มทดลองเดียวกันที่ช่วงเวลาต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$),

^{wxyz} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$),

Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%, Egg Wt. Overall หมายถึงน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองเมื่อทำการชั่งไข่ไก่ทุกฟองทุกวัน

$$\text{FCR} = \frac{\text{อาหารที่กิน (กก.)}}{\text{จำนวนฟองไข่ทั้งหมด x น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง}} \times 1000$$

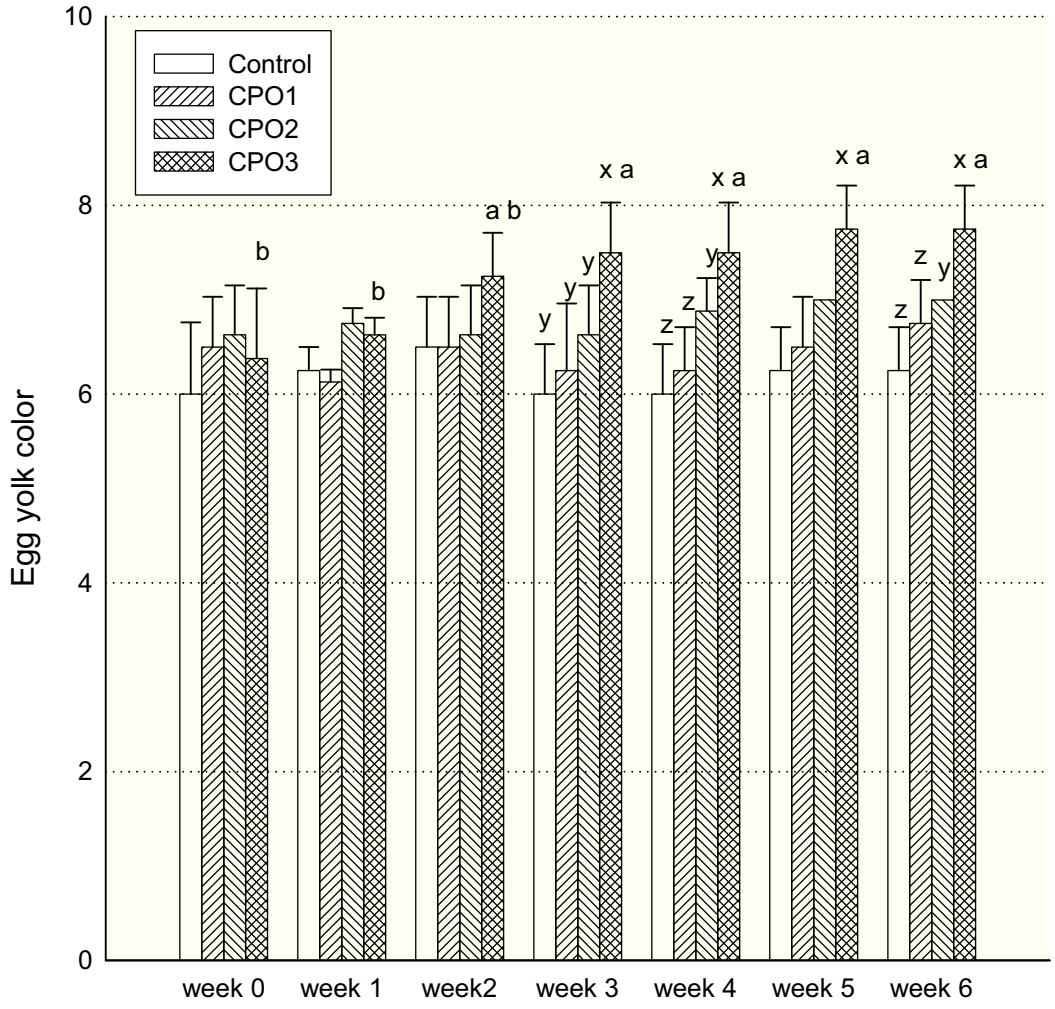
ตารางที่ 8 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อคุณภาพไก่ไข่ในการทดลองที่ 2

Parameter	สัปดาห์ที่						
กลุ่มทดลอง	0	1	2	3	4	5	6
ความถ่วงจำเพาะของไข่							
Control	1.084 ± 0.004	1.081 ± 0.001	1.082 ± 0.004	1.084 ± 0.007	1.082 ± 0.003	1.085 ± 0.005	1.085 ± 0.004
CPO1	1.083 ± 0.006	1.083 ± 0.002	1.083 ± 0.005	1.084 ± 0.005	1.080 ± 0.003	1.084 ± 0.004	1.085 ± 0.003
CPO2	1.082 ± 0.004	1.083 ± 0.001	1.080 ± 0.006	1.084 ± 0.006	1.083 ± 0.003	1.085 ± 0.005	1.083 ± 0.004
CPO3	1.084 ± 0.003	1.084 ± 0.002	1.081 ± 0.006	1.084 ± 0.007	1.083 ± 0.002	1.085 ± 0.008	1.084 ± 0.006
Haugh Unit							
Control	75.93 ± 5.77	79.79 ± 2.07	80.49 ± 1.38	81.36 ± 1.75	80.56± 2.71	80.44 ± 2.01	79.81 ± 1.92
CPO1	75.62 ± 4.77	77.98 ± 1.65	80.02 ± 1.54	81.47 ± 1.24	79.56 ± 3.79	78.92 ± 2.38	80.81 ± 0.83
CPO2	75.62 ± 4.46	82.58 ± 0.83	81.27 ± 1.81	81.37 ± 1.55	81.07 ± 3.28	80.97 ± 1.58	79.16 ± 1.60
CPO3	73.99 ± 6.17	77.35 ± 1.95	80.70 ± 1.61	79.79 ± 2.10	82.17 ± 5.69	81.08 ± 1.18	78.66 ± 2.22
สีไข่แดง							
Control	6.00 ± 0.76	6.25 ± 0.25	6.50 ± 0.53	6.00 ± 0.53 ^{y}	6.00 ± 0.53 ^{z}	6.25 ± 0.46 ^{z}	6.25 ± 0.46 ^{z}
CPO1	6.50 ± 0.53	6.13 ± 0.13	6.50 ± 0.53	6.25 ± 0.71 ^{y}	6.25 ± 0.46 ^{z}	6.50 ± 0.53 ^{z}	6.75 ± 0.46 ^{y}
CPO2	6.63 ± 0.52	6.75 ± 0.16	6.63 ± 0.52	6.63 ± 0.52 ^{y}	6.88 ± 0.35 ^{y}	7.00 ± 0.00 ^{y}	7.00 ± 0.00 ^{y}
CPO3	6.38 ± 0.74 b	6.63 ± 0.18 ^{b}	7.25 ± 0.46 ^{ab}	7.50 ± 0.53 $^{x\,a}$	7.50 ± 0.53 ^{xa}	7.75 ± 0.46 ^{xa}	7.75 ± 0.46 ^{xa}

* Mean ± SD , n = 8, Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%,

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวนอนภายในกลุ่มทดลองเดียวกันที่ช่วงเวลาต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05),

^{xyz} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05),



[x, y, z] ค่าเฉลี่ยของสีไข่แดงของไก่กลุ่มต่าง ๆ ในสัปดาห์เดียวกัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยของสีไข่แดงไก่กลุ่มเดียวกันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 3 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อสีไข่แดงเฉลี่ย

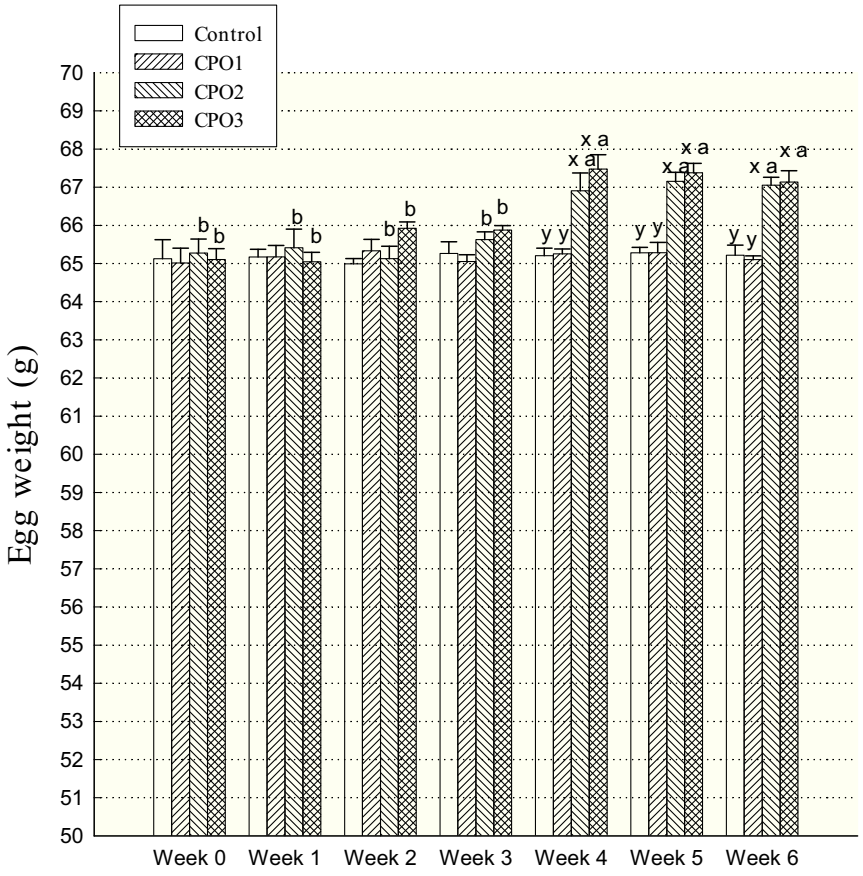
ตารางที่ 9 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักเปลือกไข่ในการทดลองที่ 2

Parameter	สัปดาห์ที่						
กลุ่มทดลอง	0	1	2	3	4	5	6
น้ำหนักไข่ (กรัม)							
Control	65.12 ± 0.50	65.17 ± 0.20	64.99 ± 0.14	65.26 ± 0.31	65.20 ± 0.20 ^{y}	65.28 ± 0.14 ^{y}	65.22 ± 0.26 ^{y}
CPO1	65.01 ± 0.36	65.17 ± 0.30	65.33 ± 0.30	65.05 ± 0.18	65.25 ± 0.13 ^{y}	65.28 ± 0.27 ^{y}	65.10 ± 0.10 ^{y}
CPO2	65.27 ± 0.37 ^{b}	65.41 ± 0.49 ^{b}	65.12 ± 0.33 ^{b}	65.62 ± 0.21 ^{b}	66.90 ± 0.47 $^{x\,a}$	67.15 ± 0.24 $^{x\,a}$	67.05 ± 0.21 $^{x\,a}$
CPO3	65.10 ± 0.29 ^{b}	65.04 ± 0.25 ^{b}	65.92 ± 0.17 ^{b}	65.87 ± 0.12 ^{b}	67.47 ± 0.38 $^{x\,a}$	67.37 ± 0.25 $^{x\,a}$	67.13 ± 0.30 $^{x\,a}$
น้ำหนักไข่แดง (กรัม)							
Control	16.69 ± 0.16	16.24 ± 0.13	16.28 ± 0.12	16.33 ± 0.20 ^{y}	16.18 ± 0.43 ^{y}	16.52 ± 0.14 ^{y}	16.19 ± 0.18 ^{y}
CPO1	16.65 ± 0.30	16.51 ± 0.17	16.38 ± 0.18	16.09 ± 0.23 ^{y}	16.22 ± 0.25 ^{y}	16.63 ± 0.27 ^{y}	16.17 ± 0.13 ^{y}
CPO2	16.69 ± 0.26 ^{b}	16.26 ± 0.42 ^{b}	16.16 ± 0.28 ^{b}	16.46 ± 0.18 $^{y\,b}$	17.72 ± 0.91 $^{x\,a}$	18.09 ± 0.21 $^{x\,a}$	17.83 ± 0.27 $^{x\,a}$
CPO3	16.61 ± 0.21 ^{b}	16.37 ± 0.30 ^{b}	16.78 ± 0.20 ^{b}	17.70 ± 0.19 $^{x\,a}$	18.35 ± 0.93 $^{x\,a}$	18.26 ± 0.26 $^{x\,a}$	18.28 ± 0.31 $^{x\,a}$
น้ำหนักไข่ขาว (กรัม)							
Control	41.95 ± 0.49	42.63 ± 0.16	42.21 ± 0.42	42.43 ± 0.21	42.54 ± 0.28	42.28± 0.18	42.36 ± 0.41
CPO1	41.84 ± 0.35	42.29 ± 0.29	42.29 ± 0.58	42.30 ± 0.17	42.58 ± 0.43	42.20 ± 0.25	42.68 ± 0.48
CPO2	41.96 ± 0.22	42.78 ± 0.21	42.73 ± 0.55	41.84 ± 0.14	42.50 ± 0.57	42.38 ± 0.18	42.66 ± 0.95
CPO3	42.00 ± 0.15	42.44 ± 0.30	42.52 ± 0.71	41.55 ± 0.16	42.23 ± 0.79	42.22 ± 0.23	42.11 ± 0.43
น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม)							
Control	6.48 ± 0.12	6.30 ± 0.17	6.50 ± 0.13	6.50 ± 0.13	6.48 ± 0.10	6.48 ± 0.10	6.67 ± 0.13
CPO1	6.52 ± 0.13	6.37 ± 0.12	6.66 ± 0.11	6.66 ± 0.11	6.45 ± 0.17	6.45 ± 0.17	6.25 ± 0.13
CPO2	6.62 ± 0.22	6.37 ± 0.18	6.32 ± 0.11	6.32 ± 0.11	6.68 ± 0.15	6.68 ± 0.15	6.56 ± 0.22
CPO3	6.49 ± 0.19	6.23 ± 0.18	6.62 ± 0.23	6.62 ± 0.23	6.89 ± 0.17	6.89 ± 0.17	6.74 ± 0.13

* Mean ± SD, n = 8 , Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%

.^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวนอนภายในกลุ่มทดลองเดียวกันที่ช่วงเวลาต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$),

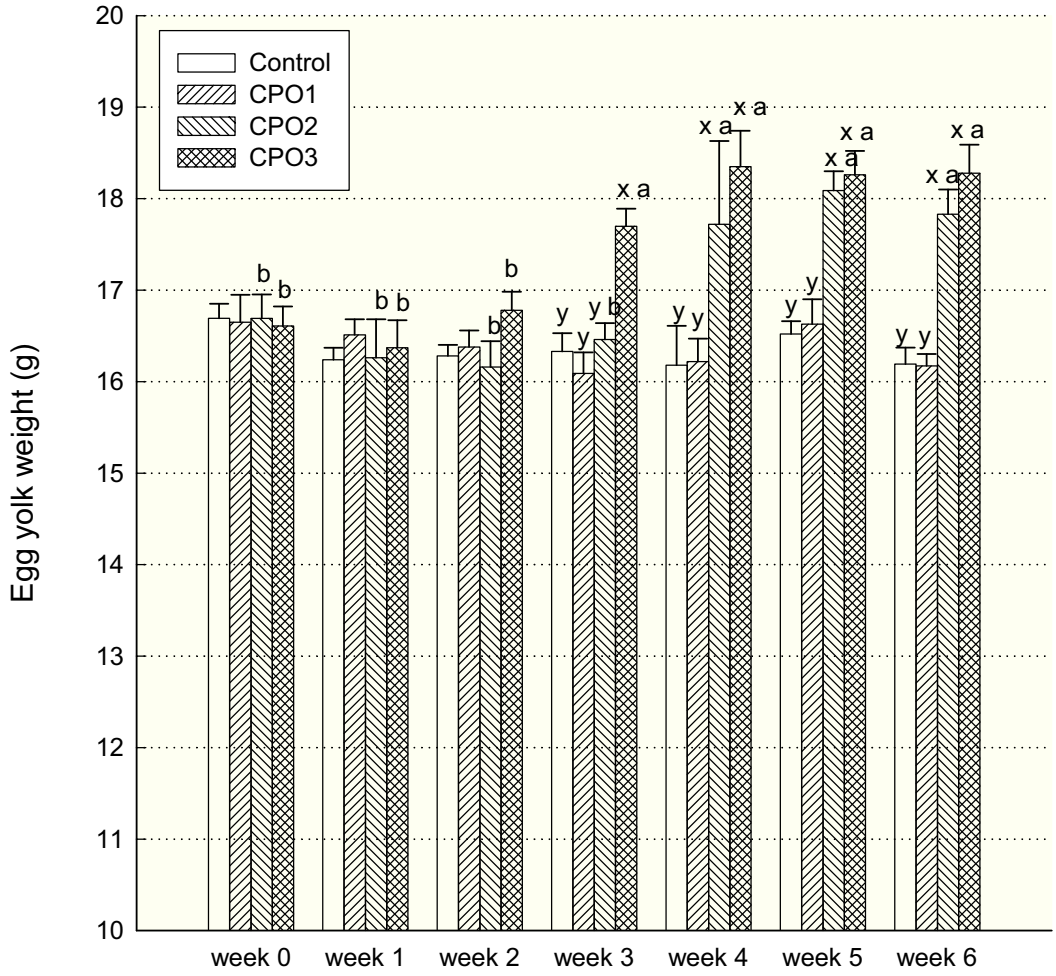
^{xyz} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



[x, y, z] ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่ของไก่กลุ่มต่าง ๆ ในสัปดาห์เดียวกัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่ของไก่กลุ่มเดียวกันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 4 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย



[x, y, z] ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่แดงของไก่กลุ่มต่าง ๆ ในสัปดาห์เดียวกัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่แดงไก่กลุ่มเดียวกันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 5 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำหนักไข่แดงเฉลี่ย

ตารางที่ 10 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อร้อยละของไข่แดง ไข่ขาวและเปลือกไข่

Parameter	สัปดาห์ที่						
กลุ่มทดลอง	0	1	2	3	4	5	6
ไข่แดง (%)							
Control	25.64 ± 0.25	24.92 ± 0.22	25.05 ± 0.15	25.02 ± 0.24^{y}	24.81 ± 0.51^{y}	25.30 ± 0.19^{y}	24.81 ± 0.23^{y}
CPO1	25.61 ± 0.41	25.33 ± 0.27	25.06 ± 0.19	24.73 ± 0.29^{y}	24.86 ± 0.26^{y}	25.47 ± 0.34^{y}	24.83 ± 0.17^{y}
CPO2	25.57 ± 0.32^{b}	24.84 ± 0.47^{c}	24.81 ± 0.33^{c}	25.08 ± 0.22$^{y\,c}$	26.47 ± 0.85$^{x\,abc}$	26.94 ± 0.25$^{x\,a}$	26.59 ± 0.34$^{x\,ab}$
CPO3	25.51 ± 0.23^{b}	25.16 ± 0.38^{b}	25.46 ± 0.26^{b}	26.46 ± 0.27$^{x\,ab}$	27.20 ± 0.15$^{x\,a}$	27.10 ± 0.31$^{x\,a}$	27.22 ± 0.34$^{x\,a}$
เปลือกไข่ (%)							
Control	9.95 ± 0.22	9.66 ± 0.23	10.01 ± 0.19	9.91 ± 0.28	9.94 ± 0.13	9.79 ± 0.22	10.23 ± 0.17
CPO1	10.02 ± 0.18	9.78 ± 0.17	10.19 ± 0.18	9.64 ± 0.18	9.88 ± 0.25	10.11 ± 0.18	9.59 ± 0.18
CPO2	10.13 ± 0.29	9.73 ± 0.27	9.71 ± 0.17	10.04 ± 0.18	10.25 ± 0.21	9.88 ± 0.16	9.79 ± 0.32
CPO3	9.96 ± 0.27	9.57 ± 0.26	10.04 ± 0.33	10.06 ± 0.15	10.21 ± 0.22	10.11 ± 0.17	10.05 ± 0.19
ไข่ขาว (%)							
Control	64.41 ± 0.28	65.43 ± 0.25	64.94 ± 0.27	65.07 ± 0.40^{x}	65.25 ± 0.26^{x}	64.91 ± 0.29^{x}	64.96 ± 0.26^{x}
CPO1	64.37 ± 0.49	64.89 ± 0.29	64.75 ± 0.22	65.63 ± 0.38^{x}	65.27 ± 0.31^{x}	64.42 ± 0.49^{x}	65.58 ± 0.33^{x}
CPO2	64.30 ± 0.49^{a}	65.43 ± 0.48^{a}	65.48 ± 0.39^{a}	64.88 ± 0.26$^{x\,a}$	63.28 ± 0.40$^{y\,b}$	63.18 ± 0.29$^{y\,b}$	63.63 ± 0.59$^{y\,b}$
CPO3	64.54 ± 0.40^{a}	65.27 ± 0.60^{a}	64.50 ± 0.46^{a}	63.48 ± 0.24$^{y\,b}$	62.59 ± 0.48$^{y\,c}$	62.79 ± 0.44$^{y\,c}$	62.74 ± 0.37$^{y\,c}$

* Mean ± SD, n = 8 , Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%

.^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวนอนภายในกลุ่มทดลองเดียวกันที่ช่วงเวลาต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05),

.^{xyz} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05),

ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 ไม่มีความแตกต่างกันของระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (มก/น้ำหนักไข่แดง และ มก/กรัมไข่แดง) ของไข่จากทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มาจากไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบทุกกลุ่มในสัปดาห์แรกของการทดลอง ในกลุ่มควบคุมระดับโคเลสเทอรอลในไข่เริ่มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึง 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าไข่จากกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มดิบ 4% มีโคเลสเทอรอลต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ของการทดลอง ไข่จากกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบทุกกลุ่มมีระดับโคเลสเทอรอลต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (รูปที่ 6)

ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันปาล์มดิบ 4% นาน 28 วัน จะสร้างไข่ที่มีระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงลดลงถึง 36% และมีระดับลดลงเหลือเฉลี่ย 202.68 มก ในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งระดับโคเลสเทอรอลดังกล่าวจะมีค่าต่ำกว่ารายงานการใช้ยาชนิดต่างๆ ในการลดระดับโคเลสเทอรอลที่ทำในต่างประเทศเช่น lovastatin หรือ provastatin เสียอีก (Arad et al., 1990, Elkin and Rogler, 1989) ฤทธิ์ในการลดโคเลสเทอรอลของน้ำมันปาล์มดิบเกิดจากการยับยั้งเอนไซม์ HMG-CoA reductase ที่ตับอันเป็นผลจาก isoprenoid side-chain ที่พบในไวตามินอี ชนิดโทโคไตรอีนอลเท่านั้น HMG-CoA reductase เป็นเอนไซม์สำคัญในการเปลี่ยน HMG-CoA เป็น mevalonate และ cholesterol พบว่า δ-tocotrienol มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ HMG-CoA reductase มากกว่า α-tocotrienol การกินไข่แดงที่มีระดับ δ-tocotrienol การกินไข่แดงที่มีระดับโทโคไตรอีนอลสูงยังช่วยลดโคเลสเทอรอลในเลือดได้โดยการยับยั้งเอนไซม์ HMG-CoA reductase (Qureshi et al., 1989) ซึ่งเป็นประโยชน์ในมนุษย์ที่มีระดับโคเลสเทอรอลอยู่ในเกณฑ์สูง ซึ่งฤทธิ์ในการลดโคเลสเทอรอลในเลือดจะพบน้อยกว่าในไวตามินอีชนิดโทโคฟีรอล

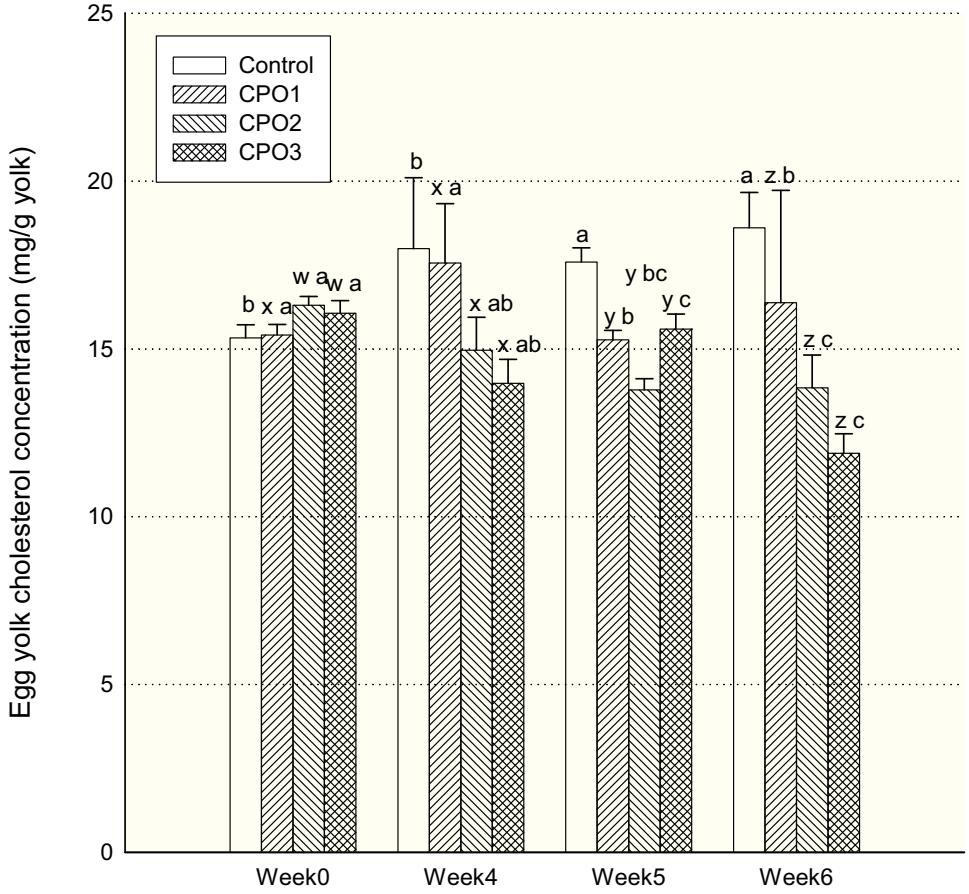
ตารางที่ 11 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (การทดลองที่ 2)

Parameter	สัปดาห์ที่			
กลุ่มทดลอง	0	4	5	6
ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (มก/น้ำหนักไข่แดง)				
Control	265.11 ± 5.71 ^{b}	324.76 ± 14.57 $^{x\,a}$	347.60 ± 14.22 $^{w\,a}$	312.27 ± 10.42 $^{x\,a}$
CPO1	251.19 ± 4.94	276.65 ± 10.56 ^{y}	302.19 ± 11.50 ^{x}	271.30 ± 16.39 ^{y}
CPO2	244.33 ± 8.64 ^{a}	274.09 ± 5.84 ^{ya}	261.33 ± 11.99 ^{ya}	220.78 ± 7.62 ^{zb}
CPO3	251.22 ± 13.36 ^{a}	256.12 ± 7.65 ^{ya}	219.65 ± 11.34 ^{zb}	202.68 ± 5.31 ^{zb}
ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (มก/ก ไข่แดง)				
Control	15.33 ± 0.39 ^{b}	17.99 ± 2.11 $^{x\,a}$	17.59 ± 0.42 $^{w\,a}$	18.61 ± 1.05 $^{w\,a}$
CPO1	15.41 ± 0.32 ^{b}	17.56 ± 1.77 $^{x\,a}$	15.27 ± 0.28 $^{x\,ab}$	16.37 ± 2.35 $^{x\,ab}$
CPO2	16.30 ± 0.26 ^{a}	14.96 ± 0.98 $^{y\,b}$	13.78 ± 0.33 $^{y\,bc}$	13.84 ± 0.98 $^{y\,c}$
CPO3	16.06 ± 0.38 ^{a}	13.97 ± 0.72 $^{z\,b}$	11.59 ± 0.45 $^{z\,c}$	11.89 ± 0.58 $^{z\,c}$

* Mean ± SD, n = 8, Control = Lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3%, CPO3 = crude palm oil 4%

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวนอนภายในกลุ่มทดลองเดียวกันที่ช่วงเวลาต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$),

^{xyz} ค่าเฉลี่ยที่มีสัญลักษณ์ดังกล่าวกำกับต่างกันในแนวตั้งในกลุ่มทดลองต่างกันที่ช่วงเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยของโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่กลุ่มต่าง ๆ ในสัปดาห์เดียวกัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยของโคเลสเทอรอลในไข่แดงของไก่กลุ่มเดียวกันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 6 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อความเข้มข้นของโคเลสเทอรอลในไข่แดง

ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับ tocopherol และ tocotrienol ในตับ

จากตารางที่ 12 ไก่ที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมมีระดับ α-tocopherol และ γ-tocopherol ในเนื้อตับสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตรงกันข้ามกับระดับ δ-tocopherol ที่พบสูงที่สุด ($P<0.05$) ในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4 % เมื่อพิจารณาจากระดับโทโคฟีรอลรวม(α-, γ- และ δ- tocopherol) พบว่ามีค่าสุงสุดในกลุ่มควบคุมโดยมีระดับในแต่ละกลุ่มดังนี้ 144.88, 69.04, 42.23 และ 67.23 μg/g ตามลำดับในกลุ่ม control, CPO1, CPO2 and CPO3 โดย γ-tocopherol เป็นตัวหลักที่พบในตับของไก่ (รูปที่ 7)

ในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4 % จะมีระดับ α-Tocotrienol ในตับต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนระดับของ γ-Tocotrienol (34.42 μg/g) มีค่าสูงที่สุดในไก่กลุ่มควบคุมซึ่งตรงกันข้ามกับ δ-tocotrienol (6.40 μg/g) ที่พบว่ามีค่าสูงสุดในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ (รูปที่ 8) ระดับโทโคไตรอีนอลรวมในกลุ่ม control และ CPO1 (61.86 and 61.81 μg/g, ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น พบว่า α- และ γ-tocotrienol เป็นไวตามินอีชนิดโทโคไตรอีนอลที่พบเป็นหลักในตับ

ตับเป็นอวัยวะที่ทำการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของไวตามินอีซึ่งดูดซึมมาพร้อมกับโมเลกุลไขมันในทางเดินอาหาร ในไก่ การดูดซึมไขมันจะผ่านมาทางหลอดเลือดดำ hepatic portal vein และเข้าสู่ตับ ซึ่งต่างจากในสัตว์ดูดนม ซึ่งไขมันและไวตามินที่ละลายในไขมันทุกชนิดจะผ่านทางท่อน้ำเหลืองขนาดเล็กในวิลไล (lacteal duct) และ เข้าสู่ระบบเลือดที่ตับในภายหลัง ส่วนใหญ่ของไวตามินอีชนิด tocopherol จะพบมากในตับของไก่กลุ่มควบคุมมากกว่ากลุ่มที่เสริมด้วยน้ำมันปาล์มดิบ มีเฉพาะ δ-tocotrienol เท่านั้นที่มีปริมาณสูงในตับในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 12 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับ tocopherol และ tocotrienol (μg / g) ในตับ

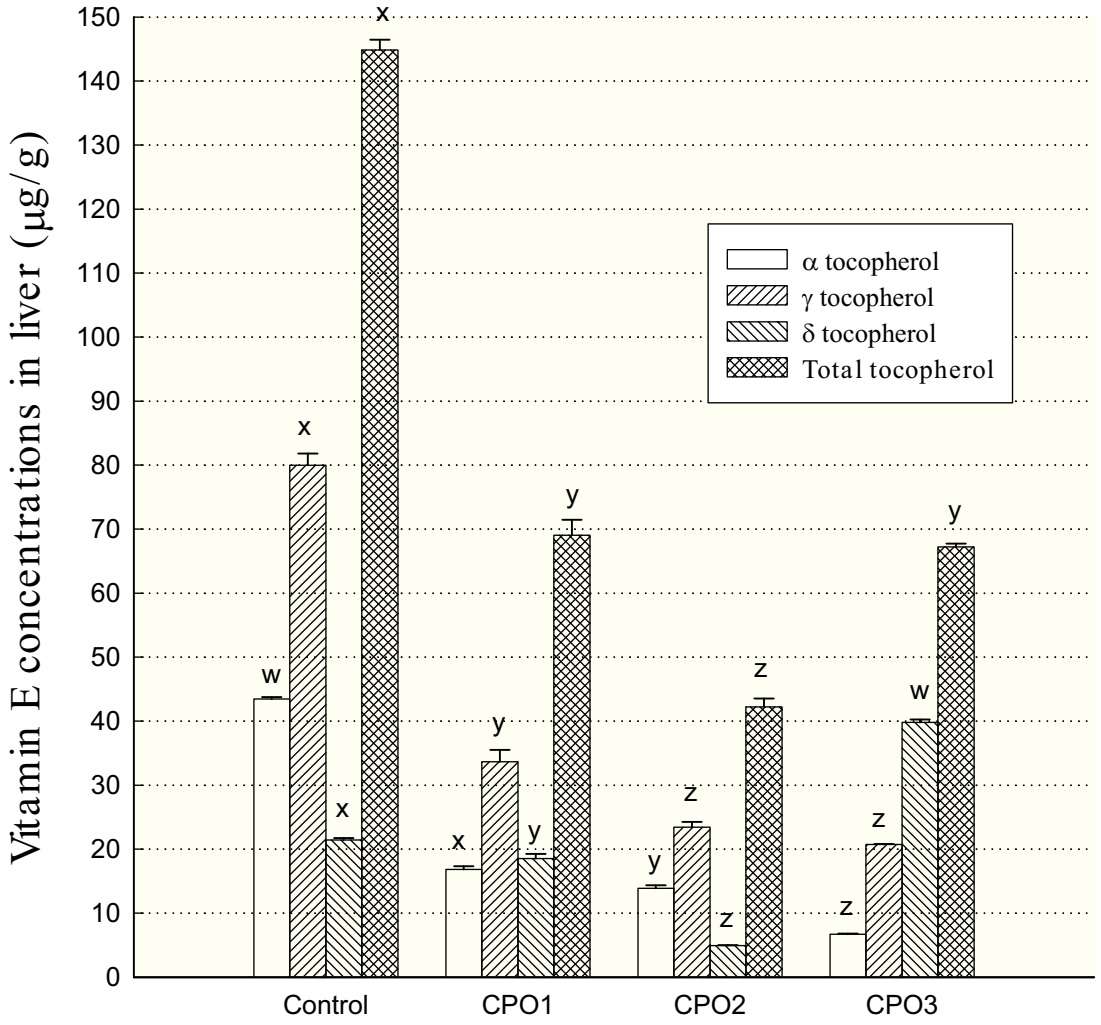
กลุ่มทดลอง	α-T *	γ-T	δ-T	Total-T	α-T3 #	γ-T3	δ-T3	Total-T3
Control	43.47 ± 0.28^{w}	79.96 ± 1.85^{x}	21.44 ± 0.29^{x}	144.88 ± 1.57^{x}	23.16 ± 0.22^{x}	34.42 ± 4.49^{w}	4.27 ± 0.41^{y}	61.86 ± 4.38^{x}
CPO1	16.83 ± 0.51^{x}	33.66 ± 1.84^{y}	18.54 ± 0.71^{y}	69.04 ± 2.39^{y}	31.60 ± 5.42^{w}	25.64 ± 1.68^{x}	4.55 ± 0.21^{y}	61.81 ± 6.84^{x}
CPO2	13.88 ± 0.47^{y}	23.41 ± 0.86^{z}	4.93 ± 0.06^{z}	42.23 ± 1.30^{z}	8.29 ± 0.51^{y}	5.20 ± 0.34^{z}	3.82 ± 0.16^{z}	17.32 ± 0.86^{z}
CPO3	6.72 ± 0.09^{z}	20.71 ± 0.10^{z}	39.79 ± 0.46^{w}	67.23 ± 0.50^{y}	6.93 ± 0.11^{z}	9.57 ± 0.14^{y}	6.40 ± 0.10^{x}	22.91 ± 0.32^{y}

Mean ± SD, n=4, Control = lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3% and CPO3 = crude palm oil 4% in diet.

$^{W, X, Y, Z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

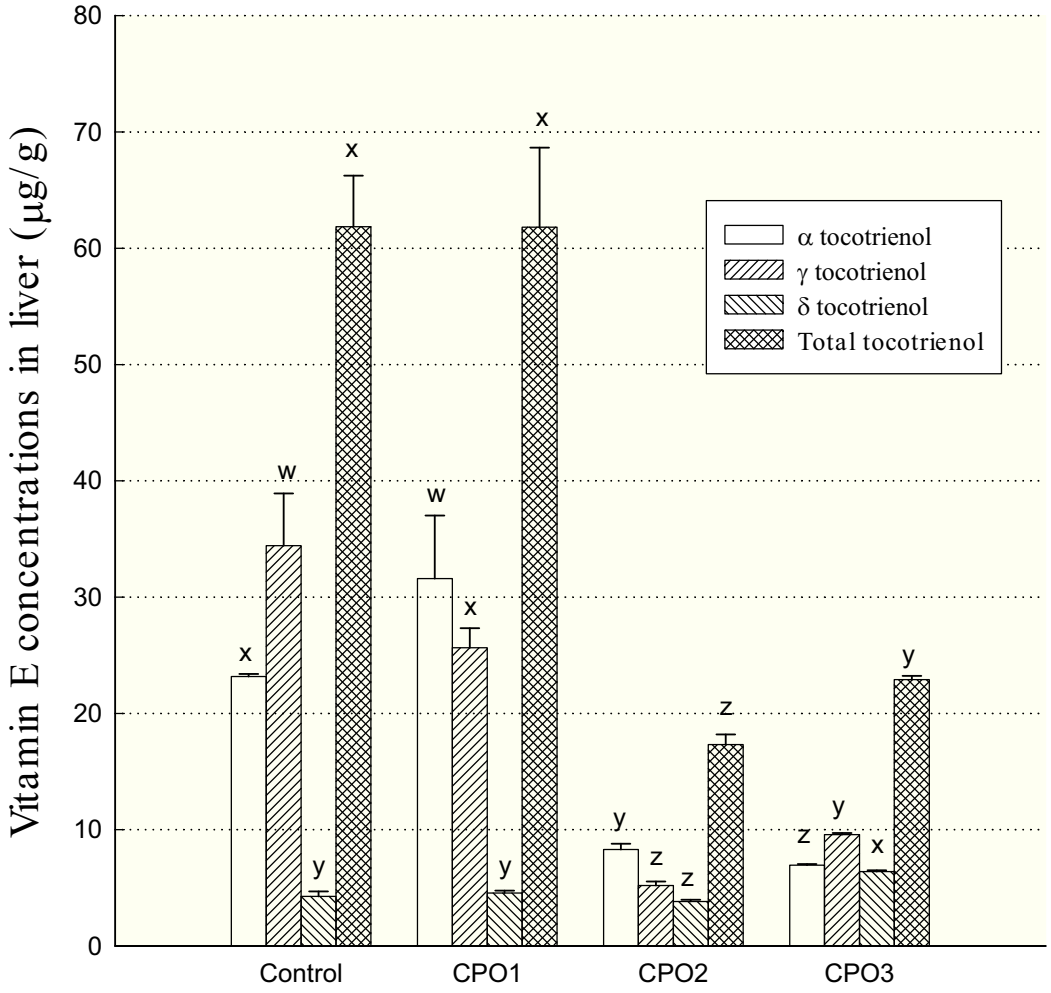
* Tocopherol

\# Tocotrienol



$^{w, x, y, z}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลองที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$).

รูปที่ 7 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลในตับ



w, x, y, z ค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลองที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$).

รูปที่ 8 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคไตรอีนอลในตับ

ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในพลาสม่า

แม่ไก่ที่ได้รับ CPO 2% มีระดับ α-tocopherol ในพลาสม่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วน γ-Tocopherol (30.21 μg/ml) และ δ-tocopherol (10.73 μg/ml) จะสูงที่สุดในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 3% (ตารางที่ 13) เมื่อดูระดับ tocopherol รวมทั้งหมดพบว่า ไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 2% มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ระดับ tocopherol ในกลุ่ม CPO1, CPO2, control และ CPO3 มีค่า 98.48, 75.87, 50.55 และ 33.59 μg/ml ตามลำดับ โดย α-tocopherol เป็นไวตามินอีชนิดโทโคฟีรอลที่พบเป็นหลักในพลาสม่าของไก่ (รูปที่ 9) ระดับ α-Tocotrienol (11.03 μg/ml) ในพลาสม่าของไก่ที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วย CPO 3% มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P<0.05$) ส่วนระดับ γ-Tocotrienol (30.28 μg/ml) และ ระดับโทโคไตรอีนอลรวม (34.19 μg/ml) ในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มสูงสุด (4%) จะมีค่าสูงที่สุด (รูปที่ 10)ในทางตรงกันข้าม ระดับ δ-Tocotrienol (4.77 μg/ml) ของไก่ไข่กลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับ CPO พลาสม่าเป็นตัวกลางในการขนส่งไวตามินอีชนิดต่างๆ ไปตามเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ การเสริมน้ำมันปาล์มดิบทำให้มี α-tocopherol ใน พลาสม่าสูงกว่าชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 13 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับ tocopherol และ tocotrienol (μg / ml) ในพลาสม่า

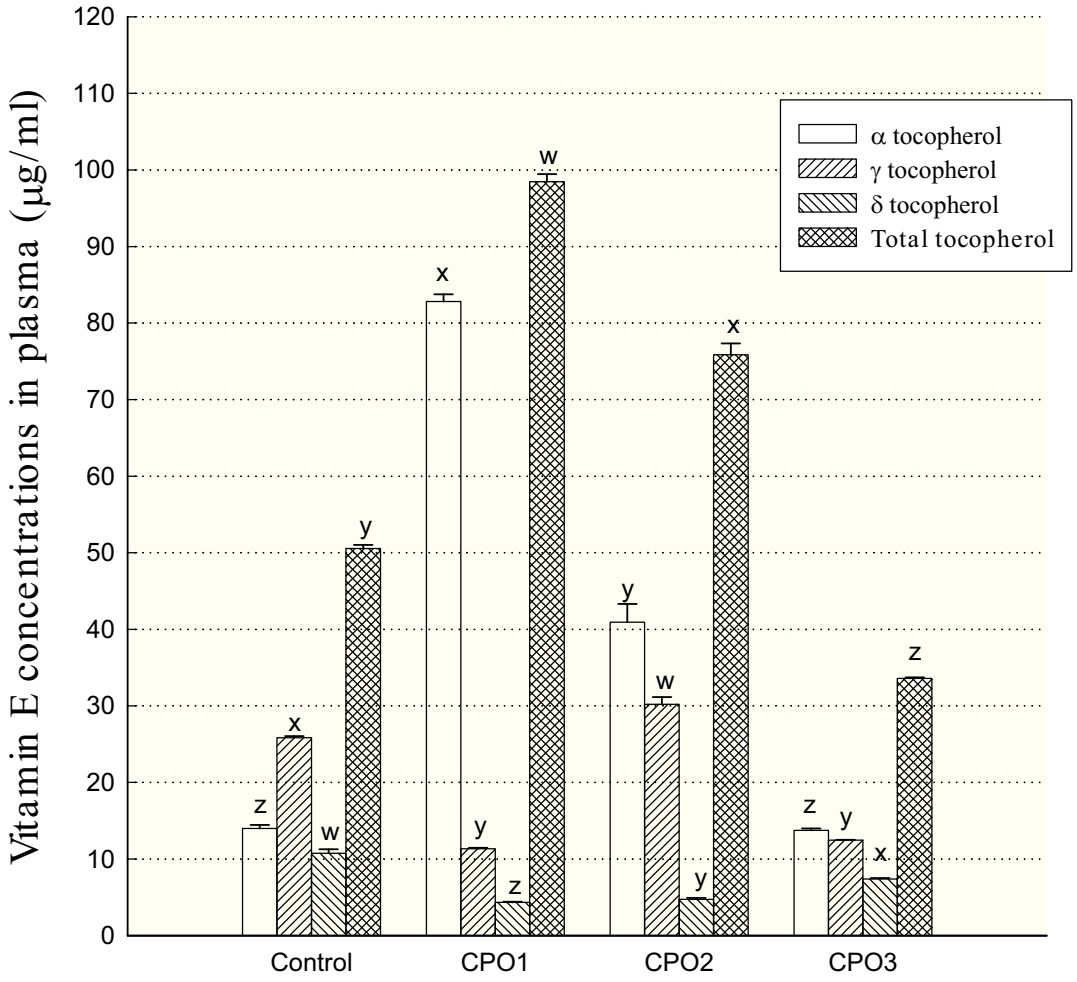
Treatment	α-T *	γ-T	δ-T	Total-T	α-T3 #	γ-T3	δ-T3	Total-T3
Control	13.98 ± 0.46^{z}	25.83 ± 0.22^{x}	10.73 ± 0.54^{w}	50.55 ± 0.46^{y}	3.66 ± 0.09^{y}	14.64 ± 0.20^{x}	4.77 ± 0.08^{w}	23.07 ± 0.25^{x}
CPO1	82.81 ± 0.94^{x}	11.33 ± 0.14^{z}	4.33 ± 0.08^{z}	98.48 ± 0.96^{w}	8.02 ± 0.33^{x}	4.40 ± 0.04^{z}	1.67 ± 0.02^{x}	16.83 ± 0.24^{z}
CPO2	40.94 ± 2.36^{y}	30.21 ± 0.93^{w}	4.71 ± 0.21^{y}	75.87 ± 1.48^{x}	11.03 ± 0.30^{w}	8.99 ± 0.06^{y}	0.84 ± 0.13^{z}	20.87 ± 0.21^{y}
CPO3	13.73 ± 0.25^{z}	12.48 ± 0.01^{y}	7.38 ± 0.11^{x}	33.59 ± 0.12^{z}	2.67 ± 0.01^{z}	30.28 ± 0.20^{w}	1.23 ± 0.03^{y}	34.19 ± 0.21^{w}

Mean ± SD, n=4, Control = lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3% and CPO3 = crude palm oil 4% in diet.

$^{W, X, Y, Z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

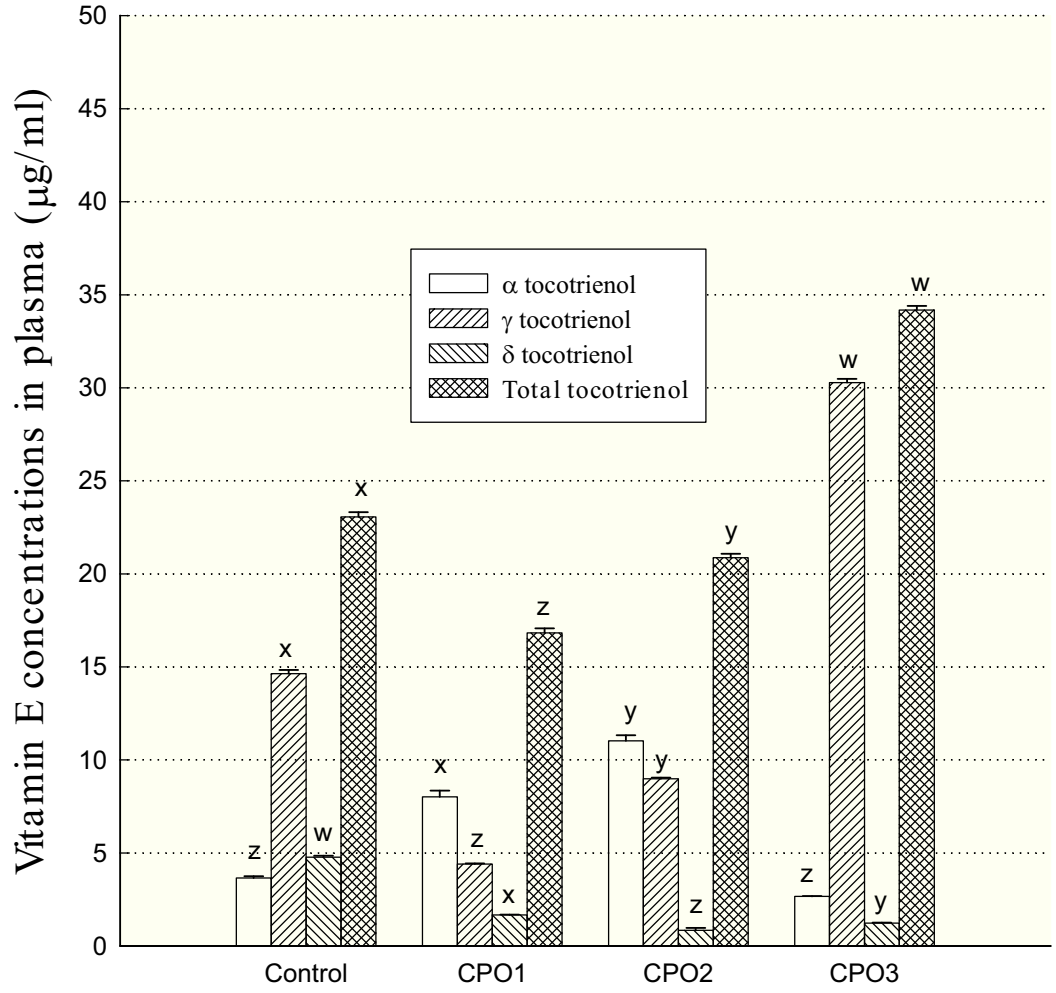
* Tocopherol

\# Tocotrienol



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลองที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$).

รูปที่ 9 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลในพลาสม่า



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลองที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$).

รูปที่ 10 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคไตรอีนอลในพลาสม่า

ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในไข่แดง

ดังแสดงในตารางที่ 14 ไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบในระดับสูงที่สุด (4%) ให้ไข่แดงที่มีระดับ α-tocopherol และ δ-tocopherol ($P<0.05$) ในไข่แดงมากกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ไก่ไข่ที่ได้รับ CPO มีระดับของ γ-tocopherol ต่ำที่สุด($P<0.05$) ระดับโทโคฟีรอลรวม (α-, γ- และ δ- tocopherol) ในไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 3% มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ โดยระดับโทโคฟีรอลรวมมีค่าเท่ากับ 436.11, 484.21, 443.65 และ 428.26 μg/g (รูปที่ 11) ในกลุ่ม control, CPO1, CPO2 และ CPO3 ตามลำดับ พบว่า γ-tocopherol เป็นรูปแบบของไวตามินอีที่พบในไข่แดงมากที่สุด

ในรูปที่ 12 ระดับ α-Tocotrienol ในไข่แดงของกลุ่มทดลองที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$). γ-Tocotrienol (141.51 μg/g yolk) และ δ-tocotrienol (2.01 μg/g yolk) ในแม่ไก่ที่ได้รับ 3% CPO มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ($P<0.05$) ระดับโทโคไตรอีนอลรวมในกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำที่สุด (290.86 μg/g) ส่วนไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 3% และ 4% มีค่าสูงที่สุดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของโทโคฟีรอล ไวตามินอีชนิด α-tocotrienol มีมากที่สุดในไข่แดง

ตารางที่ 14 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับ tocopherol และ tocotrienol (μg / g) ในไข่แดง

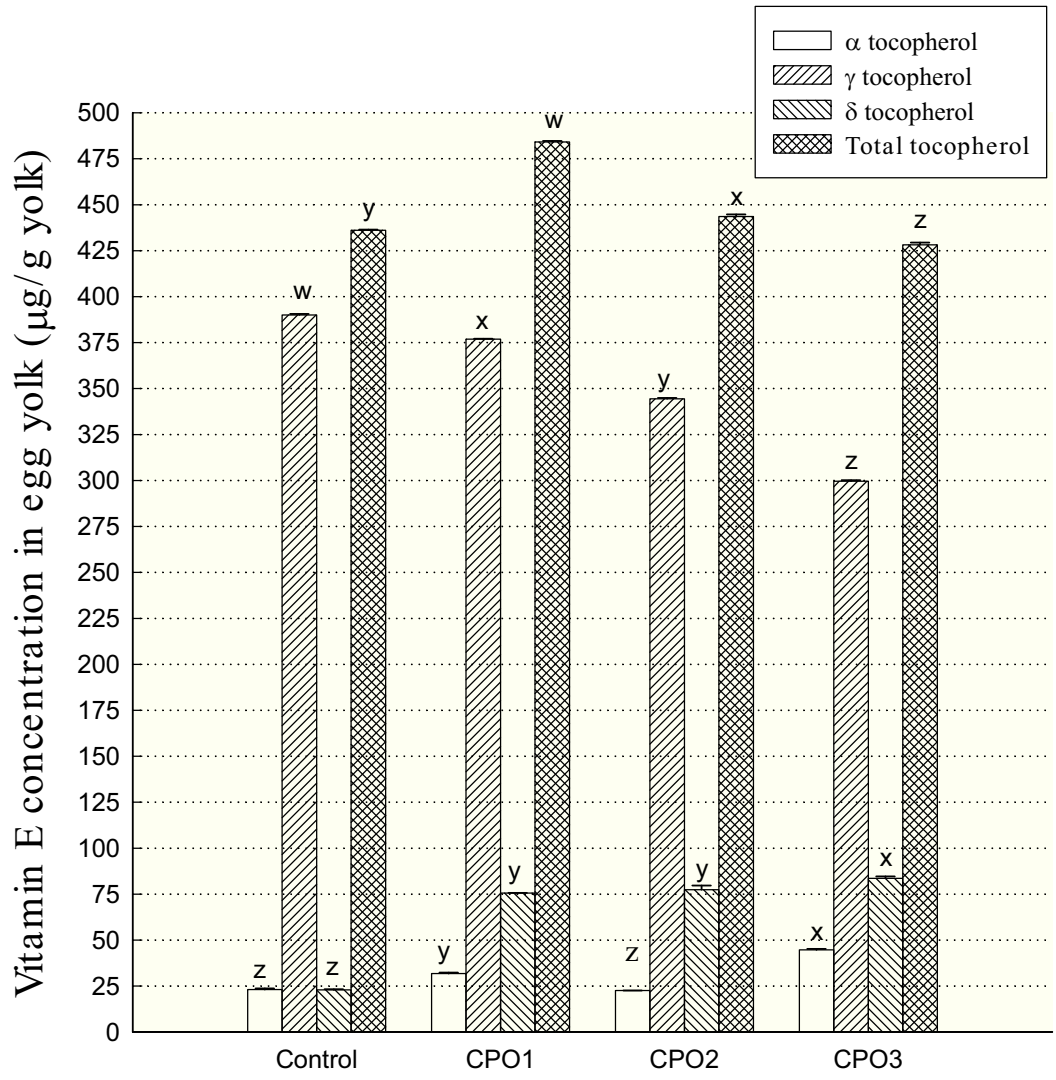
กลุ่มทดลอง	Alpha-T *	Gamma-T	Delta-T	Total-T	Alpha-T3 #	Gamma-T3	Delta-T3	Total-T3
Control	23.02 ± 0.65^{z}	390.09 ± 0.44^{w}	22.89 ± 0.34^{z}	436.11 ± 0.38^{y}	164.45 ± 2.00^{y}	88.27 ± 0.46^{z}	0.83 ± 0.01^{z}	290.86 ± 1.95^{z}
CPO1	31.77 ± 0.52^{y}	376.83 ± 0.25^{x}	75.56 ± 0.12^{y}	484.21 ± 0.44^{w}	210.70 ± 0.80^{x}	112.65 ± 0.13^{y}	1.21 ± 0.08^{y}	324.48 ± 0.68^{y}
CPO2	22.54 ± 0.05^{z}	344.43 ± 0.46^{y}	77.33 ± 2.36^{y}	443.65 ± 1.02^{x}	216.09 ± 1.77^{x}	141.51 ± 0.20^{w}	2.01 ± 0.02^{w}	359.46 ± 1.38^{x}
CPO3	44.64 ± 0.50^{x}	299.56 ± 0.58^{z}	83.54 ± 1.01^{x}	428.26 ± 1.06^{z}	221.36 ± 1.78^{x}	125.34 ± 0.33^{x}	1.68 ± 0.09^{x}	348.00 ± 1.54^{x}

Mean ± SD, n=4, Control = lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3% and CPO3 = crude palm oil 4% in diet.

$^{W, X, Y, Z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

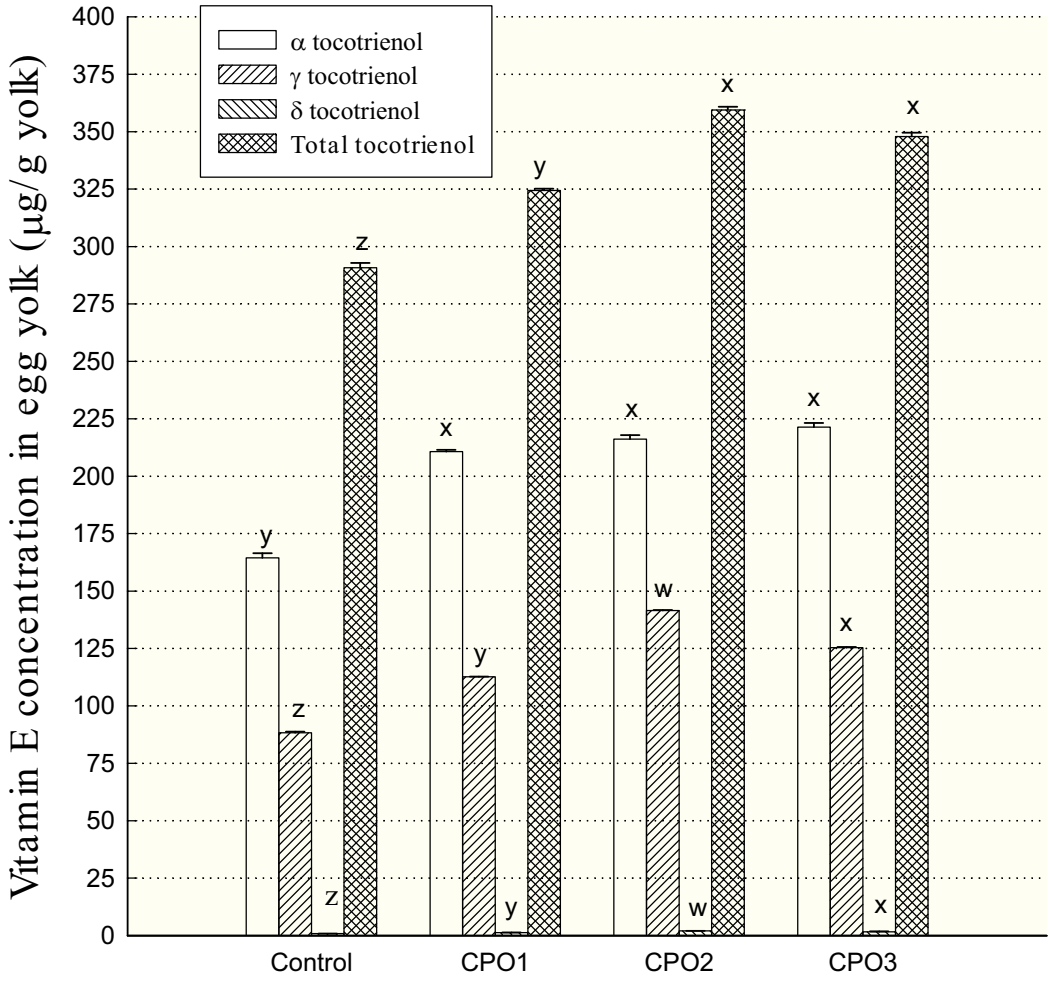
* Tocopherol

Tocotrienol



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 11 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลในไข่แดง



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 12 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคไตรอีนอลในไข่แดง

ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในเนื้อเยื่อไขมัน

ในตารางที่ 15 ระดับ α-Tocopherol และ δ-tocopherol ในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 15) โดยพบ α-Tocopherol ในเนื้อเยื่อไขมันในปริมาณสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 3 % ในขณะที่พบ δ-Tocopherol ในปริมาณสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ ไก่กลุ่มควบคุมมีระดับ γ-Tocopherol (860.58 μg/g) ในเนื้อเยื่อไขมันสูงที่สุดมากกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมด้วยน้ำมันปาล์มดิบ และเป็นไวตามินอีชนิดที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อไขมันด้วย ปริมาณ โทโคฟีรอลรวม (α-, γ- and δ- tocopherol) มีค่าสูงที่สุดในไก่ที่ได้รับน้ำมันหมู (กลุ่มควบคุม) โดยมีค่าตามลำดับดังนี้ control, CPO1, CPO2 และ CPO3 เท่ากับ 931.43, 828.45, 648.34 และ 640.81 μg/g (รูปที่ 13)

ไก่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4 % มีระดับ α-, γ- และ δ- tocotrienol (1,275.10, 1,500.31 และ 303.67 μg/g ตามลำดับ) ในเนื้อเยื่อไขมันมากกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในทางตรงกันข้าม ไก่กลุ่มควบคุมจะมีระดับ α-, γ- และ δ- tocotrienol (63.63, 180.46 และ 33.87 μg/g ตามลำดับ) ต่ำที่สุด ระดับโทโคไตรอีนอลรวมในเนื้อเยื่อไขมันจะสูงที่สุดในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์ม 4% (3,079.80 μg/g) โดยมี γ-tocotrienol (รูปที่ 14)

ตารางที่ 15 ผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับ tocopherol และ tocotrienol (μg / g) ในเนื้อเยื่อไขมัน.

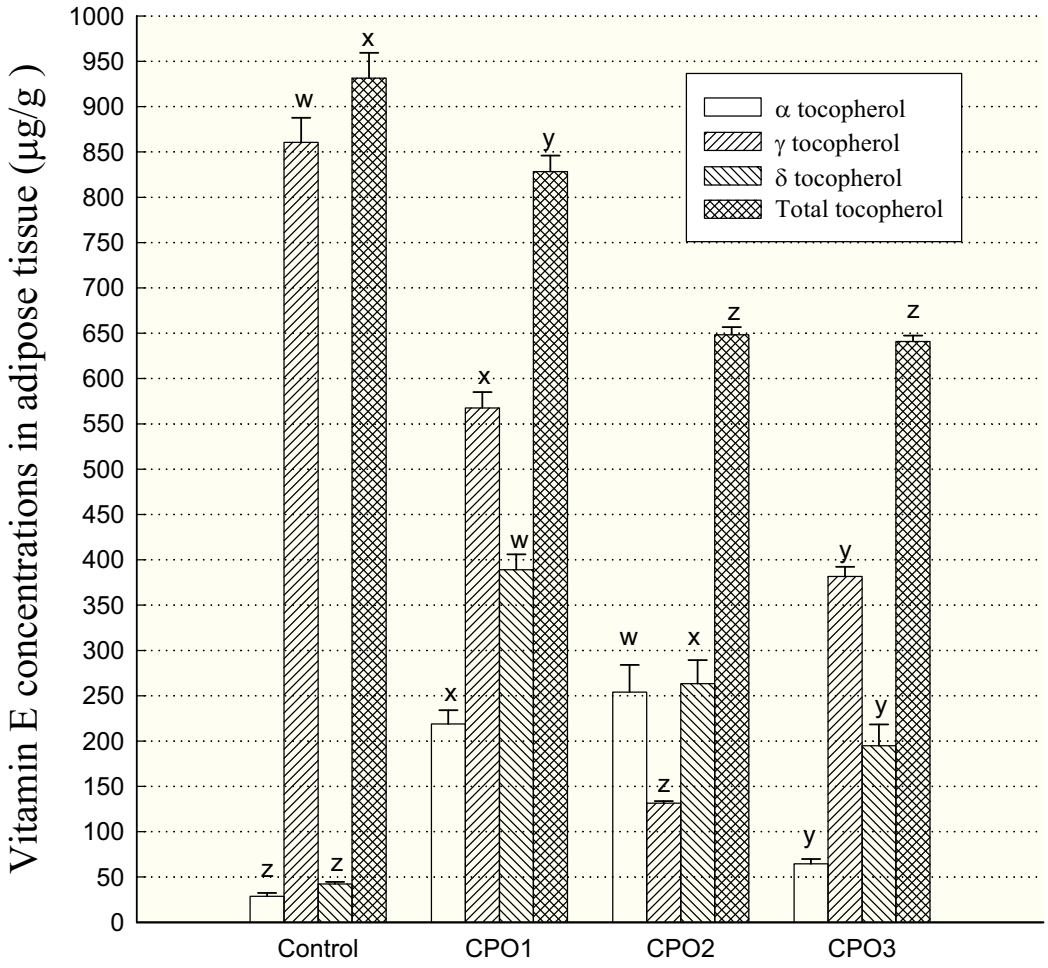
กลุ่มทดลอง	α-T*	γ-T	δ-T	Total-T	α-T3#	γ-T3	δ-T3	Total-T3
Control	28.61 ± 3.74^{z}	860.58 ± 26.93^{w}	42.24 ± 2.29^{z}	931.43 ± 27.91^{x}	63.63 ± 1.67^{z}	180.46 ± 2.58^{z}	33.87 ± 1.87^{z}	277.97 ± 4.32^{z}
CPO1	218.70 ± 15.24^{x}	567.51 ± 17.33^{x}	388.83 ± 17.11^{w}	828.45 ± 17.37^{y}	774.01 ± 12.14^{x}	647.60 ± 5.16^{x}	254.76 ± 2.17^{x}	1676.38 ± 8.37^{x}
CPO2	253.83 ± 29.98^{w}	131.21 ± 2.45^{z}	263.29 ± 26.01^{x}	648.34 ± 8.30^{z}	629.71 ± 40.56^{y}	507.86 ± 5.71^{y}	117.142 ± 4.23^{y}	1254.72 ± 27.59^{y}
CPO3	64.50 ± 5.16^{y}	381.58 ± 10.60^{y}	194.73 ± 23.53^{y}	640.81 ± 6.47^{z}	1,275.10 ± 6.34^{w}	1,500.31 ± 16.69^{w}	303.67 ± 6.11^{w}	3,079.08 ± 15.88^{w}

Mean ± SD, n=4, Control = lard 2%, CPO1 = crude palm oil 2%, CPO2 = crude palm oil 3% and CPO3 = crude palm oil 4% in diet.

$^{w, x, y, z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับต่างกันในแนวตั้งภายในช่วงเวลาเดียวกันกลุ่มทดลองต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

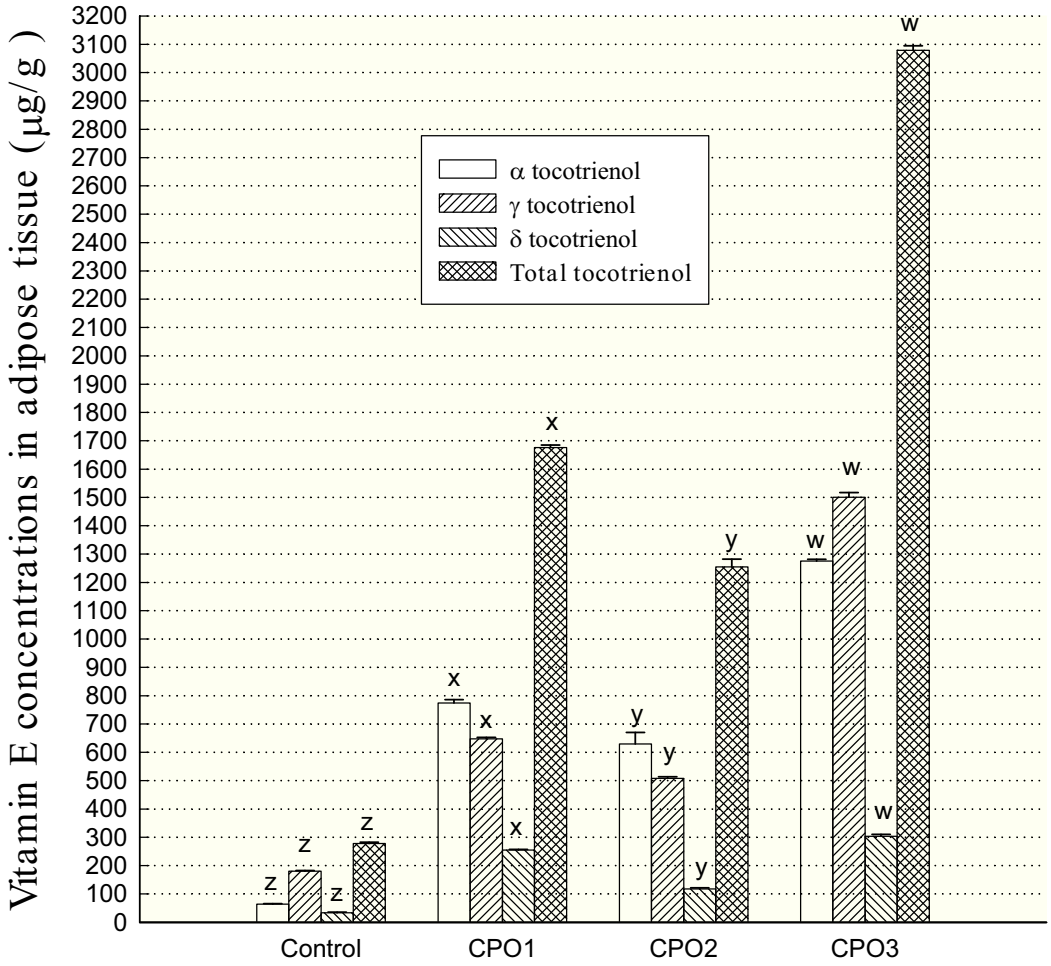
* Tocopherol

Tocotrienol



[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05).

รูปที่ 13 ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลในเนื้อเยื่อไขมัน

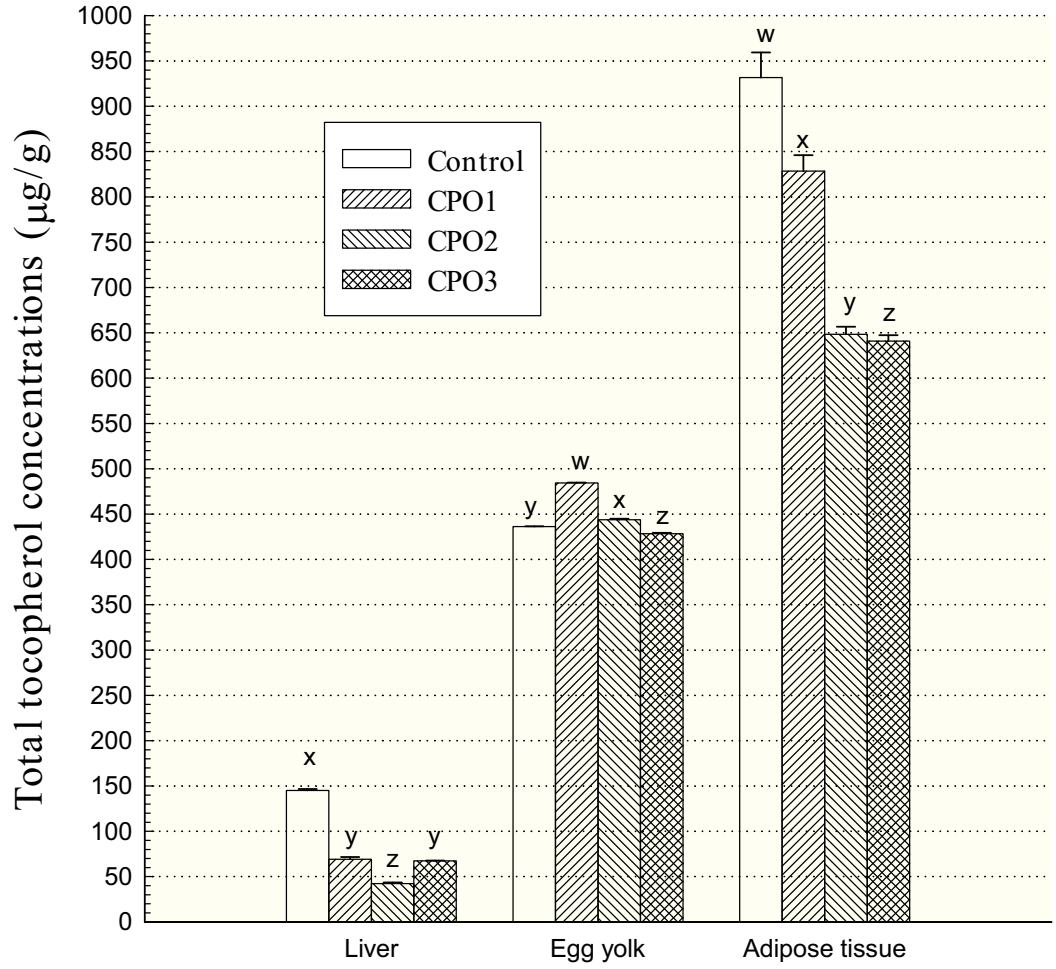


[w, x, y, z] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 14 ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคไตรอีนอลในเนื้อเยื่อไขมัน

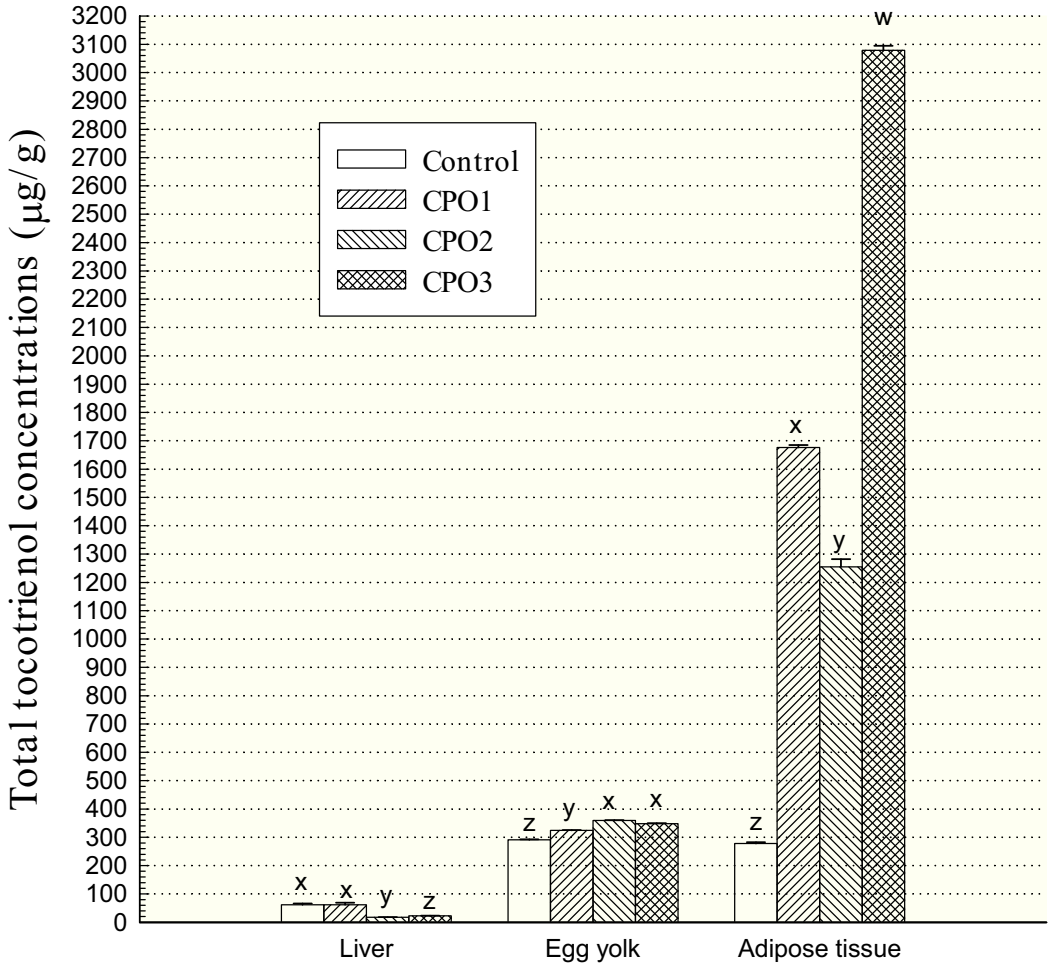
การกระจายของไวตามินอีโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในเนื้อเยื่อต่างๆ

ผลการทดลองในรูปที่ 15 และ 16 แสดงให้เห็นว่าระดับโทโคฟีรอลรวมในเนื้อเยื่อต่างๆ มีระดับที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพบระดับสูงที่สุดในเนื้อเยื่อไขมัน รองลงมาคือในไข่แดง และตับ ตามลำดับ เช่นเดียวกับระดับการเปลี่ยนแปลงของโทโคไตรอีนอล ในเนื้อเยื่อไขมันจะเห็นได้ว่า ไก่ที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมจะมีระดับโทโคฟีรอลรวมสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่ม CPO1, CPO2 และCPO3 ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับระดับโทโคไตรอีนอลรวม ซึ่งพบสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4% ส่วนกลุ่มควบคุมมีโทโคไตรอีนอลน้อยที่สุด การกระจายของไวตามินอีทั้งโทโคไตรอีนอลและโทโคฟีรอลในเนื้อเยื่อต่างๆ จะแตกต่างกันตามปริมาณที่ดูดซึมจากทางเดินอาหารในรูปไคโลไมครอน (chylomicron) ผ่านเข้ามาที่ตับ และระบบไหลเวียนเลือดโดยเลือด (พลาสม่า) จะเป็นส่วนที่นำไวตามินอี ไปตามอวัยวะเช่นไปรังไข่ เพื่อสะสมในไข่แดง ไปเนื้อเยื่อไขมันซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่สะสม (storage tissues) ทั้งไขมันในรูปไตรกลีเซอไรด์ และไวตามินที่ละลายในไขมัน ทำให้เนื้อเยื่อไขมันมีปริมาณไวตามินอีสูงกว่าเนื้อเยื่ออื่นๆ ส่วนของไข่แดงนั้นมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ในขณะที่มีการสร้างไข่แดงในรังไข่ จะมีการเคลื่อนของไขมันและอนุพันธ์ต่าง ๆ ในพลาสม่าเข้าไปทั้ง ไตรกลีเซอไรด์ โคเลสเทอรอล และไวตามิน แต่ระดับไวตามินอีในไข่แดงยังมีปริมาณและความเข้มข้นที่ต่ำกว่าในเนื้อเยื่อไขมัน ระดับโทโคไตรอีนอลในอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้มีปริมาณสูงขึ้น โดยปกติแล้วโทโคฟีรอลมีความสามารถที่จะถูกดูดซึมมากกว่าไวตามินอีชนิดโทโคไตรอีนอล เมื่อเทียบในระดับเท่า ๆ กัน ดังนั้นในไก่ที่ได้รับน้ำมันปาล์มดิบ 4% จะมีไวตามินอีชนิดโทโคไตรอีนอลในสัดส่วนที่สูงกว่าโทโคฟีรอล ทำให้พบระดับโทโคไตรอีนอลสูงขึ้นตามสัดส่วนเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ โดยเฉพาะเมื่อดูที่ไข่แดงและเนื้อเยื่อไขมัน ยกเว้นในตับ ซึ่งพบว่ามีระดับต่ำกว่ากลุ่มควบคุม เนื้อเยื่อไขมันเป็นแหล่งสะสมไวตามินอีชนิดโทโคไตรอีนอลที่สำคัญในไก่



$^{w, x, y, z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 15 ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคฟีรอลในไข่แดงและเนื้อเยื่อต่างๆ (ตับ และเนื้อเยื่อไขมัน)



$^{w, x, y, z}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$).

รูปที่ 16 ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มดิบต่อระดับโทโคไตรอีนอลในไข่แดงและเนื้อเยื่อต่างๆ (ตับ และเนื้อเยื่อไขมัน)

ภาคผนวก

ได้มีการนำเสนอผลงานวิจัยนี้บางส่วนในการประชุมวิชาการปาล์มน้ำมันสกว.ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี 2547 นอกจากนี้คณะผู้วิจัย ในทำการทดสอบเพิ่มเติมถึงระดับโคเลสเทอรอลและไวตามินอีของไข่ในท้องตลาดปัจจุบัน (2548) โดยทำการสุ่มตัวอย่างไข่ที่ซื้อมาจากจังหวัดในกทม และจังหวัดใกล้เคียงอีก 3 จังหวัดคือกาญจนบุรี ราชบุรี และนครปฐม ตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่าระดับโคเลสเทอรอลเฉลี่ยของไข่ในท้องตลาดอยู่ที่ 273.16 ± 9.90, 268.12 ± 9.83, 265.92 ± 4.02 และ 286.86 ± 0.67 mg/yolk ในจังหวัด กทม กาญจนบุรี ราชบุรี และนครปฐม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าที่พบในการทดลองกลุ่มที่ให้ปาล์มน้ำมันดิบขนาด 4 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 202.68 ± 5.21 mg/yolk จากการเลี้ยงไก่ด้วยอาหารที่ผสมน้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการผลิตไข่ที่มีโคเลสเทอรอลต่ำเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ ปัจจุบันการเลี้ยงไก่ไข่ ผู้เลี้ยงได้ใช้วัตถุดิบหลักที่หาได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งน้ำมันปาล์ม ได้ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่มากขึ้น ในบางฟาร์มได้เริ่มใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันปาล์มชนิดอื่น ๆ ทำให้ผู้วิจัย ได้วิเคราะห์หาระดับไวตามินอีชนิดต่างๆ ในไข่แดงดังแสดงในตารางที่ 17 จากไข่ที่เก็บจากแหล่งต่างๆ เพื่อดูว่ามีการใช้น้ำมันปาล์มดิบเลี้ยงไก่ไข่จริงหรือไม่ ถ้าไข่แดงของไข่ที่สุ่มเลือกมามีระดับโทโคไตรอีนอลอยู่ในระดับสูง จากผลการสำรวจและวิเคราะห์พบว่า ไข่แดงในท้องตลาดมีระดับalpha-tocopherol และ alpha-tocotrienol ต่ำกว่าผลการทดลองไม่มากนัก แต่พบว่าระดับ gamma-tocotrienol ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดโคเลสเทอรอลในเลือดมีระดับค่อนข้างต่ำในไข่จากท้องตลาดเมื่อเทียบกับผลการทดลอง โดยพบในระดับ 62.86 ± 8.43 69.12 ± 0.6 24.24 ± 3.47 43.34 ± 14.18 μg/g ไข่แดง ในไข่ที่ได้จาก กาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม และ กทม ส่วนจากผลการทดลองพบ gamma-tocotrienolถึง 125.34 ±0.33 μg/g ไข่แดง เช่นเดียวกับ delta-tocopherol แสดงให้เห็นถึงคุณค่าของไข่ไก่ที่ได้รับจากการเสริมน้ำมันปาล์มดิบโดยเฉพาะที่ระดับ 4% ที่นอกจากจะมีระดับโคเลสเทอรอลที่ต่ำแล้ว ยังมีระดับไวตามินอีทั้งโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลสูงด้วย ซึ่งไข่ในท้องตลาดปัจจุบันยังมีระดับไวตามินอีไม่สูงเท่า และมีโคเลสเทอรอลสูง

ตารางที่ 16 ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงในตลาดจาก 4 จังหวัด (กาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม และกรุงเทพฯ)

จังหวัด	ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (mg/yolk)	ระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดง (mg/g yolk)
กาญจนบุรี 1	278.972	15.278
กาญจนบุรี 2	259.809	15.833
กาญจนบุรี 3	265.583	15.417
Mean	**268.12**	**15.51**
SD	**(9.83)**	**(0.29)**
ราชบุรี 1	261.338	16.111
ราชบุรี 2	267.610	17.500
ราชบุรี 3	268.822	17.222
Mean	**265.92**	**16.94**
SD	**(4.02)**	**(0.74)**
นครปฐม 1	286.094	17.361
นครปฐม 2	287.191	16.944
นครปฐม 3	287.308	17.083
Mean	**286.86**	**17.13**
SD	**(0.67)**	**(0.21)**
กรุงเทพฯ 1	270.721	16.898
กรุงเทพฯ 2	264.706	17.222
กรุงเทพฯ 3	284.050	16.667
Mean	**273.16**	**16.90**
SD	**(9.90)**	**(0.29)**
ไข่แดงที่ได้จากไก่ไข่ที่กินอาหารที่มี CPO 4% นาน 6 สัปดาห์	**202.68** **(5.31)**	**11.89** **(0.58)**

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของไวตามินอีในตัวอย่างไข่แดงจาก 4 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม และกรุงเทพฯ (μg / g yolk)

จังหวัด	ความเข้มข้นของไวตามินอีต่างๆ ในไข่แดง (μg/g yolk)				
	Alpha-T	Alpha-T3	Gamma-T	Gamma-T3	Delta-T
กาญจนบุรี 1	38.768	185.788	177.249	62.287	10.956
กาญจนบุรี 2	40.745	184.080	194.097	71.556	11.575
กาญจนบุรี 3	40.413	183.345	191.006	54.736	12.091
Mean	**39.98**	**184.35**	**187.45**	**62.86**	**11.54**
SD	**(1.06)**	**(1.33)**	**(8.97)**	**(8.43)**	**(0.57)**
ราชบุรี 1	27.701	161.765	157.754	68.451	15.071
ราชบุรี 2	26.652	181.898	160.797	69.291	20.573
ราชบุรี 3	23.099	181.090	160.637	69.608	14.113
Mean	**25.82**	**174.92**	**159.73**	**69.12**	**16.59**
SD	**(2.41)**	**(11.40)**	**(1.71)**	**(0.60)**	**(3.49)**
นครปฐม 1	19.748	273.190	161.398	20.255	1.508
นครปฐม 2	20.061	204.772	172.877	26.612	1.005
นครปฐม 3	23.099	164.880	200.902	25.837	1.032
Mean	**20.97**	**214.28**	**178.39**	**24.24**	**1.18**
SD	**(1.85)**	**(54.78)**	**(20.32)**	**(3.47)**	**(0.28)**
กรุงเทพฯ 1	24.268	234.234	181.150	49.822	2.682
กรุงเทพฯ 2	33.841	193.528	166.834	27.076	1.640
กรุงเทพฯ 3	23.099	164.546	157.509	53.112	1.447
Mean	**27.07**	**197.55**	**168.50**	**43.34**	**1.92**
SD	**(5.89)**	**(34.85)**	**(11.91)**	**(14.18)**	**(0.66)**
ไข่แดงจากไก่ไข่ที่ได้รับ CPO 4%	**44.64** (0.50)	**221.38** (1.78)	**299.56** (0.58)	**125.34** (0.33)	**83.54** (1.01)

กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลการดำเนินงาน
1. ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1. ข้อมูลงานวิจัยและวิธีการวิจัย	1. ผู้วิจัยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไวตามินอีในมนุษย์และสัตว์จำนวนมาก มีงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่กล่าวถึงการตรวจวัดไวตามินอีชนิดโทโคไตรอีนอลในสัตว์โดยเฉพาะในไก่ งานวิจัยเกี่ยวกับโทโคไตรอีนอล ส่วนใหญ่ทำในระดับเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ในมนุษย์โดยเฉพาะผลในการลดโคเลสเทอรอลและการเป็นสารต่อต้านเซลล์มะเร็ง (antiproliferative factor)
2. จัดเตรียมอุปกรณ์และติดต่อสถานที่ที่ทำวิจัย	2. ความพร้อมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง	2. คณะผู้วิจัยได้ติดต่อศูนย์วิจัยสัตว์ปีก วิทยาเขตกำแพงแสน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อขอใช้สถานที่ในการทำวิจัยเบื้องต้นในเดือนธันวาคม 2546 ภายหลังจากการเตรียมข้อมูล และออกแบบการทดลอง โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลของน้ำมันปาล์มดิบต่อไก่ไข่เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และทำการทดลองเสร็จสิ้นในเดือนมกราคม 2547 ผลของงานวิจัยเบื้องต้นบางส่วนได้นำเสนอในการประชุมวิชาการของ สกว. ที่จังหวัดนครศรีธรรมราชไปแล้ว ขณะที่ผู้วิจัยได้ติดต่อเพื่อขอใช้สถานที่ในการทดลองจริงแต่เนื่องจากได้เกิดปัญหาการระบาดของโรคไข้หวัดนก (Avian Influenza) ในหลายจังหวัดรวมถึงจังหวัดนครปฐม ในระหว่างเดือนมกราคม 2547 ถึง พฤษภาคม 2547 ทำให้ฟาร์มของศูนย์วิจัยสัตว์ปีกไม่อนุญาตให้หน่วยงานหรือบุคคลภายนอกเข้าใช้เพื่อทำการทดลอง คณะผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเลื่อนการทดลองจริงมาเริ่มต้นในเดือนกรกฎาคม 2547 ซึ่งไก่ไข่รุ่นใหม่มีอายุตรงตามที่นำเสนอในสัญญารับทุนอุดหนุนการวิจัย นอกจากสถานที่เลี้ยงไก่แล้ว ทางคณะผู้วิจัยได้ติดต่อไปยังศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ฮาลาล คณะสหเวชศาสตร์ เพื่อเตรียม column และสารละลายไวตามินอีมาตรฐาน รวมถึง mobile phase solvent
3. เตรียมโรงเรือนและผสมอาหาร	3. ความพร้อมของโรงเรือนและอาหารที่ใช้	3. เพื่อการทดลองเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้เตรียมโรงเรือนและความพร้อมของไก่ทดลองโดยคัดเลือกแม่ไก่จำนวน 20 ตัวที่อยู่ในกรงติดกัน โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มควบคุม (ไขมันสุกร) และกลุ่มทดลองใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมลงในอาหาร 2% โดยทดแทนไขมันสุกร ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำมันปาล์มดิบและไขมันสุกร และนำค่ามาประกอบการทำสูตรอาหารทดลองสำหรับไก่ไข่โดยให้มีองค์ประกอบทางโภชนะที่เหมาะสม

4. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล	4. ผลการทดลองเบื้องต้นเช่นการผลิตไข่และคุณภาพไข่	4. ได้ผลการทดลองเบื้องต้น ดังแสดงในรายงานฉบับสมบูรณ์

กิจกรรม	**ผลที่คาดว่าจะได้รับ**	**ผลการดำเนินงาน**
1. เตรียมโรงเรือน ไก่ทดลองและผสมอาหาร	1. ความพร้อมของโรงเรือน ไก่ทดลองและอาหารที่ใช้	1. ภายหลังจากสถานการณ์ไข้หวัดนกคลี่คลายลง คณะผู้วิจัยได้ติดต่อไปยังศูนย์วิจัยสัตว์ปีก กำแพงแสน ได้รับแจ้งว่าไก่ทดลองมีอายุประมาณ 48 สัปดาห์ในกลางเดือนกรกฎาคม 2547 จึงได้เริ่มเข้าไปเลือกไก่ไข่เพื่อแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำตามแผนการทดลอง ได้ใช้น้ำมันปาล์มใน lot ใหม่ จึงต้องมีการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะและพลังงานอีกครั้ง ก่อนนำมาประกอบสูตรอาหาร ซึ่งใช้สูตรเดียวกับการทดลองเบื้องต้น ได้เริ่มการทดลองเดือนกรกฎาคม
2. ทำการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลตามที่เสนอในโครงการ	2. ผลการวิเคราะห์ไวตามินอีในไข่แดง เลือด ตับ และเนื้อเยื่อไขมัน	2. คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองในไก่เสร็จสิ้นประมาณเดือนกลางเดือนกันยายน 2547 ได้ทำการวิเคราะห์ไวตามินอี ในไข่แดง พลาสม่า และเนื้อเยื่อต่างๆ และ โคเลสเทอรอลในไข่แดง เสร็จสิ้นประมาณเดือนมีนาคม 2548 เนื่องจากต้องรอ column และ ตัวอย่างมาตรฐานจากต่างประเทศ รวมถึงการใช้เครื่อง HPLC ที่ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ฮาลาล คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาฯ
3. แปรผลข้อมูลและสรุปผล	3. ได้ข้อมูลอื่นๆ ที่ระบุไว้	3. ได้ทำการวิเคราะห์และแปรผลดังแสดง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงระดับโคเลสเทอรอลในไข่แดงและไวตามินอี ทั้งโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลในไข่แดง โดยสุ่มจากไข่ที่ขายในท้องตลาดใน 4 จังหวัด เพื่อการนำผลการทดลองไปใช้ประโยชน์
	4. ได้รายงานฉบับสมบูรณ์	4. ผู้วิจัยในรวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์จนเสร็จเรียบร้อย