

อิทธิพลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและสีไข่แดงของเป็ดไข่

Influence of Synthetic Carotenoids Supplementation in Feed on Production Performance and Egg Yolk Color of Laying Ducks

สุพจน์ โกเมนเอก ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ สมบัติ ประสงค์สุข และ อีรวิทย์ เปี้ยคำภา*
Suphot Komenake, Chaiyaphum Banchasak, Sombat Prasongsook and Theerawit Poeikhampha*

ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: agrtrw@ku.ac.th

(Received: 22 March 2022; Accepted: 31 August 2022)

Abstract: The objective of this study was to study the effect of synthetic carotenoids on the egg yolk color intensity of laying ducks. A total of 1,500 Khaki Campbells laying ducks, aged 23 weeks, were used. The ducks were divided into 6 groups, each with 5 subgroups of 50 ducks each. The laying ducks were 26 weeks old when the experiment began. The experiments were planned to use a completely randomized design method. The 6 experimental groups were classified based on their dietary treatment as follows: 1. Basal feed (without carotenoids supplementation); 2. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 100 ppm apo-ester; 3. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 150 ppm apo-ester; 4. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 1000 ppm 2 % Xanthophyll; 5. Basal feed with 250 ppm canthaxanthin; and 6. Basal feed with 250 ppm canthaxanthin plus 150 ppm apo-ester. Data were collected for 4 weeks. According to the studies, adding synthetic carotenoids to feed at various doses had no influence on duck egg production efficiency or quality ($P > 0.05$), but did have a statistically significant effect on egg yolk color intensity ($P < 0.01$). Canthaxanthin 250 ppm gave the best redness efficiency. The yolk color intensity was the highest compared to all other groups ($P < 0.01$), while dietary apo-ester supplementation of 150 ppm gave higher yellowness values than the extract supplemented diet from marigold (xanthophyll 2 %) 1000 ppm. When duck eggs from each experimental unit were boiled and made to salted egg and salted egg yolk. Color of three difference egg yolk types were compared boiled egg, salted egg and boiled salted egg. It was found that all egg yolk types gave color intensity values statistically in the same direction as fresh egg yolks. Therefore, it was concluded that supplementation of synthetic carotenoids in feed can effectively increase the color intensity of egg yolks according to the level of synthetic additives in the diet.

Keywords: Laying ducks, synthetic carotenoids, egg yolk color

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารต่อความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนในไข่แดงของไก่ไข่โดยใช้เบต้าแคโรทีนจากแคมเบลล์ (Khaki Campbells) อายุ 23 สัปดาห์จำนวน 1,500 ตัว โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีกลุ่มย่อย 5 กลุ่ม กลุ่มละ 50 ตัว เริ่มทำการทดลองเมื่อไก่มีอายุ 26 สัปดาห์ มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยกลุ่มการทดลองทั้ง 6 กลุ่ม จัดแบ่งตามสูตรอาหารดังนี้คือ 1. อาหารพื้นฐาน (ไม่เสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์) 2. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 100 ppm apo-ester 3. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester 4. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll 5. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ 6. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ทำการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากการวิจัยพบว่า การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่แดง ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของไข่แดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยอาหารพื้นฐานที่เสริมด้วย canthaxanthin 250 ppm มีประสิทธิภาพการให้ค่าความแดงดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นของไข่แดงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นทุกกลุ่ม ($P < 0.01$) ในขณะที่การเสริมด้วย apo-ester 150 ppm ในอาหารมีประสิทธิภาพการให้ค่าความเหลืองสูงกว่าอาหารที่เสริมด้วยสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll 2 %) 1000 ppm เมื่อนำไข่แดงจากแต่ละหน่วยการทดลองไปต้ม ทำเป็นไข่เค็ม และไข่แดงเค็มแล้ว วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของไข่แดง พบว่า ทั้งไข่ต้ม ไข่แดงเค็มต้ม และไข่แดงเค็มยังคงมีค่าความเข้มข้นของไข่แดงทางสถิติไปในทิศทางเดียวกันกับสีไข่แดงสด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารสามารถเพิ่มความเข้มข้นของไข่แดงได้อย่างมีประสิทธิภาพตามระดับของสารสังเคราะห์ที่เสริมในอาหาร

คำสำคัญ: เบต้าแคโรทีน, แคโรทีนอยด์สังเคราะห์, สีไข่แดง

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตไข่ในปัจจุบัน ทั้งการผลิตไข่แดงและไข่ขาว การทำให้คุณภาพของผลผลิตมีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภคเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลให้ธุรกิจประสบความสำเร็จ โดยเฉพาะการผลิตไข่แดง ซึ่งนอกจากจะต้องให้ความสำคัญกับขนาดของฟองไข่ คุณภาพของเปลือกไข่แล้ว ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งคือ สีของไข่แดง การบริโภคทั้งในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมนิยมใช้ไข่แดงที่มีสีเข้ม ไม่ว่าจะเป็นในโรงงานผลิตไข่เค็มหรือร้านอาหารไทย เนื่องจากไข่เค็มที่ผลิตจากไข่แดงที่มีสีเข้มจะทำให้ไข่เค็มเป็นที่นิยมของตลาดเช่นกัน ในส่วนของการทำขนมไทยเช่น ทองหยิบ ทองหยอด หรือฝอยทอง การใช้ไข่แดงที่มีสีเข้มจะทำให้ขนมที่ได้มีสีส้มสวยงาม ความเข้มของสีไข่แดงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไข่แดงในปัจจุบัน

การทำให้ไข่แดงมีสีเข้มและสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นและความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในอาหาร ซึ่งประสิทธิภาพการสร้างเม็ดสีขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยได้ การดูดซึม การเผาผลาญ และการสะสมของแคโรทีนอยด์เหล่านั้น (Nys, 2000) สีของไข่แดงเกิดจากการดูดซึมและการสะสมของแคโรทีนอยด์ที่มีในอาหาร เนื่องจาก สัตว์ปีกไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เหล่านั้นได้ (Breithaupt, 2007) ผู้ผลิตไข่จึงสามารถกำหนดสีของไข่แดงได้ โดยการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหาร (Galobart *et al.*, 2004) แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของเม็ดสีที่กระจายอย่างกว้างขวางที่สุดในธรรมชาติ (Maoka, 2020) จัดเป็นสารประกอบประเภทหนึ่งที่ใช้ในการให้สีและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร แคโรทีนอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้มาจากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือสารที่เกิดจากธรรมชาติที่มาจากพืชหรือสาหร่าย (Mezzomo and Ferreira, 2016) ปริมาณแคโรทีนอยด์ธรรมชาติที่สกัดจากพืชและสาหร่ายผลิตได้น้อยและ

มีต้นทุนที่สูงกว่าแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ซึ่งสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็วโดยใช้แรงงานและต้นทุนต่ำกว่า (Novoveská *et al.*, 2019) นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ยังสามารถดูดซึมและสะสมในเนื้อเยื่อเป้าหมายได้สูงกว่าแคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอาหารส่วนมากเลือกใช้แคโรทีนอยด์สังเคราะห์มากกว่า ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าในแง่ของคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพก็ตาม แคโรทีนอยด์ในอาหารที่สัตว์ปีกได้รับเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่มีผลต่อแคโรทีนอยด์ในไข่ ซึ่งการให้วัตถุดิบอาหารสัตว์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการไข่ที่มีสีแดงเข้มได้ จึงเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ลงในอาหารสัตว์เพื่อให้ได้สีที่ต้องการและสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า (Marounek and Pebriansyah, 2018)

อย่างไรก็ตามการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารมีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึง การเลือกใช้ปริมาณของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองและสีแดงในระดับที่แตกต่างกัน ก็อาจส่งผลต่อความเข้มสีของไข่แดงที่แตกต่างกัน หรือหากเลือกใช้แคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดงเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ไข่แดงเป็นสีชมพูได้ (Amaya *et al.*, 2014) จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกชุดค่าผสมที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในส่วนผสมของอาหาร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) และสีแดง (canthaxanthin) รวมถึงสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ในอาหารเป็ดไข่ ในระดับความเข้มข้นต่างกันต่อความเข้มสีไข่แดงของไข่เป็ด โดยมีการทดลองเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) ในระดับ 100 - 150 ppm และแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดง (canthaxanthin) ในระดับ 150 - 250 ppm รวมถึงสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ที่ระดับ 1000 ppm เนื่องจากการทดลองเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารเป็ดไข่ไม่มีข้อมูลการทดลองที่น้อยมาก ประกอบกับความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการไข่เป็ดที่มีไข่แดงสีแดงเข้มกว่าไข่ไก่มาก ดังนั้น ปริมาณ

ความเข้มข้นที่สูงในการทดลองนี้จึงเหมาะสมในการทำการทดลองและให้ผลที่ดีในการทำให้ไข่เป็ดที่ได้มีไข่แดงสีเข้มที่เป็นที่นิยมของตลาด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์และการจัดการ

การศึกษานี้ดำเนินการที่ SPC ฟาร์ม 105 หมู่ 3 ตำบลโพหัก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี โดยการทดลองนี้สัตว์ได้รับการเลี้ยงและดูแลให้สัตว์มีความเป็นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม มีสุขอนามัยที่ดี มีที่อยู่สะอาดสบาย ตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่ (Good Agricultural Practices for Layer Farm) ได้รับอาหารและน้ำอย่างเพียงพอ การทดลองใช้เป็ดไข่สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbells) อายุ 23 สัปดาห์ มีผลผลิตไข่โดยเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1,500 ตัว แบ่งเป็ดออกโดยสุ่มเป็น 30 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มมีเป็ดจำนวน 50 ตัว โดยเลี้ยงเป็ดในคอกย่อยแบบปล่อยพื้นขนาด 3 x 12 เมตร ซึ่งจุเป็ดทดลองได้คอกละ 50 ตัว เป็ดทุกตัวจะได้รับอาหารพื้นฐาน (basal diet) ที่ไม่มีแหล่งแคโรทีนอยด์ในสูตรอาหารเหมือนกันทั้งหมดเพื่อปรับระดับสีของไข่แดงให้มีความสม่ำเสมอ เมื่ออายุครบ 26 สัปดาห์โดยมีผลผลิตไข่โดยเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์ เป็ดทั้ง 30 กลุ่ม ถูกแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม (treatment) แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 5 ซ้ำ (replication) ทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เป็ดทดลองได้รับอาหารและน้ำดื่มอย่างเต็มที่ ส่วนโปรแกรมการให้แสงตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 6.00 น. ของทุกวันตลอดการทดลอง

อาหารและวิธีการทดลอง

ใช้อาหารพื้นฐานที่มีองค์ประกอบทางโภชนาครบถ้วน การคำนวณสูตรอาหารคำนวณโดยใช้ปลายีข้าว ข้าวสาลีและกากถั่วเหลือง เป็นวัตถุดิบหลักในสูตรอาหาร (ไม่ใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร) ดังแสดงใน Table 1

Table 1. Components of feed ingredients used in the experiment

Feed Ingredients	Amount (kg)
Broken rice	36.137
Wheat	20.000
Soybean oil	2.000
Soybean meal (48 % protein)	20.040
Fish meal (60 % protein)	5.000
Rice solvent bran	5.000
DL-methionine	0.168
Limestone	9.553
Monocalcium phosphate P21 %	0.982
Salt	0.350
Choline chloride 60 %	0.100
Premix	0.250
Sodium bicarbonate	0.150
Mold inhibitor	0.050
Toxin binder	0.200
Antioxidant	0.010
NSP enzyme	0.010
Total	100.000
Amount of nutrition	
ME. for Poultry(kcal/kg)	2,780
Crude Protein (%)	18.500
Calcium (%)	4.200
Total Phosphorus (%)	0.700
Avail. P for Poultry (%)	0.413
Lysine (%)	1.004
Methionine (%)	0.472

¹Composition per 1 kg premix: 2.8 MIU vitamin A, 0.56 MIU vitamin D3, 2,000 mg vitamin E, 300 mg vitamin K3, 200 mg vitamin B1, 100 mg vitamin B2, 4.5 mg vitamin B12, 600 mg niacin, 100 mg copper, 10,000 mg Iron, 150 mg iodine, 8,800 mg manganese, 8,800 mg zinc, 130 mg cobalt, up to 1 kg filter

อาหารทดลองมีทั้งหมด 6 กลุ่มคือ 1. อาหารพื้นฐาน 2. อาหารพื้นฐาน เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin (Lucantin® Red, BASF, Germany) ร่วมกับ 100 ppm apo-ester (Lucantin® Yellow, BASF, Germany) 3. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester 4. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll (สารสกัดจากดอกดาวเรือง) 5. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ 6. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารพื้นฐานต้องคำนวณความเข้มข้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เสริมในแต่ละกลุ่มการทดลอง จากนั้นผสมอาหารให้เข้ากันแล้วนำไปอัดเม็ด (pellet feed) ก่อนนำมาให้สัตว์กิน มีการให้อาหาร 2 ช่วงเวลา คือ 6.00 น. และ 18.00 น.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต

หลังจากเริ่มทำการทดลอง ในทุกสัปดาห์ ตลอดช่วงการทดลอง 4 สัปดาห์ เก็บฟองไข่เพื่อดูประสิทธิภาพการผลิต ดังนี้ น้ำหนักตัว (เปิดไข่ดูชั่งน้ำหนักตัวในช่วงเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง) เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ (%) น้ำหนักฟองไข่เฉลี่ย (กรัม) มวลไข่ (กรัม) การกินอาหาร (กรัมต่อตัวต่อวัน) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม และอัตราการตาย

การวิเคราะห์คุณภาพไข่และสีไข่แดง

ในทุกสัปดาห์ตลอดช่วงการทดลอง 4 สัปดาห์ ไข่เปิดจำนวน 10 ฟองจากแต่ละหน่วยทดลองย่อยจำนวน 30 หน่วยทดลอง (รวม 300 ฟอง) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลองย่อยนั้นถูกนำมาบันทึกข้อมูลด้านคุณภาพไข่ ดังนี้ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ ความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ความสูงของไข่ขาว (มิลลิเมตร) น้ำหนักไข่ขาว (กรัม) เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว (%) น้ำหนักไข่แดง (กรัม) เปอร์เซ็นต์

ไข่แดง (%) น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม) เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ (%) อัตราส่วนไข่ขาวต่อไข่แดง Haugh unit และค่าสีของไข่แดง โดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 (แสดงผลเป็นค่า "L*" "a*" "b*") เนื่องจากการทดลองนี้มีการวัดค่าสีของไข่แดงที่ระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าค่าสูงสุดของพดเทียบสีไข่แดงมาตรฐาน ดังนั้น การใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 จึงมีความเหมาะสมในการทดลอง

การวัดความเข้มข้นสีไข่แดงต้ม ไข่แดงเค็มและไข่แดงเค็มต้ม

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มเก็บไข่เปิดจำนวน 10 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อยจำนวน 30 หน่วยทดลอง (รวม 300 ฟอง) นำมาต้มเป็นเวลา 10 นาที โดยจับเวลาหลังจากน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้ววางไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไข่เปิดที่ต้มแล้วไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดง (ไข่แดงต้ม) โดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 และสุ่มเก็บไข่เปิดอีกจำนวน 10 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 300 ฟอง) นำมาทำไข่เค็มโดยดองไว้ 18 วัน เมื่อครบกำหนด ไข่เปิดจำนวน 5 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 150 ฟอง) ถูกนำมาแยกเอาไข่แดงที่มีลักษณะเป็นเม็ดแข็งใสของไข่แดงออกมาจากไข่ขาวเป็นไข่แดงเค็ม (Salted egg yolks) จากนั้นนำส่วนของไข่แดงที่ได้ไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดงโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 และไข่เปิดจำนวน 5 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 150 ฟอง) นำมาล้างและนำไปต้มเป็นเวลา 40 นาที โดยจับเวลาหลังจากน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้ววางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที นำไข่เค็มที่ต้มแล้วไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดงของไข่แดงเค็มต้ม (Boil Salted egg yolks) โดยเครื่อง Konica Minolta CR-300/310

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ทดสอบความแตกต่าง

ระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS® OnDemand for Academics)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เปิด

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ (canthaxanthin, apo-ester) และสารสกัดธรรมชาติจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ในระดับความเข้มข้นต่างกันในอาหารเปิดไข่ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เปิด ยกเว้นความเข้มสีไข่แดง (Table 2 และ 3) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ข้างต้น ในทางอาหารสัตว์ จัดเป็นสารเสริม (Feed additive) ไม่มีคุณสมบัติให้โภชนะทางอาหาร รวมทั้งการใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกก็ใช้ระดับต่ำมาก ดังจะเห็นได้ว่าการศึกษาคครั้งนี้ เปิดไข่ทุกกลุ่มทดลอง

มีปริมาณอาหารที่กินได้ในช่วง 134 - 137 กรัมต่อตัว โดยทุกกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Lokaewmanee *et al.* (2011) ที่ได้ศึกษาในไก่ไข่โดยการเพิ่มสีไข่แดงด้วยพริกปาปริก้าร่วมกับโปรไบโอติก ซึ่งพบว่า การบริโภคอาหาร อัตราการผลิตไข่และคุณภาพของไข่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในสีไข่แดง

สีของไข่แดง

ไข่สด

เนื่องจากการทดลองนี้มีการให้อาหารพื้นฐานที่ไม่มีแคโรทีนอยด์ในสูตรแก่เปิดทดลองทุกกลุ่มเป็นเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง ซึ่งมีผลทำให้ค่าความแดง (a^*) ของไข่แดงในทุกกลุ่มก่อนเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ที่ระดับ -1 ถึง 2 เท่านั้น หลังจากเริ่มทดลองให้อาหารแต่ละสูตรที่มีแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในระดับที่แตกต่างกันพบว่าสีไข่แดงเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง (Figure 1)

Table 2. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on egg production in laying ducks during 26 - 29 weeks of age

Experimental diet	egg production (%)	feed intake (g/duck/day)	egg weight (g)	Egg mass (g/day)	FCR	Feed cost Baht/kg egg
T1 Control	93.20 ± 2.47	133.37 ± 6.78	69.08 ± 1.13	64.38 ± 2.01	2.07 ± 0.05	30.58 ± 0.74
T2 Cantha150+Apo100	95.89 ± 1.29	137.77 ± 4.14	70.53 ± 1.25	67.62 ± 0.98	2.04 ± 0.04	30.09 ± 0.57
T3 Cantha150+Apo150	90.23 ± 5.89	134.69 ± 2.49	70.18 ± 1.31	63.33 ± 4.40	2.14 ± 0.17	31.55 ± 2.51
T4 Cantha150+Xan1000	95.31 ± 2.73	136.91 ± 4.43	70.18 ± 1.00	66.89 ± 2.28	2.05 ± 0.05	30.24 ± 0.69
T5 Cantha250	93.03 ± 3.97	136.23 ± 5.10	69.31 ± 0.55	64.47 ± 2.70	2.12 ± 0.16	31.28 ± 2.37
T6 Cantha250+Apo150	91.26 ± 4.54	134.29 ± 6.36	69.09 ± 0.92	63.06 ± 3.36	2.13 ± 0.06	31.47 ± 0.82
P-Value	0.17	0.73	0.14	0.08	0.49	0.49
SEM	0.73	0.89	0.21	0.57	0.02	0.28

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 = 150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

Table 3. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on egg quality in laying ducks during 26 - 29 weeks of age

Experimental diet	Shell breaking strength (N)	Albumen height (mm)	Albumen height (Haugh units)	Yolk weight ratio (%)	Shell weight ratio (%)	Yolk : Albumen ratio
T1 Control	43.46 ± 3.18	7.90 ± 0.34	85.77 ± 2.15	33.85 ± 1.72	9.85 ± 0.08	60.24 ± 4.87
T2 Cantha150+Apo100	41.86 ± 2.83	8.32 ± 0.21	88.42 ± 1.38	34.69 ± 0.66	9.80 ± 0.35	62.48 ± 2.08
T3 Cantha150+Apo150	43.98 ± 2.32	7.72 ± 0.37	85.05 ± 2.33	34.92 ± 1.37	9.91 ± 0.20	63.36 ± 4.15
T4 Cantha150+Xan1000	44.22 ± 1.58	7.99 ± 0.37	86.38 ± 2.90	34.79 ± 0.91	9.91 ± 0.27	62.87 ± 2.72
T5 Cantha250	42.28 ± 2.86	7.89 ± 0.18	86.56 ± 1.20	35.95 ± 1.92	10.07 ± 0.6	65.27 ± 3.85
T6 Cantha250+Apo150	41.12 ± 1.02	8.11 ± 0.51	87.48 ± 2.96	34.02 ± 1.06	9.77 ± 0.28	60.56 ± 2.82
<i>P-Value</i>	0.28	0.18	0.254	0.21	0.77	0.26
SEM	0.45	0.07	0.43	0.26	0.06	0.67

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 = 150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

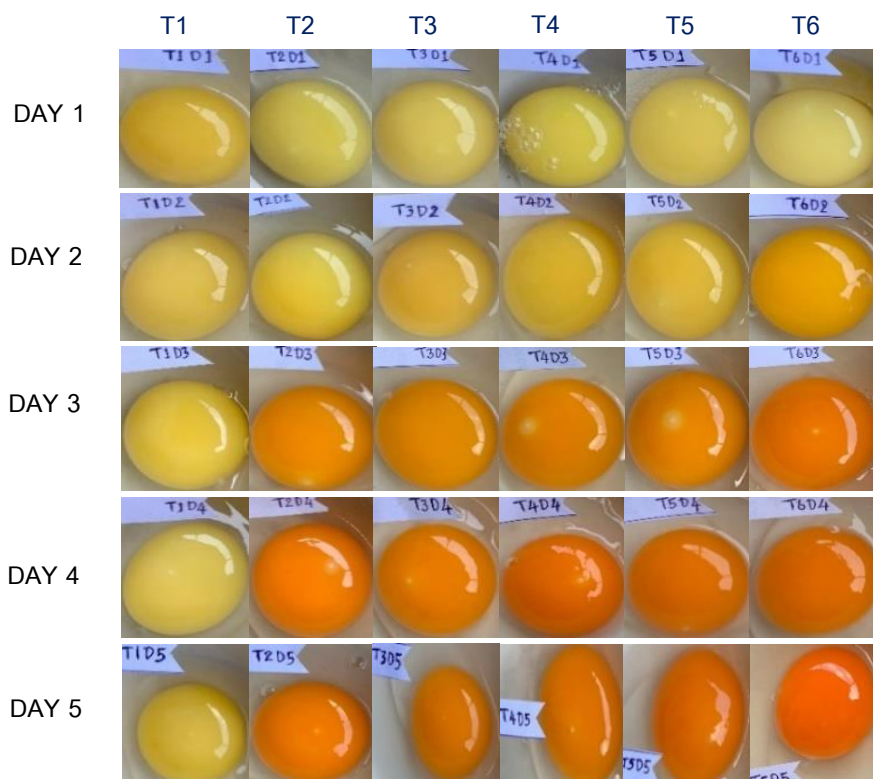


Figure 1. Egg yolk color accumulation when fed different levels of synthetic pigment

สอดคล้องกับ Esfahani-Mashhour *et al.* (2009) ที่รายงานว่าการรับประทานแครอทที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากให้อาหารประมาณ 24 ชั่วโมง และระดับความเข้มของแครอทที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ วัน โดยอาหารทดลองที่เสริมด้วย canthaxanthin ระดับสูง (250 ppm) มีอัตราการให้ค่าความแดง (a^*) เข้มกว่าและเร็วกว่าในทุกกลุ่มการทดลอง (Figure 1) ส่วนในกลุ่มที่ได้รับอาหารพื้นฐาน ไม่พบค่าความแดงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ระดับแครอทที่เพิ่มขึ้นเริ่มมีความเสถียรในวันที่ 7 ของการทดลองซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Moura *et al.* (2016) ที่ได้อาหารผลการศึกษาค้นคว้าในการทดลองเกี่ยวกับผลของเม็ดสีสังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester 10 %) และสีแดง (canthaxanthin 10 %) ต่อประสิทธิภาพและคุณภาพไข่ของนกกระทาญี่ปุ่น

ทำการวัดค่าสีของไข่แดงโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 เมื่อเปิดมีอายุ 26, 27, 28 และ 29 สัปดาห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความแดง (a^*) และ ค่าความเหลือง (b^*) ในสีไข่แดงของเปิดทดลองทุกกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 4

โดยกลุ่มการทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐานมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ขณะที่ในกลุ่มทดลองที่ 6. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester มีค่าความสว่างต่ำที่สุดในการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ กลุ่มการทดลองที่ 6. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ให้ค่าความแดงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐานมีค่าความแดงต่ำที่สุด และจากผลการทดลองวัดค่าความเหลือง (b^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 3. ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester และกลุ่มการทดลองที่ 6. ที่มีการเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่ม

การทดลองที่ 4. ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll (สารสกัดจากดอกดาวเรือง) ผลการทดลองที่ออกมาแสดงให้เห็นว่า การเสริมแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์สีเหลือง (canthaxanthin) หรือแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) ในระดับความเข้มข้นสูง มีประสิทธิภาพในการให้ค่าความแดงและค่าความเหลืองสูงกว่าการเสริมในระดับที่ต่ำ ในส่วนของการเสริมแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) เทียบกับ สารสกัดจากธรรมชาติ (Xanthophyll) พบว่าแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์สีเหลืองมีประสิทธิภาพในการสร้างสีของไข่แดงสูงกว่า โดยให้ค่าความเหลืองสูงกว่า แม้จะเสริมในระดับความเข้มข้นน้อยกว่าก็ตาม ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองของ Rezaei *et al.* (2019) ที่ศึกษาถึงผลของเม็ดสีที่สกัดจากดอกดาวเรืองต่อคุณภาพไข่และความคงตัวในการออกซิเดชันของไขมันไข่แดงในไก่ไข่พบว่า แม่ไก่ที่กินเม็ดสีจากธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์มีความเข้มของสีไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และดัชนีสีไข่แดงในแม่ไก่ที่ใช้สารสกัดของดอกดาวเรืองให้ความเข้มสีของไข่แดงต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มที่ใช้เม็ดสีสังเคราะห์ และ Santos-Bocanegra *et al.* (2004) ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบสารสกัด จากดอกดาวเรือง และพริกแดงกับแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์ รายงานว่า นอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ยังสรุปว่าสารสกัดธรรมชาติ (Xanthophyll) จากดอกดาวเรือง มีประสิทธิภาพในการสร้างเม็ดสีของไข่แดงต่ำกว่าแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์ ส่วนกลุ่มการทดลองที่ 5 ถึงแม้ว่ามีการเสริมด้วยสารสังเคราะห์สีแดง canthaxanthin ในระดับที่สูงแต่ไม่ได้เสริมแครอทที่น้อยที่สุดสังเคราะห์สีเหลือง ก็มีค่าความเหลืองอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นกัน

ไข่ต้ม

ไข่เปิดต้มมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความแดง (a^*) และค่าความเหลือง (b^*) ของไข่แดงที่ได้ในทิศทางเดียวกับสีไข่แดงสด โดยสีไข่แดงต้มของไข่เปิดทดลองทุกกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 5

Table 4. Effect of dietary synthetic color supplementation on egg yolk color in average laying ducks at the age of 26 - 29 weeks

Experimental diet	L* (brightness)	a* (red)	b* (yellowness)
T1 Control	48.96 ± 0.89 ^a	-1.42 ± 0.32 ^d	16.42 ± 0.83 ^e
T2 Cantha150+Apo100	43.06 ± 0.48 ^b	12.71 ± 0.72 ^c	32.17 ± 1.05 ^b
T3 Cantha150+Apo150	42.94 ± 0.78 ^b	13.27 ± 0.48 ^{bc}	35.01 ± 0.68 ^a
T4 Cantha150+Xan1000	42.39 ± 0.74 ^{bc}	13.50 ± 0.46 ^b	31.85 ± 1.47 ^{bc}
T5 Cantha250	41.51 ± 0.79 ^{cd}	15.40 ± 0.61 ^a	26.95 ± 0.95 ^d
T6 Cantha250+Apo150	40.80 ± 0.70 ^d	15.27 ± 0.23 ^a	30.54 ± 1.00 ^c
<i>P-Value</i>	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SEM	0.51	1.09	1.13

^{abcd} Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$ (Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 = 150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

Table 5. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on boiled egg yolk color

Experimental diet	Boiled egg		
	L* (brightness)	a* (red)	b* (yellowness)
T1 Control	85.09 ± 0.60 ^a	0.36 ± 0.61 ^d	14.60 ± 1.10 ^d
T2 Cantha150+Apo100	78.82 ± 0.55 ^{cd}	8.42 ± 0.34 ^c	36.24 ± 0.86 ^b
T3 Cantha150+Apo150	78.99 ± 0.58 ^c	8.59 ± 0.49 ^c	40.86 ± 1.35 ^a
T4 Cantha150+Xan1000	78.17 ± 0.59 ^d	10.18 ± 0.57 ^b	36.61 ± 1.02 ^b
T5 Cantha250	79.99 ± 0.33 ^b	12.06 ± 0.20 ^a	27.97 ± 0.64 ^c
T6 Cantha250+Apo150	78.52 ± 0.34 ^d	11.55 ± 0.47 ^a	36.89 ± 1.37 ^b
<i>P-Value</i>	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SEM	0.45	0.73	1.64

^{abcd} Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$ (Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 = 150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

โดยกลุ่มทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐาน มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5 และกลุ่มการทดลองที่ 6 ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ให้ค่าความแดง (a^*) สูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 5. ซึ่งเสริมด้วยแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ canthaxanthin 250 ppm เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองผสมอยู่ด้วย สีของไข่แดงที่พบมีสีอมชมพูดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Amaya *et al.* (2014) ที่ระบุว่า สีของไข่แดงที่ต้องการ แนะนำให้ใช้แคโรทีนอยด์สีเหลืองและสีแดงผสมกัน แคโรทีนอยด์หลัก ได้แก่ ลูทีน ซีแซนทีน และอะโปเอสเตอร์ เป็นแคโรทีนอยด์สีเหลือง แคนทาแซนทีน และแคปแซนทีน เป็นแคโรทีนอยด์สีแดง ซึ่งสามารถผสมเพื่อผลิตสีไข่แดงที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม หากใช้แคโรทีนอยด์สีแดงเพียงอย่างเดียว ทำให้ได้สีไข่แดงอมชมพู ดังนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องได้รับส่วนผสมที่เหมาะสม ซึ่งควรคำนึงถึงแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในส่วนผสมอาหารของอาหารสัตว์ด้วย

ผลการทดลองวัดค่าความเหลือง (b^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 3 และ กลุ่มการทดลองที่ 6 ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm apo-ester ยังคงให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 4. ที่มีการเสริมด้วย 1000 ppm 2 % Xanthophyll แต่ค่าความแดง (a^*) ของไข่แดงต่ำมีระดับต่ำกว่าค่าความแดง (a^*) ของไข่แดงสดเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเหลือง (b^*) กลับมีค่าที่สูงกว่า ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการสูญเสียของเม็ดสีแดงในขณะที่ได้รับความร้อนจากการต้มไข่ Esfahani-Mashhour *et al.*, (2009) และ Grela *et al.*, (2020) รายงานว่าการเดือดมีผลต่อสีของไข่แดง การเติมสีในไข่แดงของซิส-แคโรทีนอยด์ต่ำกว่าทรานส์-แคโรทีนอยด์ ซึ่งการให้ความร้อนระหว่างการต้มไข่ เปลี่ยนทรานส์แคโรทีนอยด์ของไข่แดงเป็นซิส-แคโรทีนอยด์ด้วยเหตุนี้ระดับความเข้มสีของไข่แดงจึงลดลง

ไข่แดงเค็มต้มและไข่แดงเค็ม

ไข่เค็มหลังจากดองด้วยเกลือครบ 18 วัน ถูกนำมาแยกวิเคราะห์สีเป็น 2 ส่วน คือไข่แดงเค็มต้มและไข่แดงเค็มโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 โดยในไข่แดงเค็มต้มพบว่า ให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความแดง (a^*) และค่าความเหลือง(b^*) ของไข่แดงที่ได้ไปในทิศทางเดียวกับสีไข่แดงสดและไข่แดงต้ม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 6

กลุ่มการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5 กลุ่มการทดลองที่ 6 ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และกลุ่มการทดลองที่ 4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ให้ค่าความแดงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 3, 2 และกลุ่มการทดลองที่ 1 ผลของการวัดค่าความเหลือง (b^*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 ที่มีการเสริมด้วย 100 ppm apo-ester ให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด

แต่ในไข่แดงเค็มมีเพียงค่าความแดง (a^*) เท่านั้นที่มีความเข้มสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเหลือง (b^*) กลับไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยสาเหตุน่าจะเกิดจากลักษณะของไข่แดงเค็มที่มีความโปร่งแสงและไม่มีไข่ขาวห่อหุ้ม อาจทำให้การใช้เครื่องวัดค่าสี Konica Minolta ซึ่งใช้หลักการหักเหของแสง วัดค่าได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ เนื่องจากการไม่มีไข่ขาวห่อหุ้มและความโปร่งแสงของไข่แดงทำให้แสงจากเครื่องวัดสี Minolta กระจายตัวและทะลุผ่านได้มากกว่า

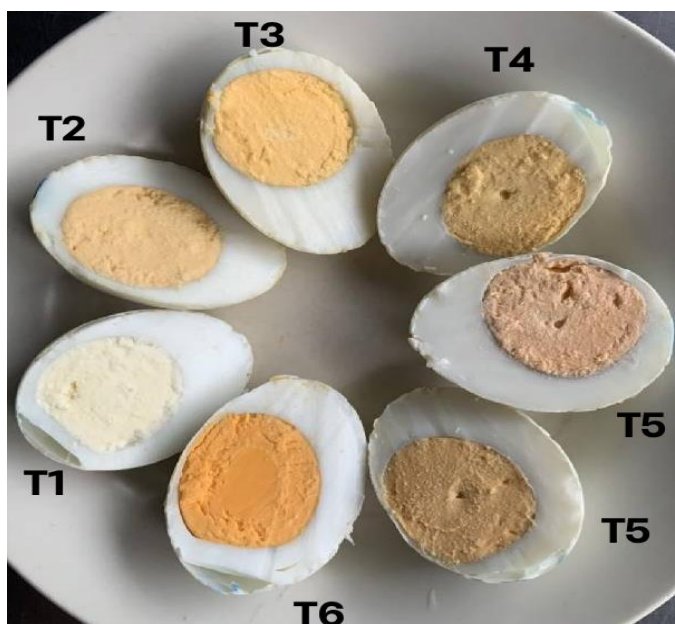


Figure 2. The color of the boiled egg yolk on the supplementation of synthetic colorants in feed at different levels

Table 6. Effect of dietary synthetic color supplement on egg yolk color intensity of Boiled salted egg yolks and salted egg Yolk

Experimental diet	Boiled Salted egg yolks			Salted egg yolks		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	(brightness)	(red)	(yellowness)	(brightness)	(red)	(yellowness)
T1 Control	55.56±6.50 ^a	-1.51 ± 1.23 ^d	11.44 ± 2.13 ^c	32.92 ± 2.78 ^a	3.37 ± 0.79 ^c	4.42 ± 3.02
T2 Cantha150+Apo100	50.09 ± 5.86 ^a	9.08 ± 1.33 ^c	30.16 ± 3.78 ^a	30.21 ± 2.52 ^{ab}	9.09 ± 0.90 ^b	5.49 ± 1.67
T3 Cantha150+Apo150	44.24 ± 4.40 ^b	10.85 ± 0.97 ^b	25.01 ± 9.62 ^{ab}	26.45 ± 8.17 ^c	8.69 ± 1.07 ^b	4.06 ± 2.44
T4 Cantha150+Xan1000	40.09 ± 1.50 ^b	12.15 ± 0.41 ^a	22.75 ± 2.93 ^b	29.23 ± 2.33 ^{ab}	9.40 ± 0.79 ^{ab}	4.36 ± 2.24
T5 Cantha250	40.99 ± 1.37 ^b	13.04 ± 0.45 ^a	23.37 ± 2.87 ^{ab}	29.65 ± 1.07 ^{ab}	9.07 ± 0.96 ^b	2.09 ± 2.01
T6 Cantha250+Apo150	42.20 ± 2.89 ^b	13.36 ± 0.74 ^a	26.54 ± 3.56 ^{ab}	28.25 ± 1.92 ^{ab}	10.32 ± 0.63 ^a	3.29 ± 2.61
<i>P-Value</i>	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.21	< 0.01	0.34
SEM	1.25	0.96	1.34	0.74	0.45	0.44

^{abcd} Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$ (Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 = 150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

สรุป

การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดง (canthaxanthin) หรือสีเหลือง (apo-ester) ในอาหาร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เป็ด แต่มีผลต่อระดับความเข้มสีของไข่แดง โดยเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองและสีแดงขึ้น ความเข้มของสีไข่แดงสูงขึ้น โดยพบว่า เมื่อเพิ่มแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดงขึ้น ค่าความเข้มสีแดง (a^*) มีค่าสูงขึ้นและเมื่อเพิ่มแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง ค่าความเข้มสีเหลือง (b^*) ก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ทั้งสีเหลืองและสีแดงไม่สามารถแสดงค่าสีทดแทนซึ่งกันและกันได้ หมายความว่าไม่สามารถเติมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยค่าความเข้มของสีแดงได้ แต่แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ทั้งสีเหลืองและสีแดงสามารถรวมกันเพื่อแสดงค่าสีที่แตกต่างออกไปได้ นอกจากนี้เมื่อนำไข่เป็ดที่ได้ไปแปรรูป เช่น นำไปต้มเป็นไข่ต้ม นำไปทอดด้วยเกลือเป็นไข่เค็มหรือทำเป็นไข่แดงเค็มก็ตาม ค่าความเข้มสีของไข่แดงก็ยังคงให้ค่าทางสถิติไปในทิศทางเดียวกับไข่แดงสด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท BASF (Thai) Limited เป็นอย่างยิ่งสำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย ตลอดจนอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำชี้แนะและช่วยเหลือตลอดการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Amaya, E., P. Becquet, S. Carné, S. Peris and P. Miralles. 2014. Carotenoids in Animal Nutrition. Fefana ,Brussels. 96 p.

Breithaupt, D.E. 2007. Modern application of xanthophylls in animal feeding - a review.

Trends in Food Science & Technology 18(10): 501-506.

Esfahani-Mashhour, M., H. Moravej, H. Mehrabani-Yeganeh and S.H. Razavi. 2009. Evaluation of coloring potential of *Dietzia natronolimnaea* biomass as source of canthaxanthin for egg yolk pigmentation. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 22(2): 254-259.

Galobart, J., R. Sala, X. Rincón-Carruyo, E.G. Manzanilla, B. Vila and J. Gasa. 2004. Egg yolk color as affected by saponification of different natural pigmenting sources. Journal of Applied Poultry Research 13(2): 328-334.

Grela, E.R., S. Knaga, A. Winiarska-Mieczan and G. Zięba. 2020. Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. Poultry Science 99(4): 2256-2265.

Lokaewmanee, K., K. Yamauchi, T. Komori and K. Saito. 2011. Enhancement of egg yolk color by paprika combined with a probiotic. Journal of Applied Poultry Research 20(1): 90-94.

Marounek, M. and A. Pebriansyah. 2018. Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: a review. Agricultura Tropica et Subtropica 51(3): 107-111.

Maoka, T. 2020. Carotenoids as natural functional pigments. Journal of Natural Medicines 74: 1-16.

Mezzomo, N. and S.R.S. Ferreira. 2016. Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: A

- review. Journal of Chemistry 3164312, doi: 10.1155/2016/3164312.
- Moura, A.M.A., T.V. Melo and D.J.A. Miranda. 2016. Synthetic pigments for Japanese quail fed diets with sorghum. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 68(4): 1007-1014.
- Novoveská, L., M.E. Ross, M.S. Stanley, R. Pradelles, V. Wasiolek and J.-F. Sassi. 2019. Microalgal carotenoids: A review of production, current markets, regulations, and future direction. Marine Drugs 17(11): 640, doi: 10.3390/md17110640.
- Nys, Y. 2000. Dietary carotenoids and egg yolk coloration. Archiv für Geflügelkunde 64(2): 45-54.
- Rezaei, M., S. Zakizadeh and N. Eila. 2019. Effects of pigments extracted from the marigold flower on egg quality and oxidative stability of the egg yolk lipids in laying hens. Iranian Journal of Applied Animal Science 9(3): 541-547.
- Santos-Bocanegra, E., X. Ospina-Osorio and E.O. Oviedo-Rondon. 2004. Evaluation of xanthophylls extracted from *Tagetes erectus* (marigold flower) and *Capsicum* sp.(red pepper paprika) as a pigment for egg-yolks compare with synthetic pigments. International Journal of Poultry Science 3(11): 685-689.
-