

ผลของการใช้เปลือกโกโก้แห้งเป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับไก่ไข่ต่อผลผลิตและคุณภาพของไข่

Effect of Using Dried Cocoa Pod Husk as an Ingredient in Laying Hen Feed on Egg Production and Quality

จันทิมา ชั่งสิริพร* พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า และ นิรนา ชัยฤกษ์

Juntima Chungsiriporn* Prukraya Pongyeela and Nirana Chairerk

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkla

*E-mail: juntima.c@psu.ac.th

Received: Mar 04, 2022

Revised: May 30, 2022

Accepted: May 30, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกโกโก้ด้วยการนำมาเป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับไก่ไข่ การเตรียมเปลือกโกโก้เป็นวัตถุดิบร่วมกับส่วนผสมอื่น ๆ ทำโดยนำเปลือกโกโก้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่มีอัตราการไหลของลมร้อน 3 ลิตร/นาที่ การอบแห้งเปลือกโกโก้ทำที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง และเพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้ ในการศึกษาผลของอาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้ต่อผลผลิตและคุณภาพไข่ไก่ ใช้อาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้ 3 สูตรที่มีปริมาณเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 จากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเปลือกโกโก้ คือ การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 555 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดที่ 5.25 เมกะจูล/กิโลกรัม น้ำ การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้ พบว่า สมการกึ่งทฤษฎีของ Logarithmic เป็นสมการทำนายการลดลงของความชื้นเปลือกโกโก้ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่สูงที่สุดและให้ค่า root mean square error (RMSE) และ sum of square error (SSE) ต่ำที่สุด โดยมี R^2 มากกว่า 0.9996 ค่า RMSE และค่า SSE เท่ากับ 0.00434 และ 0.00345 ตามลำดับ การศึกษาผลของอาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้ต่อผลผลิตและคุณภาพไข่ไก่ พบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารผสมเปลือกโกโก้มีอัตราผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ และค่าฮอปยูนิติดดีกว่าไก่ที่ได้รับอาหารทางการค้า แต่มีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: เปลือกโกโก้ ความชื้น การอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อาหารสำหรับไก่ไข่

Abstract

The objective of this research was to increase the value of cocoa pod husk (CPH) by using it as an ingredient in laying hen feed. To prepare CPH as a raw material with other ingredients, CPH was dried using a hot air dryer with a constant hot air velocity of 3 L/min. The CPH drying was performed at 50, 60, and 70°C to determine the optimal condition of CPH drying and to study a mathematical model of CPH drying. To examine the effect of laying hen feeds mixed with CPH (CPH feeds) on egg production and quality, 3 formulae of CPH feeds containing 2, 4, and 6% of CPH were used. The results showed that the optimal condition for CPH drying was hot air drying at 50°C for 555 min, which was the lowest energy consumption condition with the specific energy consumption of 5.25 MJ/kg water evaporated. The study of mathematical models for CPH drying showed that the Logarithmic model was the suitable equation for predicting the reduction of CPH moisture with the highest decision coefficient (R^2) and the lowest root mean square error (RMSE) and sum of square error (SSE). The R^2 value was greater than 0.9996 and the RMSE and SSE values were 0.00434 and 0.00345, respectively. The study

of the effect of CPH feeds on egg production and quality showed that laying hens fed with the CPH feeds had higher egg production, egg weight, egg mass, feed conversion ratio, Haugh unit values than those fed with the commercial feed. However, their feed intakes were not different.

Keywords: Cocoa pod husk, Moisture, Drying, Mathematical model, Laying hen feed

1. บทนำ

โกโก้ (Cocoa) เป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่อีกชนิดที่รัฐบาลและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เพราะมองว่าเป็นพืชแห่งอนาคตที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ซึ่งที่ผ่านมาประเทศไทยได้นำเข้าผลิตภัณฑ์จากโกโก้และช็อคโกแลตหลายหมื่นตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าหลายหมื่นล้านบาท ขณะที่ประเทศไทยมีสภาพพื้นที่และภูมิอากาศเหมาะสมสำหรับการปลูกโกโก้ไม่แพ้ที่ใดในโลก โดยทางภาครัฐอยู่ระหว่างการศึกษานโยบายการปลูกโกโก้แบบต้นยางพาราจนถึงการปลูกทดแทนการทำสวนยางพารา เพื่อให้เกษตรกรสามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้นและช่วยลดผลกระทบจากราคายางพาราที่ตกต่ำ ในช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 ไทยมีพื้นที่ปลูกต้นโกโก้เพิ่มขึ้นจาก 150 ไร่ ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 1,931 ไร่ ในปี พ.ศ. 2563 [1] ผลโกโก้ประกอบด้วย เมล็ดโกโก้และเปลือกโกโก้ การจะได้เมล็ดโกโก้ 1 ตัน จะมีเปลือกโกโก้เกิดขึ้นถึง 10 ตัน ส่วนของเปลือกโกโก้นี้จะกลายเป็นของเสียทางการเกษตรที่นำไปทิ้งที่โคนต้นโกโก้ให้ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์

เปลือกโกโก้ (Cocoa pod husk, CPH) มีน้ำร้อยละ 84 (น้ำหนักเปียก) มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเยื่อใย ประมาณร้อยละ 50, 8.50, และ 26.90 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ [2] ซึ่งเปลือกโกโก้มีคุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบประเภทแหล่งพลังงานในการผลิตอาหารสัตว์ อันจะสามารถเพิ่มมูลค่าเปลือกโกโก้และช่วงส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญต่อการสร้างรายได้ให้แก่ประเทศ ซึ่งการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจจะต้องใช้อาหารสัตว์ที่ต้องพึ่งพาวัตถุดิบหลักที่เป็นผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กากถั่วเหลือง รำข้าว ปลายข้าว และปลายป่น ซึ่งการผลิตอาหารสัตว์ด้วยราคาต่ำจะช่วยสนับสนุนและสร้างรายได้เปรียบในการแข่งขันได้ พบว่า ร้อยละ 70 ของต้นทุนการเลี้ยงสัตว์เป็นต้นทุนที่มาจากค่าอาหารสัตว์ [3] การหาวัตถุดิบที่เป็นของเหลือทิ้งและมีมูลค่าต่ำมาใช้ทดแทนสำหรับการผลิตอาหารสัตว์ จะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ดังนั้นจึงเป็นโอกาสที่จะนำเปลือกโกโก้มาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์

โกโก้เป็นสัตว์เศรษฐกิจสำคัญประเภทหนึ่งที่ ปัจจุบันมีการเลี้ยงเป็นธุรกิจและมีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง ส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อโกโก้ประกอบด้วย โปรตีน ซึ่งช่วยสร้างกล้ามเนื้อในการเจริญเติบโต ในอาหารโกโก้ควรมีโปรตีนประมาณร้อยละ 13-19 ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีหน้าที่ให้พลังงานเพื่อนำไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ควรมีอยู่ในอาหารโกโก้ประมาณร้อยละ 38-61 น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ช่วยในการย่อย การดูดซึม รักษาอุณหภูมิในร่างกาย และช่วยในการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย ไขมัน มีหน้าที่ให้ความอบอุ่นและพลังงานแก่ร่างกาย แต่ไม่ควรมากเกินไป วิตามินช่วยให้โกโก้มีความต้านทานโรค และบำรุงระบบประสาท และแร่ธาตุช่วยในการสร้างโครงกระดูก สร้างเลือด สร้างเปลือกไข่ การที่จะลดต้นทุนค่าอาหารนั้น สามารถทำได้โดยการเลือกอาหารที่เหมาะสมกับโกโก้ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [4], [5]

การอบแห้ง (Drying) คือ กระบวนการลดความชื้นส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออก ซึ่งการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหยความร้อน คุณลักษณะของวัสดุอบแห้งขึ้นอยู่กับเครื่องมือ อุณหภูมิ และเวลาในการอบแห้ง รวมทั้งลักษณะและสมบัติของวัตถุดิบเริ่มต้น [6], [7] กระบวนการอบแห้งจึงเป็นส่วนสำคัญในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สามารถเก็บรักษาวัตถุดิบไว้ได้นาน โดยเปลือกโกโก้จำเป็นต้องมีการอบแห้ง เนื่องจากลักษณะของเปลือกโกโก้มีเนื้อที่มันน้ำอยู่สูง หากไม่มีการอบแห้งจะเกิดเชื้อราได้ง่าย ซึ่งการอบแห้งแบบทั่วไปจะใช้วิธีการตากแดดจะมีปัญหาแดดไม่เพียงพอในช่วงฤดูฝน การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจะสามารถอบแห้งวัสดุได้ตลอดเวลา ลดความเสียหายได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกโกโก้ด้วยการนำมาเป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับโกโก้ โดยการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเปลือกโกโก้ รวมทั้งการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการนำโกโก้อบแห้งมาเป็น

ส่วนผสมในอาหารสำหรับไก่ไข่ต่อผลผลิตและคุณภาพของไข่ไก่ งานวิจัยนี้จะเป็นการขยายผลให้เกิดการสนับสนุนการปลูก ไก่ไข่ของเกษตรกรอันจะเป็นการสร้างงานสร้างอาชีพระดับ ฐานรากต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การอบแห้งเปลือกโกโก้

จัดหาและเตรียมตัวอย่างเปลือกโกโก้พันธุ์ชุมพร 1 จากผู้ปลูกในชุมชนเกษตรกร อำเภอบำบอน จังหวัดพัทลุง ล้างเปลือกโกโก้ด้วยน้ำสะอาด สับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด ประมาณ 1.5x1.5 เซนติเมตร อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ลมร้อนที่อัตราการไหลลมร้อน 3 ลิตร/นาที่ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส บันทึกน้ำหนักของเปลือกโกโก้ใน ระหว่างการอบแห้งทุก 5 นาที่ เพื่อกำหนดค่าความชื้น กำหนด ความชื้นสุดท้ายของเปลือกโกโก้ที่ร้อยละ 10 น้ำหนักแห้ง จึง หยุดการอบแห้ง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือก โกโก้หลังการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเปลือกโกโก้ และความ สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้ง

2.2. การหาความชื้น

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้ ในรูปของอัตราส่วนความชื้น โดยนำข้อมูลน้ำหนักของวัสดุ (w) ที่เวลาต่าง ๆ และน้ำหนักแห้ง (d) มาคำนวณหาความชื้นวัสดุ ดังสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 10 \quad (1)$$

โดยที่

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง, ร้อยละน้ำหนักแห้ง

w = น้ำหนักของวัสดุ, กรัม

d = น้ำหนักแห้งของวัสดุ, กรัม

2.3. การหาอัตราส่วนความชื้น

หาอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ที่ ความชื้นเวลาต่าง ๆ ดังสมการที่ (2) เป็นการคำนวณค่า โดยประมาณ คือ ไม่คิดค่าความชื้นสมดุลโดยตั้งสมมติฐานว่า ความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้น เริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใด ๆ

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (2)$$

โดยที่

MR = อัตราส่วนความชื้น

M_{in} = ความชื้นเริ่มต้น, ร้อยละน้ำหนักแห้ง

M_{eq} = ความชื้นสมดุล, ร้อยละน้ำหนักแห้ง

M_t = ความชื้นที่เวลาต่าง ๆ, ร้อยละน้ำหนักแห้ง

2.4. การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้

นำอัตราส่วนความชื้นที่เวลาใด ๆ จากการทดลอง สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการอบแห้งมาเปรียบเทียบกับ สมการอบแห้งที่ใช้สำหรับทำนายค่าความชื้น 3 สมการ โดยมี รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบาง (Thin layer drying model) แบบเอมพิริคัล (Empirical) และกึ่งทฤษฎี (Semi-theoretical) (Table 1) ผลการทดลองค่าความชื้นที่เวลาใด ๆ ถูกนำมา วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Nonlinear regression analysis และหา ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสมการการอบแห้งชั้นบาง ซึ่งมีดัชนี บ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการคือค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และราก ของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error: RMSE)

Table 1 Thin layer drying model

Model no.	Model name	Model equation
1	Page	$MR = \exp(-kt)$
2	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
3	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$

2.5. การออกแบบสูตรอาหารผสมเปลือกโกโก้

นำเปลือกโกโก้อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มาบด และนำไปใช้เตรียมอาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้

สูตรอาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้ (CPH feed) เป็นสูตรอาหารไก่ไข่อินทรีย์ที่คำนวณตามความต้องการอาหาร ของไก่ไข่ระยะไข่ (ปริมาณกินได้ 100-110 กรัม/วัน) โดย ออกแบบเป็น 3 สูตรที่มีปริมาณเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 อาหารแต่ละสูตรมีปริมาณโปรตีน (CP) ปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณเยื่อใย (CF) ปริมาณแคลเซียม (Ca) และพลังงานที่ใช้ ประโยชน์ (ME) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Composition of the laying hen feeds (CPH feeds)

Ingredients (%)	Formula		
	1	2	3
Cocoa pod husk (CPH)	2	4	6
Corn	50.5	48.5	46.5
Rice bran	11	11	11
Soybean meal (44%)	16.5	16.5	16.5
Fish meal (60%)	6.0	6.0	6.0
Limestone	8.4	8.4	8.4
Dicalcium phosphate	0.7	0.7	0.7
Vegetable oil	4.5	4.5	4.5
DL-Methionine	0.1	0.1	0.1
Salt	0.1	0.1	0.1
Layer premix	0.2	0.2	0.2
Total	100	100	100
Calculated Analysis			
CP (%)	16.62	16.61	16.59
Fat (%)	4.93	4.87	4.81
CF (%)	3.81	4.44	5.07
Ca (%)	3.83	3.84	3.85
ME (kcal/kg)	2,957	2,947	2,938

2.6. การทดลองเลี้ยงไก่ไข่ด้วยอาหารผสมเปลือกโกโก้

ไก่ที่ใช้เป็นไก่ไข่อายุ 40-50 สัปดาห์ ที่ดำเนินการเลี้ยงและดูแลโดยเกษตรกรที่วิสาหกิจชุมชน 9 ไร่ เกษตรอินทรีย์ จ. สงขลา แบ่งไก่เป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มให้อาหารผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 และแต่ละกลุ่มทดลองทำการทดลองคู่กับกลุ่มควบคุมที่ให้อาหารสูตรที่ซื้อมาจากท้องตลาด (Commercial feed) จัดแบ่งกลุ่มไก่ไข่ให้มีจำนวน 20 ตัว/กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ให้อาหารไก่แต่ละกลุ่มวันละ 2 เวลา (เช้า-เย็น) ในปริมาณ 1.25 กิโลกรัม/มื้ออาหาร รวมเป็นวันละ 2.5 กิโลกรัม/กลุ่ม ให้อาหารไก่เป็นเวลา 7 สัปดาห์

2.7. การศึกษาผลผลิตไข่ไก่

เก็บตัวอย่างไข่ไก่หลังให้อาหารในสัปดาห์ที่ 2 โดยเก็บตัวอย่างสุ่มกลุ่มละ 1 ฟองในทุกวัน เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ศึกษาการให้ผลผลิต (Production performance) บันทึกจำนวนไข่ไก่ ปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักไข่ทุกวัน เพื่อคำนวณร้อยละผลผลิตไข่ (Hen-day egg production) น้ำหนักไข่เฉลี่ย (Egg weight) ปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ย (Feed intake)

และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (FCR) ของแต่ละกลุ่มทดลองทุกสัปดาห์ โดยนำข้อมูลที่ได้คำนวณตามสูตร

$$1) \text{ ผลผลิตไข่ (Hen-day egg production) } = \frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่}}$$

$$2) \text{ น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง (Egg weight) } = \frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

$$3) \text{ ปริมาณอาหารที่กิน (Feed intake, FI) } = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง (กิโลกรัม)}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด (ตัว) \times จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$$

$$4) \text{ มวลไข่ (Egg Mass) } = \frac{\text{ผลผลิตไข่ (\%)} \times \text{น้ำหนักไข่ (กรัม)}}{100}$$

$$5) \text{ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (Feed conversion ratio, FCR) } = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{มวลไข่}}$$

$$6) \text{ ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม } = \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่} \times \text{ราคาอาหาร} \left(\frac{\text{บาท}}{\text{กก.}} \right)$$

2.8. การศึกษาด้านคุณภาพไข่

วิเคราะห์คุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักเปลือกไข่ (Shell weight) ความหนาเปลือกไข่ (Shell thickness) น้ำหนักไข่ขาว (Albumen weight) ความสูงของไข่ขาว (Albumen height) น้ำหนักไข่แดง (Yolk weight) และสีไข่แดง (Yolk color) วัดความสูงไข่ขาว 3 ตำแหน่งโดยเครื่อง Hunterlab colorquest XE และวัดค่า L^* , a^* และ b^* ของไข่แดง ด้วยเครื่องวัดสีรุ่น ColorFlex EZ นอกจากนี้ นำข้อมูลความสูงไข่ขาวคำนวณหาค่าฮอฟยูนิต (Haugh unit) ของไข่ไก่ดังสมการที่ (3) [8], [9]

$$HU = 100 \log \left[H - \frac{\sqrt{G} (30W^{0.37} - 100)}{100} + 1.9 \right] \quad (3)$$

โดยที่

H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด ที่จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวกับขอบไข่แดง

G = 32.2 (ค่าคงที่)

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. ผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งเปลือกโกโก้

ผลการทดลองของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งในกระบวนการอบแห้งเปลือกโกโก้ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 540 น้ำหนักแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของลม 3 ลิตร/นาที่ กำหนดความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งที่ร้อยละ 10 น้ำหนักแห้ง พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นในเปลือกโกโก้ลดลงได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (50 องศาเซลเซียส) (Figure 1) สังเกตได้ว่าอัตราความชื้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาในการอบแห้ง ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำให้กลไกการแพร่ของของเหลวหรือไอระเหยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นในตัวอย่างเปลือกโกโก้ที่อัตราการระบายอากาศคงที่ และการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุเปลือกโกโก้และอากาศแห้ง โดยการเร่งอัตราการคายความชื้นออกจากพื้นผิวทำให้เกิดการแพร่กระจายความชื้นจากชั้นในไปยังพื้นผิวของวัสดุเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาและมีอิทธิพลต่อเวลาในการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 555, 465 และ 360 นาที ตามลำดับ

อัตราการอบแห้งสามารถแสดงเป็นปริมาณความชื้นที่ระเหยตลอดเวลา (g water/g dry matter.m) โดยแสดงความแปรผันของอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้น (% dry basis) ของตัวอย่างเปลือกโกโก้ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของลม 3 ลิตร/นาที่ (Figure 2) พบว่าหลังจากช่วงเริ่มต้นของกระบวนการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง (DR) มีค่าสูงสุด และหลังจากนั้นเปลือกโกโก้จะเริ่มแห้งในช่วงอัตราอบแห้งที่ลดลง โดยค่าเริ่มต้นของอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการอบแห้งขยายตัวเป็นร้อยละ 77 ในอัตราการอบแห้งสูงสุดจาก 0.42 ถึง 0.64 กรัม/กรัมแห้ง ที่เวลาอบแห้งประมาณ 350 นาที

จากการอบแห้งเปลือกโกโก้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของลม 3 ลิตร/นาที่ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งที่มีการใช้พลังงานต่ำ คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดย

มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 5.25 เมกะจูล/กิโลกรัม น้ำ ซึ่งต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส แม้จะใช้เวลาการอบแห้งที่นานกว่า (Table 3)

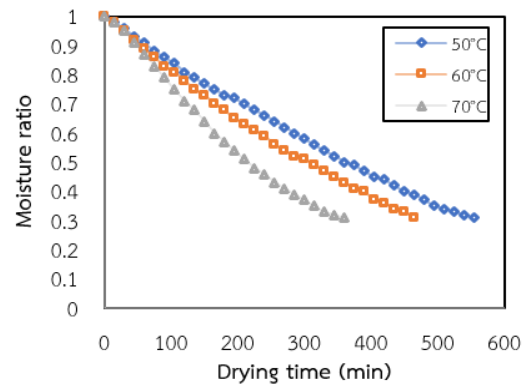


Figure 1 Relationship between moisture ratio and drying time at different drying temperatures

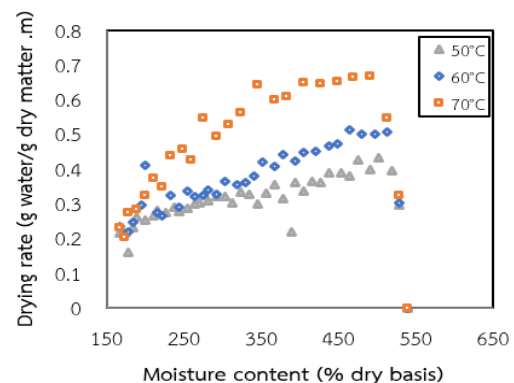


Figure 2 Relationship between drying rate and moisture content at different drying temperatures

Table 3 The specific energy consumption at different drying temperatures

Drying Temperature (°C)	Time (min)	Evaporated water (kg/h)	The specific energy consumption (MJ/kg water evaporated)
50	555	12.39	5.25
60	465	13.41	6.99
70	360	17.87	6.40

3.2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้

จากการพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเปลือกโกโก้ พบว่า สมการกึ่งทฤษฎีของ Logarithmic ให้ค่า R^2 สูงสุด และมีค่า RMSE และ SSE ต่ำสุด โดยมี R^2 มากกว่า 0.9996 ค่า RMSE และค่า SSE เท่ากับ 0.00434 และ 0.00345 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งเหมาะสมกับการใช้ทำนายค่าการอบแห้งเปลือกโกโก้ จากค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการของ Logarithmic เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองอบแห้งเปลือกโกโก้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Figure 3) จะเห็นได้ว่าแบบจำลองให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด โดยให้ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกัน ตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

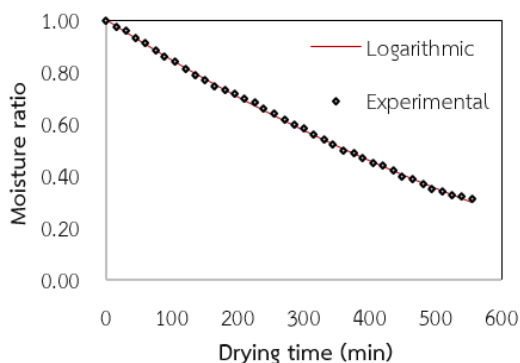


Figure 3 Changes in moisture ratio during cocoa pod husk drying at 50°C obtained from experiment and Logarithmic model

3.3. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้อบแห้ง

การที่จะนำเปลือกโกโก้อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสไปใช้เตรียมอาหารไก่ไข่ต้องมีการนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้อบแห้งก่อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า เปลือกโกโก้อบแห้งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.03 และเยื่อใยร้อยละ 33.87 เมื่อเทียบกับข้าวโพดที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.60 และเยื่อใยร้อยละ 2.30 นอกจากนี้เปลือกโกโก้อบแห้งมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable

energy, ME) เท่ากับ 2,900 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าที่พบในข้าวโพด (Table 4) ดังนั้นจึงการใช้เปลือกโกโก้ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไก่ไข่จึงทดแทนได้บางส่วน ซึ่งจากการคำนวณสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้เปลือกโกโก้ทดแทนข้าวโพดพบว่า ปริมาณเปลือกโกโก้ที่ทดแทนได้สูงสุดไม่เกินร้อยละ 6 โดยไก่ถือเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่ไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ดีเหมือนแพะและวัว อาหารที่ใช้เลี้ยงจึงต้องมีปริมาณเยื่อใยไม่เกินร้อยละ 6

Table 4 Chemical composition of CPH and corn

Composition	CPH (from this study)	Corn [10]
Protein (%)	7.03	7.60
Fat (%)	0.52	3.60
Carbohydrates (%)	20.31	60.20
Fiber (%)	33.87	2.30
Phosphorus (%)	0.15	0.25
Calcium (%)	0.49	0.03
ME (kcal/kg)	2,900	3,520

3.4. ผลของอาหารสำหรับไก่ผสมเปลือกโกโก้ต่อผลผลิตและคุณภาพไข่ไก่

3.4.1. ผลของอาหารสำหรับไก่ผสมเปลือกโกโก้ต่อผลผลิตไข่ไก่

ผลของการใช้เปลือกโกโก้ขนาด 20 เมช ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารปริมาณสัดส่วนร้อยละ 2, 4 และ 6 ต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ และต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตไข่ (Table 5)

ผลผลิตไข่ พบว่า ผลผลิตไข่เฉลี่ยของไก่ที่ได้รับอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 มีค่าเท่ากับร้อยละ 67.10, 54.68 และ 51.45 ตามลำดับ ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับอาหารสูตรควบคุมที่ให้ผลผลิตเท่ากับ ร้อยละ 58.71, 44.68 และ 40.81 ตามลำดับ โดยสูตรอาหารผสมเปลือกโกโก้ทั้ง 3 สูตรมีคุณค่าทางโภชนาการส่วนไขมันและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าอาหารทางการค้า อาจส่งผลต่อการให้ผลผลิตไข่ที่สูง จะเห็นได้ว่าสูตรอาหารที่มีการผสมเปลือกโกโก้มีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของไข่ได้เป็นอย่างดี

Table 5 Effects of commercial and CPH feeds on egg production

Parameter	Treatment 1		Treatment 2		Treatment 3	
	Commercial feed	CPH feed (2%)	Commercial feed	CPH feed (4%)	Commercial feed	CPH feed (6%)
Egg production (%)	58.71±3.52	67.10±2.54	44.68±2.14	54.68±2.00	40.81±1.98	51.45±1.72
Egg weight (%)	58.90±1.25	58.89±2.04	59.22±1.07	59.13±1.84	60.12±1.12	61.51±1.77
Egg Mass (%)	34.58±0.58	39.23±0.84	26.34±0.24	32.14±0.96	24.53±0.35	32.34±1.01
Feed intake (kg/body/day)	106.32±4.51	106.17±3.85	106.38±3.85	105.81±4.15	104.42±4.10	111.87±3.07
Feed conversion ratio	3.09±0.05	2.71±0.08	4.03±0.04	3.29±0.02	4.26±0.10	3.46±0.02
Cost (Baht/kg egg)	48.54	41.71	63.39	49.95	66.91	51.65

น้ำหนักไข่ ไก่ที่ได้รับอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้ ร้อยละ 2, 4 และ 6 มีน้ำหนักไข่เฉลี่ย เท่ากับ 58.89, 59.13 และ 61.51 กรัมต่อฟอง โดยเมื่อเทียบกับน้ำหนักไข่เฉลี่ยของไก่ ชุด 3 ที่กินอาหารผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 6 กับไก่ที่กินอาหารทางการค้า พบว่า ไก่ที่กินอาหารผสมเปลือกโกโก้ ร้อยละ 6 มีน้ำหนักไข่เฉลี่ยสูงกว่าไก่ที่กินอาหารทางการค้าที่มีน้ำหนักไข่เฉลี่ย เท่ากับ 60.12 กรัมต่อฟอง

มวลไข่ ผลของมวลไข่ พบว่า มวลไข่ไก่ที่ได้รับอาหารผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 เท่ากับ 39.23, 32.14 และ 32.34 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยมีมวลไข่ที่สูงกว่าไก่ที่กินอาหารทางการค้าที่มีค่ามวลไข่ เท่ากับ 34.58, 26.34 และ 24.53 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ทั้งนี้มวลไข่ได้จากการคำนวณระหว่างน้ำหนักไข่และผลผลิตไข่ จากผลผลิตไข่ของไก่ที่กินอาหารเปลือกโกโก้ที่มีค่าสูงกว่าอาหารทางการค้า ทำให้ได้ผลของมวลไข่ที่สูงตามไปด้วย

ปริมาณอาหารที่กิน พบว่า ชุดทดลองที่ 3 การใช้เปลือกโกโก้ผสมร้อยละ 6 ผสมในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบดมีปริมาณอาหารที่กินสูงสุด เท่ากับ 111.87 กรัม/ตัว/วัน เมื่อเทียบกับไก่ที่กินอาหารทางการค้าที่มีปริมาณการกินอาหารเพียง 104.42 กรัม/ตัว/วัน เมื่อเทียบกับอาหารผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2 และ 4 ที่มีปริมาณการกินอาหาร เท่ากับ 106.17 และ 105.81 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โดย พลังงานมีอิทธิพลต่อการกินได้ไม่มากนัก โดยไก่จะกินอาหารในปริมาณที่ได้รับพลังงานเพียงพอกับความต้องการในแต่ละวัน ดังนั้นเมื่ออาหารมีความเข้มข้นของพลังงานใกล้เคียงกัน ไก่จึงกินอาหารได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Nortey et al. [11] ที่ศึกษาการใช้เปลือกโกโก้ที่ผ่านการย่อยเป็นส่วนผสมในอาหารไก่ไข่ที่ปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 15 พบว่า การเพิ่มเปลือกโกโก้ไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารเฉลี่ยต่อวัน ซึ่งปริมาณการกินอาหารของไก่ไข่ยังขึ้นกับความต้องการของตัวไก่ โดยผันแปรไปตามขนาดของตัวไก่ กิจกรรมของภูมิของสภาพแวดล้อม รวมไปถึงลักษณะการเจริญเติบโตและการรักษาสุขภาพการให้ไข่ [12]

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ ไก่ที่ได้รับอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่เฉลี่ย เท่ากับ 2.71, 3.29 และ 3.46 ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่เฉลี่ยดีกว่าไก่ที่ได้รับอาหารทางการค้า ที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ เท่ากับ 3.09, 4.03 และ 4.26 ตามลำดับ ทั้งนี้ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารทางการค้ามีมวลไข่ต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารผสมเปลือกโกโก้ เมื่อนำไปแทนค่าในสูตรการคำนวณ จึงทำให้ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ดีกว่า

ต้นทุนค่าอาหารต่อไข่ 1 กิโลกรัม พบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้มีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 41.71, 49.95 และ 51.65 บาท ซึ่งมีราคาต่ำกว่าไก่ที่กินอาหารทางการค้าที่ซื้อตามท้องตลาดในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม ที่มีราคาเท่ากับ 48.54, 63.39 และ 66.91 บาท แม้ว่าปริมาณอาหารที่กินของไก่จะมีความใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากสูตรอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้มีการลดต้นทุนในส่วนปริมาณที่ทดแทนข้าวโพดบด โดยอาหารทางการค้ามีราคาต้นทุน 18.33 บาท/กิโลกรัม และอาหารที่ผสมเปลือกโกโก้ทดแทนข้าวโพดบดปริมาณร้อยละ 2, 4 และ 6 มีราคาต้นทุน

16.72, 16.58 และ 16.43 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นการใช้เปลือกโกโก้ทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารไก่ไข่จะสามารถลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงไก่ไข่ได้เป็นอย่างดี

3.4.2. ผลของอาหารสำหรับไก่ไข่ผสมเปลือกโกโก้ต่อคุณภาพไข่ไก่

ผลของการใช้เปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 ผสมในสูตรอาหารสำหรับไก่ไข่ต่อส่วนประกอบและคุณภาพไข่หลังจากที่เลี้ยงไก่ไข่เป็นเวลา 7 สัปดาห์ (Table 6) พบว่า ร้อยละไข่แดง ร้อยละไข่ขาว ร้อยละเปลือกไข่ และความหนาเปลือกไข่ของไก่ที่ได้รับอาหารทางการค้ากับอาหารผสมเปลือกโกโก้ไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ไก่ทั้ง 3 ชุดที่ได้อาหารผสมเปลือกโกโก้มีค่าฮอฟยูนิต (Haugh unit) เฉลี่ยสูงกว่าที่ได้รับอาหารทางการค้า ส่วนผลค่าสีไข่แดงพิจารณาค่าสีแดง (a^*) ของไก่ที่กินอาหารอาหารทางการค้ามีค่าสีแดงเข้มกว่าไก่ที่

กินอาหารผสมเปลือกโกโก้ ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) ไก่ที่กินอาหารผสมเปลือกโกโก้มีค่าสีเหลืองของไข่แดงเฉลี่ยสูงกว่าไก่ที่กินอาหารทางการค้า และมีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง Tarachai [13] ได้อธิบายว่าอัตราการให้ผลผลิตไข่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของไข่แดง หากไม่มีการให้ผลผลิตสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการสะสมแซนโทฟิล (Xanthophyll) ในไข่แดงลดลงจึงทำให้ความเข้มของสีไข่แดงลดลง ดังนั้นในไก่ที่ให้ไข่ตกมากจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารแซนโทฟิลในปริมาณที่สูงกว่าไก่ที่ให้ผลผลิตต่ำกว่า ซึ่งค่าสี a^* และ b^* บ่งบอกให้ทราบว่าไข่แดงจากไก่ที่ได้รับอาหารทางการค้าจะมีสีเข้มกว่าไข่แดงจากไก่ที่ได้อาหารผสมเปลือกโกโก้ ทั้งนี้สีของไข่แดงไม่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการแต่อย่างใด เนื่องจากสีของไข่แดงเกิดจากสารสีในส่วนประกอบของอาหารที่แม่ไก่ได้ทานเข้าไป เช่น สารสีเหลืองของข้าวโพด ซึ่งแสดงว่าเปลือกโกโก้ที่ผสมในอาหารสำหรับไก่ไข่ไม่ส่งผลต่อค่าสีของไข่แดง

Table 6 Effects of commercial and CPH feeds on composition and egg quality

Parameter	Treatment 1		Treatment 2		Treatment 3	
	Commercial feed	CPH feed (2%)	Commercial feed	CPH feed (4%)	Commercial feed	CPH feed (6%)
Yolk weight (%)	26.13±1.25	25.61±0.35	25.72±1.15	25.32±1.35	25.90±1.05	25.04±1.02
Albumen weight (%)	61.34±2.06	61.58±1.64	62.13±2.15	61.41±2.21	61.32±1.24	61.65±1.01
Shell weight (%)	12.53±0.25	12.81±0.23	12.15±1.03	13.27±0.45	12.78±0.26	13.32±0.29
Haugh unit	69.55±1.72	75.56±2.31	75.87±2.05	82.58±3.15	68.28±4.21	77.79±0.87
Shell thickness (mm)	0.53±0.03	0.49±0.01	0.49±0.02	0.46±0.04	0.47±0.02	0.49±0.03
a^*	16.66±0.14	9.39±0.16	17.45±0.17	10.58±0.09	16.09±0.25	10.05±0.12
b^*	59.68±1.25	65.38±1.58	60.45±1.31	69.29±1.09	58.35±2.01	66.24±2.54
L^*	55.57±1.84	56.06±2.24	55.77±1.92	57.17±1.76	55.35±2.35	56.79±1.36

a^* = red/green value (+ = redder, - = greener)

b^* = yellow/blue value (+ = yellower, - = bluer)

L^* = lightness (+ = lighter, - = darker)

4. บทสรุป

สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเปลือกโกโก้จากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 540 น้ำหนักแห้ง เหลือความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 10 น้ำหนักแห้ง คือ การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลลมร้อน 3 ลิตร/นาที่ ที่เวลา 555 นาที มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 5.25 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำ สมการจลนพลศาสตร์กึ่งทฤษฎีตาม

รูปแบบของ Logarithmic เป็นสมการสำหรับใช้ทำนายการลดลงของความชื้นเปลือกโกโก้ได้เหมาะสมที่สุด โดยมี R^2 มากกว่า 0.9996 ค่า RMSE เท่ากับ 0.00434 และค่า SSE เท่ากับ 0.00345 สำหรับไก่ที่ได้รับอาหารผสมเปลือกโกโก้ร้อยละ 2, 4 และ 6 มีอัตราผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ ค่าฮอฟยูนิตดีกว่าไก่ที่รับอาหารทางการค้า แต่มีปริมาณการกินอาหารที่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้

ผลค่าสีไข่แดงของไข่ไก่ที่ได้จากไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการค้า มีค่าสีแดง (a^*) เข้มกว่าไข่ไก่ที่ได้จากไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม เปลือกโกโก้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ปีงบประมาณ 2564 และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนพื้นที่ทำการวิจัย และวิสาหกิจชุมชน 9 ไร่ เกษตรอินทรีย์ จ. สงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในส่วนของการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงไก่ไข่

6. References

- [1] Chotinan, N. 2021. **Cocoa, An Alternative Crop of the Future.** https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_171743. Accessed 21 February 2021. (in Thai)
- [2] Donkoha, A. and et al. 1991. Chemical composition of cocoa pod husk and its effect on growth and food efficiency in broiler chicks. **Animal Feed Science and Technology**. 35: 161-169.
- [3] Makkar, H.P.S. 2018. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. **Animal**. 12(8): 1744-1754.
- [4] Chuaychana, T. and Riansut, W. 2019. Comparison of the effectiveness of three types of laying hen diets on the egg weight and production costs. **UTK Research Journal**. 14(1): 91-101. (in Thai)
- [5] Nopparatmaitree, M. and et al. 2018. Effects of perilla mint (*Perilla frutescens*) extracted meal supplementation in diets of laying hens (late period) on productive performance, eggs quality and enrichment of fatty acid in yolk. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. 20(3): 50-63. (in Thai)
- [6] Pakpot, W. and et al. 2019. Influence of temperature and time drying on physical and chemical quality of mango peel power. In: **Proceedings of the 20th National Graduate Research Conference**, 15 March 2019. Khon Kaen, Thailand. (in Thai)
- [7] Therdthai, N. and Krajangmathekul, S. 2011. Effect of microwave assisted hot air drying on quality of dried pumpkin. In: **Proceedings of the 49th Kasetsart University Annual Conference**, 1-4 February 2011. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- [8] Khaleel, R.M.T. 2019. Prediction of Haugh unit by egg weight and albumin height. **Mesopotamia Journal of Agriculture**. 47(3): 37-43.
- [9] Ul Abidin, Z. and Khatoun, A. 2017. Improving performance traits of laying hens with vitamin C. In: Hester, P.Y. (ed.) **Egg Innovations and Strategies for Improvements**, London: Academic Press.
- [10] Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2021. **Organic Chicken Feed Recipes.** <http://nutrition.dld.go.th/borikrananimal/chic-3.htm>. Accessed 14 January 2022. (in Thai)
- [11] Nortey, T.N. and et al. 2015. Cocoa pod husk is a potential feed ingredient in laying hen diets. **Livestock Research for Rural Development**. 27(6): 1-12.
- [12] Kopacz, M. and et al. 2021. Performance and egg quality of laying hens fed diets containing raw, hydrobarothermally-treated and fermented rapeseed cake. **Animals**. 11: 3083.
- [13] Tarachai, P. 2018. **Chapter 7: Food for Broiler and Laying Hens.** http://www.as2.mju.ac.th/E-Book/t_prapakorn/21-06-53/. Accessed 20 February 2021. (in Thai)